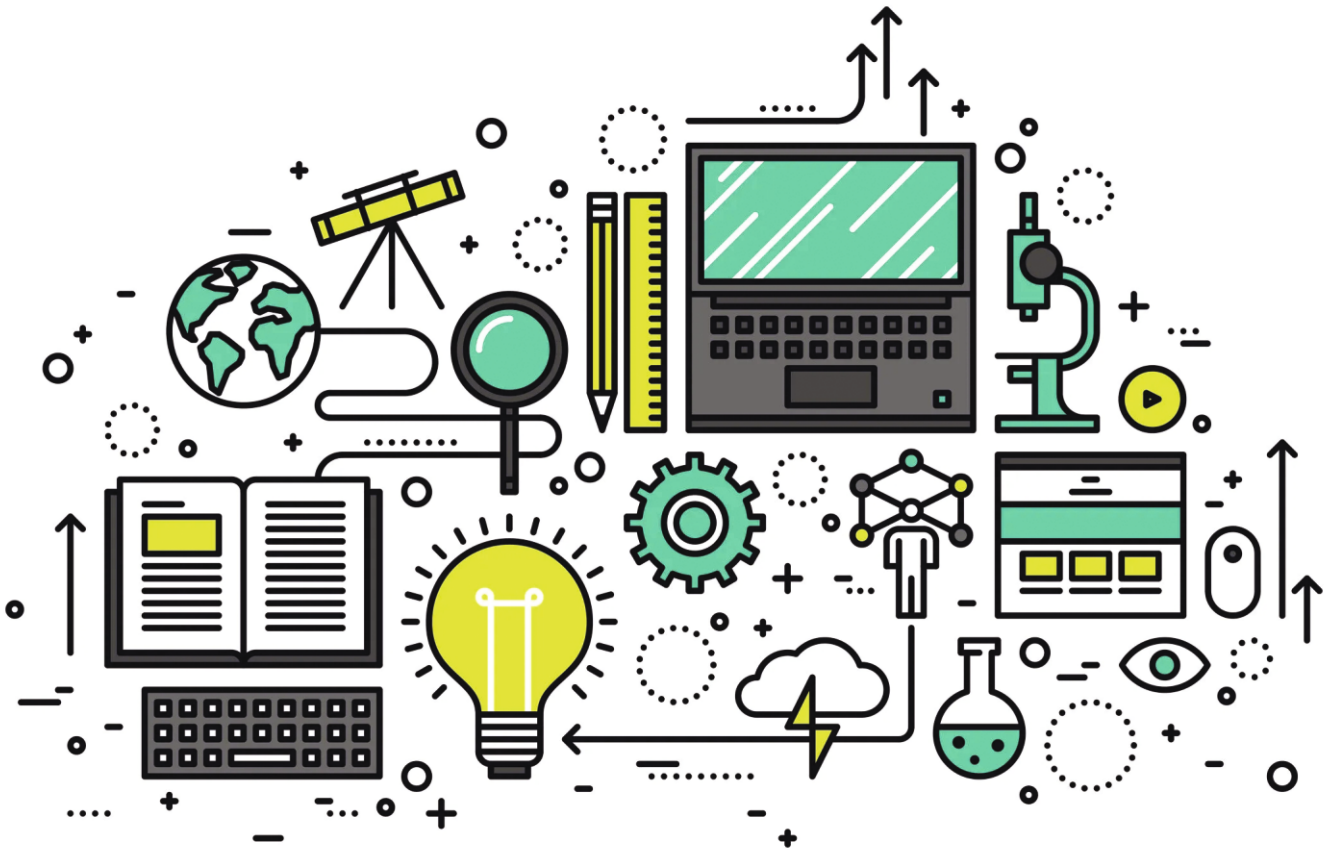
Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ им. А.Н.Тихонова
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

МЕЖВУЗОВСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ имени Е.В. АРМЕНСКОГО



2022

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ им.А.Н.Тихонова
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Москва 2022 г.

ББК 2+3
Н 34

Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского. Материалы конференции. - М. ~: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2022. – 294 стр.

ISBN 978-5-903650-71-2

В материалах конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов представлены тезисы докладов по следующим направлениям: математика и компьютерное моделирование; информационно-коммуникационные технологии; автоматизация проектирования, банки данных и знаний, интеллектуальные системы; компьютерные образовательные продукты; информационная безопасность; электроника и приборостроение; производственные технологии, нанотехнологии и новые материалы.

Материалы конференции могут быть полезны для преподавателей, студентов, научных сотрудников и специалистов, специализирующихся в области прикладной математики, информационно-коммуникационных технологий, электроники и информационной безопасности.

Редакционная коллегия: Е.А. Крук, С.А. Аксенов, Г.Г. Бондаренко, Л.С. Восков, А.А. Елизаров, Ф.И. Иванов, А.Б. Лось, Н.С. Титкова

Издание осуществлено с авторских оригиналов.

ISBN 978-5-903650-71-2

© Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2022 г.

© Авторы, 2022 г.

Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского названа в честь основателя и первого ректора Московского института электроники и математики. Евгений Викторинович в 1962 году создал вуз на стыке самых передовых образовательных методик того времени в области электроники и реального сектора экономики, представленного крупнейшими предприятиями в этой области.



Краткая биографическая справка: Евгений Викторинович Арменский родился 2 октября 1923 года в городе Буй Костромской области. В 1941 году он ушел добровольцем на фронт в составе 234-й Ярославской стрелковой коммунистической дивизии. Первый фронтовой опыт получил в боях под Москвой. В самые тяжелые 1941-1942 годы он был разведчиком-наблюдателем 1081 артполка на Калининском фронте, а после ранения в конце 1942 года - курсантом учебной роты связи 5-ой отдельной запасной стрелковой бригады Уральского военного округа. С 1943 года по ноябрь 1945 года был командиром радиовзвода 102 стрелкового корпуса Первого Украинского фронта. Великую Отечественную войну Евгений Викторинович закончил в Праге 9 мая 1945 года. За ратные подвиги он был награжден орденами Красной Звезды, Отечественной войны I и II степени, медалями «За боевые заслуги», «За освобождение Праги», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне».

После демобилизации он поступил в Ивановский химико-технологический институт, в котором проучился 2 курса, а затем перешел на третий курс Московского механического института (ныне Московский инженерно-физический институт, НИЯУ МИФИ), который закончил в 1951 году.

Трудовую деятельность Евгений Викторинович начал с должности секретаря комитета ВЛКСМ МИФИ, а с 1952 года началась его педагогическая деятельность ассистентом кафедры «Автоматика и телемеханика» МИФИ. В этом же году он поступил в аспирантуру МИФИ, которую успешно завершил, и защитил кандидатскую диссертацию на тему «Пространственный метод регулирования двухфазного асинхронного двигателя». С 1956 года Евгений Викторинович развивает научное направление и формирует научную школу в области создания систем автоматического контроля, регулирования и управления электрофизических установок.

12 апреля 1962 года Советское правительство приняло решение о создании Московского института электронного машиностроения. Евгений Викторинович Арменский был назначен ректором созданного института. С этого времени в полной мере раскрылись выдающиеся организаторские и педагогические способности Евгения Викториновича. В МИЭМ, благодаря его кипучей и самоотверженной деятельности, были организованы новые кафедры и научные лаборатории, сформирован дружный коллектив единомышленников. В начале 70-ых годов прошлого столетия в МИЭМ по инициативе академика АН СССР С.Н. Вернова и профессора Е.В. Арменского впервые в нашей стране была организована подготовка специалистов в области космического и радиационного материаловедения, созданы лаборатории электронной микроскопии, рентгеновского анализа.

Евгений Викторинович Арменский уделял большое внимание учебной и научной деятельности. В 1968 году выходит в свет учебное пособие Е. В. Арменского и Г.Б. Фалка

«Электрические микромашины». В 1969 году Евгений Викторинович защищает докторскую диссертацию на тему «Системы управления ускорителями заряженных частиц с энергией до 100 Мэв», в этом же году ему присвоено ученое звание «профессор» по кафедре «Электрические машины и электромеханические устройства автоматики». Профессор Евгений Викторинович Арменский хорошо известен своими монографиями и учебниками, изданными на русском, английском, французском, испанском языках. Эти книги стали классическими настольными пособиями для специалистов и студентов практически во всех научных и учебных центрах.

В 1973 году Евгению Викториновичу присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР». В 1984 году ему вместе с коллегами была присуждена Государственная премия СССР «За создание и внедрение в промышленность сверхвысоковакуумных магниторазрядных насосов и высоковакуумных средств технологического и научного оборудования электронной техники».

Евгений Викторинович всегда уделял большое внимание подготовке молодых ученых. Под его руководством выполнены и защищены 10 докторских и свыше 30 кандидатских диссертаций. На протяжении 40 лет Евгений Викторинович был членом редколлегий журналов «Измерительная техника», «Физика и химия обработки материалов» и «Датчики и системы».

В своей педагогической деятельности Евгений Викторинович Арменский всегда призывал студентов, аспирантов стремиться получить дополнительные знания в области прикладной и фундаментальной математики, а также использовать современные информационные технологии в научной работе.

Секция
«Математика и компьютерное моделирование»

МОДЕЛЬ ИЗИНГА НА МНОГОМЕРНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ЦЕПОЧКЕ

Пчелинцев И.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе изучается модель Изинга на случайном блуждании без самопересечений на квадратной, треугольной, кубической и 4D-гиперкубической решётках. С помощью метода Монте-Карло по алгоритму Червя изучены геометрические свойства.

Введение

Модель случайных блужданий без самопересечений - один из наиболее изученных примеров линейного полимера [1]. Добавление взаимодействия между ближайшими узлами блуждания позволяет определить ровно два состояния между фазовыми переходом “клубок-глобула”.

В модели Изинга на пространстве блужданий без самопересечений взаимодействие между ближайшими соседями усложнено наличием у каждого узла спина со значением +1 и -1, а так же дополнительной константой взаимодействия J.

Таким образом, энергия системы конформации u фиксированной длины N с последовательностью спинов в узлах s рассчитывается как сумма взаимодействий между ближайшими узлами в решетке:

$$\mathrm{E}(s,u) = -\mathrm{J}\sum_{\langle \mathrm{i,j} \rangle} \mathrm{s_i} s_j \,, i,j \in u, |u| = N \qquad (1)$$

Статистическая сумма берется по всем возможным последовательностям спинов {s} и конформациям u:

$$Z = \sum_s \sum_u exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \qquad (2)$$

где T — температура, k — постоянная Больцмана. Без потери общности можно считать $kT = 1$.

“Близость узлов” определяется прежде всего законами решётки на которой лежит конформация: в квадратной решётке соседями узла можно считать мономеры, расположенные сверху, снизу, слева и справа и него, в то время как в треугольной решётке соседними так же считаются и узлы на одной из диагоналей, проходящей через узел решётки, а на кубической – к соседним приравнены узлы с теми же координатами на соседних плоскостях решётки. Узел 4D-гиперкубической решётки имеет 8 соседей, каждый из которых отличается в одной координате на ± 1 от рассматриваемого узла.

Для изучения свойств систем, в которых много степеней свободы, используются методы Монте-Карло. Исследуемая модель уже рассматривалась методами проведения спиновой динамики на сгенерированных конформациях [2, 3]. В нашей работе используется алгоритм, решающий задачу динамического порядка, т.е., генерирующий блуждания фиксированной длины N и спиновые состояния одновременно. Полный алгоритм моделирования и его статистические свойства детально описаны в работе [4].

Геометрические свойства модели

При рассмотрении узлов конформации на квадратной решётке по числу их соседей, выделяется три основных класса узлов: одномерные участки, в которых i-й по порядку в цепочке узел имеет ровно два соседа (i+1-й и i-1-й), узлы с тремя соседями, образующие границы или “поверхность” скоплений мономеров, в то время как узлы, имеющие четыре соседа, лежат внутри этих скоплений. При добавлении взаимодействия между ближайшими узлами в цепочке, взаимодействие в одномерных участках будет не только универсально среди рассматриваемых решёток, но и легко предсказуемо, поскольку аналитическое решение для одномерной модели Изинга, известно.

Ранее, в работе [4] была рассмотрена зависимость средней доли узлов с 2-4 соседями для модели [2,3] на квадратной решётке от J, изображенная на графике 7. В точке J=0 на графике доли “поверхностных” узлов с тремя соседями можно увидеть число, близкое к 0.25.

В данной работе рассматривается только случай J=0, при котором модели Изинга на случайном блуждании и невзаимодействующего случайного блуждания без самопересечений ведут себя одинаково, поскольку энергия системы равна нулю. Тогда статистическая сумма модели (2) есть количество возможных конформаций фиксированной длины N.

Мы провели симуляции модели [2,3] методом Монте-Карло в точке J=0 при длине цепочки от 250 до 4900 для квадратной решётки, от 100 до 1200 для треугольной решётки, и от 200 до 1200 для кубической и 4D-гиперкубической решёток. Результаты симуляций изображены на рисунке 1.

На рисунке 1 видна явная зависимость долей узлов от длины цепочки N. При рассмотрении зависимости от 1/N, результаты симуляций хорошо ложатся на прямую, что говорит от линейном шкалировании данных значений от обратной длины:

$$\langle n_i \rangle = a/N + b, \; i = 2{,}3 \qquad (3)$$

Коэффициенты линейной регрессии (3) зависимости долей узлов с 2-мя соседями от 1/N записаны в таблице 1, для узлов с 3-мя соседями – в таблице 2.

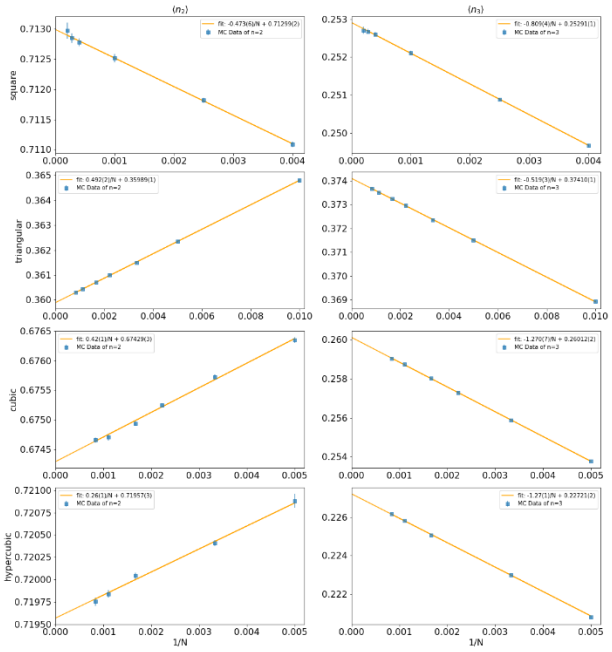


Рис.1. Доля узлов с 2-мя и 3-мя соседями (левый и правый столбец) в модели [2,3] на квадратной, треугольной, кубической и 4D-гиперкубической решёток (соответствующие строки сверху сниз) от 1/N

Таблица 1. Оценка коэффициентов линейной регрессии результатов симуляции Монте-Карло долей узлов с 2-мя соседями

	$\langle n_2 \rangle$	
Lattice	a	b
Square	-0.473(6)	0.71299(2)
Triangular	0.492(2)	0.35989(1)
Cubic	0.42(1)	0.67429(3)
Hypercubic	0.26(1)	0.71957(3)

Таблица 2. Оценка коэффициентов линейной регрессии результатов симуляции Монте-Карло долей узлов с 3-мя соседями

	$\langle n_3 \rangle$	
Lattice	a	b
Square	-0.809(4)	0.25291(1)
Triangular	-0.519(3)	0.37410(1)
Cubic	-1.270(7)	0.26012(3)
Hypercubic	-1.27(1)	0.22721(2)

Оценки коэффициентов линейной регрессии для каждой решётки и числа соседей записаны в таблицах 1-2. По ним видно, что среди решёток нет закономерного сходства коэффициентов в пределах погрешностей. Отсутствует также и сходство свободного члена доли поверхностных узлов на квадратной решётке с 0.25.

Сравнение с “атмосферами” блужданий

В статье [5] среди невзаимодействующих блужданий на квадратной решётке рассматривалось понятие “атмосферы” – кол-во возможных способов удлинения блуждания без самопересечений длины N на ещё один шаг – то есть, кол-во возможных N+1-х узлов для присоединения к последнему N-му узлу. Вероятность блуждания иметь атмосферу k обозначим как $p^{(k)}$.

Мы предположили, что в пределе длины доли узлов модели [2,3] в точке J=0 и вероятности атмосфер описывают одно и то же поведение невзаимодействующего блуждания, учитывая, что “атмосфера” блуждания акцентирует внимание на концы цепочки, в то время как доля узлов – на все мономеры блуждания.

Мы провели сравнение значений свободного члена линейной регрессии долей узлов на квадратной решётке со значениями вероятности блуждания иметь атмосферу от 0 до 3 в пределе на длину конформации.

Таблица 3. Значения вероятности блуждания иметь атмосферу k [5] и доля узлов с i соседями на квадратной решётке в пределе длины конформации

k	$p^{(k)}$	i	b($\langle n_i \rangle$)
3	0.711 14(3)	2	0.71299(2)
2	0.225 00(2)	3	0.25291(1)
1	0.054 76(1)	4	0.03410(1)
0	0.009 096(4)	-	-

По таблице 3 видно, что, пусть значения $p^{(3)}$ и $b(\langle n_2 \rangle)$ близки до 2-го знака после запятой, пределах погрешностей они не равны.

Заключение

В ходе работы была рассмотрена модели Изинга на случайном блуждании на нескольких решётках в точке J=0. Методами Монте-Карло были определены характер зависимости долей узлов с фиксированным числом соседей от длины конформации и пределы долей на бесконечно большой длине цепочки, а так проведено сравнение этих значений на предмет универсальности среди квадратной, треугольной, кубической и 4D-гиперкубической решёток.

Список литературы

1. P.G. de Gennes. Scaling concepts in polymer physics (Cornell University Press, 1979)

2. T. Garel, H. Orland, E. Orlandini, Phase diagram of magnetic polymers // The European physical journal B – 1999 – Vol 12 – P. 261 – 268.

3. A. Papale, A. Rosa, The Ising model in swollen vs. compact polymers: Mean-field // The European physical journal E – 2018 – Vol 41 – 44.

4. Kamilla Faizullina, Ilya Pchelintsev, and Evgeni Burovski. Critical and geometric properties of magnetic polymers across the globule-coil transition. Physical Review E, 104(5):054501, 2021.

5. AL Owczarek and Thomas Prellberg. Scaling of the atmosphere of self-avoiding walks. Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, 41(37):375004, 2008.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СЕМЕЙСТВ СТАТИЧЕСКИХ КОНФИГУРАЦИЙ ТОЧЕЧНЫХ ВИХРЕЙ НА ПЛОСКОСТИ

Вишневская А.Д.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Работа посвящена изучению модели точечных вихрей на плоскости, предложенной Германом Гельмгольцем для описания двумерной идеальной несжимаемой жидкости при отсутствии потенциала скоростей. Найдены необходимые и достаточные условия существования бесконечного числа неэквивалентных статических конфигураций для системы точечных вихрей, разбитых на две группы в соответствии со значениями интенсивностей. При этом предполагается, что два точечных вихря имеют интенсивность Γ_1 и $N \in \mathbb{N}$ точечных вихрей имеют интенсивность Γ_2. Проведена классификация таких конфигураций. Впервые обнаружена связь между отрицательным диофантовым уравнением Пелля и статическими конфигурациями точечных вихрей на плоскости.

Введение

Германом Гельмгольцем была предложена модель [1], описывающая движение в безграничной идеальной жидкости M бесконечно тонких прямолинейных параллельных вихревых нитей с интенсивностями $\Gamma_1, \dots, \Gamma_m \in \mathbb{R}$:

$$\frac{dz_k^*}{dt} = \frac{1}{2\pi i}\sum_{m=1,\, m\neq k}^{M} \frac{\Gamma_m}{z_k - z_m},\ k = 1, \dots, M \qquad (1)$$

Точечными вихрями называют точки пересечениях таких вихревых нитей с перпендикулярной плоскостью. Положения точечных вихрей на плоскости определяются комплекснозначными функциями $z_1(t), \dots, z_M(t)$. Система (1) в случае, когда точечных вихрей четыре и более, а набор интенсивностей произволен, становится неинтегрируемой [2], а движение — хаотическим. Однако среди хаотических траекторий существуют регулярные. К ним относят, в частности, статические равновесия, в которых все точечные вихри имеют нулевую скорость.

Хорошо известно, что для нерезонансных значений интенсивностей число статических конфигураций не превышает $(M-2)!$ [3]. Резонансные случаи ранее систематически не исследовались. В данной работе рассматривается задача классификации статических конфигураций в резонансном случае для точечных вихрей, разбитых на две группы в соответствии со значениями интенсивностей.

Однопараметрические семейства статических конфигураций

При нахождении статических конфигураций широко распространено использование полиномиального метода [4]. Разобъем систему из M точечных вихрей на группы в соответствии со значениями интенсивностей. В этой работе рассмотрен частный случай, когда групп точечных вихрей ровно две, а отношение их интенсивностей равно $\beta = -\frac{\Gamma_1}{\Gamma_2}$. Обозначим через $a_1^{(j)}, a_2^{(j)}, \dots, a_{l_j}^{(j)}$ позиции точечных вихрей с интенсивностью Γ_j, где l_j – количество таких вихрей, $l_1 + l_2 = M$ и $j = 1,2$. Тогда для описания конфигураций можно ввести характеристические многочлены, не имеющий кратных и совпадающих корней:

$$P_j(z) = \prod_{k=1}^{l_j}\left(z - a_k^{(j)}\right)$$

Введение таких многочленов и их использование в работе с системой (1) позволяет прийти к следующему обыкновенному дифференциальному уравнению (ОДУ) второго порядка:

$$P_1(z)P_2''(z) - 2\beta P_{1,z}(z)P_2'(z) + \\ +\beta^2 P_{1,zz}(z)P_2(z) = 0 \ (2)$$

Где $y(z) = P_2(z)$ является полиномиальным решением ОДУ (2), не имеющим кратных нулей и нулей, общих с многочленом $P_1(z)$. Тогда нули многочлена $y(z)$ определяют позиции точечных вихрей второй группы.

Если ОДУ (2) имеет ровно одно линейно независимое полиномиальное решение, то оно единственным образом определяет конфигурацию, принадлежащую классу неэквивалентных. Однако больший интерес представляют случаи, когда таких решений ровно два. Фактически это означает, что в любой окрестности одной конфигурации могут находиться другие, и с течением времени конфигурации, разрушаясь, способны перетекать друг в друга.

Два линейно независимых решения $y_1(z), y_2(z)$ уравнения (2) связаны соотношением [5]

$$y_2(z) = y_1(z)\int \frac{(z(z-1))^{2\beta}}{y_1^2(z)}dz \qquad (3)$$

Положим $N_1 = deg\ y_1(z)$ и $N_2 = deg\ y_2(z)$. Известно, что ОДУ с коэффициентными функциями вида (2) не может иметь двух линейно независимых полиномиальных решений одинаковых степеней, поэтому без ограничения общности можно положить $N_1 < N_2$. Одним из основных результатов работы является следующая теорема.

Теорема 1. ОДУ (2) имеет два линейно независимых полиномиальных решения тогда и только тогда, когда $\beta \in \mathbb{N}$ и степени решений удовлетворяют диофантову уравнению

$$N^2 - (4\beta + 1)N + 2\beta^2 = 0 \qquad (4)$$

Для доказательства Теоремы 1 нам потребуются следующие леммы.

Лемма 1. ОДУ (2) имеет нетривиальное полиномиальное решение степени $N \in \mathbb{N}$ тогда и только тогда, когда N удовлетворяет уравнению (4) и является наименьшим из натуральных решений этого уравнения, если такое решение не единственно.

Доказательство. Покажем, что условие необходимо. Предположим, что уравнение (2) имеет полиномиальное решени степени $N \in \mathbb{N}$. Выполним подстановку $y(z) = z^N$ в уравнение (2) и приравняем нулю коэффициент при старшей степени. В результате придём к соотношению (4), которое также является характеристическим уравнением для точки $z = \infty$. Установим достаточность. Пусть $N \in \mathbb{N}$ удовлетворяет уравнению (4) и является наименьшим из двух натуральных решений этого уравнения, если такое решение не единственно. Подставляя ряд Лорана в окрестности точки $z = \infty$ $y(z) = \sum_{k=0}^{\infty} b_k z^{N-k}$ в уравнение (2), видим, что его коэффициенты удовлетворяют следующему соотношению:

$$b_k = \frac{(N-k-2\beta)(N-k+1)}{2\beta - 4\beta(N-k) + (N-k)(N-k-1)} b_{k-1}$$

где k $\in \mathbb{N}$. Знаменатель правой части уравнения не обращается в нуль при $1 \le k \le N$. Несложно показать, что $b_k = 0$ при $k > N$. Таким образом, ряд обрывается на нулевом члене и становится многочленом.

Лемма 2. Если ненулевое аналитическое полиномиальное решение $y(z)$ ОДУ (2) имеет нуль в точке z_0: $z_0 \neq 0, z_0 \neq 1, z_0 \in \mathbb{C}$, то этот нуль простой [5].

Лемма 3. Полиномиальное решение меньшей степени ОДУ (2) не имеет нулей в точках $z = 0$ и $z = 1$, если степень такого решения удовлетворяет уравнению (4).

Доказательство. Обозначим за N_1 и N_2 решения уравнения (4) и положим $N_1 \le N_2$. Заметим также, что N_1 и N_2 положительны. Согласно Лемме 1, в условиях настоящей леммы ОДУ (2) имеет полиномиальное решение $y_1(z)$ степени N_1. Показатели Фробениуса особых точек $z = 0$ и $z = 1$ совпадают и равны $p_1 = 0$ и $p_2 = 2\beta + 1$. Решая уравнение (4), несложно прийти к равенству $N_1 + N_2 = 4\beta + 1$. N_2 натурально, иначе $2\beta \notin \mathbb{N}$, что противоречит полиномиальности второго решения согласно формуле (3). Учитывая неравенство $N_1 \le N_2$, получаем

$$N_{1,2} = 2\beta + \frac{1}{2} \pm \frac{\sqrt{8\beta^2+8\beta+1}}{2} \qquad (5)$$

Отсюда $N_1 < 2\beta + 1$. Следовательно, поведение в особых точках решения $y_1(z)$ характеризуется показателем степени $p_1 = 0$. Следовательно, $y_1(z)$ не обращается в нуль в точках $z = 0$ и $z = 1$.

Следствие. Нули многочлена $y_1(z)$ всегда дают конфигурацию точечных вихрей на плоскости в статическом равновесии с точечными вихрями в точках $z_0 = 0$ и $z_0 = 1$, если $y_1(z)$ удовлетворяет уравнению (2) и выполнено условие на отношение интенсивностей: $\Gamma_1 = -\beta\Gamma_2$.

Доказательство Теоремы 1. Пусть ОДУ (2) имеет два полиномиальных решения $y_1(z)$ и $y_2(z)$ степеней N_1 и N_2 соответственно. Шагами, аналогичными шагам доказательства Леммы 1, приходим к выводу, что натуральные числа N_1 и N_2 удовлетворяют уравнению (4). Далее покажем, что $\beta \in \mathbb{N}$. Используя теорему Виета для (4), находим $N_1 + N_2 = 4\beta + 1$ и $N_1 N_2 = 2\beta^2$. Отсюда следует справедливость представлений $4\beta = l$ и $2\beta^2 = k$, $l, k \in \mathbb{N}$ и соотношение $l^2 = 8k$. Следовательно, l делится нацело на 4. Учитывая, что $4\beta = l$, приходим к выводу, что β – натуральное число. $N_1 \neq N_2$, так как дискриминант (4) отличен от нуля при $\beta \in \mathbb{N}$. Докажем обратное. Пусть $\beta \in \mathbb{N}$ и уравнение (4) имеет два решения N_1 и N_2: $N_1 < N_2$, $N_1, N_2 \in \mathbb{N}$. Согласно Леммам 2 и 3, существует многочлен $y_1(z)$, удовлетворяющий уравнению (2) и не имеющий кратных нулей и нулей, совпадающих с нулями многочлена $P_1(z)$. Линейно независимые решения ОДУ (2) соотносятся согласно формуле (3). Очевидно, что $y_2(z)$ не будет многочленом, если выражение $\big(z(z-1)\big)^{2\beta}$ будет включать неизвлекаемые корни. Соотношение $\beta = 0$ определяет тривиальный случай $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0$. Если $2\beta \in \mathbb{Z}_-$, то особенности подынтегрального выражения не позволят решению $y_2(z)$ иметь полиномиальный вид. Покажем, что, однако, $y_2(z)$ является многочленом при $\beta \in \mathbb{N}$. Рассмотрим подынтегральную функцию

$$F(z) = \frac{\big(z(z-1)\big)^{2\beta}}{y_1^2(z)}$$

Пусть точка $z_0 \in \mathbb{C}$ является нулем многочлена $y_1(z)$. Разложим $F(z)$ в ряд Лорана в окрестности z_0. Помешать полиномиальности $y_2(z)$ может лишь логарифмическое слагаемое, возникающее при интегрировании. Тогда требуется установить, что вычет $F(z)$ в каждом нуле многочлена $y_1(z)$ равен нулю. По Лемме 2, z_0 – простой нуль. Тогда

$$res_{z\to z_0} F(z) = \lim_{z\to z_0} \frac{d}{dz} \frac{(z(z-1))^{2\beta}(z-z_0)^2}{y_1^2(z)} \qquad (6)$$

Учитывая известность представления $y_1(z) = \sum_{k=1}^{N_1} C_k (z-z_0)^k$ и, следовательно, коэффициентов $C_k = \frac{y_1^{(k)}(z_0)}{k!}$, придем к соотношению

$$C_2 = \frac{\beta(2z_0-1)C_1}{z_0(z_0-1)} \qquad (7)$$

Введём обозначение $g(z) = \frac{y_1(z)}{z-z_0}$. Можно показать, что, с учётом (7), уравнение (6) примет вид

$$res_{z\to z_0} F(z) = \frac{2\big(z_0^2-z_0\big)^{2\beta-1}}{g^3(z)} (\beta(2z_0-1)C_1 -$$
$$- z_0(z_0-1)C_2) = \frac{2\big(z_0^2-z_0\big)^{2\beta-1}\beta(2z_0-1)}{g^3(z)} (C_1 - C_1) = 0.$$

Следствие. Пусть $c \in \mathbb{C}$ и многочлен $y(z) = y_2(z) + cy_1(z)$ не имеет кратных нулей и нулей в точках $z_0 = 0$ и $z_0 = 1$. Тогда нули этого многочлена определяют однопараметрические семейства конфигураций точечных вихрей в статическом равновесии для групп с двумя различными значениями интенсивностей.

Разрешимость диофантова уравнения (4)

Необходимое и достаточное условие существования однопараметрических семейств конфигураций (4) представляет собой диофантово уравнение. Исследуем вопрос разрешимости уравнения (4). Количества точечных вихрей второй группы N_1, N_2, соответствующие отношению интенсивностей β, определяются соотношениями (5). Введем индекс k, с помощью которого будем нумеровать различные решения. Тогда соотношения (5) позволяют прийти к следующему уравнению:

$$2(2\beta+1)^2 - \left(N_{2,k} - N_{1,k}\right)^2 = 1, \qquad (8)$$

где β_k — модуль отношения интенсивностей двух групп точечных вихрей, а $N_{1,k}, N_{2,k}$ – соответствующие ему степени многочленов, описывающих вихри второй группы. Уравнение вида (8) принадлежит к классу отрицательных уравнений Пелля с параметром 2. Если найдётся хотя бы одно решение такого уравнения, то существуют и другие, и их бесконечно много [6]. Задача их поиска сводится к нахождению фундаментального решения:

$$\sqrt{2}(2\beta+1) + \left(N_{2,k} - N_{1,k}\right) = \left(\sqrt{2}+1\right)^{2k+1},$$

где $k \in \mathbb{N}_0$. Такое решение хорошо известно и представляет собой пару $(\beta_k, N_{2,k} - N_{1,k}) = (0,1)$. Остальные пары можно найти рекуррентно. Также можно показать, что пары $(\beta_k, N_{1,k})$ и $(\beta_k, N_{2,k})$, для которых

$$N_{(1,k),(2,k)} = 2\,\beta_k + \frac{1}{2} \pm \frac{\sqrt{8\beta_k^2+8\beta_k+1}}{2},$$

$$\beta_k = \frac{l-1}{2},\ l{:}\left(\sqrt{2}+1\right)^{2k+1} = \sqrt{2}l + m,\ \ l,m,k \in \mathbb{N}_0$$

определяют степени многочленов второй группы для резонансных систем, описывающих ровно две группы точечных вихрей в статическом равновесии.

Между множеством индексов K, нумерующих различные конфигурации, и множеством натуральных чисел $\mathbb{N}$ можно установить взаимно однозначное соответствие: $k \leftrightarrow k+1, k \in K, (k+1) \in \mathbb{N}$. Следовательно, диофантово уравнение (4) имеет счётное число решений.

Примеры конфигураций

На Рис. 1–4 приведены примеры найденных конфигураций. Точечные вихри первой группы обозначены синими кругами, точечные вихри второй группы – красными кругами. Значения параметра заданы случайным образом.



Рис.1. N=8, c=i, β=2



Рис.2. N=8, c=1, β=14

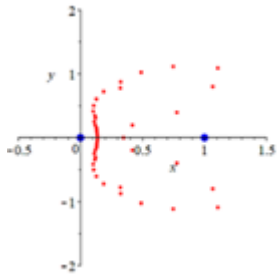


Рис.3. N=49, c=1e-15, β=8

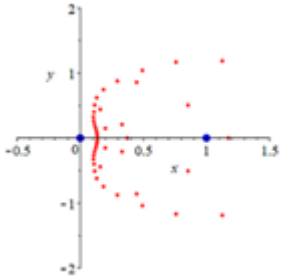


Рис. 4. N=49, c=0.9, β=84

Заключение

В работе рассматривалась задача поиска однопараметрических семейств статических конфигураций для систем точечных вихрей на плоскости с двумя различными значениями интенсивностей. Получены необходимые и достаточные условия существования таких конфигураций. Впервые обнаружена связь между отрицательным уравнением Пелля и статическими конфигурациями точечных вихрей. Показано, что решения диофантова уравнения Пелля определяют степени многочленов, описывающих конфигурации. Доказано, что множество неэквивалентных значений интенсивностей в рассматриваемой задаче счетно.

Список литературы

1. Helmholtz, H. Uber integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche denWirbelbewe-gungen entsprechen // Crelle's J. Math – 1858 – №55 – c.25–55
2. Борисов, А.В., Мамаев, И.С. Математические методы динамики вихревых структур. Москва; Ижевск – 2005 – с. 54, 127–138
3. O'Neil, K.A. Stationary Configurations of Point Vortices // Transactions of the American Mathematical Society – Vol. 302 – №2 (Aug., 1987) – pp. 383-425
4. Demina, M.V., Kudryashov, N.A. Polynomial Method for Constructing Equilibrium Configurations of Point Vortices in the Plane // Model. Anal. Inform. Sist. – 2012 – Vol. 19 – № 5 – pp. 50–55
5. Ince E.L. Ordinary differential equations // New York: Dover – 1956
6. Lagarias, J. C. On the computational complexity of determining the solvabilityor unsolvability of the equationX2−DY2=−1 // Trans. Amer. Math. Soc. – 1980 – Vol. 260 – pp. 485–508.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКТИВНОСТИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ MIMO-АГЕНТОВ

Волгина О.А.[1,2], Нечаева П.А. [1,2]
[1]Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ,
[2]Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН

Аннотация

В работе выполнен анализ современных подходов к моделированию социальных сетей, рассмотрены модели процесса распространения информации в социальной сети, описана формальная модель гетерогенного взаимодействия MIMO-агентов. Поведение агентов описывает поведение пользователей социальной сети, имеющих определенный набор параметров. В исследовании представлены результаты численного моделирования поведения сети на основе различных топологий.

Введение

Социальные сети рассматриваются как среда со сложной структурой, которая динамично меняется и с трудом поддается анализу.

Исследование направлено на определение основных закономерностей распространения активности в социальных сетях путем модернизации имитационной модели гетерогенных взаимодействий MIMO-агентов. Основным предметом изучения выступает процесс распространения наблюдаемого возбуждения в сети и выполнения агентами действий – процесс формирования и изменения мнений.

В данной работе рассматриваются основные теоретические и численные методы, разработанные для изучения процессов распространения активности в сложных сетевых системах. Показано, что такие модели позволяют моделировать и оценивать комплекс наиболее значимых и релевантных социально-психологических феноменов динамики мнений в сетях [1].

На основе анализа существующей литературы можно выделить несколько основных типов распространения активности в сетях.

Модель с порогами в различных вариациях достаточно часто выступает основой для описания взаимодействия агентов сети [2].

Модели независимых каскадов показывают, что активность узлов сети подчиняется закону масштабирования временных колебаний и эта особенность выявляется посредством использования независимой каскадной модели [3].

Теоретико-игровые модели представляют собой формальные методы анализа стратегического взаимодействия между конечным числом агентов. Такие модели основываются на информированности и взаимосвязи между агентами [4].

Сетевые модели автокорреляции используются для анализа социальных явлений, в том числе распространения идей внутри сети [5].

В моделях подражательного поведения в качестве параметров выбраны автономность агента и его зависимость от информации, получаемой в процессе наблюдения за другими агентам [1].

Проведенный анализ предметной области показал, что модель с порогами в различных вариациях часто выступает основой для описания взаимодействия агентов сети.

Формальное описание модели

Данное исследование основано описанной ранее модели гетерогенной сети [6].

Сеть MIMO-агентов – это сеть, состоящая из агентов, которые имеют множество входов (Multiple Input), а также эти агенты способны генерировать информацию нескольких типов и подавать её на множество выходов (Multiple Output). Динамика системы происходит в дискретном времени t. В каждый момент времени, агент может генерировать информацию только одного типа.

Взаимодействие агентов друг с другом в социальной сети будет описываться, как система S = <N, C, R>.

N = {1, …, N} – множество узлов сети, являющихся агентами со внутренней структурой.

Структурная матрица влияния имеет вид: $R \in R^{N\times N}$, $R = (r_{ij})$. Такая матрица задает ориентированный взвешенный граф влияний.

Каждый агент характеризуется типом активности c_i. Все возможные типы активности, описываются, как $C = \{c_1 \ldots, c_m\}$. Активности каждого агента характеризуется соответствующим стохастическим вектором длиной m, который состоит из весовых коэффициентов:

$p_i = (p_{i1},\ldots,p_{im})$, $|p|=1$.

Каждый агент находится под влиянием всех окружающих его соседей. Если агент i оказывает влияние на агента j, то в графе существует дуга (i, j).

Расчет силы влияния одного агента на другого рассчитывается на основе двух весовых коэффициентов – постоянного и переменного.

Постоянная компонента r_{ji} задается структурной матрицей и демонстрирует степень доверия агента i агенту j.

Динамическая компонента зависит от типа, по которому активирован агент j, и от распределения весовых коэффициентов агента i. Данная компонента рассчитывается по формуле:

$$\beta_{ik} = \frac{p_{ik}}{\sum_{l=1}^{m} p_{il}} \qquad (1)$$

Если агент j активен по типу c_k в момент времени t, то влияние, которое он оказывает на агента i, рассчитывается по формуле:

$$e_{jik}(t) = \beta_{ik_j}(t) \cdot r_{ji,} \qquad k_j \in \{1, \ldots, m\}, \qquad (2)$$

где $p_{ik_j}(t)$ – компонента вектора p_i, соответствующая типу активности агента j на такте t.

Формула для суммарного воздействия всех типов активности на агента i в момент времени t:

$$E_i(t) = \sum_{k=1}^{m} \beta_{jk} \sum_{j=1}^{N} r_{ji} y_{jk}(t-1), \quad (3)$$

где m – количеств типов активности, $y_{jk}(t)$ – активность агента j по типу c_k на такте t.

Формула (3) описывает воздействия, которые претерпевает агент i на каждом такте. При этом агент также учитывает предыдущее состояние сети при определении текущего суммарного воздействия.

Каждый агент имеет порог. Пороговое значение агента обозначается Th_i и характеризует его готовность к активности. Порог агента равен 0, если агент сам начинает активность. Порог реактивного агента, отвечающего на любую внешнюю активность, имеет вид:

$$Th_i < \min_{k=1,m} \beta_{ik} \cdot \min_{j=1,N} r_{ij}. \quad (4)$$

В данной модели каждый агент имеет один порог, несмотря на то что он воспринимает все типы активности. Агент активируется по типу, со стороны которого испытывает самое сильное воздействие.

В случае возникновения ситуации, при которой агент испытывает максимальное влияние сразу нескольких типов, необходим ряд дополнительных решений. Если на предыдущем такте агент был активен и в данный момент испытывает максимальное воздействие этого же типа, то тип активности сохранится прежним. Если на предыдущем такте агент не был активен, то он выбирает тип согласно заложенным в него предпочтениям. Если у нескольких типов, оказывающих максимальное воздействие, одинаковый уровень предпочтения, то агент выбирает один из них случайным образом с равной вероятностью.

В каждый момент времени t, агент может находиться в одном из m+1 состоянии: пассивном или активном по одному из m типов.

Экспериментальное исследование имитационной модели

Для данной модели было разработано несколько реализаций топологий на основе моделей графов, описывающих различные феномены взаимодействия пользователей социальных сетей, представленных в виде агентов.

Для реализации алгоритма были использованы: полный граф, модель Эрдеша-Реньи (ЭР), модели Барабаши-Альберт (БА) и модель Уоттса-Строгаца (УС).

На рисунке 1 приведены топологии графов для первой серии экспериментов. Модель имеет 2 типа активности агентов (синий и зеленый агенты активны по соответствующим типам, розовый – агент не активен.

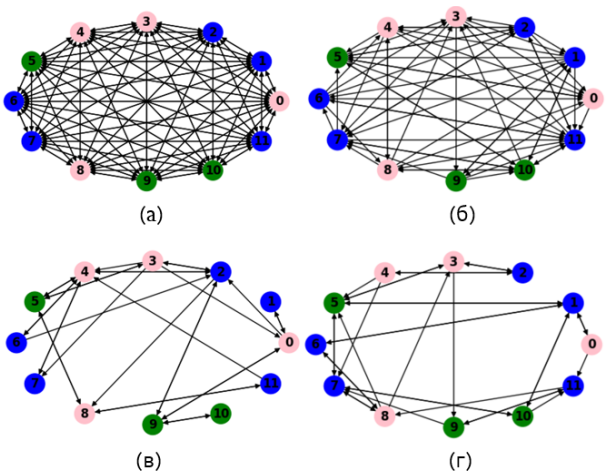


Рис.1. Топологии графов. а) Полный граф б) Модель ЭР в) Модели БА г) Модель УС

Начальные параметры заданы по следующему принципу: порог активации агентов сгенерирован согласно треугольному закону распределения; стохастические вектора сгенерированы согласно бета-распределению; начальное состояние сгенерировано согласно дискретному равномерному распределению. Для экспериментов все параметры сети и агентов фиксируются, за исключением значений порогов.

На рис. 2 приведены результаты распределения типов активности по долям. Треугольное распределение порогов агентов задано следующим образом $0 \le Th_i \le 0.7$ $M_0 = 0.2$, где M_0 – мода выборки.

Из графиков видно, что при полном графе сеть практически сразу принимает стабильное состояние по одному типу активности. То же самое происходит при модели ЭР. Модели УС и БА имеют примерно одинаковое поведение. Сеть не приходит в стабильное состояние, агенты возбуждают друг друга на каждом такте разной активностью.

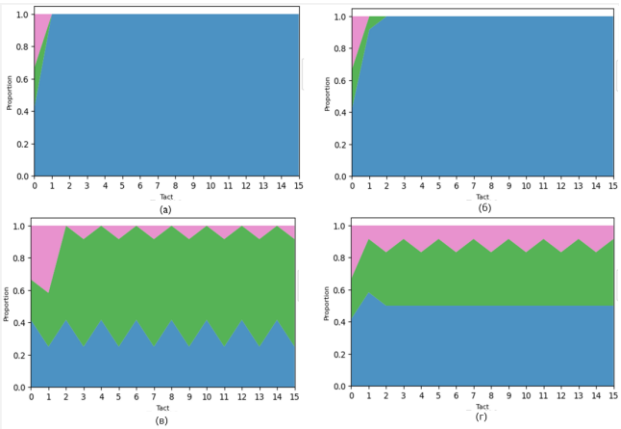


Рис.2. Результаты распределения типов активности по долям. а) Полный граф б) Модель ЭР в) Модели БА г) Модель УС

При повторном проведении экспериментов каждый раз пороги генерируются случайно. На рисунке 3 представлены графики усредненного моделирования при топологиях БА и УС.

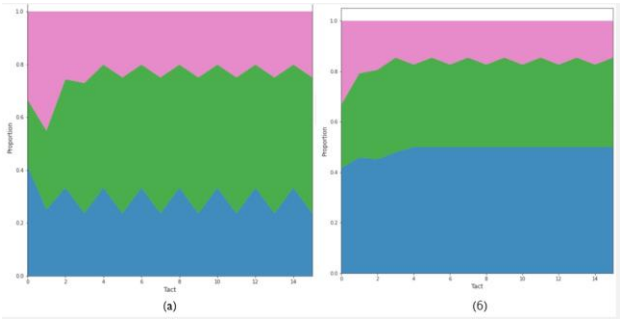


Рис.3. Усредненные значения моделирования графов а) БА и б) УС

При увеличении интервала распределения порогов и смещении моды от нуля, в сети появляется больше неактивных агентов для моделей БА и УС (Рис. 3). В данном случае пороги распределены следующим образом $0 \leq Th_i \leq 2\ M_0 = 0.5$. Эта закономерность обусловлена высокими порогами. То есть, чем выше пороги, тем сложнее активироваться каждому агенту. Если агент не активный, он не может ни на кого влиять и передавать свою активность соседям. Поэтому в сетях с малым количеством связей при высоких порогах появляется большое количество неактивных агентов.

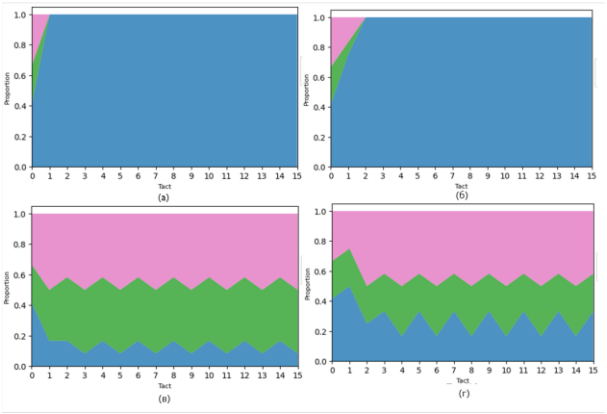


Рис.4. Результаты распределения типов активности по долям при высоких порогах. а) Полный граф б) Модель ЭР в) Модели БА г) Модель УС

На основе полученных результатов можно сделать выводы: чем больше интервал распределения порогов, тем больше неактивных агентов в сети; чем ближе мода к 0, тем меньше неактивных агентов в сети; полный граф и граф ЭР менее подвержены к повышению порогов, так как высокие пороги компенсируются большим количеством связей в графе.

Заключение

Основное внимание в данной работе было уделено вероятностным моделей временной активности пользователей в социальных сетях путем включения влияния, воспринимаемого пользователем.

Было проведено несколько серий экспериментов над сетями, построенными по четырем упомянутым моделям графов, с одинаковым количеством агентов. Предметом изучения было влияние длины интервала распределения порогов и моды выборки на количество неактивных агентов. На основе полученных экспериментальных результатов сделан вывод о том, что сети с большим количеством связей между агентами менее подвержены затуханию вследствие повышения пороговых значений.

Список литературы

1. Губанов Д. А., Петров И. В., Чхартишвили А. Г. Многомерная модель динамики мнений в социальных сетях: индексы поляризации //Проблемы управления. – 2020. – №. 3. – С. 26-33.
2. Granovetter M. Threshold models of collective behavior //American journal of sociology. – 1978. – Т. 83. – №. 6. – С. 1420-1443.
3. Gao J. et al. General threshold model for social cascades: Analysis and simulations //Proceedings of the 2016 ACM Conference on Economics and Computation. – 2016. – С. 617-634.
4. Yadati N., Narayanam R. Game theoretic models for social network analysis //Proceedings of the 20th international conference companion on World wide web. – 2011. – С. 291-292.
5. Dittrich D., Leenders R. T. A. J., Mulder J. Network autocorrelation modeling: Bayesian techniques for estimating and testing multiple network autocorrelations //Sociological Methodology. – 2020. – Т. 50. – №. 1. – С. 168-214.
6. Zhilyakova L. Y. Modeling the structure of MIMO-agents and their interactions //Russian Conference on Artificial Intelligence. – Springer, Cham, 2019. – С. 3-16.

СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ МОДЕЛЕЙ НА АНСАМБЛЯХ КОНФОРМАЦИЙ

Москаленко Р.Б.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается модель Изинга на решёточных моделях макромолекул на квадратной двумерной решётке, представленных в виде случайных блужданий без самопересечений. Цель исследования – определить точку магнитного перехода в глобулярных конформациях и сравнить её с точкой геометрического перехода клубок – глобула. В статье представлены текущие результаты и будущие планы развития проекта.

Введение

Модель Изинга [1] на случайных блужданиях без самопересечений – новая и активно изучаемая модель макромолекул. Данные модели применимы к различным видам магнитных полимеров [2],[3]. Обычно в таких моделях одновременно может меняться и геометрическая структура, и спиновая система молекулы, как например в работе [4]. Однако времена релаксации структурных степеней свободы обычно значительно больше времен релаксации маг-

нитных переменных. Поэтому в этой работе мы рассматриваем модель с замороженным беспорядком, где модель Изинга рассматривается на фиксированных конформациях.

Решёточная модель макромолекулы представляет собой случайное блуждание без самопересечений, зависящее от температуры. У конформаций наблюдается геометрический фазовый переход между двумя состояниями: клубок (развёрнутое) и глобула (плотное). На данных конформациях рассматривается модель Изинга без внешнего поля, где в каждой вершине расположен магнитный момент, и каждая вершина имеет от 1 до 4 соседей.

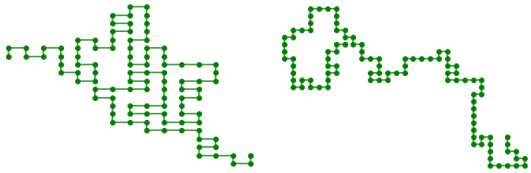


Рис.1. Пример конформаций вида клубок и глобула

Как можно увидеть на рис. 1 глобулярные конформации по структуре близки к обычной двумерной решётке (вершины расположены плотно, у большинства вершин 3 или 4 соседа), в то время как клубки ближе к одномерной (большинство вершин имеет ровно 2 соседа). можно предположить, что клубки и глобулы будут иметь магнитные свойства, схожие с данными решётками: глобулы имеют магнитный фазовый переход, в отличии от квазиодномерных конформаций вида клубок.

Зная точку фазового перехода клубок – глобула, большой интерес представляет определение точки магнитного перехода в глобулах, и их сравнение. Это и является целью данного исследования

На данный момент написан программный комплекс для генерации конформаций и расчета модели Изинга методами Монте-Карло на суперкомпьютерном кластере ВШЭ, код доступен на GitHub [5]. Получены результаты для конформаций соответствующих низким температурам. Подробнее об этом в следующих разделах

Реализация модели

В данной модели мы рассматриваем наборы конформаций равной длины при одинаковой температуре, полученные как случайные блуждания без самопересечений по алгоритму, представленному в статье [4]. На каждой из конформаций вычисляется модель Изинга, полученные энергия и намагниченности затем усредняются по конформациям.

Гамильтониан модели Изинга задаётся следующей формулой.

$$H = -J\sum_{(i,j)}\sigma_i\sigma_j$$

где (i, j) - пары соседних узлов, J - коэффициент взаимодействия

Статистическая сумма для каждой конформации вычисляется по всем возможным наборам значений спинов.

$$Z = \sum_{\{\sigma\}} e^{-H(\sigma)\beta}, \beta = \frac{1}{kT}$$

T - температура, k - постоянная Больцмана

Расчет модели Изинга происходит по алгоритму Вольфа [6] с кластерным апдейтом. Мы случайным образом инициализируем спины на конформации, делаем некоторое число шагов для отжига модели. После отжига на каждом шаге замеряем энергию и намагниченность. Усреднив полученные значения по шагам, получаем средние значения намагниченности $\langle m\rangle$ и энергии $\langle E\rangle$ для конформации.

Задача с замороженным беспорядком, соответственно по замороженным переменным усредняются физические наблюдаемые: средняя намагниченность и энергия для ансамбля вычисляется, как средняя энергия и намагниченность по конформациям.

Поиск точки перехода

Для исследования были сгенерированы по 1000 конформаций длины 250, 500, 1000, 2000.

При рассмотрении конформаций полученных при генерации оказалось, что около 35% из них не намагничиваются при низких температурах. Из-за большой разницы в намагниченности от конформации к конформации при вычислении средней намагниченности и кумулянта Биндера [7]

$$U = 1 - \frac{\langle m^4\rangle}{3\langle m^2\rangle^2}$$

мы получаем большие погрешности, что не позволяет определить точку перехода. Следующей задачей стало определить способ выделения намагничивающихся конформаций из сгенерированного набора.

Первым рассмотренным способом разделения конформаций на магнитные и немагнитные стало вычисление их радиуса инерции. Из предположения что магнитные конформации более плотные и имеют меньший радиус инерции.

$$R = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} r_i^2}$$

где r_i - расстояние от i-й вершины, до центра масс конформации

Эксперименты с этим способом показали, что таким образом можно выделить наборы конформаций разных длин так, что для них будет возможно найти точку перехода. Несмотря на это данный вариант разделения оказался неподходящим по нескольким причинам: радиус инерции нелинейно зависит от длины конформаций, некоторым значениям радиуса инерции соответствуют конформации с совершенно разными значениями намагниченности. Последняя причина особенно важна, так как она означает, что при расчётах мы либо будем оставлять не намагни-

чивающиеся конформации либо отбрасывать намагничивающиеся.

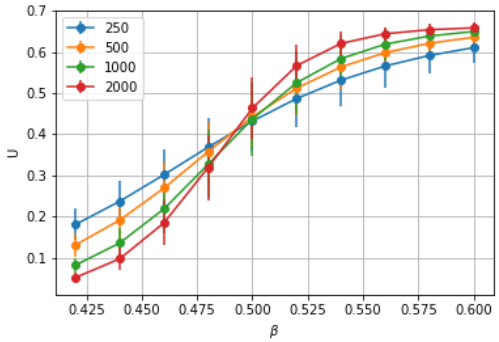


Рис.2. График кумулянтов полученный при приблизительном разделении конформаций по радиусу инерции

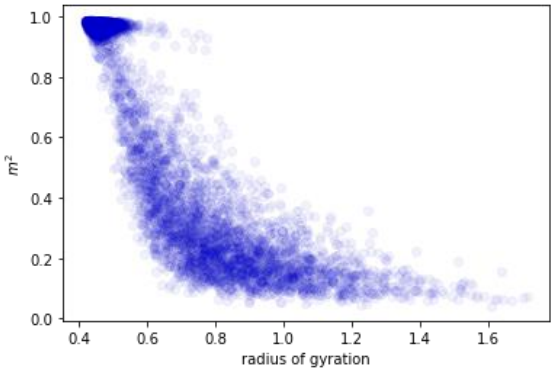


Рис.3. График значений квадрата намагниченности и радиуса инерции для конформаций длины 1000

Кластеризованные конформации

При анализе результатов разделения конформаций по радиусу инерции был построен искусственный пример немагнитной конформации с малым радиусом инерции (Рис.3).

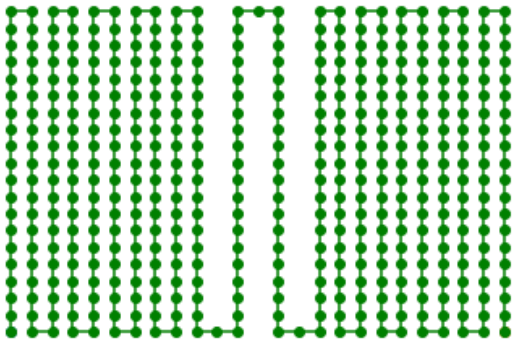


Рис.4. Пример конформации с двумя кластерами

Она состоит из двух плотных двумерных магнитных доменов (далее кластеры), соединённых одномерной цепочкой (далее мост). Из-за разделяющей цепочки данные кластеры намагничиваются почти независимо друг от друга, из-за чего значения спинов в них с вероятностью близкой к 1/2 окажутся противоположными (если в каком-то состоянии изменить направление спинов в одном из кластеров на противоположные, гамильтониан изменится на ±J, а вероятность данного состояния почти не изменится). Естественно, при увеличении числа кластеров или длин мостов намагниченность конформации становится ещё меньше.

Учитывая полученный пример, для более полного анализа конформаций на наличие кластеров была написана программа для определения кластеров и мостов.



Рис.5. Пример выделения кластеров и мостов на конформации

Данный алгоритм позволяет нам определить количество и размеры мостов и кластеров. Так же он не учитывает мосты, которые соединяют один и тот же кластер, так как они не имеют структурной значимости.

Анализ кластеров и мостов в конформациях происходит на 10000 конформациях длины 1000. Как и ожидалось, число кластеров, мостов и их размеры напрямую влияют на значение намагниченности. Особенно хорошо это видно при рассмотрении размера наибольшего кластера в конформации (рис. 6). На данный момент разделение конформаций, основанное на этом параметре, выглядит наиболее перспективным, так как в данном способе не наблюдается большого разброса значений намагниченности при равных размерах кластера, и намагниченность конформаций зависит от размера кластера почти линейно.

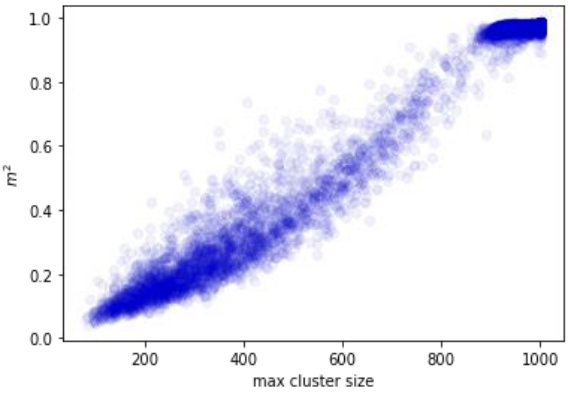


Рис.6. График значений квадрата намагниченности и размера наибольшего кластера для конформаций длины 1000

Заключение

В работе рассмотрена модель Изинга на ансамблях конформаций. На данный момент реализован метод численного исследования свойств модели. Мы рас-

смотрели модель Изинга на нескольких наборах конформаций, однако из-за разнообразия сгенерированных конформаций, мы не можем определить точку магнитного перехода. Был предложен алгоритм, позволяющий определить глобулярные конформации среди множества сгенерированных. Используя этот алгоритм, мы планируем выделить наборы глобулярных конформаций, и искать точку перехода для них.

Список литературы

1. Ernst Ising, Contribution to the Theory of Ferromagnetism, 1925.
2. F. Vonderviszt E.Bereczk-Tompa, B. Horvath, I. Szalaid, and M. Posfai. Biotemplated synthesis of magnetic filaments. Nanoscale, 9:15062, 2017.
3. J.J. Benkoski, S.E. Bowles, R.L. Jones, J.F. Douglas, J. Pyun, and A. Karim. Self-assembly of polymercoated ferromagnetic nanoparticles into mesoscopic polymer chains. J. Polym. Sci., Part B: Polym. Phys., 46:2267, 2008.
4. K. Faizullina, I. Pchelintsev, E. Burovski, Critical and geometric properties of magnetic polymers across the globule-coil transition. Phys. Rev. E 104, 054501, 2021.
5. Github репозиторий проекта https://github.com/MoskalenkoRomanBorisovich/Ising-on-random-conformation.
6. U. Wolff, Collective Monte Carlo Updating for Spin Systems. Physical Review Letters. 62 (4): 361–364, 1989.
7. K. Binder, Finite size scaling analysis of ising model block distribution functions. Zeitschrift für Physik B: Condensed Matter. 43 (2): 119–140, 1981.

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА КЛАСТЕРИЗАЦИИ MEAN SHIFT НА БАЗЕ DATA-FLOW

Борисова М.А.[1], Челнокова П.М.[2], Шумай Д.В.[2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
[1]департамент прикладной математики,
[2]департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Статья посвящена созданию и исследованию имитационной модели по реализации алгоритма кластеризации Mean Shift на базе вычислительной системы с управлением потоком данных (data-flow). Итогом работ стало доказательство линейной сложности алгоритма при реализации на data-flow базисе.

Введение

Актуальность исследования подтверждается бурным развитием такой области научных знаний как машинное обучение, где применяются различные методики и алгоритмы. При этом, как правило, требуются большие вычислительные мощности, чтобы обрабатывать большие объемы данных, что вызывает необходимость применения высокопроизводительных вычислительных систем, которые применяют распараллеливание вычислений. Например, недавно был анонсирован новый суперкомпьютер, с архитектурой, заточенной на решение задач машинного обучения [1]. Однако классическая парадигма вычислительного процесса control-flow (управлением вычислениями с помощью потока команд) изначально создавалась для последовательных вычислений, что сказывается на эффективности ее работы. Альтернативой является парадигма data-flow [2], где вычислениями управляют данные. Вычислительная система в данном случае представляет собой совокупность исполнительных устройств, обменивающихся между собой данными, оформленными в виде токенов (совокупность данных и информации, идентифицирующих их). Исполнительное устройство принимает токен (данные со служебной информацией к ним). После того, как устройство собирает полный пакет данных, оно производит операцию над ними и пересылает результат, оформленный в виде токена, другим устройствам; те, в свою очередь, отправляют результаты своей работы другим потребителям и т.д. Именно, data-flow обеспечивают максимально эффективное распараллеливание вычислений, по нескольким причинам. Во-первых, вычисления начинаются по приходе всех данных для операции – в результате нет простоя оборудования. Во-вторых, в такой вычислительной системе происходит самосинхронизация вычислений по данным, в результате, сильно уменьшается оборудование для синхронизации вычислений и увеличивается производительность. В-третьих, не происходит привязка операндов к конкретным ячейкам оперативной памяти (как в классической парадигме), что упрощает вычисления на распределенной вычислительной системе.

Новизна проводимой работы заключается в том, что для реализации алгоритма применяется data-flow вычислительная система. Предполагается, что она более эффективна для решения задач, требующих большой вычислительной мощности. Поэтому весьма актуальным становится разработка и исследование новых data-flow архитектур вычислительных систем. Наше исследование посвящено разработке архитектуры вычислительной системы на data-flow базисе для решения задач машинного обучения. В настоящей работе производится исследование архитектуры для реализации широко известного алгоритма кластеризации Mean Shift и ее имитационного моделирования. В дальнейшем будут проводиться исследования архитектур для реализации и других алгоритмов машинного обучения, например, DBSCAN или OPTICS. Главной целью исследования является определение вычислительной сложности алгоритма, дабы сделать вывод о целесообразности реализации подобных вычислительных систем на практике.

Именно data-flow парадигма и была выбрана базисом для реализации алгоритма Mean Shift, т.к. она обеспечивает эффективное распараллеливание вычислений. В качестве архитектуры вычислительной системы была выбрана объектно-атрибутная (ОА)

архитектура, относящаяся к классу data-flow [3, 4]. Настоящее исследование имеет целью разработку архитектуры и реализации имитационной модели data-flow вычислительной системы на примере решения задачи кластеризации данных Mean Shift [5] с целью выяснения характеристик data-flow вычислительной системы. Адаптация алгоритма Mean Shift для реализации на data-flow вычислительной системы была описана в[6], она и была взята для основу реализации данного алгоритма.

Алгоритм Mean Shift

Алгоритм Mean Shift (сдвиг среднего значения) относится к классу задач кластеризации по плотности (density clustering), т.е. выявления среди набора объектов, объединенных по какому-то признаку (признакам). Под кластером понимается область наибольшей плотности точек в фазовом пространстве признаков. Имеется несколько объектов (альтернатив), обладающими N характеристиками. Оценки объектов по N характеристикам могут, например, выдаваться экспертами. Среди объектов/альтернатив (множество T) необходимо выделить кластеры, т.е. скопления объектов в N-мерном фазовом пространстве признаков. Каждое такое скопление можно считать классом объектов. Множество классов обозначено обозначим C. Выделение классов осуществляется с помощью процесса кластеризации. Измерения альтернатив должны быть сведены к одной метрике (например, нормализованные значения). Метрика пространства, где расположены альтернативы, может быть любой, например, евклидово расстояние $\rho(t,t')=\sum_{i=1}^{N}\sqrt{t_i^2+(t_i')^2}$ или , например, такое: $\rho(t,t')=\sum_{i=1}^{N}|t_i^2+(t_i')^2|$, где $t,t'\in T$. Пусть M – точка в фазовом пространстве. Тогда алгоритм Mean Shift можно содержит следующие шаги:

1. Найти все точки, попадающие в окрестность точки x, вычислить центр масс всех точек M′. Окрестность точки M может, например, представлять собой N-мерный шар радиусом R.
2. Если M=M′ (M – цент масс, вычисленный на предыдущем шаге алгоритма), то завершить алгоритм; иначе M=M′.
3. Перейти к п. 3.

В итоге, вектор M хранит координаты центра кластера c_i с наибольшей концентрацией точек. Центром масс кластера c_i является точка M.

Для нахождения нескольких кластеров нами была разработана следующая методика. Каждым классом сопоставлена точка в фазовом пространстве. Множество таких точек обозначим *C*. В начале алгоритма координаты точек $c_i\in C$ выбираются так, чтобы окрестности кластеров покрывали всю анализируемую область фазового пространства (рис. 1). Во время расчета алгоритм Mean Shift независимо применяется к каждой из $c_i\in C$. Пусть дано минимальное расстояние между центрами двух кластеров *eg*. В конце вычислений окажется, что центры кластеров c_i и c_j $\rho(c_i, c_j)< eg$, где $c_i,c_j \in C$, то кластеры c_i, c_j объединяются в один. Тогда с каждым элементом $c_i\in C$ можно сопоставить определенный класс. Те объекты из множества T ($t_i\in$T), которые попали в сферу радиусом R вокруг $c_i\in C$ ($\rho(t_i, c_i)<R$), можно отнести в к классу c_i. Элементы, которые не попали ни в одну сферу, оказываются не классированными или их можно объединить в класс под названием «остальные». Если в сфере оказалось очень мало объектов, то такой объект можно удалить из множества C и все объекты отнести к неклассифицированным. Точность решения зависит от радиуса сферы окрестности *R* (чем *R* больше, тем грубее решение), от плотности первоначального расположения точек X_0, а также от параметра *eg*.

Адаптация алгоритма Mean Shift для вычисления на базе data-flow

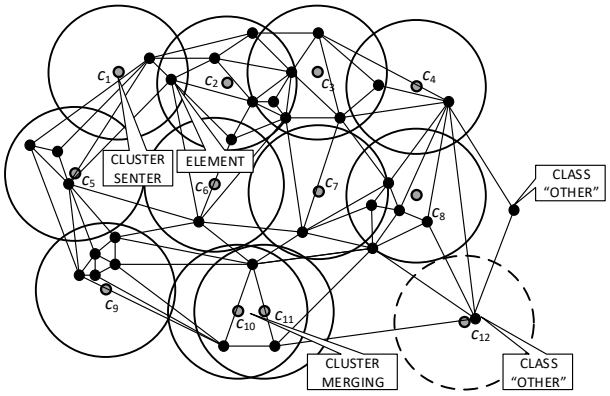


Рис.1. Реализации алгоритма Mean Shift

В [6] была предложена следующая методика реализации алгоритма (см. рис. 1). У всех классифицируемых объектов выделяются основные признаки, которые образуют n-мерное фазовое пространство. В зависимости от значения всех N признаков каждый объект располагается в определенной точке фазового пространства.

Для уменьшения трафика в вычислительной системе все точки фазового пространства объединяются в вычислительную сетку и далее обмениваться данными могут только смежные вершины. Каждой точке в фазовом пространстве сопоставляется устройство, которое хранит координату этой точки и ссылки на соседние устройства. В ОА-реализации каждому кластеру сопоставляется свое исполнительное устройство. Он хранит в себе ссылки на точки, которые попадают в кластер, а также координаты центра масс. Устройство-кластер автономно, производит вычисление своего центра масс и осуществляет перемещение по фазовому пространству.

Для управления системой исполнительных устройств необходимо еще один тип устройства – менеджер. Функциональность которого заключается в создании виртуальных устройств (если реализация вычислительной системы будет виртуальной), начальная настройка исполнительных устройств (в том числе и формирование вычислительной сетки), выдача данных для обработки.

Программная реализация имитационной модели

Далее для каждого типа исполнительных устройств был разработан алгоритм их работы и система команд для их управления. Например, для менеджера нами был разработан алгоритм генерации вычислительной сетки. Сетка строится по принципу триангуляции Делоне [7], согласно которому для любого треугольника все точки из S за исключением точек, являющихся его вершинами, лежат вне окружности, описанной вокруг треугольника.

Опишем разработанный нами алгоритм, с помощью которого можно произвести триангуляцию Делоне на множество точек фазового пространства. На вход алгоритма поступает множество координат точек фазового пространства; координата каждой точки описывается с помощью вектора из N элементов. Далее в описание точки фазового пространства, будем включать не только ее координаты, но и данные, необходимые для построения вычислительной сетки. Итак, узел является тройкой:

V={V,N,NN}, где

V – вектор координаты точки в фазовом пространстве;

N – множество близлежащих соседей;

NN – множество близлежащих узлов, не являющихся соседями (множество необходимо только для построения вычислительной сетки).

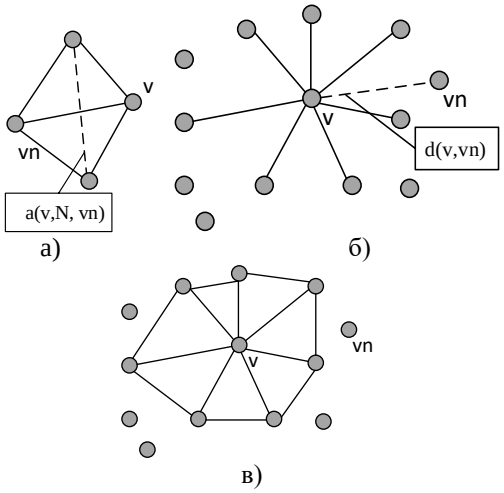


Рис.2. Процесс синтеза вычислительной сетки

Введем функцию $d(v_1,v_2)$ ($v_1,v_2 \in V$), возвращающая расстояние между точками v_1,v_2 в фазовом пространстве. Введем функцию *a*(v, N, vn), которая возвращает длину соединительной линии, между двумя узлами, принадлежащими множеству N(v), ограничивающие сектор, в который попадает новая vn (рис. 1 а). В том случае, если угол сектора больше или равен 180^0, то функция *a* возвращает ∞. Все точки, принадлежащие N, образуют замкнутый периметр вокруг точки *v* (рис. 1 в). Функция *mnd*(*N*) возвращает максимальную длину между двумя близлежащими точками периметра вокруг точки соседей точки *v*. В том случае, если |N|<2 или когда один из секторов образует тупой угол, *mnd*(*N*)= ∞.

Алгоритм построения (рисунок 3 в) применяется для ∀v∈V (вначале N(v)=∅, NN(v)=∅):

1. Если V=∅, то соединить каждую точку из множества N отрезками с двумя близлежащими точками на периметре, соединить каждую точку из множества N с точкой v. Завершить алгоритм.
2. Выбрать вершину *nv*∈*V*, близлежащую к точке v (nv∈V, nv∉N, nv∉NN) (рис. 1б).
3. Если *d*(*v*,*nv*)> *mnd*(*N*), то соединить каждую точку из множества N отрезками с двумя близлежащими точками на периметре, соединить каждую точку из множества N с точкой v. Завершить алгоритм. Иначе перейти к п. 1.
4. Если *d*(*v*,*nv*) < a(v,N, vn), то N=N∪nv, V=V-nv, перейти к п. 1.

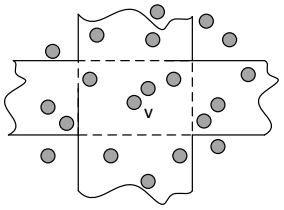


Рис.3. Определение множества близлежащих вершин

Моделирование вычислительной системы



Рис.4. Результаты моделирования

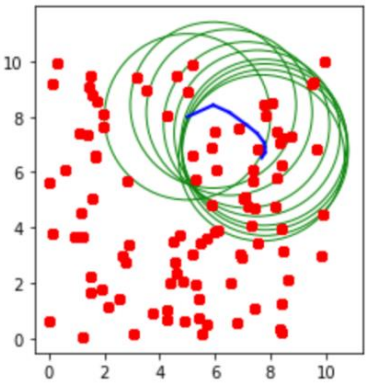


Рис.5. Процесс миграции кластера

Далее программно реализованная модель была интегрирована в среду ОА программирования и моделирования, где имеются средства, обеспечивающие процесс имитации вычислительного процесса, происходящего на компьютере с общей памятью. Выяснилось, что вычислительная и емкостная сложности [8] программы линейные, что видно из графи-

ков на рис. 4. На первом графике проиллюстрировано количество итераций для поиска максимума концентрации точек, т.е. сколько шагов происходило во время выполнения алгоритма, прежде, чем был найден экстремум. На втором графике представлено количество опрошенных точек фазового пространства. По оси абсцисс отложено анализируемое количество точек фазового пространства. На рис. 5 представлен результат моделирования в графическом виде: отмечены точки фазового пространства, а также все фазы перемещения кластера до нахождения им области наибольшей концентрации точек. Синим цветом обозначено перемещение центра кластера.

Заключение

В ходе работ была разработана архитектура вычислительной системы для решения задачи Mean Shift: выделены типы устройств для решения данной задачи, разработаны команды для управления устройствами и алгоритмы их работы. Также был разработан и программно реализован алгоритм триангуляции Делоне. Моделирование вычислительной системы на задаче кластеризации методом Mean Shift показало линейную сложность алгоритма.

Проведенное имитационное моделирование, во-первых, показывает, что сложность алгоритмов генерации вычислительной сетки и поиска кластера линейны. В результате, было доказано, что исследуемая архитектура может быть успешно применена на практике, т.к. обладает хорошим масштабированием, т.е. увеличение размерности данных вызовет линейный рост требуемых вычислительных ресурсов (память и машинное время). Таким образом, исследование показало перспективность реализации подобных систем на практике.

Во-вторых, в ходе исследования была разработана архитектура вычислительной системы для реализации алгоритма Mean shift: типы исполнительных устройств, система команд, методы их взаимодействия. Архитектура может быть применена для реализации вычислений по данному алгоритму как программным, так и аппаратным способом (например, на базе ПЛИС (FPGA)). В первом случае исполнительные устройства являются виртуальными устройствами (т.е. представляют собой программу), во втором случае устройства реальные, реализованные, например, на базе ПЛИС. В ходе исследования были разработаны алгоритмы работы системы команд для исполнительных устройств и системы команд для них. Для реализации вычислительной системы необходимо описать логику работы устройств на языке программирования (для программной реализации) или на языке описания аппаратуры для интегральных схем, например, Verilog или VHDL (при реализации на ПЛИС).

Областями применения результатов исследования являются:

- Системы искусственного интеллекта;
- Распознавание образов в видеопотоке;
- Техническое зрение.

Список литературы

1. Fueling AI for good with supercomputing URL: https://www.hpe.com/us/en/newsroom/blog-post/2022/05/fueling-ai-for-good-with-supercomputing.html
2. Milutinovic V, Trifunovic N, Salom J, Giorgi R. The guide to dataflow supercomputing. USA: Springer; 2015. https://proxylibrary.hse.ru:2084/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-16229-4.pdf
3. Салибекян С.М., Панфилов П.Б. Объектно-атрибутная архитектура – новый подход к созданию объектных систем // Информационные технологии. 2012, №2 стр. 8-14
4. Салибекян С. М., Панфилов П. Б. Вопросы автоматно-сетевого моделирования вычислительных систем с управлением потоком данных // Информационные технологии и вычислительные системы. 2015. № 1. С. 3-9.
5. Richard Szeliski. Computer Vision, Algorithms and Applications. — Springer, 2011.
6. Salibekyan S. M., Vishnekov A., Ivanova E. Methodology of Mean Shift Clustering Algorithm Implementation Based on Dataflow Computer, in: Proceedings of 2019 XVI International Symposium "Problems of Redundancy in Information and Control Systems" (REDUNDANCY). IEEE, 2019. P. 177-180 DOI 10.1109/REDUNDANCY48165.2019.9003312
7. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. - Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002.- 128 с. Левин, Б. А. Моделирование рельефа на основе триангуляции Делоне / Б. А. Левин, И. Н. Розенберг, В. Я. Цветков // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – Т. 2. – № 1(5). – С. 3-15.
8. Кормен, Томас Х. и др. Алгоритмы: построение а анализ, 3-е изд.: Пер. с англ. М – ООО «И.Д. Вильямс», 2013 – 1328 с.

ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КРУГОВОЙ ОГРАНИЧЕННОЙ ЗАДАЧИ ТРЕХ ТЕЛ

Гафурова Д.Р.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
департамент прикладной математики
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Работа посвящена построению и исследованию периодических орбит вокруг точек либрации в круговой ограниченной задаче трех тел. Данная задача не имеет аналитического решения, а известные численные методы позволяют строить орбиты лишь в ограниченной области вокруг точек либрации. В работе предлагается численный подход, позволяющий выйти за границу этой области при построении периодических семейств орбит вокруг точек либрации. Реализация этого подхода позволила рассчитать семейство гало орбит и получаемых из них бифуркациями типа удвоение и утроение периода семейств.

Построены семейства периодических орбит около точек либрации L1 и L2 в системе Земля-Луна.

Введение

Круговая ограниченная задача трех тел [1] изучает движение малого тела, взаимодействующего в соответствии с законом всемирного тяготения с двумя движущимися по круговым орбитам большими телами. Данная задача служит фундаментальным базисом для баллистического проектирования космических миссий. Круговая ограниченная задача трех тел имеет пять стационарных решений, называемых точками либрации, вокруг которых существуют различные семейства периодических и квазипериодических орбит. К основным семействам периодических орбит около точек либрации относятся гало орбиты, горизонтальные и вертикальные орбиты Ляпунова и аксиальные орбиты. В статье [2] рассматривается концепция динамического каталога периодических орбит в системе Земля-Луна, который может использоваться для проектирования траекторий в реальной системе.

Для построения периодических орбит вокруг точек либрации используются численные методы. Например, в работе [3] для расчета семейств гало-орбит в круговой ограниченной задачи трех тел применяется метод дифференциальных коррекций. В работах [4-6] представлены численные методы, позволяющие рассчитывать квазипериодические орбиты вокруг точек либрации. Развитие этого подхода позволяет рассчитывать и периодические орбиты [7], однако область его применимости ограничена некоторой окрестностью точки либрации.

В данной работе разрабатывается метод расчета семейств периодических орбит, в основе которого лежит использование сечения Пуанкаре известной орбиты для построения следующей орбиты семейства. Такой подход позволяет выйти за пределы ограничений, описанных в [7], и рассчитывать орбиты большей амплитуды.

Математическая модель круговой ограниченной задачи трех тел

Для описания движения материальной точки в круговой ограниченной задаче трех тел вводится вращающаяся система координат $Oxyz$. Началом координат служит барицентр двух массивных тел. Ось x параллельна прямой, соединяющей два массивных тела, и направлена в сторону меньшего из двух больших тел. Ось y ортогональна оси x и принадлежит плоскости, в которой расположены орбиты массивных тел. Ось z направлена так, чтобы орты полученного базиса составляли правую тройку векторов.

Движение материальной точки в этой системе описывается следующими уравнениями

$$\begin{cases} \ddot{x} = 2\dot{y} + x - \dfrac{(1-\mu)(x+\mu)}{r_1^3} - \dfrac{\mu(x-1+\mu)}{r_2^3} \\ \ddot{y} = -2\dot{x} + y - \dfrac{(1-\mu)y}{r_1^3} - \dfrac{\mu y}{r_2^3} \\ \ddot{z} = -\dfrac{(1-\mu)z}{r_1^3} - \dfrac{\mu z}{r_2^3}, \end{cases}$$

где $r_1 = \sqrt{(x+\mu)^2 + y^2 + z^2}$, $r_2 = \sqrt{(x-1+\mu)^2 + y^2 + z^2}$, $\mu = \frac{m_2}{m_1+m_2}$, m_1 и m_2 – массы массивных тел, причем $m_1 > m_2$.

Описание алгоритма для поиска начальных условий периодических орбит

Механическое состояние материальной точки описывается шестимерным вектором (x, y, z, v_x, v_y, v_z). Периодические решения круговой ограниченной задачи трех тел обладают симметрией относительно пространства (y, v_x, v_z), поэтому можно считать, что в начальный момент времени вектор состояния принадлежит плоскости $y = 0$, а скорость направлена ортогонально этой плоскости. Пусть $X_0 = (x_0, 0, z_0, 0, v_0, 0)$ – начальное условие известной периодической орбиты. Задача алгоритма – найти начальное условие $X_1 = (x_1, 0, z_1, 0, v_1, 0)$ следующей орбиты из семейства. Поиск X_1 осуществляется на фиксированном расстоянии r от известного начального условия, то есть $X_1 = (x_0 + r\cos\alpha, 0, z_0 + r\sin\alpha, 0, v_1, 0)$.

Сечение Пуанкаре орбиты некоторой плоскостью – это совокупность точек, в которых она пересекает эту плоскость. Для квазипериодических орбит сечение Пуанкаре представляет собой непрерывную кривую или набор непрерывных кривых. Для периодических орбит сечение Пуанкаре состоит из конечного набора точек. Например, сечение Пуанкаре гало орбит плоскостью $y = 0$ включает в себя две точки.

Алгоритм предусматривает поиск начальной скорости v_1 для любого фиксированного значения α. Для этого используется сечение Пуанкаре известной периодической орбиты. Известны семейства периодических орбит, которые представляют собой гладкие семейства. Например, к ним относится семейство гало орбит, которое было рассчитано в работе [3]. За счет этой гладкости сечения Пуанкаре орбит, у которых начальные условия находятся на небольшом расстоянии r, близки друг к другу.

Процесс нахождения скорости для орбиты с начальным состоянием $X_1 = (x_0 + r\cos\alpha, 0,\ z_0 + r\sin\alpha, 0, v_1, 0)^T$ состоит из n шагов, где n – число точек, входящих в сечение Пуанкаре плоскостью $y = 0$ орбит из рассчитываемого семейства. На -ом шаге $(i = 1, \dots, n)$ идет поиск скорости $v_1^{(i)}$, которая минимизирует расстояние между i-ыми точками пересечения плоскости $y = 0$ известной периодической орбиты и орбиты, соответствующей начальному состоянию $X_1 = \left(x_0 + r\cos\alpha, 0,\ z_0 + r\sin\alpha, 0, v_1^{(i)}, 0\right)$. На каждом шаге в качестве первого приближения

скорости $v_1^{(i)}$ используется скорость $v_1^{(i-1)}$, $\left(v^{(0)} = v_0\right)$.

Поиск следующей орбиты семейства осуществляется путем минимизации функции $f(\alpha, v_1) = ||X_1^n - X_1||$, которая по заданному углу α и скорости v_1 рассчитывает норму расстояния между начальным состоянием
$X_1 = (x_0 + r\cos\alpha, 0, z_0 + r\sin\alpha, 0, v_1, 0)$ текущей орбиты и состоянием через период. Скорость v_1 рассчитывается отдельно для каждого значения α по сечению Пуанкаре известной орбиты.

На рисунке 1 представлена иллюстрация к процессу нахождения начальной скорости на примере двухпериодической орбиты. Орбиты из этого семейства пересекают плоскость $y = 0$ за 1 период 4 раза. Красным цветом изображена проекция известной периодической орбиты на плоскость $z = 0$. Синим цветом показана проекция на ту же плоскость новой орбиты. На первом шаге идет поиск такой скорости, при которой расстояние между первыми точками пересечения плоскостью $y = 0$ новой орбиты и известной периодической орбиты является минимальным. Аналогично, на втором шаге производится поиск начальной скорости, при которой вторые точки пересечения с плоскостью $y = 0$ этих орбит близки друг к другу. Всего для нахождения начальной скорости выполняется 4 шага. Точки -го пересечения известной орбиты с плоскостью $y = 0$, отмечены на рисунке красным цветом (цифрой обозначен номер шага).

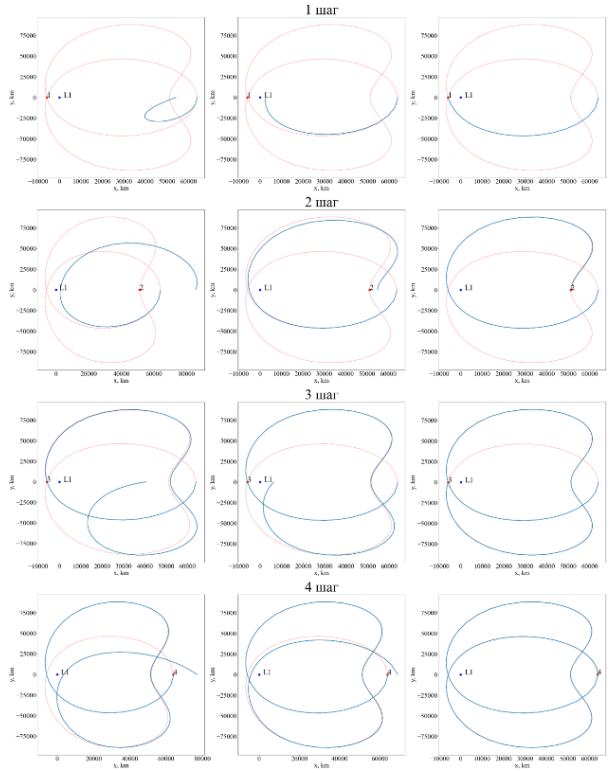


Рис.1. Иллюстрация к алгоритму нахождения начальной скорости по сечению Пуанкаре известной периодической орбиты

Множители Флоке

Каждому решению системы дифференциальных уравнений можно сопоставить матрицу перехода $\mathbf{\Phi}(t, t_0)$, линейно связывающую изменение вектора состояния в начальный $\boldsymbol{\delta\bar{x}}(t_0)$ и какой-то последующий момент времени $\boldsymbol{\delta\bar{x}}(t)$: $\boldsymbol{\delta\bar{x}}(t) = \mathbf{\Phi}(t, t_0)\boldsymbol{\delta\bar{x}}(t_0)$. Матрица монодромии — это матрица перехода, рассчитанная для момента времени равному минимальному положительному периоду. Особое значение имеют собственные значения этой матрицы – множители Флоке, по которым можно определить устойчивость решения и найти точки бифуркаций. Если множители Флоке для некоторого решения являются корнями уравнения $\lambda^n = 1$, то в этой точке происходит бифуркация типа умножение периода на n, при которой образуется новое семейство периодических решений.

Расчет периодических орбит около точек либрации L1 и L2

Предложенный метод был использован для расчета семейства гало орбит около точек либрации L1 и L2 на языке программирования Python. Реализация основана на описанном алгоритме и использует метод прямого интегрирования 8-го порядка, включенный в программный модуль Orbipy[8]. Для минимизации скалярных функций использовался метод Симпсона.

На рис. 2 представлено семейство гало-орбит вокруг точки либрации L2 системы Земля-Луна, рассчитанное с помощью разработанного метода.

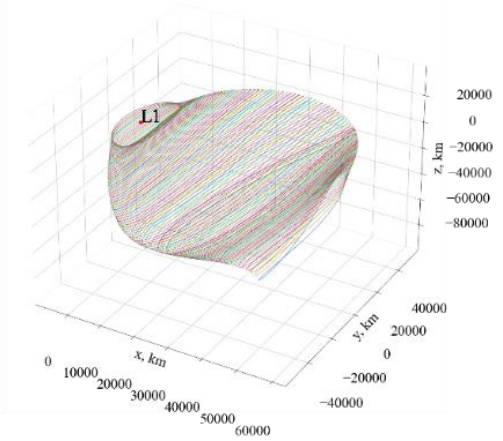


Рис.2. Гало орбиты вокруг точки либрации L1 системы Земля-Луна

При помощи программного модуля Orbipy для рассчитанных орбит были найдены матрицы монодромии и их собственные значения, множители Флоке. Множители Флоке – комплексные числа, и для исследования бифуркаций удобно представлять их в показательной форме. Каждой орбите можно сопоставить 6 множителей Флоке, а значит и 6 показателей множителей Флоке. На рисунке 3 (а) для каждой орбиты из семейства гало орбит около точки либрации L1 отмечен максимальный показатель множителей Флоке. На рисунке 3(б) изображены начальные условия этого семейства орбит. Красная линяя соот-

ветствует уровню π, зеленая – $\frac{2\pi}{3}$, что отвечает бифуркациям типа удвоение и утроение периода. По оси x отложена длина дуги кривой начальных условий между Луной и начальными координатами орбиты.

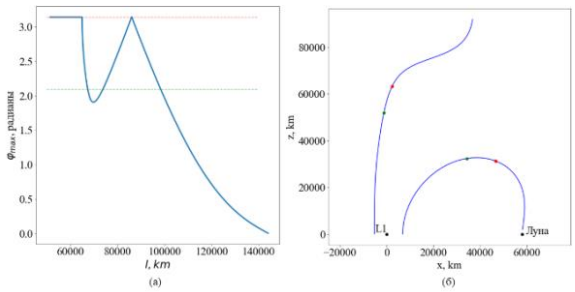


Рис.3(а-б). Максимальный показатель множителей Флоке для гало орбит около точки либрации L1 в системе Земля-Луна и начальные условия этого семейства орбит

С помощью предложенного метода были рассчитаны семейства двухпериодических и трехпериодических орбит около точки либрации L1 (рис. 4, 5). Эти семейтсва являются бифуркациями гало орбит типа удвоение и утроение периода. Анализ множителей Флоке позволил найти начальные условия гало орбит, в которых происходят эти бифуркации.

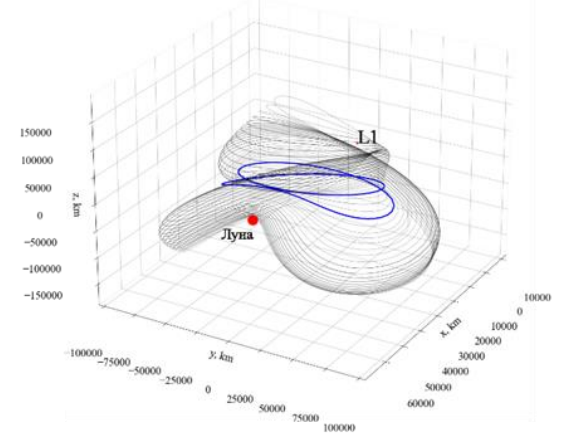


Рис.4. Двухпериодические орбиты вокруг точки либрации L_1 системы Земля-Луна

Сечение Пуанкаре двухпериодических орбит плоскостью $y = 0$ состоит из 4 точек, поэтому процесс нахождения начальной скорости для орбит из этого семейства выполнялся в 4 шага. Трёхпериодические орбиты пересекают плоскость $y = 0$ за период 6 раз и процесс расчета начальной скорости этих орбит включал в себя 6 шагов.

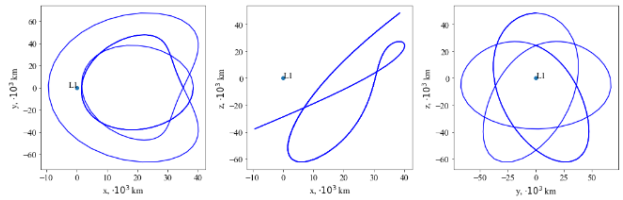


Рис.5. Трёхпериодические орбиты вокруг точки либрации L_1 системы Земля-Луна

На рисунке 6 представлены начальные условия периодических орбит, рассчитанных предложенным методом. Синяя и оранжевая линия отвечают орбитам из семейства гало орбит около точки либрации L1 в системе Земля-Луна, красная и зеленая линия – двухпериодиеческим орбитам, а фиолетовая линия – трёхпериодическим орбитам.

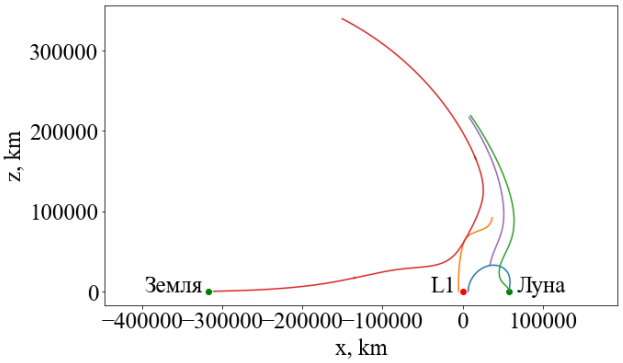


Рис.6. Начальные условия периодических орбит около точки либрации L1 в системе Земля-Луна

Заключение

В работе предложен метод для построения семейств периодических орбит вокруг точек либрации в круговой ограниченной задаче трех тел. С помощью данного метода построены семейства гало-орбит, семейства двухпериодических и трёхпериодических орбит вокруг точек L1 и L2 в системе Земля-Луна. Определение начальной орбиты бифурцирующих семейств осуществлялось посредством анализа мультипликаторов Флоке семейства гало-орбит.

Разработанный метод будет применен для построения орбит, являющихся бифуркациями семейства гало орбит типа умножение периода на $n > 3$, и для других семейств периодических орбит круговой ограниченной задачи трех тел.

Список литературы

1. Мюррей К., Дермотт С. Динамика Солнечной системы / Пер. с англ. под ред. И. И. Шевченко. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 588 с. - ISBN 978-5-9221-1121-8.

2. Folta D. C. et al. An Earth–Moon system trajectory design reference catalog //Acta Astronautica. – 2015. – Т. 110. – С. 341-353.

3. Howell K. C. Three-dimensional, periodic,‘halo’orbits //Celestial mechanics. – 1984. – Т. 32. – №. 1. – С. 53-71.

4. Zhang H., Li S. A general method for the generation and extension of collinear libration point orbits //Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy. – 2016. – Т. 126. – №. 4. – С. 339-367.

5. Hechler M., Cobos J. Herschel, Planck and Gaia orbit design //Libration Point Orbits and Applications. – 2003. – С. 115-135.

6. Аксенов С.А., Бобер С.А., Расчет и исследование ограниченных орбит вокруг точки либрации L2 системы Солнце-Земля // Космические исследования. 2018. Т. 56. № 2. С. 160-167.

7. Aksenov S., Bober S., Guskova M. Mapping of initial conditions for libration point orbits //Advances in Space Research. – 2021. – Т. 68. – №. 6. – С. 2501-2514.

8. Bober Stanislav, Aksenov Sergey, & Guskova Mariia. (2020, February 17). OrbiPy (Version 0.2.4). Zenodo. http://doi.org/10.5281/zenodo.4301584

СЛУЧАЙНЫЕ БЛУЖДАНИЯ НА РЕШЕТКАХ

Михайлова С.О., Петухова Е.С.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Случайные блуждания — это стохастический процесс, описывающий последовательность случайных шагов в каком-либо математическом пространстве. С помощью данной модели можно описать множество процессов и алгоритмов в различных сферах наук. В данной работе методом Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна построено асимптотическое решение задачи о случайном блуждании в терминах вероятности попадания частицы в i-ую точку на целочисленной прямой в k-й момент времени и исследована точность полученного решения.

Введение

Модель случайных блужданий имеет широкое практическое применение. Например, в эконометрике используется при моделировании цен на фондовом рынке, в генетике — при моделировании дрейфа генов, в физике — для описания диффузионных процессов и в других науках.

Согласно [1] случайное блуждание часто описывается на основе вероятности первого попадания частицы в фиксированную точку пространства. Также и в [2] рассматривается вероятность первого попадания в точку, практическая значимость данной вероятности и способы ее нахождения. Мы предлагаем в виде решения задачи о случайных блужданиях рассмотреть вероятность нахождения частицы в точке i в момент времени k. Предложенная нами вероятность изучена хуже, для больших временных интервалов ее вычисления сложны, а в -мерных пространствах, где $n > 3$, невозможны. Поэтому необходимо уметь получать приближенные решения и оценивать их точность. Данная вероятность будет более релевантна для задач, где необходимо найти блуждающую частицу в любой момент времени, а не только понять, насколько вероятно она попадет в выбранную точку в первый раз.

Целью данной работы является построение фундаментального решения задачи Коши для продолженного уравнения и нахождение точности асимптотического решения задачи о случайном блуждании по решетке. Построение фундаментального решения для дифференциальных уравнений хорошо изучено и описано в [3], поэтому углубляться в нашей работе в детали построения мы не будем, а воспользуемся готовыми результатами.

Асимптотическое решение строится с помощью неосциллирующего метода Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна (далее ВКБ) в форме, пригодной для исследования псевдодифференциальных уравнений параболического типа. Для оценки точности построенного решения используются свойства непрерывных функций и уравнения Гамильтона-Якоби.

Постановка задачи

Рассмотрим случайное блуждание частицы по одномерной решетке (дискретной подгруппе $\mathbb{R}^1$) с дискретным временем, где h — фиксированная длина -го направленного шага блуждания; а сам k-й направленный шаг блуждания $x_k = -h$, если частица делает шаг влево, и $x_k = h$, если частица делает шаг вправо. Обозначим за S_k координату частицы на -м шаге блуждания. Очевидно, что $\sum_{i=0}^{n} x_i = S_k$. Обозначим через U_k^n вероятность нахождения частицы, выпущенной в нулевой момент времени из положения $S_0 = 0$, в положении S_k в момент времени n:

$$P\left(\sum_{i=0}^{n} x_i = S_k\right) = U_k^n. \tag{1}$$

Таким образом, простейшее случайное блуждание частицы, которая может на каждом шаге перейти в соседние состояния с равной вероятностью, можно переписать в виде:

$$P\left(\sum_{i=0}^{n+1} x_i = S_k\right) = \frac{1}{2}\left(P\left(\sum_{i=0}^{n} x_i = S_{k-1}\right) + P\left(\sum_{i=0}^{n} x_i = S_{k+1}\right)\right)$$

$$U_k^{n+1} = \frac{1}{2}\left(U_{k-1}^n + U_{k+1}^n\right) \tag{2}$$

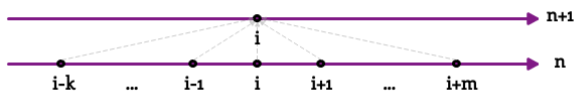


Рис.5. Случайное блуждание по целочисленной прямой

Аналогично блуждание по одномерной решетке (дискретной подгруппе $\mathbb{R}^1$) с конечным числом шагов (вправо и влево) с некоторой вероятностью (Рис. 1) описывается разностным уравнением вида:

$$U_i^{n+1} = a_{i,i-k}U_{i-k}^n + \cdots + a_{i,i+m}U_{i+m}^n, \tag{3}$$

где $a_{i,j}$ вероятность перехода из состояния j в состояние i, такая что

$$a_{i,j} \geq 0, \sum_{j=i-k}^{i+m} a_{i,j} = 1;$$

величины $a_{i,j}, U_i^0$ заданы.

Параметры в уравнении (3) могут быть более общими.

Для блуждания по дискретной подгруппе $\mathbb{R}^n$ будет верно равенство:

$$U_{\vec{\imath}}^{n+1} = a_{\vec{\imath},\vec{\imath}-\vec{k}} U_{\vec{\imath}-\vec{k}}^n + \cdots + a_{\vec{\imath},\vec{\imath}+\vec{m}} U_{\vec{\imath}+\vec{m}}^n, \tag{4}$$

где $a_{\vec{\imath},\vec{\jmath}}$ — вероятность перехода из состояния $\vec{\jmath} = (j_1, \dots, j_n)$ в состояние $\vec{\imath} = (i_1, \dots, i_n)$, такая что

$$a_{\vec{\imath},\vec{\jmath}} \geq 0, \sum_{j_1=i_1-k_1}^{i_1+m_1} \dots \sum_{j_n=i_n-k_n}^{i_n+m_n} a_{\vec{\imath},\vec{\jmath}} = 1;$$

величины $a_{\vec{\imath},\vec{\jmath}}, U_{\vec{\imath}}^0$ заданы.

Асимптотическое решение задачи о случайном блуждании частицы по дискретной подгруппе $\mathbb{R}^{\mathbb{1}}$ с конечным числом шагов (вправо и влево) с некоторой вероятностью удовлетворяет уравнению с учетом невязки F_i^n:

$$\widehat{U}_i^{n+1} = a_{i,i-k}\widehat{U}_{i-k}^n + \cdots + a_{i,i+m}\widehat{U}_{i+m}^n + F_i^n \tag{5}$$

Для точного решения $F_i^n = 0$, но, так как мы предполагаем построение приближенного решения, удовлетворяющего уравнению с малой невязкой, необходимо рассматривать общее решение (3) при $F_i^n \not\equiv 0$.

Далее мы будем рассматривать одномерную задачу о случайном блуждании на основе техники псевдодифференциальных уравнений.

Мы заменяем функцию дискретного аргумента U_i^n функцией $U(x,t)$, которая удовлетворяет условию $U_i^n = U(n\tau,\ ih)$, где τ — длина временного шага, а уравнение на решетке заменяется псевдодифференциальным уравнением:

$$e^{\tau\frac{\partial}{\partial t}} U = \left(\sum_{j=-k}^{m} a_j(x) e^{jh\frac{\partial}{\partial x}} \right) U, \tag{6}$$

где $e^{kh\frac{\partial}{\partial x}}(f) = f(x+kh)$ — оператор сдвига. Предполагая, что $a_j(ih) = a_{i,j}, U(ih,0) = U_i^0$, и рассматривая псевдодифференциальное уравнение в точке $t_n = n\tau, x_i = ih$, получим уравнение (3).

С учетом невязки:

$$e^{\tau\frac{\partial}{\partial t}} \widehat{U} = \left(\sum_{j=-k}^{m} a_j(x) e^{jh\frac{\partial}{\partial x}} \right) \widehat{U} + F(x,t), \tag{7}$$

где дискретная функция F_i^n заменяется на $F(x,t)$, такой, что $F_i^n = F(n\tau, ih)$.

Предполагая, что $a_j(ih) = a_{i,j}, U_{t=0} = U_i^0$, и рассматривая псевдодифференциальное уравнение в точках $t_n = n\tau, x_i = ih$, мы получаем уравнение (5).

Решение задачи (5) удовлетворяет оценке

$$\left\| \widehat{U}\big((n+1)\tau\big) \right\|_c \leq \left\| \widehat{U}(0) \right\|_c + \sum_{k=0}^{n} \| F(k\tau) \|_c . \tag{8}$$

Оценка асимптотического решения

Асимптотическое решение задачи Коши для уравнения (7) можно построить в виде ВКБ: $U_{as} = e^{\frac{-S(x,t)}{h}} \varphi(x,t)$.

Для простоты мы рассмотрим равновероятное блуждание с шагом в соседние положения (2).

При прочих равных возьмём $\tau = h$. Тогда функция $S(x,t)$ удовлетворяет уравнению Гамильтона-Якоби: $e^{-S_t} = \frac{1}{2}(e^{S_x} + e^{-S_x})$, полученного при подстановке асимптотического решения в уравнение (6) и приравнивании коэффициентов при h^0.

Для оценки точности построенного асимптотического решения, рассмотрим его разность с точным решением U. Оказалось, что $U_i^n = U_{as\,i}^n + O(h)$, но в окрестности $S(x,t) \gg h \cdot const$ функция $U_{as} = e^{-\frac{S}{h}} \ll O(h)$. А значит, асимптотическое решение не дает представления о точном решении. Поэтому для учета экспоненциального поведения рассматривается разность $e^{\frac{S}{h}}(U - U_{as})$.

Теорема 1. Пусть $S(x,t) \in C^\infty$, $S_{xx} > 0$, при $t \in [0,T]$ и $F_i^n = O(h^2)e^{-\frac{S}{h}}$, тогда справедлива следующая оценка:

$$\max_i \left| e^{\frac{S}{h}}(U - U_{as})_i^{n+1} \right| \leq Che^{-\frac{T}{2}\min_{x,t} S_{xx} f(S_x)},$$

где $0 < f(S_x) < const$, $f(S_x) = \left(\frac{1}{ch\, S_x}\right)^2$ — для симметричного блуждания.

Построение фундаментального решения

В случае постоянных коэффициентов фундаментальное решение задачи Коши для псевдодифференциального уравнения (6), описывающего блуждание по решетке, легко строится с использованием преобразования Фурье.

Изначальная дискретная функция $U_i^0 = 0$ для любых i, кроме одной точки $S_0 = 0$, из которой мы выпускаем частицу в начальный момент времени. Тогда одна из возможных непрерывных функций, которые можно рассмотреть, как начальное условие задачи Коши (2) имеет вид:

$$U^0(x) = \frac{sin\left(\frac{\pi x}{h}\right)}{\frac{\pi x}{h}}. \tag{9}$$

Сужение на сетку функции $U^0(x)$ имеет вид:

$$U^0(kh) = \begin{cases} 0, & k \neq 0; \\ 1, & k = 0. \end{cases}$$

Теорема 2. Фундаментальное решение задачи Коши для симметричной двухшаговой задачи о случайном блуждании (2) начальным условием (9) имеет вид:

$$U(x,t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{\frac{ipx}{h}} e^{\frac{t}{h}\ln(\cos p)} dp. \tag{10}$$

Далее асимптотическое приближение интеграла при $p \to 0$ может быть вычислено с использованием разложения подынтегрального выражения в ряд или с помощью метода перевала. Соответственно, получены оценки (11) и (12).

$$U(x,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi h t}} e^{-\frac{x^2}{2ht}} + O\left(h^{\frac{1-\alpha}{2}}\right) \quad (11)$$

$$U(x,t) \approx \sqrt{\frac{t}{2\pi h|x^2 - t^2|}} e^{-\frac{x}{h}\operatorname{arctgh}\frac{x}{t} + \frac{1}{2h}t\cdot\ln\left(\frac{t^2}{t^2-x^2}\right)} \cdot \cdot (1 + O(h)) \quad (12)$$

Однако для более сложных блужданий с неравновероятными шагами или блужданий в -мерном пространстве первый метод становится неприменимым. В то время как второй все равно даст оценку.

Заключение

Основной метод асимптотического анализа задачи о случайном блуждании основан на распространении дискретной задачи на все конфигурационные пространства. Асимптотическое фундаментальное решение задачи Коши построено методом ВКБ с использованием преобразования Фурье и метода перевала.

В этой работе была рассмотрена общая задача о случайных блужданиях, на примере симметричного двухшагового блуждания, и получена асимптотическая формула для вероятности нахождения частицы в фиксированный момент времени в фиксированной точке пространства. Разность между точным и асимптотическим решениями по итогам исследования мала, а значит асимптотическое решение можно принять за точное.

Результат этой работы применим для случаев, когда необходимо быстро получить приблизительное решение. Возможные применения этой оценки будут изучены в ходе дальнейших исследований.

Список литературы

1. В. Феллер, Введение в теорию вероятностей и ее приложения в 2-х томах., Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 738 с.
2. Redner, S. A Guide to First-Passage Processes. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
3. Danilov V. G. Nonsmooth Nonoscillating Exponential-type Asymptotics for Linear Parabolic PDE. SIAM Journal on Mathematical Analysis. 2017. Vol. 49. No. 5. P. 3550-3572.

КОМПАКТНАЯ РАЗНОСТНАЯ СХЕМА ДЛЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ С РАЗРЫВНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ И ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ

Гордин В.А., Шадрин Д.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет экономических наук, факультет математики, ФГБУ «Гидрометцентр России»

Аннотация

Построена компактная схема 4-го порядка для 2-мерной задачи Дирихле для уравнений Пуассона и Гельмгольца с разрывными коэффициентами и правой частью. Линия скачка коэффициента и правой части Γ содержит углы. В качестве тестовой функции в углах Γ используется асимптотика специального решения для кусочно-постоянной правой части. 4-й порядок точности компактной схемы подтвержден численными экспериментами.

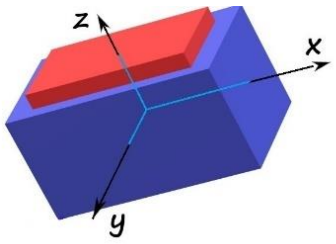
Введение

В технике и геофизике (см. [1, 2]) часто используют уравнения вида:

$$div(\vartheta(x,y)grad(u(x,y))) = f(x,y) \quad (1)$$

$$div(\vartheta(x,y)grad(u(x,y))) + \rho u(x,y) = f(x,y) \quad (2)$$

Известно много задач, в которых коэффициенты ϑ, ρ и правая часть f терпят разрыв на кусочно-гладкой линии Γ; ρ может быть комплексным.



Решаем 2D краевую задачу для (1) или (2) в области Ω - квадрате $[0,\pi]\times[0,\pi]$, разделенном линией Γ на две подобласти Ω_1, Ω_2 (см. Рис.1, 2), коэффициент ϑ постоянен в каждой.

На линии стыка Γ ставятся условия Кирхгофа:

$$[u] = 0 \quad (3a),$$

$$[\vartheta_n u] = 0\,. \quad (3b).$$

Здесь [ ] – скачок функции в точках Γ, ∂_n - производная по нормали к Γ.

Такая задача, например, встречается при изучении волновых процессов, диффузии вещества в двух соприкасающихся средах или распределения температуры в композитном материале. Скачок в правой части обычно связан с разным тепловыделением в разных элементах конструкции.

Эталонный пример: конструкция со встроенным угловатым нагревателем.

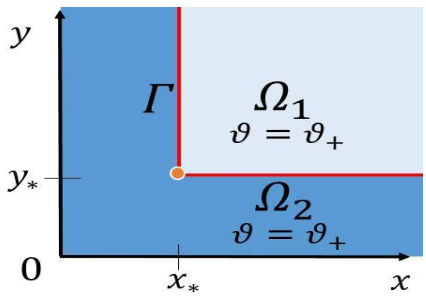


Рис.2. Область Ω вблизи угла линии скачка Γ, разделена на однородные подобласти Ω_1, Ω_2, в которых коэффициент ϑ постоянен

В ходе исследования разработана высокоточная компактная схема для решения дифференциальной задачи (1-3). Основная проблема компактной аппроксимации этой задачи - выбор тестовых функций и шаблонов вблизи точки угла, так как решение в этой точке не аналитично. Необходимо знать асимптотику решения.

Компактная аппроксимация

Квадрат Ω разбит равномерной сеткой на $(N+1)^2$ узлов (шаг сетки $h=\pi/N$). В каждом узле с координатами (*i, j*) подбираем пару разностных операторов P_{ij} и T_{ij}, аппроксимирующих (1) или (2) с 4-м порядком точности, т.е. $P_{ij}[\vec{U}]=T_{ij}[\vec{F}]+o(h^4)$. Здесь $\vec{U}$, $\vec{F}$ - векторы значений решения *u* и правой части *f* в узлах сетки. Коэффициенты операторов P_{ij} и T_{ij} нулевые везде, кроме конечного числа узлов вокруг узла (*i, j*) (кроме шаблонов операторов).

Коэффициенты операторов P_{ij} и T_{ij} определяются условиями точности:

$$P_{ij}[u_k]=T_{ij}[f_k],\ для\ \forall k \qquad (4)$$

на тестовых функциях $(u_k, f_k), \mathrm{k}=1,...,\mathrm{K},$ где $f_k=L[u_k]$, L - дифференциальный оператор в (1) или (2) или граничное условие (3b). После определения операторов P_{ij} и T_{ij} из «локальных» СЛАУ (4) порядка *K*+1 для всех узлов (*i, j*), включая узлы на Γ, составляем из коэффициентов этих операторов "глобальную" СЛАУ для вектора $\vec{U}$:

$$A\vec{U}=B\vec{F}\ . \qquad (5)$$

Строки матрицы *A* отвечают узлам сетки <*i,j*> и состоят из коэффициентов операторов P_{ij}, строки *B* – из коэффициентов T_{ij}. Подробнее про компактные схемы см. [3, 4].

Выбором подходящих шаблонов в узлах на Γ мы добились слабой зависимости числа обусловленности матрицы A от амплитуды скачка ϑ. Спектр A строго положителен, число обусловленности растет как N^2, как и при постоянном ϑ, [5].

Тестовые функции

Выбор тестовых функций для узла (x_*, y_*) зависит от предположений об асимптотике решения в этой точке. Для получения четвертого порядка точности необходимо, чтобы решение асимптотически приближалось линейной комбинацией:

$$u(x,y)=u(x_*,y_*)+\sum_{i=1}^{K}c_i f_i(x-x_*,y-y_*)+o(r^4)\ . \qquad (6)$$

Здесь $r=\sqrt{(x-x_*)^2+(y-y_*)^2}$, f_i - тестовые функции. В случае, когда u – аналитическая функция, в качестве тестовых используются мономы ($x^\alpha y^\beta$). В углах Γ решение, как правило, не аналитическое, со сложной асимптотикой.

Аппроксимация в точках, далеких от Γ

В узле вдали от Γ решение *u* – аналитическая функция в окрестности шаблона. Тестовые функции – мономы степени ≤ 4. Использовались шаблоны типа "квадрат - крест" (см. Рис.3), дающие 4-й порядок точности для задачи с кусочно-гладкой границей.

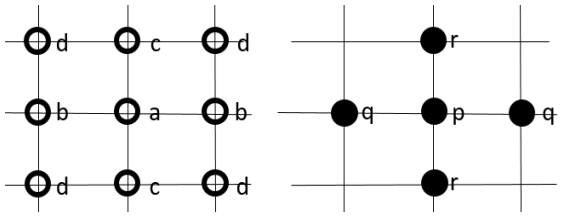


Рис.3. Шаблон типа «квадрат – крест» для внутренних точек (в центре шаблона). Слева шаблон для решения u, справа – для правой части f

Аппроксимация в узлах на гладких участках Γ

Здесь решение *u* – кусочно-аналитическая функция, удовлетворяющая условиям (3a,3 б), а в качестве тестовых функций берем мономы вида: $x^\alpha y^\beta (sign(x))^\varepsilon \quad \alpha\ge 2,\ \varepsilon\in\{0,1\},\ \alpha+\beta\le 4,$ и также: $(xy^\beta/\vartheta(x))\ при\ \beta\le 3\ \ и\ \ y^\beta\ при\ \beta\le 4$

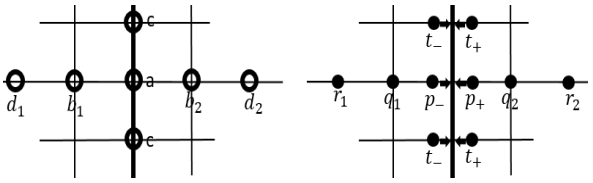


Рис.4. Шаблоны для u и f в узле на линии скачка Γ (жирная). Веса для f на Γ - два разных

Правая часть уравнения *f* – разрывна на Γ, но существуют её левые и правые пределы. На Рис.4 шаблоны для узлов на гладких участках Γ. Для правой части *f* используем оба ее значения на Γ.

Аппроксимация в точках углов Γ

Здесь решение раскладываем по функциям g_λ - обобщенные собственные функции оператора Лапласа, т.е. решениям задачи

$$L[g_\lambda]=div(\vartheta grad(g_\lambda))=\lambda\vartheta g_\lambda\ .$$

Получаем $g_\lambda=A_s(\varphi)\mathrm{J}_s(\sqrt{\lambda}r)$, где J_s - функция Бесселя первого рода индекса s, *A* – гармоническая функция с частотой *s*, удовлетворяющая условиям (3) на стыке. Значения *s* – решения задачи Штурма - Лиувилля для условий Кирхгофа (3). Таким образом, для обобщенных собственных функций вблизи угла

имеем асимптотики вида: $r^{s+2k}A_s(\varphi)$. Проблема в том, что правая часть f уравнений (1) и (2) плохо аппроксимируется функциями $f_\lambda = L[g_\lambda]$, если $\frac{f(r,\varphi_*+0)}{f(r,\varphi_*-0)} \neq \frac{\vartheta_+}{\vartheta_-} = \kappa$, так как для всех линейных комбинаций тестовых функций f_λ выполнено условие: $\frac{f_\lambda(r,\varphi_*+0)}{f_\lambda(r,\varphi_*-0)} = \frac{\vartheta_+\lambda g(r,\varphi_*)}{\vartheta_-\lambda g(r,\varphi_*)} = \frac{\vartheta_+}{\vartheta_-} = \kappa$.

Если же форсинг f имеет другую величину скачка (а так в общем положении), то порядок аппроксимации уменьшается.

Для исправления ситуации в список тестовых функций добавим функцию F, такую что

$$L[F] = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Omega_1 \\ 0 & (x,y) \in \Omega_2 \end{cases}, \qquad (6)$$

и *F* удовлетворяет условиям Кирхгофа (3).

Шаг А: найдем функцию $\tilde{F}$, удовлетворяющую (6) при помощи функции Грина на плоскости. Эта функция будет гладкой на прямых участках Γ, но она не будет дифференцируемой в угле.

В окрестности угла $\tilde{F}$ ведет себя, как

$$\tilde{F} \approx xy\ln(x^2+y^2) + x^2\,\mathrm{arctg}(\frac{y}{x}) + y^2\,\mathrm{arctg}(\frac{x}{y}) \cdot$$

Шаг Б: ищем поправку - гармоническую в каждой из подобластей функцию α такую, что решение $F = \tilde{F} + \alpha$, на линии Г удовлетворяло бы (3). Используя компактную схему с шаблоном (Рис. 3), можно однозначно восстановить α по $\tilde{F}$. Далее запишем условие равенства потоков для функции F:

$$\vartheta_+ \int_x^{x+h} \partial_n F(n+0,\xi)d\xi = \vartheta_+ \int_x^{x+h} \partial_n \tilde{F}(n,\xi)d\xi + \vartheta_+ \int_x^{x+h} \partial_n \alpha(n+0,\xi)d\xi =$$
$$\vartheta_- \int_x^{x+h} \partial_n F(n-0,\xi)d\xi = \vartheta_- \int_x^{x+h} \partial_n \tilde{F}(n,\xi)d\xi + \vartheta_- \int_x^{x+h} \partial_n \alpha(n-0,\xi)d\xi$$

Интегралы здесь берем вдоль маленьких участков линии Г около угла (до соседних узлов сетки).

Получаем интегральное уравнение:

$$(\vartheta_+ - \vartheta_-)\int_x^{x+h} \partial_n F(n,\xi)d\xi =$$
$$= \vartheta_- \int_x^{x+h} \partial_n \alpha(n-0,\xi)d\xi - \vartheta_+ \int_x^{x+h} \partial_n \alpha(n+0,\xi)d\xi \quad .$$

Разностной аппроксимацией 4-го порядка это интегральное уравнение сводим к СЛАУ на значения $\tilde{\alpha}$.

Вычисляя F на достаточно, мелкой сетке, получаем значения недостающей тестовой функции.

Численные эксперименты

Оценка порядка точности компактной схемы проводилась экспериментально. Брались несколько известных решений и форсингов и вычислялась скорость сходимости разностного решения для каждого примера. Сначала вычисляем эталонное решение U_{fin} - на самой мелкой сетке при $N_{fin} = 1024$. Затем для более грубых разрешений N_i, *i*=1,2,3,4 вычислим решения U_i. Решения U_{fin} и U_i ограничивали на самую грубую сетку ($N_c = 16$) и вычисляли L_2-норму погрешность $err_i = \|U_{fin} - U_i\|$. График $err(N)$ в билогарифмической шкале – почти прямая, и тангенс угла наклона прямой равен порядку схемы.

На Рис. 6. показан график погрешности в зависимости от N для уравнения Пуассона (1) при

$$f = \begin{cases} (x-x_*)(y-y_*) & (x,y) \in \Omega_1 \\ 0 & (x,y) \in \Omega_2 \end{cases},$$

$$\vartheta = \begin{cases} 1 & (x,y) \in \Omega_1 \\ 1000 & (x,y) \in \Omega_2 \end{cases}. (x_*, y_*)$$ - координаты левого нижнего угла.

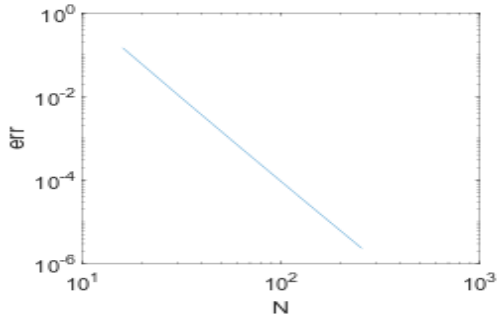


Рис.6. Графики погрешности разностной схемы в зависимости от N. Порядок схемы 4-й

Заключение

Разработан численный алгоритм решения эллиптических краевых задач с разрывными коэффициентами (т.е. для композитных сред) в случае негладкой линии скачка Γ для коэффициента и правой части. Получен 4-й порядок точности схемы, в то время как большая часть лучших известных численных методов (если там порядок можно оценить) для подобных задач дает 2-й порядок.

Работа подготовлена в ходе проведения исследования (№ 20-04-021) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета „Высшая школа экономики“ (НИУ ВШЭ)» в 2020 — 2021 гг. и в рамках государственной поддержки.

Список литературы

1. Бабич В. М., Скин-эффект в случае провода произвольного поперечного сечения, Зап. Научн. сем. ЛОМИ, (1983), том 128, 13–20.

2. Phys. 351, Supplement C, 80–107. Scheck M., Bayer U. (1999) Evolution of the Northeast German Basin – inferences from a 3D structural model and subsidence analysis, Tectonophysics 3, 3, 145–169.

3. Гордин В.А., Цымбалов Е.А. Компактная разностная схема для дифференциального уравнения с кусочно-постоянным коэффициентом. Матем. моделирование. 2017, т.29 (12), СС.16-28.

4. Гордин В.А. Математика, компьютер, прогноз погоды и другие сценарии математической физики – 2-е изд.-М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013, 628с.

5. Самарский А. А. Николаев Е. С., Методы решения сеточных уравнений. Наука, М., 1978, 592 с.

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ СРЕДЫ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОДКЛЮЧЕННЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И КОНЦЕПЦИЙ СОВМЕСТНОЙ МОБИЛЬНОСТИ И МОБИЛЬНОСТИ КАК УСЛУГИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

Степанянц В.Г., Романов А.Ю.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе проводится анализ требований к разработке среды для компьютерного моделирования технологий автономного, подключенного и электрического транспорта, интеллектуальных транспортных систем и концепций совместного использования транспорта и Мобильности как Услуги в транспортных системах.

Для этого проведен анализ существующих подходов к моделированию, особенностей моделирования технологий автономного и подключенного транспорта, проведена декомпозиция верхнего уровня составляющих транспортной системы, определены домены моделирования и соответствующие им парадигмы моделирования.

Синтезировано описание базовой структуры (домены, уровни детализации, парадигмы моделирования, общие принципы) интегрированной среды моделирования для изучения влияния рассматриваемых технологий на макроскопические параметры транспортной системы.

Введение

В процессе урбанизации городов транспортные системы оказываются все более загруженными и сложными. В них возникают следующие проблемы:

- временные и экономические потери из-за снижения средней скорости трафика;
- загрязнение воздуха выхлопными газами;
- снижение безопасности на дорогах.

Данные проблемы потенциально возможно решить с помощью новых технологий и концепций использования транспорта.

Технологии, используемые в «умной» транспортной инфраструктуре, разрабатываются в области Интеллектуальных Транспортных Систем (ИТС) и позволяют получать информацию о потоках транспорта и информировать участников движения.

В качестве основных технологий, которые ожидаемо будут появляться в транспорте в ближайшее десятилетия, являются:

- автономный транспорт (сенсоры и системы автономного управления);
- подключенный транспорт (передача данных между транспортными средствами по радиосвязи);
- электрический транспорт.

Рост спроса на более персонализированные транспортные услуги также сделал актуальной концепцию использования транспорта Мобильность как услуга или Mobility-as-a-Service (MaaS). Данная концепция развивается в двух направлениях:

- возможность планирования и осуществления интегрированных мультимодальных поездок с помощью пользовательских приложений;
- возможность пользоваться транспортом по концепции совместного использования и оплачивать его по времени использования, что позволяет отказаться от владения личным автомобилем.

Ожидается что эти технологии и концепции использования смогут решить указанные проблемы. Однако, прежде чем их можно будет использовать, они должны быть протестированы [1–3]. Возможности по тестированию в реальном мире ограничены, поэтому для изучения их влияния на транспортную систему используют моделирование и симуляцию.

Создано множество сред для моделирование транспортных систем [4], однако возможности моделировать в них новейшие технологии ограничены. Данные возможности реализованы в отдельных моделях, например [5], но такие модели еще не были добавлены в среды моделирования потоков трафика в масштабе транспортной сети. Существует задача объединения и доработки современных сред моделирования [6].

Целью данной работы является проведение анализа требований к среде моделирования транспортной системы с учетом необходимости моделирования технологий ИТС, автономного и подключенного транспорта, концепций совместной мобильности и MaaS.

Требования, приведенные в работе для сред моделирования, позволяющих учесть использование рассматриваемых технологий и концепций, получены на основе анализа и синтеза информации и существующих подходов к моделированию из областей моделирования транспортных систем на высоком (менее подробном) уровне детализации и отдельных транспортных технологий на низком (более подробном) уровне детализации в масштабах значительно меньших, чем масштаб транспортной системы.

Базовая структура интегрированной среды компьютерного моделирования получена с помощью

объединения подходящих для выполнения поставленных задач подходов к моделированию.

Анализ подходов и требований к моделированию транспортных систем

Рассматриваемые технологии и концепции использования применяются на транспортных средствах и в дорожной инфраструктуре. Транспортные средства объединяются в транспортные потоки, а дорожная инфраструктура используется для внешнего управления такими потоками. Следовательно, основой для создания среды моделирования должны являться подходы, используемые в транспортном моделировании.

Стандартной структурой для описания транспортных систем является четырехступенчатая модель, состоящая из следующих шагов:

1. Генерация поездок – определяет частоту поездок, осуществляемых из определенных на основе демографических данных зон на карте.

2. Распределение поездок по зонам - приводит в соответствие зонам отправления зоны назначения.

3. Модальный выбор (выбор вида транспорта) - вычисляет долю поездок между каждой парой зон, которые используют определенный вид транспорта.

4. Выбор маршрута – строит маршрут поездки между парами зон на выбранных видах транспорта.

Используемые модели транспортных потоков делятся на четыре уровня детализации [7]:

1. Макроскопический – использует высокоуровневые математические модели. Применяется в основном для моделирования транспортных систем большого масштаба (город, область, страна). Низкая детализация требует для симуляции меньших вычислительных мощностей.

2. Микроскопический – фокусируется на моделировании поведения отдельных участников дорожного движения (например, выбора ускорения и полосы движения транспортных средств), инфраструктуры и т.д. На этом уровне возможно изучать и микроскопические, и макроскопические параметры системы (например, влияние алгоритмов переключения светофоров на её пропускную способность).

3. Мезоскопический – представляет собой упрощенную микроскопическую модель с меньшей детализацией взаимодействия участников движения.

4. Наноскопический – вводится дополнительная детализация, например, может описываться боковое ускорение, переключение передач, сцепление с дорогой, получение и обработка информации датчиками, поведение водителя. Этот тип моделирования чаще всего применяется в области автономного транспорта [4], где необходимо учитывать внутренние процессы, такие как идентификация окружающих объектов сенсорами транспортного средства, а также поведение транспортного средства внутри полосы движения [8].

Для получения результатов по безопасности дорожного движения необходимо обеспечить различия в поведении водителей и взаимодействии участников дорожного движения. Они могут быть введены посредством моделирования процессов восприятия и принятия решений, тем самым допуская “несовершенное” поведение и возможность возникновения ошибок [9].

Таким образом, чтобы обеспечить описание используемых технологий и моделирование зависящих от них параметров, разрабатываемая среда должна поддерживать наноскопическое моделирование. Использование четырехступенчатой модели возможно на наноскопическом уровне, необходим только достаточно детализированный набор данных.

Базовые составляющие интегрированной среды моделирования

В работе [10] показано, что при моделировании подключенного транспорта необходимо учитывать влияния эффектов окружающей среды и ее объектов на распространение сигналов по беспроводным каналам связи. Аналогичное верно и для восприятия информации сенсорами автономного транспорта.

На основе знаний о рассматриваемых технологиях и концепциях использования, проведена декомпозиция транспортной системы на домены (предметные области) в краткосрочной перспективе (оперативное и тактическое планирование):

1. Транспортная сеть – объединяет в себе улично-дорожную сеть, инфраструктуру, подвижные объекты и их взаимодействие. Более подробное описание предлагается проводить в соответствии с первыми четырьмя слоями шестислойной модели [11].

2. Рельеф местности и застройка – физические формы и материалы окружающих статичных объектов.

3. Среда передачи и обработки сигналов информационно-коммуникационных технологий (например, каналы передачи подключенного транспорта, устройства обработки данных с сенсоров автономного транспорта).

4. Условия окружающей среды – погодные условия, время дня, состояние воздуха.

5. Экономические транзакции.

Также, в процессе декомпозиции выделены домены, имеющие значение в долгосрочной перспективе (стратегическое планирование):

5. Землепользование (качественные изменения определенных в четырехступенчатой модели зон).

6. Демография (количественные изменения определенных в четырехступенчатой модели зон).

Выделяют три основные парадигмы имитационного моделирования:

- агентное моделирование;
- дискретно-событийное моделирование;
- системная динамика.

Для описания поведения подвижных объектов в транспортной системе подходит использование агентного моделирования [7]. Предпосылкой к использованию моделей агентов является то, что в микроскопических и наноскопических моделях спрос на поездки определяется действиями, которые хотят выполнить отдельные люди, и также удобно описать в качестве агентов транспортные средства, которым необходимо принимать решения на основе полученной извне информации.

Для моделирования каналов передачи и устройств обработки данных используется дискретно-событийное моделирование [12].

Для разрешения недостатка недостаточного взаимодействия данной модели с окружающей средой, в которой работает транспортная система, может использоваться макроскопическая модель системной динамики [13]. Такая модель позволяет среди прочего установить связь макроскопических параметров транспортной системы загрязнением воздуха, планированием землепользования вокруг дорог, социально-экономическими факторами.

Для учета влияния эффектов автономного и подключенного транспорта на макроскопические параметры транспортной системы необходимо использовать микроскопическое и наноскопическое моделирование и свойства эмерджентности (объединение свойств элементов системы порождает у системы качественно новые свойства) систем [14] для перехода на более высокий уровень.

Требования к программной реализации среды моделирования

Таким образом, в данной работе было определено, что для создания среды моделирования, которая позволит моделировать транспортные системы с учетом эффектов технологий автономного, подключенного и электрического транспорта, интеллектуальных транспортных систем и концепций совместной мобильности и Мобильности как Услуги на их макроскопические параметры, необходимо реализовать возможность использования следующих видов симуляции [15]:

1. Многоуровневое моделирование – моделирование на разных уровнях детализации в рамках одной предметной области. Модель транспортной системы при этом обязательно должна иметь наноскопическую составляющую для описания передачи сигналов, восприятия информации и принятия решений водителями или автономными системами управления. Должен быть реализован переход между различными уровнями детализации, при этом должны учитываться свойства эмерджентности.

2. Совместное моделирование – скоординированное выполнение двух или более моделей, которые отличаются по предметной области и среде выполнения, и позволяют учитывать работу смежных с транспортной систем. В данной работе введено семь различных доменов, изменения в которых имеют разную скорость и частоту.

3. Гибридное моделирование – возможность сочетания основных парадигм моделирования – агентного моделирования, дискретно-событийного моделирования и системной динамики.

Заключение

В данной работе проведен анализ существующих подходов к моделирования транспортных систем и потоков, определены требования к моделям для возможности моделирования технологий ИТС, автономного и подключенного транспорта. Также, проведена декомпозиция верхнего уровня подсистем транспортной системы и синтезировано описание базовой структуры модели для изучения влияния рассмотренных технологий на макроскопические параметры транспортной системы.

В качестве решения предложено использовать агентное моделирование на микроскопическом и наноскопическом уровне домена транспортной системы и получать информацию о макроскопических параметрах в рамках многоуровневой симуляции с помощью свойства эмерджентности систем. Для описания домена информационно-коммуникационных систем предлагается использовать дискретно-событийное моделирование, а для доменов, связанных с параметрами окружающей среды – системную динамику. То есть, для моделирования нескольких доменов нужно реализовать совместное и гибридное моделирование.

Данные результаты помогают определить, модели каких доменов, уровней детализации и использующие какие парадигмы моделирования, необходимо включить в интегрированную среду для моделирования, и как их объединить между собой.

Полученные результаты будут в дальнейшем использованы для разработки концептуальной модели и среды моделирования, предназначенных для анализа работы транспортных систем и используемых в них технологий и концепций пользования транспортом.

Список литературы

1. Ersal T. et al. Connected and automated road vehicles: state of the art and future challenges // Veh. Syst. Dyn. 2020. Т. 58, № 5. С. 672–704.

2. Taiebat M. et al. A review on energy, environmental, and sustainability implications of connected and automated vehicles // Environ. Sci. Technol. American Chemical Society, 2018. Т. 52, № 20. С. 11449–11465.

3. Stocker A., Shaheen S. Shared Automated Mobility: Early Exploration and Potential Impacts // Road Vehicle Automation 4. Springer, 2017. С. 125–139.

4. Raju N., Farah H. Evolution of Traffic Microsimulation and Its Use for Modeling Connected and Automated Vehicles // J. Adv. Transp. Hindawi Limited, 2021. Т. 2021.

5. Reichardt L. et al. Virtual Drive: A Complete V2X Communication and Radar System Simulator for Optimization of Multiple Antenna Systems // Proc. IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2011. Т. 99, № 7. С. 1295–1310.

6. Якимов М.Р. Транспортное планирование: Создание транспортных моделей. Москва: Логос, 2013. 188 с.

7. Nguyen J. et al. An overview of agent-based traffic simulators // Transp. Res. Interdiscip. Perspect. Elsevier, 2021. Т. 12.

8. Mullakkal-Babu F.A. et al. A Hybrid Submicroscopic-Microscopic Traffic Flow Simulation Framework // IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. Т. 22, № 6. С. 3430–3443.

9. Archer J., Kosonen I. The Potential of Micro-Simulation Modeling in Relation to Traffic Safety

Assessment // Proceedings of the 13th ICTCT Workshop. 2000.

10. Lu N. et al. Connected Vehicles: Solutions and Challenges // IEEE Internet Things J. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2014. Т. 1, № 4. С. 289–299.

11. Scholtes M. et al. 6-Layer Model for a Structured Description and Categorization of Urban Traffic and Environment // IEEE Access. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. Т. 9. С. 59131–59147.

12. Paier A. et al. Characterization of Vehicle-to-Vehicle Radio Channels from Measurements at 5.2 GHz // Wirel. Pers. Commun. Springer, 2009. Т. 50. С. 19–32.

13. Armah F.A., Yawson D.O., Pappoe A.A.N.M. A Systems Dynamics Approach to Explore Traffic Congestion and Air Pollution Link in the City of Accra, Ghana // Sustainability. Molecular Diversity Preservation International, 2010. Т. 2, № 1. С. 252–265.

14. Schnieder L., Detering S. Systems-theoretic foundation for advanced driver assistance systems // 2010 IEEE International Systems Conference Proceedings, SysCon 2010. San Diego: IEEE, 2010. С. 365–370.

15. Gutlein M., German R., Djanatliev A. Towards a Hybrid Co-Simulation Framework: HLA-Based Coupling of MATSim and SUMO // Proceedings of the 2018 IEEE/ACM 22nd International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT). Madrid: IEEE, 2018. С. 234–242.

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ВХОДЯЩЕГО ПОТОКА И СКОРОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Реброва А.В.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе анализируется эффективный способ организации очереди в системе массового обслуживания.

Введение

Задачи определения оптимальной структуры системы массового обслуживания (СМО) (или сети массового обслуживания — СеМО) приобрели особую актуальность в наши дни. Это связано, в том числе, и с новыми правилами и ограничениями в работе различных организаций в условиях пандемии.

Например, во многих странах разработали нормы заполнения магазинов, аптек, отделений банков и т.п., то есть, установили максимальное допустимое число посетителей в зависимости от площади помещения. И следовательно, возникает задача так организовать обслуживание, чтобы минимизировать очередь. Отметим, что эффективная организация системы обслуживания особенно важна в медицинских учреждениях (отделениях скорой помощи, больницах и т.д.) [1-3]. В [1] оптимизируют СМО в медицинских учреждениях, ранжируя пациентов в зависимости от состояния их здоровья, чтобы свести к минимуму уровень инфицирования. В [2] анализируют различные типы СМО и СеМО, оценивают их операционные характеристики и особенности использования в различных подразделениях госпиталей. В [3] отделение МРТ рассматривается как открытая сеть массового обслуживания, определяется оптимальный размер группы заявок в задаче минимизации взвешенного среднего времени, которое заявки проводят в системе.

Для марковской системы массового обслуживания известен следующий результат: если рассмотреть одинаковые приборы (с одинаковыми интенсивностями обслуживания), то более эффективной структурой является система с одной очередью (по сравнению с отдельными очередями к каждому прибору) [4]. Этот результат получен в предположении, что при разделении на разные очереди интенсивность обслуживания не меняется. На практике же естественным является допущение, что интенсивность обслуживания возрастает при разделении очереди (это можно объяснить тем, что приборы теперь совершает однотипную работу). В данной работе рассматривается именно такая ситуация. Исследуется вопрос, при каких значениях параметров единая очередь более эффективный способ организации СМО, а при каких значениях параметров организация раздельных очередей дает повышение эффективности.

Работа организована следующим образом. В разделе «Марковские двухканальные модели СМО» представлены исследуемые системы и введены необходимые обозначения. В разделах «Случай постоянных параметров» и «Случай изменяющихся параметров» приведены полученные аналитические выражения для длин очередей для каждой СМО и основные результаты.

Марковские двухканальные модели СМО

В данной работе сравниваются две марковские системы массового обслуживания [5] с двумя обслуживающими каналами, дисциплина обслуживания FIFO. В качестве критерия эффективности выбрана средняя длина очереди в стационарном режиме.

Для первой СМО предполагается, что заявки встают в общую очередь (Рис.1). Если оба канала свободны, то заявка выбирает канал равновероятно. Параметрами данной системы являются интенсивность пуассоновского потока 2λ, интенсивность обслуживания заявки каналом μ_1 и μ_2 для, соответственно, первого и второго каналов.

Вторая из рассматриваемых СМО также является двухканальной, однако поток заявок интенсивности 2λ распределяется на два потока с соответствующими интенсивностями λ_1 и λ_2 (Рис. 2).

В работе рассмотрен случай, когда отношение λ_1 к λ_2 равно отношению μ_1 и μ_2:

$$\lambda_2 = \gamma\lambda_1, \text{где } \gamma = \frac{\mu_2}{\mu_1} \#$$

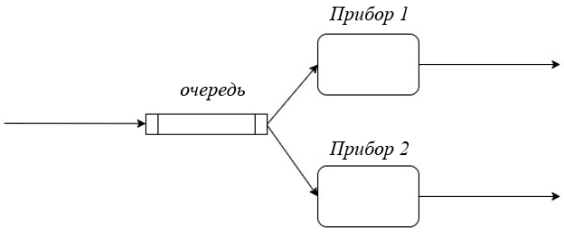


Рис.1. Схема двухканальной СМО

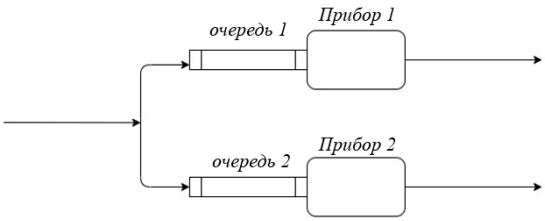


Рис.2. Схема двухканальной СМО с разделением очереди

Сравнивая среднюю длину очереди для первой организации системы и сумму средних длин очередей — для второй, мы выясним, какая из организаций эффективнее.

Случай постоянных параметров

Средняя длина очереди в стационарном режиме для первой СМО равна [6]:

$$L = \frac{\rho_1^3(1+\gamma)^2}{[2\gamma + \rho_1(1+\gamma^2)](1-\rho_1)}$$

где ρ_1 — коэффициент нагрузки для первого канала:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$$

Средняя длина очереди в стационарном режиме для второй СМО равна [6]:

$$L_p = \frac{2\rho_1^2}{1-\rho_1}$$

В работе показано, что средняя длина очереди для первой системы меньше средней длины очереди для второй системы. То есть, разделение очереди на две неэффективно.

Случай изменяющихся параметров

Предположим, что при разделении потока заявок увеличивается интенсивность работы канала. Введем коэффициент усиления:

$$\mu_{new,1} = p\mu_1\,, \qquad \mu_{new,2} = p\mu_2$$

Тогда средняя длина очереди в стационарном режиме для второй СМО будет равна:

$$L_{new,p} = \frac{2\rho_1^2}{p(p-\rho_1)}$$

На Рис. 3 приведена зависимость разности длин очередей для первой и второй СМО от коэффициента усиления при разных значениях нагрузки системы. Видно, что при увеличении нагрузки вторая СМО (сазными очередями) становится эффективной уже при небольших значениях p.

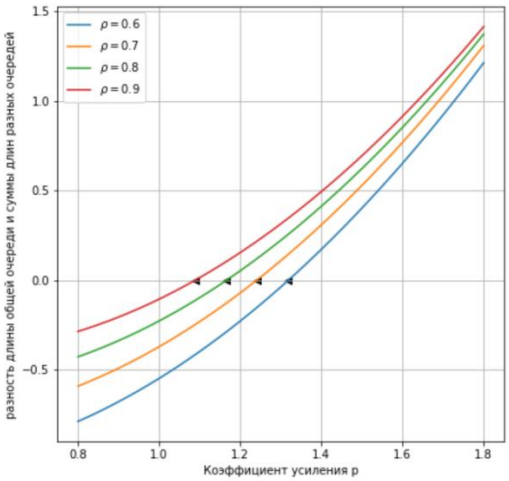


Рис.3. Разность длин очередей при $\boldsymbol{\gamma = 5}$ *для разных нагрузок*

Получено критическое значение коэффициента усиления p, отвечающего совпадению длин очередей этих двух организаций:

$$p_2^* = \frac{\rho_1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{8\left(\gamma^2 + 1 + \frac{2\gamma}{\rho_1}\right)\left(\frac{1}{\rho_1} - 1\right)}{\rho_1(4+\gamma)^2}}\right)$$

На Рис. 4 представлен график зависимости этого значения коэффициента усиления от нагрузки входного потока при различных значениях параметра при γ.

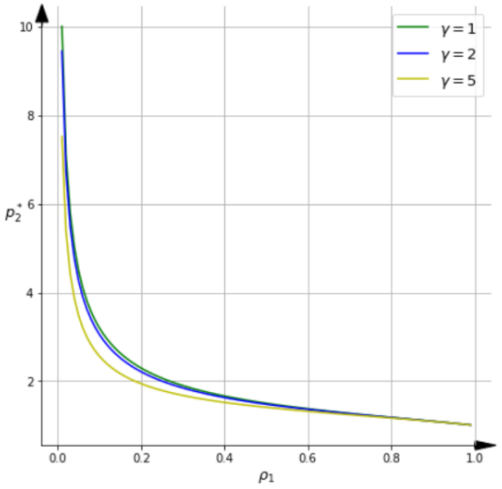


Рис.4. Зависимость $\boldsymbol{p_2^*(\rho)}$

В работе доказано, что в условиях большой нагрузки ($\rho_1 = 1 - \varepsilon$ при $\varepsilon \to +0$) вторая СМО становится эффективной уже при достаточно малом увеличении скорости работы каналов:

$$p_2^* = 1 + \varepsilon + O(\varepsilon^2)$$

Следовательно, при высоких нагрузках в исследуемых СМО можно добиться ситуации, когда разделение очереди на две может быть эффективно.

Используя результаты [7], [8], аналогичные результаты были получены для полумарковских СМО, для которых поток заявок является пуассоновским, а время обслуживания заявки распределено по закону Эрланга порядка два.

Заключение

В работе доказано, что разделение очереди на две в двухканальных марковских СМО может быть эффективно при малых увеличениях интенсивности обслуживания в ситуации высокой нагрузки на систему.

Список литературы

1. Alipour-Vaezi M. Prioritizing and queueing the emergency departments' patients using a novel data-driven decision-making methodology, a real case study / M. Alipour-Vaezi, A. Aghsami, J. Fariborz // Expert Systems with Applications. — 2022. — Vol. 195.

2. Gupta D. Queueing Models for Healthcare Operations / D. Gupta // Handbook of Healthcare Operations Management / editors : T. Denton. — New York: Springer, 2013. — P. 19-44.

3. Vandaele N. Optimal grouping for a nuclear magnetic resonance scanner by means of an open queueing model / N. Vandaele, I. Van Nieuwenhuyse, S. Cupers // European Journal of Operational Research. — 2003. — Vol. 151. — P. 181–192.

4. Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология : учебное пособие / Е.С. Вентцель. — 6-е изд., стер. — Москва: ЮСТИЦИЯ, 2018. — 192 с.

5. Ширяев, А.Н. Вероятность: учебное пособие / А.Н. Ширяев. — 4-е изд., стер. — Москва: Издательство МЦНМО, 2007. — 575 с.

6. Fundamentals of queueing theory / J.F. Shortle, J.M. Thompson, D. Gross, and C.M. Harris. — 5-th ed. — Hoboken: John Wiley and Sons, Inc., 2017. — 548 p.

7. Narayan B.U. An Introduction to Queueing Theory. Modeling and Analysis in Applications / B.U. Narayan. — New York: Birkhäuser, 2008. — 268 p.

8. Hokstad P. On the Steady-State Solution of the M/G/2 Queue / P. Hokstad // Advances in Applied Probability. — 1979. — Vol.11, I.1. — P. 240–255.

АТОМИСТИЧЕСКОЕ МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ AFM ФАЗ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АДСОРБЕНТОВ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Глушак А.А.[1,2], Тарарушкин Е.В. [1,2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]департамент прикладной математики, МИЭМ НИУ ВШЭ
[2]Международная лаборатория суперкомпьютерного атомистического моделирования и многомасштабного анализа

Аннотация

В данной работе мы применяем метод классической молекулярной динамики (МД) и вычисления методом теории функционала плотности (DFT) для исследования йод- и хлорсодержащей AFm фаз (так же известных как гидрокалюмит или соль Фрейделя), как потенциальных адсорбентов для радионуклидов ^{36}Cl, ^{129}I, ^{137}Cs из водных растворов CsCl и CsI.

Введение

В настоящее время в мировом научном сообществе сложился консенсус в том, что геологическое захоронение радиоактивных отходов один из наиболее эффективных и безопасных способов их утилизации. Для этой задачи критически важно использовать подходящие материалы при строительстве хранилищ. В частности, глины и цементные смеси могут выступать в качестве основных материалов при создании барьеров или уплотнителей. Благодаря наличию структурного заряда, глинистые материалы обладают способностью притягивать и удерживать на поверхности радиоактивные частицы, что значительно увеличивает надежность изолирующих систем [1].

AFm фазы кальциевых алюминатов $Ca_2Al(OH)_6 \cdot Cl \cdot 2H_2O$ и $Ca_2Al(OH)_6 \cdot I \cdot 2H_2O$ относятся к классу так называемых анионных глин, их слоистая структура образуется искаженным гидроксидом кальция и гидроксидом алюминия. Межслоевое пространство заполнено анионами Cl или I соответственно и молекулами воды [2,3]. Хлорсодержащий гидрокалюмит является одним из наиболее хорошо изученных слоистых двойных гидроксидов (LDH) и может служить моделью для сравнения при изучении остальных материалов данного класса, важных в различных приложениях. В тоже время, изучение йодсодержащей фазы только началось [4,5]. При этом формирование данных фаз внутри репозитория под воздействием температуры и давления может значительно изменить поведение радионуклидов.

Основными целями данной работы являлось исследование адсорбции радионуклидов на поверхности цементных AFm фаз, а также исследование структурных параметров данных материалов. И хотя адсорбция уже известна для гидрокалюмита, тем не менее ранее в основном рассматривался только хлорсодердащий гидрокалюмит, а адсорбция на поверхности йодсодержащей фазы ещё не была в до-

статочной мере изучена. Так, существует статья [5], однако в ней рассматривалась малая система и с использованием оригинальной версии силового поля ClayFF, в то время как задачей этой работы является использования модифицированного силового поля, способного значительно улучшить описание системы кристалл-раствор [6].

Исследование методом классической молекулярной динамики

При вычислениях с использованием метода классической МД в качестве потенциала было использовано силовое поле ClayFF в модификации с фиксированными углами между металлом и гидроксидом, так называемое ClayFF-MOH [6, 7]. В выбранном силовом поле общая потенциальная энергия взаимодействия задается как (1):

$$E_{total} = E_{bond\ stretch} + E_{angle\ bend} + E_{Coul} + E_{vdw}, \quad (1)$$

где $E_{bond\ stretch}$ и $E_{angle\ bend}$ задаются гармоническими потенциалами для связи H-O, а также для угла между металлом и гидроксидом в кристалле. E_{Coul} отвечает за электростатическое взаимодействие и описывается потенциалом Кулона, E_{vdW} отвечает за силы Ван-дер-Ваальса и описывается потенциалом Леннарда-Джонса 12-6 [8].

Была использована увеличенная в 64 раза идеальная ячейка и применены периодические граничные условия, моделирование проводилось в пакете LAMMPS.

В нашем исследовании мы обнаружили, что обе AFm фазы способны притягивать и удерживать радиоактивные анионы вблизи своей поверхности, что подтверждается контурными картами и профилями плотности на рис.1 и рис.2.

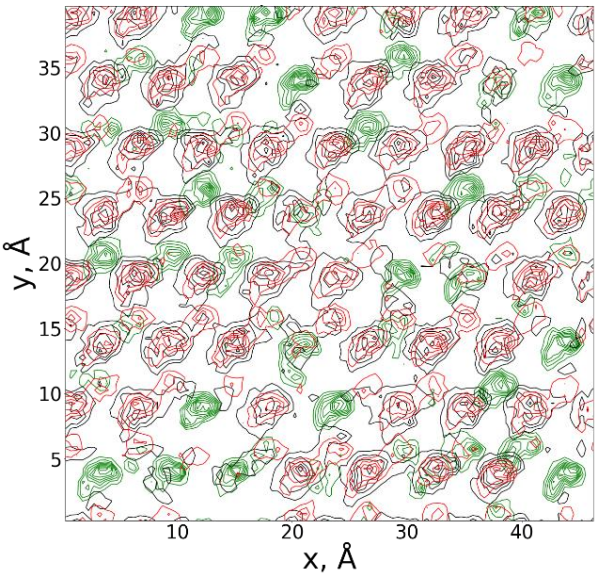


Рис.6. Контурная карта раствора на поверхности Cl-AFm фазы

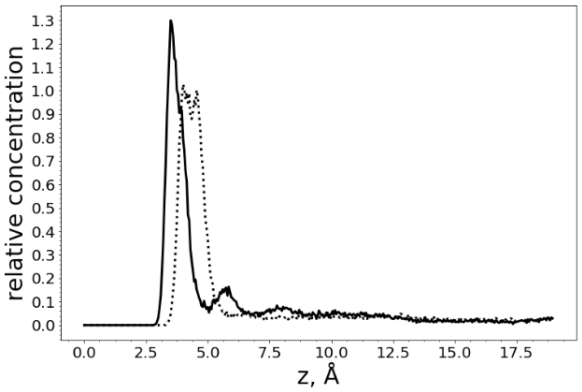


Рис.7. Профиль плотности анионов Cl (сплошная линия) и I (пунктирная линия).

Также, мы оценили характер движения частиц в растворе и на поверхности кристаллов, получив значительное снижение подвижности вблизи поверхности для обоих анионов, что согласуется с данными контурных карт.

Вычисления методом DFT

Для DFT расчётов была взята ячейка хлорсодержащего гидрокалюмита из 88 атомов. Мы применяли метод BLYP в сочетании с полуэмпирической поправкой D3 [9] для воды и анионов в межслоевом пространстве при геометрической оптимизации структуры при температуре 0 K. Все вычисления выполнялись в программном пакете CP2K.

Были получены оптимизированные положения базисных атомов и проведено сравнение с экспериментом [10].

Таблица 1. Положения базисных атомов

Element	X, DFT	Y, DFT	Z, DFT
Ca	0.09891	0.74877	0.03377
Al	0.75000	0.75000	0.00000
O	0.87358	0.64532	0.93641
O	0.79826	0.47673	0.06291
O	0.59175	0.57562	0.93672
O	0.16711	0.75605	0.19288
H1	0.86442	0.70825	0.88077
H2	0.85960	0.48187	0.11951
H3	0.58407	0.53068	0.87892
Hw	0.12367	0.63141	0.21612
Hw	0.26629	0.73837	0.21719
Cl	0.00000	0.33699	0.25000

Заключение

В работе было проведено многомасштабное моделирование хлор- и йодсодержащего гидрокалюмита. Показано, что цементные AFm фазы обладают упорядоченным межслоевым пространством, что согласуется с предыдущими работами [2,5]. Наши расчеты подтвердили, что гидрокалюмит способен притягивать и удерживать радионуклиды хлора и йода вблизи своей поверхности. При этом также замедляется и подвижность данных частиц. Подтверждается более низкая подвижность йода вблизи кри-

сталла по сравнению с анионом хлора. ClayFF-MOH позволяет с большей точностью описывать взаимодействие ионов с гидроксилами по сравнению с оригинальной версией, использованной в работе [5].

Нами было показано, что метод DFT-D3 применим для данной системы. Помимо этого, были получены оптимизированные положения атомов в ячейке, которые могут быть использованы для вычисления улучшенных параметров силового поля для классической МД, а так же для исследования фазовых переходов в гидрокалюмите.

Список литературы

1. B. Grambow, “Mobile fission and activation products in nuclear waste disposal”// J. Contam. Hydrol., 102, 180, 2008
2. A.G. Kalinichev, R.J. Kirkpatrick, R.T. Cygan, “Molecular modeling of the structure and dynamics of the interlayer and surface species of mixed-metal layered hydroxides: Chloride and water in hydrocalumite (Friedel's salt)” // American Mineralogist, vol. 85, no. 1046, 2000
3. A.G.Kalinichev, R.J. Kirkpatrick, “Molecular dynamics modeling of chloride binding to the surfaces of calcium hydroxide, hydrated calcium aluminate, and calcium silicate phases” // Chem. Mater., vol. 14, no. 3539, 2002
4. L. Nedyalkova, Lothenbach B, Geng G, Mäder U, Tits J, “Uptake of iodide by calcium aluminate phases (AFm phases),” Appl. Geochem., vol. 116, no. 104559, 2020.
5. Глушак А.А., Тарарушкин Е.В., Калиничев А.Г., “Атомистическое компьютерное моделирование гидрокалюмита как адсорбента радиоактивных анионов из водных растворов” // Журнал Физической химии, 2022, том 96, №4, с. 535-537
6. Maxime Pouvreau, Jeffery A. Greathouse, Randall T. Cygan, and Andrey G. Kalinichev, “Structure of Hydrated Gibbsite and Brucite Edge Surfaces: DFT Results and Further Development of the ClayFF Classical Force Field with Metal−O−H Angle Bending Terms”// J. Phys. Chem. C, vol. 121, no. 27, pp. 14757-14771, 2017
7. R.T. Cygan, J.A. Greathouse, A.G. Kalinichev, “Advances in Clayff Molecular Simulation of Layered and Nanoporous Materials and Their Aqueous Interfaces”, J. Phys. Chem. C, vol. 125, pp. 17573-17589, July, 2021
8. R.T. Cygan, Jian-Jie Liang, Andrey G. Kalinichev, “Molecular models of hydroxide, oxyhydroxide, and clay phases and the development of a general force field” // J. Phys. Chem. B, vol. 108, no. 1255, 2004
9. Stefan Grimme, Jens Antony, Stephan Ehrlich, and Helge Krieg, “A consistent and accurate ab initio parametrization of density functional dispersion correction (DFT-D) for the 94 elements H-Pu”// J. of Chem. Phys., vol. 132, no. 154104, 2010
10. G. Renaudin, J.-P. Rapin, E. Elkain, M. François. // Cem. Concr. Res., 2004, 34, 1845-1852

КОРРЕКЦИЯ МОДЕЛИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ СВЕРХПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Миколаенко В.В.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Формовка листовых заготовок из сверхпластического материала – это технологический процесс, позволяющий получать тонкостенные изделия сложной геометрической формы. При реализации такого процесса необходимо задавать режим давления и температуры исходя из модели деформационного поведения материала. Существует множество экспериментальных методик, позволяющих получить такую модель, среди которых основной является механическое испытание плоских образцов на одноосное растяжение с постоянной скоростью деформации. В российских и международных стандартах описана процедура проведения соответствующих испытаний и интерпретации результатов. Однако такая интерпретация результатов основывается на предположении об однородности распределения скоростей деформации в рабочей зоне образца, что не соответствует действительности, а значит приводит к искажению модели деформационного поведения материала. В данной работе представлен способ коррекции экспериментальных данных с помощью обратного анализа на примере экспериментального сплава на основе алюминия. При обратном анализе используется компьютерное моделирование, что позволяет учесть геометрические особенности образца, приводящие к неоднородности распределения скоростей деформации в рабочей зоне.

Введение

Производственные процессы по формовке листовых изделий позволяют получить тонкостенные изделия сложной геометрической формы [1,2]. Для реализации таких процессов необходимо задавать режим давления и температуры, учитывающий особенности деформационного поведения формуемого сплава [3,4]. Для исследования деформационного поведения сверхпластических сплавов разработано множество экспериментальных методик, среди которых: механические испытания на растяжение плоских образцов [5,6] и испытания по формовке листовых образцов [7,8].

Наиболее распространённой методикой является исследование модели деформационного поведения материала с помощью одноосного растяжения плоских образцов с постоянной скоростью деформации. Данный способ позволяет получить в качестве экспериментальных данных зависимости напряжений от деформаций, по которым далее будет строиться модель. Параметры установки, проводящей испытания, и процедура интерпретации экспериментальных данных изложены в международном стандарте

ASTM-E2448 [9]. Таким образом, для каждой из скоростей деформации, при которой проводилось испытание, получают зависимость напряжений от деформаций. После чего строится модель деформационного поведения материала, аппроксимирующая полученные зависимости.

Однако, стандартная методика интерпретации экспериментальных данных не учитывает неоднородность распределения скоростей деформации в образце, что приводит к искажению зависимостей напряжений от деформаций. Неоднородность возникает из-за того, что часть материала из области захватной зоны образца втекает в рабочую зону. Данная проблема обсуждалась в ряде численных и экспериментальных исследований [10–12]. В работе [12] продемонстрировано, что игнорирование неоднородности распределения скорости деформации в образце при интерпретации результатов испытаний может приводить к возникновению ошибки в оценке напряжений, которая в зависимости от свойств материала может достигать 25%.

В данной работе предлагается методика интерпретации результатов испытаний на одноосное растяжение плоских образцов в условиях сверхпластической дефомрации, учитывающая неоднородность распределения скорости деформации в образце. Модель деформационного поведения материала строится итерационно с применением компьютерного моделирования для оценки и уменьшения ошибки в значениях напряжений на каждой итерации.

Модель деформационного поведения

Построение модели деформационного поведения исследуемого сплава заключается в нахождении соотношений $\sigma = \sigma(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$, аппроксимирующих зависимости напряжений σ от деформаций ε и скоростей деформации $\dot{\varepsilon}$. В такой модели не учитывается температура, так как скорости деформации очень маленькие, а значит энергия деформационного нагрева незначительная. В рамках стандартного подхода для построения непрерывной функции $\sigma(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$ используется модель уравнения состояния деформируемой среды [13,14]:

$$\dot{\varepsilon} = \mathrm{A}_1\sigma^{\mathrm{n}}, \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon} = \mathrm{A}_2\exp(\mathrm{b}\sigma), \quad (2)$$

$$\dot{\varepsilon} = \mathrm{A}_3(\sinh(\alpha\sigma))^{\gamma}, \quad (3)$$

где $A_1, A_2, A_3, b, n, \gamma, a$ – константы материала, зависящие от деформации ε. С помощью линейной регрессии последовательно вычисляют n и b из уравнений (1) и (2) соответственно:

$$\ln\dot{\varepsilon} = \ln\mathrm{A}_1 + \mathrm{n}\ln\sigma \quad \Rightarrow \quad \mathrm{n} = \frac{\partial\ln\dot{\varepsilon}}{\partial\ln\sigma}, \quad (4)$$

$$\ln\dot{\varepsilon} = \ln\mathrm{A}_2 + \mathrm{b}\sigma \quad \Rightarrow \quad \mathrm{b} = \frac{\partial\ln\dot{\varepsilon}}{\partial\sigma}. \quad (5)$$

В уравнении (3) определяют $\alpha = b/n$ и вводят обозначение $\beta = \ln A_3$. После чего с помощью линейной регрессии вычисляют γ:

$$\ln\dot{\varepsilon} = \beta + \gamma\ln\sinh(\alpha\sigma) \quad \Rightarrow \quad \gamma = \frac{\partial\ln\dot{\varepsilon}}{\partial\ln\sinh(\alpha\sigma)}. \quad (6)$$

Таким образом, для дискретного набора значений деформации ε_i получены константы: $a_i = a(\varepsilon_i)$, $\beta_i = \beta(\varepsilon_i)$ и $\gamma_i = \gamma(\varepsilon_i)$. Согласно апробированному подходу [13,14], для построения непрерывной модели $\sigma = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$ вышеуказанные константы аппроксимируются полиномами 5-й степени:

$$\begin{gathered}\alpha(\varepsilon) = \mathrm{K}_1 + \mathrm{K}_2\varepsilon + \mathrm{K}_3\,\varepsilon^2 + \mathrm{K}_4\,\varepsilon^3 + \mathrm{K}_5\,\varepsilon^4 + \mathrm{K}_6\,\varepsilon^5 \\ \beta(\varepsilon) = \mathrm{K}_7 + \mathrm{K}_8\varepsilon + \mathrm{K}_9\varepsilon^2 + \mathrm{K}_{10}\varepsilon^3 + \mathrm{K}_{11}\varepsilon^4 + \mathrm{K}_{12}\varepsilon^5 \\ \gamma(\varepsilon) = \mathrm{K}_{13} + \mathrm{K}_{14}\varepsilon + \mathrm{K}_{15}\varepsilon^2 + \mathrm{K}_{16}\varepsilon^3 + \mathrm{K}_{17}\varepsilon^4 + \mathrm{K}_{18}\varepsilon^5\end{gathered} \quad (7)$$

$$\sigma(\varepsilon, \dot{\varepsilon}) = \frac{1}{\alpha(\varepsilon)}\ln\left\{\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\exp(\beta(\varepsilon))}\right)^{\frac{1}{\gamma(\varepsilon)}} + \left[\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\exp(\beta(\varepsilon))}\right)^{\frac{2}{\gamma(\varepsilon)}} + 1\right]^{\frac{1}{2}}\right\}. \quad (8)$$

Коррекция экспериментальных данных

В данной работе коррекция экспериментальных данных проводится с помощью итерационного метода. На первой итерации зависимости напряжения от деформации строятся стандартным способом ($\sigma_{\exp}$). После чего по ним строится модель деформационного поведения материала $\sigma_{in}^{[1]}(\varepsilon, \dot{\varepsilon}) = \sigma_{\exp}(\varepsilon, \dot{\varepsilon}) = \sigma_{\exp}$, которая подаётся на вход компьютерного моделирования первой итерации. Результат конечно-элементного моделирования интерпретируется в кривые зависимости напряжения от деформации стандартным способом ($\sigma_{out}^{[1]}$). После чего по ним строится модель $\sigma_{out}^{[1]}(\varepsilon, \dot{\varepsilon}) = \sigma_{out}^{[1]}$. Таким образом, на основе двух моделей на каждой -ой итерации рассчитывается коэффициент коррекции:

$$\mathrm{k}^{[\mathrm{i}]}(\varepsilon, \dot{\varepsilon}) = \frac{0{,}5\,\sigma_{\exp}(\varepsilon,\dot{\varepsilon}) + 0{,}5\,\sigma_{\mathrm{out}}^{[\mathrm{i}]}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})}{\sigma_{\exp}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})}. \quad (9)$$

Модель деформационного поведения материала, поступающая на вход компьютерного моделирования следующей итерации определяется формулой:

$$\sigma_{\mathrm{in}}^{[\mathrm{i}+1]}(\varepsilon, \dot{\varepsilon}) = \mathrm{k}^{[\mathrm{i}]}(\varepsilon, \dot{\varepsilon})\,\sigma_{\mathrm{in}}^{[\mathrm{i}]}(\varepsilon, \dot{\varepsilon})\,. \quad (10)$$

Итерационная процедура продолжается до тех пор, пока отклонения между $\sigma_{out}^{[i]}(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$ и $\sigma_{\exp}(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$ не достигнут заданной погрешности.

Результаты

При сотрудничестве с лабораторией «Ультрамелкозернистых металлических материалов» НИТУ «МИСиС» были получены экспериментальные данные по испытанию плоских образцов на одноосное растяжение при постоянных скоростях деформации. Для этого была проведена серия из пяти испытаний экспериментального сплава системы Al-Mg-Fe-Ni [15] при температуре $460C^o$ и скоростях деформации $\dot{\varepsilon}$: $0.002\mathrm{c}^{-1}$, $0.005\mathrm{c}^{-1}$, $0.01\mathrm{c}^{-1}$, $0.02\mathrm{c}^{-1}$ и $0.03\,\mathrm{c}^{-1}$. Геометрии образца и установки, проводящей механические испытания, изображены на рисунке 1.

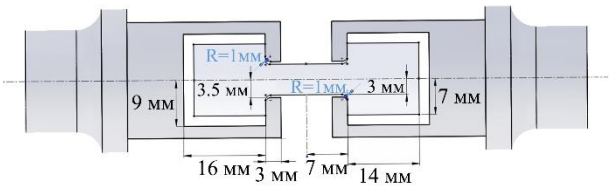


Рис.1. Геометрии образца и установки

Разработанные алгоритмы коррекции были опробованы на полученных из МИСиС экспериментальных данных. На основе этих данных, с помощью стандартного подхода [13,14], было задано начальное приближение свойств материала $\sigma_{in}^{[1]}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$, не учитывающее неоднородность распределения скоростей деформации в образце. Сравнение экспериментальных данных с такой моделью продемонстрировано на рисунке 2: экспериментальные данные $\sigma_{\exp}$ обозначены пунктирной линией с маркерами, а модель $\sigma_{in}^{[1]}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$ – сплошной линией.

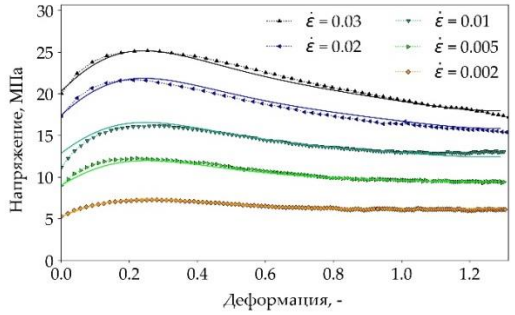


Рис.2. Сравнение экспериментальных данных с начальным приближением свойств материала

Поскольку данные, представленные на рис. 2, не являются результатми непосредственных измерений, а рассчитаны на их основе с помощью простых соотношений, не учитывающих неоднородность формоизменения образца, модель деформационного поведения не может считаться достоверной.

На рис. 3 в сравнении с экспериментальным данными представлены результаты компьютерного моделирования, полученные с использованием модели деформационного поведения материала, проиллюстрированной на рис.2. Результаты компьютерного моделирования ($\sigma_{out}^{[1]}$) обозначенны сплошной линией, экспериментальные данные ($\sigma_{\exp}$) – пунктирной линией с маркерами.

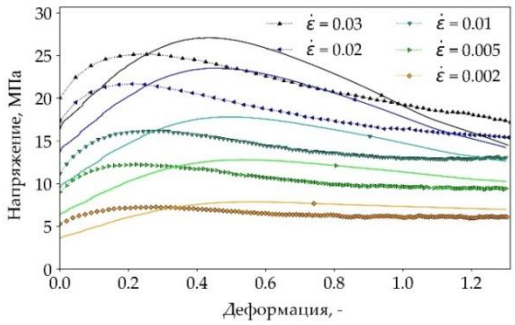


Рис. 3. Сравнение экспериментальных данных с результатами компьютерного моделирования

Как видно из рисунка 3, кривые $\sigma_{out}^{[1]}$ плохо согласуются с кривыми $\sigma_{\exp}$. Кривые $\sigma_{out}^{[1]}$ занижены вначале и завышены при деформации больше 0.3. Таким образом, пренебрежение неоднородностью распределения скоростей деформации при построении модели деформационного поведения материала приводит к значительному отклонению результатов компьютерного моделирования (позволяющего учесть эти неоднородности) от экспериментальных данных. Для устранения этих отклонениий применена итерационная процедура коррекции, описанная выше.

При реализации алгоритмов коррекции было выполнено пять итераций. После каждой итерации было зафиксировано среднее отклонение $\sigma_{\exp}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$ от $\sigma_{out}^{[i]}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$. Результаты продемонстрированы в таблице 1.

Таблица 1. Среднее отклонение результатов моделирования от экспериментальных данных

	Итер.1 МПа	**Итер.2** МПа	**Итер.3** МПа	**Итер.4** МПа	**Итер.5** МПа
$\dot{\varepsilon}=0.03c^{-1}$	2,018	1,229	0,795	0,756	0,554
$\dot{\varepsilon}=0.02c^{-1}$	2,115	1,004	0,583	0,476	0,5
$\dot{\varepsilon}=0.01c^{-1}$	1,708	0,715	0,448	0,379	0,379
$\dot{\varepsilon}=0.005c^{-1}$	1,627	0,576	0,27	0,184	0,209
$\dot{\varepsilon}=0.002c^{-1}$	1,122	0,346	0,167	0,152	0,137
Среднее:	**1,718**	**0,774**	**0,453**	**0,389**	**0,356**

Данные из таблицы демонстрируют эффективность предложенной методики. Уже для 5-й итерации была получена модель деформационного поведения материала $\sigma_{in}^{[5]}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$, использование которой при компьютерном моделировании приводит к следующим результатам: среднее отклонение кривых напряжения и деформации $\sigma_{out}^{[5]}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$, полученных в результате компьютерного **моделирования, от кривых из экспериментальных данных** $\sigma_{\exp}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$ меньше, чем $0.4\ \text{Н/мм}^2$. Таким образом, разница не превышает 2,5%.

На рисунке 4 экспериментальные данные ($\sigma_{\exp}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$) обозначены сплошной линией с круглыми маркерами; модель, построенная на результатх моделирования 5-й итерации ($\sigma_{out}^{[5]}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$), обозначена пунктирной линией, а окончательно скорректированная модель ($\sigma_{in}^{[6]}(\varepsilon,\dot{\varepsilon})$), – сплошной линией.

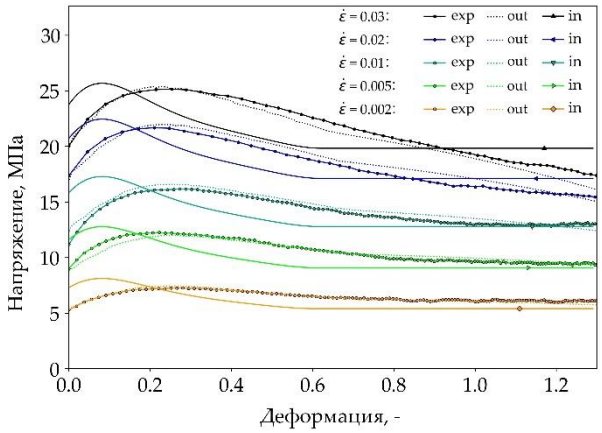


Рис.4. Сравнение экспериментальных данных с моделью, построенной по результатам моделирования 5-й итерации, и окончательно скорректированной моделью

На рисунке 4 видно, что при использовании скорректированной модели $\sigma_{in}^{[5]}(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$, учитывающей неоднородность распределения скоростей деформации в образце, кривые $\sigma_{\exp}(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$ и $\sigma_{out}^{[5]}(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$ хорошо согласуются друг с другом. Следует отметить, что в сравнении с первым приближением, качественно изменился характер кривых, описывающий свойства материала.

В таблице 2 приведены значения коэффициентов полиномов 5-й степени из уравнений (7), формирующие итоговую модель $\sigma_{in}^{[6]}(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$.

Таблица 2. Коэффициенты модели

$\boldsymbol{\alpha(\varepsilon)}$		$\boldsymbol{\beta(\varepsilon)}$		$\boldsymbol{\gamma(\varepsilon)}$	
K_1	0.0703349592	K_7	−5.138528526	K_{13}	1.728832546
K_2	−0.144119649	K_8	−1.195374573	K_{14}	1.029701697
K_3	1.314962995	K_9	10.16809832	K_{15}	−9.28764259
K_4	−3.904314909	K_{10}	−33.74396595	K_{16}	24.58882870
K_5	5.3194704571	K_{11}	52.032499807	K_{17}	−29.9524448
K_6	−2.769228546	K_{12}	−30.4932902	K_{18}	14.60868903

Заключение

В данной работе с помощью механических испытаний плоских образцов на растяжение с постоянной скоростью деформации построена модель деформационного поведения экспериментального сплава системы Al-Mg-Fe-Ni. Выполнена оценка влияния эффекта неоднородности распределения скоростей деформации в образце на результаты испытаний: отклонение экспериментальных данных от результатов конечно-элементного моделирования, проведённого при использовании свойств материала, полученных в рамках стандартного подхода, может достигать 20%. Таким образом, пренебрежение эффектом неоднородности распределения скоростей деформации в образце приводит к значительным искажениям модели деформационного поведения материала. Чтобы учесть этот эффект, предложена итерационная методика коррекции деформационной модели поведения материала, при реализации которой многократно используется компьютерное моделирование с различными входными параметрами. В результате применения данной методики удалось повысить достоверность получаемых результатов так, что разница между экспериментальными данными и компьютерными моделированиями составила не более 2.5%.

Список литературы

1. Langdon T. G. The mechanical properties of superplastic materials. - 1982. - *Metall. Trans. A.*
2. Sherby O. D., Wadsworth J. Superplasticity-Recent advances and future directions. - 1989. - *Prog. Mater. Sci.*
3. Jarrar F., Sorgente D., Aksenov S., Enikeev F. On the challenges and prospects of the superplastic forming process. - 2018. *Materials Science Forum*
4. Aksenov S. A., Kolesnikov A. V., Mikhaylovskaya A. V. Design of a gas forming technology using the material constants obtained by tensile and free bulging testing. - 2016. - *J. Mater. Process. Technol.* - № 237. - с. 88–95.
5. Yasmeen T., Shao Z., Zhao L., Gao P., Lin J., Jiang J. Constitutive modeling for the simulation of the superplastic forming of TA15 titanium alloy. - 2019. - *Int. J. Mech. Sci.*
6. Yang J., Wu J., Zhang Q., Han R., Wang K. Investigation of flow behavior and microstructure of Ti–6Al–4V with annealing treatment during superplastic forming. - 2020. - *Mater. Sci. Eng. A.*
7. Enikeev F. U., Kruglov A. A. An analysis of the superplastic forming of a thin circular diaphragm. - 1995. - *Int. J. Mech. Sci.*
8. Aksenov S., Sorgente D. Determination of biaxial stress–strain curves for superplastic materials by means of bulge forming tests at constant stress. - 2020. - *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* - № 31. - с. 618–27.
9. E2448-11 Standard Test Method for Determining the Superplastic Properties of Metallic Sheet Materials. - 2011. - *ASTM B. Stand.*
10. Khaleel M. A., Johnson K. I., Lavender C. A., Smith M. T., Hamilton C. H. Specimen geometry effect on the accuracy of constitutive relations in a superplastic 5083 aluminum alloy. - 1996. - *Scr. Mater.*
11. Nazzal M., Abu-Farha F., Curtis R. Finite element simulations for investigating the effects of specimen geometry in superplastic tensile tests. - 2011. - *J. Mater. Eng. Perform.* - № 20. - с. 865–76.
12. Aksenov S., Mikolaenko V. The effect of material properties on the accuracy of superplastic tensile test. - 2020. - *Metals (Basel).*
13. Mosleh A. O., Mikhaylovskaya A. V., Kotov A. D., Kwame J. S., Aksenov S. A. Superplasticity of Ti-6Al-4V titanium alloy: Microstructure evolution and constitutive modelling. - 2019. - *Materials (Basel).* - № 12.
14. Mosleh A. O., Mikhaylovskaya A. V., Kotov A. D., Portnoy V. K. Arrhenius-type constitutive equation model of superplastic deformation behaviour of titanium-based alloys. - 2018. *Defect and Diffusion Forum*
15. Kishchik A. A., Mikhaylovskaya A. V., Kotov A. D., Rofman O. V., Portnoy V. K. Al-Mg-Fe-Ni based alloy for high strain rate superplastic forming. - 2018. - *Mater. Sci. Eng. A.* - № 718. - с. 190–7.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ОРБИТ ВОКРУГ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ ОГРАНИЧЕННОЙ ЗАДАЧИ ТРЕХ ТЕЛ

Посынкин А.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается метод расчета орбит вокруг точек либрации в ограниченной задаче трех тел с применением машинного обучения. Целью исследования является расширение карты начальных условий, соответствующих орбитам вокруг точек либрации.

Введение

Точки либрации являются стационарными решениями круговой ограниченной задачи трех тел, которая используется для моделирования и анализа динамики космического полета в системах Солнце-Земля, Земля-Луна. Движение вокруг точек либрации может описываться периодическими и квазипериодическими орбитами, которые могут быть использованы при проектировании космических миссий, недоступных для эллиптических орбит.

Например, орбиты вокруг точки L1 системы Солнце-Земля использовались в миссиях ISEE-3 3 [1], WIND [2], SOHO [3], ACE [4], Genesis [5]. Также их планируется использовать в будущих миссиях для обнаружения и предупреждения столкновений с объектами, орбита которых может быть в непосредственной близости с Землей [6-8].

Однако общего аналитического решения задача трёх тел не имеет. Применение численных методов также осложнено неустойчивостью движения. Разработанные для решения данной задачи численные и асимптотические методы позволяют рассчитать орбиты только в ограниченной окрестности точки либрации. Цель работы состоит в разработке модели машинного обучения, которая позволит расширить эту область.

Круговая ограниченная задача трёх тел

Динамическая структура системы Солнце-Земля (Земля-Луна) описывается в первом приближении круговой ограниченной задачей трёх тел. Используется вращающаяся система с центром в Солнце (Земле) и направленной к Земле (Луне) осью абсцисс. Ось ординат находится в плоскости Солнце-Земля (Земля-Луна), а ось аппликат – ортогональна этой плоскости.

Движение космического аппарата, находящегося в этой системе, подчиняется следующим уравнениям:

$$\begin{cases} \ddot{x} - 2\dot{y} = \dfrac{\partial U}{\partial x}, \\ \ddot{y} + 2\dot{x} = \dfrac{\partial U}{\partial y}, \\ \ddot{z} = \dfrac{\partial U}{\partial z}; \end{cases} \quad (1)$$

$$U = \frac{1}{2}(x^2 + y^2) + \frac{1-\mu}{r_1} + \frac{\mu}{r_2}, \quad (2)$$

$$r_1 = \sqrt{(x+\mu)^2 + y^2 + z^2}, \quad (3)$$

$$r_2 = \sqrt{(x-1+\mu)^2 + y^2 + z^2}, \quad (4)$$

где μ – безразмерный параметр, связанный с системой.

Решение этой системы, линеаризованной около точки либрации имеет вид:

$$\begin{cases} x = \gamma + A_1 e^{\lambda t} + A_2 e^{-\lambda t} + A_x \cos(\omega_x t + \varphi_x) \\ y = cA_1 e^{\lambda t} - cA_2 e^{-\lambda t} - kA_x \sin(\omega_x t + \varphi_x) \\ z = A_z \cos(\nu t + \psi)\,. \end{cases} \quad (5)$$

где γ – абсцисса точки либрации, коэффициенты A_1, A_2, A_x, φ_x и ψ зависят от начальных условий.

При $A_1 = A_2 = 0$ решение будет содержать периодические и квазипериодические орбиты, при $A_1 = 0$ и $A_2 \neq 0$ – асимптотически устойчивые многообразия, при $A_1 \neq 0$ и $A_2 = 0$ – асимптотически неустойчивые многообразия. Устойчивые и неустойчивые многообразия, в зависимости от знака соответствующего A_i, будут соответствовать положительной или отрицательной неустойчивой компоненте. Такой же особенностью обладает решение исходной нелинейной системы (1) - (4).

Построение орбит вокруг точек либрации

Поскольку знак неустойчивой компоненты зависит от начальных условий, фазовое пространство делится на 2 области: отвечающие знаку «+» и знаку «-». Граница этих областей соответствует нулевой неустойчивой компоненте - орбитам вокруг точки либрации. Следовательно, если 2 точки фазового пространства имеют разные знаки неустойчивой компоненты, то на отрезке, который их соединяет, будет точка с нулевой неустойчивой компонентой.

Таким образом, при наличии классификатора знака неустойчивой компоненты точек фазового пространства можно разметить это пространство на 2 класса. Затем, при помощи метода бисекции [9-10] для любых двух точек разного класса находится точка на отрезке, соединяющем эти точки, соответствующая нулевой неустойчивой компоненте и приводящей к орбите вокруг точки либрации.

Для определения знака неустойчивой компоненты точек вблизи точки либрации предлагается использовать метод плоскостей [11]. Его суть состоит в том, что из заданной точки, выпускается траектория, рассчитываемая при помощи численного интегрирования. Если эта траектория будет распространяться вдоль положительного направления оси OX и достигнет заданного x_{max}, то начальная точка будет отнесена к «положительному» классу. Если же дви-

жение будет в обратном направлении и достигнет заданного x_{min} – к «отрицательному».

Карта начальных условий, приводящих к орбитам вокруг точки либрации L1 в системе Солнце-Земля, полученная при помощи метода плоскостей, приведена на рисунке 1. Для каждой точки плоскости XZ (при $y = 0$) цветом изображен модуль скорости, направленной вдоль оси OY, который приводит к движению по орбите вокруг точки либрации.

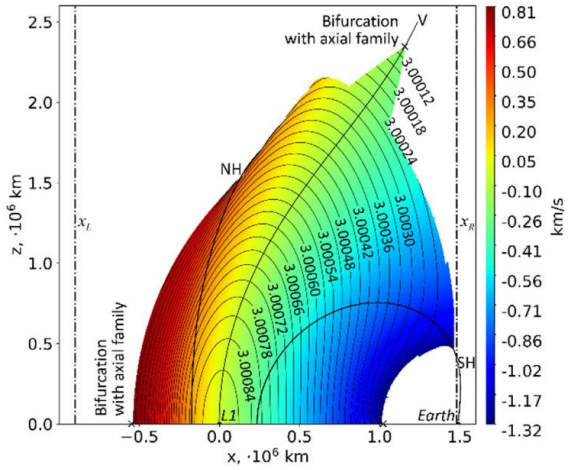


Рис.1. Карта начальных условий, приводящих к орбитам вокруг точки либрации L1 в системе Солнце-Земля [11]

При удалении от точки либрации структура неустойчивого многообразия становится существенно нелинейной, что приводит к невозможности применения метода плоскостей. За пределами цветной области, изображенной на рисунке 1, данный метод не позволяет рассчитывать орбиты вокруг точки либрации.

Применение машинного обучения

На данный момент методы машинного обучения уже применяются для получения орбит вокруг точки либрации. Например, в работе [12] метод опорных векторов с Гауссовым ядром был применен для расчета транзитных орбит – промежуточных эллиптических орбит, которые используются для перемещения космического корабля с одной круговой орбиты на другую.

В рамках настоящей работы машинное обучение применяется для построения классификатора векторов состояния космического аппарата. Обучающая выборка формировалась из векторов состояния траекторий, размеченных с помощью метода плоскостей. Выбор начальных векторов состояния осуществлялся посредством обхода линий уровня константы Якоби. Начальные вектора состояния имели координаты, лежащие на плоскости $y=0$ и скорости, ортогональные этой плоскости. Значение скорости выбиралось таким образом, чтобы обеспечить обнуление неустойчивой компоненты движения, а координаты x и z – чтобы получить заданное значение константы Якоби.

В качестве модели использовался LightGBM [13]. С каждой линии уровня константы Якоби и рассчитанных при их построении траекторий случайным образом было взято фиксированное число точек. Итоговая обучающая выборка имела размер около 50000000 уникальных точек фазового пространства. Кроме координат и скорости на вход модели подавалось значение константы Якоби.

На рисунке 2 приведены линии уровня константы Якоби, полученные при помощи приведённого выше алгоритма с шагом в 2500 км. Чёрной точкой обозначена Земля.

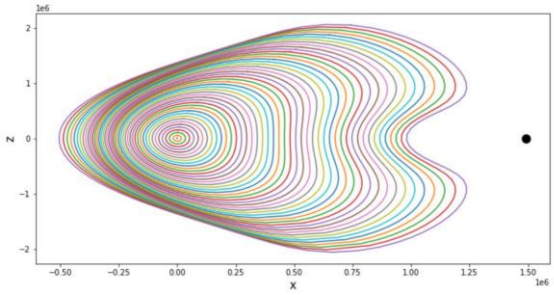


Рис.2. Линии уровня константы Якоби на плоскости XZ (при y = 0)

Каждая из полученных точек линий уровня константы Якоби приводит к орбите вокруг точки либрации. На рисунке 3 приведены примеры полученных орбит в проекциях на 3 плоскости.

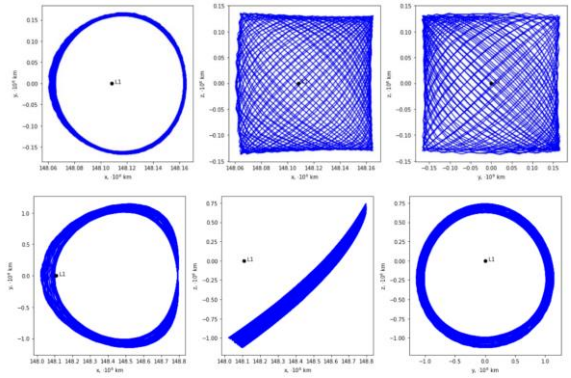


Рис.3. Примеры рассчитанных орбит

Помимо точек линий уровня в обучающую выборку были добавлены точки траекторий, полученных при численном интегрировании во время работы алгоритма. Интегрирование длилось до пересечения с левой или правой плоскостью на расстоянии 1500000 км от точки либрации вдоль оси OX. Причем все точки в рамках одной траектории помечены одинаковым классом – в соответствии с пересекаемой этой траекторией плоскости.

Подбор гиперпараметров модели проводился при помощи кросс-валидации на обучающей выборке. Был выбран тот набор гиперпараметров, который давал максимальную среднюю F1-меру (0.9638). Далее модель с полученными гиперпараметрами была обучена на всей обучающей выборке. Полученная F1-мера на обучающей выборке составила 0.9669, а на отложенной тестовой – 0.9667.

Для оценки качества полученной модели были также построены линии уровня константы Якоби.

Однако, в качестве критерия разделения типов траекторий использовался не метод плоскостей, а построенная модель. Примеры построенных линий уровня приведен на рисунке 4. Применение модели оказалось эффективным при значениях константы Якоби, больших чем 3.00027.

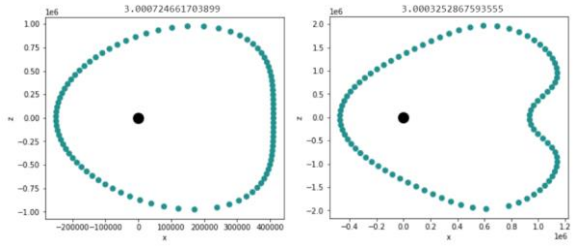


Рис.4. Примеры построенных при помощи модели линий уровня константы Якоби

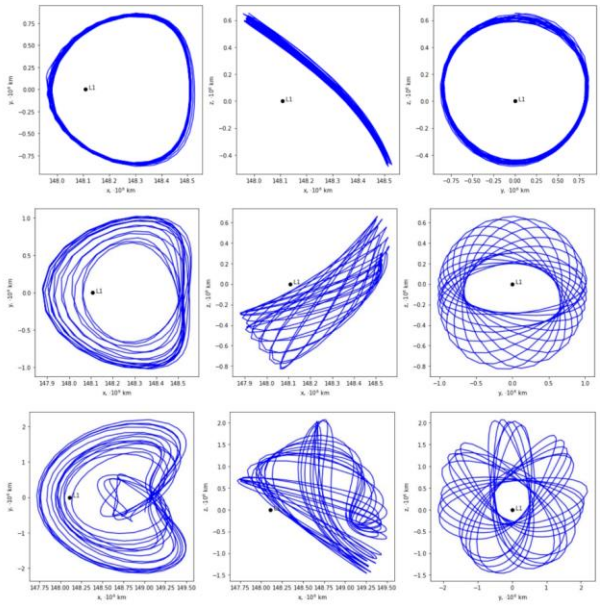


Рис.5. Примеры орбит вокруг точки либрации, построенные при помощи модели

Построенная модель была интегрирована в алгоритм построения орбит вокруг точек либрации. Она использовалась для определения знака неустойчивой компоненты движения вместо критерия, применяемого в методе плоскостей. На рисунке 5 представлены примеры орбит вокруг точки либрации, построенные при помощи модели. Можно видеть, что построенная модель успешно строит орбиты в области работы метода плоскостей.

Заключение

В результате работы была получена модель, основанная на градиентном бустинге над решающими деревьями, которая успешно строит орбиты вокруг точки либрации в области работы метода плоскостей. В дальнейшем планируется доработать модель так, чтобы она смогла работать в более широкой области.

Список литературы

1. Farquhar, R.W., 1998. The flight of ISEE-3/ICE: Origins, mission history, and a legacy, in: AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference and Exhibit. DOI: 10.2514/6.1998-4464
2. Sharer, P., Franz, H., Folta, D., 1995. WIND Trajectory Design and Control, in: Paper No. MS95/032, CNES International Symposium on Space Dynamics.
3. Dunham, D.W., Jen, S.J., Roberts, C.E., Seacord, A.W., Sharer, P.J., Folta, D.C., Muhonen, D.P., 1992. Transfer trajectory design for the SOHO libration-point mission, in: Washington, DC International Astronautical Federation Congress.
4. Sharer, P., Harrington, T., 1996. Trajectory optimization for the ACE halo orbit mission, in: Astrodynamics Conference. p. 3601
5. Burnett, D.S., Barraclough, B.L., Bennett, R., Neugebauer, M., Oldham, L.P., Sasaki, C.N., Sevilla, D., Smith, N., Stansbery, E., Sweetnam, D., et al., 2003. The Genesis discovery mission: Return of solar matter to Earth. Space Sci. Rev. 105, 509–534.
6. Dunham, D.W., Reitsema, H.J., Lu, E., Arentz, R., Linfield, R., Chapman, C., Farquhar, R., Ledkov, A.A., Eismont, N.A., Chumachenko, E., 2013. A concept for providing warning of earth impacts by small asteroids. Sol. Syst. Res. DOI: 10.1134/S0038094613040096
7. Ikenaga, T., Sugimoto, Y., Ceriotti, M., Yoshikawa, M., Yanagisawa, T., Ikeda, H., Ishii, N., Ito, T., Utashima, M., 2019. A concept of hazardous NEO detection and impact warning system. Acta Astronaut. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.06.058.
8. Kovalenko, I.D., Shustov, B.M., Eismont, N.A., 2018. Trajectory design for the System of Observation of Daytime Asteroids. Acta Astronaut. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.05.007.
9. Farquhar, R., Muhonen, D., Richardson, D., 1976. Mission design for a halo orbiter of the earth. https://doi.org/10.2514/6.1976-810.
10. Richardson, D.L., 1980. Analytic construction of periodic orbits about the collinear points. Celest. Mech. DOI: 10.1007/BF01229511
11. Aksenov S. A., Bober S. A., Guskova M. Mapping of initial conditions for libration point orbits // *Advances in Space Research*. 2021. Vol. 68. No. 6. P. 2501-2514.
12. Weipeng Li, Hai Huang, Fujun Peng. Trajectory classification in circular restricted three-body problem using support vector machine // *Advances in Space Research*. 2015. Vol. 56 P. 273-280.
13. Guolin Ke, Qi Meng, Thomas Finley, Taifeng Wang, Wei Chen, Weidong Ma, Qiwei Ye, Tie-Yan Liu. LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree // *Advances in Neural Information Processing Systems* 30 (NIPS 2017)

КОМПАКТНЫЕ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЯ С ПОСТОЯННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

Гордин В.А.[1,2], Шемендюк А.А[1,3]
[1]Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет экономических наук, департамент математики,
[2]ФГБУ «Гидрометцентр России»,
[3]Университет Лозанны, факультет экономики, департамент актуарных наук

Аннотация

Исследовано уравнение поперечных колебаний стержня. Построены две его компактные аппроксимации. Показано превосходство компактных схем над традиционной вычислительной схемой Кранка – Николсон. Компактный подход также очень важен при аппроксимации граничных условий.

Введение

Уравнение поперечных колебаний стержня (см. [1], [2]) с постоянным радиусом сечения:

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial t^2} - R^2\frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{ER^2}{\rho}\frac{\partial^4}{\partial x^4}\right]u(t,x) = f(t,x) \quad (1)$$

широко применяется как в производстве, так и при проектировании различных построек при различном форсинге $f(t,x)$. Здесь, x – пространственная переменная, t – время, R – радиус поперечного сечения стержня, E – модуль Юнга стержня, ρ – плотность стержня, $u(t,x)$ – амплитуда поперечного колебания, Важную роль играют результаты численного моделирования, которое обычно осуществляется численным методом Кранка – Николсон (КН), второго порядка точности. Мы построили две компактные (см. [3], [4]) аппроксимации уравнения (1) 4-го порядка и сравнили их с КН.

Компактные аппроксимации обеспечивают 4-й (а то и выше) порядок точности и эффективны для решения эволюционных уравнений в частных производных, например, волнового уравнения, уравнения диффузии, Шрёдингера.

Уравнение (1) не разрешено относительно старшей производной по времени и не удовлетворяет условиям теоремы Коши – Ковалевской о локальном существовании и единственности решения в аналитических функциях. Тем не менее, задача Коши для уравнения (1) корректна.

Схема Кранка – Николсон

Стандартная, пятиточечная по *x*, схема КН для уравнения(1):

$$u_0^{\tau} + u_0^{-\tau} + a\left(u_h^{\tau} + u_{-h}^{\tau} + u_h^{-\tau} + u_{-h}^{-\tau}\right) + bu_0^0 + c\left(u_h^0 + u_{-h}^0\right) + e\left(u_{2h}^{\tau} + u_{-2h}^{\tau} + u_{2h}^{-\tau} + u_{-2h}^{-\tau}\right) = r_1\left(f_0^{\tau} + f_0^{-\tau}\right), \quad (2)$$

где h – шаг по пространству, τ – шаг по времени, см. Рис. 1, имеет 2 порядок точности. Нижний (верхний) индекс отвечает отступу от центральной точки шаблона схемы на шаг по пространству (по времени).

Обозначим $D = R^2$, $C = ER^2/\rho$ и определим две безразмерные величины: $\nu = C\tau^2/h^4$ и $\mu = D/h^2$. Коэффициенты КН в уравнении (2) представлены в Таб. 1. Схема абсолютно устойчива в L^2, т. е. со временем норма решение остается ограниченной для любой пары $\langle \nu, \mu \rangle \in \mathbb{R}_+^2$.

Таблица 1. Коэффициенты схем: Кранка – Николсон, и компактных «3-5-3» и «5-5-5»

	КН	**3-5-3**	**5-5-5**
a	$-(2\nu+\mu)/\alpha$	$24(1-6\mu)/\alpha$	$96(7-15\nu-30\mu)/\alpha$
b	$-(2+4\mu)/\alpha$	$-96(2-9\nu+6\mu)/\alpha$	$144(150\nu-90\mu-41)/\alpha$
c	$2\mu/\alpha$	$-48(1+12\nu-6\mu)/\alpha$	$-192(7+75\nu-30\mu)/\alpha$
d		$144\nu/\alpha$	$-24(1-150\nu-30\mu)/\alpha$
e	$\nu/2\alpha$		$12(1+30\nu-30\mu)/\alpha$
p_0		$-10\tau^2(\nu-\mu)/\alpha$	$10\tau^2/\alpha$
q_0		$20\tau^2(1+2\nu-2\mu)/\alpha$	$560\tau^2/\alpha$
r_0		$20\tau^2(4-3\nu+3\mu)/\alpha$	$2460\tau^2/\alpha$
p_1		$-\tau^2(\nu-\mu)/\alpha$	τ^2/α
q_1		$2\tau^2(1+2\nu-2\mu)/\alpha$	$56\tau^2/\alpha$
r_1	$\tau^2/2\alpha$	$2\tau^2(4-3\nu+3\mu)/\alpha$	$246\tau^2/\alpha$
α	$1+3\nu+2\mu$	$96(1+3\mu)$	$72(41+30\nu+90\mu)$

Компактные схемы

Схема «3-5-3» использует только три точки по пространству в момент времени $t+\tau$, а вторая схема «5-5-5» – все пять. Таким образом, первая схема экономичнее, поскольку для нахождения решения на очередном шаге по времени требуется обращать лишь трехдиагональную матрицу. Шаблоны аппроксимаций для обеих схем представлены на Рис. 1.1 и 1.2.

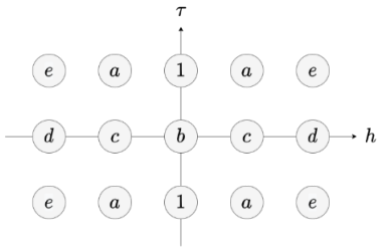


Рис.1.1. Шаблон и коэффициенты аппроксимации уравнения (1) для неизвестной функции u

Для нахождения коэффициентов обеих схем используются «тестовые» функции u_{test}, для которых схема должна быть точной.

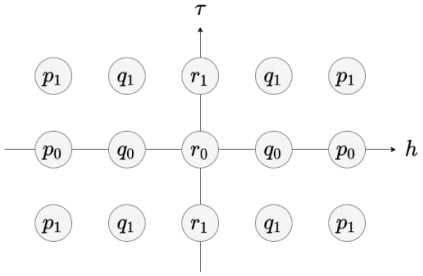


Рис. 1.2. Шаблон и коэффициенты аппроксимации уравнения (1) для форсинга f

Количество таких «тестовых» функций равно количеству неизвестных коэффициентов схемы минус один (нормировочное условие). В Таб. 2 представлен набор тестовых решений u_{test} и соответствующих правых частей f_{test}. Здесь 11-е уравнение не используется в схеме «3-5-3».

Таблица 2. Набор «тестовых» решений для нахождения коэффициентов компактных схем

№	u_{test}	f_{test}
1	1	0
2	t^2	2
3	t^4	$12t^2$
4	x^2	0
5	t^2x^2	$2x^2 - 4D$
6	t^4x^2	$12x^2 - 24Dt^2$
7	x^4	$24C$
8	t^2x^4	$2x^4 - 24Dx^2 + 24C$
9	t^4x^4	$12t^2x^4 - 144Dt^2x^2 + 24Ct^4$
10	x^6	$360C$
11	t^2x^6	$2x^6 - 60Dx^4 + 360Ct^2x^2$

В отличие от схемы КН, эти компактные схемы имеют условия устойчивости, причем весьма необычные: схема «3-5-3» устойчива при $\mu \geq \max\{0, -1/12 + \nu\}$, а схема «5-5-5» – при $\mu \geq \max\{0, -17/120 + \nu\}$.

Численные эксперименты

В эксперименте используются параметры стального стержня $E = 210 \cdot 10^9$ кг/(м·с), $\rho = 7\,900$ кг/м^3, $R = 0.01$ м, длиной $L = 2\pi$ м с периодическими граничными условиями. Время интегрирования $T = 1$ с. В качестве точного решения используется бегущая влево волна:

$$u_{ref} = \sin\left(x + t\sqrt{\frac{C}{D+1}}\right) \qquad (3)$$

где правая часть уравнения $f_{ref} = 0$.

Для оценок мы используем C-норму и L_2-норму разности с точным решением в момент времени T:

$$C\colon \max_{x\in[0,L]} \left|\hat{u}(T,x) - u_{ref}(T,x)\right|,$$

$$L_2\colon \sqrt{\int_0^L \left(\hat{u}(T,x) - u_{ref}(T,x)\right)^2 \mathrm{d}x},$$

где $\hat{u}$ – решение, полученное по численной схеме.

На Рис. 2 представлен график этих норм в зависимости от количества точек по пространству при фиксированном параметре $\nu = 0.05$ для компактной схемы «5-5-5». Таким образом, достигнут почти четвертый (≈ 3.83) порядок точности. Схема «3-5-3» для данных параметров задачи достигает четвертого порядка точности (≈ 4.03).

Для сравнения обеих компактных схем с традиционной схемой КН, рассмотрим ту же задачу на положительном квадранте $\langle \nu, \mu \rangle \in \mathbb{R}^2_+$. Обе компактные схемы на несколько десятичных порядков превосходят в точности схему КН (в области устойчивости схем), см. Рис. 3.1 и 3.2. Отметим, что есть зоны, где погрешность схемы «5-5-5» оказывается меньше, чем у схемы «3-5-3». Например, верхний левый угол, который при фиксированном параметре ν соответствует увеличенному значению параметра μ, т.е. большему количеству точек по пространству N_x.

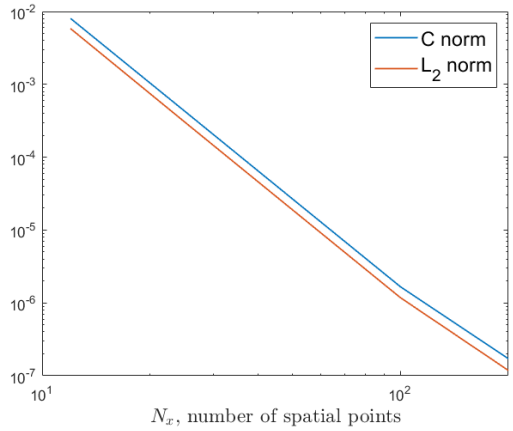


Рис.2. Зависимость нормы погрешности от количества точек по пространству для схемы «5-5-5», периодическая задача. Порядок: 3.83

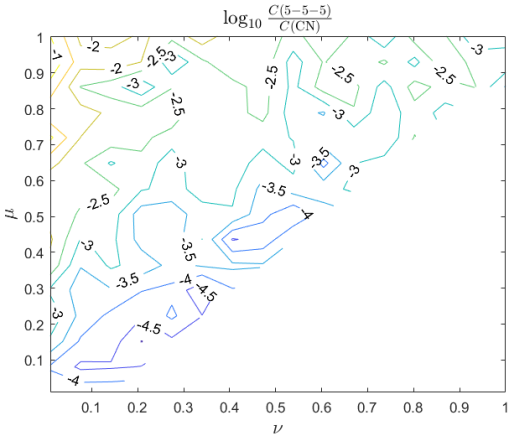


Рис.3.1. Десятичный логарифм отношения погрешности схемы «5-5-5» и схемы КН на плоскости безразмерных параметров ν и μ

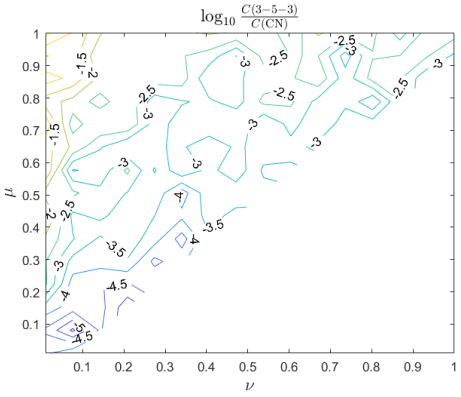


Рис.3.2. Десятичный логарифм отношения погрешности схемы «3-5-3» и схемы КН на плоскости безразмерных параметров ν и μ

После анализа полученных компактных схем и подтверждении их 4-го порядка точности, необходи-

мо перейти от периодической задачи к другим граничным условиям. Мы рассмотрели два простейших типа граничных условий: 1) защемленный конец: $u(t,0) = \partial_x u(t,0) = 0$; 2) шарнирно-опертый конец: $u(t,0) = \partial_x^2 u(t,0) = 0$, и показали, что их наивная аппроксимация (например, классическое дискретное приближение первой производной $\partial_x u(t,0) \approx \frac{(u(t,h)-u(t,0))}{h}$) приводят к потере точности решения на один порядок.

Рассмотрим стальной стержень с теми же параметрами на отрезке $x \in [0, 2\pi]$ и времени интегрирования $t \in [0, 2\pi]$. Введем функцию $u_{test}(t,x) = \cos(10t)\sin^2(x)$, которая удовлетворяет первому типу граничных условий на краях. Экспериментально найдено, что норма погрешности со временем имеет максимум в точке $t^* \approx 1.6$ с. На Рис. 4 изображены погрешности в -норме для трех схем. Порядок обеих компактных схем понизился до 3-го. При этом погрешности очень похожи, поэтому линии на графике «слились».

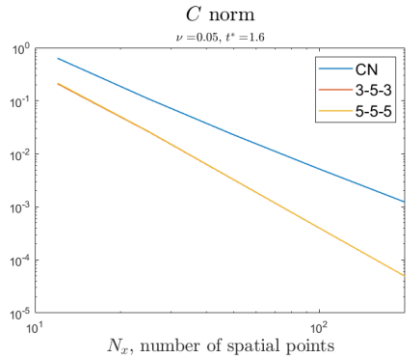


Рис.4. C-норма погрешностей трех схем в зависимости от количества точек по пространству N_x в момент времени $t^* = 1.6$ с для граничных условий первого типа

Для сравнения, на Рис. 5 приведены те же ошибки, если граничное условие аппроксимируется «наивным» (не компактным) способом. Различие в точности, как видим, драматическое.

Аналогично, мы получаем результаты для второго типа граничных условий, где порядок точности компактных схем также опустился до 3-го.

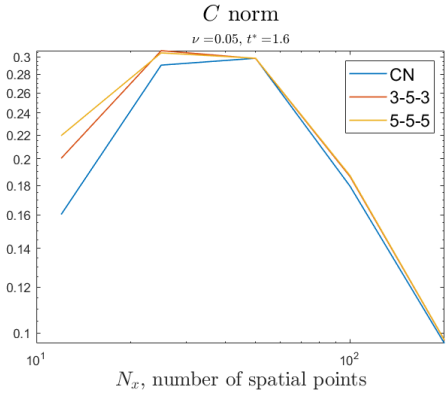


Рис.5. C-норма погрешностей трех схем в зависимости от количества точек по пространству N_x в момент времени $t^* = 1.6$ с для граничных условий первого типа

Заключение

Построены два варианта компактной аппроксимации уравнения (1), которые демонстрируют больший порядок точности по сравнению с традиционной вычислительной схемой Кранка – Николсон. Найдены условия устойчивости обеих схем и проведено сравнение их эффективности. Также построены компактные аппроксимации простейших граничных условий, которые возникают из практических задач. Продемонстрировано явное преимущество нашего подхода.

Работа подготовлена в ходе проведения исследования/работы (№ 20-04-021) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2020 – 2021 г.

Список литературы

1. С. П. Тимошенко и Д. Гудьер, Теория упругости, Москва: Наука, 1979

2. S. Timoshenko, Strength of Materials, т. 2, Melbourne: Krieger Publishing Company, 1976.

3. V. A. Gordin и E. A. Tsymbalov, «Compact difference scheme for parabolic and Schrodinger-type equations with variable coefficients,» *Journal of Computational Physics*, т. 375, pp. 1451-1468, 2018.

4. V. A. Gordin и A. A. Shemendyuk, «Discrete Transparent Boundary Conditions for the Equation of Rod Transverse Vibrations,» *Applied Mathematical Modelling*, т. 88, pp. 550-572, 2020.

КОМПАКТНЫЕ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ: ЭЙЛЕРА – ХОПФА, БЕЙТМАНА – БЮРГЕРСА, ЛЕЙБЕНЗОНА, ФИШЕРА – КОЛМОГОРОВА – ПЕТРОВСКОГО - ПИСКУНОВА И НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА

Гордин В.А., Романов А.С.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
факультет экономических наук,
факультет компьютерных наук,
ФГБУ «Гидрометцентр России»

Аннотация

Разработаны компактные алгоритмы и проведены численные эксперименты для пяти важных известных примерах уравнений: ФКПП и НУШ (слабая нелинейность), ББ и ЭХ (квазилинейные), Лейбензона (нелинейное), но метод также применим к широкому классу других эволюционных уравнений. Сначала делается шаг по явной схеме 2-го порядка (Адамса – Бэшфорта, Лакса – Вендроффа или Мак-Кормака). Введение поправок по компактной схеме приводит к расширению пределов устойчивости явных схем и, как правило, к заметному уменьшению

погрешностей решения. Даны рекомендации, какой вариант явного солвера предпочтителен.

Введение

Математическое моделирование большинства физических систем приводит к линейным/нелинейным дифференциальным уравнениям в частных производных(УЧП) в различных областях науки. УЧП имеют гораздо больше приложений по сравнению с обыкновенными дифференциальными уравнениями(ОДУ) в таких областях как динамика, электричество, теплообмен, электромагнетизм, квантовая механика и т. д.[6]

Простейшая модель газо- и гидро-динамики - уравнение ББ [4]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - D\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial f}{\partial x}, f = -\frac{u^2}{2} \quad (1)$$

где D - коэффициент вязкости. $u = u(t,x)$ - скорость.

Рассматриваются переодические граничные условия $u(t,0) = u(t,2p)$.

Уравнение ЭХ получается из уравнения ББ, при $D = 0$. (2)

Уравнение ФКПП описывает распространение гена [2-3]:

$$\partial_t u = D\partial_x^2 u + f(u),\ D = const > 0, \quad (3)$$

$u = u(t,x)$ - плотность распределения числа особей с доминантным геном, $t \geq 0, x \in R$.

Уравнение Лейбензона

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, f = cp^2 \quad (4)$$

для давления газа в пористой среде, $x \in [0,1]$.

Нелинейное уравнение Шредингера описывает огибающую волнового пакета в среде с дисперсией и кубической нелинейностью, [5]:

$i\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \nu|u|^2 u = 0$, комплексное уравнение ~ системе двух вещественных уравнений:

$$u_t = -Dv_{xx} - (u^2 + v^2)v$$
$$v_t = Du_{xx} + (u^2 + v^2)u \quad (5)$$

Компактная разностная аппроксимация

Уравнения (1)-(5) аппроксимируем неявными однослойными схемами с шаблоном 3×2:

$$a_1 u_{j-1}^{n+1} + b_1 u_j^{n+1} + c_1 u_{j+1}^{n+1} + a_0 u_{j-1}^n + b_0 u_j^n + c_0 u_{j+1}^n = \quad (6)$$
$$= p_1 f_{j-1}^{n+1} + q_1 f_j^{n+1} + r_1 f_{j+1}^{n+1} + p_0 f_{j-1}^n + q_0 f_j^n + r_0 f_{j+1}^n;\ j = 1,\ldots,N.$$

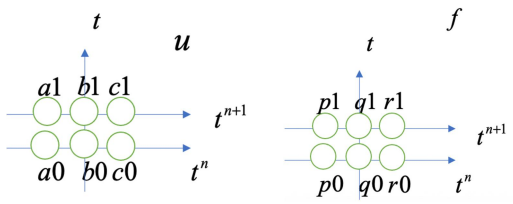


Рис.1. Шаблоны для решения u и для правой части f компактной схемы

Коэффициенты схем (6) определяем по наборам тестовых функций $\langle u_a(x), f_a(x)\rangle$ (ниже пример для уравнения (2)).

Для аппроксимации (1) нужны 12 коэффициентов (см таблицу 2), а значит, 11 тестовых функций.

Для решения (1) - (4) сначала делаем шаг по явной схеме, а потом вводим малые поправки $\{e_j\}_{j=1}^N$ к $\tilde{u}_j^{n+1}$, т.е. $u_j^{n+1} = \tilde{u}_j^{n+1} + \varepsilon_j$ и, пренебрегая их квадратами, решаем СЛАУ: $A\vec{\varepsilon} = \vec{F}$, где A - трехдиагональная матрица, полученная из (6), $\vec{F}$ - вектор невязок. Затем делаем следующий шаг по явной схеме. Подробнее про компактные схемы см. [1].

Для решения системы (5) на каждом шаге по времени вводим малые поправки $\{e_j\}_{j=1}^N, \{d_j\}_{j=1}^N$ к $\tilde{u}_j^{n+1}, \tilde{v}_j^{n+1}$ и, пренебрегая квадратами, получаем $A\begin{pmatrix} \mathbf{r} \\ e \\ \mathbf{r} \\ d \end{pmatrix} = \mathbf{r}$ $\vec{F}$, где A- матрица из блоков, отвечающих в двух уравнениях за слагаемые с $\{e_j\}_{j=1}^N, \{d_j\}_{j=1}^N$.

Тестовые функции

Для уравнения ББ выбраны мономы: $x^m t^k, m \leq 4, k \leq 2, m + k \leq 4$. Для ФКПП: $x^{2m} t^k, m \leq 2, k \leq 2$.

Набор тестовых функций (таблица 1) дает СЛАУ из 7 уравнений для ФКПП. Дополним их нормировочным условием. Решение: $a_1 = c_1 = 12\nu - 2, b_1 = -24\nu - 20,\ a_0 = c_0 = 12\nu + 2,\ b_0 = -24\nu + 20, p_0 = p_1 = r_0 = r_1 = -\tau, q_0 = q_1 = -10\tau$.

Таблица 1. Расчет коэффициентов компактной схемы для уравнения ФКПП

№	u	f	Уравнение
1	1	0	$2a_0 + b_0 + 2a_1 + b_1 = 0$
2	t	1	$(2a_1 + b_1)\tau = 2p_0 + q_0 + 2p_1 + q_1$
3	t^2	2t	$(2a_1 + b_1)\tau^2 = 2(2p_1 + q_1)\tau$
4	x^2	-2D	$(2a_0 + 2a_1)h^2 = -2D(2p_0 + q_0 + 2p_1 + q_1)$
5	x^4	-12Dx^2	$(2a_0 + 2a_1)h^4 = -12D(2p_0 + 2p_1)\,h^2$
6	$x^2 t$	$x^2 - 2Dt$	$2a_1 h^2\tau = (2p_0 + 2p_1)\,h^2$-$2D(2p_0 + q_0)\tau$
7	$x^2 t^2$	$-2x^2 t - 2Dt^2$	$2a_1 h^2\tau^2 = 4p_0\,h^2\tau$-$2D\tau^2(2p_0 + q_0)$

В таблице 2 приведен набор тестовых функций для уравнения ББ, по которым составлена система из 11 независимых уравнений. Дополним их нормировочным условием.

Таблица 2. Расчет коэффициентов компактной схемы для уравнения ББ

№	u	f	Уравнение
1	1	0	$a_0 + b_0 + c_0 + a_1 + b_1 + c_1 = 0$
2	0	1	$p_0 + q_0 + r_0 + p_1 + q_1 + r_1 = 0$
3	0	t	$(p_1 + q_1 + r_1)\tau = 0$
4	t	x	$(a_1 + b_1 + c_1)\tau = (r_0 + r_1 - p_0 - p_1)h$
5	t^2	2tx	$(a_1 + b_1 + c_1)\tau^2 = 2h\tau(r_1 - p_1)$
6	x	0	$(c_0 + c_1 - a_0 - a_1)h = 0$
7	x^2	-2Dx	$(c_0 + c_1 + a_0 + a_1)h^2 = -2D(r_0 + r_1 - p_0 - p_1)h$
8	x^3	-3Dx^2	$(c_0 + c_1 - a_0 - a_1)h^3 = -3D(r_0 + r_1 + p_0 + p_1)h^2$
9	tx	$x^2/2$	$(c_1 - a_1)\tau h = (r_0 + r_1 + p_0 + p_1)h^2/2$
10	tx^2	x^3/3-2Dtx	$(c_1 + a_1)h^2 = (r_0 + r_1 - p_0 - p_1)h^3/3 - 2Dh\tau(r_1 - p_1)$
11	xt^2	tx^2	$(c_1 - a_1)h\tau^2 = \tau h^2(r_1 + p_1)$

Ее решение(уравнения ББ):

$a_1 = -2/3 + 2\nu, b_1 = -4\nu - 8/3, c_1 = -2/3 + 2\nu, a_0 = 2/3 + 2\nu, b_0 = -4\nu + 8/3, c_0 = 2\nu + 2/3, p_1 = \tau/h, q_1 = 0, r_1 = -\tau/h, p_0 = \tau/h, q_0 = 0, r_0 = -\tau/h.$

Численные эксперименты

Оценим порядок точности компактной схемы для уравнения ББ по числу N узлов сетки. Начальная функция $u(0,x) = \sin(x)$, $x \in [0, 2\pi]$. Эталон - решение u_{etal} на мелкой сетке при $N = 400, M = 4096, D = 0.06$. ($N = 400, M = 4096, D = 1$ для ФКПП). Затем для остальных $N_i < N$ вычисляем решения $u_i(t,x)$.

Далее решения u_{etal} и u_i ограничим на грубую сетку ($N = 25, M = 16$), и вычислим С-норму разности $err_i = \left\| u_{etal} - u_i \right\|$. На рис 2 приведен график погрешности разностной схемы в билогарифмической шкале.

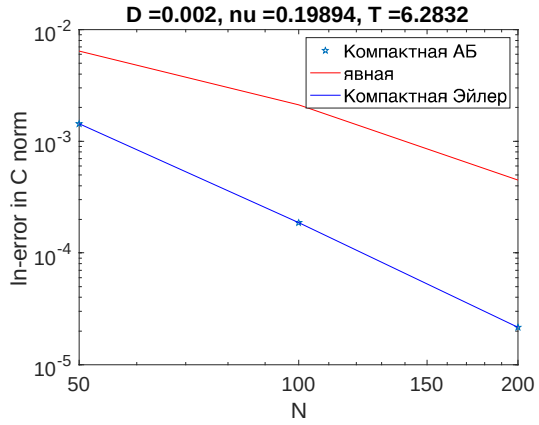


Рис.2. Графики погрешности разностной схемы в норме С *для ФКПП (красная - по явной схеме АБ, синяя – после компактной поправки, Эйлера и АБ – имеют одинаковый график) в зависимости от числа узлов N. Здесь D=0.002,* n *=0.1989,* $t = 2p / M$ *, N = 50, M = 64*

Из рис. 2 следует, что порядок точности компактной схемы 3. Порядок явной схемы 2.

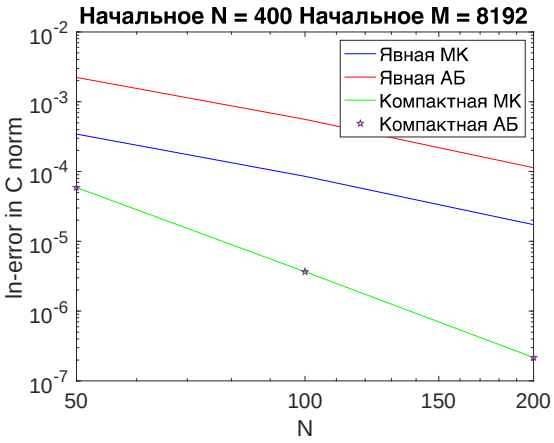


Рис.3. Графики погрешности в зависимости от числа узлов N разностной схемы в норме С *для ЭХ до T = 1: красная - по схеме АБ,синяя – по схеме МК, зеленая - компактная поправка по схеме МК/АБ. Здесь D=0.1,* $h = 0{,}015$ *, T = 6/M, N = 50, M = 64 (если N увеличивается в 2 раза, M увеличивается в 4)*

Из Рис.3 видно, что порядок схемы в норме **C** примерно 2-й для явной схемы. Для компактной схемы порядок же равен 4.

В решении по компактной схеме при приближении к градиентной катастрофе появляется двухшаговая по x пила.

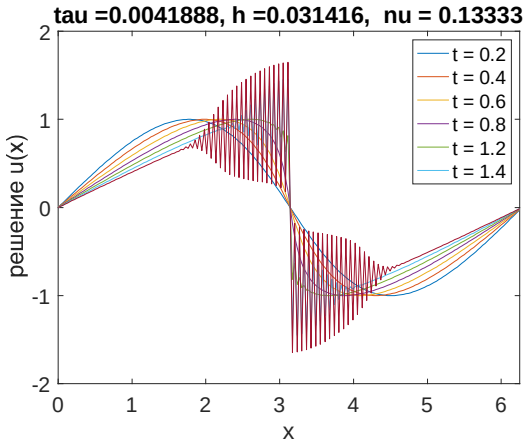


Рис.4. Двухшаговая пила для ЭХ при $T = \frac{p}{2}$

Для ее подавления используется трехшаговый оператор сглаживания E-S, где $S = P^3/8$, $(Pf)_j = f_j - (f_{j+1} + f_{j-1})/2$. Процедура сглаживания применяется только в точках, для которых выполнено $|S| > 0{,}0001$, где S – оператор сглаживания.

На рис 5 видно, что двойная пила при градиентной катастрофе подавлена. При начальном условии $u_0(x) = \sin(x)$ через время $T = \frac{p}{2}$ в решении уравнения (2) возникает разрыв в точке $x = p$.

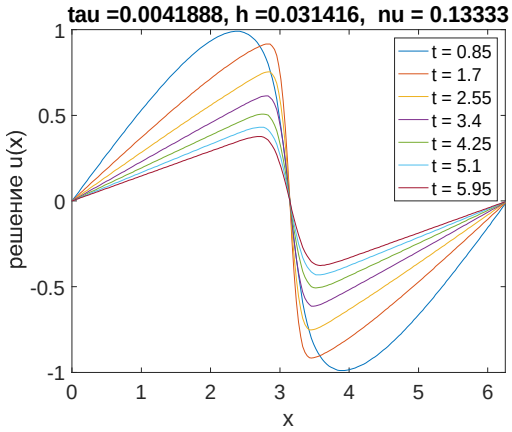


Рис.5. Решение компактной схемы после ЛВ для уравнения ЭХ с операторами сглаживания

На рис 6 приведен график зависимости от времени первого интеграла для НУШ.

При определении коэффициентов компактной схемы для системы (5) остается 1 свободный параметр, обозначаемый a. Эксперименты показывают его важность, хотя порядок точности схемы не меняется.

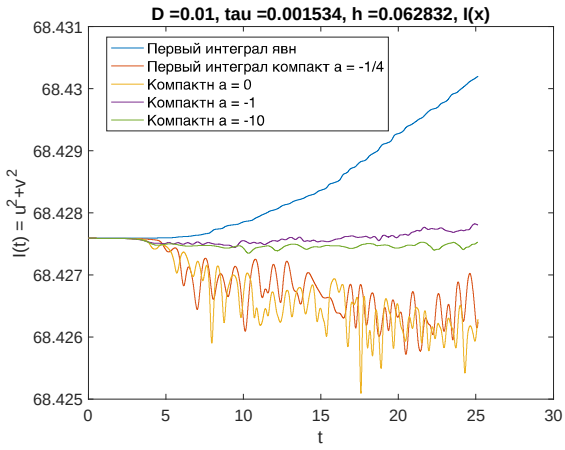


Рис.6. График первого интеграла для НУШ, при D = 0.01, t = 0,0015, N = 100, M = 256

При выборе *a* = -1, интеграл $\int_0^{2p} |\Psi(t,x)|^2 \, dx$ практически равен константе. При интегрировании по явной схеме 2-го порядка сохранение интеграла намного хуже.

Для ур. Лейбензона известны аналитические решения. Для эталонного решения приведем график по компактной схеме после явных схем Эйлера и ЛВ

На рис 7. компактная схема после ЛВ имеет порядок 4,2. Компактная схема после схемы Эйлера имеет машинную точность. Сами явные схемы для этих же параметров неустойчивы.

На рис 8 при большом параметре вязкости (*D*=10), компактная схема после АБ имеет 4 порядок. Явная же схема неустойчива для данного параметра вязкости. Если рассматривать *D* < 5, то компактная схема имеет порядок 2, как и явная.

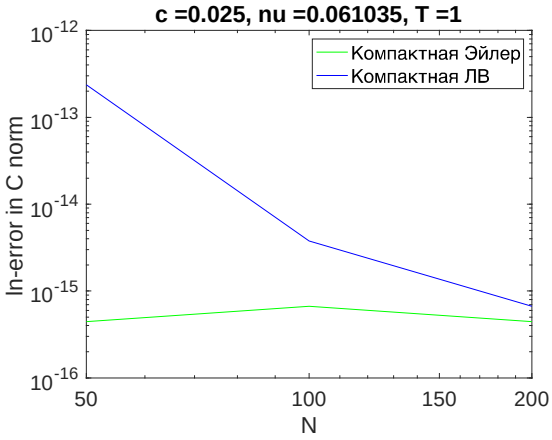


Рис.7. Графики погрешности разностной схемы в норме C для ур. Лейбензона с начальным условием $p_0(x) = \sqrt{x+1}$, $C = 0{,}025, h = 1/400$

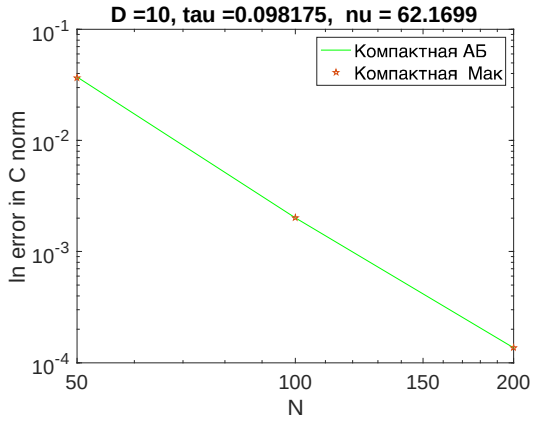


Рис.8. Графики погрешности компактной разностной схемы в норме С для уравнения ББ (зеленая – по компактной схеме после явной АБ или МК – имеют одинаковый график)

Заключение

Разработаны компактные схемы для уравнений ББ, ЭХ. ФКПП, Лейбензона и НУШ, существенно повышающие точность классических явных схем.

Работа подготовлена в ходе проведения исследования/работы (№ 20-04-021) в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2020 – 2021 г.

Список литературы

1. Гордин В. А. Компактные разностные схемы для аппроксимации дифференциальных соотношений. Матем. Моделирование. 2019, т.31 (7), СС.58-74.

2. R. A. Fisher, “The wave of advance of advantageous genes,” Annals of eugenics, vol. 7, № 4, pp. 355-369, 1937.

3. A. Kolmogorov, I. Petrovskii, and N. Piscunov, “A study of the equation of diffusion with increase in the equality of matter, and its application to a biological problem,” Byul. Moskovskogo Gos. Univ., vol. 1, № 6, pp. 1-25, 1937.

4. Дж. Уизем. Линейные и нелинейные волны, М., «Мир», 1977.

5. Захаров В. Е., Манаков С.В., Новиков С. П., Питаевский Л. П. Теория солитонов: метод обратной задачи. М., «Наука», 1980.

6. K. Erwin, Advanced Engineering Mathematics, pp. 535-536,John Wiley and Sons, Ohio state University, NJ, USA, 9th edition, 2006.

Секция
«Информационно-коммуникационные технологии»

НЕСКОЛЬКО СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СИНТАКСИЧЕСКИХ ДЕРЕВЬЕВ

Зыкова В.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Школа лингвистики ФГН

Аннотация

В данной работе приводится несколько характеристик для оценки "естественности" синтаксических деревьев, порождаемых в ходе генерации текстов или отдельных предложений, задаваемых собственно деревьями. Данные характеристики могут служить для определения качества работы порождающих алгоритмов или классификации сгенерированных примеров и фрагментов, написанных человеком.

Введение

Задача генерации предложений на естественном языке, кроме очевидных сложностей, связанных с порождением человеческой речи компьютером, имеет еще одну существенную проблему: сгенерированные предложения сложно оценить математическими методами, что усложняет оценку подобных алгоритмов в принципе. В то же время «естественность», которая является наиболее важным, хотя и достаточно наивным, требованием, предъявляемым к получаемым текстам, не имеет устоявшегося способа формализации. Чаще всего она понимается как схожесть по заранее выбранному набору параметров с текстами, написанными человеком, и именно так мы будем понимать ее в дальнейших описаниях.

Деревья зависимостей для сравнения текстов используются уже достаточно давно. Например, в работе 2004 года А. Кулотта и Дж. Соренсен [1] используют сверточные ядра [2] и биграммы вида зависимое-вершина. В работе 2013 года М. Чой и Х. Ким [3] используют триграммы вида родитель-два потомка, решая задачу выявления социальных отношений. На недостаток обоих подходов, заключающийся в отсутствии учета типов зависимостей, в своей работе указывают С. Б. Озатес, А. Озгур и Д. Радев [4] и предлагают использовать биграммы вида «потомок-связь-родитель». Все три упомянутых выше подхода опираются на идею ядра, однако возможен и квантитативный подход к вопросу.

В данной работе приводится несколько вариантов подсчета статистики по синтаксическим деревьям, полученным из результатов генерации текстов, отдельных предложений или собственно деревьев. Это может помочь при определении качества работы порождающих алгоритмов и различении сгенерированных и созданных человеком примеров или стать еще одним критерием «естественности», если обратиться к трактовке, описанной выше.

В качестве входных данных мы использовали синтаксически размеченные корпуса в формате Universal Dependencies [5] с корпусом SynTagRus [6] в качестве референсных данных для русского языка.

Глубина и количество вершин в дереве

Одной из важных характеристик для синтаксических деревьев является глубина дерева и количество составляющих его вершин. Оценка по данному параметру позволяет в обобщенном виде оценить синтаксическую сложность деревьев. Соотношение между числом вершин и глубиной дерева позволяет выявить преимущественное направление разрастания: в ширину или в глубину. Можно рассчитать совокупность распределений средней по листьям глубины дерева при всех фиксированных значениях числа слов в предложении, используя при этом большую коллекцию синтаксически размеченных предложений. Далее можно рассмотреть разницу между исследуемым и референсными корпусами. Если в качестве референсного корпуса взять тексты, написанные человеком (то есть «естественные» тексты), то сравнение позволит увидеть, насколько естественным или неестественным нам покажутся тексты из исследуемой коллекции.

Для сравнения двух наборов данных (сгенерированного корпуса и корпуса текстов, написанных человеком) в нашем случае будет достаточно визуализации с помощью тепловой карты (например, ср. рисунок 1 для корпуса SynTagRus и рисунок 2 – для деревьев, сгенерированных автоматически), которая строится следующим образом: начала требуется получить набор пар <depth, length>, где depth – средняя по листьям глубина дерева, length – количество вершин в нем; после этого строится матрица тепловой карты так, что в строках оказывается глубина дерева, в столбцах - количество вершин, а в ячейках - частота данной комбинации двух параметров, которая и будет отображаться на тепловой карте цветом.

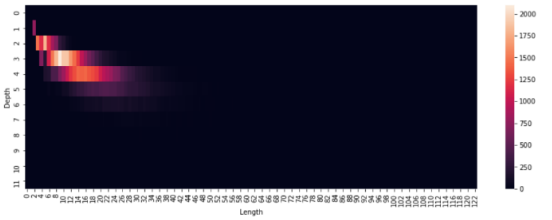


Рис.1. Соотношение глубины и количества вершин, SynTagRus

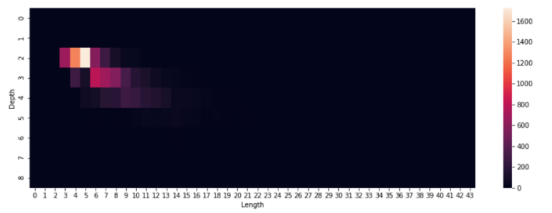


Рис.2. Соотношение глубины и количества вершин, генерация

Если требуется получить численное выражение различия, можно использовать любую подходящую меру расстояния, например, корреляцию или дивергенцию Кулльбака-Лейблера. Для этого полученные для обоих корпусов, требующих сравнения, тепловые карты обрезаются так, чтобы исключить из рассмотрения большие «черные» области, заполненные нулями. После этого они нормируются и для них вычисляется выбранная мера расстояния.

Распределение вероятностей вертикальных последовательностей

Последующие характеристики, описанные в этой работе, специфичны конкретно для синтаксических деревьев зависимостей. Одной из таких характеристик является распределение вероятностей вертикальных (вида корень-…-лист) последовательностей или иначе – вероятностей оказаться в каждом из листьев дерева, рассчитанных из вероятности перехода по каждому из ребер в цепочке. Эта метрика позволяет оценить склонность деревьев к разрастанию в глубину, что с синтаксической точки зрения значит усложнение структуры за счет более разветвленного устройства конкретных зависимых.

Для подсчета данной статистики сначала требуется собрать общую статистику совместной встречаемости конструкций. С целью поиска компромисса между более тонким различением конструкций и излишним разрастанием данных был сделан выбор в пользу статистики, учитывающей в ширину для каждой вершины по одному ближайшему соседу справа и слева, а в глубину – предков с двух уровней выше по дереву. Таким образом, получается, что используемая статистка работает с тройками (см. общую схему на рис. 3 и пример на существующем дереве на рис. 4).

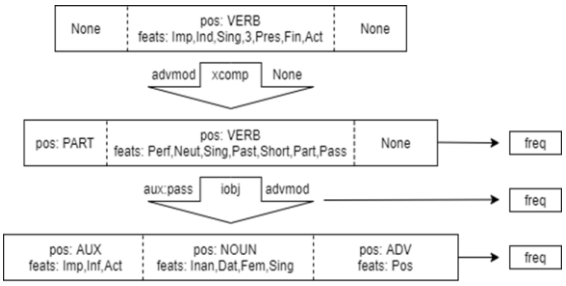


Рис.3. Общая схема структуры данных

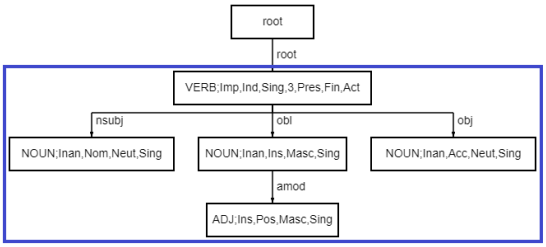


Рис.4. Часть дерева, которая учитывается на конкретном шаге

Алгоритм получения требуемой структуры выглядит следующим образом: для всех уровней, начиная с уровня потомков корня дерева (глагол на рисунке 4), перебираем дочерние вершины, формируя тройки вида <left, child, right>, где left и right – соответствующие соседи, а child – текущий потомок; после чего для конкретной комбинации из текущей тройки, троек, составленных на предыдущих уровнях тем же способом (для потомков глагола на рисунке 4 – это мнимый корень (root) и сам глагол с нулевыми соседями) и связей между всеми описанными элементами сохраняется частота встречаемости в корпусе.

После того, как была сформирована необходимая структура данных, на ее основе требуется подсчитать для каждого листа в дереве его вероятность. Для этого введем несколько обозначений: пусть $<v_r, v_1, \ldots, v_i, v_l>$ – это путь из корня v_r в лист v_l, состоящий из вершин $v_1, \ldots, v_i$. Тогда можно сказать, что данный путь состоит из ребер $<e_{r,1}, e_{1,2}, \ldots, e_{i-1,i}, e_{i,l}>$, для которых $n_{r,1}, n_{1,2}, \ldots, n_{i-1,i}, n_{i,l}$ – соответствующие частоты, взятые из структуры, описанной ранее, а $N_{r,1}, N_{1,2}, \ldots, N_{i-1,i}, N_{i,l}$ – суммы всех частот на уровнях, соответствующих каждому из ребер. Определив понятия, описанные выше, становится возможным привести итоговую формулу подсчёта вероятности пути $<v_r, v_1, \ldots, v_i, v_l>$ или листа v_l, что в данном случае одно и то же:

$$P_{r,l} = \frac{n_{r,1}}{N_{r,1}} \times \frac{n_{1,2}}{N_{1,2}} \times \cdots \times \frac{n_{i-1,i}}{N_{i-1,i}} \times \frac{n_{i,l}}{N_{i,l}}$$

Произведя описанные подсчеты для всех листьев каждого дерева в корпусе, можно сравнить распределение частот полученных вероятностей. В дальнейшем можно сравнивать подобные распределения для различных корпусов с помощью графиков (преимущественно гистограмм) или подсчета расстояний, алгоритм которого был описан в конце предыдущего блока работы.

Матрица совместной встречаемости потомков

Следующим способом оценки является матрица совместной встречаемости потомков при одной вершине. В данном случае используются только типы зависимостей (например, nsubj, obl, parataxis) без характеристик конкретных вершин, чтобы учитывать возможный состав аргументов и адъюнктов и общую склонность деревьев в корпусе к усложнению аргументной структуры.

Статистика собирается следующим образом: для каждой вершины в дереве ее представлением в статистике выбирается связь с родителем (т.е. тип потомка, которым является текущая вершина). После этого в цепочке дочерних вершин смотрим, какие типы зависимостей следуют друг за другом, и вносим полученную информацию в матрицу, в которой на данным момент содержаться частоты. Кроме выделяемых в корпусе типов в матрице так же содержаться маркеры «BOS» и «EOS» - начало и конец последовательности соответственно. После того, как были обработаны все деревья в выбранном корпусе, матрица нормируется за счет деления каждого значения в строке или столбце на значение в соответствующих ячейках «BOS» или «EOS». Вид итоговой матрицы для одного из типов зависимостей представлен на рисунке 5 (где a_1, a_2, a_3 – частоты в кон-

кретных ячейках, n – частота для «BOS» или «EOS» и в то же время – частота данного потомка). Всего таких матриц должно получиться столько же, сколько имеется различных связей в корпусе плюс один, так как добавляется элемент «BOS» (в случае SynTagRus – 40 таблиц).

	nsubj	…	case	EOS
nsubj	a_1/n	…	a_2/n	n/n
…	…	…	…	…
case	a_3/n	…		
BOS	n/n	…		

Рис.5. Матрица совместной встречаемости потомков

Использовать подобную матрицу можно двумя способами. Первый заключается в том, чтобы, повторив расчеты для второго корпуса, сравнить полученное распределение с референсным, использовав, например, алгоритм, схожий с тем, что был описан для распределения глубины и размера деревьев. Второй способ представляет собой подсчет вероятностей на основе полученной матрицы, что будет описано в следующем разделе данной работы.

Распределение вероятностей цепочек

Получив матрицу совместной встречаемости потомков, становится возможным оценить вероятность каждой цепочки дочерних вершин при одном родителе. В данном случае под вероятностью последовательности понимается вероятность получить последнего потомка при всех предыдущих. Для подсчета необходимого значения требуется для цепочки потомков текущей вершины взять для работы соответствующую последовательность типов зависимостей, имеющую вид <BOS, d_1, …, d_i, EOS>, где BOS, EOS – маркеры начала и конца последовательности, а d_1, …, d_i – связи текущей вершины с потомками. Следующим шагом среди описанных в предыдущем разделе следует выбрать матрицу M, соответствующую типу связи, которым текущая вершина связана со своим родителем. Дальше в матрице выбирается столбец M[d_i], заданный элементом d_i – последним в цепочке потомков, – и в этом столбце перемножаются строки, соответствующие всем потомкам цепочки, кроме последнего. Таким образом, получается следующая формула:

$$P_{d_i} = \prod_{j=1}^{i-1} M[d_i][d_j]$$

Выполнив описанные выше расчеты для каждой цепочки во всех деревьях корпуса и проверяемых данных, можно сравнить два распределения вероятностей цепочек с помощью визуальной оценки гистограмм или подсчета расстояний, несколько вариантов выполнения которого было описано выше.

Заключение

Описанные выше способы оценки соответствия деревьев референсным распределениям в корпусе могут быть полезны при решении различных задач. В зависимости от задачи, требуется выбирать разные референсные данные так, чтобы в одном случае можно было говорить о «естественности» порождаемых алгоритмом предложений, а в другом – о различиях в синтаксической структуре, свойственной конкретным жанрам, авторам или, в общем случае, корпусам. При правильном выборе референса становится возможным использование описанных метрик при обучении порождающих моделей в качестве части используемой функции потерь или при оценке в качестве одной из метрик. Так же возможно использование в качестве одного из признаков текста при решении задачи различения стилей.

Список литературы

1. Culotta A., Sorensen J. Dependency tree kernels for relation extraction //Proceedings of the 42nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL-04). – 2004. – С. 423-429.

2. Haussler D. Convolution kernels on discrete structures. – Technical report, Department of Computer Science, University of California at Santa Cruz, 1999. – Т. 646.

3. Choi M., Kim H. Social relation extraction from texts using a support-vector-machine-based dependency trigram kernel //Information processing & management. – 2013. – Т. 49. – №. 1. – С. 303-311.

4. Özateş Ş. B., Özgür A., Radev D. Sentence similarity based on dependency tree kernels for multi-document summarization //Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'16). – 2016. – С. 2833-2838.

5. Nivre J. et al. Universal Dependencies v2: An evergrowing multilingual treebank collection //arXiv preprint arXiv:2004.10643. – 2020.

6. Nivre J., Boguslavsky I. M., Iomdim L. Parsing the SynTagRus treebank of Russian. – Association for Computational Linguistics, 2009. - С. 641-648.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ТАСК-МЕНЕДЖЕРА НА ОБЛАЧНОЙ ПЛАТФОРМЕ RIGHTECH CLOUD IOT

Лясковский А.Д.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается реализация модуля системы управления задачами для облачной платформы интернета вещей (IoT). В статье приведен обзор существующих подходов к построению систем управления задачами, выделены подходящие решения, определены и описаны необходимые для реали-

зации методы, необходимые системе управления задач по обслуживанию устройств IoT.

Введение

Rightech IoT Cloud – это облачная платформа, выступающая в качестве связующего элемента при реализации решений в области интернета вещей (IoT). Платформа позволяет связываться с устройствами по протоколам и с внешними сервисами по API, выполняет функции сбора и обработки статистических данных от устройств и управления их параметрами. По мере работы системы IoT возникают задачи по обслуживанию устройств, требующие человеко-машинного взаимодействия. Системы IoT, применяемые в бизнесе и на предприятиях, включают в себя большое количество составляющих объектов, а с увеличением количества устройств IoT, увеличивается и количество задач по обслуживанию, проблема регулирования задач становится особенно острой. Для систематизации, журналирования и учета задач возникает необходимость в системе управления. Однако работа с задачами обслуживания устройств IoT требуют специфического функционала, а уже существующие таск-менеджеры не имеют ни этого функционала, ни инструментов добавления подобного функционала. В свою очередь, платформа интернета вещей Rightech IoT Cloud построена по модульной системе, что позволяет интегрировать в уже построенный сервис новые пользовательские модули.

Цель данной работы – создание пользовательского модуля менеджмента задач для существующей платформы интернета вещей. В разделе «Актуальность» были рассмотрены существующие решения, применяющиеся другими платформами IoT, выделены недостатки данных систем. В разделе «Решения в области управления задачами» рассмотрены методы организации задач, применяющиеся на практике существующими таск-менеджерами в других областях, выделены решения, которые будут применены для построения базиса системы менеджмента задач для платформы IoT. В разделе «Архитектура системы» описывается принцип работы системы в целом и перечисляются реализуемые составляющие, определенные на этапе обзора аналогов. В разделе «Разработка таск-менеджера» определено множество реализуемых инструментов и принципы их реализации.

Актуальность

Рассмотрим существующие платформы интернета вещей и решения в области работы с задачами по обслуживанию устройств, которые используются ими, выделив тем самым недостатки уже существующих решений в данной области, которые должны быть решены в рамках создания прототипа модуля менеджмента задач. При этом необходимо сконцентрироваться на платформах, предоставляющих решения для поддержки развернутых систем с большим количеством объектов IoT одновременно, так как платформы, предоставляющие сервисы для организации небольших систем интернета вещей, например создания систем домашней автоматизации, не сталкиваются с проблемами, связанными с менеджментом задач по обслуживанию большого числа объектов, составляющих систему IoT.

Одним из представителей, предоставляющих инструментарий для реализации IoT-идей, является платформа ThingsBoard [1] с открытым исходным кодом. ThingsBoard позволяет настраивать цепочки правил обработки, которые при выполнении определенных условий могут либо инициировать выполнение действий со стороны платформы, например отключение устройства, которое отправляет на платформу код об ошибке. Среди возможных действий присутствует отправка уведомлений о возникновении события пользователю платформы. Данное решение может быть использовано при работе с малым количеством задач, выполнение которых обеспечивает один пользователь, однако при увеличении количества объектов IoT или же сотрудников, обслуживающих одну и ту же систему IoT, подобное решение остается неэффективным, так как не предполагает систематизацию, журналирование, назначение или перенаправление задач другим пользователям.

Еще одной платформой IoT с смежным функционалом является Losant [2]. Данная платформа IoT использует подход «Condition-based maintenance», он заключается в установке нормальных параметров для каждого из устройств и обслуживании их только в случаях получения аномальных данных телеметрии. Подобный подход подразумевает, что платформа учитывает только спорадически возникающие задачи, но задачи по регулярному обслуживанию устройств не принимаются во внимание в рамках платформы, несмотря на существование, например, задач по регулярному осмотру объектов IoT, которые являются важной составляющей поддержания работоспособности и отказоустойчивости системы IoT.

Cumulocity IoT [3] помимо виджетов управления самими устройствами включает виджеты для настройки, позволяющие настраивать логику обработки событий. Данное решение позволяет описывать правила оповещения посредством электронных писем или запуска автоматических действий на устройствах, происходящие при возникновении критических событий. Несмотря на гибкость системы настройки обработки событий, которая позволяет создавать как исполнение регулярных действий, так и исполнение действий посредством обработки данных телеметрии, поступающих от устройств IoT, однако инструменты для управления, учета и назначения задач также отсутствуют, ограничиваясь созданием автоматизированных оповещений по электронной почте.

Несмотря на существование решений в области работы с задачами по обслуживанию интернета вещей, платформы IoT, предоставляющие инструментов для бизнеса, не имеют широкого функционала по менеджменту задач по обслуживанию объектов IoT. Для решения этих проблем, необходимо рассмотреть существующие методы в области управления задачами, которые позволят систематизировать и упростить работу с большим количеством задач одновременно.

Решения в области управления задачами

Для работы с большими списками задач чаще всего применяются 3 основных вида визуализации: диаграммы Ганта, списочная система и канбан-доски. Диаграммы Ганта используются прежде всего для иллюстрации плана, графика работ по проекту. Диаграммы Ганта удобны для администрирования связанных между собой задач с предварительным планом, однако задачи администрирования устройств Интернета вещей обособлены друг от друга. Списочные системы применяются в первую очередь для большого количества разноплановых задач, но обслуживание устройств предполагает одновременного наличия нескольких однотипных задач на разных стадиях исполнения, ввиду этого для более легкого визуального восприятия информации при построении была выбрана методика Канбан-досок. Гибкость методики позволяет применять её для формирования работ с задачами повсеместно [1].

Рассмотрим Примером такой системы может служить «YouGile» [2] – система управления проектами, предназначенная для менеджмента задач и информации о них. Сервис позволяет производить сбор и хранение статистики, файлов и другой информации, относящейся к задачам. Система использует систему канбан-досок для визуализации и администрирования задач. Задачи имеют такие параметры как описание, исполнитель, дедлайн, приоритет, статус выполнения задачи. Для завершенных задач существует функционал формирования отчета. Однако недостатком рассматриваемого сервиса является интеграцию только с определенным набором готовых систем, указанным компанией. Интеграция внешних сервисов или связь с ними по API не предусмотрена, что означает невозможность добавления необходимого для работы с Интернетом вещей функционала.

Другим решением по работе с задачами является система «CMAPT» [3]. Программа представляет собой систему автоматизации управления проектами и имеет функционал для настройки, который включает в себя возможности по фильтрации, сортировке задач, параметров отображения досок, а также подсветке задач с приближающимся дедлайном.

Из приведенного выше обзора можно выделить основные подходы к построению базиса системы управления задач: использование канбан-досок для систематизации задач по статусу выполнения, каждая задача имеет параметры, включающие исполнителя, крайний срок исполнения, приоритет, описание для задачи. Для комфортной работы с задачами необходимы системы сортировки, фильтрации по основных параметрам задачи. Настройки модуля должны включать в себя возможности по изменению отображения досок, изменению подсветки задач.

Архитектура системы

Платформа интернета вещей использует в своей основе фреймворк ReactJS для построения пользовательских модулей, тем самым позволяя добавлять новые модули в уже построенную систему. Разработка представляет из себя функциональный React-компонент, включающий в себя следующие компоненты: панель инструментов для работы с задачами, редактор задачи, карточку задачи, доску для задач, модальные окна для изменения статусов, формирования отчета по завершенной задачи. Для основных инструментов, в работе с которыми необходимо изменение в визуальном отображении компонентов, описаны хуки состояния, изменение которых приводит к ререндеру компонентов интерфейса.

Все объекты интернета вещей содержатся в базе данных MongoDB в форма JSON-файлов. Серверная часть написана с использованием фреймворка Express. Информация об объектах, самих задачах, исполнителях получается с серверной части по уже сформированному в рамках платформы API.

Конечное решение по составляющим инструментам для пользовательского модуля представлено на рисунке 1.

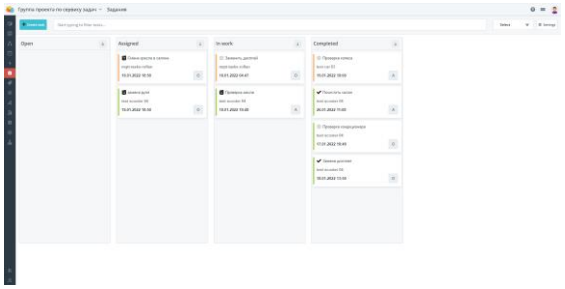


Рис.1. Внешний вид основного окна модуля управления задач

Разработка таск-менеджера

Для упрощения работы с задачами по обслуживанию элементов Интернета вещей модулю необходим функционал по автоматизации создания задач на основании статистических данных, получаемых от устройств. Некоторые параметры объекта, получаемые от сенсоров устройства, такие как расход батареи на 1 километр или температура корпуса устройства, при выходе за пределы нормальных значений могут сигнализировать о возникновении в устройстве неполадок. Параметры объекта интернета вещей обновляются в соответствии с заданной на платформе для конкретного объекта периодичностью. Для автоматизации создания задач было принято решение о создание системы триггеров. При получении запроса на изменение параметра объекта на серверном ресурсе срабатывает триггер, проверяющий новые данные на выполнение условий. Если условия выполняются, то формируется и добавляется в базу данных задача с установленными заранее параметрами. Так как у одного устройства могут единовременно возникать несколько независимых от друг друга технических проблем, которые бы отражались на получаемой от устройства статистике, то при единовременном выполнении нескольких условий для каждого из них создается задача. Триггер на проверку условий срабатывает каждый раз при обновлении свойств объекта в базе данных, тем самым незамедлительно создавая задачу на обслуживание при возникновении аномальной статистики от сенсоров устройства.

Большинство задач предполагают необходимость выдачи исполнителю задачи прав доступа к обслуживаемому устройству, причем само устройство на период обслуживания должно быть снято с линии и доступно для обращения к нему только исполнителем. При формировании задачи обязательно указывается объект обслуживания. Когда назначенный исполнитель берет задачу на исполнение, помимо смены статуса задачи, меняется также статус объекта, после чего он числится зарезервированным за исполнителем, тем самым оставаясь недоступным клиентам, вплоть до момента, пока задача не будет переведена в статус завершенных. Завершение задачи исполнителем и принятие её оператором, сигнализирует о том, что обслуживание устройства было закончено, что изменяет статус объекта обратно и делает его вновь доступным клиентам сервиса. В зависимости от типа задачи, указанного при её создании, исполнителю для полномерного выполнения может быть необходима только часть прав на функционал объекта. Тем самым, благодаря реализации привязки типа задачи к выдаваемым правам на объект, возможна выдача конкретных прав на объект, избавляясь от потенциального избыточного использования объекта исполнителем.

Платформа Интернета вещей рассчитана на работу с большим количеством устройств, следовательно, каждый модуль системы должен иметь в себе встроенные инструменты для одновременного взаимодействия с множеством объектов, что относится также и к работе с задачами. Для решения этой задачи в функциональном компоненте модуля было добавлен хук состояния, отвечающий за состояние выделенных объектов. Клик на задачу изменяет состояние выделенных объектов, при смене параметров задачи и подтверждении изменений для отправки на сервер формируется PATCH-запрос в отношении всех задач, находящихся на момент формирования запроса в состоянии выделенных объектов. Таким образом, запрос изменения применяются ко всему массиву объектов.

Общий принцип использования системы представлен на диаграмме прецедентов на рисунке 2.

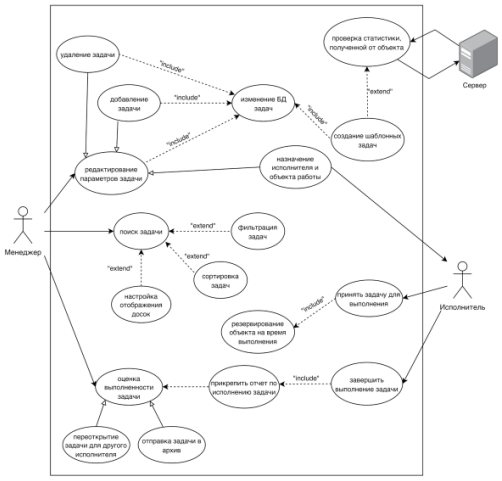


Рис.2. Диаграмма прецедентов для модуля управления задач

Заключение

В результате работы был разработан пользовательский модуль управления задач, обеспеченный как основным функционалом для удобного отображения, сортировки и фильтрации задач через веб-интерфейс, так и специализированными функциями, необходимыми для работе на платформе Интернета вещей: функционал по автоматизации создания задач на основании статистики, получаемой от устройств, выдачи распределенных прав доступа и инструментов одновременного множественного взаимодействия с объектами.

Список литературы

1. ThingsBoard Inc. ThingsBoard Documentation. - URL: https://thingsboard.io/docs/ (дата обращения: 12.02.2022).

2. Losant IoT. Losant Docs. - URL: https://docs.losant.com (дата обращения: 12.02.2022).

3. Cumulocity IoT. Introduction to our IoT platforms. - URL: https://cumulocity.com/guides/concepts/introduction/ (дата обращения: 22.04.2022)

4. Маркин В.Ю., Канбан как метод управления проектами в различных сферах деятельности // Вестник науки и образования. – 2020. – №5-1 (83). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kanban-kak-metod-upravleniya-proektami-v-razlichnyh-sferah-deyatelnosti (дата обращения: 23.01.2022).

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2018611207 Российская Федерация. Программа для управления проектами "YouGile / А.А. Чернятин, И.И. Цветков, Д.С. Цьопа; правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Юджайл». – № 2017662270; заявл. 28.11.2017; опубл. 25.01.2018. – 1 с.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2017616197 Российская Федерация. СМАРТ: Управление проектами / М.В. Онопин; правообладатель М.В. Онопин – № 2017613491; заявл. 07.04.2017; опубл. 02.06.2017. – 1 с.

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНЫХ МЕТРИК ДЛЯ СТУДЕНТОВ МИЭМ НИУ ВШЭ

Веденский Д.С.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматриваются общепринятые метрики проектной деятельности, которые проектируются на реалии современной проектной модели МИЭМ НИУ ВШЭ. Подробно описывается способ получения каждой метрики. На основании метрик планируется создать проектный рейтинг студента.

Введение

За последние несколько лет особое место в образовательном дискурсе заняла тематика модернизации образовательного процесса, предполагающая внедрение форматов освоения проектных навыков. Задача освоения студентами новых компетенций и навы-

ков, позволяющих им реализовывать комплексные проекты и инициативы, широко принимается и поддерживается преподавателями и работодателями [1].

Проектный подход уже несколько лет успешно используется в МИЭМ НИУ ВШЭ. В 2022 году количество проектов в базе превышает 350[2]. На данный момент в качестве показателя эффективности работы студента в проекте используется итоговая оценка за проект, которая выставляется проектной комиссией и руководителем проекта, и является субъективной.

В данной работе рассматривается процесс разработки проектных метрик студентов, которые могут повысить эффективность оценивания проектной работы.

Данная работа проводится в соответствии с профессиональным стандартом "Специалист по моделированию, сбору и анализу данных цифрового следа". Обобщенная трудовая функция "Анализ данных цифрового следа в соответствии с моделью деятельности человека (группы людей) и ИКС"[3].

Источники данных

В качестве источника данных используется база данных цифрового следа (далее БД) студентов МИЭМ НИУ ВШЭ, которая накапливает данные с 2019 года. В качестве СУБД используется MongoDB. БД содержит данные по Google Classroom (сервис для онлайн обучения), Git (система управления репозиториями), Jitsi (платформа видеоконференцсвязи для переговоров внутри проектов и проведения онлайн занятий), Zulip (корпоративный чат) и Trello (канбан трекер).

Google Classroom. Источник содержит данные по курсам Google Classroom: названия курсов, составы учебных групп, контрольные работы, оценки.

Git. Источник содержит большое количество данных по активности пользователей в программных проектах: коммиты, пул и мердж запросы.

Jitsi. Источник содержит данные по активности студентов в Jitsi: количество часов, которые студент провёл в каждой переговорной.

Zulip. Источник содержит данные по активности и сообщениям чатов Zulip: сообщения, названия чатов, количество сообщений чата

Trello. Источник содержит данные по активности студентов в проектах: карточки с задачами, количество часов, которые студент затратил на выполнение каждой работы. На текущем этапе принято решение использовать Trello как основной источник данных, так как он содержит самые явные показатели для анализа проектной деятельности.

Разработка метрик

На основе оценки эффективности (KPI), рассмотренной в работе “Оценка эффективности работы сотрудников и руководителей учреждений высшего образования на основе KPI” [4] были разработаны шесть метрик для оценки проектной активности студентов МИЭМ.

Метрики представлены в таблице (Табл. 1).

Таблица 1. Метрики

Метрика	Аналог метрики в МИЭМ	Возможность реализации расчёта на доступных данных
Среднее количество часов на выполнение одной задачи	Среднее количество часов на выполнение одной задачи	Возможно
Коэффициент закрытых работ: отношение числа завершенных (закрытых) работ к общему числу запланированных к завершению на данный момент работ.	Коэффициент закрытых карточек	Возможно
Производительность труда, вычисляемая как отношение объема работ к затраченному времени (отклонение от запланированных значений)	Количество зачтенных часов за цикл проекта	Невозможно. Отсутствуют данные по временным промежуткам.
Процент трудозатрат, приходящихся на фазу проекта/отдельную группу задач	Отношение часов одного цикла проекта к общему количеству часов	Невозможно. Отсутствуют данные по временным промежуткам.
Отставание от графика: суммарная продолжительность времени задержки задач, не уложившихся в план-график.	Коэффициент выполненных в срок карточек	Возможно
Вклад сотрудника	Коэффициент вклада Студента	Возможно

В следствии отсутствия данных по временным промежуткам, было решено остановиться на четырёх метриках: среднее количество часов на выполнение одной задачи, коэффициент закрытых карточек, коэффициент выполненных в срок карточек, коэффициент вклада студента.

Среднее количество часов на выполнение одной задачи. Рассчитывается по формуле (1):

$$M1 = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \cdots + c_N}{N} \quad (1)$$

где c_1, c_2, c_3, c_N – количество часов в карточке, N – общее количество карточек.

Коэффициент закрытых карточек. Рассчитывается по формуле (2):

$$M2 = 1 - \frac{O}{N} \quad (2)$$

где O – количество закрытых карточек, N – общее количество карточек.

Коэффициент выполненных в срок карточек. Рассчитывается по формуле (3):

$$M3 = 1 - \frac{S}{N} \quad (3)$$

где S – количество выполненных в срок карточек, N – общее количество карточек.

Коэффициент вклада студента. Рассчитывается по формуле (4):

$$M4 = \frac{\sum H_s}{\sum H_p} \quad (4)$$

где H_s – количество часов одной карточки студента, H_p – количество часов одной карточки проекта.

Для оценки релевантности полученных метрик используется сравнение метрик с оценками, выставленными преподавателями за проект. Набор данных итоговых оценок, который содержит 849 записей. В ходе анализа данных оценок было установлено, что в наборе практически нет оценок ниже 6 (используется десятибалльная система оценивания). Математическое ожидание оценки, полученной студентом, составляет $\mu = 8{,}52$. Для более наглядного представления результата построена гистограмма (Рис. 1).

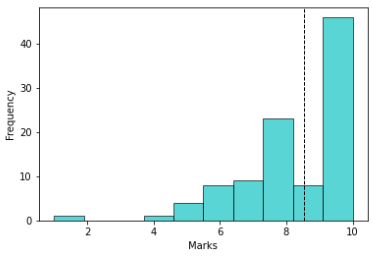


Рис.1. Распределение оценок

Далее для каждой метрики было найдено выборочное среднее. Также для более наглядного представления результата построены гистограммы распределения каждой метрики (Рис1-4).

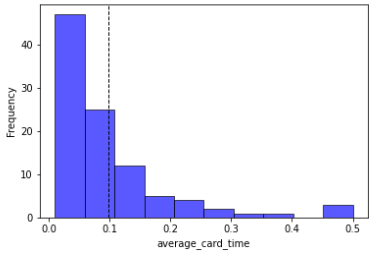


Рис.1. Распределение M1

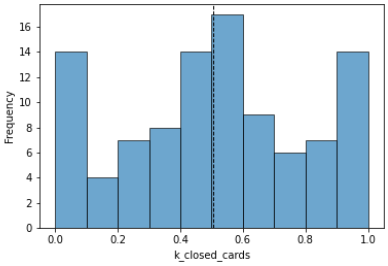


Рис.2. Распределение M2

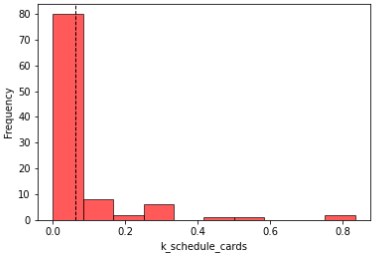


Рис.3. Распределение M3

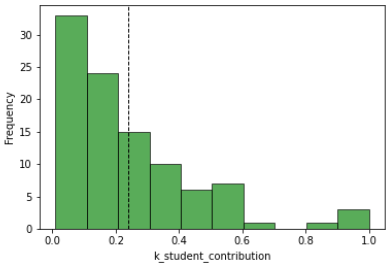


Рис.4. Распределение M4

Из графиков распределения особенно выделяется график M3, такое распределение связанно с низкой популярностью использования «дедлайнов» в Trello, однако данная метрика может быть очень полезна в текущих реалиях Wekan (трекер, аналогичный Trello, который с 2022 года используется для проектов МИЭМ), где «дедлайн» становится неотъемлемой частью каждой задачи.

Вследствие большого количества студентов, которые не пользовались «дедлайнами» было принято решение отсеять тех студентов, которые вообще ни разу не ставили дедлайн себе на задачу, в результате получилось распределение на рисунке 5.

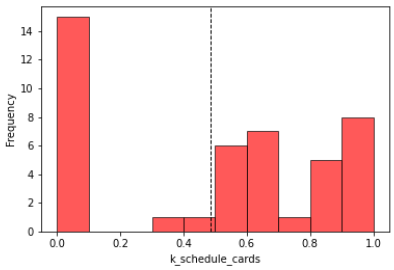


Рис.5. Новое распределение М3

Также на основе графического анализа была усовершенствована метрика М4. Максимальным и лучшим значением метрики является 1, данное значение подразумевает, что студент внёс достаточный вклад в проект. Студенты, принимающие участие в проектах типа НИР (научно-исследовательские работы) всегда получают значение метрики 1 (проект типа НИР подразумевает участие только 1 студента), в то время как студенты проектов с большой командой получают низкое значение метрики, хотя на самом деле внесли весомый вклад в проект. Для объективной оценки в формулу была добавлена зависимость от количества студентов в проекте, новая формула (5):

$$M4 = N\frac{\sum H_s}{\sum H_p} \quad (5)$$

где Hs – количество часов одной карточки студента, Hp – количество часов одной карточки проекта, N – количество студентов в проекте.

Чтобы уравновесить метрику для студентов из всех типов проекта было принято решение значения метрики М4, большие 1 заменить на 1. Новое распределение метрики М4 представлено на рисунке 6.

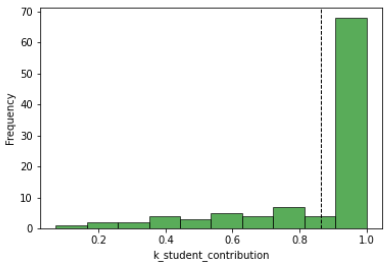


Рис.6. Новое распределение М4

Оценка релевантности метрик производится по следующему алгоритму:

1. Для выборки значений каждой метрики находится среднее
2. Для каждой метрики студенты делятся на две группы: с высокими показателями метрик и с низкими показателями. Порогом для деления является среднее значение метрики. У студента с высокими показателями метрика М1 должна быть меньше или равна значению своего выборочного среднего, остальные метрики – больше или равны своему выборочному среднему. У студента с низкими показателями ситуация обратная: метрика М1 должна быть больше или равна значению своего выборочного среднего, остальные метрики – меньше или равны своему выборочному среднему.
3. Для сравнения двух групп выдвигается предположение о том, что выборочное среднее оценки студентов с высокими показателями должно быть больше, чем выборочное среднее оценки студентов с низкими показателями.
4. Предположение формулируется в гипотезах:

$$H_0\colon \bar{X}_{\text{в}} = \bar{X}_{\text{н}}$$
$$H_1\colon \bar{X}_{\text{в}} \neq \bar{X}_{\text{н}}$$

Где *H0* – нулевая гипотеза, *H1* – альтернативная гипотеза, $\bar{X}_{\text{в}}$ – выборочное среднее студентов с высокими показателями, $\bar{X}_{\text{н}}$ – выборочное среднее студентов с низкими показателями.

5. Значения оценок в двух выборках являются независимыми. С помощью теста Шапиро-Вилка проверяется нормальность распределений обоих выборок. В случае подтверждения нормальности распределения обоих выборок для проверки гипотезы применяется тест Стьюдента. В ином случае применяется U-критерий Манна-Уитни.
6. Для выполнения тестов Шапиро-Вилка, Стьюдента и U-критерий Манна-Уитни используются соответствующие функции shapiro, ttest_ind и mannwhitneyu python модуля scipy, функции на вход принимают выборки, а на выходе отдают значение статистики и pvalue. Доверительный интервал равен 95% [5]. Нулевая гипотеза отклоняется при pvalue < 0,05. При pvalue > 0,05 нет оснований для отклонения нулевой гипотезы.

Для метрики М1 выборочное среднее оценки, полученной студентами с высокими показателями, составляет примерно $\bar{X}_{\text{в1}} = 8{,}72$. Выборочное среднее оценки, полученной студентами с низкими показателями, составляет примерно $\bar{X}_{\text{н1}} = 7{,}73$. Таким образом: $7{,}73 < 8{,}72$; $\bar{X}_{\text{н1}} < \bar{X}_{\text{в1}}$. По критерию Шапиро-Вилка гипотеза о нормальности для каждой выборки отвергается. Для проверки нулевой гипотезы применяется U-критерий Манна-Уитни. Значение pvalue U-критерия Манна-Уитни равняется примерно $5{,}14 * 10^{-5}$; $5{,}14 * 10^{-5} \ll 0{,}05$. Нулевая гипотеза отвергается, принимается альтернативная гипотеза. Можно сделать вывод, что студенты с высокими показателями метрики М1 имеют более высокую оценку, чем студенты с низкими показателями метрики.

Для метрики М2 выборочное среднее оценки, полученной студентами с высокими показателями, составляет примерно $\bar{X}_{\text{в2}} = 8{,}66$. Выборочное среднее оценки, полученной студентами с низкими показателями, составляет примерно $\bar{X}_{\text{н2}} = 7{,}17$. Таким образом: $7{,}17 < 8{,}66$; $\bar{X}_{\text{н2}} < \bar{X}_{\text{в2}}$. По критерию Шапиро-Вилка гипотеза о нормальности для каждой выборки отвергается. Для проверки нулевой гипотезы применяется U-критерий Манна-Уитни. Значение pvalue U-критерия Манна-Уитни равняется примерно $1{,}36 * 10^{-6}$; $1{,}36 * 10^{-6} \ll 0{,}05$. Нулевая гипотеза отвергается, принимается альтернативная гипотеза. Можно сделать вывод, что студенты с высокими показа-

телями метрики М2 имеют более высокую оценку, чем студенты с низкими показателями метрики.

Для метрики М3 выборочное среднее оценки, полученной студентами с высокими показателями, составляет примерно $\bar{X}_{в3} = 8{,}78$. Выборочное среднее оценки, полученной студентами с низкими показателями, составляет примерно $\bar{X}_{н3} = 7{,}13$. Таким образом: $7{,}13 < 8{,}78$; $\bar{X}_{н3} < \bar{X}_{в3}$. По критерию Шапиро-Вилка гипотеза. Для проверки нулевой гипотезы применяется U-критерий Манна-Уитни. Значение pvalue U-критерия Манна-Уитни равняется примерно $1{,}74 * 10^{-5}$; $1{,}74 * 10^{-5} \ll 0{,}05$. Нулевая гипотеза отвергается, принимается альтернативная гипотеза. Можно сделать вывод, что студенты с высокими показателями метрики М3 имеют более высокую оценку, чем студенты с низкими показателями метрики.

Для метрики М4 выборочное среднее оценки, полученной студентами с высокими показателями, составляет примерно $\bar{X}_{в4} = 8{,}53$. Выборочное среднее оценки, полученной студентами с низкими показателями, составляет примерно $\bar{X}_{н4} = 6{,}25$. Таким образом: $6{,}25 < 8{,}53$; $\bar{X}_{н4} < \bar{X}_{в4}$. По критерию Шапиро-Вилка гипотеза о нормальности для каждой выборки отвергается. Для проверки нулевой гипотезы применяется U-критерий Манна-Уитни. Значение pvalue U-критерия Манна-Уитни равняется примерно $5{,}36 * 10^{-5}$; $5{,}36 * 10^{-5} \ll 0{,}05$. Нулевая гипотеза отвергается, принимается альтернативная гипотеза. Можно сделать вывод, что студенты с высокими показателями метрики М4 имеют более высокую оценку, чем студенты с низкими показателями метрики.

Можно сделать вывод, что для каждой метрики студенты с высокими показателями имеют более высокую оценку, в то время как студенты с низкими показателями имеют более низкую оценку. Релевантность метрик статистически доказана и их можно использовать для дальнейшего построения проектного рейтинга.

Заключение

В работе рассмотрены основные метрики проектной деятельности в МИЭМ, выбраны способы их получения. В явном виде получены четыре проектные метрики. Метрики рассчитаны на реальных данных, а их эффективность проверена реальными оценками преподавателей.

В будущем метрики будут составлять проектный рейтинг студента, который поможет оценить эффективность работы студентов в проектах.

Список литературы

1. Лешуков О. В., Исаева Н. В., Евстратова Л. А. Проектное обучение: практики внедрения в университетах – Издательский дом НИУ ВШЭ, 2018 – 149 стр.

2. ВКР Кутузов Антон Игоревич, Леперт Михаил Владимирович. Аналитика сотрудничества как инструмент управления проектной деятельностью студентов –https://www.hse.ru/edu/vkr/560089201.

3. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 09.07.2021 № 462н "Об утверждении профессионального стандарта "Специалист по моделированию, сбору и анализу данных цифрового следа" (Зарегистрирован 30.07.2021 № 64502)

4. Е. В Камнева, М. Полевая, М. М Симонова. Оценка эффективности работы сотрудников и руководителей учреждений высшего образования на основе KPI – Издательский дом Прометей, 2019 – 218 стр.

5. Официальная документация Python-библиотеки scipy: [Электронный ресурс]. URL: https://scipy.org/ (Дата обращения: 30.01.2022).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПИЛЯТОРА DATA-FLOW ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Гаджиев Э.И., Елисеев Н.С.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Статья посвящена проектированию компилятора data-flow языка программирования, являющегося разработкой МИЭМа в рамках проекта 941 «Разработка и программная реализация компилятора dataflow-языка программирования». Отличительной особенностью компилируемого объектно-атрибутного (ОА) языка является реализация двух парадигм: data-flow и императивной.

Введение

Целью проекта 941 «Разработка и программная реализация компилятора dataflow-языка программирования» является разработка и программная реализация специализированного языка программирования высокого уровня для управления вычислительной системой, работающей в парадигме data-flow [1], а точнее вычислительной системы объектно-атрибутной (ОА) архитектуры [2]. Особенностью языка (ОА-язык) является то, что он объединяет в себе data-flow и императивную парадигмы. Задачами проекта являются: разработка синтаксиса языка, разработка и программная реализация виртуальных устройств, входящих в состав компилятора, проектирование и реализация компилятора. В настоящей статье приводится описание работ по проектированию и реализации виртуальных устройств, входящих в состав data-flow компилятора ОА-языка и в состав ОА вычислительной системы, для обеспечения компиляции и выполнения программы.

Data-flow вычислительные системы обеспечивают максимальный параллелизм вычислений в отличие от классических вычислительных систем с управлением потоком команд (control-flow). Поэтому data-flow системы очень перспективны в области высоко параллельных вычислений (HPC).

Научной новизной работы является то, что сам компилятор работает в парадигме data-flow. И в ходе выполнения работы будет отработана технология создания транслятора языка высокого уровня на базе data-flow парадигмы. Будет проверена эффектив-

ность такой технологии: удобство создания и модификации транслятора, удобство ОА-языка для программиста, скорость программирования транслятора и т. д. Результаты работы позволят оценить перспективность создания data-flow трансляторов.

Как говорилось ранее, data-flow компилятор в проекте представляет собой множество специализированных программно реализованных функциональных устройств (ФУ), обрабатывающих приходящую к ним на вход информацию в виде информационных конструкций под названием «милликоманда» [2]. Такое виртуальное устройство несколько напоминает актор [3]. Во время обработки текста программы, поданного на вход компилятору, задействованные ФУ производят генерацию динамической конструкции, описывающей алгоритм в data-flow парадигме, представленной в виде ОА-графа (Рис.1). Компилятор строится на основе распознающего автомата [4], и каждое состояние автомата представлено своим ФУ.

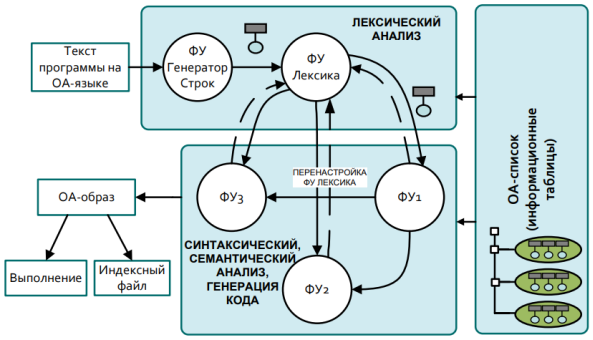


Рис.1. Организация ОА компилятора

В рамках работ по проекту были выделены основные типы виртуальных ФУ, необходимых для функционирования компилятора:

1. Генератор текста (передает код программы на обработку ФУ).
2. Лексический анализатор (разбивает код программы на лексемы, обрабатываемые последующими ФУ).
3. Обработчик списка (генератор и обработчик ОА-списка, являющегося информационной таблицей с командами и переменными, объявленными в коде программы).
4. «Threader» (реализует императивную (последовательную) парадигму вычислительного процесса).
5. Арифметико-логическое устройство (АЛУ) (вычисляет арифметико-логические выражения (АЛВ), представленные в виде динамической конструкции (ОА-граф) [3]).

В рамках данной статьи основное внимание уделено ФУ «Threader» и ФУ «Обработчик списка».

Следует отметить, что разработка компилятора ОА-языка происходила и до проекта 941. Результатом работы стала реализация транслятора арифметико-логических выражений ОА-языка [5]. Данный транслятор будет впоследствии интегрирован в создаваемый в настоящее время компилятор.

Принцип работы ФУ «Threader»

Так как язык должен был реализовывать сразу две парадигмы (data-flow и императивную), понадобилось создание дополнительного функционального устройства, которое сможет работать с соответствующими конструкциями ОА-языка:

1. Потоки данных («>>» – формирование потока данных. Например, [1,2,3,4] >> **2 >> Outln – вывод квадратов чисел из массива.
2. Цикл с постусловием («after»).
3. Оператор бинарного ветвления («if – else»).
4. Табуляция и программные скобки.

Необходимость такого устройства заключается в том, что некоторые фрагменты программы намного проще реализовать в последовательном (императивном) стиле, нежели в параллельной парадигме data-flow.

Примечательно то, что в состав data-flow вычислительной системы может входить несколько императивных устройств «Threader», что позволяет одновременно выполнять несколько вычислительных нитей. В некоторых случаях это может значительно увеличить скорость выполнения программы. На Рис.2 представлен состав императивного устройства «Threader».

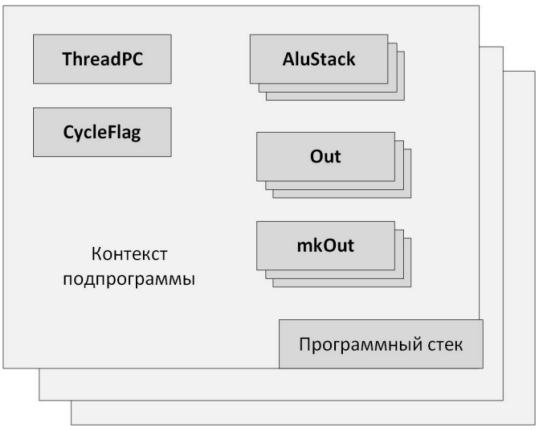


Рис.2. Состав императивного устройства

В контекст (совокупность внутренних полей для хранения данных) ФУ входят следующие элементы:

1. «ThreadPC» (устройство, вызывающее циклическое выполнение команд, располагающихся в блоке цикла).
2. «CycleFlag» (ячейка памяти, хранящая в виде значения номер текущей итерации).
3. «AluStack» (стек аккумуляторов, который содержит значения вычисленных выражений при помощи АЛУ в соответствии с приоритетом операции).
4. «Out» (стек переменных, куда АЛУ записывает значение вычисленных выражений).
5. «mkOut» (милликоманда, которой пересылается значение вычисленных выражений).
6. Программный стек (хранит все подпрограммы и необходим для их вызова во время исполнения основного кода).

Принцип работы ФУ «Список»

Главной задачей данного устройства является управление многоуровневой динамической конструкцией «Список». «Список» используется для управления таблицами ссылок, а также для генера-

ции выходных динамических конструкций (Рис.3) при работе data-flow компилятора.

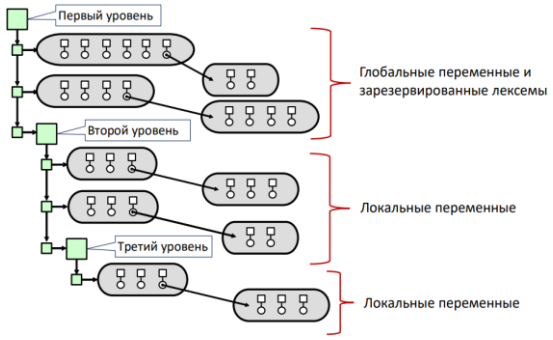


Рис.3. Состав функционального устройства «Список»

В частности, «Список» используется для хранения описаний переменных, объявленных в программе. Проблема в том, что одна и та же мнемоника может встречаться в различных местах в качестве как локальной, так и глобальной переменной; обычно предпочтение отдается локальной переменной. Для того чтобы реализовать такое, применяется многоуровневый список, где каждый уровень отвечает за степень локализации переменных. Так, глобальные переменные оказываются на верхних уровнях, а локальные – на нижних. При нахождении мнемоники в тексте программы ФУ «Список» начинает поиск с нижнего уровня и далее «поднимается» по ним. Если мнемоника была найдена, то поиск прекращается. Описания идентичных переменных на более высоких уровнях не анализируются. Таким образом, переменные с высшей степенью локальности имеют наибольший приоритет.

Заключение

Разработка компилятора ОА-языка осуществляется методом раскрутки (последовательное наращивание функциональных возможностей компилятора) с 2008 года. В настоящее время происходит реализация версии «С» компилятора объектно-атрибутного языка. В рамках проекта 941 спроектированы такие устройства как АЛУ и «Многоуровневый список».

В настоящий момент проводятся работы, связанные с программной реализацией матричной части АЛУ, которая позволит работать с массивами, а также проектирование и программная реализация ФУ «Лексический анализатор» и ФУ «Threader» (выполняет вычисления в последовательном стиле).

В будущем планируется завершить реализацию data-flow и императивной части языка, а также начать тестирование компилятора на наличие и исправление различных найденных ошибок.

Список литературы

1. Milutinovic V, Trifunovic N, Salom J, Giorgi R. The guide to dataflow supercomputing. USA: Springer; 2015. https://proxylibrary.hse.ru:2084/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-16229-4.pdf

2. И. Федотов. Модели параллельного программирования. — М.: Солон-Пресс, 2012. — С. 384.

3. Салибекян С. М. Трансляция арифметико-логического выражения с использованием формата внутреннего представления на базе парадигмы data-flow //Информационные технологии. – 2020. – Т. 26. – №. 3. – С. 169-176.

4. Ахо А. и др. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий //М.: Вильямс. – 2008. – Т. 1. – 1184 с.

5. Салибекян С. М., Гаджиев Э. И. Реализация транслятора арифметико-логических выражений на базе парадигмы dataflow //Системный администратор. – 2021. – №. 7-8. – С. 134-137.И. Федотов. Модели параллельного программирования. — М.: Солон-Пресс, 2012. — С. 384.

РАЗРАБОТКА РЕАЛИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРЫ RISC-V С ПОДДЕРЖКОЙ ВЫЧИСЛЕНИЙ, ОСНОВАННЫХ НА МОДУЛЯРНОЙ АРИФМЕТИКЕ

Литвиненко А.М.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамента компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматриваются различные архитектуры процессоров и их особенности, а также особенности расширений для RISC-V, использование модулярной арифметики для выполнения вычислений. В работе предлагается разработка нового расширения для RISC-V, основанное на модулярной арифметике, и приводятся преимущества и недостатки, которые оно может иметь.

Введение

С середины 80-х годов XX века производительность процессоров вырастала на 25% каждый год, и так продолжалось до 2011 года [1]. Это было связано с многократным уменьшением размеров транзистора, а также с увеличением тактовой частоты процессора. В нынешнее время сильного увеличения производительности с помощью улучшения физических параметров процессора уже добиться не получается, поэтому на первый план вышли разработки в сфере улучшения архитектуры [2].

За каждой архитектурой стоит система команд процессора – основа, на которой строится весь остальной процессор. В этой работе речь пойдет о системе команд процессора RISC-V, а также о создании расширения для работы с модулярной арифметикой в этой системе команд.

Обзор литературы

RISC-V – молодая и стремительно развивающаяся система команд и процессорная архитектура, доступная для свободного использования. Количество

публикаций по теме RISC-V в цифровой библиотеке IEEE Xplore значительно увеличилось с 2014 года по 2018 год и продолжает увеличиваться [3]. Это говорит о том, что интерес к данной архитектуре растет. Рост интереса связан с тем, что RISC-V не сильно уступает в производительности ближайшему конкуренту – ARM [4], но при этом является открытой для использования, то есть за использование этой архитектуры не придется платить. Стоит учитывать также, что системы команд x86-64, ARM, MIPS были разработаны достаточно давно и сохранили свои недостатки, например отсутствие кроссплатформенности и модульности [2]. В то же время основная цель разработчиков RISC-V – сделать эту архитектуру стандартом для любого вычислительного устройства [5]. В сообществе RISC-V насчитывается уже более 200 известных компаний, среди них Nvidia, Alibaba и другие. Также интерес к архитектуре RISC-V проявляют и некоторые государственные структуры [2,5].

Кроме того все большее развитие приобретают сети на кристалле – объединение на одном чипе десятков и сотен процессорных ядер – где использование ядер RISC-V небольшого размера с различными расширениями вполне уместно [6].

Все это говорит об актуальности разработки расширений на базе архитектуры RISC-V.

Реализованные расширения для RISC-V

Разрабатывать расширения для архитектуры RISC-V гораздо проще, чем для других архитектур, например ARM. Здесь играет большую роль модульность архитектуры. Расширения можно условно разделить на две группы: дополняющие функционал [7, 8] или улучшающие свойства, такие как энергоэффективность, производительность, безопасность [9].

В [7] приводится реализация расширения для RISC-V для выполнения битовых операций на основе тех, которые уже присутствуют в архитектурах x86-64 и ARM. Это расширение не производит негативного влияния на производительность процессора, напротив, производительность может увеличиться для решения задач, связанных, например с криптографией.

В [8] представлена реализация уже готового процессора на кристалле от компании Alibaba с расширением для выполнения векторных операций. Это расширение может использоваться для задач, связанных с машинным обучением за счет распараллеливания операций. Авторы также отмечают высокую производительность разработанного процессора для таких операций.

В [9] представлено расширение для улучшения безопасности процессоров RISC-V от возвратно-ориентированного программирования. Это расширение очень полезно, так как сама по себе архитектура RISC-V не имеет защитных механизмов. Но такое расширение однозначно уменьшит производительность процессора.

То есть можно заметить, что ни одно из этих расширений не выполняет сразу обе функции.

Предлагаемое решение

Было принято решение разработать расширение, которое позволяло бы увеличить и производительность и криптостойкость процессора. Одним из перспективных способов решения задач увеличения скорости обработки данных и повышения надежности вычислений является распараллеливание обработки данных на основе числовых систем с параллельной структурой [10]. Такой метод позволит распараллеливать вычисления на уровне операций низкого уровня, что сильно повысит производительность [11]. Такого эффекта можно достичь с помощью системы остаточных классов (СОК) – непозиционной системе счисления.

Интеграция этой системы счисления в архитектуру RISC-V позволит увеличить быстродействие и отказоустойчивость процессора в задачах цифровой фильтрации, векторных вычислениях, дискретизации [11]. В связи с этим целью работы стала разработка расширения для выполнения вычислений, основанных на модулярной арифметике на базе процессора RISC-V.

Для реализации этого расширения были выполнены следующие задачи:

1. Реализована архитектура RISC-V. Это было сделано с помощью языка описания аппаратуры Verilog. Собственная реализация на HDL избавляет от необходимости анализа чужого кода, а также это проще, чем реализовывать архитектуру на языке высокого уровня, например C++.

2. Реализован модуль вычислений, основанных на модулярной арифметике. Реализации различных операций в СОК уже существуют, например, в работе [12] представлен генератор HDL для операций сравнения. Но помимо операции сравнения были определены операции сложения и умножения, а также операция обратного преобразования в позиционную систему счисления.

3. Реализована надстройка для компилятора на языке Java. Для работы с числами в системе остаточных классов были созданы специальные команды с уникальным машинным кодом.

4. Проведены проверка реализации и тестирование. Для этого были созданы система тестбенчей и тестовых данных на языке Assembler. Отладка работы программы осуществлялась на известных бенчмарках. Далее была проведена эмуляция проекта на ПЛИС с целью проверки функциональности разработанного расширения.

5. Проведен сравнительный анализ. Была проанализирована производительность процессора с расширением по сравнению с процессором без этого расширения. Была проведена оптимизация процессов в модуле системы остаточных классов. Проведен сравнительный анализ еще раз.

Полученные результаты

Оценка производительности происходила по двум параметрам, которые наиболее часто используются для сравнения [8, 9]: тактовая частота и энергопотребление. Тестирование происходило на трех программах: счетчике чисел Фибоначчи; зациклен-

ный счетчик со стартовым значением, близким к границе базиса СОК; и зацикленный умножитель со стартовым значением, близким к границе базиса СОК. Таким образом, эти программы показывают преимущество СОК перед двоичной системой счисления в задачах с числами большой разрядности. Тестирование показало, что тактовая частота процессора с разработанным расширением в среднем на 13,5% выше, чем у процессора без расширения. При этом энергопотребление выросло на 5,5%, что является приемлемым результатом.

Заключение

В данной статье была описана разработка расширения для процессорной архитектуры RISC-V для поддержки вычислений, основанных на модулярной арифметике. Интеграция модуля для работы с числами в СОК в архитектуру процессора позволила увеличить производительность процессора на уровне простых операций в сумматоре за счет уменьшения разрядности чисел и распараллеливания вычислений в сравнении с процессором без этого расширения, при этом незначительно увеличив энергопотребление. Тем не менее, разработанное расширение имеет свои недостатки. В системе остаточных классов нет возможности производить вычисления над числами с плавающей запятой, а также не существует эффективных алгоритмов сравнения и обратного преобразования без перевода чисел в систему счислениями со смешанными основаниями. Будущие исследования по этой теме могут быть направлены на увеличение функционала расширения, например на добавление новых операций, или на уменьшение энергопотребления разработанного модуля.

Список литературы

1. Хеннесси Д.Л., Паттерсон Д.А. Компьютерная архитектура. Количественный подход. Издание 5-е. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 936 с. – ISBN 978-5-94836-413-1.
2. Фролов В.А., Галактионов В.А., Санжаров В.В. Исследование технологии RISC-V // Труды ИСП РАН. – Т. 32. – Вып. 2. – 2020. – С. 81–98. – DOI: 10.15514/ISPRAS–2020–32(2)–7.
3. Höller R. et al. Open-Source RISC-V Processor IP Cores for FPGAs – Overview and Evaluation // 2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). – 2019. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/MECO.2019.8760205.
4. Ling M. et al. Does the ISA Really Matter? A Simulation Based Investigation // 2019 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM). – 2019. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/PACRIM47961.2019.8985059.
5. Asanovic K. et al. Semiconductor Revolution // Technical Symposium RISC-V Moscow. – 2019.
6. Ryazanova A.E. et al. Development of multiprocessor system-on-chip based on soft processor cores schoolMIPS // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1163. – No. 1. – P. 1-7. – DOI: 10.1088/1742-6596/1163/1/012026
7. Koppelmann B. et al. RISC-V Extensions for Bit Manipulation Instructions // 2019 29th International Symposium on Power and Timing Modeling, Optimization and Simulation (PATMOS). – 2019. – P. 41–48. – DOI: 10.1109/PATMOS.2019.8862170.
8. Chen C. et al. Xuantie-910: A Commercial Multi-Core 12-Stage Pipeline Out-of-Order 64-bit High Performance RISC-V Processor with Vector Extension: Industrial Product // 2020 ACM/IEEE 47th Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA). – 2020. – P. 52–64. – DOI: 10.1109/ISCA45697.2020.00016.
9. De A. et al. FIXER: Flow Integrity Extensions for Embedded RISC-V // 2019 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE). – 2019. – P. 348–353. – DOI: 10.23919/DATE.2019.8714980.
10. Дерябин М.А., Зайцев А.А. Использование модулярной арифметики для ускорения выполнения операций над числами большой разрядности // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т. 17. – № 5(58). – С. 245–251.
11. Фурман И.А, Кошман С.А, Краснобаев В.А. Вариант синтеза процессора в системе остаточных классов // Радиоэлектроника и информатика. – 2003. – № 2. – С. 94–96.
12. Dergachev S. et al. Generation of Hardware Modules for Comparison in Residue Numeral Systems // 2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, 2021. – P. 997–1001. – DOI: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537534.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ТЕКСТА С ОПОРОЙ НА ГЕНЕРАЦИЮ ЕГО ДИСКУРСИВНОЙ СТРУКТУРЫ

Гальцева Д.М.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается возможность улучшения дискурсивной структуры автоматически генерируемого текста на основе двух моделей: первая - для генерации структуры текста, вторая - для генерации самого текста с опорой на результат первой модели. Предполагается, что подобное планирование текста с помощью первой модели может увеличить связность генерируемого текста.

Введение

Современные языковые модели способны генерировать последовательный текст, однако легко понять, что он не был написан человеком: различные части текста слабо связаны друг с другом, нет переходов между темами. Целью данной работы является исследование возможности решить эту проблему. Для этого предлагается воспользоваться дополни-

тельной моделью-планировщиком, которая будет направлять процесс генерации.

Модель генерации структуры

Как было показано в работе [1], для диалогов можно построить направленный граф, на основе которого можно предсказывать вектор следующей фразы в диалоге. Предполагается, что данный метод можно использовать и для текстов, выбрав в качестве основной единицы предложения или небольшие абзацы. В качестве модели для векторизации текстов предлагается использовать нейросеть, обученную на решение задачи оценки близости текстов [2]. Такие вектора распределены в пространстве таким образом, чтобы вектора похожих текстов оказывались близко друг к другу, а далеких по смыслу – как можно дальше друг от друга. Полученный подобным способом вектор можно передавать модели генерации и измерять косинусную близость полученного предложения с заданным вектором. В таком случае данный вектор можно рассматривать в качестве контрольного кода тематики генерируемого текста.

Таким образом, основным вопросом является возможность контролируемой генерации текста с опорой на вектор заданной тематики. Рассмотрим существующие в данном направлении техники.

Способы контролируемой генерации

На данный момент все еще не существует одного универсального способа контролировать стиль, тематику или другие параметры генерируемого текста. В статье [3] в виде этапов рассмотрены основные вопросы при решении задачи контролируемой генерации. Согласно информации, представленной в данной работе, существует несколько основных способов воздействия на выход модели, среди них можно выделить следующие, показавшие свою эффективность:

- суммируя или конкатенируя контрольный вектор с входом модели;
- обновляя скрытые представления модели с помощью контрольного вектора;
- модифицируя непосредственно выход модели.

Метод, представленный в работе [4] использует первый способ, добавляя контрольный вектор в начало входной последовательности и обучая модель генерировать тексты с учетом некоторого количества заданных изначально тематик. Модель, обученная таким образом получила название Conditional Transformer Language (CTRL). Тематика или стиль текста для генерации подается в качестве контрольного кода вместе с началом текста для генерации. Среди неоспоримых преимуществ данного метода можно выделить возможность смешанной генерации: можно задать сразу несколько стилей и модель будет стараться генерировать согласно им. Несмотря на то, что подобные модели достигают значительных успехов в контролируемой генерации текста, значительным минусом является необходимость в большом количестве размеченных по тематикам данных для обучения.

Авторы следующей работы [5] попробовали решить проблему большого количества данных отказавшись от обучения языковой модели. Исходя из предположения о том, что современные модели уже неплохо генерируют текст, авторы данной работы предлагают воспользоваться методом под названием Plug and Play Language models. Данный метод заключается в следующем:

- берется предобученная языковая модель. В оригинальной статье это GPT-2 [6];
- веса модели закрепляются и не обновляются;
- отдельно обучается классификатор на необходимую задачу или тематику;
- на этапе генерации скрытые состояния генеративной модели обновляются с помощью градиентов от классификатора.

К преимуществам данного метода относится возможность контролировать генерацию с использованием различных стилей, необходим всего лишь подходящий классификатор. Его обучение также требует размеченных данных, однако в куда меньшем количестве. С другой стороны, обучение каждого классификатора необходимо дополнительно проконтролировать, что усложняет использование этого метода.

В работе [7] предлагается другой способ, названный GeDi, для достижения контролируемой генерации текста: данный метод предполагает совместную работу рассмотренной выше CTRL - модели и языковой модели и учитывает распределение следующего токена, предсказанное языковой моделью и распределение следующего токена для данной тематики, предсказанное CTRL. Несмотря на то, что для применения данного метода необходима CTRL модель, обученная на необходимые тематики, при наличии такой модели он позволяет без какого-либо дополнительного обучения начать применять этот метод и показывает качество лучше, чем обычная CTRL модель.

В методе, описанном во время мероприятия [8] предлагается использование классификатора для восстановления распределения следующего токена при заданном условии. Данный метод получил название CAIF. На каждом шаге генерации из словаря токенов выбираются *top_k* наиболее вероятных и для них предсказывается вероятность того, что соответствующие тексты принадлежат нужному классу. Полученное распределение прибавляется к распределению, полученному от языковой модели и, опираясь на новые вероятности следующего токена из вышеописанных *k* токенов выбирается *top_j* самых вероятных и уже из них случайным образом выбирается следующий токен.

Данный метод достигает значительных результатов в области контролируемой генерации, являясь лучшим по соотношению сложности в реализации, качества и скорости среди всех рассмотренных методов.

Предлагаемое решение

Учитывая специфику модели генерации структуры текста, на основе вышеописанных аналогов предлагается исследовать следующий подход для улуч-

шения дискурсивной структуры текстов. На рис. 1 в общем виде представлена схема процесса генерации.

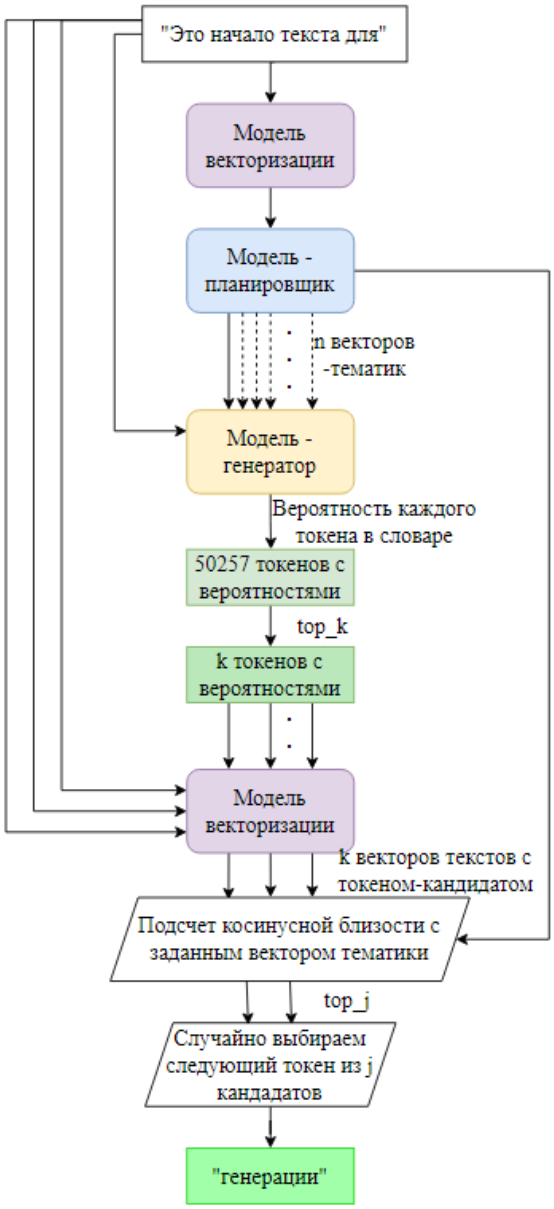


Рис.1. Схема процесса генерации

Начало текста подается на вход модели генерации структуры и генерируется *n* векторов тематик. Это же начало текста подается на вход языковой модели. Так как для обучения языковых моделей необходимо большое количество данных, предлагается воспользоваться предобученной моделью GPT-2 [6]. При генерации каждого следующего токена для *top_k* наиболее вероятных токенов подсчитывается близость векторов соответствующих им текстов с заданным первым вектором тематики. Это является некоторой заменой классификатору, описанному в работе [8]. Среди *top_k* токенов выбираются *top_j* ($j < k$) с наибольшим значением близости и уже из них случайным образом выбирается следующий токен. Таким образом для каждой тематики генерируется некоторое количество токенов, оно может быть предварительно заданным, или определяться тем, когда в *top_j* токенов появится токен конца генерации. После этого генерацию можно продолжить со следующим вектором тематики, подавая на вход модели полученный ранее текст. Таким образом, модель генерации будет стремиться продолжить ранее полученный текст, но в соответствии с новой тематикой.

Данный способ позволяет не обучать дополнительный классификатор для нужных нам тематик, которых может быть довольно много.

Анализ результатов

В таблице 1 представлены результаты сравнения предложенного метода с базовым подходом для двух случаев представления векторов тематик, определяющих дискурсивную структуру. В первом случае вектором, на который обуславливается генерация, является сам вектор предложения, во втором случае это центроид кластера к которому относится истинное предложение в рассматриваемой последовательности фраз. Измеряемыми метриками здесь являются средняя косинусная близость с истинными векторами и точность попадания в нужный кластер для каждой фразы из последовательности.

Таблица 1. Результаты сравнения предложенного метода с простой генерацией с помощью GPT-2 для двух случаев: генерация на основе векторов самих фраз и генерация на основе центроидов соответствующих кластеров

	Косинусная близость	**Качество на кластеризации (accuracy)**
Базовый подход	0.3301	0.15
Предложенный метод (векторы самих фраз)	0.5373	0.27
Предложенный метод (центроиды кластеров)	0.4542	0.37

Таким образом, мы можем видеть вполне предсказуемые результаты. Базовый метод показал себя хуже всего, так как он не имеет в своей основе никакого условия соответствия данным метрикам. GPT-2 просто продолжала текст одним из наиболее вероятных слов. Для предложенного метода мы видим лучшее качество, так как он учитывает необходимость соответствия заданной теме.

При этом, сгенерированные предложенным методом тексты не отличаются по качеству от простой генерации с помощью GPT-2, так как если отбросить переранжирование, способ генерации тот же самый. Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный метод работает лучше в терминах структуры текста, не теряя при этом генеративную способность исходной модели.

Значительным замечанием, однако является то, что данный метод сильно замедляет генерацию за счет необходимости для каждого нового токена векторизовать текст *k* раз. Поэтому предлагается дополнительно сравнивать полученные данным методом тексты с лучшим текстом по заданной метрике близости к базовому, сгенерированным моделью без учета дополнительного условия за время генерации описанным методом. На рисунке 2 представлены результаты такого сравнения.

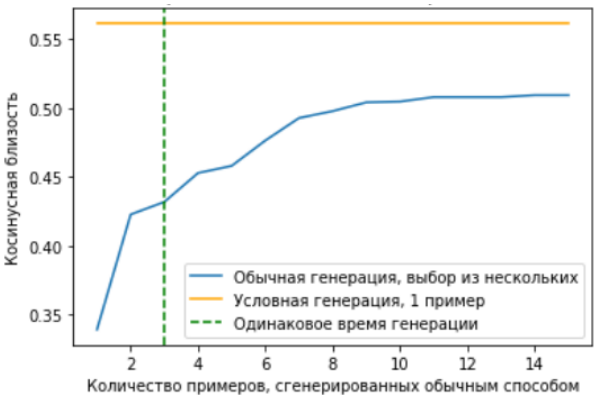


Рис.2. Сравнение предложенного метода с классической генерацией с помощью GPT-2 с учетом временных характеристик

Здесь голубой график представляет зависимость средней косинусной близости выбранного предложения с максимальной косинусной близостью к заданному вектору среди *n* примеров при простой генерации, от *n*. Для получения каждого значения для n генерировалось пятнадцать примеров простым методом и поочередно считалось среднее *n* из них и выбирался максимум. По результатам замеров, предложенный метод медленнее базового примерно в три раза. Как видно из графика, даже при выборе из пятнадцати, не говоря уже о трех, предложениях, сгенерированных базовым методом, предложенный метод все равно лучше.

Таким образом доказана эффективность предложенного метода относительно времени по сравнению с простой генерацией текста с помощью GPT-2. Также, дополнительно можно отметить, что при использовании более тяжелых моделей, как, например, GPT-3, разница во времени будет становиться все менее существенной, так как векторизация на каждом шаге будет занимать меньшую долю всего времени.

Заключение

Таким образом, в данной работе предложен метод, который, за счет генерации структуры текста и последующей контролируемой этой структурой генерации, позволяет генерировать более связные тексты с точки зрения переходов между различными частями текста.

Список литературы

1. Подчезерцев Алексей Евгеньевич. Разработка программной системы для автоматической генерации графа диалогов по текстам пьес. 2021.

2. Wang J., Dong Y. Measurement of Text Similarity: A Survey // Information 2020, Vol. 11, Page 421. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020. Vol. 11, № 9. P. 421.

3. Prabhumoye S., Black A.W., Salakhutdinov R. Exploring Controllable Text Generation Techniques. Association for Computational Linguistics (ACL), 2020. P. 1–14.

4. Shirish Keskar N. et al. CTRL: A Conditional Transformer Language Model for Controllable Generation. 2019.

5. Dathathri S. et al. Plug and Play Language Models: A Simple Approach to Controlled Text Generation. 2019.

6. Radford A. et al. Language Models are Unsupervised Multitask Learners.

7. Krause B. et al. GeDi: Generative Discriminator Guided Sequence Generation. Association for Computational Linguistics (ACL), 2020. P. 4929–4952.

8. Тинькофф Образование [Electronic resource]. URL: https://fintech.tinkoff.ru/activities/tinkoff_projects/open_lab/ (accessed: 04.03.2022).

ИНТЕГРИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ В ЕДИНУЮ СРЕДУ ДЛЯ ВЫСОКОУРОВНЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ

Савастьянова А.В., Рахманкулова С.Е.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе описываются высокоуровневые модели и процессы их интеграции в единую среду моделирования сетей на кристалле, разработанную авторами. Одновременное использование множества моделей расширяет возможности программы, а именно позволяет увеличить количество вычисляемых характеристик, что в свою очередь уменьшает вероятность возникновения ошибок и ускоряет процесс разработки сети на кристалле.

Введение

В связи с постоянным развитием и совершенствованием вычислительных систем меняются требования к ним. С ростом сложностей задач и повышением количества обрабатываемой информации возникает необходимость использования многоядерных систем. Оптимальным решением данной задачи является создание эффективной системы связи между узлами систем. Использование сетей на кристалле (далее – СтнК) является одним из вариантов формирования подобной системы связи.

Инструменты, используемые при проектировании СтнК, в особенности на этапе проведения высокоуровневого моделирования СтнК, имеют некоторые недостатки. Поэтому, с целью оптимизирования работы и

уменьшения количества ошибок, требуется разработка универсальных инструментов моделирования.

Проектирование СтнК

Процесс разработки СтнК состоит из нескольких последовательных этапов. В первую очередь идет составление технического задания. Далее происходит подбор необходимых параметров, которые будут использоваться на этапе высокоуровневого моделирования [1]. Данное моделирование позволяет перейти к следующей стадии – низкоуровневому моделированию. После этого происходит прототипирование [2] и непосредственно производство СтнК.

В работе описывается стадия высокоуровневого моделирования, которая создает возможность отбора относительно небольшого количества наиболее эффективных наборов параметров для дальнейшего проектирования [2]. Также, важно отметить, что возникающие ошибки на данном этапе моделирования имеют большой вес, так как для их решения появляется необходимость обращения к этапу низкоуровневого моделирования [3], что является достаточно трудозатратным и длительным процессом.

Высокоуровневые модели СтнК

В настоящее время существует значительное количество моделей СтнК – программ, написанных на высокоуровневых языках программирования, для вычисления характеристик СтнК по выбранным на этапе проектирования параметрам. К заданным параметрам относятся, например, топология, алгоритм маршрутизации, размер буфера. К вычисляемым характеристикам – пропускная способность сети, загруженность буферов, время доставки пакетов.

Разработанные к данному моменту высокоуровневые модели обладают рядом ограничений и недостатков, которые наглядно иллюстрирует принцип их работы, представленный на рис.1.

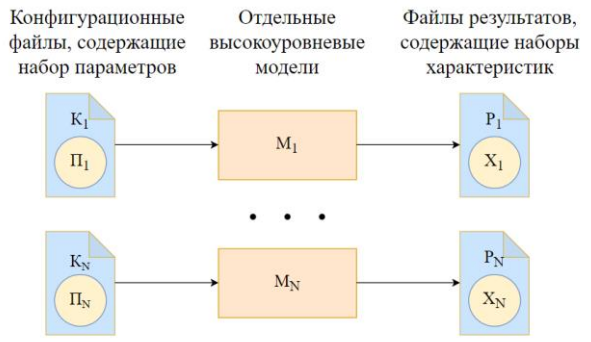


Рис.1. Принцип работы высокоуровневых симуляторов

Так, каждая из моделей работает только с частью параметров, вычисляет только часть характеристик и предназначена для симуляции работы ограниченного числа топологий. Кроме того, существует вероятность возникновения критических ошибок в процессе вычисления, которые в дальнейшем могут оказать негативное влияние на разработку СтнК. В связи с перечисленными недостатками авторами было принято решение создания единой среды высокоуровневого моделирования СтнК.

Единая среда моделирования СтнК

Единая среда – программа, обеспечивающая возможность подключать существующие модели разных типов и проводить оптимизированную симуляцию исследуемой сети с использованием всех интегрированных моделей одновременно. Программа разработана на языке высокоуровневого программирования C#. При проектировании программного обеспечения применен объектно-ориентированный подход, так как для хранения информации об элементах системы логически подходят классы.

Данный инструмент призван решить ряд проблем, возникающих при попытке проведения комплексного анализа характеристик проектируемой СтнК. Единая среда моделирования позволяет визуализировать и анализировать полученные результаты. Принцип работы единой среды состоит из ряда последовательных стадий, представленных на рис. 2.

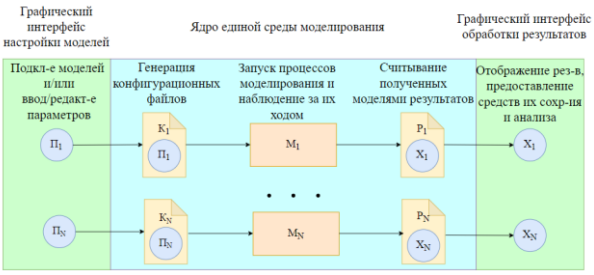


Рис.2. Принцип работы единой среды высокоуровневого моделирования

В первую очередь, с помощью графического интерфейса вводятся необходимые параметры и осуществляется подключение моделей. Далее генерируются конфигурационные файлы в требуемом формате, после чего единая среда запускает процессы модели и отслеживает их состояния. По окончании симуляции программа считывает результаты работы всех моделей и выводит пользователю. Кроме того, единая среда имеет алгоритмы поиска точки насыщения и методы оптимизации моделирования сетей, что дает программе преимущества по сравнению с существующими высокоуровневыми моделями СтнК.

Интеграция моделей в единую среду СтнК

Возможность подключения множества моделей к созданной программе оптимизирует работу и расширяет ее возможности, а именно: создается более полное представление о вычисляемых характеристиках каждой модели, появляется возможность верификации, а также возможность визуализации и анализа получаемых результатов. Помимо этого, снижается вероятность возникновения ошибок на этапе высокоуровневого моделирования.

В процессе интеграции модели в единую среду можно выделить несколько этапов. В первую очередь определяются основные параметры и характе-

ристики модели, а также их единицы измерения. Далее реализовываются классы параметров и характеристик, на основе которых создается основной класс модели. В следующем этапе осуществляется работа по созданию графического интерфейса модели. После этого происходит проверка успешности интеграции модели, поиск и исправление ошибок.

Внедренные модели единой среды СтнК

Рассмотрим высокоуровневые модели СтнК, интегрированные на данный момент в единую среду.

Одним из наиболее универсальных симуляторов из внедренных является Universal on-Chip Network Simulator (UOCNS) [4]. Данная модель, реализованная на языке программирования Java, поддерживает произвольные топологии и имеет большое количество входных и выходных параметров. Симулятор имеет возможность моделирования таких топологий, как Mesh, Torus, Circulant. Для ячеистых топологий в данной модели применяется алгоритм маршрутизации XY, а для циркулянтных используется алгоритм Дейкстры, почасового обхода или адаптивный. Помимо этого, модель UOCNS имеет возможность работы как из командной строки, так и с использованием графического интерфейса.

Также в единую среду интегрирована модель BookSim [6], которая представляет собой разработанное на языке C++ консольное приложение, ориентированное для работы в UNIX-подобных системах. Симулятор обладает большим количеством настраиваемых параметров (например, топология, алгоритм маршрутизации, размер пакетов данных, частота генерации пакетов, длительность периода симуляции) и вычисляемых характеристик (например, скорость генерации и приема пакетов, скорость генерации и приема флитов, задержка сети). Модель позволяет с помощью конфигурационного файла настроить такие топологии, как Mesh, Cmesh, Torus, Butterfly, Flattend butterfly, Fat tree и Quad Tree [7]. Следует отметить, что полученные результаты выводятся в консоль, но могут быть перенаправлены в текстовый файл.

Модель Newxim также ориентирована на работу в UNIX-подобных системах. Данный симулятор разработан на языке C++ и является независимой модификацией модели Noxim [8], имеющей открытый исходный код. Модель Newxim поддерживает топологии Mesh, Torus, Circulant и специализированные алгоритмы маршрутизации [9]. По заданным параметрам программа рассчитывает ряд характеристик, в том числе: пропускную способность, задержку сети, количество полученных пакетов и флитов, потребление энергии системой.

Среди внедренных симуляторов, написанных на языке высокоуровневого программирования C++ также стоит отметить модель Topaz [10]. Программа позволяет настраивать топологию сети (из доступных: Mesh, Torus), параметры маршрутизатора (в том числе и микроархитектуру маршрутизатора) и параметры потока данных. Параметры задаются в консоли, где и запускается симуляция. Обязательной настройкой для симуляции является ее имя, которое включает в себя название топологии сети и алгоритм маршрутизации [11].

Совместное использование моделей

С помощью разработанной среды можно проводить сравнение результатов симуляции различных моделей, запущенных одновременно. Так, результат работы одной и той же сети с симуляторами BookSim, Topaz и NewXim представлен на рисунке 3. Графики совпадают с незначительной погрешностью. Таким образом, видим, что результаты работы Единой среды достоверны, что, в свою очередь, доказывает снижение вероятности возникновения критических ошибок на этапе моделирования при подключении множества моделей одновременно в разработанную авторами Единую среду. Кроме того, при использовании только одной из приведенных моделей возможно вычислить максимум 17 характеристик. А использование трех симуляторов одновременно в этом случае позволяет рассчитать сразу 28 характеристик СтнК.

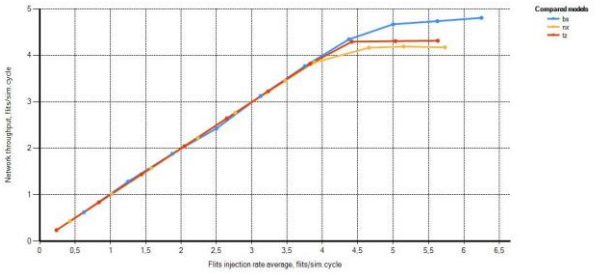


Рис.3. График сравнения результатов симуляции моделей с одинаковыми параметрами

Заключение

Таким образом, использование единой среды для проведения высокоуровневого моделирования СтнК за счет широкого выбора интегрированных моделей является эффективным способом получения наиболее полной и точной информации о характеристиках исследуемой СтнК и позволяет избежать ошибок при моделировании. Кроме того, предлагаемый подход упрощает и ускоряет процесс моделирования.

Список литературы

1. Bjerregaard T., Mahadevan S.A survey of research and practices of network-on-chip // ACM Comput. Surv. ACM New York, NY, USA, 2006. Vol. 38, № 1. P. 1--es.

2. Neeb C., Wehn N., Designing efficient irregular networks for heterogeneous systems-on-chip, Journal of Systems Architecture, Volume 54, Issues 3–4, 2008, Pages 384-396Khan S. et al. Comparative analysis of network-on-chip simulation tools // IET Comput. Digit. Tech. IET, 2017. Vol. 12, № 1. P. 30–38.

3. Соколов Ю.М., Фахми Ш.С., Хасан Я.А. Актуальные вопросы развития способов сквозного проектирования систем на кристалле // Современное образование: содержание, технологии, качество. – 2019. – Т. 1. – С. 436–438.

4. А.Ю. Романов Универсальная высокоуровневая программная модель сетей на кристалле

Universal On-Chip Network Simulator (UOCNS). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019616754, 29.05.2019. Заявка № 2019615566 от 18.05.2019.

5. Jiang N. et al. BookSim 2.0 User's Guide. 2013. p. 11.

6. Romanov A., Lezhnev E., Amerikanov A. Modification of the BookSim simulator for modeling networks-on-chip based on two dimensional circulant topologies, in: Proceedings of the 6th International Conference Actual Problems of System and Software Engineering (APSSE) Moscow, Russia, 12-14 Novem-ber, 2019. / Ed. by A. R. Cavalli, B. Pozin, A. Petrenko. Vol. 2514. CEUR-WS, 2019. Ch. 107. P. 182–192.

7. Catania V., Mineo A., Monteleone S., Palesi M., Patti D. Noxim: An open extensible and cycle-accurate network on chip simulator // Application-specific Systems Architectures and Processors (ASAP) 2015 IEEE 26th International Conference. – IEEE, 2015. – P. 162–163.

8. Newxim [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/Wertual08/newxim (дата обращения: 26.02.2022).

9. Abad P. et al. Topaz: An open-source interconnection network simulator for chip multiprocessors and supercomputers // 2012 IEEE/ACM Sixth International Symposium on Networks-on-Chip. 2012. P. 99–106.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ 3D-ПЕЧАТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MICROSOFT HOLOLENS

Ким Н.В., Пуженков П.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается система для удаленного контроля 3D-печати на основе технологий AR с использованием Microsoft HoloLens.

Введение

В настоящее время 3D-печать становится все более актуальной и используется в широком спектре областей, таких как прототипирование моделей, быстрое и легкое производство различных изделий. 3D-печать используется в медицине (изготовление протезов и органов), строительстве домов и во многих других областях [1-2].

Технологии дополненной реальности (англ. Augmented Reality, AR) также используются во многих сферах человеческой жизни [3].

Рассматриваемая система обеспечивает связь между очками смешанной реальности Microsoft HoloLens и программой слайсером, которая используется для настройки параметров 3D-печати и управления самим процессом 3D-печати. Данная связь обеспечивается при помощи сервера.

Такая функциональность позволяет системе обеспечить эффективное использование 3D-принтера и улучшить процесс моделирования печатаемых объектов. Использование устройства смешанной реальности в рамках 3D-печати помогает специалисту получать технологическую информацию и контролировать процесс прямо во время выполнения работ, что повышает концентрацию, уменьшает количество ошибок и увеличивает общую производительность.

Общая схема системы:

Система состоит из трех частей (см. рис. 1):

- Приложение для очков Microsoft HoloLens;
- Сервер для взаимодействия программы-слайсера и очков смешанной реальности Microsoft HoloLens;
- Программный модуль для для слайсера, который считывает необходимую информацию по запросу сервера.

Пользователь путем взаимодействия с графическим интерфейсом выставляет необходимые параметры, формирует и отправляет соответствующие запросы на сервер. В зависимости от запроса, сервер сохраняет полученную информацию в программе-слайсере, либо отсылает необходимую информацию из слайсера на очки смешанной реальности Microsoft HoloLens.



Рис.1. Структурная схема программного комплекса

Приложение для очков Microsoft HoloLens

Приложение позволяет пользователю выставлять параметры 3D-печати, просматривать 3D-модель, отправляемую на печать, и получать информацию о технологическом ходе процесса печати. Реализовано на языке C# с использованием движка Unity. При помощи графического интерфейса (см. рис. 2) пользователь может перемещать печатаемый объект по своему усмотрению и анализировать его на предмет наносимого слоя. Кроме того, в приложении доступны дополнительные функции для удаленного контроля (помимо остановки и возобновления печати), среди них: выставление смещения по осям координат, выбор текущего 3D-принтера.

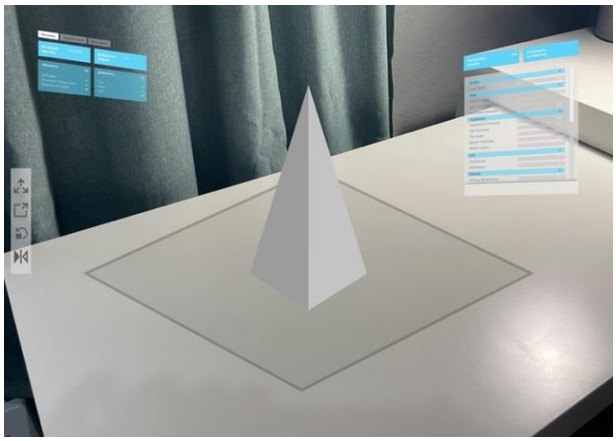


Рис.2. Графический интерфейс пользователя

Сервер для взаимодействия программы слайсера и очков смешанной реальности Microsoft HoloLens

Серверная часть реализуется на компьютере с установленной программой-слайсером и содержит API, по которому происходит взаимодействие очков смешанной реальности и сервера, помимо этого, сервер содержит модуль для взаимодействия со слайсером, что необходимо для выставления нужных настроек и пересылки необходимой информации на очки. Сервер написан на языке Python с использованием фреймворка Flask.

Программный модуль для слайсера, который считывает необходимую информацию по запросу сервера

Программный модуль слайсера осуществляет прием 3D-модели, получает информацию о настройках печати и выставляет их в программе. Данный модуль отправляет необходимую информацию о выставленных настройках и технологическом процессе печати по соответствующему запросу сервера. Нарезка модели на слои и последующая отправка на печать уже реализованы в программе-слайсере и не требуют доработки.

Заключение

Расмотренная программная система существенно модернизирует процесс 3D-печати, добавляя в нее AR технологии.

Программно-аппаратный комплекс решает актуальную задачу повышения эффективности производства. Он может быть использован при промышленной разработке и в рамках небольших задач.

Описанная система не полностью раскрывает потенциал слияния технологий 3D-печати и дополненной реальности. В перспективе возможно создание и внедрение обученной нейронной сети, на основе которой будут выявляться определенные дефекты в процессе 3D-печати.

Список литературы

1. Лунева, Д. А., Кожевникова, Е. О., Калошина, С. В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 91. (https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-3d-pechati-v-stroitelstve-i-perspektivy-ee-razvitiya)

2. Продайков, Э. М. 3D-печать как новое научно-техническое направление // журнал Науковедческие исследования – 2014 – С. 150. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/3d-pechat-kak-novoe-nauchno-tehnicheskoe-napravlenie

3. Белоусов, П. Е., Шульга, Е. С. Очки смешанной реальности HoloLens. Особенности применения в горнодобывающей отрасли // Горная промышленность. 2017. №2 (132). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ochki-smeshannoy-re.

4. Liu, C., Jiang, P., Jiang, W. Embedded-web-based remote control for RepRap-based open-source 3D printers // IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society – 2017. – P. 3384-3389 – URL: https://ieeexplore-ieee-org.proxylibrary.hse.ru/document/8216573

5. MixedRealityToolkit Documentation [Electronic resource]. URL: https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/development (accessed: 15.12.2021).

6. What is the Mixed Reality Toolkit [Electronic resource]. URL: https://funreality.ru/technology/augmented_reality/

7. Using the Hololens Emulator [Electronic resource]. URL: https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/advanced-concepts/using-the-hololens-emulator

8. CURA [Electronic resource]. URL: https://github.com/Ultimaker/Cura

9. Flask Documentation [Electronic resource]. URL: https://flask.palletsprojects.com/en/2.1.x/

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫСОКОУРОВНЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ

Пономарев А.С., Таржанов Т.В., Бородин Н.Ю.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе описываются методы оптимизации, используемые в единой среде моделирования сетей на кристалле. Применяемые методы позволяют сократить время моделирования, повысить точность расчетов характеристик, уменьшить вероятность возникновения критических ошибок в процессе вычислений и получить более подробный отчет об исследуемой сети на кристалле.

Введение

Год от года увеличиваются требования к производительности вычислительных систем, так как постоянно растет сложность задач и повышается количество обрабатываемой информации. В современном мире данная задача часто решается за счет применения многоядерных систем [1].

При проектировании вычислительных систем на кристалле [2] (далее – СнК) появляется необходимость создания эффективной системы связи между узлами данных систем. Одним из способов формирования подобной системы связи является использование сетей на кристалле (далее – СтнК).

Средства, применяемые при проектировании СтнК [3], в частности на этапе проведения высокоуровневого моделирования СтнК, обладают такими недостатками, как невозможность одновременного запуска нескольких моделей, разные единицы измерения и большое количество ошибок проектирования. По этой причине требуется разрабатывать универсальные инструменты моделирования, а также оптимизировать работу данных инструментов.

Проектирование СтнК

Процесс разработки СтнК состоит из ряда последовательных стадий [4], представленных на рис. 1.

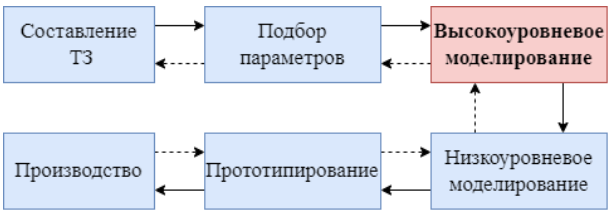


Рис.1. Этапы разработки СтнК

Данная работа описывает стадию высокоуровневого моделирования, которое позволяет отобрать относительно небольшое количество наиболее эффективных наборов параметров для дальнейшего проектирования. Нужно отметить, что ошибки на этапе высокоуровневого моделирования являются дорогостоящими, так как они приводят к возникновению проблем на гораздо более длительной и ресурсоемкой стадии низкоуровневого моделирования.

Высокоуровневые модели СтнК

Моделями СтнК называются программы, написанные на языках высокого уровня, которые по заданным параметрам СтнК (например, топологии сети, алгоритму маршрутизации, количеству и размеру буферов) вычисляют характеристики СтнК (например, пропускную способность сети, время доставки пакетов, загруженность буферов). Наборы параметров моделей обычно задаются при помощи конфигурационных файлов, а полученные характеристики помещаются моделями в файлы результатов. Важно отметить, что большинство существующих моделей СтнК являются имитационными моделями.

Каждая из моделей СтнК имеет ряд ограничений. Как правило, данные программы позволяют настраивать ограниченный набор параметров и способны вычислять ограниченный набор характеристик. Кроме того, модели зачастую являются неудобными в использовании консольными программами. В связи с перечисленными проблемами возникла идея создания единой среды моделирования СтнК.

Единая среда моделирования СтнК

Единая среда моделирования является инструментом, позволяющим работать с моделями разных типов, а также предоставляющим встроенные средства автоматизации и оптимизации процесса моделирования. Данная программа позволяет подключить произвольное количество моделей и ввести все требуемые параметры посредством графического интерфейса. Далее, единая среда генерирует конфигурационные файлы в требуемом формате, запускает процессы моделей и следит за их состоянием. Кроме того, единая среда считывает и визуализирует полученные моделями характеристики СтнК.

Важнейшим преимуществом среды по сравнению с обычными моделями является наличие методов оптимизации [5] моделирования и алгоритмов поиска точки насыщения СтнК.

Алгоритмы поиска точки насыщения

Точкой насыщения СтнК называется минимальная скорость генерации пакетов, при которой достигается максимально возможная пропускная способность сети при заданном наборе параметров. Нахождение точки насыщения является одной из основных задач разработчика СтнК, поскольку эта характеристика в дальнейшем определяет максимально возможную тактовую частоту СнК.

Одним из реализованных в единой среде является моделирование с постоянным шагом. Для работы алгоритма необходимо задать начальную скорость генерации пакетов, количество итераций и то, на сколько будет увеличиваться скорость каждую итерацию. Данный алгоритм прост в реализации, но при моделировании СтнК с большим количеством узлов общее время моделирования с использованием дан-

ного алгоритма может быть существенно больше, чем при применении других алгоритмов.

Более эффективным алгоритмом поиска точки насыщения является метод дихотомии [6]. Для его работы необходимо установить минимальную и максимальную скорость генерации пакетов и количество итераций. На каждой из итераций берется точка между текущими минимальной и максимальной скоростями, после чего определяется, лежит полученная точка до или после точки насыщения. На основании этой информации изменяется либо минимальная, либо максимальная из скоростей. Данный подход позволяет достичь малых значений погрешности определения точки насыщения за небольшое количество итераций даже в случае большой разницы между изначально установленными скоростями.

Еще одним алгоритмом, схожим с методом дихотомии, является метод золотого сечения [7]. Данный метод также требует установки минимального и максимального значений скоростей генерации пакетов, но отличается тем, как выбирается следующая исследуемая точка.

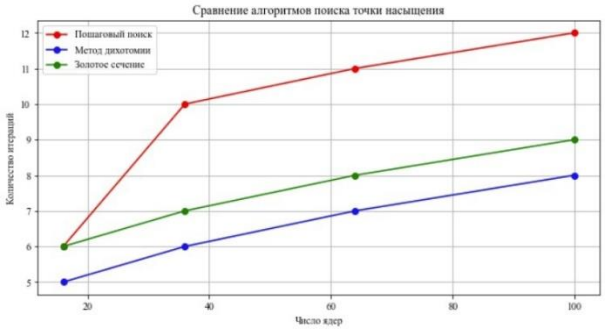


Рис.2. Сравнение алгоритмов поиска точки насыщения

Результаты сравнения алгоритмов, приведенные на рис. 2, показали, что алгоритмы поиска методом дихотомии и методом золотого сечения являются наиболее эффективными с точки зрения минимизации количества итераций для достижения одной и той же погрешности определения точки насыщения.

Методы оптимизации моделирования

Методы оптимизации применяются в единой среде для автоматизации процесса моделирования, уменьшения временных затрат на проведение моделирования и уменьшения вероятности возникновения ошибок в вычислениях.

Ускорение процесса моделирования обеспечивает метод распараллеливания вычислений [8]. Единая среда позволяет запускать все или любую часть из подключенных моделей одновременно, что позволяет получить заметный выигрыш во времени, как показано на рис. 3.

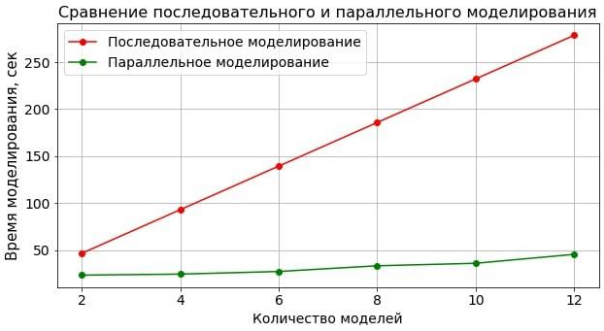


Рис.3. Влияние метода распараллеливания вычислений на время моделирования

Сокращение количества ошибок моделирования достигается за счет использования метода сравнения результатов моделей разного типа. Если результаты моделей близки, как на рис. 4, то можно считать, что все модели работают корректно, но, если результаты одной из моделей при одинаковых параметрах существенно отличаются от другой, можно сделать вывод, что такая модель некорректно работает при данном наборе параметров.

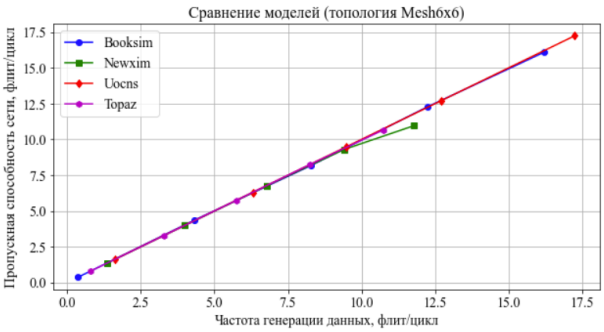


Рис.4. Сравнение результатов моделей

Для проведения моделирования важно знать, в каких границах должна находиться скорость генерации пакетов СтнК. На этот вопрос помогает ответить метод подобия, проиллюстрированный на рис. 5. Например, если мы знаем точку насыщения для сетей с топологией тор с 9 и 144 узлами, то точка насыщения для такой сети с 36 узлами однозначно лежит между ними.

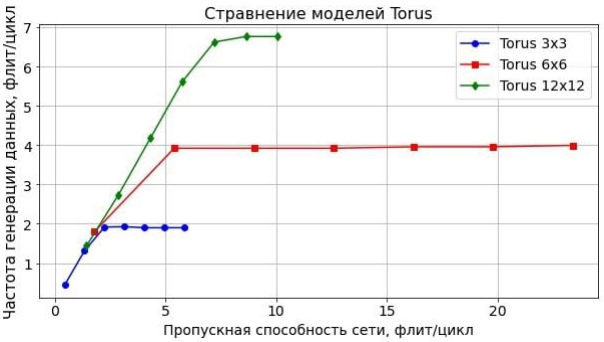


Рис.5. Демонстрация метода подобия

Заключение

Применение единой среды для высокоуровневого моделирования СтнК с встроенными методами оптимизации моделирования и реализованными алго-

ритмами точки насыщения существенно ускоряет процесс моделирования, повышает степень его автоматизации и упрощает данный процесс с точки зрения исследователя.

Список литературы

1. Schauer B. Multicore processors–a necessity //ProQuest discovery guides. – 2008. – С. 1-14.
2. Бухтеев А. В. Методы и средства проектирования систем на кристалле //Chip news. – 2003. – №. 4. – С. 4-14.
3. Стешенко В., Руткевич А., Гладкова Е., Шишкин Г., Воронков Д. Проектирование СБИС типа «Система на кристалле». Маршрут проектирования. Синтез схемы. Часть 1 // Электронные компоненты. 2009. Т. 1. С. 14–21.
4. Романов А. Ю. Универсальная высокоуровневая программная модель сетей на кристалле Universal On-Chip Network Simulator (UOCNS). – 2019.
5. Моисеев Н., Иванилов Ю., Столярова Е. Методы оптимизации. – Litres, 2017.
6. Романовский И. В., Христова Н. П. Решение дискретных минимаксных задач методом дихотомии //Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1973. – Т. 13. – №. 5. – С. 1200-1209.
7. Аракелян Г. Б. Математика и история золотого сечения. – Издательская группа «Логос», 2014.
8. Fox G. C., Williams R. D., Messina P. C. Parallel computing works!. – Elsevier, 2014.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ К КАРДИОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Зимина Е.Ю. [2]***, Бурцев А.Н.*** [1]***,***
Таранченко Ю.Г. [1]***, Щербаков Н.Р.*** [2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]***департамент прикладной математики,***
[2]***департамент компьютерной инженерии***
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Целью данной статьи является применение преобразования Фурье к сигналу электрокардиограммы и последующей кластеризации преобразованных данных.

Введение

Современные технологии помогают развивать практически все сферы нашей жизни, включая медицину. Количество медицинских данных уже на данный момент предоставляет уникальные возможности для выявления некоторых закономерностей, прогнозирования и новых исследований. Ежегодно количество данных увеличивается, что свидетельствует о необходимости поиска новых и эффективных методов обработки и анализа данных, которые позволят не только упростить процедуру проведения медицинских обследований, но и, возможно, повысят точность обнаружения некоторых патологий. Наиболее популярным неинвазивным методом обследования является регистрация электрокардиограммы.

Электрокардиограмма (ЭКГ) – это сигнал, для анализа сигналов зачастую используют преобразование Фурье. Также экспериментальным путем было получено, что внешне одинаковые ЭКГ имеют различные спектры Фурье. Поэтому в данной работе было выбрано применение преобразования Фурье для обработки ЭКГ с целью расширения возможностей анализа кардиологических данных.

Объектом исследования данной работы является обработка электрокардиограмм с использованием преобразования Фурье с целью дальнейшей классификации. В работе проверяется возможность применения классификации спектров Фурье ЭКГ для определения вероятности наличия определенных заболеваний по ЭКГ, а также эффективность и точность этого метода по сравнению с классификацией дорожек электрокардиограммы. Результатами применения алгоритмов предполагаются спектры Фурье для каждой записи ЭКГ и вероятность подтверждения наличия/отсутствия характерных изменений от нормы – определение класса болезни, к которой могут относиться конкретные данные.

Обоснование

Сердце в теле человека представляет собой орган из мышц, выполняющий функции насоса, и позволяющий перегонять кровь по кровеносной системе человека. Чтобы качать кровь, путем сокращений предсердий и желудочков, сердце вырабатывает собственные электрические импульсы, зарождающиеся в специальных клетках в синусовом и атриовентрикулярном узлах и проходящие через пучок и ножки Гиса [1]. Именно эти изменения тока фиксирует электрокардиограф, позволяющий точно считывать потенциалы и отобразить их флуктуации на всем известном графике электрокардиограммы или ЭКГ. Более того, из-за одинакового паттерна работы сердца, функция, описывающая изменения электрических полей, является периодической.

Ключевым моментом является тот факт, что изменения в работе сердца отражаются на линии ЭКГ, которые и позволяют кардиологам определять наличие или отсутствие того или иного заболевания у человека [2]. Таким образом, использовав преобразование Фурье, мы можем сопоставить линию электрокардиограммы и ее спектр, причем особенности исходного сигнала не будут потеряны при таком преобразовании, а значит, резюмируя сказанное выше, можно утверждать, что каждой линии электрокардиограммы может быть единственным образом сопоставлен спектр, что, в свою очередь, позволяет существенно расширить область диагностики сердечных заболеваний.

Постановка задачи

Для работы используются данные в виде файла формата *csv*, представленные в виде таблицы со

столбцами: идентификационный номер пациента и самой электрокардиограммы, длина записи, флаг заболевания (1 - наличие, 0 - отсутствие), ряд из числовых значений ЭКГ первого грудного отведения.

Наличие информации о присутствии или отсутствии заболеваний (ишемическая болезнь сердца (ИБС), диабет второго типа, респираторные заболевания) позволит соотнести полученные кластеры с этими заболеваниями, то есть каждому кластеру будет соответствовать определенная нозология.

Задачей ставится для массива чисел зарегистрированной электрокардиограммы применить преобразование Фурье, затем получить соответствующий уникальный спектр Фурье, сопоставляющий амплитуды конкретным частотам. Далее применение классификации полученных спектров для обнаружения следующих обособленных блоков: здоровые, с диабетом второго типа, с заболеваниями легких, с ИБС.

Преобразование Фурье

Преобразование Фурье – математическая операция, позволяющая разложить сложную периодическую функцию на ее элементарные составляющие – синусы и косинусы, являющиеся гармоническими колебаниями с различными частотами. Так как массив значений электрокардиограммы является оцифрованным и представляет собой набор точек, используется дискретное преобразование Фурье, формула которого задается следующим образом:

$$F_k = \sum_{m=0}^{n-1} x_m \left[cos\left(\frac{mk}{n}\right) + isin\left(\frac{mk}{n}\right) \right]$$

Следует также заметить, что так как мы работаем с действительным сигналом, комплексная составляющая отбрасывается, так как будет полностью идентична действительной. Таким образом, поместив периодический сигнал, полученный с помощью электрокардиографа, получаются наборы значений – частоты и амплитуды, характеризующие элементарные гармонические колебания. Вместе они позволяют составить спектр – специальный график, где по оси абсцисс отложены частоты, а по оси ординат – амплитуды [3, 4].

Полученные спектры

Применив преобразование Фурье к имеющимся данным, экспериментальным путем был установлен факт отражения всех особенностей и отклонений линий электрокардиограмм на спектрах. Рассмотрим различия среди имеющихся ЭКГ здоровых людей, людей с сердечными заболеваниями, ишемической болезнью сердца, диабетом II типа и людей с респираторными заболеваниями.

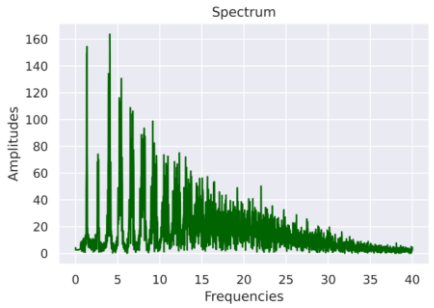


Рис.1. Спектр ЭКГ здорового человека

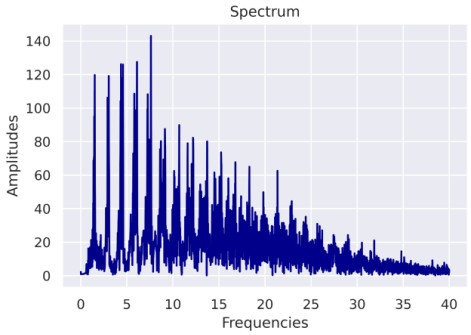


Рис.2. Спектр ЭКГ человека с сердечным заболеванием

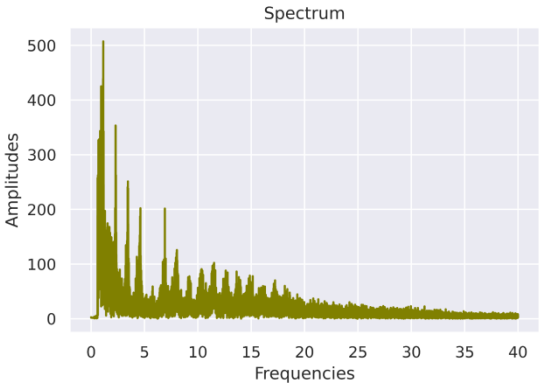


Рис.3. Спектр ЭКГ человека с ИБС

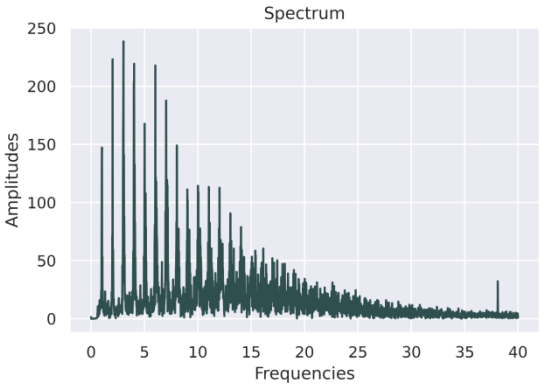


Рис.4. Спектр ЭКГ человека с диабетом второго типа

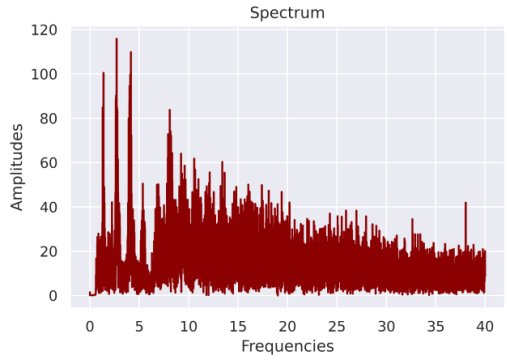


Рис.5. Спектр человека с респираторным Заболеванием

Как и утверждалось ранее, различия спектров явно заметны невооруженным глазом. Сравнивать можно различными способами: например, обращая внимание на амплитуды, находящиеся на определённых частотах, высоты амплитуд в целом или даже на общий вид спектра. В дальнейшем планируется провести исследования для точного описания различий между спектрами.

Классификация кардиоциклов ЭКГ

Актуальной проблемой является кластеризация сигналов ЭКГ по некоторым нозологиям автоматизированно. Всю дискретную электрокардиограмму кластеризовать не представляется возможным ввиду объема данных (специализированное оборудование, которое будет использоваться для работы, должно иметь высокие вычислительные ресурсы, что технически не реализуемо на данный момент). Поэтому, в ходе работы была проведена кластеризация кардиоциклов от R зубца до R зубца. Но, к сожалению, используемый алгоритм выделения зубцов не справился со своей задачей на линиях ЭКГ пациентов с диагностированными респираторными заболеваниями, в связи с чем из данных для обучения их пришлось исключить. В свою очередь, пространство признаков модели получилось очень большим: от 850 до 1400, что сильно сказалось на скорости работы алгоритмов.

Кардиоциклы классифицировались несколькими методами машинного обучения. Таблица ниже отражает полученные результаты:

Таблица 1. Сводные точности классификации кардиоциклов ЭКГ

Название метода	Доля правильных ответов алгоритма на кросс-валидации	f1-метрика
Случайный лес	0.619 +/- 0.033	0.470
Наивный Байес	0.462 +/- 0.053	0.320
Логистическая регрессия	0.668 +/- 0.061	0.549
Метод опорных векторов	0.692 +/- 0.054	0.557

f1-метрика является средним гармоническим метрик precision — *способности алгоритма отличать один класс от других и recall — способности алгоритма в принципе обнаруживать какой-либо класс.*

Классификация спектров Фурье ЭКГ

Группировка полученных спектров Фурье для начала была проведена с помощью метода кластеризации K-means для 2-х кластеров: здоровые и больные, с целью убедиться в в возможности кластеризации таких данных. В ходе разбиения были выявлены результаты, которые сложно интерпретировать: противоречиво высокая точность (75 процентов) и очевидное отсутствие обособленных кластеров, исходя из визуализации данных. Затем, в качестве эксперимента, количество кластеров было увеличено до четырёх: здоровые, пациенты с диагностированным диабетом, респираторными заболеваниями и ишемической болезнью сердца. Хоть точность и сильно упала (до 54 процентов), кластеры были более чётко различимы. Из этого был сделан вывод, что классификация возможна, однако такой метод классификации не подходит. В связи с этим были реализованы другие методы кластеризации.

Для усреднения данных и уменьшения размерности рассматривается огибающая кривая — кривая, построенная таким образом, чтобы касаться самых высоких пиков спектра в окне размером 1 герц. Формируется 80 признаков для сравнения: частота и соответствующая ей амплитуда из спектра. Затем признаковое пространство ещё сокращается в два раза путём деления амплитуды на соответствующую ей частоту.

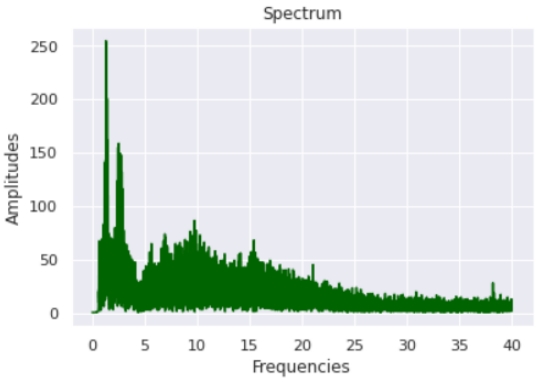


Рис.7. Спектр Фурье для ЭКГ

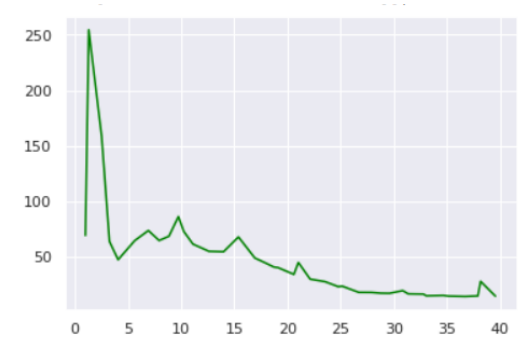


Рис.8. Огибающая спектра Фурье

Классификация огибающих для спектров с помощью алгоритмов машинного обучения работала быстрее, эффективнее и на всех данных, потому что выделение кардиоциклов более не требуется. Полученные результаты также отражены в таблице ниже:

Таблица 2. Сводные точности классификации огибающих спектров Фурье

Название метода	Доля правильных ответов алгоритма на кросс-валидации	f1-метрика
Случайный лес	0.699 +/- 0.056	0.55
Наивный Байес	0.388 +/- 0.042	0.436
Логистическая регрессия	0.696 +/- 0.033	0.507
Метод опорных векторов	0.712 +/- 0.033	0.536
CatBoost Классификатор	0.735 +/- 0.057	0.69

CatBoostClassifier, реализованный на градиентном бустинге решающих деревьев, в сравнении с другими реализованными методами, показался наилучшим вариантом для внедрения в систему из-за высоких результатов классификации, а также удобных методов, которые могут потребоваться при имплементации в систему.

Полученные точности по классам, а также другие статистики по CatBoostClassifier представлены на рисунке 9.

	precision	recall	f1-score	support
[0, 0, 0]	0.86	0.86	0.86	22
[0, 0, 1]	0.87	0.93	0.90	14
[0, 1, 0]	0.93	0.82	0.87	17
[1, 0, 0]	0.74	0.94	0.83	18
[1, 0, 1]	1.00	0.50	0.67	2
[1, 1, 0]	0.00	0.00	0.00	3
accuracy			0.84	76
macro avg	0.73	0.68	0.69	76
weighted avg	0.82	0.84	0.82	76

Рис.9. Результаты классификации набора данных с использованием CatBoostClassifier

Support — количество экземпляров каждого класса в выборке.

Здесь каждое из имеющихся заболеваний закодировано строкой с кодом заболевания. 1 — заболевание присутствует, 0 — отсутствует. Так, [0,0,0] соответствует здоровым людям, [0,0,1] пациенту с диагностированным респираторным заболеванием, [0,1,0] — с ишемической болезнью сердца, [1,0,0] — с диабетом. Несколько единиц в одном коде указывают на наличие сразу нескольких заболеваний, к примеру, [1,0,1] — диабет и респираторное, [1,1,0] — диабет и ишемическая болезнь сердца.

Матрица ошибок модели отражает количество совпадений действительного ответа с предсказанным результатом. В идеальном виде она представляется с тёмной диагональю и остальными светлыми клетками, то есть диагональной матрицей. Видно, что результат классификации оставляет желать лучшего из-за наличия зелёных ячеек вне диагонали, однако, самое большое количество ошибок было сделано на данных, которых в имеющейся выборке было меньше всего, иногда буквально пара примеров.

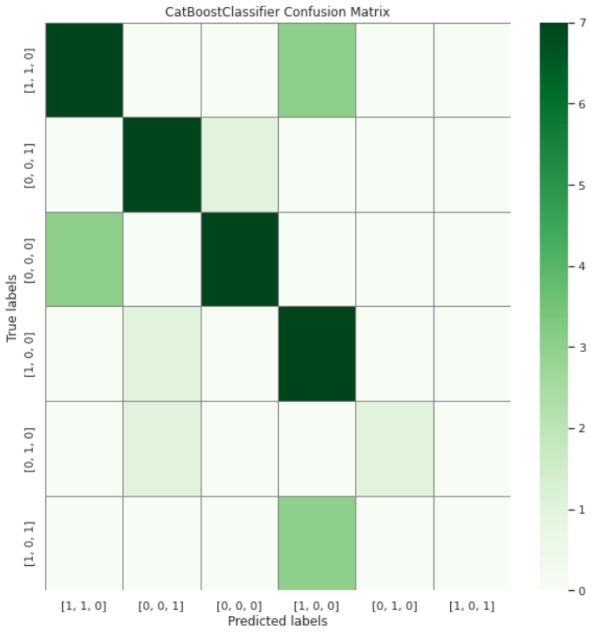


Рис.10. Матрица ошибок результата классификации CatBoostClassifier

Сравнение с другими подходами

На данный момент уже существуют работы по изучению и применению преобразования Фурье к ЭКГ, например[4]. Отличием текущей работы от существующих является преобразование спектра Фурье в огибающую и последующая кластеризация полученных данных, что в дальнейшем позволяет с той или иной степенью отнести ЭКГ к кластеру с соответствующей нозологией, то есть развитие алгоритма анализа преобразованных с помощью Фурье кардиологических данных.

Заключение

В заключение отметим, что в ходе работы было реализовано несколько методов классификации кардиологических данных, а также проведено сравнение эффективности их работы на линиях электрокардиограммы в виде выделенных кардиоциклов и огибающих спектров Фурье. Так, лучший результат классификации кардиоциклов показал метод опорных векторов с точностью на кросс-валидации 0.692+/-0.054, а огибающих спектра фурье — CatBoost с точностью на кросс-валидации

0.735+/-0.057. Также результат классификации огибающих тем же методом опорных векторов показал результат выше: 0.712 +/- 0.033.

Разложение Фурье отлично работает с сигналом электрокардиограммы, позволяя получить все необходимые характеристики для данной работы – признаки, сопоставимые каждой электрокардиограмме. На данный момент и преобразованные данные для анализа требуют дополнительных вычислительных ресурсов. Технические сложности ожидается решить в будущем.

Также в дальнейшем планируется разработка системы, которая на входе получает числовую дорожку ЭКГ, выполняет преобразование Фурье для нее, далее рассчитываются близости к тому или иному кластеру, каждому из которых соответствует определенная нозология.

Список литературы

1. Эберт Г. Х. Простой анализ ЭКГ. – Logobook. Ru, 2010.

2. Мамедова Л. Э. Исследование нестационарных низкоамплитудных кардиосигналов на основе анализа их статических спектральных характеристик. – 2012.

3. Залманзон Л. А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – Наука, 1989.

4. Черешнев В. О., Проскурин С. Г. Исследование частотных характеристик электрокардиограммы при помощи дискретного преобразования Фурье //Современные наукоемкие технологии. – 2019. – №. 8. – С. 89-93.

5. Pedregosa F. et al. Scikit-learn: Machine learning in Python //the Journal of machine Learning research. – 2011. – Т. 12. – С. 2825-2830.

6. Odell P. L., Duran B. S. Cluster Analysis: A Survey. – Springer Berlin Heidelberg, 1974.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГОЛОСОВЫХ АССИСТЕНТОВ И НЕЙРОСЕТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РЕЧИ С НАРУШЕНИЯМИ

Денисова А.В., Меинов А.С.
Национальный исследовательский университет ИТМО
факультет программной инженерии и компьютерной техники

Аннотация

В данной работе рассматривается задача распознавания речи с нарушениями с использованием существующих технологий. Проводится сравнительный анализ голосовых ассистентов Siri (Apple), Google Assistent (Google) и Алиса (Яндекс). Также в сравнительном анализе используется модель нейронный сети Vosk (Alpha Cephei), с несколькими вариантами словарей.

Введение

Речь является эффективным средством коммуникации, с помощью которого осуществляется взаимодействие человека не только с другими людьми, но и с современными технологиями. Голосовые интерфейсы предлагают простой и естественный способ связи с устройствами. Каждый год студенты и большие компании представляют более мощные и совершенные алгоритмы и решения для распознавания речи. С развитием технологий глубокого обучения точность автоматического распознавания речи (ASR) была значительно улучшена и приближается к производительности человеческого уровня. Системы ASR широко используются в таких приложениях, как система “умный дом”, языковые переводчики, голосовое управление автомобиля и тд. Так как команды могут вводиться устройствам с помощью технологий громкой связи, ожидаются системы ASR, которые будут применяться к устройствам ввода для людей с ограниченными возможностями. Примеры таких приложений, использующих ASR при затруднении физического ввода, уже разработаны (например, Nuance Dragon Anywhere). Существуют работы классификации речи и определения, к какому типу болезни относится отклонение в речи (дисфония, ларингит, паралич голосовых связок) [Transfer Learning with AudioSet to Voice Pathologies Identification in Continuous Speech] Однако, к сожалению, системы распознавания речи по-прежнему плохо справляются с дизартрической речью, некорректно ее распознают и имеют высокий процент ошибок.

Дизартрия - это моторное нарушение речи, которое влияет на дыхание, артикуляцию, голос и просодию человека, снижая его способность воспроизводить разборчивую речь [1]. Люди с дизартрией плохо контролируют свои артикуляторы и испытывают трудности при попытке составить длинные последовательности слов. Это часто вызывает невнятную речь, длительные паузы, фальстарты и повторы, негативно влияет на темп, ритм и даже громкость речи человека [2]. Соответственно, голосовые команды для смартфона или для систем умного дома могут распознаваться некорректно, тем самым провоцируя вызов ложных команд и выполнение действий, которые не требовались пользователем.

Нарушение может иметь множество моделей, каждая из которых зависит от тяжести и причины расстройства. По многочисленным причинам расстройств, дизартрия подразделяется на разные типы с различными паттернами, хотя у каждого человека есть свои особенные характеристики. Стиль речи людей, страдающих дизартрией, имеет тенденцию быть нестабильным, в результате возникает значительное несоответствие между дизартрической и типичной речью, и по этой причине обычным системам ASR трудно такую речь распознать. Но ошибки каждого человека в отдельности последовательны и предсказуемы. В то время как человеческому уху трудно такое различить, у машины есть возможность адаптироваться к речи человека.

Обзор методов

На сегодняшний день технологии голосовых помощников, которые разговаривают с людьми на естественном языке, широко используются крупными бизнесом - банками, авиакомпаниями, интернет-магазинами - для общения с покупателями [3].

Популярные помощники [4]:

Siri. В 2011 году широкое распространение получил ассистент Apple, интегрированный в iPhone 4S. В то время Siri могла взаимодействовать с 12 приложениями, включая напоминания, погоду, карты, электронную почту и календарь. Впоследствии список навыков расширился, и Siri стала интеллектуальным устройством для всех продуктов Apple.

Google Ассистент. В 2012 году появился сервис Google Now, который через четыре года перешел на Google Assistant и Google Home. Компании требовался бот, который можно было бы использовать для поиска информации в Интернете, и работал бы с ее собственными облачными сервисами, в конечном итоге, с операционной системой Android.

Алиса. Российская разработка от Яндекса была представлена в октябре 2017 года. Сначала Алису добавили в браузер, а летом 2020 она стала «мозгом» Яндекс.Станций. Алиса может делать все, что могут другие помощники, но при этом она адаптирована к российскому рынку и ищет информацию в сервисах Яндекса.

Исследование

Данная работа рассматривает задачу распознавания речи с нарушениями в произношении с помощью существующих распространенных голосовых помощников, работающих с русским языком. В работе проводится анализ нескольких соответствующих инструментов (Siri, Goggle Assistant) на примере двух записей стихотворения А.С. Пушкина: с нарушениями звучания речи и без, где использован литературный текст, а так же специальный созданный текст объемом 6 страниц (1300 слов) с повседневной речью длительностью примерно 19-22 минут. По результатам экспериментов существующие технологии будут оценены по следующим критериям:

процент неправильно распознанных слов (WER - Word Error Rate)

время обработки записи RTF (Real-Time Factor, Speed Factor)

В соответствии с оценкой результатов будет проведено сравнение и сформулированы выводы о результативности распознавания дизартрической речи имеющимися на данный момент инструментами.

В ходе работы были проведены эксперименты, которые определяли качество распознавания речи двух людей (с речевыми нарушениями и без нарушений) посредством использования существующих инструментов для распознавания, работающих с русским языком. В качестве инструментов были выбраны Siri, Google Assistant, Яндекс.Алиса и реализованная нейросеть с языковой моделью Vosk от Alpha Cephei, использующая два разных словаря: объемом 43 мегабайта и 2.5 гигабайта. Тестовая программа была написана на языке программирования Python.

В качестве материала для экспериментов использовалось стихотворение А.С. Пушкина “Я вас любил…”.

В связи с тем, что в области голосового распознавания существует огромное разнообразие направлений развития, связанных с широким спектром возможных прикладных задач, необходимо определить, какие показатели оценки качества применимы в данном случае. Поскольку работа протекает в условиях распознавания продолжительного фрагмента последовательного речевого потока, то для оценки необходимо выбрать один из критериев качества распознавания именно слитной речи, которыми являются:

- процент правильно распознанных слов (WRR - Word Recognition Rate);
- процент неправильно распознанных слов (WER - Word Error Rate);
- процент неправильно распознанных предложений/фраз (SER - Sentence Error Rate) [5];

Для оценки результатов, был использован процент неправильно распознанных слов (WER), так как этот показатель является самым наглядным критерием точности распознавания в условиях применения развитых речевых технологий к задаче дизартрической речи. Данный показатель рассчитывается по формуле:

$$WER = (S + D + I)/T * 100 \qquad (1)$$

где T - количество слов в исходном тексте, S - количество подмененных слов, D - количество пропущенных слов, I - количество добавленных слов. WER может превышать 100%.

Результаты тестов, речь без нарушений

Распознаватель	Литературная речь	Повседневная речь
Siri	S = 4 D = 0 I = 0 WER = 8% t = Реал тайм	WER = 11% t = ~Реал тайм
Google Assistant	S = 1 D = 0 I = 0 WER = 2% t = Реал тайм	WER = 8% t = ~Реал тайм
Яндекс.Алиса	S = 2 D = 1 I = 0 WER = 6% t = Реал тайм	WER = 28% t = ~Реал тайм

Нейросеть Vosk «Alpha Cephei» объем 43 Мбайт	S = 5 D = 2 I = 0 WER =14% t = 43 сек.*	WER = 27% t = 4 мин. 28 сек.*
Нейросеть Vosk «Alpha Cephei» объемом 2.5 Гигабайта	S = 1 D = 1 I = 1 WER = 6% t = 3 мин. 9 сек.*	WER = 18% t = 6 мин. 12 сек.*

Результаты тестов, речь с нарушениями

Распознаватель	Литературная речь	Повседневная речь
Siri	S = 26 D = 2 I = 3 WER = 62% t = ~Реал тайм	WER = 68% t = ~Реал тайм
Google Assistant	S = 2 D = 10 I = 0 WER = 2% t = ~Реал тайм	WER = 42% t = ~Реал тайм
Яндекс.Алиса	S = 11 D = 6 I = 8 WER = 50% t = ~Реал тайм	WER = 88% t = ~Реал тайм
Нейросеть Vosk «Alpha Cephei» объем 43 Мбайт	S = 48 D = 9 I = 7 WER =148% t = 1 мин 11 сек.*	WER = 138% t = 8 мин. 43 сек.*
Нейросеть Vosk «Alpha Cephei» объемом 2.5 Гигабайта	S = 40 D = 10 I = 12 WER = 124% t = 4 мин. 43 сек.*	WER = 110% t = 13 мин. 21 сек.*

Заключение

По результатам работы становится очевидно, что несмотря на высокий уровень развития технологий автоматического распознавания речи и успешное распознавание исходного текста при речи без нарушений(WER колеблется от 2 до 14 процентов для литературной речи, и от 8 до 28 для повседневной), результаты определения текста при дизартрической речи очень низкие (только один голосовой ассистент справился с показателем WER в 2 и 14 процентов для литературной речи и повседневной соответственно, остальные инструменты выдали результаты с WER превышающим 50 процентов, а где-то даже 100 для обоих наборов слов). Таким образом, можно сделать вывод, что существует высокая необходимость в исследовании и реализации инструментов голосового распознавания для нетипичной речи. Работа в данной области значительно повлияет как на решение поставленной прикладной задачи распознавания дизартрической речи, так и на уровень развития технологий распознавателя речи в целом. Упор в исследованиях может быть сделан на индивидуальность каждого конкретного случая нарушений речи. Формирование персональной базы данных для их обработки и использование современных технологий для адаптации решений к этим индивидуальным особенностям пользователя. Инструмент, реализующий распознавание речи с нарушениями, крайне положительно повлияет на общественные, медицинские и технологические сферы, связанные с людьми, получившими травмы при рождении или в процессе жизнедеятельности, а также раскроет потенциал дальнейших разработок в сфере звукового распознавания.

Список литературы

1. Schölderle T., Haas E., Ziegler W. Dysarthria syndromes in children with cerebral palsy //Developmental Medicine & Child Neurology. - 2021. - Т. 63. - №. 4. - С. 444-449.

2. Schölderle T. et al. The impact of dysarthria on laypersons' attitudes towards adults with cerebral palsy //Folia Phoniatrica et Logopaedica. - 2019. - Т. 71. - №. 5-6. - С. 309-320.

3. Palanica A. et al. Do you understand the words that are comin outta my mouth? Voice assistant comprehension of medication names //NPJ digital medicine. - 2019. -Т. 2. - №. 1. - С. 1-6.

4. Hoy M. B. Alexa, Siri, Cortana, and more: an introduction to voice assistants //Medical reference services quarterly. - 2018. - Т. 37. - №. 1. -С. 81-88.

5. Hase S., Nimbhore S. Speech Recognition: A Concise Significance //2021 International Conference on Computational Intelligence and Computing Applications (ICCICA). - IEEE, 2021. - С. 1-7.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ МАРКИРОВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

Сивков А.А., Бесчастнов С.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе представлен процесс разработки программного обеспечения для взаимодействия с государственной системой маркировки «Честный знак» в части контроля оборота лекарственных препаратов. Данная работа реализуется в рамках создания инструментов автоматизации работы с маркировкой международной фармакологической компании **«Xantis Pharma»**.

Введение

В наши дни в России массово внедряется обязательная маркировка товаров массового потребления посредством национальной системы **«Честный знак»** [1]. Наиболее подверженной подделки товаров отраслью является фармакологический бизнес, однако в настоящий момент на рынке программного обеспечения (ПО) для автоматизации работы с маркировкой лекарств представлены либо старт-ап решения, либо модули подключения к устаревшим экосистемам (например, модули дополнения 1С [2]).

Целью работы является **снижение трудозатрат и времени обработки данных** в рамках взаимодействия фармакологической компанией с государственную системой "Честный знак" **путем разработки облачного программного комплекса**.

Для ее достижения, необходим анализ уже присутствующих решений на рынке, проектирование схемы работы программы, выбор стека ПО, непосредственная разработка, тестирование и документирование.

Анализ представленных на рынке решений

Прежде всего, следует отметить, что большинство крупных фармакологических компаний и дистрибьюторов («Катрен», «Протек») в основном используют самописные программы. Основная причина этого – необходимость глубокой интеграции с уже используемым ПО.

Для малых и средних компаний, использующих отдельные профильные коробочные решения (складской учет товара, CRM-системы и т. д.), добавление еще автономного модуля – оптимальный способ решения задачи маркировки. В рамках данной работы создается решение именно для таких компаний.

Одним из решений является **«1С:МДЛП»** [2]: это облачная платформа, предназначенная прежде всего для небольших аптек и лечебных учреждений. Несмотря на низкую стоимость лицензий, этот сервис не предназначен для интеграции с другим ПО, а также имеет крайне ограниченный функционал.

Аналогичный функционал имеет продукт СКБ «Контур» **«КонтурМаркировка» [3]**. Это решение заявлено как полностью автономное (т.е. не интегрируется с другим ПО Заказчика) и позволяет выполнять только верхнеуровневые операции (приемка, отгрузка и т.д.)

В отличие от первых двух упомянутых решений, решение компании **«Pharm-X» [4]** представляет собой полноценную платформу, позволяющую покрыть все задачи, связанные с маркировкой лекарственных товаров. Компания имеет широкую экспертизу внедрения решений для государственной маркировки и ряд проектов для крупных фармакологических компаний. В рамках данной работы (потребностей Заказчика) данное решение является неоптимальным: его высокая стоимость и масштабность избыточны в рамках текущих масштабов деятельности компании.

В совокупности, на данный момент на рынке ПО для работы с «Честным знаком» предложения можно сгруппировать в два кластера:

1. Коробочные, автономные решения для малых компаний с ограниченным функционалом.
2. Полномасштабные решения, рассчитанные на применение в крупных компаниях, и соответственно, имеющие высокую стоимость владения и интеграции.

Определение функционала системы

В рамках технического задания, утвержденного с Заказчиком, разрабатываемая система выполняет следующие основные задачи:

- **Парсинг** входных данных, поступающих от контрагентов, в формате **.xml, .xlsx, .csv;**
- Реализация **сценариев операций**:
  - Приемка товара российского производства;
  - Приемка и таможенное оформление импортного товара;
  - Перемещение товара внутри Компании;
  - Отгрузка товаров клиенту;
- Генерация **.xml**-документов для отправки в «Честный Знак»;
- **Цифровая подпись** и отправка документа через **API МДЛП**.

Технологический стек и компоненты разрабатываемого решения

Основным языком программирования выбран **Python 3.8** – как наиболее распространенный, эффективный и, как следствие, выгодный в экономическом плане язык для дальнейшего развития и поддержки решения.

В качестве хранилища данных используется **PostgreSQL** – классическая реляционная open-source СУБД.

Также в проекте используется технология **ORM** в виде фреймворка Flask.

Для удобства разработки и внедрения системы используется контейнеризация (**Docker**)

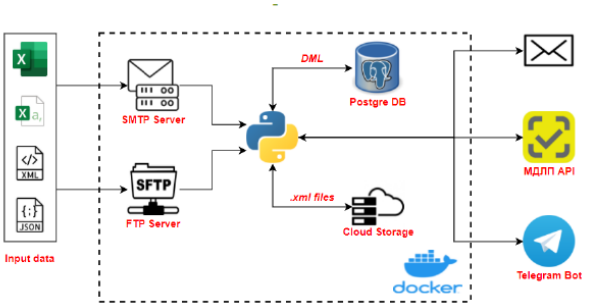


Рис.4. Схема компонентов разрабатываемой системы

На рисунке 1 представлена схема разрабатываемой системы. Входные данные (списки товаров, цены и т. д.) либо принимаются **почтовым ботом**, либо выкладываются на **FTP Server** и импортируются оттуда. Далее, происходит парсинг файлов и генерация необходимых документов для отправки в «Честный Знак» и их отправка.

Взаимодействие с **базой данных** происходит в основном через ORM, но для некоторых функций – напрямую DML-запросами.

Для удобства пользователей разрабатывается **Telegram-бот**, позволяющий контролировать выполняемые системой операции (особенно актуально в разрезе оперативного получения информации о статусе обработки документов об отгрузке товара).

Кроме того, все входящие и исходящие документы архивируются и хранятся до заполнения хранилища, но не менее установленного Заказчиком срока. Это позволяет в случае какого-либо сбоя или человеческой ошибки однозначно выявить причины и минимизировать вероятность происхождения аналогичных ошибок в будущем.

Цифровая подпись и API системы «Честный знак»

Вследствие того, что система маркировки «Честный знак» - государственная, законодательно закреплены требования по обеспечению информационной безопасности.

Так, отправляемые документы должны шифроваться в соответствие с ГОСТ Р 34.10–2012 [5]. Данный алгоритм шифрования исключен из официальных сборок открытых библиотек для работы по протоколу SSL (OpenSSL в нашем случае). В этой связи, а также из-за отсутствия проверенных и готовых решений этой проблемы был разработан Bash скрипт, вносящий изменения в OpenSSL, после чего стала возможна нормальная работа с API «Честного Знака».

Конкурентные преимущества предлагаемого решения

Для тестирования эффективности решения был проведен пилотный проект. Так, управление системой было реализовано через Jupiter Notebook.

До внедрения пилотной версии разрабатываемого решения работа с МДЛП данные обрабатывались вручную путем «ручного» формирования XML-документов. Данные манипуляции совершались в MS Excel методом **«copy & paste»** и зачастую приводили к ошибкам.

Так, в Таблице 1 представлено сравнение **среднего** времени, необходимого на документальное оформление 1 отгрузки дистрибьютору (время обработки представленных данных со стороны МДЛП не включено, так как оно одинаково в обоих случаях).

Таблица 1. Среднее время оформления 1 отгрузки в МДЛП

Количество уникальных позиций в товарной накладной	Время при ручной обработке, мин	Время при использовании пилотного решения, мин
1	5	1
2	7	1
4	8	2
8	13	4
16	20	5
32	25	7

По итогу внедрения пилотного решения среднее время обработки сократилось качественно. Кроме того, снизилось количество ошибок, так как парсинг данных и генерация документов полностью автоматизирована. С точки зрения бизнес-процесса, **затраты фарм-компании снизились вдвое** (вместо 2х специалистов по маркировке остался только 1 из-за автоматизации процесса)

Заключение

Таким образом, описанная в данной работе системе после завершения ее разработки и окончательного тестирования будет внедрена у Заказчика, а также имеет высокий потенциал составить конкуренцию другим решениям на рынке.

Список литературы

1. Национальная система маркировки Честный ЗНАК [Электронный ресурс]. URL: https://честныйзнак.рф/o-chestnom-znake/ (дата обращения: 04.03.2022).

2. 1С:МДЛП [Электронный ресурс]. URL: https://1cfresh.com/solutions/mdlp (дата обращения: 04.03.2022).

3. КонтурМаркировка [Электронный ресурс]. URL: https://kontur.ru/markirovka/lekarstva (дата обращения: 04.03.2022).

4. Федеральная платформа маркировки лекарств [Электронный ресурс]. URL: https://pharm-x.ru/ (дата обращения: 04.03.2022).

5. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 34.10-2012 "Информационная технология. Криптографическая защита информации. Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи" [Электронный ресурс]. URL: https://base.garant.ru/70414156/ (дата обращения: 04.03.2022).

ДИСТАНЦИОННЫЙ СТЕНД ДЛЯ СИНХРОННОЙ РАБОТЫ С ОБОРУДОВАНИЕМ ЛАБОРАТОРИИ

Белоруков А.М., Измайлова Л.Г.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматриваются удаленные лаборатории, преимущества и недостатки различных реализаций, а также цели и задачи реализации лаборатории с удаленным доступом к оборудованию для синхронной работы в рамках обучения на специализации «Автоматизированные системы» ИВТ МИЭМ.

Введение

В последние десятилетия прошлого века практическому обучению не уделялось достаточно внимания [1]. Требование на проведение обучения с получением практического опыта во многом поддержали в университетах, в особенности, после смены подхода к образованию от традиционной парадигмы образования до личностно-ориентированной [2]. Это соответствует Болонской процессу обучения: университеты обязаны способствовать развитию навыков, цели и результаты обучения для каждого курса должны включать «обучение на практике» с использованием лабораторий [3].

При этом, в образовательных организациях не всегда есть возможность выделить значительно большее финансирование на закупку оборудования. Это стало причиной появления различных проектов, направленных на внедрение в обучение работу через специализированные удаленные лаборатории.

В данной работе рассматривается реализация удаленной лаборатории с синхронным режимом работы с оборудованием.

Обзор литературы

В настоящее время удаленные или онлайн-лаборатории стали неотъемлемой частью современного образования по всему миру, наиболее часто они используются в электротехнике и машиностроении. Они уже продемонстрировали свою академическую полезность [4,5] не только для замены настоящих физических лабораторий, но и для их дополнения, хотя также есть примеры веб лабораторий, которые не достигли успеха [6]. Можно утверждать, что основными задачами, которые должна решать удаленная лаборатория, являются: образовательная, технологическая и организационная. На примере первых удаленных лабораторий [5] вводятся новые сложные требования для их реализации, такие как: универсальность, доступность и безопасность, которые часто игнорируются. Но именно при удовлетворении этих требований можно создать действительно качественный продукт.

Использование удаленных лабораторий особенно актуально в период пандемии COVID-19, так как студенты и сотрудники могут работать с оборудованием дистанционно и уменьшить частоту личных социальных контактов [8].

Разновидности удаленных лабораторий

Реализация удаленных лабораторий может быть определена двумя способами [9]. Первый способ предполагает создание физической лаборатории, к ней подключаются камеры и серверная часть, пользователи с помощью своего компьютера подключаются к клиентской части и выполняют практические задания через удаленный доступ [10]. Такой вариант реализации усложняет развертывание системы, так как требуется больше времени на создание лаборатории. При этом система больше подвержена внешнему воздействию, например, отключение энергопитания, выход из строя стендов. Вторым вариантом реализации удаленных лабораторий является создание программного обеспечения для моделирования работы того или иного оборудования, чаще такой вариант используется в схемотехнике, так как в данной дисциплине реализовать моделирование гораздо проще [11]. Невысокая цена создания и простота в обслуживании, реализации и использовании, несомненно, являются сильными сторонами таких лабораторий.

При более детальном рассмотрении реализации онлайн-лабораторий с физическим оборудованием можно выделить несколько вариантов работы с оборудованием. Одним из вариантов является реализация асинхронной работы, в таком случае пользователь не работает напрямую с оборудованием, он может только отправить некоторые команды для выполнения, а после этого получить небольшой отчет о ходе эксперимента [12]. В качестве отчета может служить сообщение об успешном или ошибочном выполнении, видео работы. При работе с платами студенту не предоставляется возможность пользоваться периферией, кнопками, менять угол обзора камеры и некоторые настройки. Другим вариантом является лаборатория с синхронной работой, при которой студенты работают в режиме онлайн напрямую с оборудованием [13]. Создание таких лабораторий является приоритетным, так как почти полностью покрывает возможности обычных физических лабораторий, но требует больших затрат не только финансовых, но и временных.

Предлагаемое решение

В настоящее время для проведения полноценного обучения в рамках специализации «Автоматизированные системы» ИВТ МИЭМ необходимо обеспечить доступ студентов к дистанционной лаборатории для выполнения практических занятий. Также доступ к платам ПЛИС необходим для ведения проектной деятельности и для проведения курсов повышения квалификации. При этом полное использование лаборатории от стороннего университета не представляется возможным, так как лабораторией будет пользоваться большое количество студентов, а также некоторые практические работы предполагают работу с подключением определенной периферии. Разра-

ботка лаборатории для синхронной работы позволит выполнять эксперименты в режиме реального времени, при этом можно контролировать плату, что позволит максимально приблизиться к обычному формату обучения, когда работа производится непосредственно с платой.

Целью данной работы стало создание лаборатории с удаленным доступом для работы в синхронном режиме с оборудованием. В качестве оборудования выступают различные платы ПЛИС, которые используются студентами во время выполнения лабораторных работ и при создании собственных проектов. Создание удаленной лаборатории начинается с разработки физической, клиентской и серверной частей и обеспечения безопасности посредством аутентификации и авторизации.

1. Физическая лабораторная часть

Для реализации физической части лаборатории необходим стенд, который представляет собой шкаф с полками, которые разделены ячейками. Для этих целей отлично подходят шкафы, которые используют в серверных комнатах. В каждой ячейке располагается плата и камера, которая наведена на плату. К некоторым платам подключена периферия для выполнения практических заданий.

2. Серверная часть

Для реализации серверной части лаборатории требуется программа, которая может взаимодействовать с платами. Серверная часть предназначена для загрузки полученного от клиентской части исполняемого файла на плату, также сервер отвечает за передачу изображения с камеры. Использование сетевого протокола SSH обеспечивает безопасную передачу данных, когда студенты взаимодействуют с ПЛИС [13]. Также необходимо реализовать управление кнопками и переключателями или подключенной периферии.

3. Клиентская часть

Клиентская часть представляет собой веб-страницу в локальном доступе, являющуюся интерфейсом взаимодействия пользователя с лабораторией. После авторизации студенты могут записаться в очередь на выполнение лабораторных работ. Как только требуемая плата будет свободна, студент получит к ней доступ. С помощью интерфейса студенты могут выполнить лабораторный эксперимент, отправить исполняемый файл и увидеть реализацию программы в режиме реального времени. Доступные студентам модули кнопочного переключения позволяют удаленной лаборатории приблизиться к привычному очному варианту работы с ПЛИС. При подключении пользователь имеет возможность отправить файл, который нужно загрузить на плату. А затем сможет управлять платой и наблюдать за ней в различных режимах работы. При реализации клиентской части необходимо реализовать авторизацию студентов, а также очереди во избежание одновременного подключения нескольких студентов к одной плате.

4. Безопасность удаленной лаборатории

При реализации удаленной лаборатории необходимо обеспечить безопасность при отправке файлов, загружаемых на доску. При отправке и дальнейшем скачивании неисправного или ошибочного файла плата может не только работать некорректно, но и выйти из строя. Поэтому в бэкенд встроена проверка на отправку недопустимых команд, что позволяет обеспечить независимость лаборатории. Для аутентификации должны использоваться логины и пароли от других сервисов МИЭМ, что позволит студентам и преподавателям удобно пользоваться удаленной лабораторией. Для этого используется протокол OpenID Connect [13]. Этот протокол аутентификации позволяет приложению связываться со службой идентификации, чтобы получить необходимые данные о пользователе и вернуть их обратно приложению, гарантируя полную защиту данных. Для выполнения некоторых работ требуются определенные платы, которые могут быть доступны студентам после подтверждения от администратора.

5. Интеграция в цифровую среду МИЭМ

Аутентификация происходит на основе логинов и паролей от других сервисов МИЭМ. Внедрение удаленной лаборатории в учебный процесс будет происходить постепенно. После интеграции будет проведено исследование отзывов студентов об использовании и возможных недочетов системы. На основании отзывов удаленная лаборатория будет развиваться и интегрироваться в полной мере.

Заключение

Создание лабораторий с удаленным доступом для синхронной работы является актуальной задачей. При этом для реализации таких лабораторий стоит уделить особое внимание методам разработки, а также обеспечению безопасности при работе с лабораторией, в том числе безопасности физического комплекса лаборатории. Использование лаборатории от стороннего университета не представлялось возможности, так как с лабораторией будет взаимодействовать большое количество студентов, а в качестве оборудования лаборатории используются платы ПЛИС. Основными преимуществами удаленной лаборатории с синхронным режимом работы являются возможность студентов МИЭМ выполнять лабораторные работы из дома, в выходные и во время действия ограничений, связанных с COVID-19. А также в результате внедрения удаленной лаборатории в учебный процесс ожидается увеличение интереса студентов к выполнению лабораторных работ и собственных экспериментов с платами ПЛИС. Также будет снижена нагрузка на платы, так как у студентов появится возможность заранее планировать выполнение экспериментов, а доступ к ПЛИС будет возможен практически в любое время. Тем не менее удаленная лаборатория не позволит полностью заменить очную работу с ПЛИС, так как некоторые задачи требуют подключения специфического оборудования, либо студентам может потребоваться плата, которая недоступна в удаленной лаборатории. Дан-

ные ограничения задают направления для дальнейшего развития удаленной лаборатории.

В дальнейшем, для расширения возможностей удаленной лаборатории планируется увеличить количество лабораторных стендов и разнообразных экспериментов, чтобы обеспечить студентам возможность проводить опыты полностью онлайн.

Список литературы

1. Feisel L.D., Rosa A.J. The role of the laboratory in undergraduate engineering education // J. Eng. Educ. – 2005. – Vol. 94, – No 1. – P. 121–130.
2. Biggs J. Teaching for Quality Learning at University. Assessing for learning quality: II. Practice // Teach. Qual. Learn. Univ. – 1999. – No January 2003. – P. 165–203.
3. Carlson L.E., Sullivan J.F. Hands-on Engineering: Learning by Doing in the Integrated Teaching and Learning Program // Int. J. Eng. Educ. – 1999. – Vol. 15. – No 1. – P. 20–31.
4. García-Zubia J. et al. WebLab-GPIB en la Universidad de Deusto // VIII Congr. Tecnol. Apl. a la Enseñanza la Electrónica. – 2008. – No January. – P. 2–7.
5. Garcia-Zubia J. et al. Using VISIR Remote Lab in the Classroom: Case of Study of the University of Deusto 2009–2019 // Adv. Intell. Syst. Comput. – 2021. – Vol. 1231 AISC. – P. 82–102.
6. Soysal O.A. Computer integrated experimentation in electrical engineering education over distance // ASEE Annu. Conf. Proc. – 2000. – P. 1471–1480.
7. Aburdene M.F., Mastascusa E.J., Massengale R. A proposal for a remotely shared control systems laboratory // Proceedings - Frontiers in Education Conference. – 1991. – P. 589–592.
8. Li R., Morelock J.R., May D. A Comparative Study of An Online Lab Using Labsland and Zoom during COVID-19 // Adv. Eng. Educ. – 2020. – Vol. 8. – No 4. – P. 1–10.
9. Alves G.R. et al. Spreading remote lab usage a system — A community — A Federation // 2016 2nd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE). IEEE, 2016. – P. 1–7.
10. Winzker M. et al. Teaching across the ocean with video lectures and remote-lab // EDUNINE 2018 - 2nd IEEE World Eng. Educ. Conf. Role Prof. Assoc. Contemp. Eng. Careers, Proc. IEEE, 2018. – P. 1–4..
11. Pfeiffer A., Uckelmann D. FPGA Remote-Labor als Ergänzung und Alternative zum Präsenzlabor. – 2020. – P. 1–18.
12. Harward V.J. et al. The iLab shared architecture: A web services infrastructure to build communities of internet accessible laboratories // Proc. IEEE. – 2008. – Vol. 96. – No 6. – P. 931–950.
13. Orduña P. et al. Enabling mobile access to Remote Laboratories // 2011 IEEE Glob. Eng. Educ. Conf. EDUCON 2011. – 2011. – P. 312–318.

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МЕТОДОВ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАБОТЫ СО СЖАТЫМИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯМИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ГЛУБОКИМ ОБУЧЕНИЕМ

Якубов В.Ю., Сиротинский Н.В., Котов Ф.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается применение нейронных сетей для эффективного сжатия изображений, восстановления, а также обработки при использовании сжатых представлений. Исследуется эффективность различных нейросетевых подходов в сравнении с классическими алгоритмами.

Введение

Уровень развития технологий стремительно растет с каждым годом. Постоянно увеличивается количество информации и контента, передаваемого по сети. Особенно это касается медиа-контента, в частности различного рода фотографий изображений и видеозаписей. Все это приводит к необходимости улучшать уже существующие алгоритмы сжатия изображений.

В частности, все большее распространение получают различные алгоритмы, в основе которых лежат нейронные сети. Нейронные сети с использованием сверточных слоев показали свою эффективность и позволили достичь наилучших решений во многих задачах компьютерного зрения, таких как классификация изображений, детекция, сегментация, генерация изображений и другие. Благодаря способности формировать векторы признаков изображений (представления), меньшие, чем исходное изображение, нейронные сети можно использовать для сжатия и более эффективной обработки. Доказано, что с помощью нейронных сетей можно достичь меньшей разницы исходного и сжатого изображения при той же степени сжатия, чем с применением алгоритма JPEG. Также нейронные сети генеративно-состязательного типа [1] показывают свою эффективность в задачах восстановления изображений и удаления артефактов после сжатия.

В данной работе проводится исследование и сравнения различных подходов, а также их комбинаций в решении задач наиболее эффективного сжатия изображений, а также их обработке при использовании нейронных сетей.

Сжатие и обработка изображений

Наибольшее развитие обработка изображений получила после открытия сверточных нейронных сетей, в основе которых лежит операция свертки исходного изображения с некоторыми обучаемыми ядрами. Помимо самих сверточных слоев многие архитектуры сверточных нейронных сетей также содержат различные общие элементы, такие как пу-

линги для снижения размерности, различные нормализации и нелинейности. К наиболее известным архитектурам таких сетей относят AlexNet [2] , VGG [3], ResNet [4] и Inception [5].

Важную роль в развитии нейросетевых алгоритмов обработки изображений сыграло использование архитектуры автоэнкодера [6]. Автоэнкодеры представляют из себя нейронную сеть, которая состоит из двух частей — кодера и декодера. При этом кодер должен преобразовывать сигнал на входе в скрытое представление, а далее из этого скрытого представления декодер должен восстанавливать входной сигнал на выходе. Данная архитектура активно используется в таких задачах как понижение размерности, детектирование аномалий и избавление от шума.

Автоэнкодеры также используются в задачах сжатия изображений. При сжатии изображений необходимо соблюдать баланс между Rate (уровнем сжатия) и Distortion (ошибкой сжатия). Таким образом, используется Loss-функция, являющаяся взвешенной суммой данных показателей. В качестве функции для вычисления Rate используется количество бит на пиксель (bits per pixel, bpp). В качестве функции для Distortion используется MSE.

Сжатые представления, полученные после компрессора, будут содержать полезную информацию. Можно предположить, что, путем замены декодера компрессора на другую нейронную сеть, возможно производить обработку изображений через их сжатые представления. Генератор текстовых описаний состоит из двух основных частей — кодера и языковой модели. Кодер производит выделение признаков, а языковая модель является декодером, который генерирует текстовое описание изображения. В качестве языковых моделей часто применяются рекуррентные нейронные сети (RNN) и long short-term memory (LSTM), а также трансформеры, которые основываются на механизме self-attention [7].

Все это приводит нас к возможности совместного использования моделей для обработки изображений с моделями для их сжатия путем исключения повторяющихся кодеров, что позволяет сильно уменьшить количество параметров в нейронный сети для обработки изображений. Это позволит уменьшать затраты ресурсов и времени при обучении и выполнении моделей.

Восстановление сжатых изображений

Для того чтобы решать проблемы автоэнкодеров в восстановлении изображений из сжатого представления было решено применять генеративно-состязательные глубокие сети. Самой простой генеративно-состязательной сетью является GAN. Данная нейронная сеть состоит из генератора и дискриминатора, которые обучаются одновременно. Дискриминатор учится определять реальные изображения от сгенерированных генератором, а генератор учится «обманывать» дискриминатор. Существует множество различных модификаций классической архитектуры GAN, например, DCGAN [8], Pix2Pix [9], и SRGAN.

Одним из примеров нейронной сети, применяемой для решения Image-to-Image Translation задач является модель Pix2Pix. В данной работе она будет использоваться для восстановления после сжатия. В качестве тренировочного набора данных предполагается использовались изображения, качество которых было снижено из-за сжатия JPEG или уменьшена глубина цвета изображения.

Оценка работоспособности моделей

Для того, чтобы корректно оценить работоспособность моделей сжатия и восстановления качества изображений после сжатия, можно использовать такие метрики, как PSNR и SSIM. Обе метрики используются для определения уровня искажений изображений. В случае, если изображения идентичны, метрика PSNR будет стремиться к бесконечности, в то время как SSIM будет стремиться к единице. Все метрики в последующих экспериментах вычислялись на отложенной выборке, которую модель не видела во время обучения. Это нужно для того, чтобы модель не переобучалась под тестовые данные.

Метрики показывают, что модель Pix2Pix подходит для восстановления изображения после излишней потери глубины цвета при. Качество восстанавливаемого изображения представлено на рисунке 1, на котором представлены изображения после сжатия, после восстановления и исходное соответственно.



Рис.1. Пример работы модели для восстановления качества глубины цвета

Метрики качества данной модели представлены в таблице 1.

Таблица 1. Метрики качества для моделей восстановления глубины цвета

	До восстановления	Pix2Pix
PSNR	26,04	26,55
SSIM	0,81	0,82

Однако аналогичная модель не показывает какого-либо преимущества в метриках для решения задачи восстановления изображения после сжатия JPEG. Примеры работы данного алгоритма представлены на рисунке 2.



Рис.2. Пример работы модели для восстановления изображения после сжатия JPEG

Метрики качества данной модели представлены в таблице 2.

Таблица 2. Метрики качества для восстановления изображения после сжатия JPEG

	До восстановления	Pix2Pix
PSNR	24,6	23,96
SSIM	0,67	0,6

Несмотря на то, что все метрики показывают худший результат на восстановленном изображении, чем на исходном, классификатор, который был обучен для того, чтобы различать фотографии кошек и собак, показал лучшее качество на восстановленных изображениях. Метрики данной модели представлены в таблице 3. Можно сделать вывод, что модель способна восстанавливать изображение исходя не из метрик качества, а с точки зрения различимости отдельных объектов. Это подтверждают различные исследования, в которых основной метрикой для различных генеративных сетей служит MOS, или усредненная оценка мнений.

Таблица 3. Сравнение результатов работы классификатора на различных входных данных

	После сжатия	Восстановленные
Accuracy	0,82	0,92
F1-score	0,84	0,92

Для оценки качества моделей, объединенных со сжатием, используются те же метрики, что и в оригинальных моделях. В ходе экпериментов были реализованы нейронные сети для классификации и генерации текстовых описаний на основе сжатых представлений. Такие модели показывают качество, сравнимое с оригинальными сетями, имея при этом меньшее число параметров. Классификатор имеет приблизительно в 4 раза меньше параметров, чем исходная модель, а генератор описаний — в 1.5 раза. Это позволяет сильно экономить память. Добиться сильного увеличения скорости не вышло в силу низкой оптимизации энтропийного кодирования в компрессоре, однако это можно не учитывать, так как процесс сжатия происходит отдельно.

На рисунке 3 приведено сравнение качества исходного генератора текстовых описаний с ResNet50 в кодировщике и модифицированного генератора.

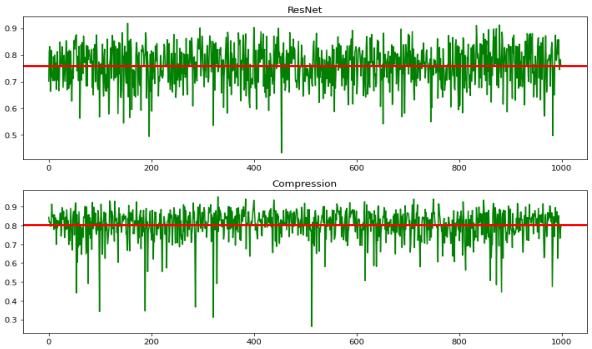


Рис.3. Значения косинусного сходства между эталонными предложениями и предсказанными

Измерение качества генерации текстовых описаний производилось на основании косинусного сходства между реальными предложениями и сгенерированными. По графику видно, что модифицированная модель показывает в среднем чуть более высокие результаты, хотя имеет большее количество сильных ошибок.

В ходе экспериментов с моделями сжатия, было изучено влияние различных параметров на качество работы данной нейронной сети. Было выяснено, что увеличение количества выходных каналов позволяет линейно увеличить количество бит на пиксель и линейно уменьшить ошибку MSE, а увеличение количества слоев позволяет экспоненциально уменьшить количество бит на пиксель и увеличить ошибку сжатия. Варьируя эти два параметра, возможно добиться необходимого для поставленной задачи соотношения степени сжатия и ошибки сжатия несмотря на то, что в рамках одной модели нельзя регулировать степень сжатия. Выбор функции ошибки – MSE или MS-SSIM необходимо осуществлять, исходя из того, какие метрики важнее в рамках поставленной задачи – MSE и количество бит на пиксель или MS-SSIM. На рисунке 4 представлена зависимость качества модели от количества каналов и количества слоев.

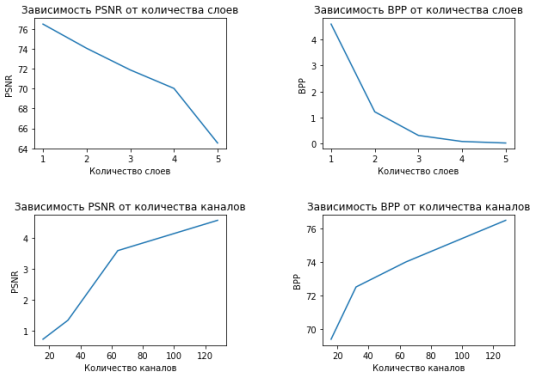


Рис.4. Зависимость метрик качества модели от количества каналов и количества слоев

В таблице 4 представлена зависимость метрик качества от выбранной функции потерь.

Таблица 4. Сравнение метрик качества при различных функциях потерь

Функция потерь	PSNR	MS-SSIM	BPP
MSE	74,05	0,96	1,22
MS-SSIM	73,81	0,97	1,52

Заключение

Тема сжатия чрезвычайно актуальна, поскольку нейросетевые алгоритмы обработки изображений позволяют приблизиться к тому, как человек воспринимает изображения, за счет использования операции свертки. Использование совместно со сжатием различных моделей для улучшения качества выходных изображений позволит, соответственно, увеличить качество и степень сжатия. Также, факт того, что сжатые представления содержат в себе признаки исходного изображения, может позволить комбинировать архитектуры нейронных сетей путем сокращения схожих функциональных блоков. Все это открывает большие возможности в сфере сжатия и обработки изображений с помощью нейронных сетей с глубоким обучением.

Список литературы

1. Goodfellow I. et al. Generative adversarial nets // Adv Neural Inf Process Syst. 2014. Vol. 27.
2. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // Commun. ACM. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. Vol. 60, № 6. P. 84–90.
3. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition // arXiv preprint arXiv:1409.1556. 2014.
4. He K. et al. Deep residual learning for image recognition // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016. P. 770–778.
5. Szegedy C. et al. Rethinking the inception architecture for computer vision // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016. P. 2818–2826.
6. Kingma D.P., Welling M. An introduction to variational autoencoders // arXiv preprint arXiv:1906.02691. 2019.
7. Vaswani A. et al. Attention is all you need // Adv Neural Inf Process Syst. 2017. Vol. 30.
8. Radford A., Metz L., Chintala S. Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks // arXiv preprint arXiv:1511.06434. 2015.
9. Isola P. et al. Image-to-image translation with conditional adversarial networks // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2017. P. 1125–1134.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПЛАСТИКА ПОСЛЕ 3Д-ПЕЧАТИ

Бадалян Р.К., Сафронов М.А., Эфендиев С.В.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается устройство, которое предназначено для переработки остатков пластика после печати в нить с возможностью повторного использования в 3D-печати. Разрабатываемое устройство должно обладать следующим функционалом:
автоматизированное измельчение и переработка отходов; автоматическая накрутка полученной нити на катушки.

Введение

Процесс переработки пластиковых нитей для повторной 3D-печати будет производиться в три этапа:

- измельчение пластиковых отходов
- плавка пластиковых «гранул» и формирование нити
- накручивание нити на барабан

На первом этапе будет проходить процесс измельчения пластиковых отходов (поддержки 3D-печати, неиспользуемые детали и т. д.). Пластиковые отходы будут выгружаться в камеру измельчения (бункер), где будут измельчаться на «гранулы». Это необходимо для того, чтобы ускорить и облегчить процесс плавки пластика. Данный процесс будет реализован при помощи двухвального измельчителя, вращение которых осуществляется при помощи шагового двигателя и потенциометра.

На следующем этапе начинается процесс плавки пластиковых «гранул» и пропускании их с помощью пресса через насадку нужного диаметра, для дальнейшего преобразования их в нить. Важно помнить, что у каждого типа пластика своя температура плавления, поэтому необходимо подобрать оптимальную температуру, чтобы пластик получался не слишком густым или слишком жидким, потому что это может помешать процессу прохождения пластика через специальную насадку. Для этой цели будет использовано два нагревательных элемента: один для плавки и проталкивания пластика через насадку, а второй для поддержания его пластичности. Процесс плавки будет проходить внутри изолированной камеры, которая будет нагреваться до нужной температуры, после чего готовая масса будет проталкиваться через насадку определенного диаметра при помощи шагового двигателя и винтовой передачи. За нагрев будут отвечать два экструдера, температура которых будет регулироваться при помощи потенциометров и выводиться на LCD-экран.

На финальном третьем этапе будет проводиться накручивание пластиковой нити на барабан, так как в таком виде она хранится и используется для 3D-

печати. Барабан будет вращаться автоматически при помощи шагового двигателя, скорость которого управляется потенциометром. Также необходимо реализовать движение барабана вдоль оси вращения таким образом, чтобы нить наматывалась равномерно на всю длину. Все управляющие компоненты устройства будут выведены на печатную плату.

Актуальность работы

В настоящее время 3Д-технологии и 3Д-печать активно применяется во многих сферах жизни человека. Из этого следует, что их популярность сильно растет, так, например, в 2019 году было продано 3D-печатных изделий на $13,7 млрд; к 2025 году этот показатель должен составить $63,46 млрд. Современные исследования направлены на то, чтобы сделать 3D-принтеры более надёжными и удобными в повседневной эксплуатации [1]. По другим же данным - среднегодовой темп роста данного рынка превышает 25%, ожидается, что через 5–10 лет его вклад в мировую экономику ежегодно будет составлять от $200 до $600 млрд. [2]. Также 3Д-печать интересует новое поколение студентов [3]. Исходя из актуальности технологии 3Д-печати необходимо вводить систему переработки пластика, для повторного использования.

В большинстве пластиковой продукции используется пластик, подходящий для 3Д-печати. Более того в некоторых деталях, напечатанных для выполнения проектной работы, использовались пластиковые поддержки (вспомогательный материал для печати), лучше всего использовать именно их, а не силикон или тканевую поддержку из-за уникальной особенности отрыва [4], они могли составлять 40–60% от всей модели. Их можно использовать для переработки.

Обзор существующих аналогов: Портативный шнековый экструдер для производства древесно-полимерной нити

Из бытовых устройств можно выделить полезную модель «Портативный шнековый экструдер для производства древесно-полимерной нити». Данное устройство упрощает процесс производства нити различного диаметра за счет применения различных насадок. Полезная модель состоит из двух секций цилиндрической формы: в первую секцию загружаются пластиковые гранулы, нагреваются за счет хомутового нагревательного кольца, при помощи шнека и винтовой передачи проталкиваются на экструзию, в конечном этапе из экструдера «вытекает» пластиковая нить. Запатентованное устройство можно разместить в учебных лабораториях и производить пластиковую нить для 3Д-печати, также предложенный метод разработки может снизить затраты на производство экструдера за счет общедоступности комплектующих [5]. Данное устройство способно выдавливать нить диаметром 1,85 мм с производительностью до 1,115 кг/час. У этой конструкции есть еще одна особенность, а именно: длинный корпус и шнек, такое решение связано с тем, что пластику необходимо остыть, чтобы стать достаточно пластичным для накручивания на барабан. Сам автор модели признавал факт того, что конструкция очень громоздкая и занимает большую площадь: «Экструдер является крупногабаритной установкой, применяемой на производстве. Недостатком такого экструдера является: применение длинного корпуса и, соответственно, шнека, громоздкость конструкции, дороговизна изготовления и техническая трудность в точном удержании длинного шнека внутри корпуса, что влечет за собой скорый износ и удорожание обслуживания». Также при использовании длинного корпуса появляется риск налипания большего количества пластика на стенки камеры и шнек, как следствие – снижение производительности.

Разрабатываемая нами конструкция лишена данного недостатка, так как на выходе экструдера будет смонтирована камера, в которой будет поддерживаться температура 100-160°C, что и позволит пластику оставаться достаточно пластичным, чтобы гнуться и не слипаться, также в систему будут интегрированы дополнительные вентиляторы и радиаторы для охлаждения. Такое решение дает возможность использовать в качестве экструдера шнековый механизм с малыми габаритами.

Обзор существующих аналогов:
Mucro (extrudit – engineering extrusion)

В качестве еще одного устройства для экструзии можно отметить экструдер Mucro от немецкой компании «Extrudit» (см. рис. 1).



Рис.1. Экструдер Mucro

Данное устройство подходит, например, для использования в кабельной промышленности, в медицинской технике, в лабораториях или в качестве коэкструдера. Благодаря гибкой концепции станка шнек и цилиндр можно заменять, так что узлы с длиной от 18 см до 38 см и диаметром шнека от 12 мм до 18 мм можно использовать для конкретных целей. Рифленые втулки цилиндра имеют различную геометрию и также являются взаимозаменяемыми. Микроэкструдер подходит для микрогранул и опционально может поставляться в высокотемпературной версии (до 380°) для обработки фторполимеров, таких как ETFE, PFA, FEP. Высоколегированные хромоникелевые стали, используемые в конструкции червяка, цилиндра и втулки с канавками, обеспечивают превосходную защиту от коррозионного износа [6].

Данный продукт имеет куда меньшие габариты по сравнению с предыдущим, так как для переработки пластика можно использовать шнек 12 см в то время, как длина «Портативного шнекового экструдера» составляет 50 см. Также у экструдера Mucro лучше производительность – 1,2 кг/час. Однако за вращение шнека отвечает трехфазный двигатель, который потребляет куда больше энергии, чем шаговый.

Но самым главным отличием нашей разработки от данных изобретений является наличие управляющих модулей, благодаря которым пользователь может контролировать температуру и самостоятельно регулировать обороты двигателей от 10 до 160 об/мин., что позволит производить пластиковую нить с интенсивностью 20 м/час, что равняется ~1,6 кг/час.

Схемотехническое моделирование

Вся аппаратная часть будет реализована на базе Arduino MEGA, которая должна управлять двумя шаговыми двигателями, двумя температурными датчиками, данные с которого должны выводиться на LCD-экран, и трехфазным двигателем. Также в конструкцию интегрированы потенциометры, которые управляют скоростью вращения двигателей и отвечают за температуру нагревательного элемента, нагревательный элемент подключен к стороннему источнику +12В, так как Arduino MEGA не может выдавать такое напряжение. На рисунке 2 приведено схемотехническое представление аппаратной части устройства.

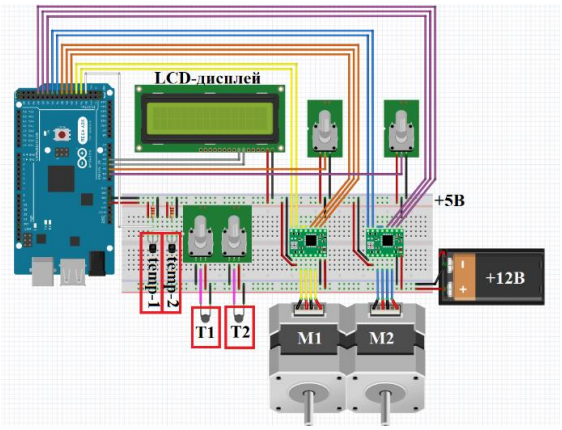


Рис.2. Аппаратная часть устройства

«T1» и «T1» — это нагревательные элементы, «T1» необходим для плавления пластика (215-220°C, в зависимости от типа пластика), а элемент «T2» требуется для поддержания пластичности пластика, это необходимо для последующей намотки на катушку, так как при полном остывании пластика он становится твердым и теряет свою пластичность. Температура регулируется при помощи потенциометров, а результат выводится на LCD-дисплей, для этого в схему интегрированы термисторы «temp-1» и «temp-2». Шаговые двигатели «M1» и «M2» необходимы для вращения вала измельчителя и вращения катушки, скорость вращения также регулируются потенциометрами, так как разные виды пластика помимо того, что имеют разную температуру плавления, имеют также различную пластичность, а значит различную интенсивность экструзии.

Весь выше представленный модуль будет управляться при помощи скетча Arduino с поддержкой библиотек «Wire», «LiquidCrystal_I2C» и «DallasTempature».

Разработка 3D-моделей системы

Помимо программно-аппаратной части в конструкции присутствует и механическая, которая состоит из трех блоков (см. рис. 3):

– Измельчитель
– Шнековый экструдер
– Катушка

Измельчитель необходим для перемалывания крупных частей пластиковых отходов в гранулы, это значительно ускорит процесс плавления, а как следствие – процесс переработки пластика. Внутри шнекового экструдера гранулированный пластик будет плавиться и проталкиваться через насадку для получения пластиковой нити с различным диаметром сечения, необходимость съемных насадок обусловлена тем, что каждый 3D-принтер способен работать с пластиком определенного сечения. Также различная толщина пластика влияет на время остывания пластиковой нити. Катушка необходима для наматывания, хранения и последующей эксплуатации пластика. Наматывание происходит автономно за счет равномерного вращения катушки на вале шагового двигателя.

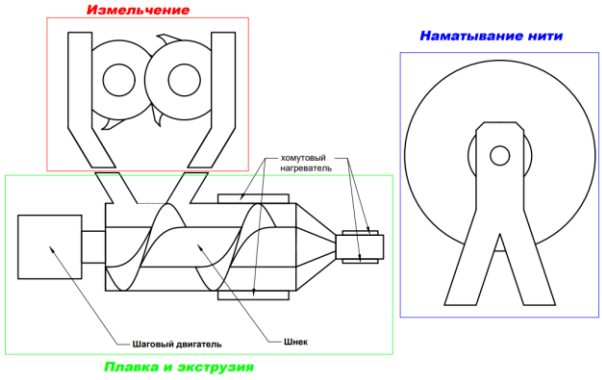


Рис.3. Механика устройства

Заключение

Результатом разработки является система, которая позволит рационально использовать пластиковые отходы путем экструзии в пластиковую нить для повторного использования в 3D-печати. На данный момент разработана схемотехническая составляющая устройства и протестирована работа отдельных схемотехнических блоков, а именно параллельная работа двух нагревателей и вывод температуры на дисплей. В будущем наш проект сможет использоваться как для решения производственных задач, так и для личного пользования.

Список литературы

1. Бородин Ю. Н., Сбоева И. А. Техпроцесс 3Д-печати// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» – 2021. – N 1. – С. 2–3. (https://cyberleninka.ru/article/n/tehprotsess-3d-pechati/viewer)

2. Голубничая Я. Р., Проскуряков Н. Е. Перспективные технологи 3Д-печати// Известия ТулГУ. Технические науки – 2017. – Вып. 9. Ч. 1. – С. 5–6. (https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-tehnologii-3d-pechati/viewer)

3. Kantaros A., Dieggel O., Piromalis D., Tsaramirsis G., Khadidos A. O., Khadidos A. O., Khan F. Q., Jan S. 3D printing: Making an innovative technology widely accessible through makerspaces and outsourced services// Materials Today – 2021. – P. 2–3. (https://www-sciencedirect-com.proxylibrary.hse.ru/science/article/pii/S2214785321058715?via%3Dihub)

4. Grace M. T., James M. D., Thomas L. P. Application of 3d Printing Support Material for Neurosurgical Simulation// 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) – 2021. – No. 1. – P. 1–2. (https://ieeexplore-ieee-org.proxylibrary.hse.ru/document/9631100)

5. Пат. RU 190068 U1 Российская Федерация, МПК B29B 7/92, Портативный шнековый экструдер для производства древесно-полимерной нити / И. К. Говядин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова". – N 2019103226; заявл. 05.02.19; опубл. 17.06.19, Бюл. № 29. (https://yandex.ru/patents/doc/RU190068U1_20190617)

6. Extrudit – engineering extrusion – URL: http://www.extrudit.de/de-extruder-extrudit-extruder-extrusionsanlagen.php

ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ С ОТКРЫТОЙ СТРУКТУРОЙ ДАННЫХ

Колпаков М.М., Рыкова Т.Д., Камаров Л.Ш.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается создание программного обеспечения для дистанционного управления роботизированными устройствами с открытой структурой передаваемых пакетов данных по каналам передачи данных Bluetooth и Wi-Fi.

Введение

Устройства с беспроводным управлением уже давно используются для решения различных задач. Они представлены не только самодельными или учебными устройствами, к которым можно отнести робота Darwin mini [1] или Cubbie, но и бытовыми устройствами, такими как роботы пылесосы [2][3] и системы умного дома [4]. Процесс управления такими устройствами раньше часто осуществлялся с помощью проводных соединений или специальных компонентов (пульт дистанционного управления). Использование смартфона на базе операционной системы Android является популярным способом беспроводного управления роботизированными устройствами. Системы управления беспроводными устройствами обычно представляют собой отдельное приложение, предназначенное для определенного устройства. Разработаны и универсальные приложения, на пример Serial Bluetooth Terminal [5], в котором можно передавать команды по Bluetooth любой конфигурации. Но недостатком таких приложений является их минималистичный интерфейс и невозможность в простом формате передавать сложные команды.

Разработано множество программ управления, использующих технологию Bluetooth и Wi-Fi, которые реализуют собственные структуры пакетов данных для обмена информацией между управляющим и управляемым устройством, что делает невозможным их применение для управления устройствами с другой структурой пакета данных. Также такие программы в основном ориентированы на управление единственным устройством [6][7].

Таким образом, существует потребность в решении, которое может обеспечить удобное и интуитивно понятное управление различными устройствами с одного устройства с легкой регулировкой и одновременным контролем различных задач. Наличие открытой системы команд у большого количества устройств делает возможным разработку единого приложения, с помощью которого можно реализовать управления устройствами с различной структурой передаваемых данных.

Реализация

Для описания процесса обмена данными между роботом и приложением, их систему можно представить в виде одноранговой сети. Одноранговые сети представляют собой распределенные среды с равноправными по отношению друг к другу узлами, которые могут выступать как в роли клиентов, так и в роли серверов. В условиях одноранговых сетей затруднено решение вопросов защиты информации. Поэтому в работу рассматривается открытая передача данных между управляющим и управляемым устройством без применения инструментов шифрования.

Для приложения была разработана собственная и открытая структура пакета [8], показанная на рисунке 1.

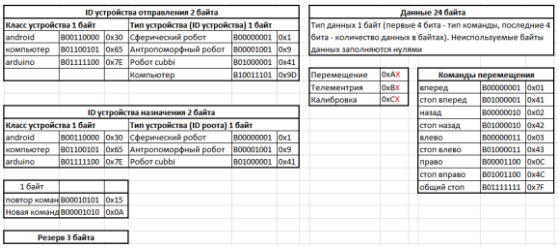


Рис.1. Структура пакета

Отправляемый пакет состоит из информации о типах устройств отправки и приёма, типа отправляемой команды – новая или повтор, кода команды для выполнения. Можно добавлять свои команды, но при обязательном соответствии требованиям предопределённой ранее структуры. Числовые коды команд указываются в шестнадцатеричном виде. В протоколе также указывается поддержка команд передвижения и видео стрима.

Для каждого добавленного устройства обязательно выбрать необходимый протокол передачи данных, его MAC или Ip адреса, необходимые для Bluetooth и Wi-Fi соединения соответственно. Упрощённый выбор MAC доступен в меню ранее сопряжённых со смартфоном устройств. Протоколы в виде XML файла из памяти смартфона могут быть добавлены в меню настроек, по умолчанию доступен один стандартный протокол с минимальным набором команд.

Процесс подключения к выбранным на главном экране устройствам происходит с помощью Service, запускающего в параллельном режиме стандартный процесс Wi-Fi или Bluetooth соединения. В зависимости от результата работы Service программа открывает панель управления роботизированными устройствами или сообщает о неуспешном результате.

Внешний вид панели управления зависит в первую очередь от структуры протокола, т. к. оттуда загружается, во-первых, список возможностей при управлении, а во-вторых, генерируемый список команд.

При управлении конечными устройствами пользователям доступна панель управления (Рис.2) со стандартными командами любого протокола (при указании их поддержки), а также генерируемым программным способом списком кнопок для отправки всех остальных команд (при наличии таковых). Вся текущая информация по устройствам, а именно исходящие и входящие данные, отображаются в окне терминала.

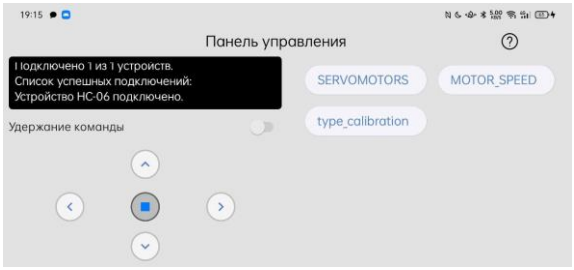


Рис.2. Панель управления

Если соединение с устройствами произведено по Wi-Fi сети, то, при достаточной скорости соединения, доступна видео трансляция (при поддержке роботизированными устройствами).

Весь интерфейс программы реализуется с помощью элементов Material You Design [9], что позволяет обеспечить простоту освоения программы со стороны обычных пользователей.

Стоит отметить, что для удобства пользователей, программа уже выложена в магазине приложений Google Play [10]. На соответствующей странице приведена краткая справка по возможностям программы и требованиям к протоколу. Прикреплены фотографии различных меню приложения. Для обратной связи доступна электронная почта разработчика.

Заключение

В ходе работы было создано универсальное программное обеспечение под ОС Android для управления различными типами роботизированных устройств с помощью Bluetooth и Wi-Fi сети. Созданное программное решение уже используется студентами в учебных лабораториях в ходе выполнения курсовых и проектных работ. Новизна проекта заключается в применении современных подходов программирования под Android для создания единого решения в целях охвата максимального спектра устройств посредством задания различных настроек и списка передаваемых данных в файле пакета заданного ранее формата.

Список литературы

1. Robotis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://emanual.robotis.com/docs/en/edu/mini (Дата обращения 26.02.2022 г.).

2. Робот-пылесос Xiaomi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://xiacom.ru/catalog/product/xiaomi-mijia-sweeping-robot-1c-white (Дата обращения 26.02.2022 г.).

3. Dreame Bot L10 Pro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://robotobzor.ru/obzory/dreame/dreame-bot-l10-review.html (Дата обращения 26.02.2022 г.).

4. Умный дом Xiaomi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://xiaomi-smarthome.ru/bluetooth-shlyuzy-xiaomi/ (Дата обращения 26.02.2022 г.).

5. Google Play – Serial Bluetooth Terminal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://play.google.com/store/apps/details?id=de.kai_morich.serial_bluetooth_terminal (Дата обращения 26.02.2022 г.).

6. Google Play – Arduino bluetooth controller [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.csa.btserialmonitor (Дата обращения 26.02.2022 г.).

7. Google Play – Arduino Bluetooth Controller – All in One [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.appsvalley.bluetooth.arduinocontroller (Дата обращения 26.02.2022 г.).

8. Структура протокола [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.google.com/spreadsheets/d/15m_IHMHJuL50GD7ED1wr0oiJYxRY-aMS/edit?usp=sharing&ouid=109369250480633190513&rtpof=true&sd=true (Дата обращения 26.02.2022 г.).

9. Material Design 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://m3.material.io/ (Дата обращения 26.02.2022 г.).

10. Google Play – Роботы ВШЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.hse.control_system_v2 (Дата обращения 26.02.2022 г.).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОЙ ОШИБКИ ПРОГНОЗОВ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКИХ СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Чехоева А.С.[2], Быков Ф.Л.[1]
[1]ФБГУ «Гидрометцентр России»
[2]МИРЭА - Российский технологический университет
базовая кафедра № 257 - информационных технологий обработки и анализа данных в гидрометеорологии
Институт информационных технологий

Аннотация

Помимо самого прогноза метеорологических параметров, некоторым пользователям полезна информация о качестве этого прогноза. Один из таких пользователей – система усвоения данных, использующая оценки дисперсий в каждой точке расчетной области. В настоящее время эти оценки рассчитываются: 1) либо как выборочная средняя погрешность прогноза, что требует множество допущений и, как правило, не учитывает синоптическую ситуацию; 2) либо с использованием ансамблевых прогнозов, что слишком дорого.

Разработана нейронная сеть для расчета карт разбросов σ смещений прогнозов приземной температуры воздуха с учетом синоптической ситуации: прогностических полей на регулярной сетке.

Введение

Погрешность прогноза известна не везде, а только там, где были измерения: они распределены неоднородно и нерегулярно (рис.1).

Существует множество численных моделей атмосферы, различающихся параметризацией процессов, системой усвоения данных, шагом и формой сетки. Модели не воспроизводят абсолютно полно и точно все физические процессы в атмосфере. Смещение прогноза δ отличны от нуля и носят систематический характер. Для их компенсации используется постпроцессинг [1], [2], который уменьшает погрешности модели. Будем предсказывать погрешность комплексного прогноза [1] – постпроцессинга нескольких численных моделей прогноза.

В последнее время машинное обучение используют в науках о Земле [3]. В метеорологии нейронные сети применяют в системах усвоения данных [4,5], прогнозирования погоды [6] и физических процессов [7], постпроцессинга [2].

Атмосферный фронт – переходная зона между двумя воздушными массами с различными физическими свойствами [8]. На атмосферных фронтах происходит образование облачности, выпадение осадков, усиление ветра, то есть это области неустойчивой погоды. Численные модели атмосферы приближенно решают системы дифференциальных уравнений в частных производных, предполагая гладкость метеорологических полей, поэтому в зонах постоянно перемещающихся атмосферных фронтов неизбежны большие по модулю смещения.

Атмосферные фронты можно обнаружить, используя поле влажности [9]; полей температуры и ветра [8-10]. Фронтальные разделы хорошо обнаруживаются на высотных картах погоды 850 гПа, особо резкие фронты – на картах 700 гПа. Рельеф и подстилающая поверхность влияют на перемещение и свойства фронтов [9].

В первом разделе приведён способ решения задачи, во втором – полученные результаты.

Методика

В качестве входных данных используются прогнозы GFS для северной части Восточного полушария с 1 января 2017 по 20 февраля 2022 г. на широтно-долготной сетке с шагом 0.5^{o}x0.5^{o}.

Решать поставленную задачу предлагается с помощью свёрточной нейронной сети со следующими входными данными:

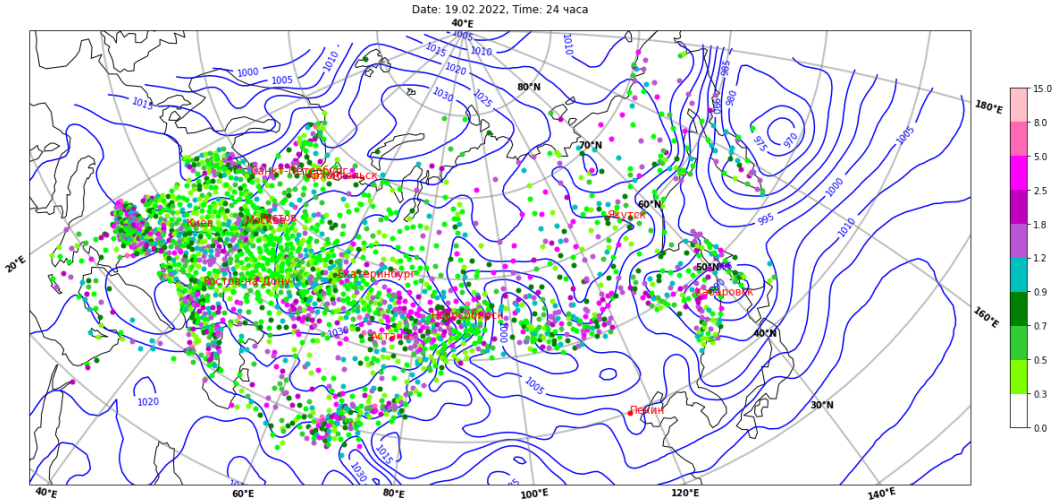


Рис.1. Расположение рассматриваемых метеорологических станций и нормированные на $RMSE_5$ абсолютные смещения прогноза температуры с заблаговременностью 24 ч на данных станциях за 19.02.2022

1. высота над уровнем моря;
2. доля суши в ячейке сетки;
3. средний наклон поверхности Земли;
4. угол возвышения Солнца;
5. косинус времени года $\cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right)$, где n – количество дней от начала календарного года;
6. температура T и дефицит точки росы Δ_{T_p} на уровнях 700, 850, 925 гПа по модели GFS;

Для прогнозирования среднеквадратичной ошибки σ прогноза приземной температуры воздуха на 24 часа использовали данные с заблаговременностью 12, 24 и 36 часов, а для прогноза ошибки на 36 часов – 24, 36 и 48 часов. Предикторы нормировались так, чтобы область значений каждого предиктора была равна отрезку [-1,1]. Разбиение данных на обучающую, валидационную и тестовую выборки производилось в соотношении 60-20-20.

Предположим, что смещение прогноза δ распределено согласно закону: а) Гауссовскому; б) Лапласа. В качестве функции потерь используем оценку максимального правдоподобия:

a) $loss_{Norm} = \ln\left(\sigma\sqrt{2\pi}\right) + \frac{\delta^2}{2\sigma^2} \to \min$

b) $loss_{Lap} = \ln\left(\sigma\sqrt{2}\right) + \frac{\sqrt{2}|\delta|}{\sigma} \to \min$

Значительное улучшение качества модели было достигнуто при умножении выхода нейронной сети на $RMSE_5$ – $RMSE$ прогноза за предыдущие 5 дней.

Нейронная сеть состоит из блоков ResBlock, рис. 2. Архитектура нейронной сети, рис. 3. Нейронная сеть реализована с помощью фреймворка pytorch. Гиперпараметры обучения нейронной сети представлены в таблице 1.

Таблица 1. Гиперпараметры обучения

Оптимизатор	Adam
Начальный размер шага обучения	0.001
Планировщик	уменьшает шаг в 2 раза, если в течение 5 эпох не было уменьшения функции потерь на валидационных данных
Количество эпох	100
Размер батча	20
Коэффициент регуляризации Лассо	0.02
Коэффициент регуляризации Тихонова	0.02

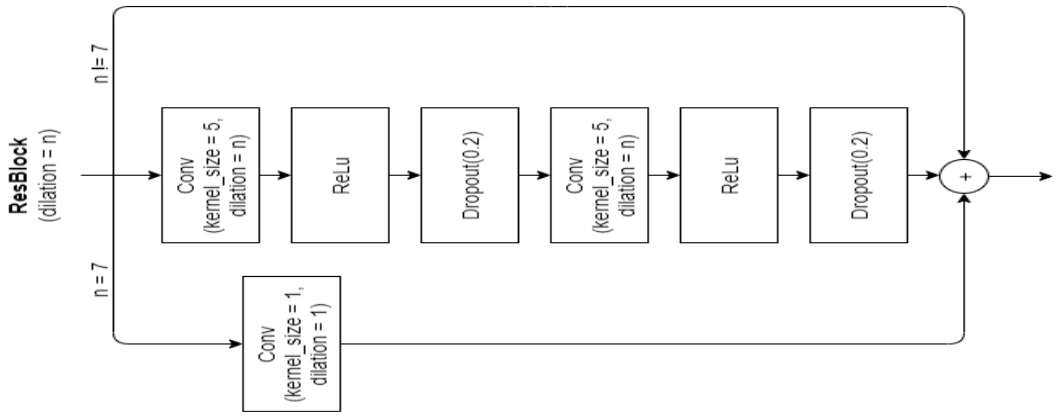


Рис.2. Архитектура ResBlock

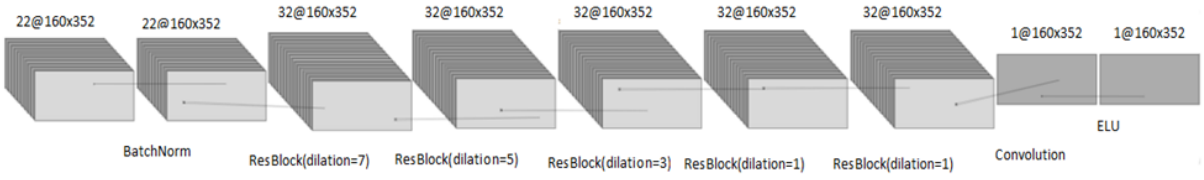


Рис.3. Архитектура нейронной сети

Результаты

Ниже представлены результаты при использовании гауссовской функции потерь $loss_{Norm}$ и гиперпараметров из табл. 1.

На рис. 4 представлены значения разброса σ, полученных с помощью нейронной сети, и средних абсолютных нормированных смещений $\sigma_n = \sum_{i=1}^{4} |\delta| \Big/ \sum_{i=1}^{4} RMSE_5$, где усреднение считается по данным 4 станций в окрестности Барнаула. Корреляция между σ и σ_n равна 0.79, что говорит о том, что нейронная сеть смогла обучиться и адекватно воспроизводит динамику погрешностей прогнозов.

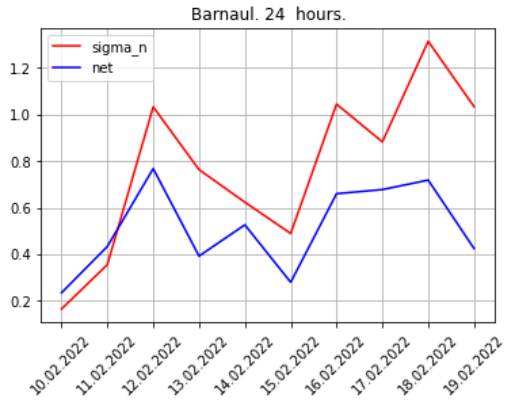


Рис.4. Значения разброса σ , полученные с помощью нейронной сети (синий) и из данных измерений (красный), нормированных на $RMSE_5$

На рис. 5 представлен пример карты разброса σ смещений прогноза приземной температуры воздуха, вычисленных нейронной сетью, и изолинии давления на уровне моря для заблаговременности 24 часа. Фиолетовым цветом обозначены области, где прогнозируются наибольшие по модулю смещения.

Заключение

Предложена свёрточная нейронная сеть, которая на основе прогностических метеорологических полей, выделяет области с большими погрешностями прогнозов приземной температуры воздуха. Эти области перемещаются вместе с воздушными массами.

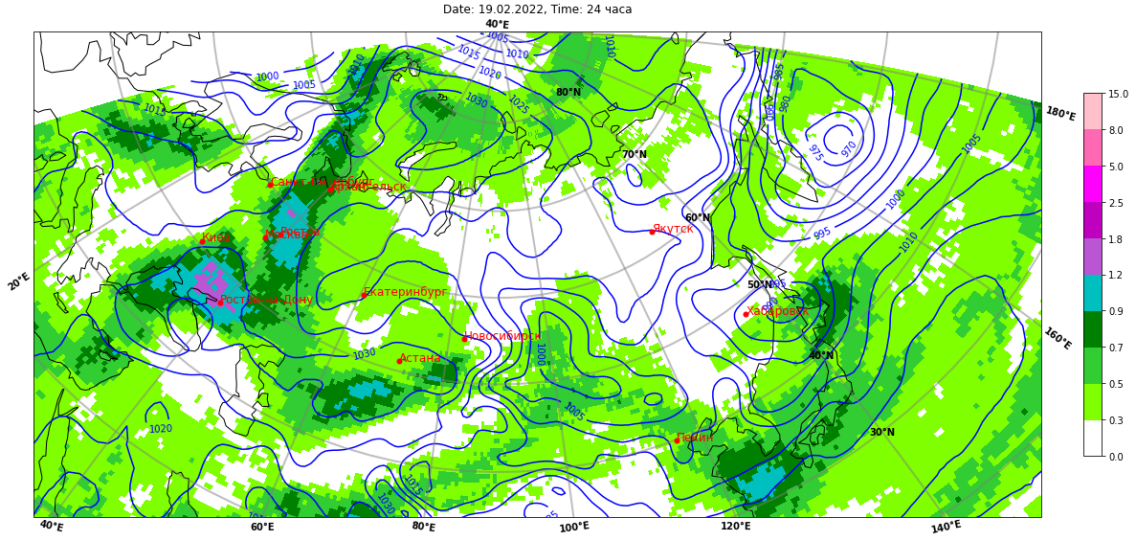


Рис.5. Карта разброса σ смещений прогноза приземной температуры воздуха с заблаговременностью 24 часа на 19.02.2022

Список литературы

1. Багров А.Н. Схема оперативного краткосрочного комплексного прогноза приземной температуры воздуха и влажности/ Багров А.Н., Быков Ф.Л., Гордин В.А.// «Метеорология и гидрология», 2018, №8, с.5-18
2. Быков Ф.Л. Статистическая коррекция прогнозов погоды по модели COSMO с помощью нейронных сетей // Метеорология и гидрология, Vol. 3, 2020. pp. 5-20.
3. Düben P. et al. Machine learning at ECMWF: A roadmap for the next 10 years //European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Tech. Rep. – 2021. – Т. 878.
4. Fablet R. et al. Learning variational data assimilation models and solvers //Journal of Advances in Modeling Earth Systems. – 2021. – Т. 13. – №. 10. – С. e2021MS002572.
5. Bonavita M., Laloyaux P. Machine learning for model error inference and correction //Journal of Advances in Modeling Earth Systems. – 2020. – Т. 12. – №. 12. – С. e2020MS002232.
6. Bihlo A. A generative adversarial network approach to (ensemble) weather prediction //Neural Networks. – 2021. – Т. 139. – С. 1-16.
7. Bolton T., Zanna L. Applications of deep learning to ocean data inference and subgrid parameterization //Journal of Advances in Modeling Earth Systems. – 2019. – Т. 11. – №. 1. – С. 376-399.
8. Зубащенко Е.М. Региональная физическая география. Климаты Земли: учебно-методическое пособие. Часть 1. / Е.М. Зубащенко, В.И. Шмыков, А.Я. Немыкин, Н.В. Полякова. – Воронеж: ВГПУ, 2007. – 183 с.
9. Дашко Н. А. Курс лекций по синоптической метеорологии, Владивосток: ДВГУ, 2005
10. Алексеева А.А. Способы оценки максимальной конвективной скорости в диагнозе и прогнозе опасных конвективных явлений погоды// Труды Гидрометцентра России. 2020. № 2. С. 6–22.

РОБОТ ГИД

Морин Д.А.[1], Курдашвили И.М.[2], Цкиманаури Т.М.[1]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]департамент электронной инженерии,
[2]департамент прикладной математики
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается разработка программно-аппаратного комплекса для поддержания учебного процесса в УЛ САПР МИЭМ НИУ ВШЭ, облегчения перемещения посетителей зданий НИУ ВШЭ.

Введение

В настоящее время робототехника активно развивается и находит применение в повседневной жизни. В отличие от промышленных роботов, задачи которых сводятся к жесткому следованию алгоритма работы, а управление реализовано в виде набора кнопок и отображения информации на экране монитора, сервисные роботы должны функционировать рядом с человеком и взаимодействовать с ним в удобном для человека виде. Также сервисные роботы должны уметь анализировать обстановку вокруг себя и подстраиваться при ее изменении. Для реализации этих задач в роботах используется широкий набор датчиков и устройств – от простейших дальномеров, до камеры и микрофонов.

Изучение ПО для работы с роботом NAO

Для реализации необходимого поведения робота NAO существует два варианта разработки. Существует уже готовое многоплатформенное настольное приложение Choregraphe. Набор возможностей данного программного обеспечения позволяет реализовывать программы для робота из уже написанных блоков. Это упрощает задачу разработки и помогает на ранних этапах в изучении библиотеки NAOqi [1]. Однако такой способ разработки программного обеспечения резко снижает возможности использования данных, получаемых от устройств робота. В частности, распознавание голосовых команд происходит только на английском языке, а точность колеблется от 40% до 60%. Также нет возможности использовать сторонние библиотеки для обработки данных.

В связи с этим, для реализации всех запланированных программных задач, была выбрана разработка на Python.

Программная реализация робота основана на его собственной библиотеке NAOqi, в которой уже реализованы функции движения, работы с аудио, видео, взаимодействия с людьми. Так же через данную библиотеку открыт доступ к управлению датчиками и общими модулями.

Разработка программного обеспечения робота гида

Для реализации системы робота гида необходимо, чтобы робот умел решать следующие задачи: строить карту помещения, перемещаться по заданному маршруту, хранить базу данных пользователей и распознавать их, общаться и отвечать на вопросы пользователей.

На рисунке 1 приведена общая структура разрабатываемого обеспечения.

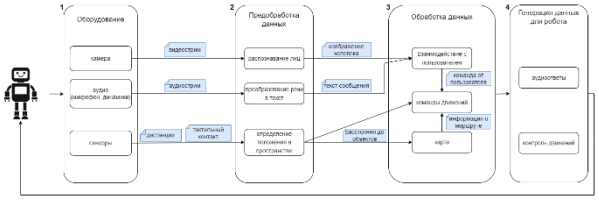


Рис.1. Структура разрабатываемого обеспечения

Первичные данные мы получаем от оборудования (Блок 1). На выход из камеры, микрофона и динамиков мы получаем видео и аудио стрим соответственно, а сенсоры выдают информацию о дистанции до объектов и тактильный контакт с корпусом робота. Все эти данные попадают на стадию предобработки (Блок 2). На данном уровне происходит распознавание лица человека, которое после переводится в изображение, преобразование речи в текст и определение положения в пространстве, которое определяет расстояние до объектов.

Следующим этапом происходит обработка данных (Блок 3). Здесь полученные данные приводятся к командам движения. Изображение человека и текст сообщения генерируют взаимодействие робота с пользователем. Отсюда выходят команды изменения поведения робота от пользователя. Расстояние до объектов и определенное положение в пространстве способствуют построению карты и созданию маршрута. Все эти данные генерируют (Блок 4) аудиоответы робота и его контроль движения.

Сетевое взаимодействие с роботом NAO

Так как вычислительные возможности робота, а также количество свободной для использования памяти ограничены было принято решение все основные вычисления выполнять на стороннем компьютере. Подключение к роботу происходит двумя способами: через Wi-Fi или же напрямую по кабелю Ethernet. Наиболее практичным способом для нашей работы представляется подключение по сети Wi-Fi. Но в этом случаем возникают некоторые проблемы.

Например, часто после включения робот меняет свой IP-адрес, не подключается к сети Интернет или подключается к другой, отличной от сети на компьютере. Устранение такого рода проблемы решается через включение беспроводного сетевого соединения компьютера при кабельном соединении с роботом, а затем отсоединения сетевого кабеля в настройках сети открытого веб-интерфейса NAO. После этих действий при изменении IP-адрес робота необходимо

проверить к какой сети подключен робот в веб-интерфейсе под изменённым IP-адресом.

Разработка ПО для взаимодействия с роботом NAO[2]

Разработка в Choregraphe предполагает собой постоянное присутствие человека, запускающего программный код. Это недопустимый способ управления роботом, так как система должна быть автоматизирована. Эта проблема решается посредством написания кода программы на языке Python 2.7, и дальнейшей его загрузки в файловую систему робота, откуда он и будет выполняться. Реализованы следующие возможности робота:

- получен доступ к камере робота и реализовано взаимодействие с ней.

С помощью скрипта NAO_getDATAnIMAGE.py (на Python) через робота можно получать изображение с помощью функций GetnViewImPIL. В данной функции задействуется библиотека PIL, с помощью которой можно получить фото. Также разработана аналогичная функция viewImageCV с использованием библиотеки CV2, благодаря которой реализуется компьютерное зрение. В результате выполнения вышеописанных функций полученные изображения сохраняются в определённом месте на удаленном компьютере.

- получен доступ к микрофону и динамикам

Через программу NAO_MOVE_and_SPEAK.py робот может воспроизводить прописанный заранее текст, благодаря функции SayAny. Также реализованы функции, которые позволяют выполнять воспроизведение текста в движении робота NAO. Функция MovenSpeak позволяет осуществить передвижение робота при озвучивании прописанного текста. Функция GettingPos предоставляет возможность роботу NAO озвучивать свою текущую позу. Две последние функции реализованы в файле NAO_getDATAnIMAGE.py;

- реализована передача команд управления движением робота

Файл NAO_MOVE_and_SPEAK.py содержит команды для управления движениями робота. Реализованы функции возможности задать перемещение в случайном направлении - Moverandom, и в определённую точку – Moveasiwant. Функции файла WorkableArmMoveMain.py позволяют реализовать разговор и движение, как было упомянуто раньше, а также задействовать верхние конечности (правая или левая рука), которые могут выполнять различные движения.

Заключение

В ходе работы был проведен анализ существующих вариантов разработки программно-аппаратного комплекса робота-гида. На основе анализа был выбран вариант реализации задачи на языке программирования Python. Выбор основан на ограниченном количестве возможностей, которое может предоставить специализированное ПО.

Далее была рассмотрена проблема сетевого подключения робота, а также приведено её решение.

В дальнейшем планируется продолжение разработки программно-аппаратного комплекса робота-гида до получения исправного оптимизированного кода, позволяющего беспрепятственно перемещаться по заданному маршруту, строить карту помещения, хранить базу данных пользователей и распознавать их, общаться и отвечать на вопросы пользователей.

Список литературы

1. Документация к библиотеке NAOqi [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://developer.softbankrobotics.com/nao-naoqi-2-1
2. Репозиторий с реализованными функциями для робота [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://git.miem.hse.ru/547/guide-robot

ВАЛИДАЦИЯ СБОРКИ ОБОРУДОВАНИЯ ВИДЕОПРОИЗВОДСТВА, ВЫПОЛНЕННОЙ В ГРАФИЧЕСКОМ РЕДАКТОРЕ НА ОСНОВЕ DRAW.IO

Фёдоров А.А., Озирный М.Н., Елисеенко А.М.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной статье рассматривается создание графической системы автоматизированного проектирования из видеооборудования, взятого с существующего склада. Склад представлен в виде специально разработанного шаблона Google Sheets и набора специализированных скриптов обработки заполненной таблицы, или в виде плагина для ERP-системы Odoo. Все устройства “на складе” визуализируются в объекты графического редактора на основе draw.io. Валидация сборки производится на основе набора базовых правил подключения устройств, а также наличия необходимых устройств и кабелей на складе.

Введение

Онлайн-инструменты для выполнения задач проектирования разнообразных систем все активнее входят в повседневную жизнь. Всеобщее повышение скорости интернет-соединения и развитие технологий разработки клиентских веб-приложений дает возможность предоставить пользователю гибкий интерфейс проектирования, сравнимый с аналогичным у стандартных приложений для ПК. Одной из важных функций такого инструмента является валидация выполненного решения и предоставление пользователю обратной связи. Проектирование теле-/видеостудии – одна из задач, которые можно решить с помощью описываемого веб-приложения.

Обзор исследовательских работ и аналогов

В настоящее время существует множество САПР, от широко до узконаправленных. Одна из задач любой САПР – опираясь на имеющуюся базу знаний в

определенной области, предоставлять возможность подбора устройств или элементов с учетом их специфических свойств. Так, в рамках работы [1] рассматривается сбор базы знаний, упорядочивание ее в виде каталога, и построение системы подбора фармакологического оборудования и организации технологического процесса производства твердых лекарственных форм. В рамках статьи [2] производится обзор сервиса проектирования системы видеонаблюдения. Данная система предоставляет возможности настройки угла обзора камер, выявления мертвых зон системы видеонаблюдения, а также предоставляет 3d-модели изображений с каждой камеры. В статье [3] производится обзор типового функционала систем умного дома, после чего сравниваются различные САПР с указанием, какие функции из описанных ранее они поддерживают. В результате приводится сравнительная таблица возможностей разных САПР. В работе [4] рассматривается САПР для подбора распределительных устройств на основе MatLab. В ней авторы проводят анализ важнейших свойств распределительных устройств и алгоритм подбора одного устройства. Затем приводится описание алгоритма размещения нескольких распределительных устройств в помещении одной и двумя линиями. В работе [5] описывается сервис для проверки работ, выполненных в 2D САПР. Работа сравнивается с образцовым решением. Имеется онлайн версия с быстрой обратной связью для студентов и оффлайн версия для пакетной проверки множества работ для преподавателя. Однако данная система не самостоятельна и нуждается в подтверждении результата проверки человеком. В исследовании [6] представлен набор практических рекомендаций по созданию образовательных курсов, в том числе, советы по критериям выбора камер и другого оборудования. Данные критерии в дальнейшем могут быть формализованы и использованы в разрабатываемой САПР. В работе [7] описываются три метода принятия решений с несколькими критериями, а именно: орграф и матричный подход, аналитический иерархический процесс и аналитический сетевой процесс. В рамках данной статьи методы используются для выбора фрезерного станка. Таким образом, в сфере разработки САПР для различных тем – от узких до широких существуют не закрытые ниши, а также есть потребность в комплексных САПР, позволяющих спроектировать взаимодействие разнообразного оборудования, например, для умного дома. Тема видеопроизводства как в образовании, так и в других сферах жизни крайне актуальна, особенно в свете пандемии коронавирусной инфекции. Исходя из этого, разработка САПР для задач видеопроизводства является актуальной задачей в данный период времени. Основными недостатками имеющихся аналогов является неприменимость конкретно в сфере видеооборудования, проприетарность сервисов, отсутствие возможности работы со своим каталогом товаров. У самого близкого решения [2] отсутствует веб-версия, а у приложения для ПК морально устаревший дизайн и интерфейс. Кроме того, данное ПО также является проприетарным и не предоставляет возможности гибкого подбора моделей устройств для использования в проектировании.

Описание разработанной системы

Основной целью данной разработки является создания сервиса для подбора оптимальной конфигурации оборудования под задачи пользователя по нескольким стандартным критериям, таким как цена, масса, объем, и пользовательским критериям, базирующимся на характеристиках используемого оборудования.

Архитектурно разработка состоит из следующих частей::

1. Таблица в Google Sheets на основе разработанного шаблона с скриптами генерации инвентаря в формате JSON согласно JSON SCHEMA.
2. Плагин для ERP-системы Odoo, способный формировать инвентарь в формате JSON согласно JSON SCHEMA.
3. Графический редактор на основе редактора диаграмм с открытым исходным кодом draw.io (diagrams.net), в котором происходит визуализации устройств инвентаря согласно JSON SCHEMA.
4. Модуль валидации схемы устройств и оповещения пользователя для графического редактора.
5. Модуль поиска оптимальной альтернативы устройствам для графического редактора.

Google Sheets и плагин Odoo

Важной сопряженной задачей, рассматриваемой в данной работе, является инвентаризация описываемого оборудования. Кроме непосредственно ввода информации системы инвентаризации подразумевают совместный удаленный доступ к собранным данным. Однако классические старые системы не всегда способны его обеспечить. Относительно недорогим и удобным решением становится инвентаризация с помощью Google Sheets [8]. Предоставляемый Google функционал написания пользовательских скриптов позволяет добавить функции агрегации информации в требуемом формате. Для совместимости с сервисом проектирования коммутационных схем была разработана система агрегации и специальная схема описания информации в формате JSON [9]. В рамках инвентаризации кроме описания типов имеющихся устройств и кабелей необходимо также категоризировать имеющиеся элементы, вести учет их количества, а также обозначать уникальные свойства конкретных устройств.

Попытки внедрить данный функционал в Google Sheet привели к значительному повышению сложности заполнения таблицы пользователем. По этой причине Google Sheet стала промежуточной стадией перед более гибким инструментом. Задачу инвентаризации решают современные ERP-системы [10]. Однако не многие такие системы бесплатны для пользования. Альтернативой является возможность дополнения функционала ERP-системы под свои нужды. Возможность самостоятельной модификации при помощи модулей присутствует в open-source системе Odoo [11]. Odoo предоставляет возможность создать собственный модуль или дополнить суще-

ствующий с помощью скриптов на языке Python и HTML-подобного языка верстки. Благодаря такой гибкой системе можно разработать многоуровневый интерфейс, позволяющий описывать не только тип устройства, но и учитывать конкретные свойства отдельных экземпляров. Модульная система позволяет модернизировать имеющийся плагин Inventory, добавив туда необходимый для описания технических устройств функционал.

Графический редактор

Поскольку графические редакторы диаграмм имеют весьма обширный функционал, было решено использовать платформу draw.io в качестве основы, при необходимости убрав или заблокировав ненужные или опасные функции. После импорта данных из инвентаря (будь то Google Sheets, Odoo или совместимый по JSON SCHEMA другой внешний сервис) сервер сверяет полученную информацию с JSON SCHEMA и перенаправляет пользователя в клиентское веб-приложение. Каждое из устройств визуализируется в качестве объектов draw.io, объединяемых в библиотеки согласно категории устройств. Каждый объект, как видно на рис. 1, содержит порты – разъемы, для которых указаны тип коннектора, направленность порта, интерфейс и дополнительные пользовательские свойства и характеристики.

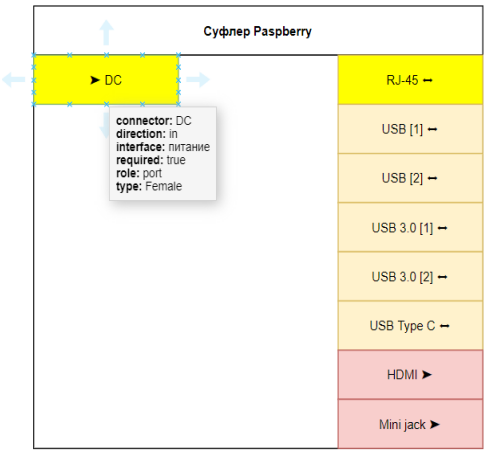


Рис.1. Объект-устройство в графическом редакторе

Для корректной валидации схем необходимо владеть знаниями о возможностях подключения устройств. В общем понимании устройство имеет в своем корпусе специализированные порты, которые визуально могут отличаться по форме, что позволяет сразу определить, какой коннектор можно к нему подключить, однако для построения схемы такой подход не годится, поэтому каждый порт имеет лишь условное обозначение, в то время как программа оперирует характеристиками этих портов.

Поскольку сервис изначально предусматривает возможность проведения соединений, редактор позволяет пользователю соединить устройств друг с другом посредством кабелей. После получения информации о желаемом соединении производится анализ возможности такового. Прежде всего необходимо определить, подходят ли порты друг другу по направлению передаваемого сигнала (некоторые порты способны только принимать сигнал), также необходимо проверить интерфейсы передаваемых данных (если они различны, то устройства не поймут друг друга). Это касается исключительно возможности подключения на уровне устройств, однако, если отсутствует подходящий кабель, то соединение устройств невозможно. Поэтому происходит проверка наличия требуемых кабелей, где подходящий кабель определяется названием порта и его типом, который должен подходить к порту устройства.

При выполнении всех описанных пунктов пользователь увидит соединенные устройства через конкретные порты. В случае ошибки по любому пункту, пользователь получит нужное уведомление посредством всплывающего сообщения в углу экрана, не перекрывающего фокус.

Помимо заданных атрибутов портов во время описания устройства можно указать обязательные к подключению порты, тогда на схеме они будут выделяться относительно других.

Для дополнительной автоматизации работы пользователя сервис предлагает автоматический подсчет используемых объектов (включая кабели) в отдельном меню, в котором можно ознакомится с параметрами объектов.

Важной частью разработки является помощь в построении соединений, поэтому при желании пользователь может выбрать устройство или порт, и после нажатия на “поиск” на схеме будут выделены возможные подключения с другими устройствами, что сильно облегчит пользователю поиск нужного порта. Не исключено, что устройства будут иметь большое количество портов, из-за чего на схеме будет мало места для просмотра всех объектов. Для решения этой проблемы используется функция скрытия неиспользуемых портов.

Также в разрабатываемой системе предусматривается возможность просмотра сборки на плане помещения, благодаря которой пользователь сможет учитывать параметры и самого помещения, где планируется производиться физическая сборка схемы, и габаритов самих устройств и кабелей.

Имея обширные параметры устройств в инвентаре, внутреннюю базу данных типовых устройств и/или доступ к API крупных розничных продавцов (таких как ЧИП и ДИП и e-katalog), можно искать более выгодные аналоги используемых устройств. Например, искать более дешевый или менее габаритный прибор.

Заключение

На рынке имеется ниша современных свободных САПР в сфере видеопроизводства, с учетом ее специфики. Данная разработка призвана заполнить эту нишу. Разработка уже введена в использование целевой аудиторией – Медиацентром МИЭМ. В целях улучшения пользовательского опыта в будущем планируется добавить функционал генерации 3D-моделей помещений для визуализации зоны видимости каждой камеры с учетом угла обзора и масштабирования изображения. Также планируется дать

пользователю возможность указать планировку помещения для размещения устройств в реальном масштабе.

Список литературы

1. Меньшутина Н. В., Таптунов В. Н., Гусева Е. В., Батин С. Э. Информационный портал для подбора оборудования «PharmSystem» // Программные продукты и системы. 2009. №1.
2. Мешкова Елена Владимировна Проектирование системы видеонаблюдения на объекте информатизации // Контентус. 2016. №1 (42).
3. Федосов Павел Валентинович Использование САПР при создании «Умных домов» // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2008. №51.
4. Chernaya, A & Sokolova, E 2015, 'The development of computer-aided design for electrical equipment selection and arrangement of 10 KV switchgear', MATEC Web of Conferences, vol. 37, p. 01014.
5. Bryan J. A. Automatic grading software for 2D CAD files // Computer Applications in Engineering Education. 2020. № 1 (28). С. 51–61.
6. Dunne K. [и др.]. Practical Recommendations on the Production of Video Teaching Resources. // AISHE-J: The All Ireland Journal of Teaching & Learning in Higher Education. 2020. № 1 (12). С. 1–35.
7. Paramasivam V., Senthil V., Rajam Ramasamy N. Decision making in equipment selection: an integrated approach with digraph and matrix approach, AHP and ANP. // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2011. № 9–12 (54). С. 1233–1244.
8. C. Boman and R. Voelker, "Between the Sheets: a Library-wide Inventory with Google," Code4Lib Journal, no. 38, Oct. 2017.
9. "JSON Schema Specification," Dec. 2020. URL: https://json-schema.org/specification.html (дата обращения 06.03.2022).
10. B. Zhao and C. Tu, "Research and Development of Inventory Management and Human Resource Management in ERP," Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2021, pp. 1–12, Oct. 2021.
11. D. Reis, Odoo 11 Development Essentials : Develop and Customize Business Applications with Odoo 11, 3rd Edition. Birmingham: Packt Publishing, 2018.

МОБИЛЬНЫЙ МУЛЬТИСЕРВИС С ЭЛЕМЕНТАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДБОРА ОБЪЕКТОВ ИСКУССТВА В ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Зайцев С.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Мобильные приложения являются неотъемлемой частью нашей повседневной жизни и культуры современного человека. Через экран мы собираем и анализируем информацию и далее понимаем, какие современные инструменты для общества мы можем разработать. Дополненная реальность – технологичный инструмент, который в современном мире приобретает все большую популярность.

Введение

Работа заключается в том, чтобы разработать мобильное приложение для виртуального предпросмотра и выбора арт-объектов для последующей установки их в интерьер в соответствии с запросом пользователя. Приложение помогает найти идеальное соответствие между арт-объектами и требованием пользователя. Как и все в современном мире, искусство постепенно переносится в виртуальную среду, и феномен Non-fungible token (NFT) — яркий тому пример. Визуализация арт-объектов с использованием дополненной реальности – один из самых современных способов их реализации.

Цель, достигнутая в процессе создания приложения - дать возможность пользователю оценить идеальное сочетание арт-объектов и внутреннего дизайна его дома. Пользователь, исходя из своего вкуса, желаний и требований, получает возможность визуально здесь и сейчас удостовериться в своем выборе объекта и оценить его положение и уместность в интерьере. Достижение этой цели требует осмысленной работы и конкретизации.

Первая задача заключается в том, чтобы завлечь клиента, сделать привлекательным процесс выбора и просмотра приложения. Взаимодействие между приложением и конечным пользователем должно быть простым и интуитивно понятным.

Вторая задача — создать визуализацию в дополненной реальности арт-объекта, которая даст понять пользователю, на сколько идеально арт-объект впишется во внутренний дизайн.

Необходимо создавать регулируемые объекты AR, анализируя множество аспектов окружения, таких как цвет, свет и мебель.

Третья задача — создать хранилище данных пользователей. Собранная информация и статистика будут проанализированы и использованы для создания подходящих рекомендаций. Для хранения данных будет использоваться SQL. Основные данные, которые подлежат обработке — это взаимодействие с арт-объектом и рекомендациями.

Заключительная задача приложения – объединять и анализировать [1] просмотр пользователем дополненной реальности, оставление реакций – лайков и просто прокрутку. Все эти элементы должны быть уникальными и обеспечивающими понимание пользователя. Помимо всего прочего, процесс совершения покупки в приложении следует разбивать на части, потому как существует возможность подключения к системе NFT.

Виртуализация и искусство

Разработка представляет собой phygital-приложение, соединяющее физический и цифровой миры. Для его создания была произведена интегра-

ция ASB, с использованием в качестве базы научной литературы. Хотя есть много статей и исследований, на которые можно опираться для решения задач данного проекта, не все возникшие в предыдущих исследованиях проблемы имеют подходящие решения – предстоит еще много работы.

Чтобы решить поставленные задачи, необходимо провести анализ существующих решений и разрабатываемых проектов в сфере. Описанный в статье Булатова [2] проект является хорошим примером современного мышления и создания phygital работы. Сочетание искусства и науки позволяет создать невероятное произведение технологического искусства, такого как фрактальное искусство. Бизнес-инструменты в свою очередь предоставляют художникам возможность получать деньги за свой труд в современном мире, где большая часть жизни проходит в цифровом формате. Также проблему с общением художников между собой можно решить, добавив всех AR-художников на одну платформу.

Следующий литературный источник раскрывает актуальные реалии графического дизайна в приложениях. Создание современного User experience (UX) [3] — сложная задача, к которой нужно подходить с полной ответственностью и уделяя внимание деталям, иначе пользователь просто не поймет, как использовать мобильное приложение. Создание плана исследования поможет определить, каким образом люди будут взаимодействовать с данным приложением, и определить реакцию UX, которую необходимо произвести. Алан Купер также помогает указать методы, которые следует использовать, чтобы создать графический облик простого и понятного в использовании приложения.

Прежде чем приступить к разработке, необходимо найти подходящие инструменты, с помощью которых будет возможно создать такое приложение, которое будет кодировать Xcode в IDE из-за множества преимуществ данной системы.

Для написания кода необходимо подобрать язык программирования, обладающий развитым функционалом, который позволит достичь все стоящие перед разработчиком задачи. Swift — один из нативных языков для разработки мобильных приложений, который может работать на iOS [5] и имеет встроенную поддержку AR. CoreData может взаимодействовать с базой данных. Он написан на SQL и размещен в FireBase — для подключения работы с этими модулями будет использована документацию от Apple.

Для создания дополненной реальности также используется инструмент Reality Converter — платформа для создания 3D-объектов с AR.

Связь искусства и машинного обучения

Данный алгоритм включает в себя несколько основных направлений анализа. Первый – пользовательские входные данные, такие как, например, покрытие пола или любимый цвет. На основе данных, которые берутся из графических изображений, можно проанализировать, в каком из них больше определенного (любимого пользователем) цвета – в первую очередь именно эти картины будут выводиться пользователю. Второе направление анализа строится на основе действий пользователя в приложении. Учитываются предпочтения пользователя: чем больше времени он проводит в приложении, тем больше данных по нему будет собрано. Данный алгоритм учитывает тип арт-объекта, с которым происходит частое взаимодействие, и графическая информация, которая в нем содержится.

Практическая значимость работы заключается в совмещении желаний пользователя украсить свой интерьер, подобрав соответствующий запросу арт-объект, и деятеля изобразительного искусства – в распространении своего творчества и получения признания и известности в публичном пространстве.

Пример работы

Рассмотрим этапы создания виртуального фона для картин и возможности установки его в интерьер. Для данной задачи используется программа Reality Converter (RC). Функционал программы позволяет добавлять или убирать фон. Использование различных способов представления арт-объекта позволит пользователю в полной мере вписать работу в своё виденье [6]. Рассмотрим первый пример для демонстрации работы.

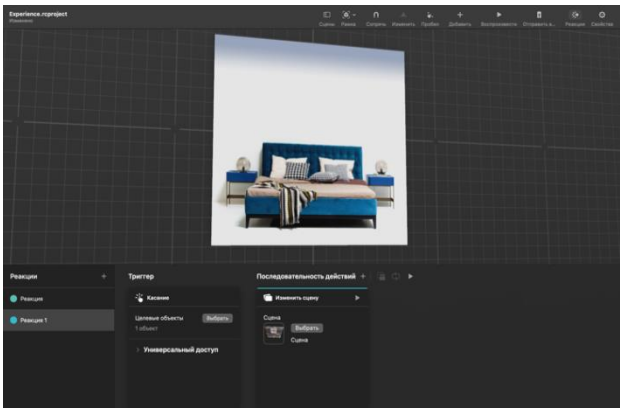


Рис.1. Пример фона в Reality Converter

При предварительном просмотре изображения картин могут накладываться на любое вертикальное пространство. Таким образом можно зафиксировать арт-объекты и создать галерею внутри комнаты покупателя. Для создания картин требуются следующие важные компоненты: само изображение объекта искусства и объект наложения. С помощью редактора RC можно соединить объекты и настроить их виды для пользователя. Через ARkit происходит настройка всех триггеров для воспроизведения сцен.

Арт-объекты выделены в особую базу для взаимодействия. Чтобы создать арт объект, необходимо сфотографировать его с помощью iPhone, на котором установлено приложение LiDAR [7]. Далее требуется загрузить изображение в приложение и создать 3D-модель объекта. Или же загрузить уже готовую модель арт-объекта. Далее объект вносится в базу данных и загружается с предварительным просмотром.

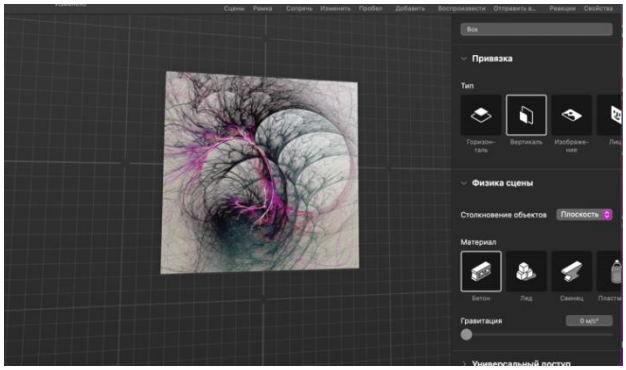


Рис.2. Картина в Reality Converter

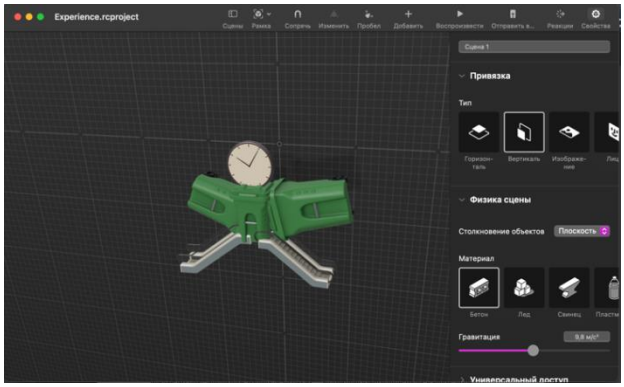


Рис.3. Пример арт-объекта

Рассмотрим смоделированный пример. Загрузим в базу данных картину, которую покупатель может просмотреть в AR и понять, подходит ли ему выбранный арт-объект.

Теперь в смартфоне пользователя существует виртуальная копия объекта, которую он просматривал. Если пользователь решит приобрести арт-объект, изображение будет находиться только в его виртуальной галерее.

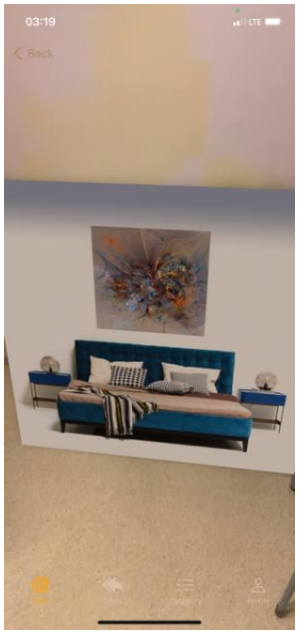


Рис.4. Пример работы с картиной

Заключение

Результатом данной работы является полнофункциональное приложение, разработанное на Swift с использованием RealityKit. Приложение позволяет пользователям через дополненную реальность просматривать арт-объекты и демонстрирует, как объекты искусства вписываются в пользовательский дизайн, [8] работая с различными фонами. Информацию о себе пользователь может редактировать на экране личного профиля. Все данные от пользователя хранятся в базе данных в SQL, системный администратор Firebase может принимать заказы и загружать новые арт-объекты в галерею. Система разработана таким образом, чтобы в будущем AR-объекты могли быть преобразованы в NTF-проекты.

Список литературы

1. Machine Learning In Recruitment & How To Do It Right [электронный ресурс]. URL: https://harver.com/blog/machine-learning-in-recruitment/ (дата обращения: 10.02.2020)
2. БУЛАТОВ Д. ЭВОЛЮЦИЯ ОТ КУТЮР. ИСКУССТВО И НАУКА В ЭПОХУ ПОСТБИОЛОГИИ. ТЕОРИЯ (https://dhumanities.ru/resource/bulatov-d-evolyuciya-ot-kutyur-iskusstvo-i-nauka-v-epoxu-postbiologii-teoriya/)
3. Cooper A., Reimann R. Noessel C. About Face: The Essentials of Interface Design
4. Xcode doumanashen https://developer.apple.com/documentation/xcode
5. Сараев А. К., Лизин С.Н., Чегерев В.Д., Трошин А.В., Герасимов Е.В. Способ и система кроссплатформенной разработки мобильных приложений, применяющих алгоритмы компьютерного зрения для формирования дополненной реальности (https://fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=0bb4a90fc7b1a673a1396bfdbf9641ad)
6. Jiyoung H., Soojin K. The effects of packaging design of private brands on consumers' responses (https://onlinelibrary-wiley-com.proxylibrary.hse.ru/doi/full/10.1002/mar.21620)
7. Patrick C., Dominique M. Sequencing Apple's DNA
8. (https://onlinelibrary-wiley-com.proxylibrary.hse.ru/doi/book/10.1002/9781119261575)
9. Barbara B. Designing the Mobile User Experience (https://onlinelibrary-wiley-com.proxylibrary.hse.ru/doi/book/10.1002/9780470060575 9. fips.ru)

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО НИЗКОСКОРОСТНЫМ СЕТЯМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Бутылкин А.И., Штырлин Н.В.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается программно-аппаратный комплекс, предобработки графических данных на конечных устройствах IoT и передачи результатов по низкоскоростным каналам связи.

Исследуется возможность применения методов машинного обучения на микроконтроллерах с ограниченными ресурсами с целью определения энергоэффективности используемых методов, точности и объема передаваемых графических данных.

Введение

Предлагается программно-аппаратный комплекс, представляющий собой микроконтроллер с камерой, выполняющий роль обработчика собранной графической информации, и модуль LoRa, для передачи собранных данных. Основной целью работы является изучение возможности использования методов машинного обучения на конечном устройстве с ограниченными ресурсами для обработки графической информации. Актуальность исследования обусловлена использованием низкоскоростных гетерогенных сетей удаленного интернета вещей для передачи графических данных.

Программно-аппаратный комплекс позволяет оценить энергоэффективность, точность и объем передаваемой информации при использовании методов машинного обучения и сравнить полученные результаты с традиционными методами.

TinyML

С широким распространением устройств IoT получает развитие Tiny Machine Learning (TinyML) - новая парадигма машинного обучения, направленная на перенос нейросетей с традиционных высокопроизводительных устройств на микроконтроллеры, что позволяет использовать их для решения задач на месте [1]. Мощность, потребляемая такими системами, может находиться в пределах нескольких милливатт, что позволяет использовать их, как конечные устройства с автономными источниками питания.

Устройства IoT ограничены в памяти, вычислительных ресурсах и энергопотреблении. В связи с чем они могут использоваться только для работы с уже готовой и обученной нейронной сетью. Разработка, обучение и переобучение нейросети происходит на высокопроизводительных вычислительных системах. Для размещения нейросети на микроконтроллере необходимо уменьшить объем полученной модели, для чего в настоящее время используются методы квантования и редукции [2].

Квантование - уменьшение количества бит на каждый вес в модели нейронной сети. Например, вычисления могут быть переведены с 32-битного на 16 или 8-битный тип данных [3].

Редукция – уменьшение количества нейронов во входном и скрытом слоях, при условии сохранения классифицирующей способности нейросети. Например, имея во входном и скрытом слоях 10 нейронов со связями один ко многим, и убрав один нейрон, мы сразу уменьшаем размер нейросети на 10 связей, что незначительно уменьшает точность, но даёт значительный выигрыш в памяти [4].

Для уменьшения размера полученной модели, рассмотрим оба варианта последовательно: сначала произведём редукцию сети, а затем ее квантование.

Аппаратная часть

В основе комплекса лежит микроконтроллер, его выбор будет обусловлен следующими критериями:

- Объем памяти микроконтроллера
- Энергоэффективность устройства
- Программное обеспечение и библиотеки

На данный момент предпочтение отдаётся микроконтроллеру из семейства STM32F401RE, на базе микропроцессора Cortex-M4. Выбор обусловлен распространенностью и внутренним ресурсом микроконтроллера: объем флэш-памяти составляет 512 КБ, а оперативной - 84 КБ. Энергопотребление Устройства находится 2.4 мВт в состоянии простоя и 143 мВт в состоянии нагрузки, что позволяет продолжительное время использовать автономные источники питания [5].

Одной из самых распространенных библиотек для работы с TinyML является TensorFlow Lite (TFL). Данная библиотека совместима с различными типами моделей нейронных сетей, однако она является расширением библиотеки TensorFlow, поэтому удобна в работе с моделями Keras, одним из основных типов нейросетей, получаемых после компиляции с помощью библиотеки TF. Размер выходного файла, получаемого после минимизации, может находиться в пределах 500Кб, что вполне укладывается в запас памяти, выбранного микроконтроллера. Важным преимуществом является наличие нескольких операторов квантования, что позволит оценить эффективность нескольких его видов: до INT8, INT16, FLOAT16.

Для загрузки модели на микроконтроллер, достаточно представить модель в виде массива C. И подключать полученный файл как простой хедер. TFL Уже имеет ряд функций для работы с микроконтроллерами, поэтому не составит труда написать простой скетч работы устройства.

В совокупности мы имеем микроконтроллер с достаточным внутренним ресурсом, библиотеки для разработки, минимизации и загрузки модели на него.

Основные этапы проектирования

1. Обзор готовых решений: по работе с изображениями и нейросетями в TF и минимизации модели в TFL.
2. Разработка собственной модели нейронной сети.
3. Разработка алгоритма для генерации большого объема данных.
4. Создание нескольких датасетов для переобучения модели, с использованием разных циферблатов.
5. Обучение нейронной сети и ее минимизация.
6. Тестирование работы системы на высокопроизводительном устройстве, для оценки эффективности разработанных датасетов, нейронной сети и метода минимизации.
7. Загрузка и тестирование модели на итоговом устройстве (микроконтроллере)
8. Тестирование готовой системы и оценка точности и энергоэффективности.

Заключение

Дальнейшая экспериментальная работа будет предполагать реализацию программно-аппаратного комплекса, приведенного на рисунке 1. Необходимо оценить возможность применения методов машинного обучения на микроконтроллерах с ограниченными ресурсами и проанализировать как будет вести себя устройство после обучения: сравнить точность при использовании разных датасетов с показателями чистой математической модели. Сделать выводы о преимуществах и недостатках итоговой модели.

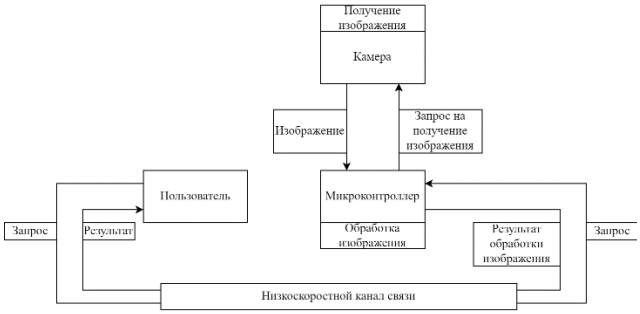


Рис. 1. Схема итогового устройства

Список литературы

1. Ray P. P. A review on TinyML: State-of-the-art and prospects //Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences. – 2021.
2. Banbury C. et al. Micronets: Neural network architectures for deploying tinyml applications on commodity microcontrollers. arXiv 2021 //arXiv preprint arXiv:2010.11267.
3. Hubara I. et al. Quantized neural networks: Training neural networks with low precision weights and activations //The Journal of Machine Learning Research. – 2017. – Т. 18. – №. 1. – С. 6869-6898.
4. Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С., Кирпичников А.П. Редукция нейросетевых моделей на основе метода двухэтапной генетической оптимизации // Вестник Казанского технологического университета. 2017. №9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/reduktsiya-neyrosetevyh-modeley-na-osnove-metoda-dvuhetapnoy-geneticheskoy-optimizatsii (дата обращения: 21.02.2022).
5. Емельянов С. О. и др. Методы аугментации обучающих выборок в задачах классификации изображений //Сенсорные системы. – 2018. – Т. 32. – №. 3. – С. 236–245.

ЦИКЛИЧЕСКИ ТОЧНАЯ МУЛЬТИ-ПЛИС ПЛАТФОРМА ДЛЯ УСКОРЕННОЙ ЭМУЛЯЦИИ МАСШТАБНЫХ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ

Лернер А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Прототипы масштабных Сетей на Кристалле (СтнК) часто тестируют на эмуляторах, состоящих из нескольких ПЛИС. Из-за ограниченного количества контактов на ПЛИС, обычно приходится жертвовать скоростью эмуляции или её точностью. В этой работе предлагается стратегия для разработки быстрого и циклически точного эмулятора для больших СтнК.

Введение

Текущие тренды в современной процессорной технологии указывают на переход с одноядерных вычислительных устройств на многоядерные системы. СтнК рассматриваются как перспективные структуры для организации и объединения множества процессорных ядер в единую вычислительную систему [1]. Они обеспечивают высокую масштабируемость, высокую пропускную способность и малое энергопотребление конечной системы. Благодаря этим преимуществам, СтнК получили широкое распространение и постепенно вытесняют традиционные решения с общей шиной.

Подсистему связи СтнК можно описать как группу маршрутизаторов, которые соединены между собой в соответствии с некоторой топологией. К каждому маршрутизатору привязано процессорное ядро, которое способно принимать или отправлять пакеты в подсистему связи сети. Разработка СтнК является сложным процессом, где требуется подобрать множество параметров для обеспечения максимальной производительности системы. По этой причине стадия верификации занимает наибольшее количество времени на этапе разработки СтнК.

Верификацию обычно проводят с помощью компьютерных приложений, на которых запускают эмуляцию модели СтнК. Такой подход имеет относительно низкую материальную стоимость, однако длительность верификации может оказаться существенной. Как показывает практика, верификация

больших СтнК может длиться от нескольких часов до нескольких дней [1, 2].

Длительность верификации может быть значительно сокращена за счет эмуляции СтнК на ПЛИС [1]. Модель СтнК (или ее подсистему связи [3]) загружают на ПЛИС, где проводится эмуляция ее работы. Такой подход значительно быстрее компьютерной эмуляции, но имеет свои недостатки. Если СтнК достаточно большая, её модель не поместится целиком даже на самые емкие ПЛИС. Таким образом, разработчики вынуждены разбивать СтнК на части и распределять её по нескольким взаимосвязанным ПЛИС [4]. Более того, часто приходится применять мультиплексоры, поскольку количество соединений между частями СтнК обычно превосходит количество свободных контактов на ПЛИС [4]. Присутствие подобных мультиплексоров приводит к замедлению эмуляции, так как требуются дополнительные такты для передачи всех необходимых данных через мультиплексор.

Проблему с замедлением можно обойти, пожертвовав циклической точностью эмулятора. Если позволить пакетам задержаться, СтнК продолжит работу без проблем, но циклическая точность будет нарушена. Такая эмуляция будет максимально быстрой, но не универсальной. Она непригодна для тех экспериментов, где результат чувствителен к латентности.

При разработке мульти-ПЛИС эмуляторов часто приходится выбирать между циклической точностью и скоростью эмуляции. Чем выше скорость эмуляции, тем короче процесс верификации, что желательно при разработке проекта. В данной работе представлена стратегия, с помощью которой можно разработать циклически точный эмулятор, скорость которого значительно превосходит существующие аналоги. Представленный метод легко масштабируем и пригоден для эмуляции больших СтнК.

Существующие решения

Решения, которые ставят циклическую точность эмуляции в приоритет, можно разбить на два типа: те, что используют мультиплексирование, и те, что мультиплексирование не используют. Ко второму типу относится работа [5]. В данной работе используются четыре ПЛИС для эмуляции СтнК размерностью 4x4. СтнК разбивается на четыре части с размерностью 2x2, и распределяется по ПЛИС. Связь между частями сети реализуется напрямую через контакты ПЛИС. Данное решение гарантирует максимальную скорость и циклическую точность эмуляции, но сильно ограничено своей областью применения. Поскольку связи между частями СтнК реализованы напрямую, для эмуляции требуется использовать ПЛИС с очень большим количеством контактов. Более того, все ПЛИС приходится располагать на одной многослойной плате, что не подходит для дальнейшего масштабирования. В худшем случае такой подход не позволит эмулировать СтнК больших размеров, так как контактов на ПЛИС просто не хватит.

К первому типу точных эмуляторов (которые используют мультиплексирование) можно отнести работы, которые пользуются такими известными коммерческими решениями, как HAPS, AUSPY и CERTIFY [6]. Данные инструменты позволяют пользователю автоматически разбить СтнК на несколько частей и организовать связь между ПЛИС. К сожалению, эти инструменты вынуждены замедлять процесс эмуляции из-за мультиплексирования. Более того, механизмы неспособны адаптироваться к динамичному характеру трафика в СтнК. Скорость эмуляции подобных решений можно аппроксимировать формулой ниже, где f_{FPGA} – частота синхросигнала ПЛИС, M_{MAX} – размерность самого большого мультиплексора в системе коммуникации.

$$f_{EMU} \sim \frac{f_{FPGA}}{M_{MAX}}$$

Решения, которые ставят скорость в приоритет, часто пользуются высокоскоростными линиями передач, такими как RocketIO. К таким решениям можно отнести работы [1, 4, 7–10]. В данных работах СтнК также разбивается на части и распределяется по ПЛИС-устройствам. Однако в этих случаях ПЛИС-устройства работают асинхронно на максимальной скорости. Пакеты, которые требуется передать соседней ПЛИС, попадают в специальный буфер, откуда они через какое-то время переносится по высокоскоростной линии в буфер соседней ПЛИС. После попадания в этот буфер, пакеты направляются к точкам назначения.

Подобные решения гарантируют максимальную скорость эмуляции. Благодаря высокоскоростным линиям, пропускная способность получается очень высокой. Латентность, однако, получается большой. К примеру, латентность передачи в работе [7] достигает сотен лишних циклов эмуляции, что не позволяет решению достигать циклической точности. Дополнительное преимущество подобных решений лежит в масштабируемости. Эмулятор можно легко увеличить, добавив дополнительные ПЛИС и высокоскоростные кабели.

Новое решение

В этом разделе представлен принцип построения быстрого и циклически точного эмулятора для больших СтнК. Скорость эмулятора может значительно превосходить аналоги, построенные на таких коммерческих решениях, как HAPS и CERTIFY.

Для достижения подобных результатов, данный эмулятор вносит два важных улучшения в общую структуру циклически точных эмуляторов: 1) Избавляется от общего синхросигнала. 2) Вводит адаптивное мультиплексирование.

Отсутствие общего синхросигнала позволяет эмулятору не только повысить скорость работы каждой ПЛИС, но и упростить масштабирование. Чтобы реализовать циклическую точность без общего синхросигнала, можно использовать синхронизацию swarm-sync, ранее не применявшуюся для СтнК эмуляции. При такой синхронизации каждый ПЛИС будет циклически выполнять следующие действия:

1. Высылать полезные граничные состояния своей СтнК всем соседним ПЛИС.

2. Ожидать получения граничных состояний СтнК от всех соседних ПЛИС.

3. Генерировать синхросигнал эмулятора и начинаеть новый цикл.

При таких условиях, все ПЛИС будут коллективно синхронизироваться друг с другом, эмулируя одну большую СтнК с циклической точностью (рис. 1, 2, 3).

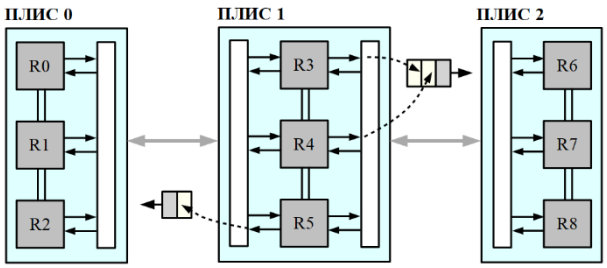


Рис.1. Первая стадия swarm-sync

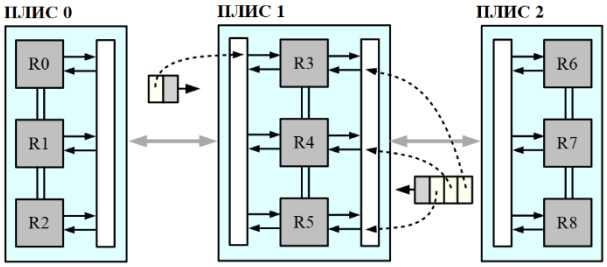


Рис.2. Вторая стадия swarm-sync

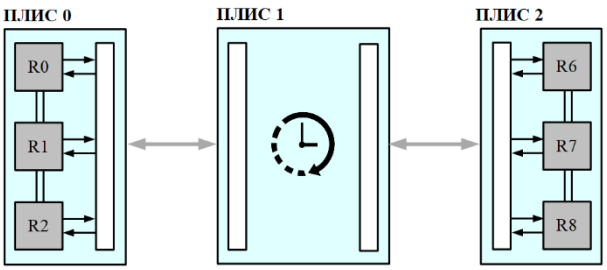


Рис.3. Третья стадия swarm-sync

На рисунках 1, 2 и 3 представлен эмулятор, с помощью которого тестируется СтнК размерностью 3x3. Эмулятор состоит из трех ПЛИС, на каждом из которых расположена часть СтнК с размерностью 3x1. На рисунке 1 изображена первая стадия синхронизации, где ПЛИС1 высылает соседям достоверные данные. В данном случае, достоверные данные присутствуют на правой части маршрутизаторов R3 и R4, а также на левой части маршрутизатора R5. На рисунке 2 изображена вторая стадия, где ПЛИС 1 ожидает получения пакетов с граничным состоянием от своих соседей. На рисунке 3 изображена третья стадия, где ПЛИС 1 генерирует синхросигнал эмуляции.

Адаптивное мультиплексирование применяется на первом этапе синхронизации. Механизм гарантирует, что посылаться будет только необходимая для эмуляции информация. Если граничное состояние СтнК недействительно, высылаться оно не будет. Такой прием может снизить время, которое ПЛИС тратит на передачу информации через мультиплексор.

Данное решение было смоделировано с помощью языков Python и Verilog. Результаты моделирования показали, что производительность представленного метода примерно в два раза выше, чем у коммерческих решений (например HAPS) при небольшом трафике. Ниже представлен результат экспериментов, где измерялось замедление эмулятора при разном количестве маршрутизаторов на ПЛИС (рис. 4). Замедление в данном случае определяется как отношение частоты синхросигнала ПЛИС к частоте синхросигнала эмуляции. В данном эксперименте ось X отражает количество маршрутизаторов на ПЛИС, расположенных по топологии квадратного mesh. ПЛИС также были соединены между собой по топологии квадратной mesh, как показывает легенда графика. Моделирование предсказывает, что эмуляция СтнК с размерностью 20x20 замедлится примерно в 10 раз, если ее равномерно разбить на 4 ПЛИС.

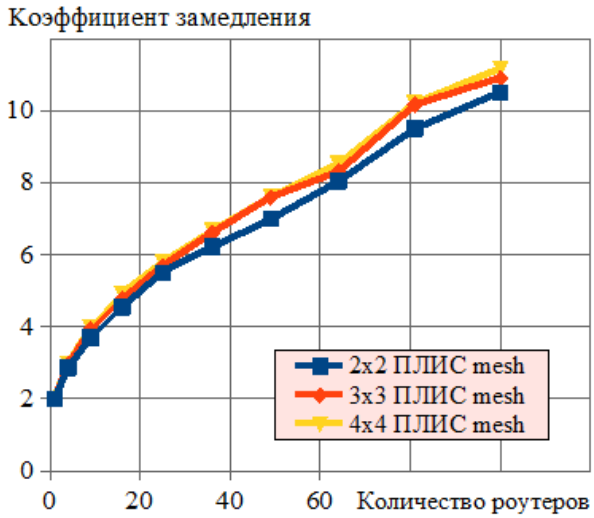


Рис.4. Замедление эмулятора в зависимости от *размерности СтнК на ПЛИС*

Заключение

Результаты моделирования показали, что при небольшом трафике СтнК, данная стратегия эмуляции превосходит по производительности циклически точные аналоги. Более того, количество ПЛИС в данном решении слабо влияет на коэффициент замедления эмулятора, что положительно сказывается на масштабируемости.

Список литературы

1. Kouadri-Mostefaoui A., Senouci B., Petrot F. Scalable Multi-FPGA Platform for Networks-On-Chip Emulation // 2007 IEEE International Conference on Application-specific Systems (ASAP). 2007. P. 54-60.

2. Romanov A., Ivannikov A. SystemC Language Usage as the Alternative to the HDL and High-level Modeling for NoC Simulation // International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems (IJERTCS). 2018. No. 2(9). P. 18–31.

3. Лежнев Е.В. Автоматизация низкоуровневого моделирования сетей на кристалле // Проблемы раз-

работки перспективных микро- и наноэлектронных систем. 2021. № 1. С. 46–50.

4. Dorai A., Sentieys O., Dubois H. Evaluation of NoC on multi-FPGA interconnection using GTX transceiver // ICECS 2017 - 24th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. 2018. P. 170–173.

5. Liu Y., Liu P., Jiang Y., Yang M., Wu K., Wang W., Yao Q. Building a multi-fpga-based emulation framework to support networks-on-chip design and Verification // International Journal of Electronics. 2010. Vol. 97. No. 10. P. 1241–1262.

6. Farooq U., Alzahrani B. Exploring and optimizing partitioning of large designs for multi-FPGA based prototyping platforms // Computing. 2020. Vol. 102. No. 11. P. 2361–2383.

7. Abdellah-Medjadji K.M., Senouci B., Petrot F. Large scale on-chip networks: An accurate multi-FPGA emulation platform // Proceedings - 11th EUROMICRO Conference on Digital System Design Architectures, Methods and Tools, DSD 2008. 2008. P. 3–9.

8. Dorai A., Fresse V., Combes C., Bourennane E.B., Mtibaa A. A collision management structure for NoC deployment on multi-FPGA // Microprocessors and Microsystems. 2017. No. 49. P. 28–43.

9. Dreschmann M., Heisswolf J., Geiger M., Becker J., HauBecker M. A framework for multi-FPGA interconnection using multi gigabit transceivers // 2015 28th Symposium on Integrated Circuits and Systems Design (SBCCI). 2015. P. 1–6.

10. Tan J., Fresse V., Rousseau F. Rapid prototyping of networks-on-chip on multi-FPGA platforms // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 54. P. 12002.

ОНЛАЙН-СЕРВИС ДЛЯ ПЕРЕВОДА ЧЕРНО-БЕЛЫХ ИЗБРАЖЕНИЙ В ЦВЕТНЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Малчевская К.А.
Национальный исследовательский институт «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается методология и процесс создания онлайн-сервиса для перевода черно-белых изображений в цветные с использованием элементов искусственного интеллекта. Данное исследование проводится в рамках работы над выпускной квалификационной работой по одноименной теме.

Введение

В условиях глобальной цифровизации все более актуальной становится задача повышения эффективности процесса обработки изображений. Автоматизации данного процесса возможна с помощью применения искусственного интеллекта [1].

Использование методов машинного обучения возможно во многих областях науки и жизни человека [2]. Применяя искусственный интеллект, можно добиться повышения скорости и качества работы над изображениями.

Данная тема является актуальной поскольку в настоящее время происходит автоматизация многих процессов, включая работу с изображениями. Использование готовых решений с элементами искусственного интеллекта и, в частности, компьютерного зрения позволяет пользователю обходиться без специфических знаний сферы и навыков работы в существующих программах для обработки фотографий, кроме того, существенно экономить время. Также на данный момент все шире используются онлайн-сервисы для решения тех или иных задач [3], практически у любого человека есть доступ в интернет и опыт работы с веб-приложениями. Так, любой человек, нуждающийся в обработке изображения, сможет получить итоговый результат, прилагая минимум усилий.

Таким образом, целью работы является создание онлайн-сервиса для перевода изображений черно-белых в цветные с использованием элементов искусственного интеллекта. В данной работе проведен обзор литературы по теме разработки, аналогов разрабатываемого приложения, а также приведено предлагаемое решение для достижения поставленной цели.

Обзор литературы

На данный момент существует множество исследований и разработок по теме искусственного интеллекта и онлайн-сервисов. Так, в статье [4] рассматриваются различные методы колоризации изображений. В ходе данного исследования алгоритмы были протестированы по следующим критериям: отношение пикового сигнала к шуму, индекс структурного сходства, красочность. Было выявлено превосходство методов, использующих глубокое обучение перед методами, требующими вмешательства человека. Авторы считают, что существующие методы глубокого обучения колоризации могут быть усилены тщательным подбором параметров обучения, таких как количество слоев, количество эпох и скорость обучения, для достижения баланса между временем обучения и сложностью структуры нейронной сети.

Также в статье [5] был предложен алгоритм, использующий двухканальную управляемую генеративную состязательную сеть. Такая сеть состоит из двух модулей: модуль согласования эталонных компонентов для выбора подходящих эталонных цветовых компонентов в качестве вспомогательной информации на входе и модуль двухканальной управляемой колоризации для изучения отношений отображения от шкалы серого к каждому цветовому каналу с помощью эталонных цветовых компонентов. Решение, предложенное авторами статьи, позволяет избежать проблемы появления несвойственных объектам на фотографии цветов. Кроме того, модель показывает превосходство в скорости работы, уменьшая время, затрачиваемое на обработку одного изображения, до 1,33 секунды.

Так как описываемая разработка представляет собой не только рабочую программу для перевода черно-белых изображений в цветные, но и онлайн-

сервис для ее использования, необходимо также оценить ход разработки веб-приложения.

Авторы статьи [6] рассказывают о построении структуры веб-приложения, использующего машинное обучение. В данной статье описываются аспекты построения визуальной, серверной частей приложения, а также использование баз данных и машинного обучения для выполнения пользовательских требований. Кроме того, отмечаются проблемы, возникающие при проектировании такого рода приложений.

В статье [7] говорится о важности дизайна веб-приложений. Дизайн пользовательского интерфейса, направленный на удовлетворение потребностей пользователей, играет роль, которую сложно переоценить. В данной статье приводятся критерии проектирования для создания эффективных веб-приложений, такие как понимание разработчиками нужд конечного пользователя, хорошая структуризация приложения, простота использования, продуманные пользовательские шаги. Авторы статьи утверждают, что при создании дизайна веб-приложений необходимо учитывать культурные особенности, цели и желания конечных пользователей, а также обращать внимание на эффективность работы с проектируемым онлайн-сервисом.

Также был проведен обзор аналогов разрабатываемого веб-приложения, таких как Algorithmia [8]. Данный веб-сайт дает возможность перевода черно-белого изображения в цветное, однако требует регистрации пользователя и дальнейшей оплаты сервиса, как и аналоги. Кроме того, большая часть найденных сервисов – это англоязычные веб-сайты, вследствие чего затрудняется работа русскоязычного пользователя с ними. Также существует алгоритмы для перевода черно-белых изображений в цветные, описанные выше, однако они являются программными алгоритмами и не предоставляют возможности использования пользователем, не имеющим знаний в области машинного обучения.

Предлагаемое решение

На основе анализа литературы можно сделать вывод, что новизна данной работы заключается именно в совмещении работы алгоритмов машинного обучения и онлайн-сервиса для комфортной работы пользователя без знаний в сферах машинного обучения и обработки изображений. Кроме того, онлайн-сервис реализован на русском языке и будет доступен любому пользователю бесплатно.

После проведения обзора литературы и анализа существующих аналогов, были выявлены необходимые требования к разрабатываемому онлайн-сервису и средства, позволяющие осуществить такого рода разработку.

Выбор и обоснование алгоритмического языка и средств разработки является немаловажной задачей. Так как реализуемое веб-приложение использует элементы искусственного интеллекта, требуется тщательно оценить существующие языки разработки и фреймворки. Не все из них подходят для такого вида разработок ввиду программных ограничений. Также было оценено удобство работы с тем или иным средством, его доступность и объем существующей документации.

Для реализации front-end составляющей веб-приложения был выбран фреймворк React.JS, так как он нацелен не только на обеспечение лучшего взаимодействия с пользователем, но и на высокоскоростную разработку веб-сайтов с высокими показателями надежности. Данная библиотека основана на компонентном подходе построения веб-приложений, используется для разработки интерактивных пользовательских интерфейсов, позволяет создавать крупные веб-приложения с большим функционалом. React самостоятельно решает, какие именно обновления необходимо произвести на странице при совершении пользователем различных действий с контентом. Кроме того, был выбран язык TypeScript, типизированное надмножество, расширяющее возможности JavaScript. TypeScript дает возможность явного статического назначения типов, использования полноценных классов, а также подключения модулей, что повышает скорость разработки, улучшает читаемость, облегчает рефакторинг и повторное использование кода, помогает избежать ошибок при написании веб-приложения.

При создании нейросети для перевода черно-белых изображений в цветные используется язык программирования Python, как стандарт для исследовательских, интерактивных и ориентированных на вычисления разработок. Ввиду этого для создания back-end части онлайн-сервиса был выбран фреймворк Django, реализованный на Python, который позволяет комфортно интегрировать алгоритмы машинного обучения, а также базы данных с веб-интерфейсом сервиса.

В качестве системы базы данных предлагается PostgreSQL, которая проста в использовании и поддерживается множеством платформ. Данная система обладает гибкостью, содержит простые типы данных, имеет возможность создания динамических запросов, эти особенности делают PostgreSQL оптимальным решением для использования в разработке онлайн-сервисов.

Ниже (рис.) приведена предлагаемая структура онлайн-сервиса, описывающая его составляющие и связи между ними.

Для корректной работы сервиса необходимо провести сборку обучающей выборки, разработку и обучение нейронной сети. Сборка обучающей выборки проводилась в сети Интернет, среди доступных для свободного использования изображений. Обучение нейронной сети на собранной выборке с помощью больших вычислительных мощностей приводит к высокой точности алгоритма. Разработка нейронной сети проводится на основании существующих и описанных ранее алгоритмов, так как нейронные сети имеют возможность и нуждаются в постоянной эволюции.

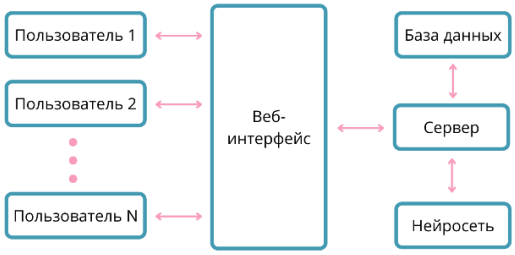


Рис.1. Структура приложения

При реализации алгоритма машинного обучения применяется подход, использующий цветовое пространство CIELAB вместо привычного RGB. Данная модель использует три параметра: L – яркость изображения, a – параметр, описывающий изменения цвета от темно-зеленого до пурпурного, b – от синего до желтого. Пространство LAB однозначно определяет цвет, кроме того изменения цвета в нем является более линейным с точки зрения человеческого восприятия. Использование данного цветового пространства позволяет модели машинного обучения предсказывать только два параметра – a и b, так как яркость берется из изначального черно-белого изображения. Данный подход существенно повышает точность алгоритма. Ниже (рис.) представлен результат работы созданной нейросети.



Рис.2. Результаты перевода изображения

Как можно увидеть, перевод изображения проходит успешно, полученное цветное изображение выглядит натурально. На данный момент проводится оптимизация качества итогового изображения, для достижения нужного пользователям результата.

Заключение

В данной работе описан принцип построения онлайн-сервиса для перевода черно-белых изображений в цветные с использованием элементов искусственного интеллекта. Было проведено исследование возможных методов реализации цели и выявлены наиболее подходящие из них. Данная работа представляет описание способов разработки комфортного пользователю приложения, решающего проблему трудоемкого процесса раскраски изображений вручную.

Стоит добавить, что существуют различные варианты развития данного приложения, путем расширения доступных пользователю функций. Данный сервис может быть развит в многофункциональное приложение обработки фотографий, с добавлением опций выделения и вырезания объектов, замены фона, накладывания фильтров на изображения. Более того, он может быть экстраполирован в приложение для работы, не только с фото, но и с видеоматериалами.

Список литературы

1. Симанков В.С., Теплоухов С.В., Аналитическое исследование методов и алгоритмов искусственного интеллекта // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки, 2020. – Вып. 3. – С. 16-25.

2. Юдина, Т. Н., Инновации в области технологий искусственного интеллекта: история и перспективы // Как искусственный интеллект меняет нашу повседневную жизнь? : материалы XXV Социологических чтений РГСУ – М. : Российский государственный социальный университет, 2020. – С. 24-37.

3. Итинсон К. С., WEB 1.0, WEB 2.0, WEB 3.0: этапы развития веб-технологий и их влияние на образование // Карельский Научный Журнал, 2020. – Т. 9, Вып. 1. – С. 19-21.

4. Žeger, I., Grgic S., Vuković J., Šišul G., Grayscale Image Colorization Methods: Overview and Evaluation // IEEE Access – 2021. – Vol. 9. – P. 113326-113346.

5. Du, K., Liu, C., Cao, L., Guo, Y., Zhang, F., Wang, T., Double-Channel Guided Generative Adversarial Network for Image Colorization // IEEE Access – 2021. – Vol. 9. – P. 21604-21617.

6. Verma, A., Kapoor, C., Sharma, A., Mishra, B., Web Application Implementation with Machine Learning // 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management – 2021. – P. 423-428.

7. Kiruthika, J., Khaddaj, S., Greenhill, D., Francik, J., User Experience Design in Web Applications // 2016 IEEE Intl Conference on Computational Science and Engineering – 2016. – P. 642-646.

8. Colorful Image Colorization – URL: https://algorithmia.com/algorithms/deeplearning/ColorfulImageColorization (дата обращения: 12.12.2021).

ПРОГРАММНЫЙ СИМУЛЯТОР DEC9 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИРКУЛЯНТНЫХ СЕТЕЙ НА КРИСТАЛЛЕ

Раджабов Ф.Р., Американов А.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Цель данной работы – исследование и модификация высокоуровневой модели настраиваемой сети на кристалле (СтнК) Dec9, для обеспечения возможности моделирования и исследования циркулянтных топологий.

Введение

Многопроцессорные систем на кристалле, узлы которых объединены общей подсистемой связи, состоящей из маршрутизаторов и каналов связи между

ними, называются сетями на кристалле (СтнК) [1]. Поиск топологий и алгоритмов маршрутизации, повышающих производительность вычислительной системы из более чем 100 узлов, является актуальной задачей [2].

Известно, что классические сетевые топологии (mesh, torus, hypercube, spidergon) не всегда подходят для проектирования высокопроизводительных систем с большим количеством узлов. При этом, использование циркулянтных топологий позволяет получить лучшие характеристики производительности сети с сохранением регулярной структуры сети [2-4].

Таким образом, перед нами стоит задача исследования: выбор и последующая модификации симулятора для моделирования циркулянтных сетей.

Выбор высокоуровневых моделей СтнК

Подбор высокоуровневых моделей СтнК для исследований характеристик и модификации является нетривиальной задачей. Многие инструменты содержат ошибки и недокументированные проблемы. Но даже, если симулятор оказывается «рабочим», остается проблема достижения правильного баланса между уровнем абстракции данных и представления СтнК, а также точностью результатов и скоростью моделирования.

Низкоуровневый подход делает сложным (даже невозможным в некоторых случаях) мониторинг параметров СтнК, таких как использование канала, горячие точки и т.д. А использование более широкого диапазона топологий и механизмов маршрутизации затруднено необходимостью переписывания той части кода, которая генерирует описание уровня HDL.

Высокий уровень абстракции и сложность симуляторов второго типа затрудняют оперативную оценку таких функций, как различные топологии, переменный размер буферов для маршрутизаторов, использование каналов и стратегии маршрутизации.

В этом контексте актуальны инструменты моделирования, предназначенные для преодоления разрыва между подходами моделирования низкого и высокого уровня. Их можно использовать самостоятельно или как дополнение к другим инструментам.

Одним из таких инструментов является симулятор DEC9 [5-6], который обращается к оценке производительности СтнК на ранней стадии проектирования, не требуя подробного представления моделируемого СтнК, и позволяет сравнивать различные архитектуры и стратегии маршрутизации на основе множества наборов данных, использовать протоколы связи в единой среде. Исходный код этого инструмента общедоступен и может быть загружен с [6].

Симулятор DEC9

Модель симулятора построена на предположении, что инфраструктура СтнК состоит из двух основных типов компонентов: маршрутизаторов (коммутаторов) и каналов. Третий компонент – модуль IP (Intellectual Property cores), – используется для коммуникации функциональных ядер СтнК. Эти компоненты могут быть соединены вместе для создания СтнК произвольной топологии и размера. Структура среды моделирования представлена на рис. 1.

Ядром симулятора является движок симуляции, разработанный на Java, который обрабатывает сообщения на уровне флитов, реализует политику маршрутизации и управление потоком, а также собирает данные измерений.

Информация о топологии СтнК и политике маршрутизации содержится в двух разных входных файлах *topology.xml* и *routing.xml* (далее – *settings.xml* и *rsettings.xml*). Соответствующие данные извлекаются анализатором XML и передаются механизму моделирования. Информация о входящем трафике СтнК определяется в текстовом формате, и соответствующий текстовый файл (*traffic.txt*) читается во время моделирования. Пакеты данных создаются симулятором в соответствии с описанием трафика в этом файле. Наконец, информация о состоянии и данные измерений симуляции записываются в файл *output.txt*.

Сообщения перемещаются из входного файла трафика во внутреннюю очередь связи IP-ядра ровно за один смоделированный тактовый цикл. Оттуда данные перемещаются в выходной порт IP-ядра за смоделированный тактовый цикл (если в выходных буферах IP-ядра есть свободное место).

Модель коммутации СтнК основана на конвейерной модели [7]. По умолчанию используется трехступенчатый конвейер, соответствующий схеме буферизации ввода / вывода, показанной на рис. 2.

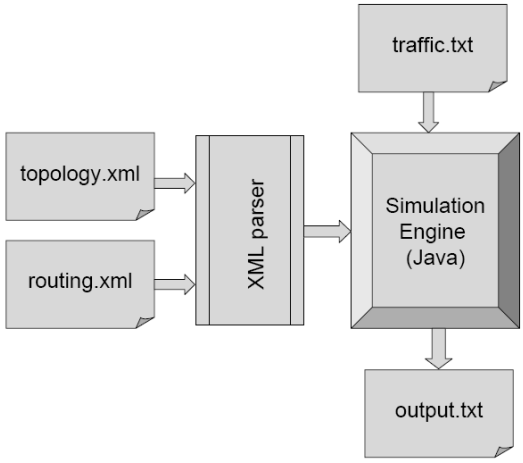


Рис.1. Схема моделирования Dec9 [5]

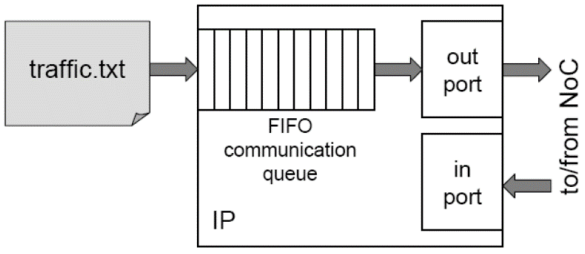


Рис.2. Ввод / извлечение данных происходит в / из их портов вывода / ввода [5]

Описание модификации DEC9

Определение параметров настройки симулятора происходит через конфигурационные файлы формата XML и файл входного трафика формата TXT, из них определенным образом читаются данные и производится инициализация соответствующих переменных.

Было разработано ПО на языке Python 3 для подготовки входных конфигурационных файлов формата XML для топологии Mesh nxn и циркулянтной топологии порядка 2 и 3, а также для генерации входных файлов трафика с заданной скоростью генерации трафика.

Описание IP-модулей и коммутаторов включает описание их портов, контроль за корректными связями свитчей потребовал создания класса *Switch*, в котором порты коммутаторов представлены как структура данных Queue (FIFO).

Конфигурационный файл с описанием топологии *settings.xml* создается на основе текстового файла *links.txt*, содержащего списки смежности графа топологии, а файл маршрутизации *rsettings.xml* – на основе файла *settings.xml* и файла, в котором заданы кратчайшие маршруты между каждой парой узлов графа топологии – *rinks.txt*. Это сделано для удобства отладки и поиска проблем запуска симулятора.

Для генерации файла топологии Mesh nxn на вход программы надо подать размерность n. Для генерации циркулянтной топологии на входе программы необходимо ввести количество вершин и строку образующих.

Для сравнительного анализа различных топологий представляется необходимым программная генерация множества файлов трафика с заданными параметрами. На входе программы следует указать количество файлов n, количество IP-модулей – ip_count, число циклов (cycles), начальное значение частоты генерации сообщений (injrate), шаг изменения (dingr) и длину сообщения (msglength).

Также было разработано ПО для чтения и расчета показателей средней скорости приема пакетов (Throughput) и средней задержки передачи пакетов (Latency) по выходным файлам симуляции.

Эксперименты и выводы

Сравнение модели Mesh 10x10 с моделями C(100;1,18) и C(100; 1, 5, 8) проводилось при следующих параметрах:

− Длина пакета – 10 флитов;

− Период выборки – 1000 циклов;

− Количество виртуальных каналов – 14;

− Тип трафика – неравномерный (случайный);

− Скорость генерации трафика – от 0,002 до 0,154 с шагом 0,008.

Результаты моделирования Mesh 10x10 и C(100; 1, 5,8) представлены графиками ниже.

Из графика на рис. 3 видно, что скорость приема пакетов для Mesh 10x10 росла до значения 4 сообщения на цикл, а потом снизилась и стабилизировалась на уровне 2,7. У модели циркулянта C (100;1,5,8) скорость приема сообщений выше, чем у Mesh, начиная со значений Injection rate, больших 0,05; она продолжает расти и стабилизируется на уровне 9,4 сообщений на цикл.

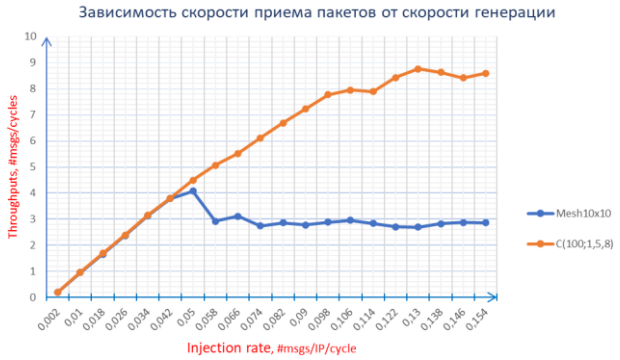


Рис.3. Зависимость скорости приема пакетов от скорости генерации

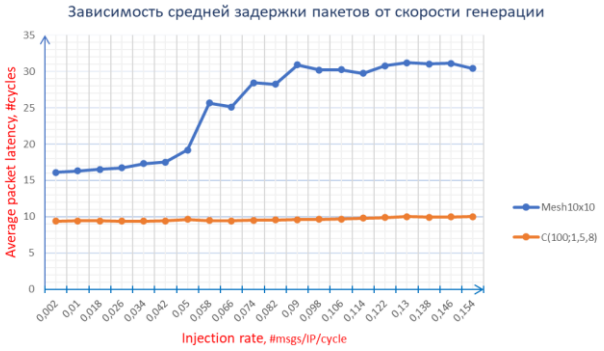


Рис.4. Зависимость средней задержки пакетов от скорости генерации

По рис. 4 можно отметить, что средняя задержка приема сообщений растет до стабилизации: для Mesh10x10 – на уровне 31 цикл, а для C(100; 1,5,8) – остается почти постоянной – на уровне 10 циклов, что существенно ниже, чем у Mesh.

Полученные результаты доказывают преимущества использования циркулянтных топологий для моделирования СтнК по сравнению с Mesh10x10 и подтверждают полученные ранее результаты.

Заключение

Задачей исследования было использовать для модификации высокоуровневый и, при этом, гибкий симулятор для моделирования и сравнительного анализа различных топологий.

Выбор симулятора Dec9 сделал возможным запуск и исследование любой топологии: регулярной или нерегулярной (в случае специализированных сетей на кристалле). Полезной особенностью данного симулятора оказалась также возможность работы с различными источниками трафика: оперативных генераторов реактивного трафика или поведенческих моделей элементов обработки реального приложения.

Было создано ПО для генерации конфигурационных файлов формата XML и файлов трафика для симулятора DEC9 топологии Mesh nxn и циркулянтов 2 и 3 порядков. Продуктивным оказалось и ПО для расчета сетевых характеристик на основе выходных файлов симуляции. Проведены эксперименты с различными параметрами моделей.

Здесь представлен анализ сравнения топологий Mesh 10x10 и C(100;1,5,8) по зависимости средней скорости приема пакетов и средней задержки пакетов от скорости генерации пакетов.

Данные результаты подтверждают полученные ранее результаты и демонстрируют высокую эффективность использования циркулянтных топологий в качестве основы сетей на кристалле.

Список литературы

1. Romanov A. SystemC Language Usage as the Alternative to the HDL and High-level Modeling for NoC Simulation // International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems. – Vol. 9. – No. 2. – IGI Global publishing, 2018. – P. 18–31.
2. Romanov A., Lezhnev E., Amerikanov A. Modification of the BookSim simulator for modeling networks-on-chip based on two dimensional circulant topologies // Proceedings of the 6th International Conference Actual Problems of System and Software Engineering (APSSE). – Vol. 2514. – CEUR-WS, 2019. – Ch. 107. – P. 182–192.
3. Э.А. Монахова. Структурные и коммуникативные свойства циркулянтных сетей // Прикладная дискретная математика. 2011. № 3 (13). С. 92–115.
4. Thid R., Millberg M., Jantsch A. Evaluating. NoC communication backbones with simulation // Proceedings of the 21th NorChip Conference. – IEEE, 2003. – P. 27–30.
5. Cristian Grecu, André Ivanov, Resve Saleh, Claudia Rusu, Lorena Anghel, Partha P. Pande, Vasile Nuca. A Flexible Network-on-Chip Simulator for Early Design Space Exploration – URL: https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.466.9977&rep=rep1&type=pdf (дата обращения 01.03.2022).
6. Исходный код симулятора DEC9. – URL: http://www.ece.ubc.ca/~grecuc/simulator (дата обращения 01.03.2022).
7. P.P. Pande, C. Grecu, M. Jones, A. Ivanov, R. Saleh. Performance evaluation and design trade-offs for network-on-chip interconnect architectures // IEEE Transactions on Computers. – IEEE, 2005. – Vol. 54, Issue 8. – P 1025-1040.

ДИСТАНЦИОННЫЙ СТЕНД ДЛЯ УДАЛЕННОЙ РАБОТЫ С ОБОРУДОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ INTEL FPGA-DEVCLOUD REMOTE DEVELOPMENT ENVIRONMENTS

Дюндик Д.А. [1]***, Маршутина Е.Н.*** [2]***,***
Шошина А.А. [1]***, Макагонова В.Д.*** [2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]***департамент прикладной математики,***
[2]***департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ***

Аннотация

В данной работе был описан новый подход к организации удаленной работы с оборудованием УЛ САПР, а также проведено сравнение с использующимися в данный момент способами. Вдобавок, проведено исследование существующих удаленных лабораторий, их проблем и преимуществ, а также рассмотрены задачи, при реализации которых выполняется заявленная цель – настройка инфраструктуры для работы фреймворка Intel FPGA DevCloud Remote Development Environments на оборудовании лаборатории и адаптация работы стенда для выполнения проводимых там лабораторных практикумов.

Введение

В последние годы онлайн-образование для студентов стало особенно актуально, благодаря постоянно и неуклонно развивающемуся техническому прогрессу появляется огромное количество дистанционных платформ и все больше возможностей для получения новых знаний, в том числе и практических навыков. Лаборатории, которые позволяют воспользоваться различными платами, физическими установками и другим программным и аппаратным оборудованием востребованы студентами, чье образовательное направление напрямую связано с электроникой, машиностроением или вычислительной техникой. Образовательные организации по всему миру создают и развивают удаленные лаборатории, поскольку существует ограниченность финансового обеспечения для функционирования физических лабораторий.

В выполненном обзоре литературы рассматриваются способы развертывания различных удаленных лабораторий.

Обзор литературы

В настоящее время традиционные методы получения знаний теряют свою эффективность, современное образование предполагает поиск новых средств обучения. Виртуальные и дистанционные лаборатории буквально стали неотъемлемой частью образовательного процесса, поскольку информационные технологии обучения позволяют повысить эффективность практических и лабораторных занятий не менее, чем на 30%, а объективность кон-

троля знаний студентов – на 20% [1].

Находящийся в центре внимания проекта фреймворк Intel DevCloud является универсальной платформой для тестирования производительности моделей искусственного интеллекта (ИИ) на процессорах Intel [2]. Он представляет собой облачную службу, размещенную на сервере Intel, с процессорами Intel XEON и картами ускорения FPGA. На платформе предусмотрены инструменты разработки Quartus Prime Lite/Prime Pro, что лежит в основе выполнения практикумов в учебной лаборатории САПР МИЭМ НИУ ВШЭ.

Предлагаемое решение

В связи с насыщенным учебным планом дисциплин специализации «Системы автоматизированного проектирования» ИВТ МИЭМ и настоящей эпидемиологической обстановкой обеспечение удаленного доступа к необходимому оборудованию является крайне актуальным вопросом. Одним из путей его решения является использование разработанного компанией Intel имитатора платы DE1-SoC – DESim, который позволяет загружать на него написанный на языке Verilog код и демонстрирует его работу, давая пользователю возможность взаимодействовать со всеми элементами платы в онлайн режиме [3]. В этом ключе требуется адаптировать все проводимые в УЛ САПР лабораторные практикумы под данное программное обеспечение, а также создать методические материалы по работе с ним на русском языке.

Предлагаемый подход в корне отличается от стандартного способа работы с платами вживую, ведь он не требует задействия дополнительных материальных ресурсов – все взаимодействие с элементами платы происходит через интерфейс имитатора. Его внедрение в учебный процесс позволит студентам, учащимся на вышеупомянутой специализации, и/или принимающим участие в проектах, где необходима работа с платами ПЛИС, проверять работоспособность своих программ заранее и прямо с ПК, т. е. без непосредственного посещения учебной лаборатории и использования реальных плат. Данное обстоятельство является несомненным преимуществом метода и будет иметь крайне положительный эффект на проведение практикумов. В частности, это позволит выйти из ситуации, когда просто не хватает свободной платы ПЛИС для проверки своего решения или же демонстрации выполнения лабораторной работы преподавателю. Однако, конечно, описанный подход не может в полной мере заменить работу на физическом оборудовании, которая подразумевает подключение проводов, периферии, назначение пинов и загрузку Verilog кода на плату средствами разработки Quartus Prime, что является его слабой стороной. Вдобавок, метод базируется на разработке иностранной компании Intel, что ставит пользователей в зависимость от разработчиков, и в случае изъятия ПО из публичного доступа, теряется возможность его применения.

Тем не менее, у описываемого подхода есть еще пара преимуществ. Первое из них касается безопасности взаимодействия. Дело в том, что в настоящий момент в УЛ САПР уже реализован вариант удаленного стенда, но он, во-первых, как и способ работы вживую, задействует физические платы, а во-вторых, подвергает опасности данные, хранящиеся на лабораторных компьютерах.

Принцип работы данного стенда состоит в следующем. Пользователь, находясь вне лаборатории, подключается через программу AnyDesk с персонального компьютера к лабораторному. Тот, в свою очередь, уже подключен к плате ПЛИС, а над ней установлена камера, по видеопотоку с которой можно наблюдать за платой, как если бы пользователь находился рядом с ней и работал бы с напрямую подключенного компьютера. Данный способ является крайне небезопасным, т. к. появляется угроза изменения и порчи важных данных, ведь использование в работе Anydesk дает пользователю полный доступ к ресурсам компьютера, через который выполняется подключение к стенду. Использование же имитатора платы DESim не подвергает пользователей такой угрозе нарушения безопасности, поскольку подразумевает запуск ПО только на своем ПК. Похожим образом проблему позволяет решить другая разработка Intel – удаленный терминал Remote Console, предоставляя функции другой платы, а именно, DE10-Lite [4], но он не был задействован в рамках данной разработки.

Второе из преимуществ подхода кроется в отсутствии необходимости экономических вложений: он избавляет не только от приобретения дорогостоящего оборудования, но и от его обслуживания.

Заключительным этапом работы станет интеграция удаленной лаборатории в учебный процесс МИЭМ. Будет проводиться отладка работы лаборатории в условиях университета, написание инструкций по подключению и анализ отзывов студентов и преподавателей для улучшения работы удаленной лаборатории и её адаптации в полной мере.

Заключение

Обеспечение возможности удаленный работы с оборудованием на основе виртуальной лаборатории Intel FPGA-Devcloud Remote Development Environments является актуальной задачей. Предполагается, что в результате внедрения данного продукта будет снижена нагрузка на учебную лабораторию, повышена эффективность практикумов и интерес студентов к созданию собственных проектов с использованием удаленного стенда, а также будет обеспечен постоянный доступ к платам ПЛИС.

Список литературы

1. Применение возможностей виртуальных лабораторий в учебном процессе технического вуза | Статья в журнале «Молодой ученый» [Электронный ресурс]. URL: https://moluch.ru/archive/108/25945/ (дата обращения: 06.03.2022).

2. FPGA-Devcloud/Devcloud_Overview_Lab_Manual.pdf at mas-

ter · intel/FPGA-Devcloud · GitHub [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/intel/FPGA-Devcloud/blob/master/main/QuickStartGuides/Workshop_Devcloud_Access/Devcloud_Overview_Lab_Manual.pdf (дата обращения: 06.03.2022).

3. GitHub - fpgacademy/DESim [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/fpgacademy/DESim (дата обращения: 06.03.2022).

4. Release DE10-Lite HOL Materials · intel/FPGA-Devcloud · GitHub [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/intel/FPGA-Devcloud/releases/tag/DE10LiteRemoteConsole (дата обращения: 06.03.2022).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ SPLUNK

Матющенко А.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе проводится исследование возможностей платформы Splunk [1], рассматриваются количественные и качественные показатели, которые с ее помощью можно поставить на мониторинг. Дополнительно описываются алгоритм передачи данных в Splunk и особенности работы с системой.

Введение

С каждым годом на рынке, внутри крупных ИТ-компаний появляется все больше различных автоматизированных систем, приложений и компонент. Возможность контролировать состояния компонент приложений, прогнозировать моменты пиковых нагрузок на серверах, автоматизировать процесс контроля над ошибками в компонентах являются крайне полезными и важными опциями. Реализация системы мониторинга с использованием платформы Splunk позволяет осуществить поиск по данным в режиме реального времени, визуализировать полученную информацию в удобном для пользователя формате, сформировать отчеты и уведомления. Использование системы позволяет сократить время расследования инцидентов, уменьшить общее число инцидентов. Таким образом, целью представляемого проекта является повышение эффективности действий сотрудников отдела сопровождения при потенциальных инцидентах и улучшение качества их работы.

Описание архитектуры Splunk

На рис. 1 представлена архитектурная схема Splunk, состоящая из трех основных компонентов.



Рис.1. Архитектура системы мониторинга

К ним относятся, поисковая голова, которая служит в качестве единой консоли для поиска во всех хранилищах данных Splunk, индексеры, которые индексируют полученные данные и отправляют их в хранилище Splunk, и коллекторы, передающие все журналы данных различного формата индексерам.

Платформа позволяет осуществлять поиск как по данным в режиме реального времени, так и по архивным данным, упрощая сбор, анализ и работу с большим объемом данных, которые генерируются технологической инфраструктурой, системами безопасности и бизнес-приложениями. Осуществляя мониторинг и анализ всех действий, от выполнения транзакций до сетевых операций и событий в системе безопасности, Splunk помогает получить ценную аналитическую информацию из машинных данных. Общая терминология Splunk представлена в [2].

Сбор данных

В рамках данной работы было проведено ранжирование инфраструктурных и функциональных показателей, которые требуется поставить на мониторинг, по степени их влияния на работоспособность системы методом попарного сравнения. Результат ранжирования альтернатив:

1. Загруженность БД;
2. Доступность смежных систем;
3. Статус компонент сервера приложений;
4. Утилизация CPU, RAM;
5. Количество свободного места на серверах;
6. Просрочки сертификатов;
7. Статистика опоздавших данных;
8. Количество котировок за Т-1 до расчета;
9. Задержки в запросах;
10. Мониторинг успешных расчетов к расчету в смежной системе.

В рамках представленного проекта альтернативы 1-6 будут поставлены на мониторинг. После выбора показателей на языке Python были написаны скрипты, собирающие необходимые данные из систем и отправляющие их в Splunk в формате JSON. Splunk Enterprise содержит API-интерфейс JSON, основанный на токенах и не требующий сохранения учетных данных пользователя в коде или в настройках приложения. Таким образом аутентификация обрабатывается токенами, используемыми в API [3]. Стоит также отметить, что Splunk позволяет собирать дан-

ные, используя интерфейс HTTP Event Collector. Он представляет из себя API с конечной точкой, которую можно использовать для отправки данных журнала из приложений в Splunk Enterprise. В данной работе представленный метод передачи данных использовался при настройке мониторинга таких инфраструктурных метрик, как утилизация CPU, RAM, HDD. Перечисленные метрики передавались напрямую из Zabbix на сервер Splunk Enterprise без использования какого-либо средства пересылки. На рис. 2 представлена реализованная визуализация описанных инфраструктурных метрик.



Рис. 2. Визуализация данных в Splunk

Настройка мониторинга

Независимо от того, как были получены данные, Splunk индексирует их одинаково - без каких-либо специальных анализаторов или адаптеров для записи или обслуживания. Он хранит как исходные данные, так и расширенный индекс в эффективном, сжатом хранилище данных на основе файловой системы - с дополнительной подписью данных и аудитом, если нужно подтвердить целостность данных [4]. По индексированным данным производится поиск с помощью запросов на языке SPL [5] и тегов, связанных с конкретной ошибкой. Это позволяет изолировать собранные данные и сформировать отчет о событиях, связанных с конкретным набором ошибок. На основе результатов поиска «на лету» формируются отчеты, дашборды, включающие в себя интерактивные диаграммы, графики и таблицы, и оповещения об известных нежелательных событиях.

Научная составляющая проекта

Помимо постановки показателей на мониторинг данная работа подразумевает написание методики, описывающей возможные проблемы, связанные с увеличением использования ресурсов серверов, и варианты их решения. Она позволит сотруднику быстрее сориентироваться при сбое, отказе или нарушении функциональности. Применение разрабатываемой методики возможно только для систем, имеющих аналогичные структуру и характеристики. Методика не может быть использована для общего случая, без учета особенностей конкретной системы. Структурная схема автоматизированной системы представлена на рис. 3.

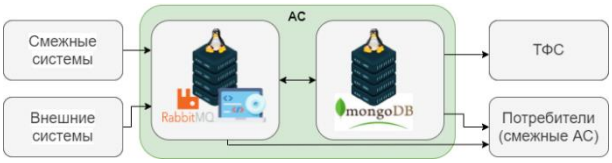


Рис.3. Структурная схема АС

На текущий момент в рамках данной задачи собрана статистика нагрузки на серверы с помощью системы Zabbix. Определены допустимые значения утилизации CPU и RAM, которые используются при настройке оповещений в ситуациях, требующих срочных действий сотрудников отдела сопровождения. Стоит отметить, что для этого не требуется самостоятельно рассчитывать предельные значения, Splunk определяет данную величину на основе исторических данных. В данный момент проводится дополнительный анализ собранной статистики методами корреляционного анализа с целью выявления связей между показателями. Выбранный подход позволит проанализировать состояние отдельных компонент нагрузки в той или иной ситуации и выявить общие закономерности.

Планируемые результаты

Результатом проекта должна стать система мониторинга, внедренная в рабочий процесс, а также методика, описывающая возможные проблемы, связанные с увеличением нагрузки на серверы, и пути их решения.

Заключение

Таким образом, создание системы мониторинга на базе платформы Splunk позволит видеть полную картину работоспособности автоматизированных систем в режиме реального времени, спрогнозировать сбои на основе исторических данных, как следствие, повысить операционные показатели и улучшить коммерческий результат отдела. В перспективе рассматривается автоматизация

Список литературы

1. Subramanian K. Introducing the Splunk Platform //Practical Splunk Search Processing Language. – Apress, Berkeley, CA, 2020. – С. 1-38.

2. Splunk Validated Architectures [Электронный ресурс]. - URL: https://www.splunk.com (дата обращения: 03.03.2022).

3. Mehta D. Advanced Data Input in Splunk //Splunk Certified Study Guide. – Apress, Berkeley, CA, 2021. – С. 213-241.

4. Krings M. Splunk Client User Guide [Электронный ресурс]. - URL: https://usermanual.wiki/ (дата обращения: 04.03.2022).

5. Carasso D. Exploring splunk. – New York : CITO Research, 2012.

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ СЕРВИСА ПРОВЕРКИ ОФОРМЛЕНИЯ И ФОРМАТИРОВАНИЯ ДОКУМЕНТОВ

Карманова К.А., Кудрявцева А.Г., Рыбникова В.В.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе представлено описание сервиса для проверки оформления и форматирования документов на базе Google Docs, который сможет обеспечить автоматическую проверку и исправление параметров оформления отчетов, публикаций и прочих электронных документов под стандартные и настраиваемые форматы. Сервис был разработан авторами настоящей работы.

Введение

В современном мире многие процессы стараются автоматизировать, и процесс подготовки и приема документов – не исключение. Наш сервис позволит автоматизировать приведение оформления документа под требования издательства, ГОСТ и индивидуальные пользовательские критерии, а также сможет проверить оформление документа по стандартным или настраиваемым критериям, после чего пользователь получит развернутую обратную связь о допущенных ошибках.

Актуальность направления

В наше время вся документация составляется в различных текстовых редакторах. Большая их часть позволяет задать оформление документа: поля, шрифт, заголовки и т. д. Однако проблема настройки оформления по различным шаблонам и стандартам остаётся актуальной и пой сей день [1]. В некоторых ситуациях пользователи пренебрегают правилами оформления, что затрудняет восприятие их работ.

В данной работе рассматривается создание вспомогательного сервиса для проверки оформления и форматирования Google Documents на основании стандартных наборов критериев оформления документов и личных критериев пользователя.

Аналоги разработки

Авторы [2] разработали приложение MAPDoc, позволяющее автоматизировать проверку оформления документа. Однако оно позволяет проверить оформление документа только в сравнении с заранее описанным шаблоном, который необходимо предоставить программе для работы. Эта особенность несколько снижает универсальность разработанного программного продукта, ведь если у пользователя не будет шаблона с настроенным оформлением, то он не сможет использовать это приложение, а самостоятельное составление шаблона отнимет у него количество времени, соизмеримое с ручной настройкой всех параметров оформления в документе.

Другой разработкой, позволяющей облегчить работу с документами, является [3]. Автор создал софт, который проверяет грамотность и стиль научного текста. Программа подсказывает пользователю, какие слова и термины можно использовать при написании научных работ и поправляет, если человек допустил стилевые ошибки. Эта программа является поистине потрясающим помощником при подготовке исследований, однако она совсем не затрагивает проверку и настройку множественных параметров оформления документа.

Инструментом, позволяющим проверить структуру файла, является разработка [4], однако она применима только для редакторов кода. Программа динамически изменяет структуру, автоматически добавляя отступы, пробелы и комментарии, добиваясь соответствия правилам оформления структуры программного файла. Авторы предполагают, что эта технология позволит сэкономить время программиста и избавит его от необходимости ручного форматирования кода, позволяя сосредоточиться лишь на его написании.

Наиболее близким аналогом разрабатываемого сервиса является [5]. Авторы создали онлайн сервис, основанный на собственной оригинальной методике, который позволяет автоматически проверить оформление документа по ряду критериев. Данная разработка предполагает работу с документами в формате docx, которые пользователи должны загружать на сервер. У авторов достаточно сложная реализация проверки оформления, написанная с применением машинного обучения. При поддержании работы и развитии такой системы в будущем могут возникнуть проблемы в связи со спецификой необходимых для понимания работы сервиса знаний, что затруднит использование сервиса. В статье сказано, что сервис предоставляет возможность выбора требований, по которым будет производиться проверка, но не уточнено может ли пользователь создать свой набор критериев или же только выбирать из предложенных стандартов. Описанная методология подразумевает только проверку оформления, но не предоставляет возможность автоматического исправления документа в соответствии с требованиями. Причем, учитывая, что авторы создали онлайн сервис, то использование исключительно файлов docx несколько старомодно, поскольку сейчас в среде обучения начинают использовать системы, подразумевающие коллективный доступ студентов и преподавателей. В исследовании [6] студенты оценили Google Docs как более эффективную платформу, чем MS Word, в силу интерактивного взаимодействия с преподавателем и сокурсниками. Аспиранты отметили возможность одновременно получать отзывы от руководителя и редактировать текст.

Анализ литературы показал, что разработки, созданные в сфере автоматизации проверки и исправления оформления документов, отличаются от разрабатываемого сервиса, но имеют некоторые общие аспекты. Можно сделать вывод, что разрабатываемый сервис уникален в силу своего расширенного относи-

тельно аналогов функционала и поддержки именно Google документов, актуальных в наше время.

Предлагаемое решение

Разрабатываемый сервис позволяет облегчить задачу форматирования документа техническим писателям, авторам научных статей и публикаций, а также любому пользователю, которому требуется оформить документ по строгим критериям. Он работает исключительно с оформлением документа, семантический анализ текста не производится.

Веб-сервис обладает следующими функциями:

1. Сервис осуществляет проверку определенных параметров на соответствие стандартным критериям оформления (на данный момент в сервисе настроена проверка формата ВКР и статей) и настраиваемым пользователем критериям. По итогам проверки сервис не только возвращает развернутую обратную связь о допущенных ошибках, но и указывает, как их следует исправить.

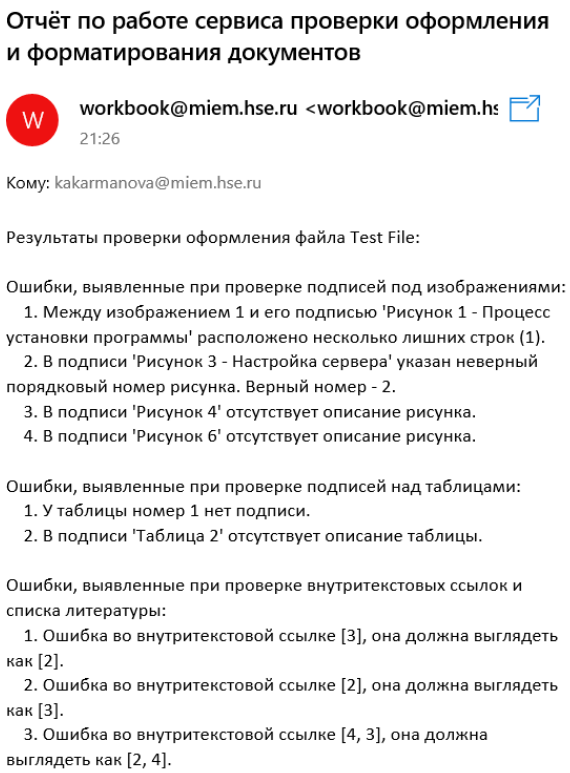
Критерии проверки включают следующие параметры:

a. размерность полей,
b. наличие ключевых разделов,
c. выравнивание текста,
d. шрифты, используемые в тексте,
e. размерность текста,
f. цвет текста,
g. межстрочный интервал,
h. последовательность ссылок на литературу в тексте и их формат,
i. нумерация изображений/таблиц,
j. формат подписи под изображением/таблицей,
k. абзацные отступы,
l. корректность формата колонок в статьях,
m. формат заголовков.

Стоит обратить внимание, что сервис указывает на ошибки, которые удалось определить однозначно, например отсутствие списка литературы. Если же нарушение имеет неоднозначный характер, то сервис выводит пользователю соответствующие предупреждения. Например, если под изображением стоит подпись “Рисунок 1 показывает работу программы”, то сервис не может точно установить, является ли это подписью или упоминанием картинки в тексте, о чем выведет сообщение пользователю.

2. Сервис осуществляет автоматическое исправление параметров, описанных выше, на основании ошибок, найденных в ходе предварительной проверки, в соответствии со стандартными или настраиваемыми пользователем критериями и возвращает отформатированный файл. Однако, отдельно стоит отметить, что сервис исправляет лишь те ошибки, в которых уверен и которые может исправить. То есть если в файле отсутствует один из ключевых разделов, сервис не сможет его написать, поэтому выведет пользователю предупреждение, что данное нарушение не исправлено.

Важно отметить, что решение использовать онлайн документы было принято в целях повышения универсальности приложения, потому что сервисы, допускающие работу только с документами из MS Word, остаются недоступны для пользователей UNIX подобных ОС, в силу отсутствия пакета MS Office для этих ОС. Также, удобство заключается в том, что пользователю не нужно загружать файл на сервер, достаточно лишь предоставить ссылку на Google документ и права на просмотр и редактирование. Реализация сервиса в качестве веб приложения позволит не занимать память потенциальных пользователей на их ПК и сделает сервис доступным как с персонального компьютера, так и с телефона. Таким образом, для использования разрабатываемого сервиса важнейшим и единственным условием работы является доступ в интернет.


Отчёт по работе сервиса проверки оформления и форматирования документов

W workbook@miem.hse.ru <workbook@miem.hs
21:26

Кому: kakarmanova@miem.hse.ru

Результаты проверки оформления файла Test File:

Ошибки, выявленные при проверке подписей под изображениями:
1. Между изображением 1 и его подписью 'Рисунок 1 - Процесс установки программы' расположено несколько лишних строк (1).
2. В подписи 'Рисунок 3 - Настройка сервера' указан неверный порядковый номер рисунка. Верный номер - 2.
3. В подписи 'Рисунок 4' отсутствует описание рисунка.
4. В подписи 'Рисунок 6' отсутствует описание рисунка.

Ошибки, выявленные при проверке подписей над таблицами:
1. У таблицы номер 1 нет подписи.
2. В подписи 'Таблица 2' отсутствует описание таблицы.

Ошибки, выявленные при проверке внутритекстовых ссылок и списка литературы:
1. Ошибка во внутритекстовой ссылке [3], она должна выглядеть как [2].
2. Ошибка во внутритекстовой ссылке [2], она должна выглядеть как [3].
3. Ошибка во внутритекстовой ссылке [4, 3], она должна выглядеть как [2, 4].

Рис.1. Пример работы сервиса в режиме проверки оформления документа

Реализация

Первым шагом в проекте было необходимо разработать архитектуру, которая глобально состоит из 4 частей: back-end, front-end, сервер и база данных. Далее более подробно распланировать каждую из частей и как их в дальнейшем связывать.

На данный момент существует множество редакторов оперативной подготовки документов, однако из всех рассмотренных только один также имеет возможность работать в режиме онлайн одновременно с группой людей, а также имеет широкий набор доступных API методов для создания алгоритмов обработки, Google Documents. Более подробно изучив документацию, было принято решение использовать язык программирования Python для разработки back-end алгоритмов, так как для него Google реализовали наибольший возможный функционал.

По нашему опыту прошлых лет google имеет очень важное ограничение в функционале - лимит на

количество API запросов с одного аккаунта в минуту. При масштабировании сервиса мы неизбежно упираемся в этот лимит, поэтому было принято решение использовать технологию POST-запросов в серверной части, для урегулирования их количества и отсеивания возможных запросов не по адресу.

Важной частью сервиса является лицо его взаимодействия с обычными пользователя, а так как перед нами стояла задача сделать его максимально доступным для простых людей, особенно никак не связанных с языками программирования ранее, был разработан простой в своем использовании front-end на технологии quasar. Данная технология уже имеет в себе многие заготовленные шаблоны и методы для сборки сайта, а также имеет специальные методы для автономной работы на сервере.

Для хранения данных был выбран json формат, так как при доработке сервиса в него гораздо проще добавлять новые переменные и менять структуру, в то время как для осуществления той же задачи в классической базе данных необходимо будет пересобрать все с нуля и заново наполнить данными, которые могут быть утеряны при переносе.

Механизм проверки документа и обработки пользовательских критериев

Как было написано ранее, пользователь имеет возможность настроить критерии для проверки документа самостоятельно. Это происходит на одной страниц нашего сервиса, где пользователю в удобной форме предлагается указать его пожелания. Фрагмент описанной страницы представлен на рисунке 2.

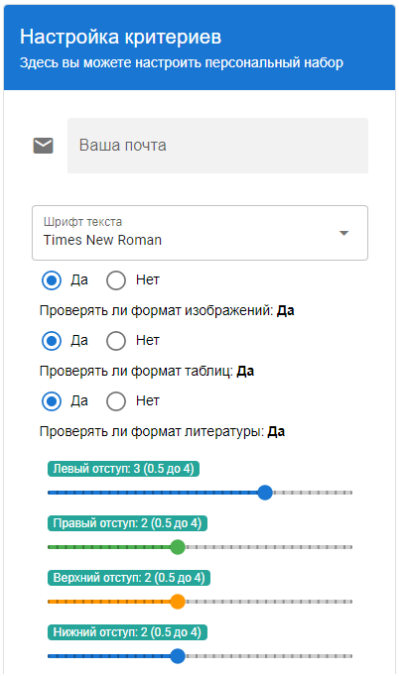


Рис.2. Страница настройки пользовательских критериев

После заполнения формы и прикрепления ссылки на google-документ, на бекэнд поступает json-объект с указанными параметрами. При взаимодействии с google-документом пользователя при помощи Google Docs API, наш сервис получает json-объект с полным содержимым предоставленного на проверку документа. Данный json-объект имеет строгую структуру, которая представлена рисунке 3.

```
document: {
    body: ... ,
    documentStyle: ... ,
    lists: ... ,
    documentId: ... ,
    namedStyles: ... ,
    revisionId: ... ,
    title: ...
}
```

Рис.3. Структура json-объекта с содержимым документа

Внутри body находится объект content, который содержит такие структурные элементы документа, как разрывы страниц, оглавление, таблицы и параграфы. Внутри каждого структурного элемента содержатся данные о его оформлении. Эти данные и считывает наш сервис, сравнивая их с параметрами, указанными в json-объекте с критериями проверки.

Помимо этого, сервис также обрабатывает объект documentStyle, который содержит параметры, относящиеся к макету документа.

На рисунке 4 ниже представлен фрагмент json-объекта с параметрами оформления.

```
"columns": 1,
"fontSize": {
    "magnitude": 14,
    "unit": "PT"
},
"alignment": "JUSTIFIED",
"rgbColor": {
    "blue": 0,
    "green": 0,
    "red": 0
},
"fontFamily": "Times New Roman",
"lineSpacing": 150,
"spaceAbove": {
    "magnitude": 0,
    "unit": "PT"
},
"spaceBelow": {
    "magnitude": 0,
    "unit": "PT"
},
```

Рис.4. Фрагмент json-объекта с критериями проверки

По завершении проверки сервис формирует обратную связь, указывая на те параметры оформления, значения которых отличаются от необходимых.

Заключение

Любая научная и учебная деятельность сопровождается созданием электронных текстовых документов с определённым содержанием и строгими правилами оформления. Тем не менее, современные технологии позволяют автоматизировать рутинный процесс настройки и проверки оформления документов. Разрабатываемый сервис, несомненно, будет полезен всем участникам научного и учебного процесса, за счет его универсальности и функциональности. Использование данного веб-приложения позволит сэкономить время и минимизировать ошибки в оформлении документов. В сравнении с ближайшими аналогами сервис имеет ряд преимуществ таких, как: возможность настраивать собственные критерии, возможность исправлять допущенные ошибки, а также работа с онлайн документами. Первое из них значительно увеличивает количество потенциальных пользователей, например компании смогут создавать свои корпоративные наборы критериев для ведения отчётности.

Список литературы

1. Анохин С. М. Актуальные проблемы оформления печатных текстов учащихся //Школьные технологии. – 2016. – №. 1.
2. Стариченко Б. Е., Устинов М. А. Программа автоматизации контроля оформления текстовых документов //Педагогическое образование в России. – 2018. – №. 8.
3. Unwalla M. Software for checking style and grammar in scientific writing //IEEE Potentials. – 2017. – Т. 36. – №. 3. – С. 38-40.
4. Prabhu R. et al. Dynamic formatting of source code in editors //2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS). – IEEE, 2017. – С. 1-6.
5. Nasyrov N. et al. Automated formatting verification technique of paperwork based on the gradient boosting on decision trees //Procedia Computer Science. – 2020. – Т. 178. – С. 365-374.
6. Mohammed M. A. S., AL-Jaberi M. A. Google Docs or Microsoft Word? Master's students' engagement with instructor written feedback on academic writing in a cross-cultural setting //Computers and Composition. – 2021. – Т. 62. – С. 102672.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ОТ ФОНА НА ФОТОГРАФИЯХ

Солдатов А.В.[1], Козырева Д.Д.[1], Мазиков Я.А.[1], Лукашов С.А.[2]

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,

[1]департамент прикладной математики

[2]департамент электронной инженерии

МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматриваются несколько методов отделения объектов от фона на изображениях. Данное исследование проводится в рамках разработки системы для автоматической разметки датасета деталей для последующего применения в системе по контролю сборки механизмов в ручном производстве. В данной работе будут рассматриваться методы как классического машинного зрения, так и методы глубинного обучения для отделения объектов (деталей) от фона, используемые в системе для автоматической разметки датасета.

Введение

В современном производстве все большую и большую роль играют компьютерные технологии, которые облегчают, ускоряют и делают более точным производственный процесс. Частным случаем такого применения является контроль операций в ручном производстве с помощью методов машинного обучения. Применение методов машинного обучения влечет за собой необходимость быстрой автоматической разметки датасета для новых деталей новых механизмов.

В качестве валидационной выборки для сравнения результатов работы алгоритмов будем использовать набор из 20 фотографий 10 предметов, лежащих на столе однотонного цвета. На каждой фотографии присутствует единственная деталь, которую необходимо отделить от фона. При этом цвет фона не контролируется и возможно наложение теней от объектов.

Методы классического компьютерного зрения

В данном разделе речь пойдет о давно известных ручных методах отделения фона от объекта. Прежде всего, это детектирование краев и обнаружение пикселей, значение цвета в которых выше некоторого порога, характерного для изображения.

Рассмотрим основные методы обнаружения объекта в классическом компьютерном зрении:

1) Сегментация по цвету (segmentation based on color thresholding);
2) Детектирование контуров и алгоритм Canny;
3) Взятие разности кадров;
4) Алгоритм GrabCut.

Алгоритмы сегментации обычно основаны на одном из двух принципов - непоследовательности или сходстве. Использование пороговых значений насыщенности цвета – это пример алгоритма, основанного на сходстве: он делит изображение на зоны, схожие по значению цвета. В итоге на выходе получается изображение, пиксели которого принадлежат одному из двух классов: “объект” или “фон”. [1]

Рассмотрим данный метод подробнее. Пусть t – определенный для изображения порог. Тогда $g(x)$ – значение в пикселе результирующего изображения будет задаваться следующей формулой (1):

$$g(x,y) = \begin{cases} 0, & \text{если } f(x,y) < t \\ 255, & \text{если } f(x,y) \geq t \end{cases} \quad (1)$$

где $f(x,y)$ – значение в пикселе исходного изображения.

Функцией, реализующей данный алгоритм, в библиотеке алгоритмов компьютерного зрения

opencv [2] является cv.threshold. Она принимает черно-белое изображение и пороговое значение. OpenCV предоставляет различные типы пороговых значений. Базовое пороговое значение выполняется с использованием cv.THRESH_BINARY. Ниже перечислены все простые пороговые типы:

- cv.THRESH_BINARY
- cv.THRESH_BINARY_INV
- cv.THRESH_TRUNC
- cv.THRESH_TOZERO
- cv.THRESH_TOZERO_INV

Маски, полученные при использовании данных порогов, приведены на рис. 2.

Заметим, что в данных методах используется заранее выбранное пороговое значение. Однако существуют методы, которые определяют порог в зависимости от изображения, например, метод Оцу [3] – он определяет оптимальное глобальное пороговое значение по гистограмме изображения (рис. 1).

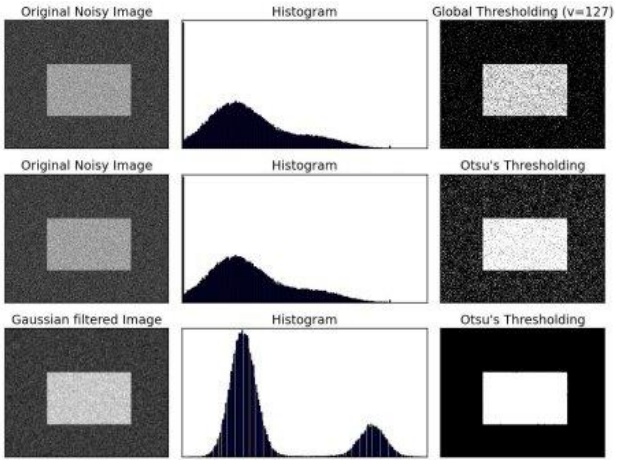


Рис.1. Пример работы метода Оцу

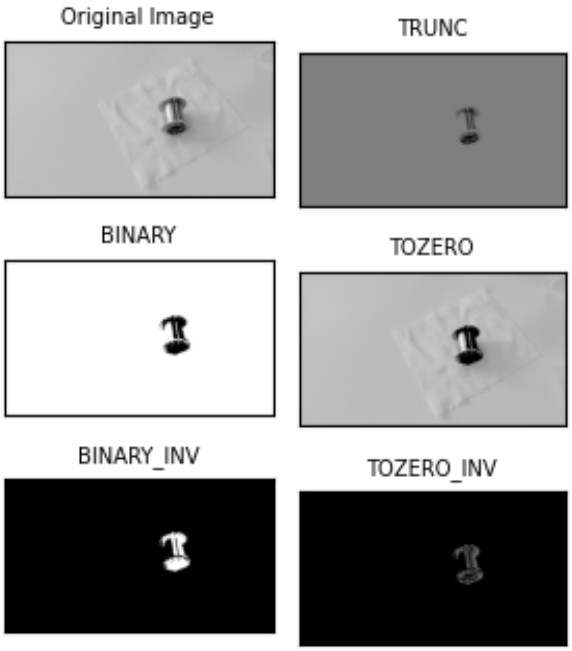


Рис.2. Примеры сегментации по цвету с использованием различных библиотечных порогов

Алгоритм Оцу пытается найти пороговое значение t, которое минимизирует взвешенную внутриклассовую дисперсию, заданную соотношением:

$$\sigma_w^2(t) = q_1(t)\sigma_1^2(t) + q_2(t)\sigma_2^2(t), \text{где}$$

$$q_1(t) = \sum_{i=1}^{t} P(i), \qquad q_2(t) = \sum_{i=t+1}^{I} P(i),$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=1}^{t} \frac{iP(i)}{q_1(t)}, \qquad \mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^{I} \frac{iP(i)}{q_2(t)},$$

$$\sigma_1^2(t) = \sum_{i=1}^{t} \frac{\big(i-\mu_1(t)\big)^2 P(i)}{q_1(t)},$$

$$\sigma_2^2(t) = \sum_{i=t+1}^{I} \frac{\big(i-\mu_2(t)\big)^2 P(i)}{q_2(t)}$$

Таким образом, находим значение t, лежащее между двумя пиками так, что отклонения для обоих классов минимальны.

Детектирование контуров и алгоритм Canny [4]

Другим подходом к отделению объекта от фона является детектирование контуров на изображении. Рассмотрим многоуровневый алгоритм обнаружения краев, разработанный в 1986 году Джоном Ф. Кэнни. Алгоритм включает в себя:

1. Размытие изображения для удаления шума;
2. Поиск градиентов. Границы отмечаются там, где градиент изображения приобретает максимальное значение.
3. Подавление не-максимумов (NMS).
4. Двойная пороговая фильтрация и получение итоговых границ.

На первом шаге избавляемся от шума на изображении с помощью фильтра Гаусса. Для этого применяется метод свертки изображения с ядром Гаусса (3×3, 5×5, 7×7 и т. д.). Размер ядра зависит от ожидаемого эффекта размытия. Уравнение для ядра фильтра Гаусса размером $(2k+1) \times (2k+1)$ имеет вид:

$$H_{ij} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{\big(i-(k+1)\big)^2 + \big(j-(k+1)\big)^2}{2\sigma^2}\right)$$
$$1 \le i,j \le (2k+1)$$

Далее находим градиент интенсивности изображения. Для этого в библиотечной функции cv.Canny используется пара сверток (G_x, G_y) и затем находятся градиент силы G и направление Θ. Направление округляется до одного из четырех возможных углов (0, 45, 90 или 135).

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \qquad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \qquad \Theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

В идеале итоговые границы должны быть тонкими линиями. Для сглаживания полос и нужен третий шаг: на нем удаляются пиксели, которые не считаются частью границы. Идея подавления в следующем: все одинаково ориентированные соседствующие пиксели из ряда “сворачиваются” в один с максимальным градиентом G. Так, с рисунка, приведенного ниже, останутся только пиксели, обведенные белым контуром, после процедуры подавления не-максимумов (см. рис. 3).

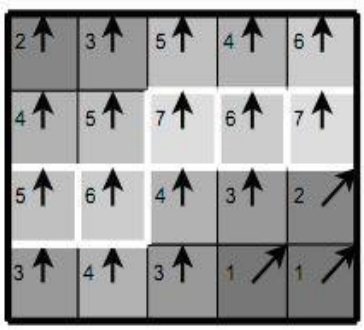


Рис.3. Пример подавления не-максимумов

Далее алгоритм Canny использует два порога (верхний и нижний):

- Если градиент пикселя выше верхнего порога, пиксель принимается как край;
- Если значение градиента пикселя ниже нижнего порога, он отклоняется;
- Если градиент пикселя находится между двумя порогами, он будет принят, только если он связан с пикселем выше верхнего порога.

Чем меньше порог, тем больше границ будет находиться, но вместе с тем более восприимчивым к шуму станет результат, и будут выделяться лишние данные изображения. Высокий же порог может проигнорировать слабые края или получить границу фрагментами.

Canny рекомендовал соотношение для верхнего/нижнего порога от 2:1 до 3:1.

Применение метода Canny вдобавок к маске, полученной алгоритмом threshold, позволило получить следующий результат (рис. 4):



Рис.4. Использование threshold + canny алгоритмов в качестве маски на примере детали из датасета

Алгоритм GrabCut [5]

Данный метод работает следующим образом: пользователь помещает интересующий объект в прямоугольник. Края прямоугольника необязательно должны точно подходить к границам выделяемого объекта. Далее алгоритм сегментации отделяет сам объект от фона в заданном прямоугольнике.

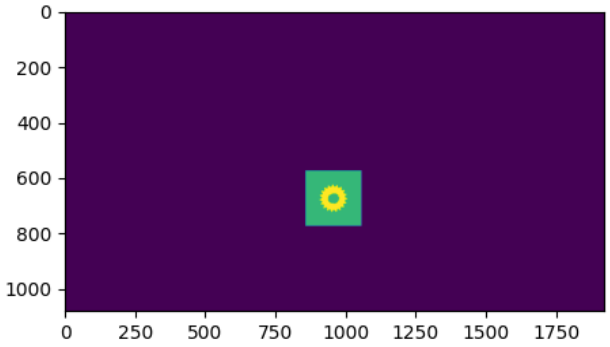


Рис.5. Пример работы алгоритма GrabCut

За основу взят алгоритм интерактивной сегментации GraphCuts. Изображение рассматривается как вектор $z = (z_1, \dots, z_N)$, где z_n – интенсивность n-ого пикселя. Всего пикселей N штук. Далее, алгоритм определяет массив прозрачности пикселей $a = (a_1, \dots, a_N)$, где a_n – интенсивность n-ого пикселя, которая может принимать только 2 значения: 0, если пиксель принадлежит фону и 1, если пиксель принадлежит объекту. Строится гистограмма распределения интенсивности заднего и переднего плана: $\Theta = \{h(z; a), a = 0, 1\}$. Задача найти неизвестные a_n, то есть решить задачу сегментации. Вводится функция энергии:

$$U(a, \Theta, z) = -\sum_n \ln(h(z_n, a_n))$$

$$V(a, z) = \sum_{(m,n) \in C} \frac{1}{dis(m,n)} [a_n \neq a_m] exp(-\beta(z_m - z_n)^2)$$

$U(a, \Theta, z)$ - слагаемое, отвечающее за качество отделения объекта от фона, $V(a, z)$ – слагаемое, отвечающее за участие пар пикселей в сумме. $dis(n, m)$ – евклидовое расстояние. Далее решается задача поиска глобального минимума функции E для получения массива прозрачности $\alpha = argmin_a E(a, \Theta)$. Для поиска минимума изображение описывается как граф и производится поиск его минимального разреза. Основное отличие алгоритма GrabCut от GraphCuts в том, что в GrabCut для описания цветовой статистики используется модель смеси гауссиан (Gaussian Mixture Model – GMM). Пиксели в данном описании рассматриваются в RGB формате. На рис. 6 показана примерная схема работы алгоритма GrabCut, на рисунках 7, 8 показан результат применения данного алгоритма.

Метод взятия разности кадров [6]

Данный метод основан на вычислении абсолютного различия между текущим и предыдущим кад-

ром. Полученный при вычитании массив показывает изменения пикселей на текущем кадре по сравнению с эталонным (предыдущим) кадром.

$$dst(I) = abs(src1(I) - src2(I))$$

$scr1$ - первый исходный массив данных (эталонное изображение)

$scr2$ - второй исходный массив данных (текущее изображение)

dst - выходной массив (разность кадров)

Вычитаемые массивы должны быть одинакового размера.

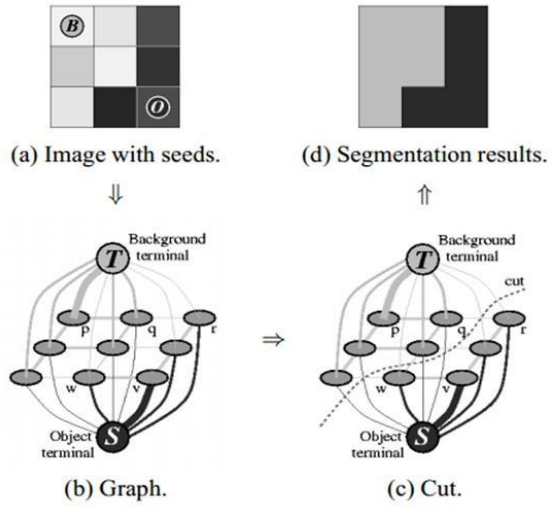


Рис.6. Примерная визуализация GrabCut алгоритма

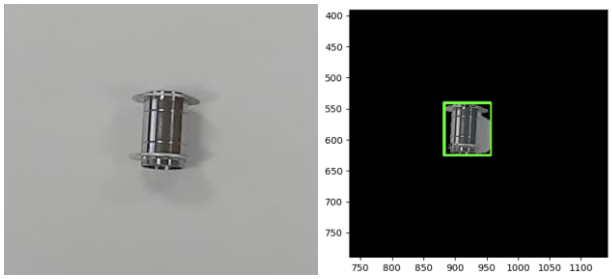


Рис.7. Реальное изображение и результат работы алгоритма GrabCut

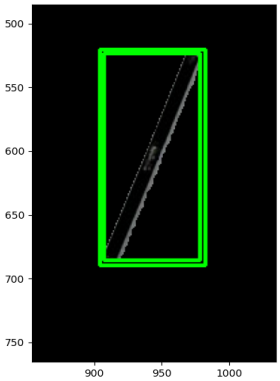


Рис.8. Точная разметка и результат GrabCut на одном изображении

Метод глубинного обучения

В методах глубинного обучения в задачах сегментации изображений преимущественно используются сверточные нейронные сети, которые очень хорошо подходят для работы с многомерными матрицами пикселей. Однако в применении таких сетей существуют ограничения.

Одним из самых сильных недостатков, с которым сталкиваются программисты при обучении сверточных сетей, является необходимость создания огромной обучающей выборки, поскольку для получения наиболее точных предсказаний требуется очень тонкая настройка всех параметров сети и с маленьким начальным набором данных такого результата достаточно проблематично достичь. В связи с этим при решении задач сегментации, детекции или распознавания, как правило, используются инструменты аугментации.

Аугментация – это построение дополнительных данных из исходных путем применения масштабирования, поворота, обрезки и тому подобного.

Например, в работе [7] по сегментации изображений мембран нейронов в электронной микроскопии выборка создается искусственно: для каждого пикселя выбирается малая окрестность, включающая его, что позволяет значительно увеличить датасет. Однако у такого подхода есть два недостатка: во-первых, такая нейросеть довольно медленная из-за необходимости постоянной обработки обособленных регионов для каждого пикселя отдельно и, во-вторых, количество верных ответов нейросети обратно пропорционально зависит от размера выбранных регионов. Чем меньше регион, тем меньше контекстной информации он содержит, следовательно сеть будет не способна в дальнейшем качественно распознавать изображения с большим содержанием информации и наоборот.

Существуют более элегантные решения задачи сегментации. Одним из вариантов является U-Net, которую мы использовали в своей работе.

Архитектура U-Net

Нейросеть состоит из сжимающей части (левая ветвь) и увеличивающей части (правая ветвь) (рис. 9). Для левой ветви используются стандартные для сверточной сети алгоритмы: свертка и уменьшение масштаба по максимальным элементам (max pooling). При этом на каждом шаге вниз число каналов (карт свойств) для изображения увеличивается вдвое. Для правой ветви используются алгоритмы увеличения масштаба (upsampling) и свертки. Такие действия уменьшают число каналов на каждом шаге вверх вдвое. В итоге используется свертка для сокращения числа карт свойств и получения желаемого числа классов (масок для них).

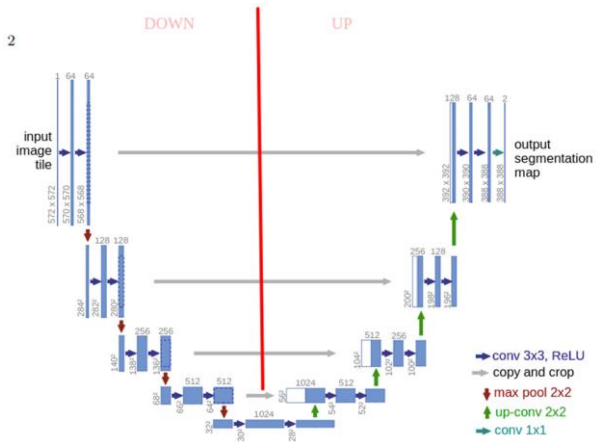


Рис.9. Архитектура U-Net (пример изображения с разрешением 32×32 пикселя — самым низким). Каждый синий квадрат соответствует многоканальной карте свойств. Количество каналов приведено в верхней части квадрата. Размер x-y приведен в нижнем левом краю квадрата. Белые квадраты представляют собой копии карты свойств. Стрелки обозначают различные операции

U-net довольно быстро и качественно способна выполнять задачу сегментации изображений для различных наборов входных данных. На испытании сегментации изображений клеток (ISBI) в 2015 году данная нейросеть победила, достигнув значения IOU (пересечение над объединением) 0.9203 на наборе PhC-U373 и значения 0.7756 на наборе DIC-HeLa (данные взяты из [8]).

Процесс реализации классических методов

Для тестирования приведенных выше алгоритмов предварительно была вручную выделена рабочая область стола, чтобы избежать неинформативных засветов по краям. Далее к одному и тому же датасету были применены в разных сочетаниях различные алгоритмы. Результаты их работы показаны ниже на рис. 11.

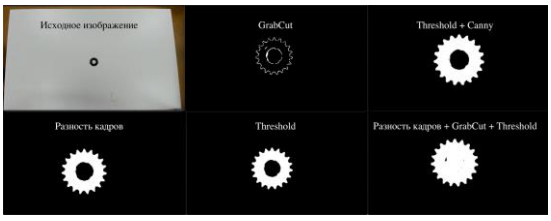


Рис.11. Отделение фона классическими алгоритмами

Эксперименты по отделению фона проводились в около идеальных условиях при хорошей освещенности, детали размещались на однотонном белом столе. Также на изучаемых фотографиях отсутствовали посторонние предметы и артефакты. Была сделана эталонная фотография пустого стола, после чего было сфотографировано некоторое количество деталей на этом же столе в тех же условиях. В качестве метрики качества используется мера Жаккара (Intersection over Union – IoU). По ней сравниваются бинарная маска вручную размеченной фотографии и маска этой же фотографии, полученная с помощью описанных выше алгоритмов.

Эксперименты для глубокого обучения

Обучив U-Net на расширенном датасете деталей для велосипедной втулки (449 изображений), нашей команде удалось достичь среднего по выборке коэффициента IoU 0.64.

Пример выходного изображения для модели приведен ниже на рис. 10:

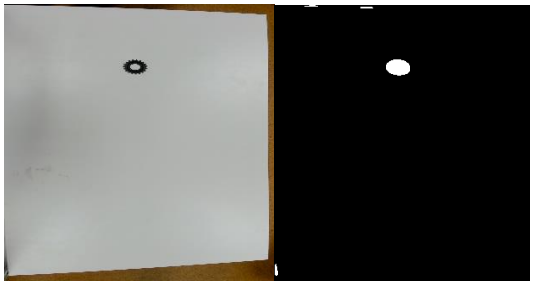


Рис.10. Реальное изображение и предполагаемая маска U-Net

В дополнение к теме сегментации изображений с помощью нейросетей, была проверена не обученная U-Net, в которой использовались общедоступные веса ImageNet. На датасете деталей было получено значение IoU = 0.0004, следовательно, для использования U-Net необходимо обучение для получения приемлемых результатов. Ниже приведена таблица 1 со значениями метрики для различных алгоритмов и их комбинаций.

Выводы

С помощью алгоритма threshold удалось добиться качества IoU – 0.52. Данный метод за счет встроенных в библиотеку opencv прост в реализации и не требует дополнительной подготовки в виде фона стола или обучения на датасете.

Совокупность threshold с методом выделения краев Canny не дала сильного прироста в качестве (значение IoU получилось 0.54). Однако, при ближайшем рассмотрении можно заметить, что алгоритм Canny дает немного более четкие границы выделяемого объекта. При плохом освещении, попадании в кадр других объектов или объектах на цветном фоне метод выбора порогового значения цвета перестаёт работать и детектирует лишнее.

Алгоритм взятия разности кадров показал неплохое значение метрики IoU – 0.65. Однако данный алгоритм очень чувствителен к внешним факторам, таким как тени, уровень освещенности, наличие посторонних предметов. Поэтому использование его, как самостоятельного алгоритма для отделения фона может привести к серьезным неточностям.

Был проведен эксперимент только с чистым алгоритмом GrabCut, когда рассматриваемый прямоугольник – вся рабочая область. Хотя на маске можно различить довольно четкие границы детали, метрика IoU получилась близкой к 0, потому что помимо самой детали, на маске оказалось много постороннего шума, который повлиял на значение метри-

ки. (на фото шум не попал в кадр, так как объект сильно приближен и находится в центре, а шум расположен по краям). Из-за большой площади начальной области детектирования алгоритм работает долго, затрачивая примерно по 3-4 минуты на одно фото в Full HD.

Таблица 1. Сравнение алгоритмов отделения фона на изображении

Метод	IoU	Преимущества	Недостатки
Разность кадров	0.65	Быстрота работы и простота метода	Сильно зависим от освещенности, теней и посторонних предметов. Необходимо эталонное фото
GrabCut (область детектирования – весь стол)	0.08	Эффективен в паре с другими методами	Медленная работа, низкая точность из-за шума по краям
Threshold	0.52	Быстрая работа алгоритма	Чувствителен к освещению
Color Threshold + Canny	0.54	Простая реализация: эталонный фон и разметка датасета не требуются	Зависимость от фона и освещения
GrabCut + разность кадров + threshold	0.81	Высокая точность	Необходимость эталонного фото
U-Net (обученная)	0.64	Высокая производительность, нужен небольшой датасет благодаря аугментации	Необходимость ручной разметки датасета
U-Net (необученная, с весами ImageNet)	0.0004	Нет необходимости обучать модель	Не подходит для практического использования

Используя U-Net (предварительно обучив), можно добиться довольно хороших результатов в сегментации изображений деталей (IoU от 0.64 и выше). При этом преимущество данной архитектуры в её скорости работы. Однако необходимость обучения и ручной разметки датасета увеличивает время, которое нужно выделить для работы с этим методом (без обучения результаты не получится использовать для решения практических задач – IoU около 0.0004).

В качестве самого интересного подхода можно выделить алгоритм GrabCut в тандеме с методом взятия разности кадров двух изображений и threshold с фиксированным порогом. С помощью операции разности кадров был сгенерирован примерный прямоугольник, в котором находится объект. Данный прямоугольник был подан на вход алгоритму GrabCut, который уже окончательно определил область нахождения объекта на изображении. По фиксированному порогу (подбирался вручную) изображение было переведено в маску из 0 и 1. Данный подход имеет преимущество в том, что нет необходимости вручную задавать начальный прямоугольник, в котором будет осуществляться поиск объекта. На валидационной выборке удалось достичь коэффициента качества IoU в среднем 0.84.

Заключение

В рамках данных работы было проведено тестирование наиболее распространенных алгоритмов выделения образов, которые уже позволили в существующих ограничениям, достигнуть высоких значений показателя качества IoU. В дальнейшей работе будет рассмотрены новые модели нейронных сетей, которые, возможно, помогут улучшить результаты и избавиться от существующих в данный момент ограничений требований к изображениям.

Вычисления проводились с использованием Суперкомпьютерного комплекса НИУ ВШЭ.

Список литературы

1. Kulkarni N. Color thresholding method for image segmentation of natural images //International Journal of Image, Graphics and Signal Processing. – 2012. – Т. 4. – №. 1. – С. 28.

2. OpenCV-Python Tutorials // Open Source Computer Vision URL: https://docs.opencv.org/4.x/d6/d00/tutorial_py_root.html

3. OpenCV-Python Tutorials // Open Source Computer Vision URL: https://docs.opencv.org/4.x/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html

4. Canny J. A computational approach to edge detection //IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1986. – №. 6. – С. 679-698.

5. Rother C., Kolmogorov V., Blake A. " GrabCut" interactive foreground extraction using iterated graph cuts //ACM transactions on graphics (TOG). – 2004. – Т. 23. – №. 3. – С. 309-314.

6. OpenCV: Operations on arrays // Open Source Computer Vision URL: https://docs.opencv.org/3.4.7/d2/de8/group__core__array.html#ga6fef31bc8c4071cbc114a758a2b79c14

7. Ciresan D. et al. Deep neural networks segment neuronal membranes in electron microscopy images //Advances in neural information processing systems. – 2012. – Т. 25.

8. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation //International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. – Springer, Cham, 2015. – С. 234-241.

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ МИЭМ

Кофман М.О.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Разработанное мобильное приложение MIEMApp, выполняет роль мобильного клиента для Кабинета проектной работы МИЭМ. Приложение позволяет получать пользователю всю актуальную информацию о расписании, проектах, личной статистике, отправленных заявках в проекты, а также записываться в проекты. Приложение доступно для смартфонов с операционной системой iOS.

Введение

В современных реалиях смартфоны с выходом в Интернет стали неотъемлемой частью нашей жизни. Как показывает статистика [1], количество пользователей мобильных приложений с доступом в Интернет в 20 раз больше, чем количество пользователей мобильных версий сайтов. Для постоянного доступа к ресурсам, веб-версии сервисов уступают в удобстве использования мобильным приложениям. Поэтому для создания мобильной версии Кабинета проектов, было решено разрабатывать мобильное приложение.

Разработка приложения MIEMApp берет свое начало от проекта 616, разрабатывавшего специализированное приложение для задач Медиацентра МИЭМ. Отказ от оказавшихся излишними функций удаленного управления камерами и получения видео потока с них привел к идее создания мобильного приложения для Кабинета проектов МИЭМ.

Цель данного проекта – разработать мобильный клиент для Кабинета проектной работы, который в свою очередь представляет собой Enterprise Resource Planning (ERP) [2] систему, а также улучшить навыки мобильной разработки на языке Swift.

Разработанное мобильное приложение предназначено для студентов и преподавателей МИЭМ НИУ ВШЭ. С его помощью можно выполнять такие функции как просмотр проектов в режиме ленты, а также карточек с перемещением вправо и влево понравившихся проектов и перемещением влево неподходящих предложений. Карточки, перемещенные вправо отправляются на экран «избранное», откуда позднее доступны для детального просмотра. Пользователи могут просматривать подробную информацию о каждом проекте, а затем студенты могут отправлять заявку в подходящий проект. Также есть возможность просмотра информации о расписании занятий из РУЗ.

В разделе обзора литературы рассмотрены работы, которые описывают уже готовые решения, являющиеся аналогами к данной работе. Раздел методы посвящен рассмотрению наиболее важных технологий, использованных во время разработки мобильного приложения. В разделе тестирование приведены результаты тестирования работы приложения.

Обзор литературы

В статье с конференции [3], опубликованной в 2014 году, авторы и представили мобильное приложение для системы ERP. Тем не менее, в данной технологии существует недостаток: мобильное приложение реализовано в качестве веб приложения. Более того, взаимодействие с данной ERP системой через приложение происходит только через форму «ввод-вывод», что также является недостатком.

В работе [4] авторы затронули идею эффективности Android смартфонов для разработки для них полноценного мобильного клиента для ERP и уже через год после выхода данной статьи, была осуществлена разработка [5], в которой описано создание мобильного приложения для операционной системы Android. Поскольку разработка в данном проекте производится только для устройства, работающего на операционной системе iOS, то данные решения оказываются неподходящими, хотя определенно являются аналогами.

В 2021 году был зарегистрирован патент [6] на мобильное приложение, которое предназначено для координации пассажирских перевозок. Поскольку при менеджменте транспортных задач необходимо использовать ERP систему, то данной мобильное приложение также является аналогом для MIEMApp. Более того, по данным из реферата, оно представлено для смартфонов Android и iOS.

В статье [7] авторы описывают разработку мобильного - mobile ERP (mERP) [8] приложения для образовательной среды, которое является полным аналогом MIEMApp. Данное приложение позволяет студентам получить копию всех необходимых документов сразу через приложение, что упрощает взаимодействие для студентов. Приложение разработано для двух операционных систем: Android и iOS. Последние две представленные работы наиболее близко совпадают по представленному набору функций с заявленными возможностями MIEMApp.

Цели и задачи

Целью проекта является разработка мобильного приложения Кабинета проектной работы для операционной системы iOS, а также развитие знания языка Swift, используемого при разработке. Как показывает раздел обзора аналогов, у мобильных клиентов к ERP системам есть большое количество аналогов, но

главной идеей является адаптация мобильной ERP системы для сервисов МИЭМ.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно выполнить следующие задачи:

- Устранить функции более непригодные для использования ввиду применения более удобных и качественных технологий: управление камерами в здании МИЭМ и получение видео потока с них
- Добавить пользовательские функции Кабинета проектов: выбор проектов, просмотр информации о проектах, просмотр проектов в виде карточек, фильтрацию проектов
- Добавить информацию о пользователе в приложении: данные о текущих и архивированных проектах, заявках в проекты, статистике Gitlab, достижениях
- Опубликовать в магазине приложения AppStore новую версию мобильного приложения MIEMApp.

Методы

Из существующих архитектурных паттернов (Model View Controller, Model View Presenter, Model View ViewModel, View Interactor Presenter Entity Router) для реализации мобильного приложения была выбрана архитектура Model View ViewModel (MVVM). Наиболее простой с точки зрения реализации паттерн Model View Controller (MVC) имеет ряд недостатков, которые рассмотрены в статье [9]. Это так называемый “массивный” ViewController. Ситуация, когда логика приложения все больше содержится в ViewController. Для устранения данных проблем применяется паттерн MVVM. В работе [10] представлена статистика эффективности MVC и MVVM для выполнения одинаковых задач. По результатам данного исследования, паттерн MVVM показал гораздо большее преимущество в сравнении с MVC. Поэтому решено было придерживаться архитектуры MVVM.

Так как мобильное приложение производится для операционной системы iOS, то в качестве языка разработки был выбран Swift 5. Swift позволяет использовать более простые синтаксические конструкции, что делает код минималистичным и легко читабельным [11]. Типо безопасность в языке Swift позволяет выявлять грубые ошибки на стадии разработки, что снижает риск аварийного завершения приложения во время работы. Автоматический счетчик ссылок (Automatic Reference Counting – ARC [12]) позволяет избежать утечек памяти при работе приложения.

Для получения данных от Кабинета проектов, использовались get-методы с помощью REST API Кабинета проектов [13]. Для выполнения запросов в языке Swift использовался фреймворк Alamofire [14]. Данный метод позволяет упростить выполнение сетевых запросов, а также уменьшить количество однотипного кода.

Тестирование

Тестирование выполнено средствами среды разработки xcode 13.2 на реальном устройстве iPhone XR с iOS 15 для тестирования потребления энергии, а также на симуляторе iPhone SE iOS 12, которой является наименее производительным. На рисунке 1 представлена статистика для нагрузки процессора во время работы приложения. За время тестирования 16 минут самая большая нагрузка на процессор составила 42%. При этом больше всего нагружен один из потоков. Это говорит о том, что в приложении можно усовершенствовать распределение задач на потоки, чтобы их загрузка была равномерной. На рисунке 2 представлены результаты использования оперативной памяти при работе приложения. Затраченные ресурсы памяти составили 41,4 Мб. Результаты тестирования на симуляторе говорят о том, что мобильное приложение достаточно ресурсоемкое, а значит, будет стабильно работать на устройствах. На рисунке 3 приведены результаты потребления энергии для реального устройства, из которых можно сделать вывод, что приложение не является энергозатратным.

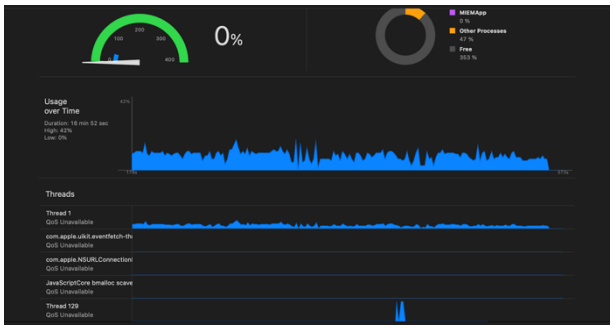


Рис.1. Результат нагрузки процессора

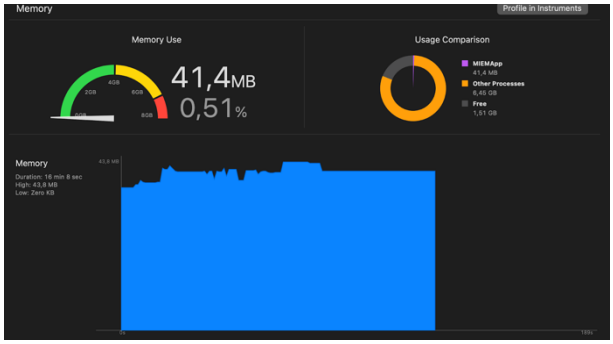


Рис.2. Результат использования оперативной памяти



Рис.3. Результат потребления энергии

Дальнейшая работа

К дальнейшим планам относятся: улучшения на основе тестов, публикация в AppStore, добавление функций, необходимых проектному офису, а также добавление необходимых пользовательских функций Кабинета проектов.

Заключение

Разработано мобильное приложение MIEMApp для операционной системы iOS, которое является мобильным клиентом к Кабинету проектной работы.

Мобильное приложение опубликовано в AppStore и может быть скачано по ссылке [15]. В данном мобильном приложении был использован архитектурный паттерн MVVM, преимущества которого рассмотрены в приведенных статьях выше. Данная архитектура в совокупности с модульной разработкой позволяет достигнуть легкой и быстрой масштабируемости приложения при добавлении новых или упразднении ненужных функций. Это позволяет быстро адаптировать мобильное приложение при обновлении функциональности Кабинета проектной работы.

В результате работы над приложением были получены необходимые навыки iOS разработки.

Список литературы

1. Вишнева Е. «Что лучше: мобильное приложение или мобильная версия сайта». [Электронный ресурс]. URL: https://dinarys.com/ru/blog/mobile-website-or-app (дата обращения: 27.02.2022)
2. Wikipedia. «ERP». [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ERP (дата обращения: 24.05.2022)
3. Homann M. Towards an End-User Development Tool for Mobile ERP Applications, 2014. С. 187–202.
4. Ravindrakumar R. Mobile Based College ERP System (M–ERP) // International Journal of Engineering Research and. 2015. Т. V4. № 03.
5. Tai Y., Huang C., Chuang S. The construction of a mobile business application system for ERP // Kybernetes. 2016. Т. 45. № 1. С. 141–157.
6. Бурков В. В. “ERP ТР 1.0” Программный комплекс автоматического планирования, диспетчеризации, управления ресурсами для организации и сопровождения автобусных перевозок по заказу (СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИМИ ПЕРЕВОЗКАМИ), 2021.
7. Katre M. Student Services App // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2021. Т. 9. № VII. С. 481–485.
8. Reshma V.M. «What is mobile ERP? Benefits and Applications». [Электронный ресурс]. URL: https://ajwadinfotech.com/what-is-mobile-erp-benefits-and-applications/ (дата обращения: 24.05.2022)
9. Krishna Ballal G, Udaya Kumar Reddy K Model View Design Patterns with IOS // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. 2016 №5.
10. Gloria A, Jorge M, Vallejo J. Comparative Study of Performance and Productivity of MVC and MVVM design patterns // KnE Engineering. 2018. Т. 1. № 2. С. 241.
11. Сфит Лаб. Swift или Python: плюсы и минусы. [Электронный ресурс]. URL: https://swiftlab.ru/2019/09/11/swift-ili-python-pljusy-i-minusy/ (дата обращения: 12.02.2022).
12. Swift. «Automatic Reference Counting». [Электронный ресурс]. URL: https://docs.swift.org/swift-book/LanguageGuide/AutomaticReferenceCounting.html (дата обращения: 24.05.2022)
13. MIEM HSE personal cabinet – development. [Электронный ресурс]. URL: https://cabinet.miem.hse.ru/#/projects/all
14. Alamofire Reference. [Электронный ресурс]. URL: https://alamofire.github.io/Alamofire/ (дата обращения: 21.02.2022).
15. AppStore. [Электронный ресурс]. URL: https://apps.apple.com/ru/app/miemapp/id1555933542.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ

Волков М.А., Ковригина А.А., Таран Д.Д.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В настоящей работе предложено использование полярной системы координат для маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях. Для этого были сформулированы алгоритмы по построению полярной оси и центрального узла, по присвоению узлам сети полярных координат и маршрутизации с использованием метода жадного продвижения на основе полярных координат. Предполагается сравнить разработанный метод с другими известными алгоритмами маршрутизации (иерархическая маршрутизация, метод соседей). Для решения этой задачи разрабатывается симулятор, требования к которому приведены в данной статье.

Введение

Различные типы беспроводных самоорганизующихся сетей применяются для разных классов коммуникации. В настоящей работе мы создаем алгоритм маршрутизации, который можно применить для организации связи в сетях, имеющих один или несколько управляющих центров. Приведем основные определения, использующиеся в беспроводных самоорганизующихся сетях.

Беспроводная самоорганизующаяся сеть (ad-hoc-сеть или динамическая сеть) – децентрализованная беспроводная сеть, не имеющая фиксированной структуры. На сегодняшний день существует множество проблем в процессе организации данных сетей. Задача определения конкретного протокола и способа маршрутизации является одной из главных проблем.

Приоритетная цель маршрутизации в беспроводных сетях – построение оптимальных (требующих минимального количества хопов) маршрутов передачи пакетов данных от узла-отправителя до узла-получателя. Одним из первостепенных направлений развития методов маршрутизации должно стать построение такой системы связи, которая будет способна передавать интенсивный трафик, в том числе и трафик реального времени (видео и голосовая информация). Выбранный протокол маршрутизации оказывает весомое воздействие на такие па-

раметры, как задержка передачи данных и производительность сети.

Полярная система координат – двумерная система координат, каждый объект которой на плоскости определяется двумя величинами – полярным радиусом и полярным углом. Данная система координат особенно полезна в случаях, когда отношения между объектами эффективнее изобразить с использованием радиусов и углов. В декартовой (прямоугольной) системе координат аналогичные отношения можно задать только с применением тригонометрических уравнений.

В рамках данной работы планируется использовать потенциал полярной системы координат для маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях. Полярную систему координат уже используют во многих сферах человеческой жизни: физике, информатике, медицине, экономике и т.д. Одной из наиболее распространенных областей применения полярной системы координат является навигация. Это связано с тем, что пункт назначения можно определить как расстояние и направление движения от отправной точки. Например, для управления летающими объектами или подвижными датчиками в какой-либо области обычно строится центр связи [1]. Относительно центра связи координаты объекта задаются радиусом-вектором и углом, отсчитываемым от некоторого азимута. Но если наш объект необходимо связать с узлом, который находится в сфере действия другого центра связи, то следует находить управление в системе из нескольких центров, каждая из которых связана с собственной системой полярных координат. Для поиска следующего узла маршрута будем использоваться принцип жадного продвижения. Он будет определять, какой из соседних узлов текущего узла маршрута ближе к точке назначения. Очень часто можно привязать промежуточный узел к какому-либо подвижному объекту. Организация связи в среде с несколькими центрами управления и использованием подвижных объектов в качестве промежуточных узлов будет рассмотрена в данной статье.

Существующие протоколы маршрутизации

В настоящее время наиболее популярными являются следующие протоколы динамической маршрутизации: AODV, OLSR и GPSR.

AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) – протокол динамической маршрутизации для мобильных ad-hoc сетей (MANET) и других беспроводных сетей. Реактивный протокол маршрутизации, устанавливающий маршрут до адресата по требованию. Проблема «счета до бесконечности», свойственная другим протоколам, исключается применением порядковых номеров при обновлениях маршрута. [2]

OLSR (Optimized Link-State Routing) – проактивный протокол маршрутизации. Данный протокол использует обмен сообщениями между узлами для получения информации о топологии сети. Полученные данные узлы используют при построении маршрута для определения следующего участка сети. Данный протокол широко распространен при маршрутизации в беспроводных сетях MANET. [3]

GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) – протокол маршрутизации для мобильных ad-hoc сетей, использующий принцип “жадного продвижения”. GPSR использует соответствие между географическим положением и подключением в беспроводной сети, применяя данную информацию для принятия решений о передаче пакетов в сети, в отличие от других протоколов маршрутизации, использующих теоретико-графические понятия кратчайших путей и транзитивной достижимости для поиска маршрутов. GPSR применяет жадную пересылку для передачи пакетов узлам, которые всегда постепенно приближаются к месту назначения. В участках сети, где такого жадного пути не существует (т.е. единственный путь требует, чтобы пакет временно удалялся от места назначения), GPSR восстанавливается путем пересылки в режиме периметра, в котором пакет последовательно пересекает более близкие грани плоского подграфа полного графика подключения к радиосети, пока не достигнет узла ближе к месту назначения, где возобновляется жадная пересылка. [4]

В данной работе сформулированы алгоритмы маршрутизации на основе принципа жадного продвижения с использованием полярных координат. Полученный метод маршрутизации, реализованный в разработанном симуляторе, будет сравниваться с такими методами маршрутизации, как иерархическая маршрутизация и метод соседей. [5]

Иерархическая маршрутизация предполагает выделение центра иерархии и построение дерева иерархических связей относительного этого центра. Любые два узла могут быть связаны по иерархическому дереву. Тем не менее, иерархическое дерево не содержит всех переходов между узлами, поэтому с помощью метода жадного продвижения можно находить переходы между ветвями деревьев, что сильно сокращает длину маршрута. [6]

Метод соседей имеет следующий алгоритм. Множество всех узлов, расположенных на расстоянии N хопов обозначим -окрестностью исходного узла. Ближайшие узлы, имеющие расстояние 1 хопа относительно исходного, создают окрестность 1-го уровня, а узлы, расположенные на расстоянии 5 хопов, организуют окрестность 5-го уровня. Для маршрутизации будет использован список всех узлов сети с описанием ближайших соседей.

Маршрут между двумя любыми узлами строится в два прохода. Во время первого прохода мы размечаем окрестности от начального узла до узла назначения. Второй проход идет в обратном направлении: при этом выделяются пересечения ближайшей окрестности текущего узла с предыдущей окрестностью относительно начального узла. Такой подход помогает выявить полный граф связности кратчайших маршрутов.

Особенности метода жадного продвижения в полярных координатах

Первая задача заключается во внедрении системы полярных координат для данного набора узлов. Для

этого требуется разработать алгоритм назначения системы полярных координат, то есть определить полярную ось и центральный узел. Было принято решение проводить полярную ось между наиболее удаленными друг от друга узлами сети. Центральный узел располагается в середине полярной оси. Подробное описание алгоритма представлено ниже.

Сперва необходимо выбрать случайный узел сети. Для данного узла требуется построить его окрестности для всего сетевого пространства. Из множества узлов крайней окрестности следует выбрать случайный. Данный узел будет являться одной из крайних точек полярной оси, обозначим его как узел “A”. Затем для узла A требуется заново построить окрестности для всех узлов сетевой конфигурации. Из множества узлов в крайней окрестности относительно узла “A” следует выбрать случайный узел. Данный узел будет являться второй крайней точкой полярной оси, обозначим его как узел “B”. Таким образом крайние координаты полярной оси были найдены.

Следующим шагом будет построение полярной оси как последовательности точек между её крайними узлами. Для этого необходимо построить маршрут из узла “A” в узел “B”. Так как мы еще не определили систему полярных координат, то для построения маршрута воспользуемся методом окрестностей. С помощью этого метода между крайними узлами полярной оси определяется маршрут, как последовательность узлов, который и является полярной осью.

Остается определить центральный узел (начало координат). Для этого следует выбрать узел равноудаленный от крайних узлов полярной оси, в случае если количество узлов на полярной оси четное допускается выбрать случайный узел из двух равно приближенных к середине полярной оси. Данный узел будет являться началом координат (центральным узлом).

После того, как полярная ось и центральный узел определены, необходимо присвоить узлам полярные координаты. В применяемой на плоскости полярной системе координат положение точки определяется её расстоянием до начала координат (R) и углом (φ) её радиус-вектора к полярной оси. Для каждого узла расстояние до начала координат определяется номером окрестности относительно центрального узла. Этот номер принимаем равным радиусу. Чтобы найти полярный угол необходимо задать направление на полярной оси. Затем требуется воспользоваться теоремой косинусов, где стороны треугольника рассчитываются, как количество хопов между находящимися в вершинах треугольника узлами:

$$cos\ cos\ \alpha\ = \frac{b^2+c^2-a^2}{2bc} \quad (1)$$

$$\alpha = arccos\ arccos\ \left(\frac{b^2+c^2-a^2}{2bc}\right) \quad (2)$$

На рисунке 1 приводится иллюстрация присвоения полярных координат узлу “C”.

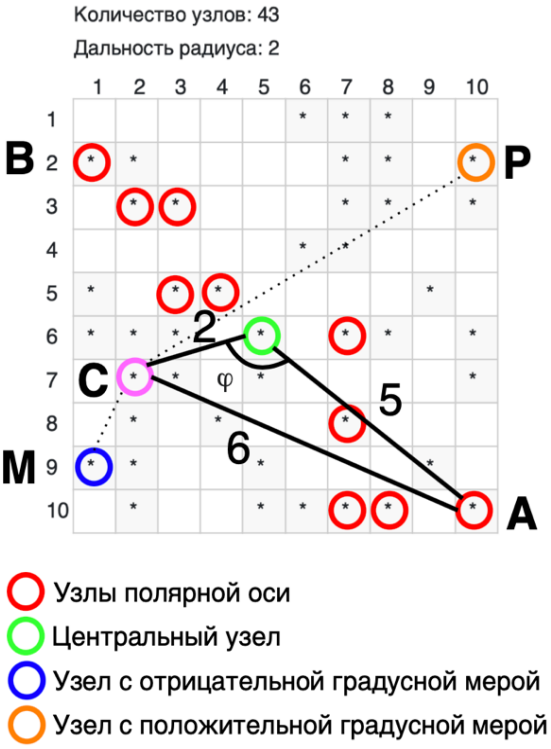


Рис.1. Присвоение узлу полярных координат

Однако определение полярного узла по теореме косинусов имеет одно ограничение. Полученный угол может принимать положительное и отрицательное значение в диапазоне от - π до π, но теорема косинусов не позволяет определить этот угол однозначен. Поэтому нами строится дополнительная ось относительно центра пол координат, которая позволяет разбить всю конфигурацию узлов на четверти, в каждой из которых легко определить знак угла φ.

Маршрутизацию в построенной сети будет осуществляться по принципу жадного продвижения. То есть пакет от текущего узла будет передаваться тому из соседних узлов, который наиболее близко находится к конечной точке маршрута. Данное расстояние рассчитывается по теореме косинусов.

На рисунке 2 проиллюстрирован процесс построения маршрута из узла N в узел K. Для выбора промежуточного узла с наименьшим расстоянием до узла-получателя воспользуемся формулой 3, где стороны треугольника рассчитываются, как количество хопов между находящимися в вершинах треугольника узлами:

$$a^2 = b^2+c^2\alpha \quad (3)$$

Расчеты проводятся для треугольника с вершинами: в центральном узле, узле-получателе и промежуточном узле (для которого требуется рассчитать расстояние до узла-получателя). Данный расчет проводится для каждого узла в окрестности узла N. По полученным результатам узел P1 имеет меньшее расстояние до узла-получателя K, чем узел P2. В

данном случае пакет передается от узла N узлу P1. Алгоритм повторяется снова и снова до тех пор, пока пакет не достигнет узла-получателя K.

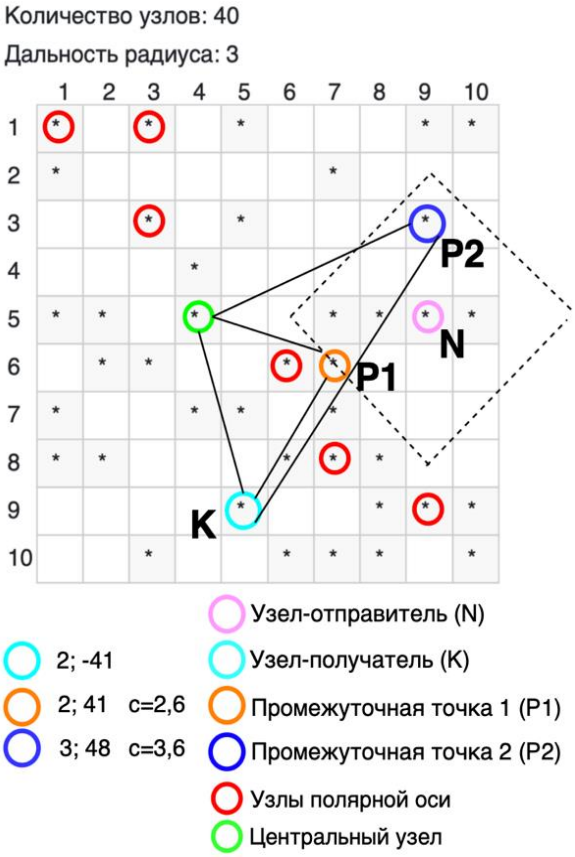


Рис. 2. Выбор промежуточного узла для передачи пакета

Симулятор

Экспериментально проверить данный алгоритм маршрутизации можно на симуляторе, который находится в стадии разработки и тестирования. Ниже приведены основные положения, которым должен соответствовать симулятор.

Симулятор автоматически генерирует набор узлов на поле размером 10x10. Он показывает размещение узлов на поле, количество узлов на поле, рассчитывает минимальный радиус связи, при котором все узлы могут быть связаны друг с другом через промежуточные. Также симулятор позволяет задать полярную систему координат для набора узлов так, как это было описано в теоретической части. Для каждого из узлов будут рассчитываться полярные координаты. На основании этих координат строится маршрут согласно предложенному алгоритму.

Также в симуляторе имеется возможность сравнить маршрут, построенный предложенным алгоритмом с маршрутами, построенными другими способами маршрутизации, такими как иерархическая маршрутизация и метод соседей.

Критерием сравнения эффективности маршрутизации будет являться число участков сети между узлом-отправителем и узлом-получателем.

Прототип симулятора разработан на языке JavaScript и выложен в виде веб-приложения на хостинг, поэтому у любого желающего есть возможность перейти по ссылке http://gg.gg/simulator2022 с любого устройства, подключенного к сети Интернет, и протестировать работу симулятора. Тем не менее, существующая версия будет доработана, а затем дополнительно протестирована и отлажена перед проведением окончательной симуляции. На рисунке 2 был приведен интерфейс текущей версии симулятора.

Заключение

В данном исследовании представлен метод жадного продвижения в полярных координатах. Этот метод используется для маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях, где узлами являются подвижные объекты. Длина полученного маршрута сравнивается с длинами маршрутов, построенными другими методами, в частности, методом окрестностей и методом иерархических координат. Для проверки высказанных гипотез был представлен симулятор, который позволяет строить полярную систему координат и находить маршруты между двумя точками. Предложенный метод маршрутизации предполагается применять для организации связи с подвижными объектами, которые управляются из одного или нескольких центров. На базе этих центров могут размещаться центры управления с радарами, позволяющими строить независимую полярную систему координат.

Список литературы

1. Kandris D. et al. Applications of wireless sensor networks: an up-to-date survey //Applied System Innovation. – 2020. – Т. 3. – №. 1. – С. 14.

2. Perkins C. E., Royer E. M. Ad-hoc on-demand distance vector routing //Proceedings WMCSA'99. Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. – IEEE, 1999. – С. 90-100.

3. Clausen T. et al. Optimized link state routing protocol (OLSR). – 2003.

4. Karp B., Kung H. T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks //Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking. – 2000. – С. 243-254.

5. Сухов А. М., Чемоданов Д. Ю., Букатов А. А. Метод окрестностей в сенсорных сетях //Телекоммуникации. – 2014. – №. 4. – С. 42-48.

6. Belding-Royer E. M. Hierarchical routing in ad hoc mobile networks //Wireless Communications and Mobile Computing. – 2002. – Т. 2. – №. 5. – С. 515-532.

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: МОНИТОРИНГ ОБОРУДОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ КОМПАНИИ-ИНТЕГРАТОРА

Беловицкий В.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент программной инженерии, факультет компьютерных наук

Аннотация

Программный комплекс для мониторинга оборудования и автоматизации сервисного обслуживания разработан по заказу компании-интегратора Hi-Tech Security. На данный момент предлагаемое инновационное решение из сферы интернета вещей уникально для российского рынка обеспечения безопасности средних и крупных объектов из сектора B2B.

Введение

В 2021–2022 гг. устойчивый глобальный рост интернета вещей [1–5] и, в частности, расширение деятельности компании Hi-Tech Security [6] позволили сформулировать задачу по созданию программного комплекса для мониторинга оборудования и автоматизации сервисного обслуживания.

Безопасность бизнес-центров, заводов, производственных предприятий, центров обработки данных, аэропортов и других объектов обеспечивается за счет установки оборудования и программного обеспечения (ПО) в виде комплексных систем безопасности, систем контроля и управления доступом, систем видеонаблюдения и др. Таким образом, централизованный контроль работоспособности оборудования, серверов и ПО в режиме непрерывного мониторинга представляется актуальной задачей. Разработанный программный комплекс создан для повышения эффективности как с точки зрения контроля производительности и систематизации данных, поступающих от все большего числа устройств, так и с точки зрения значительного сокращения сроков реагирования сервисного отдела на сбои и ошибки в работе оборудования и ПО.

Рынок ПО для мониторинга сетей и серверов предлагает целый ряд инструментов – коммерческих и с открытым кодом, – обеспечивающих обнаружение устройств, мониторинг сетевого оборудования и серверов, выявление тенденций в сети, графическое представление результатов мониторинга, резервное копирование конфигураций и др. Среди них Cacti, Icinga, Nagios, Netdata, Netwrix Auditor, Observium, Opsview Monitor, Paessler PRTG, Spiceworks Network Monitor, Zabbix и др. [7–9]. Вместе с тем для решения задач компании-интегратора ни одно из перечисленных готовых решений не подошло по ряду причин: ограниченное количество используемых данным ПО сетевых протоколов; способность к мониторингу далеко не всех устройств, используемых в сфере безопасности; избыточный громоздкий функционал, не нужный при решении задач данной компании.

Создание собственного уникального программного комплекса для мониторинга оборудования и автоматизации сервисного обслуживания нацелено на обеспечение клиентов компании-интегратора принципиально новым, инновационным сервисом, значительно повышающим качество услуг в сфере безопасности.

Архитектура программного комплекса

В архитектуре разработанного программного комплекса для мониторинга оборудования и автоматизации сервисного обслуживания выделяется два основных модуля:

– HtMonitoring – программное решение для передачи событий из источника событий в систему мониторинга. Устанавливается на стороне клиента. Разработана интеграция между источником событий Bosch Building Integration System (BIS) [10] и системой мониторинга Zabbix [11];

– HtService – веб-платформа, собирающая события из систем мониторинга клиентов и предоставляющая веб-интерфейс для создания заявок, предназначенных для сервисного отдела. Устанавливается на стороне компании-интегратора.

На рис. 1 представлена схема архитектуры модуля HtMonitoring, на которой рассмотрен пример мониторинга с использованием BIS и Zabbix. Программное решение открыто для расширения в зависимости от потребностей клиента. Интеграционное взаимодействие между любыми системами возможно при помощи плагинов, разрабатываемых для конкретной системы.

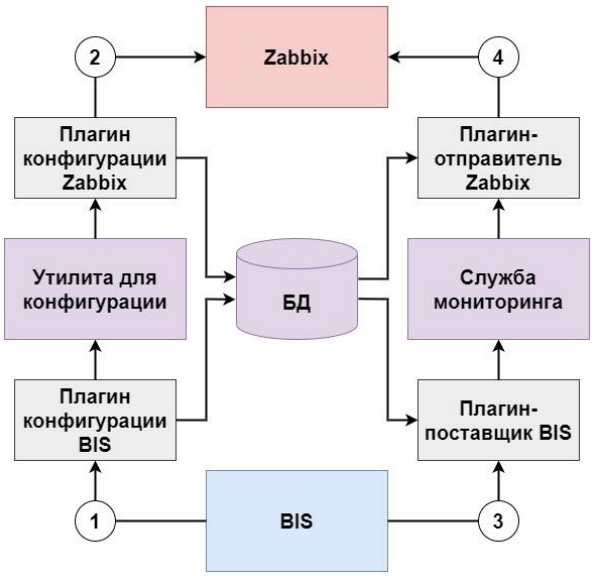


Рис.1. Архитектура модуля HtMonitoring

Программное решение HtMonitoring состоит из двух основных компонентов: службы мониторинга и утилиты для ее конфигурации. В рассмотренном примере выполняется мониторинг специфического охранного оборудования, которое не поддерживается системой Zabbix напрямую. Информация об этом оборудовании и события мониторинга сначала поступают в BIS, а уже оттуда – в Zabbix. HtMonitoring

выполняет интеграцию между BIS и Zabbix по следующим шагам. На шаге 1 (см. рис. 1) утилита для конфигурации запрашивает в BIS информацию о подключенных устройствах с помощью плагина конфигурации BIS и передает эту информацию в Zabbix за счет плагина конфигурации Zabbix (шаг 2). Когда связь между BIS и Zabbix налажена и информация об устройствах сохранена в локальную базу данных (БД на рис. 1), можно начинать принимать события мониторинга по каждому из подключенных устройств. Этим занимается служба мониторинга за счет плагина-поставщика BIS и плагина-отправителя Zabbix (шаги 3 и 4 соответственно).

Поддерживаемые устройства и ПО

Оборудование систем физической безопасности представлено видеокамерами, контроллерами доступа, охранными панелями, считывателями и др., а также соответствующим ПО.

Стремительное развитие рынка интернета вещей приводит к существенному расширению числа брендов, чье оборудование устанавливается и обслуживается компанией-интегратором на объектах заказчиков. Большинство устройств поступает с предустановленным ПО, мониторинг которого является персонализированной задачей в зависимости от бренда и типа устройства. Предлагаемое в созданном программном комплексе решение открыто для расширения, что обеспечивает легкое добавление поддержки новых устройств самых разных типов.

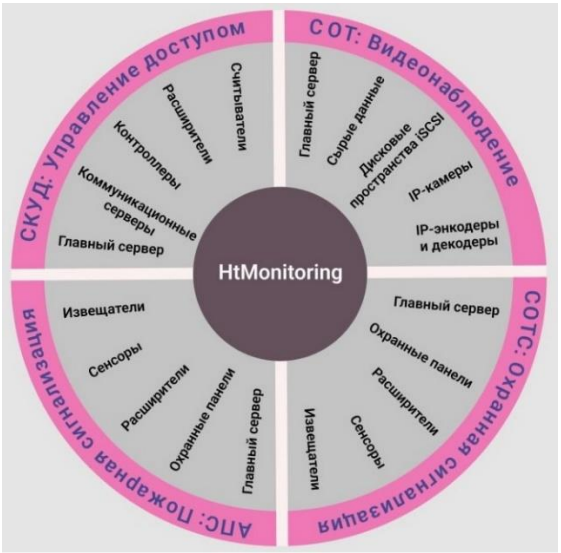


Рис.2. Объекты, подключаемые к HtMonitoring

На рис. 2 представлены четыре основных типа систем, объединяющих объекты мониторинга, подключаемые к HtMonitoring:

– система контроля и управления доступом (СКУД): мониторинг главного сервера и коммуникационных серверов, контроллеров, расширителей, считывателей;

– система охранная телевизионная (СОТ): мониторинг главного сервера и сырых данных, дисковых пространств iSCSI, IP-камер, IP-энкодеров и декодеров;

– система охранно-тревожной сигнализации (СОТС): мониторинг главного сервера, охранных панелей, расширителей, сенсоров, извещателей;

– автоматическая пожарная сигнализация (АПС): мониторинг ПО и устройств, аналогичных СОТС, но отвечающих за пожарную безопасность.

Функциональные возможности

В процессе мониторинга серверов в реальном времени с помощью Zabbix отслеживаются любые необходимые системные ресурсы, такие как загрузка центрального процессора, использование памяти, сеть, емкость и производительность жесткого диска и др. Можно мониторить пороговые значения, при превышении которых инициируется контроль за нагрузкой на любой требуемый ресурс.

HtMonitoring позволяет получить информацию о характеристиках устройств из сферы безопасности, которые не поддерживаются классическими системами мониторинга. Например, можно получать статус подключения расширителей и считывателей к контроллерам доступа. В отличие от контроллеров – сложных устройств с сетевой картой, с которыми можно взаимодействовать по протоколу IP, – более простые расширители и считыватели работают по собственным протоколам, которые не отслеживает Zabbix. Мониторинг статуса их подключения, таким образом, представляется актуальной задачей.

Дополнительными примерами служат: мониторинг целостности корпуса устройства, если оно подвергается вскрытию; отслеживание заряда батареи и исправности источника питания и др.

Заключение

Создание программного комплекса для мониторинга оборудования и автоматизации сервисного обслуживания вносит вклад в развитие интернета вещей на российском рынке обеспечения безопасности средних и крупных предприятий из сектора B2B.

Программный комплекс способен взаимодействовать с широким спектром устройств российских и зарубежных брендов, так как его архитектура предусматривает поддержку плагинов, создаваемых под конкретную задачу.

Список литературы

1. Internet of Things (IoT) Analytics – Global Market Trajectory & Analytics. Internet of Things Analytics Global Market. Global Industry Analysts, Inc. 2022. 484 p.

2. The Current State of the Internet of Things: Poised for Growth and Expansion in 2022–2023, Organizations are Concerned with Functionality. Market Research Report. Frost & Sullivan. 2022. 31 p.

3. TOP-50 Global Security // РИБЕЖ. 2022. № 2. С. 30–43.

4. Ingram P. Smart cities: smoke and mirrors or the future? // International Security Journal. 2022. Iss. 35. P. 110–111.

5. Janani R.P., Renuka K., Aruna A., Lakshmi N.K. IoT in smart cities: A contemporary survey // Global Transitions Proceedings. 2021. P. 187–193

6. Hi-Tech Security. Комплексные системы безопасности [Электронный ресурс]. URL: https://www.hitsec.ru/solutions/ (дата обращения: 25.05.2022).

7. Melnick J. Best server monitoring software tools [Электронный ресурс]. URL: https://blog.netwrix.com/2021/02/03/windows-server-monitoring-tool/ (дата обращения: 25.05.2022).

8. Industrial IT monitoring. Paessler PRTG Network Monitor [Электронный ресурс]. URL: https://www.paessler.com/industrial-it-monitoring (дата обращения: 25.05.2022).

9. IoT solutions for building monitoring. Paessler [Электронный ресурс]. URL: https://www.paessler.com/iot/building-monitoring (дата обращения: 25.05.2022).

10. Bosch BIS [Электронный ресурс]. URL: https://www.boschsecurity.com/ru/ru/solutions/management-software/building-integration-system/ (дата обращения: 25.05.2022).

11. Zabbix [Электронный ресурс]. URL: https://www.zabbix.com/ru/ (дата обращения: 25.05.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНКАПСУЛЯЦИИ КОМАНД IOT В ПАКЕТЫ VOIP

Синявский И.В.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе исследуется возможность передачи данных по протоколам интернета вещей, Internet of Thing (IoT), пакеты которых инкапсулированы в пакеты VoIP. Данное исследование посвящено возможности использования стандарта беспроводной радиотелефонии DECT в инфраструктуре IoT.

Введение

Интернет вещей (IoT) - новое направление в развитии инфокоммуникационных технологий, которое заняло свое место в многих областях: автоматизация производства, дистанционная медицина, сельское хозяйство и т.д. Количество устройств, подключенных к интернету, только растет и по прогнозам экспертов, к 2025 году их число превысит отметку в 75 миллиардов [1].

В настоящее время происходят попытки разработать новые беспроводные технологии [2][3], удовлетворяющие требованиям Internet of Things (большой радиус связи, низкое потребление энергии). В данной работе исследуется идея об использовании альтернативной технологии беспроводной связи. В качестве такой технологии было предложено использовать стандарт радиотелефонии DECT [4].

Однако технология DECT не поддерживает протоколы используемые в IoT. Поэтому цель данной работы – изучить возможность построения инфраструктуры IoT с использованием технологии DECT. Для этого необходимо: исследовать возможности инкапсуляции команд протоколов, используемых в IoT, в пакеты VoIP. Кроме этого, будет сделана попытка реализовать программные модули для подобной инкапсуляции.

Во втором разделе рассмотрена технология DECT, ее преимущества для IoT, рассмотрена предложенная схема связи.

В третьем разделе рассматривается возможность и архитектура инкапсуляции команд часто используемого в IoT протокола MQTT в пакеты совместимые с DECT, а именно MQTT в SIP.

В четвертом разделе описана программная реализация модулей инкапсуляции, приведена модифицированная схема связи.

Преимущества DECT в IoT

DECT – технология беспроводной связи, работающая в диапазоне 1880—1900 МГц. Получила большое распространение в Европе за счет высокой безопасности, возможности цифровой передачи информации, простой расширяемости.

Реализация беспроводной связи (по стандарту DECT) происходит как в рамках аналоговой телефонии, так и IP-телефонии. Корпоративные радиотелефоны, работающие по принципу Voice over IP, являются одним из самых востребованных и быстрорастущих сегментов рынка IP-телефонии.

На рис. 1 изображена стандартная схема архитектуры DECT-систем. Контроллер предназначен для объединения DECT с внешними сетями. Базовая станция – приемопередатчик, для подключения устройств доступа (мобильных абонентов).

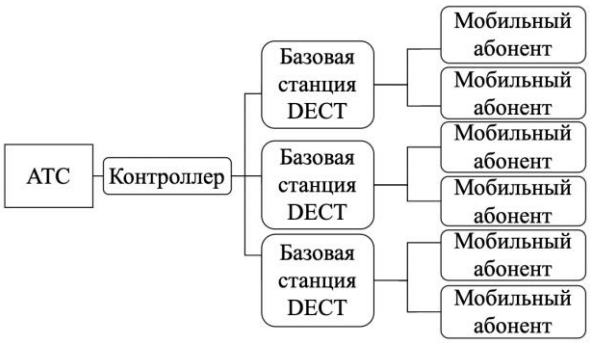


Рис.1. Стандартная схема DECT-систем

Стоит выделить ряд преимуществ DECT, которые определяют хорошую совместимость с IoT в качестве технологии последней мили:

- скорость передачи данных до 1МБ/с, чего более чем достаточно для передачи показаний с датчиков и для управления исполнительными устройствами;
- радиус связи до 300м;
- слабонагруженная полоса частот, по сравнению с WiFi диапазоном 2,4 ГГц;

В нашем случае к базовым станциям DECT должны подключаться устройства IoT, которые сопряжены с пользовательскими устройствами DECT. Эти устройства выполнены на базе мини компьюте-

ров Raspberry Pi с DECT антенной. К шине этого мини компьютера могли бы подключаться датчики и исполнительные устройства IoT.

Для подключения IoT устройств следует использовать схемы связи, приведенные ранее в работе «Стандарт DECT как беспроводная технология IoT» [5].

Наилучшим вариантом для такой схемы является передача данных через стек протоколов TCP/IP. В данном случае абонентское устройство получает свой IP и использует базовую станцию в качестве шлюза по беспроводному соединению, но существующие решения для абонентских терминалов DECT поддерживают только VoIP соединения от IP-провайдеров или SIP-вызовы от IP-SIP-коммутаторов, следовательно не имеют поддержки полного стека протоколов TCP/IP. Такие ограничения приводит к появлению новой схемы связи. Эта схема предусматривает передачу данных через протоколы VoIP (SIP). Для этого необходимо разработать механизм двухсторонней инкапсуляции команд популярных IoT протоколов, в SIP пакеты. В данном случае схема связи имеет следующий вид, приведенный на Рис. 2. Данная схема нуждается в модификации в процессе исследования инкапсуляции пакетов.

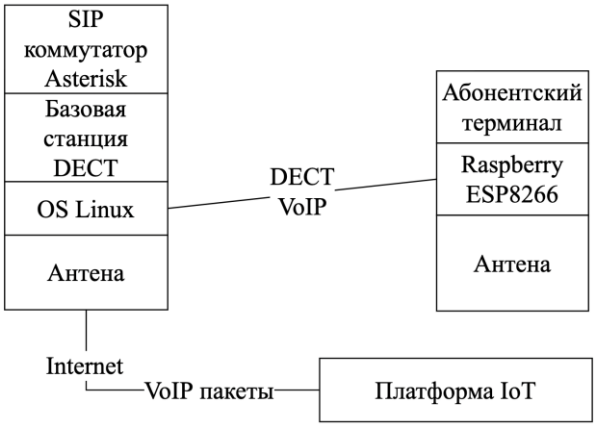


Рис.2. Схема связи через стек VoIP (SIP)

Возможности и архитектура инкапсуляции пакетов

Для исследования проблем инкапсуляции, был выбран часто используемый в IoT протокол – MQTT (Message Queue Telemetry Transport) [6]. Это открытый протокол обмена данными, созданный для передачи пакетов в глобальной сети, когда требуется небольшой размер кода и есть ограничения по пропускной способности канала. Основной принцип протокола – схема подписки с асинхронной работой [7] (рис. 3).

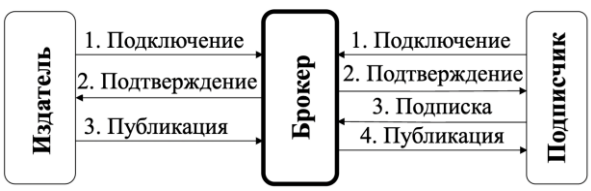


Рис.3. Схема работы MQTT

Каждая команда MQTT передается в отдельном сообщении. В нашем случае, необходимо производить инкапсуляцию данных сообщений в пакеты протокола SIP – протокол установления сеанса используемый в VoIP. В таком случае пакет будет иметь следующую структуру (рис. 4).

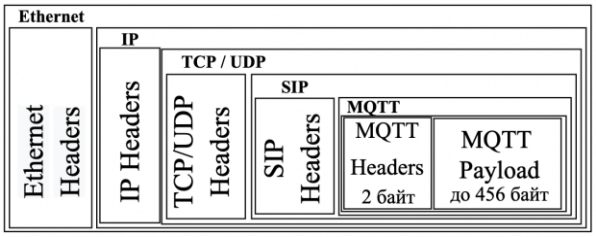


Рис.4. Инкапсулированный пакет MQTT inside SIP

Длина полезной нагрузки в MQTT может составлять до 456 байт в одном пакете и 2 байта на фиксированный заголовок [8]. В протоколе SIP можно отправить до 200 байт без фрагментации [9]. Стоит учитывать специфику сообщений в IoT передаваемых по протоколу MQTT. Например, размер MQTT пакета с публикацией на topic /test/111/test со значением 10 – составляет 20 байт (рис 5).

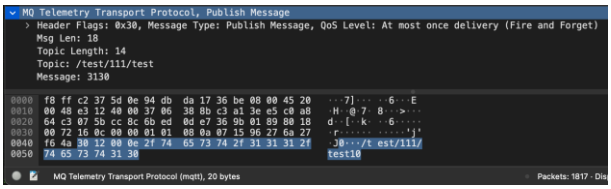


Рис.5. Размер пакета MQTT в WireShark

Также стоит отметить наличие версии протокола MQTT over Websocket, в котором команды MQTT инкапсулируется в пакеты Websocket, это так же подтверждает возможность инкапсуляции данного протокола. В протоколе MQTT заложены следующие типы сообщений:

- connect (установка доступа/соединения);
- disconnect (разрыв соединения);
- publish: (публикация информации в topic);
- subscribe: подписка на topic;
- unsubscribe: отписка от topic.

Сопоставив сообщения MQTT и SIP, получаем следующую схему соответствия для инкапсуляции, см. рис. 6. Остальные типы сообщений протокола SIP используются для функционирования самого соединения.

SIP: Invite	**SIP: Message**	**SIP: BYE**
MQTT: Connect	**MQTT**: Publish, Subscribe, Unsubscribe	**MQTT**: Disconnect

Рис.6. Соответствие сообщений SIP – MQTT

Программная реализации инкапсуляции

Следующий шаг для решения вопроса инкапсуляции – создание модуля, позволяющего упаковывать пакеты MQTT в пакеты SIP. Было принято решение вести разработку на языке Python с использованием библиотеки Scapy. Данный инструмент поз-

воляет создавать собственные сетевые пакеты или производить захват с последующей модификацией [10]. Со стороны сервера IoT услуг (IoT платформы) модуль должен устанавливаться, как отдельный сервис, который принимает MQTT сообщения, инициализирует отправку пакета SIP с предварительной инкапсуляцией пакета и обратным извлечением.

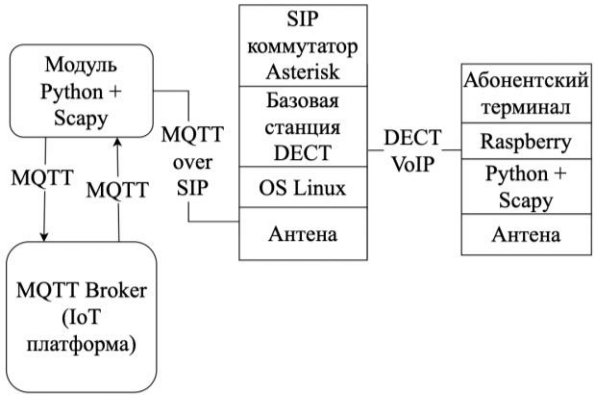


Рис. 7. Итоговая схема с инкапсуляцией

В данном случае, модуль выступает в роли обрабатывающего запросы прокси сервера. Такая же возможность должна быть реализована на абонентском терминале. Итоговая схема связи представлена на рис 7.

Данная схема используется при разработке модулей инкапсуляции пакетов в ходе экспериментального исследования.

На данный момент разработан модуль для односторонней инкапсуляции. Основной задачей модуля является – перехват пакетов с портом назначения 1883 (MQTT Port), после чего распознается тип сообщения и передается на функцию инкапсуляции, где генерируется SIP пакет с вложенным MQTT. Фрагменты кода тестовой версии модуля представлены на рис. 8.

```
load_layer("http")
def snifMQTT(pkt):
    if IP in pkt:
        ip_src=pkt[IP].src
        ip_dst=pkt[IP].dst
        print (" IP src " + str(ip_src))
    if MQTTPublish in pkt:
        topic=pkt[MQTTPublish].topic
        value=pkt[MQTTPublish].value
        print ("MQTT Publish! topic: " + topic.decode('utf-8')+" value: "+value.decode('utf-8'))
        sendSIP(pkt)

def sendSIP(mqtt_pkt):

    ip=IP(src="192.168.100.195", dst="195.161.62.229")

    client = "192.168.100.195"

    sip = ("SIP/2.0 200 OK\r\n"
                "Via: SIP/2.0/UDP " + client + ":30000;branch=z9hG4bKdeadb33f\r\n"
                "To: <sip:qwe@195.161.62.229:5060>\r\n"
                "From: <sip:666@" + client + ":30000>\r\n"
                "Call-ID: f9844fbe7dec140ca36500a0c91@" + client +"\r\n"
                "CSeq: 1 MESSAGE\r\n"
            "Contact: <sip:aa@>\r\n"
            "User-agent: sundayddr\r\n"
                "Max-Forwards: 0\r\n"
                "Content-Length: 0\r\n\r\n")

    UDP_PUSH=UDP(dport=5060)
    split_layers(TCP, MQTT)
    bind_layers(UDP, MQTT)
    newPKT = mqtt_pkt[Ether]/ip/UDP_PUSH/sip/mqtt_pkt
    newPKT.show()
    send(newPKT)
```

Рис.8. Основные фрагменты кода модуля инкапсуляции

Заключение

В исследовании были рассмотрены возможности инкапсуляции команд IoT в пакеты VoIP (SIP) для подтверждения предложенной идеи об использовании технологии DECT в IoT. В качестве начальной идеи была рассмотрена предложенная ранее схема связи сетевых компонентов: сервер IoT услуг, SIP коммутатор с базовой станцией и абонентские терминалы с подключенными конечными устройствами IoT.

Следующим шагом стало исследование архитектуры инкапсуляции, в частности, теоретической возможности инкапсуляции команд MQTT в пакеты SIP.

В ходе практического этапа была приведена модификация схемы связи с описанием разрабатываемых модулей и технологий, участвующих в процессе инкапсуляции.

Промежуточные результаты исследования включают в себя:

- подтверждение возможности передачи команд MQTT через VoIP;
- разработку тестовой версии программного модуля для односторонней инкапсуляции MQTT в SIP.

Список литературы

1. Alam T. A reliable communication framework and its use in internet of things (IoT) // CSEIT1835111| Received. – 2018. – Т. 10. – С. 450-456.
2. IoT Standarts – URL: https://iot.bendakhlia.org/iot-standards (дата обращения: 15.12.2021). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
3. Gardašević G. et al. Emerging wireless sensor networks and Internet of Things technologies—Foundations of smart healthcare // Sensors. – 2020. – Т. 20. – №. 13. – С. 3619.
4. Sukhov A., Sorokin I., Meil D. New life for cordless communication, old regrets for software projects // Communications of the ACM. – 2021. – Т. 64. – №. 10. – С. 6-7.
5. Sorokin I. M., Romanov L. A., Sukhov A. M. DECT standard as wireless IoT technology // 2021 29th Telecommunications Forum (TELFOR). – IEEE, 2021. – С. 1-4.
6. Rani D., Gill N. S. Review of various IoT standards and communication protocols // Int. J. Eng. Res. Technol. – 2019. – Т. 12. – №. 5. – С. 647-657.
7. Фам В. Д., Юльчиева Л. О., Киричек Р. В. Исследование протоколов взаимодействия интернета вещей на базе лабораторного стенда // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – Т. 4. – №. 1. – С. 55-67.
8. MQTT Version 3.1.1 – URL: http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html (дата обращения: 12.01.2021). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
9. RFC3261 SIP: Session Initial Protocol – URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3261 (дата обращения: 20.12.2021). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
10. Scapy – URL: https://scapy.net/ (дата обращения: 12.01.2022). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЛЁТА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЕ

Романов Л.А.[1], Балескин В.А.[2], Косинов А.Н.[1], Бубнова М.А.[1]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
[1]департамент электронной инженерии
[2]департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе описано веб-приложение, позволяющее моделировать пролёт малого космического аппарата форм-фактора Cubesat размера от 1 до 3 юнитов (1-3u). Приложение позволяет учитывать некоторые факторы космического пространства, полезную и служебную нагрузку аппарата, исполнение пользовательского алгоритма.

Общая проблема

В современных реалиях активно растет интерес людей к исследованию космоса и развитию космических технологий. Соответственно, растет спрос на профессионалов и образовательные ресурсы в данной области. Для решения этого вопроса требуется создание новых образовательных продуктов и программных решений.

Существует множество экспериментов, реализовать которые в реальности довольно проблематично из-за необходимости больших денежных затрат или же из-за уникальности и опасности моделируемой ситуации.

Существующие реализации программного обеспечения в других сферах уже показали удобство и эффективность применения клиент-серверной модели. С одной стороны, она позволяет выполнять вычисления на серверах, значительно снижая системные требования для клиента. С другой - позволяет работать удаленно, и снижает порог вхождения. Данная архитектура позволяет расширить целевую аудиторию, а также позволяет уже существующим пользователям работать комфортнее.

Разрабатываемое приложение направлено на наглядное моделирование поведения аппарата на околоземной орбите, учитывающее окружающие факторы, а также функционал внутренних компонентов аппарата. Целью проекта является формирование у незнакомого с областью спутникостроения пользователя полноценного представления о принципе работы космического аппарата, воздействий на него космического пространства.

Обзор существующих решений

Процесс моделирования работы аппарата включает в себя множество сложных факторов, влияющих на функционирование аппарата. Для выполнения спутником его миссии требуется учет его орбиты, воздействия магнитного поля на космический аппарат, солнечного излучения, а также функционирование устройств, датчиков и алгоритмов. Моделирование перечисленных факторов порой требует вычисления параметров с использованием сложных математических моделей и применения специализированного программного обеспечения.

Для решения задач астродинамики разрабатывается программное обеспечение, позволяющее произвести моделирование пролета спутника, оценку стоимостных затрат:

Таким программным обеспечением является General Mission Analysis Tool (GMAT), созданный специалистами NASA для развития понимания астродинамики и навыков управления орбитами [1]. В GMAT методом Рунге-Кутты моделируется движение материальной точки в гравитационном поле нескольких притягивающих центров, кроме того, есть возможность проведения периодической коррекции вектора скорости космического аппарата для нивелирования неустойчивой компоненты движения.

Аппаратным аналогом является стенд полунатурного моделирования SXL-SCOE-ADCS-01 [2] разработанный и собранный в ООО “СПУТНИКС”, предназначенный для отработки систем ориентации, стабилизации и навигации малых космических аппаратов. Устройства в составе стенда имитируют воздействие на объект исследований некоторых факторов космического пространства: свободное вращение вокруг центра масс, переменное магнитное поле, поток солнечного излучения, сигнал навигационной системы.

Целью использования стенда является экспериментальная отработка и исследование работы алгоритмов ориентации, стабилизации и навигации космического аппарата в земных условиях.

Предлагаемое решение

При разработке программного решения ”Виртуальный космос виртуальный спутник” (ВКВС) использовалась клиент серверная архитектура. Параллельно процессу моделирования происходит обмен данными между клиентом и сервером, описываемый последовательностью удаленных вызовов процедур (remote procedure call, RPC) по заданному интерфейсу.

Во избежание типичных ошибок поточной обработки, для реализации обмена данными необходима явная дискретизация процесса по времени. Каждому интервалу времени определенной длины ставится в соответствие дискретное значение времени, которое, в свою очередь, сопоставляется с состоянием системы. Задав функцию перехода состояний и начальное состояние, становится возможным моделирование процесса.

Каждое дискретное состояние системы включает информацию о состоянии самого моделируемого космического аппарата (а также его подсистем) и состояние окружающей среды. Состояние аппарата не является стабильным до конца текущей итерации процесса моделирования. Напротив, состояние окружающей среды однозначно определяется по параметрам моделирования и предыдущим состояниям системы, что делает его стабильным. В связи с этим, для каждой отдельно взятой подсистемы рассчитываемое дискретное состояние является непредсказу-

емым и нестабильным, поскольку может быть изменено другой подсистемой. Таким образом, при моделировании, возможна только запись значений в новое состояние аппарата.

Моделирование пролета космического аппарата может быть оптимизировано путем распределенного вычисления параметров. Так, моделирование положения аппарата и состояния окружающей среды может производиться независимо от расчета нового состояния аппарата, а значит эти расчеты можно реализовать в виде независимых компонент - служб. Поскольку такие вычисления не требуют информации о состоянии аппарата, возможна пакетная обработка.

При моделировании космических аппаратов с разной конфигурацией компонентов, а следовательно, с разным функционалом производятся различные, как по своей сути, так и по сложности вычисления. При отсутствии в конструкции моделируемого аппарата тех или иных систем, расчет работы данных систем на серверном сегменте программного решения можно просто “отключить”, тем самым не тратя лишние, и зачастую, значительные, ресурсы.

В большинстве случаев моделирования систем внутреннее устройство рассматривается лишь до определенной степени. С ростом “глубины рассмотрения” повышается сложность моделирования. При этом, система должна обеспечивать достаточное качество обслуживания. В случае данного решения аппарат достаточно рассматривать как набор функциональных элементов - модулей, таких как блоки маховиков, магнитные катушки и различные датчики. При этом, решение нацелено на моделирование малых космических аппаратов форм-фактора CubeSat размером от одного до трех юнитов (1-3U), что позволяет принять некоторый размер функционального блока за единичный, и выразить в таких “единицах” как размеры модулей, так и “вместимость” форм-фактора.

Модульная природа системы позволяет описать каждую подсистему аналогично всему аппарату в целом. Для формирования нового состояния определяется его начальное значение (например, равным предыдущему состоянию), обновляются значения параметров, общие для всей системы, после чего последовательно обновляется состояние каждой подсистемы.

Для моделирования пользовательского алгоритма необходимо предоставить механизмы проверки и исполнения пользовательского кода, систему обмена данными между пользовательской программой и основной системой и API. При этом, система проверки сводится к ограничению использования библиотек выбранного языка; система исполнения - к компиляции и запуску кода с использованием системы обмена данными. API реализован для пользовательской программы в виде набора типов и функций, использующих систему обмена данными для отправки команд. На стороне основной системы команды заносятся в очередь, из которой извлекаются в процессе моделирования обработчиком команд и применяются.

Особую важность в процессе обмена данными играют временные характеристики. Внедрение агрегации смоделированных состояний увеличивает задержку между действиями пользователя и реакцией на них системы, но в то же время, снижает удельное время получения одного кадра. Однако, дополнительная задержка от внедрения агрегации не является значимой. Кроме того, допустимо ограничить взаимодействие между моделируемой системой и пользователем, что еще сильнее снижает значимость проблемы.

Обзор ВКВС

“Виртуальный космос виртуальный спутник” представляет из себя веб-приложение, позволяющее моделировать пролёт малого космического аппарата форм-фактора Cubesat размера от 1 до 3 юнитов (1-3u). С целью снизить минимальные системные требования к персональным компьютерам пользователей для реализации была использована клиент-серверная архитектура, поскольку она позволяет перенести часть вычислений на сервер.

Клиентская часть программного обеспечения состоит из веб-страниц, в то время как серверная часть программного обеспечения состоит из нескольких компонент - служб. Каждая из них отвечает за решение определенной задачи. Так, модуль SGP рассчитывает положение аппарата по заданным времени и параметрам орбиты. Модуль IGRF - рассчитывает вектор и потенциал магнитного поля в месте нахождения аппарата. Модуль code processing - отвечает за компиляцию кода, предоставленного пользователем. Модуль assembly - проверяет поступающие от пользователя варианты полезной и служебной нагрузки на корректность. Наконец, модуль aggregator - отвечает за моделирование функционирования аппарата. По запросу, передает клиенту сведения о состоянии аппарата и среды.

«ВКВС предоставляет обширный спектр возможностей использования: выполнение расчетных и лабораторных работ, например включение маховика для ориентирования аппарата, получение показаний магнитометра, а также получения навыков в управлении и в написании программного кода, позволяющего управлять малым космическим аппаратом и не только. Помимо прочего приложение обладает высоким уровнем интеграции, что дает пользователю возможность создавать собственные лабораторные работы и практические задания с помощью дополнительных инструментов разработки» [3].

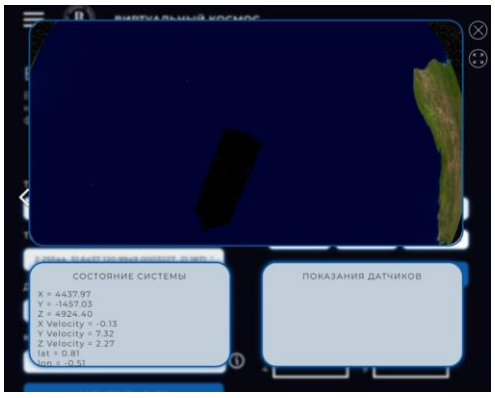


Рис.1. Интерфейс приложения

Внедрение в проектно-учебную деятельность

Веб-приложения “Виртуальный космос виртуальный спутник” и “Эмулятор передачи данных со спутника на наземную станцию на основе клиент-серверной архитектуры” были апробированы на партнерских и базовых школах НИУ ВШЭ. Впервые апробация прошла на преподавателях - научных руководителей школьников России, принимающих участие в конкурсах, тематика которых связана с исследованием космоса. Подготовке и обучению преподавателей, которые в дальнейшем планируют выступать в качестве руководителей школьных проектов по космической тематике уделяется особое внимание. Преподаватели проводили пред эксплуатационную проверку приложения и давали оценку эффективности практической реализации программного продукта. После корректировок и оценки реализации программного продукта было решено провести апробацию на учениках партнерских и базовых школ НИУ ВШЭ. В учебно-исследовательской лаборатории функциональной безопасности космических аппаратов и систем обучающиеся попробовали создать свой собственный кубсат и запустить его на околоземную орбиту для дальнейшего принятия телеметрической информации со спутника на наземную станцию, выполняя ряд лабораторных работ. Приложение имеет дружелюбный интерфейс, и с помощью встроенных подсказок все учащиеся практически на отлично справились с рядом лабораторных работ. В дальнейшем разработанный программный продукт планируется применять не только в обучении специалистов, но и в рамках программ дополнительного образования.

Заключение

Разработано программное обеспечение, позволяющее производить расчеты магнитного поля, а также изучать возможные итоги моделирования пролёта малого космического аппарата на околоземной орбите в зависимости от тех или иных входных данных, что позволит заменить множество экспериментов. Был закуплен сервер, что позволило перенести основные расчёты на серверную часть, в связи с чем технические требования к пользователям значительно снизились. Система позволяет наблюдать за ходом эксперимента и выводить полученные результаты в режиме реального времени.

Приложение было апробировано с помощью партнёрских и базовых школ НИУ ВШЭ. Приложение планируется применять в дистанционном обучении в таких проектах как: ИТ-класс в московской школе, Инженерный класс в московской школе, кроме того, возможно применение в проведении олимпиад, например, Московской Предпрофессиональной Олимпиады Школьников.

Список литературы

1. Berthoud L and Walsh J 2017 Using mission analysis software GMAT to develop skills in astrodynamics Proc. of the 45th SEFI Annual Conf. 2017 - Education Excellence for Sustainability (Azores: European Society for Engineering Education (SEFI)) pp 1116-23.

2. Semi-natural modelling stand SXL-SCOE-ADCS-01 URL [электронный ресурс]. - режим доступа: https://sputnix.ru/ru/oborudovanie/ispytatelnye-stendy-new/stend-polunaturnogomodelirovaniya-sos (дата обращения 06.03.2022)

3. Виртуальный Космос Виртуальный Спутник [электронный ресурс]. – режим доступа: https://roadtospace.cosmos.ru/docs/2021/road-to-space-2021-abstract-book-v1.pdf (дата обращения 03.12.2021)

4. В.А. Балескин, А.Н. Косинов, Л.А. Романов, И.А. Мотайленко, клиент-серверная реализация в решении задачи моделирования полета малого космического аппарата на околоземной орбите, Ежегодная межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В.Арменского, 2021

ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА С ПРОЦЕДУРОЙ ОНБОРДИНГА НА ОСНОВЕ ЧАТ-БОТА

Заякина А.М.[1], Немна В.А.[2], Савельев Н.А.[3]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]департамент компьютерной инженерии,
[2]департамент прикладной математики,
[3]департамент электронной инженерии,
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе представлено описание системы первичного практического ознакомления студентов, преподавателей и сотрудников с проектной цифровой средой факультета МИЭМ НИУ ВШЭ. Рассматриваемая система является частью дисциплины “Проектный семинар”, основная задача которой – проведение “онбординга” (первичного практического ознакомления) для студентов младших курсов в проектной модели обучения МИЭМ. Рассматриваемая система представляет собой образовательный курс, цель которого дать теоретические материалы (через конспекты, видеоуроки) и закрепить изученное с помощью тестов. Получение практических навыков предусмотрено через интерактивные уроки, которые проводит чат-бот. Такой подход является новым в сфере образования и эффективным за счет способа подачи информации. В совокупности система помогает студентам приобрести практические и методологические навыки для ведения и реализации проекта. В статье будет рассматриваться проектная модель МИЭМ НИУ ВШЭ и вклад, вносимый разрабатываемой обучающей системой в процедуру онбординга.

Введение

В России на преподавателей ложится чрезмерная нагрузка. Это приводит не только к проблемам со здоровьем у преподавателей (хроническая усталость, выгорание и прочие виды психологических истоще-

ний), но и в целом пагубно влияет на качество образования в вузах страны [1]. В этом исследовании рассматривается решение проблемы с помощью интеграции чат-бота в образовательный процесс. Чат-бот – это компьютерная программа, которая взаимодействует с человеком посредством текста на естественном языке через интуитивно понятный интерфейс. Функционирование чат-ботов может быть основано на заранее заданных алгоритмах ответов на запросы пользователя или на принципах машинного обучения [2] . Последнее время чат-боты нашли широкое применение в процессе обучения как дополнение к материалам, рассказанным преподавателем. Основные функции обучающего чат-бота это:

– обучение базовой теории;

– повторение материала;

– отработка практических заданий с последующей проверкой и оцениванием;

– закрепление изученной темы;

– ответы на часто задаваемые вопросы.

С таким набором функций чат-бот становится помощником для преподавателя и снимает с него часть нагрузки, помогает студентам получить максимальную пользу от курса. Технология применения образовательных чат-ботов была применена в рамках дисциплины “Проектный семинар” на факультете МИЭМ НИУ ВШЭ. Чат-бот проводит интерактивные уроки для студентов, во время которых он дает базовый теоретический материал и оцениваемые практические задания. Чат-бот самостоятельно проверяет выполнение задачи на платформе, фиксирует ошибки и дает рекомендации по выполнению задания, а затем выставляет оценку за прохождение интерактивного урока в “Журнал оценок”, который могут посмотреть преподаватели.

Чат-бот как помощник преподавателя

Обязанности преподавателя обширны: в них входит составление программы дисциплины, подготовка материалов, чтение лекций и проведение семинаров, проверка и оценивание заданий, повторение изученного материала и ответы на вопросы студентов. Часть этих обязанностей может взять на себя чат-бот. Преподаватель может делегировать ему объяснение несложного для понимания материала, проверку тестов, выставление оценок, а также поручить отвечать на часто задаваемые вопросы. Так с помощью “электронного учебного ассистента” – чат-бота – преподаватели могут быстро установить контакт со студентами и передавать информацию в сжатом виде. Такой подход к обучению подойдет не для всех учебных дисциплин, но тем не менее технология внедрения чат-ботов в образование продолжает распространяться, и сейчас существует множество обучающих чат-ботов.

Актуальность

Система образования имеет важную особенность: чаще всего преподаватель и ученик являются представителями разных поколений, имеют разное мировоззрение, навыки и способности. Таким образом, основной задачей педагога является достижение образовательных целей с помощью адаптации к особым чертам восприятия информации поколения учеников.

Молодые люди все хуже воспринимают большие потоки информации, так как знают, что благодаря интернету всегда существует возможность повторно обратиться к текстам, статьям, книгам. С приходом технологий современные студенты потребляют колоссальный объем информации в быстром темпе, в связи с чем меняется стиль их обучения. Интегральные и дифференциальные стили заменяются когнитивным стилем, тип мышления становится клиповым, то есть информация усваивается кусками и образами.

Содержательная информация учебных материалов должна быть пересмотрена, необходимо структурировать информацию в виде клипов, видоизменять формат изложения, а также применять яркие и четкие образы с запоминающимися формулировками [3].

Образовательные чат-боты удовлетворяют новым требованиям образовательных процессов: информация подается небольшими частями, в которых представлены основные тезисы и четкие формулировки; яркие, запоминающиеся образы предоставляются благодаря стилю геймификации, который включает в себя интерактивные, иногда неформальные способы донесения информации (аудио, видео, викторины).

Образовательные чат-боты открывают новые возможности связи преподавателей и студентов и передачи информации в сжатом виде. Не любой образовательный процесс может быть переведен в формат общения с чат-ботом, но уже сейчас существует множество образовательных ботов, нацеленных на доведение до пользователя краткой дозированной информации [4].

Технология чат-ботов в образовании имеет выдающиеся перспективы, которые начинают реализовываться уже сейчас.

Обзор аналогов

Чат-бот MATHiaU [5] фирмы Carnegie Learning создан для оказания помощи неуспевающим студентам по математике, позволяя преподавателю адаптировать учебный процесс под индивидуальные потребности студента. Пошаговые примеры помогают студенту в решении типовых задач. Затем проводится тестирование, в котором чат-бот позволяет обнаружить пробелы в знаниях студента и закрыть их в режиме реального времени. Этот чат-бот активно взаимодействует в связке с преподавателем, он берет на себя вторую часть в процессе “Передача учебного материала- Контроль освоения учебного материала”. Однако, помимо очевидных преимуществ, есть несколько недостатков системы, делающих её использование в сфере высшего образования невозможной. Из-за ориентированности на потребности каждого ученика, стоимость MATHiaU рассчитывается исходя из числа обучающихся и составляет 22-27 долларов в год. Соответственно при необходимости масштабировать какие-то задания или курсы стоимость использования возрастает на порядок. Также там существует большое число заданий в базе, что безусловно, явля-

ется преимуществом, но в то же время отсутствие возможности добавить свои уникальные задания несколько урезает возможности преподавателя.

С приходом цифровизации в сферу образования появились онлайн-школы, в процессы которых активно внедряются образовательные чат-боты. Стартап Learme предоставляет онлайн-школам чат-бота [6], способного сэкономить ресурсы бизнеса. В его функционал входит проведение интерактивных уроков, рассылка домашних и тестовых заданий, возможность публикации видео-уроков. Также чат-бот решает проблему гибкости образовательного процесса – по ходу обучения собирается информация о пользователе и, с помощью алгоритмов, формируются индивидуальные уроки для учеников. Уроки формируются в качестве html- страниц, что может быть неудобно для пользователя. Получается, что чат-бот в данном исполнении только место, куда собраны все ссылки и скорее является не инструментом обучения, а инструментом сбора фидбека. Необходимость переходить в браузер для изучения материала существенно сказывается на концентрации обучающегося. Из-за чего урок может быть заброшен на середине.

Рассмотренные чат-боты имеют схожую структуру и выполняют две основные задачи: разгрузка преподавателя и адаптация к индивидуальным потребностям ученика.

Недостатки аналогов были учтены при разработке обучающей системы. Таким образом в ней существуют простые механизмы добавления материалов и заданий для учащихся. При этом во избежание рассеивания внимания все уроки проходят непосредственно в мессенджере, если только обратное не предполагается сценарием (например, обучение работе в проектном трекере Taiga производится в нём самом).

Внедрение обучающего чат-бота в проектное обучение на примере факультета миэм

В МИЭМ НИУ ВШЭ студенты различных образовательных программ обязательно вовлечены в проектную деятельность факультета. Для ознакомления студентов первого курса образовательной программы ИВТ с проектной моделью обучения была разработана дисциплина “Проектный семинар”, в рамках которой студенты проходят обучающий курс “Цифровой МИЭМ” (другое название “Инструментарий проектной работы”). Задача курса – дать базовое понимание проектной методологии в МИЭМ и научить студентов пользоваться такими платформами как Taiga, Wekan, GitLab, Jitsi, Zulip, Личный Кабинет МИЭМ, Google Drive, Wiki MIEM (будем называть их “проектные сервисы”) и другие для комфортной работой над проектом.

Курс состоит из нескольких компонент:

– теоретический материал о методологии проектной деятельности;

– гайды и видеоинструкции по работе с сервисами, перечисленными выше;

– тесты по теоретическому материалу;

– интерактивные оцениваемые уроки с чат-ботом на платформе Zulip.

Студенты самостоятельно изучают информацию (теорию и инструкции) и затем проходят тесты, чтобы проверить свои знания. Такой формат проверки изученного не всегда надежен: учащиеся могут проходить тесты в разное время и делиться друг с другом ответами. Не читая материал, студент может “протыкать” верные ответы и успешно завершить тест, не получив при этом новых знаний. Интерактивные уроки, разработанные специально под этот курс, не сталкиваются с такой проблемой: бездумно “протыкать” уже не получится из-за специфического формата урока. Сначала чат-бот дает базовый материал по работе с платформой на определенную тему, а затем отправляет студента на эту платформу и дает небольшое задание. Во время выполнения студентом задания чат-бот фиксирует его действия и в режиме реального времени реагирует на них: если студент ошибся, бот сообщит об этом в чате и расскажет, как выполнить задание верно. По завершении задания бот продолжит давать сжатый материал или даст ссылку на раздел в инструкции, который пользователю нужно прочитать, чтобы успешно справиться со следующим заданием. Как только студент завершит все задания от чат-бота, интерактивный урок завершится: чат-бот даст общий фидбек пользователю, проставит оценку за каждое задание и выставит общую оценку за интерактивный урок в Google Classroom или Smart LMS (зависит от того, где располагается обучающий курс). Такой подход обучения дает студенту базовые знания об инструментах проектной деятельности МИЭМа и гарантирует получение практических навыков через первичный контакт пользователя с платформой: невозможно выполнить задание, не разобравшись с ним самостоятельно.

Вклад обучающей системы в процедуру онбординга

Оценить успешность интегрирования обучающих чат-ботов в учебный процесс можно на примере дисциплины “Проектный семинар” в МИЭМ: от студентов, прошедших интерактивные уроки с чат-ботом, ни разу не приходил запрос в Техническую поддержку МИЭМ об использовании проектных сервисов, в то время как студенты, не прошедшие интерактивные уроки, обращались в Техподдержку с просьбой проконсультировать насчет эксплуатации тех же сервисов. Кроме того, о полезности интерактивных уроков с чат-ботом можно судить из следующего: в этом учебном году в цифровую проектную среду МИЭМ был внедрен новый сервис – Wekan. В курс “Цифровой МИЭМ” был добавлен гайд по использованию платформы, но не был разработан и внедрен интерактивный урок. По данным техподдержки [7] за октябрь и ноябрь количество вопросов об эксплуатации сервиса превысило 53% от общего количества запросов (см. рис. 1), при том что 70% обращающихся в Техподдержку – студенты (см. рис. 2).

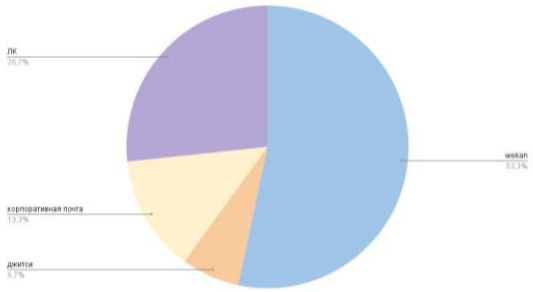


Рис.1. Типы обращений в Техническую поддержку МИЭМ

Голубое – количество запросов на консультацию по работе сервисом Wekan, фиолетовое – количество сообщений об ошибках на сервисе "Личный Кабинет", желтое – количество просьб помочь восстановить данные корпоративного аккаунта, оранжевое – количество просьб выслать записи занятий с платформы Jitsi.

В это же время не поступало вопросов консультационного характера от студентов об использовании других проектных сервисов, для которых были разработаны интерактивные уроки. Отсюда можно сделать вывод, что интерактивные уроки с чат-ботом в рамках образовательного курса "Цифровой МИЭМ" помогают студентам приобрести необходимые навыки для самостоятельной работы на проектных платформах.

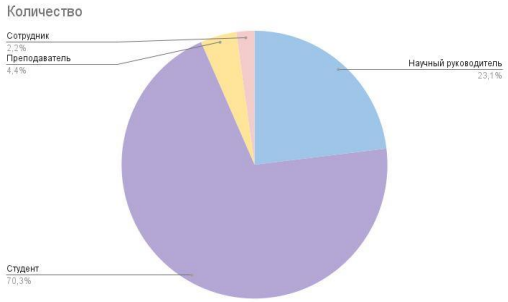


Рис.2. Количество людей, обратившихся в Техническую поддержку МИЭМ

Таким образом, обучающие чат-боты выполняют часть обязанностей преподавателя без потери качества знаний в удобном для студента формате.

Заключение

Создана обучающая система с процедурой онбординга на основе чат-бота, также разработан курс для дисциплины "Проектный семинар", изучаемой на 1 курсе ИВТ. Проанализировав обращения в техническую поддержку, было выявлено, что после введения чат-бота в эксплуатацию, число запросов, касающихся работы в цифровых сервисах, уменьшилось.

Список литературы

1. Эрштейн, Л. Б. Чрезмерная нагрузка преподавателей вузов как фактор разрушения высшего образования в России / Л. Б. Эрштейн. – Текст: непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2021. – № 3. – С. 75 - 83. – DOI: 10.15593/2224-9354/2021.2.6

2. Катькало В.С. Корпоративное обучение для цифрового мира: учебное пособие / В.С. Катькало, Д.Л. Волкова. – 2-е изд., перераб. и доп., 2018. – 248 с.

3. Семеновских Т. В. Феномен «клипового мышления» в образовательной вузовской среде //Вестник евразийской науки. – 2014. – №. 5 (24). – С. 134.

4. Аристова А. С. и др. Использование чат-ботов в образовательном процессе //Цифровая трансформация общества, экономики, менеджмента и образования (2019).—Том 2.—Екатеринбург, 2020. – 2020. – Т. 2. – №. 2. – С. 95-99.

5. Чат-бот MATHiaU: [https://www.carnegielearning.com/solutions/math/mathiau]. Дата обращения: 04.04.2022

6. Чат-бот LearMe: [https://home.learme.ru/solutions/chatbots]. Дата обращения: 04.04.2022

7. Данные канала "Техническая поддержка МИЭМ" в сервисе Zulip: [https://docs.google.com/spreadsheets/d/1T7bx_XaIJMyXmBbf39FvkPS-J8RpZfMWX-kE0-ku66Q/edit#gid=935143210]. Дата обращения: 02.04.2022

КОНСТРУКТОР ФОРМ

Дубровский Н.А.[1], Пригородов Р.А.[2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]департамент компьютерной инженерии,
[2]департамент электронной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе описывается сервис, предоставляющий преподавателям инструменты для проведения тестовых работ в формате онлайн. Наиболее важные компоненты этой системы – инструменты генерации персонализированных заданий и их автоматической проверки.

Введение

Как показано в [1], при неуклонном развитии информационных технологий невозможно отсутствие влияния на другие сферы жизни. Технологии в обучении становятся все более актуальной темой для разработок. А карантинные меры дали миру понять, что образование должно быть доступным в любой момент, в том числе из дома. Помимо карантинных мер, политические потрясения влияют на рынок уже имеющихся платформ и систем, иностранные фирмы отзывают лицензии и прекращают сотрудничество с образовательными организациями Российской Федерации. В условиях замещения иностранных продуктов на российские аналоги актуальность разработки отечественных сервисов выросла. В таком случае острым становится вопрос выбора платформы для проведения занятий и тестирования знаний студентов. Однако, для разных учебных дисциплин требуются разные

инструменты, из-за этого студенты вынуждены использовать разные платформы для разных дисциплин. Преподаватели и студенты путаются от обилия сервисов. Помимо сложностей одновременного использования нескольких платформ, рабочая нагрузка на преподавателя сильно возрастает, это связано с подготовкой тестовых заданий, раздачей заданий студентам и последующей ручной проверкой.

Целью этой работы является решение данных проблем за счет внедрения собственного сервиса для проведения тестирования знаний студентов. В статье будет описано взаимодействие сервиса с другими учебными платформами и функции работы со стороны преподавателей и студентов.

Обзор аналогов

Внедрение технологий в обучение напрямую ведет к увеличению количества студентов на курсах. Авторы платформы онлайн обучения [2] отмечают увеличение количества пользователей, соответственно, повышение нагрузки на преподавателей онлайн курсов. Внедрение технологий автоматической проверки сильно уменьшило нагрузку на преподавателей, что позволило вести курсы для большего количества студентов, также это освободило время для коммуникации со студентами по учебным вопросам. Студенты тоже испытывают трудности при прохождении курсов в онлайн формате, как правило это связано с отсутствием преподавателя, который может указать на ошибку студента. Из-за стресса студенты склонны бросать прохождение курса, потому что решение проблемы в автоматически оцениваемом задании им кажется невозможным. Для удержания студентов применяются технологии так называемой «обратной связи», как показано в [3], что позволяет грейдеру указывать студенту на допущенную ошибку. При этом важно давать студенту подсказку так, чтобы решение не называлось, чтобы студент чувствовал, что он сам решил задачу. Помимо обратной связи возможно применении геймификации, это повысит мотивацию у студента обучаться и соревноваться с другими. При этом инструменты автоматической проверки могут совместить в себе изложенные методы поддержания интереса студента, как это показано в [4]. Инструмент автоматической проверки решений Jupyther Notebook содержит в себе сценарии возможных ошибок студента, и при возникновении трудностей подтолкнет студента к правильному ответу. Однако, использование подобных платформ почти невозможно для учебных заведений по нескольким причинам. Во-первых, доступ к ним не является бесплатным, а ведение всех курсов в платной платформе сильно ударит по бюджету учебного заведения. Во-вторых, большинство платформ являются иностранными, что подвергает опасности лишения своих курсов из-за санкций.

Одним из возможных вариантов решения проблемы выбора платформы могут послужить [5] LMS. Во многих учебных заведениях используются LMS, которые, как правило, имеют широкий спектр инструментов для проведения курсов в формате онлайн. Возможности подобных систем не ограничиваются обычными инструментами тестирования, они содержат интерфейс для управления курсами и взаимодействия со студентами. Однако обычно API методы доступа для LMS являются закрытыми, что делает невозможным совместную работу сторонних сервисов с LMS. Это же актуально и для Smart LMS.

Другим возможным путем решения поставленной задачи может стать использование связки из сервисов Google, как показано в [6]: Spreadsheets, Classroom, Admin, Forms. При помощи сценариев на языке AppScript возможно взаимодействие сервисов между собой, в том числе автоматическая проверка. Данный механизм с определенными нововведениями был использован на курсе «Компьютерная графика» направления «Информатика и вычислительная техника», где были выявлены критические проблемы по производительности, как показано в [7]. Помимо упомянутых проблем с производительностью, могут возникнуть ситуации, из-за которых учебное заведение потеряет все инструменты ведения курсов, например, из-за возможных санкций.

Гипотеза

Сервис «Конструктор Форм» является веб-приложением, которое предоставляет преподавателю возможность создавать заготовки тестов для множественного использования, а также возможности раздачи персонализированных тестовых заданий студентам и их автоматической проверки. Студентам сервис даст возможность пройти тест с любого устройства и получить оценку сразу после сдачи работы. Открытое API позволяет разработчикам сторонних учебных сервисов создавать сценарии интеграции с сервисом.

Решение

Благодаря полученным отзывам преподавателей было решено поддерживать следующие типовые формы тестовых заданий: выбор одного из нескольких, выбор многих из многих, формы с видео и ответ одной фразой. Данные типы заданий являются базовыми и могут легко дополняться новыми. Текстовые задания являются тривиальной формой тестового задания, форма с видео – специальный вид задания. В ходе прохождения такого типа заданий студент смотрит видеодорожку и отвечает на вопросы по содержанию. Помимо разных типов заданий сервис предоставляет возможность раздачи персонализированных заданий. Заготовка теста делится на секции, в рамках которой вопросы должны иметь одинаковый вес. Вопросы могут перемешаться в рамках одной секции или не перемешиваться. Помимо перемешивания есть возможность выбора m случайных заданий из n заданий в секции, что создает персонализированный тест для каждого студента. Оценивается работа автоматически по предоставленным преподавателем ответам в шаблоне теста, оценки за тест могут быть выставлены в таблицу в облачном сервисе или в LMS при помощи протокола LTI, инструменты взаимодействия с LMS предоставляются проектом №588, с сервисами которого Конструктор Форм взаимодействует через API.

Архитектура

По причине сильной связи сущностей в пределах системы было решено не разбивать функционал в микросервисы. Серверная часть веб-приложения была разработана отдельно от клиентской, так как интерфейс форм является составной частью интерфейса проекта №588. Серверная часть приложения разработана на языке Go и использует нереляционную СУБД mongo.

Развитие

Сервис не является самостоятельным так что его отчуждение от сервисов проекта №588 невозможно по причине тесной связи, хорошим решением была бы доработка сервиса для возможности отчуждения от сервисов цифрового МИЭМа. Далее планируется развивать функционал Конструктора Форм, в том числе добавление новых видов тестовых заданий, добавление инструментов сбора статистики о сложности прохождения вопросов и улучшение качества пользовательского интерфейса.

Заключение

Описанный путь решения является удобным средством создания и использования тестовых материалов для преподавателей, а для студентов это удобный интерфейс прохождения тестов, доступный с любого устройства. Сервис обладает весомыми достоинствами в сравнении с аналогами, особенно, если применять сервис в связке с LMS в качестве дополнения к имеющимся тестовым заданиям внутри LMS. В числе достоинств: удобный для пользователя интерфейс, производительные инструменты автоматической оценки, присутствие открытого API. Эти достоинства открывают возможности для комфортного использования сервисов не только студентам и преподавателям, но и разработчикам учебных сервисов МИЭМ. Таким образом, можно утверждать, что разработанный сервис будет полезен всем в рамках учебного процесса.

Список литературы

1. Кудина М. В., Логунова Л. Б., Петрунин Ю. Ю. Национальное образование в эпоху глобальной цифровой революции // Вестник Московского университета. Серия 21. Управление (государство и общество). 2019. №4 – С. 3-22. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/natsionalnoe-obrazovanie-v-epohu-globalnoy-tsifrovoy-revolyutsii (дата обращения: 27.02.2022).

2. Danutama0F K., Liem I. Scalable autograder and LMS integration //Procedia Technology. – 2013. – Т. 11. – С. 388-395.

3. Denero, J., Sridhara, S., Pérez-Quiñones, M., Nayak, A., & Leong, B. (2017). Beyond autograding: Advances in student feedback platforms. // Proceedings of the Conference on Integrating Technology into Computer Science Education, ITiCSE, 651–652.

4. González-Carrillo, C. D., Restrepo-Calle, F., Ramírez-Echeverry, J. J., & González, F. A. (2021). Automatic grading tool for jupyter notebooks in artificial intelligence courses. // Sustainability (Switzerland), 13(21).

5. Попова Ю.Б. От LMS к адаптивным обучающим системам // Системный анализ и прикладная информатика. 2019. №2. – С. 58-64 – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ot-lms-k-adaptivnym-obuchayuschim-sistemam (дата обращения: 28.02.2022).

6. Mansor, A. Z. (2012). Managing Student's Grades and Attendance Records using Google Forms and Google Spreadsheets. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 59, 420–428.

7. Shorygina Tatyana E., Korobkov Ilya A., Dubrovskiy Nikita A. (2021) Grader Constructor. International Scientific - Practical Conference. Moscow, 271–280

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ 3D ПЕЧАТИ

Данченко А.Д.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе описывается разработка программного обеспечения, далее ПО, для изучения всех технологических процессов работы 3D принтеров с использованием технологий виртуальной реальности VR. Использование данного ПО позволит снизить риски аварийных ситуаций при работе с реальным оборудованием за счет поэтапной отработки всех необходимых навыков в условиях погружения в VR и системы оценивания успеваемости студентов.

Введение

На сегодняшний день VR уже успешно применяется во множестве различных направлений, например, в симуляторах тренажеров для безопасного обучения военных, шахтеров [1], строителей [2], инженеров [3] и многих других. Применение VR в сфере образования увеличивает продуктивность занятий за счет их интерактивности и возможности применить знания на практике, не покидая стен одной аудитории.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для изучения 3D печати, работающего на VR-шлемах Oculus Quest 2, HTC Vive, Oculus Rift DK2, а также портирование его в качестве web-приложения. Основными задачами разработки стали интеграция в ПО методических материалов и системы успеваемости студентов, а также визуализация всех основных технологических процессов работы 3D принтеров.

Обзор аналогов

Поскольку сфера VR развивается быстро, существуют различные зарубежные проекты, схожие с данной разработкой. Ниже представлен список аналогичных по тематике работ.

1. Виртуальная лаборатория электротехники от INESC TEC [4] – 3D визуализация лабораторного оборудования. В ходе работы над лабораторией разработчики отказались от использования VR технологии, остановившись на web-приложении с 3D визуализацией экспериментов. Отказ от иммерсивной составляющей лаборатории значительно снизил эффективность разработки;

2. MaroonVR – среда моделирования экспериментов в области физики, разработанная в Грацком университете [5]. Недостатком данной разработки является отсутствие системы оценивания выполнения эксперимента пользователем, что затрудняет оценку эффективности самого ПО;

3. Circuit World: Многопользовательская среда для инженерного обучения от центра приложений виртуальной реальности университета штата Айова [6] – виртуальная лаборатория для проведения лабораторных работ по электротехнике и электронике. Значительным недостатком данной разработки является обязательное присутствие преподавателя в виртуальной аудитории, поскольку автоматическая система обучения в данном ПО отсутствует.

4. Виртуальная лаборатория для изучения различных дисциплин в рамках высшего образования, разработанная в университете Сиднея, Австралия [7]. На сегодняшний день это один из самых масштабных проектов по внедрению VR в систему образования. В ходе данного эксперимента было выяснено, что работа в VR среде дольше 30 минут может вызывать головокружение. Исходя из этого, было принято решение разработать ПО для изучения 3D печати с сессиями не более 30 минут по времени.

Полные русскоязычные аналоги разрабатываемого ПО отсутствуют, однако сфера VR в различных областях науки активно развивается и постепенно начинает применяться для обучения студентов и школьников. Например, все большую популярность приобретают такие проекты, как CLASSVR [8], поэтому существует перспектива появления и дальнейшего развития подобных разработок.

Разработка ПО

Разработка интерактивных сцен ведется с использованием игрового движка Unity [9] и языка программирования C#, для адаптации ПО к VR шлемам используется пакет Oculus SDK [10].

Разработанное ПО представляет из себя обучающий тренажер для последовательной отработки всех этапов работы с 3D принтерами. Пользователям, в качестве которых выступают студенты, предоставляются все необходимые методические материалы и инструкции, а также наглядная демонстрация основных технологических процессов, после чего предлагается оценить полученные студентом навыки путем проведения тестирования.

Для разработки интерактивных сцен с помощью пакета 3D моделирования Blender была реализована модель 3D принтера компании Ultimaker серии S3 (рисунок 1), включая все его составляющие, в том числе: печатающая головка, питатели для подачи материала, трубки Боудена, экструдеры и сопла, гнездо NFC и двойной держатель катушки с кабелем NFC, USB порт, опорная пластина (стол) и прочее.

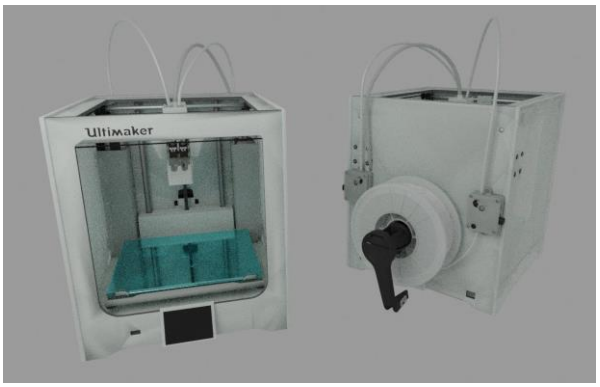


Рис.1. Модель 3D принтера

Разработанная модель была дополнена ригом средствами того же 3D пакета для реализации реалистичных движений печатающей головки и рабочего стола внутри движка и возможности взаимодействия пользователя с отдельными составляющими принтера.

На данном этапе работы над ПО реализованы следующие сценарии:

1. изучение составных частей модели принтера;
2. процесс адаптивной калибровки рабочего стола принтера;
3. процесс загрузки и выгрузки материала в 3D принтер;
4. процедура замены сопел;
5. процесс печати.

В ходе дальнейшей работы над разработкой планируется визуализировать неудачные примеры печати и аварийные ситуации с указанием возможных причин, а также процедуры технического обслуживания принтера, такие как: смазку валов, чистку механизма подачи и съем трубок для подачи пластика. Для реализации всех перечисленных выше технологических процессов необходимо создать уникальные механики взаимодействия с объектами в Unity.

Разработка механик взаимодействия

В перечисленных выше аналогах разрабатываемого ПО взаимодействие с окружением ограничивалось возможностью поднять объект, бросить или установить его в необходимое положение, что как правило реализуется с помощью готового пакета XR Interaction Toolkit, а также взаимодействием с интерфейсом.

Для реализации описанных выше сценариев были разработаны собственные механики взаимодействия с объектами, чтобы расширить возможности пользователя. В частности, для реализации взаимодействия с кронштейном вентилятора модели 3D принтера был разработан класс с методом Update, который в единицу времени (т.е. каждый фрейм) отслеживает угол наклона кронштейна. Производится математический расчет угла наклона кронштейна, который необходимо выставить в зависимости от угла поворота контроллера, которым управляет пользователь, а также определятся направление этого поворота. Исходя из полученного значения, применяются раз-

ные методы класса, поворачивая кронштейн в нужном направлении.

Динамическая генерация объектов во время симуляции 3D печати реализована с помощью таких API, как Object.Instantiate и Object.Destroy. Данные API были выбраны за счет возможности значительной оптимизации ПО при их использовании. При запуске симуляции печати пользователю предоставляется возможность выбрать визуализацию печати различных объектов, для чего были разработаны классы на основе методов Instantiate и Destroy, позволяющие генерировать объекты печати в режиме реального времени. Это позволяет оптимизировать программное обеспечение, избегая генерации излишних объектов в сцене при его запуске.

Заключение

Таким образом, были частично разработаны базовые механики взаимодействия пользователя с моделью 3D принтера с использованием технологий виртуальной реальности и реализованы основные технологические процессы 3D печати.

В дальнейшем ПО будет дополнено процедурами технического обслуживания принтера и аварийными сценариями печати, а также будет портировано в качестве web-приложения с помощью WebVR.

Разработанное программное обеспечение может быть широко использовано в рамках курса “Инженерная графика” МИЭМ для теоретической подготовки студентов перед практическими занятиями. На базе данной разработки в дальнейшем могут быть составлены лабораторные работы, позволяющие на эмуляторе 3D печати отрабатывать навыки работы с 3D принтером.

Список литературы

1. van Wyk E., de Villiers R. Virtual Reality Training Applications for the Mining Industry.
2. Hafsia M., Monacelli E., Martin H. Virtual reality simulator for construction workers // ACM International Conference Proceeding Series. Association for Computing Machinery, 2018.
3. Liu Y. et al. Virtual reality system for industrial training // Proceedings - 2020 International Conference on Virtual Reality and Visualization, ICVRV 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. P. 338–339.
4. Valdez M.T. et al. 3D virtual reality experiments to promote electrical engineering education // 2015 International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2015.
5. Pirker J., Lesjak I., Guetl C. Maroon VR: A Room-Scale Physics Laboratory Experience // Proceedings - IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. P. 482–484.
6. Rozell J. et al. Circuit World: A Multiplayer VE for Researching Engineering Learning. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2021. P. 773–773.
7. Marks B., Thomas J. Adoption of virtual reality technology in higher education: An evaluation of five teaching semesters in a purpose-designed laboratory // Education and Information Technologies. Springer, 2022. Vol. 27, № 1. P. 1287–1305.
8. ClassVR: Virtual Reality for Schools [Электронный ресурс]. URL: https://www.classvr.com/ (дата обращения: 07.02.2022).
9. Unity [Электронный ресурс]. URL: https://unity.com/ (дата обращения: 20.12.2021).
10. Oculus SDK [Электронный ресурс]. URL: https://developer.oculus.com/ (дата обращения: 30.01.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПИРИНГОВОЙ ПРОВЕРКИ РАБОТ В КУРСОВЫХ ПОТОКАХ

Кинтана Л.Х.А. [1]***, Моисеев М.В.*** [1]***,***
Семенов А.О. [2]***, Юсупов М.А.*** [1]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]***департамент компьютерной инженерии,***
[2]***департамент электронной инженерии***
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В этой статье раскрывается проблема достоверности оценок при пиринговой проверке, а также предложено решение в виде веб-сервиса, позволяющего более объективно определять знания студентов, обучающихся в массовых открытых онлайн-курсах (МООК). Разобран основной функционал и механизм работы созданной системы.

Введение

В современном образовательном процессе всё чаще встречается многопоточные образовательные программы, включающие в себя различные курсы, практические и тестовые задания. Рынок массовых онлайн-курсов растет, за 2021 год, по мнению большинства экспертов, капитализация данного сегмента увеличилась на 35% [1]. Основным преимуществом МООК является массовость и уменьшение трудозатрат на подачу учебного материала. Технология нашла применение в образовательных дисциплинах высших учебных заведений, а также в государственных и коммерческих образовательных программах.

В большинстве МООК для ускорения процесса проверки используется технология пиринговой оценки работ, которая построена на критериях, определенных весовых коэффициентах и взаимоконтроле [2]. Представленная методика дает возможность использовать в проверке задания творческого типа: эссе, рефераты и журнальные статьи, - что способствует развитию критического мышления, учит студентов работать с критериями и дает аналитический опыт [3]. С другой стороны, в онлайн-курсах количество обучающихся в несколько десятков раз превышает количество квалифицированных преподавате-

лей той или иной дисциплины, что дает повод задуматься над повышением надежности и достоверности оценивания знаний.

В этой статье проведено исследование инструмента пиринговой проверки, результатом которого будет являться новый подход к оценке многопоточных курсовых заданий, помогающий объективно оценить реальные знания учащихся.

Аналоги разработки

Несмотря на то, что большинство участников массовых курсов в первую очередь нацелены на получение знаний, а не сертификата, довольно часто встречаются случаи мошенничества в отношении взаимного оценивания между сверстниками [4]. Для наглядности разберем пример:

Одной из самых популярных платформ для прохождения курсов является Coursera, ни для кого не секрет, что курсы, находящееся на данной платформе, включают в программы дисциплин высших учебных заведений. Опыт участия в таких курсах показывает, что объективность оценивания знаний вызывает сомнения. Всё это является следствием того, что платформа Coursera не содержит инструмента для контроля честности оценок рецензентов, оценка выставляется как среднее арифметическое, не учитывая реальные знания проверяющих [5].

Проблема достоверности экспертной оценки встречается и в других системах, например, в LMS Moodle. Однако платформа предоставляет возможность разработчикам интегрировать в Moodle Workshop собственные плагины, позволяющие добавить альтернативные способы расчета оценок [6].

В своем решении мы предложили новый механизм для фильтрации и предотвращения влияния нечестных выставлений оценок при пиринговой проверке.

Предлагаемое решение

Для поиска наиболее эффективной методики оценки были взяты за основу исследования по повышению точности оценивания работ в пиринговых системах [2].

Результаты показывают, что корреляция между совокупными баллами и оценками преподавателя может быть улучшена по сравнению с оценками сверстников, когда используется медиана, а веса рассчитываются в соответствии с успеваемостью учащихся на протяжении всего курса. Исходя из этого можно сделать вывод, что преподаватель ожидает хорошую и конструктивную обратную связь от компетентного рецензента. В свою очередь, от студента, не знающего предмет, не следует ожидать правильной оценки или качественного отзыва.

Таким образом, мы приходим к выводу, что разница между агрегированными оценками сверстников и оценками преподавателя должна быть минимальной, когда учащиеся с лучшей успеваемостью по дисциплине имеют оценки с наиболее высоким весом [2].

Исходя из этого в разрабатываемый механизм был введен параметр «коэффициент доверия» (КД), отражающий вовлеченность учащегося в процесс проверки, его добросовестность в роли рецензента в отношении других студентов, а также осознанность и степень освоения материала курса. Именно «коэффициент доверия» выступает в роли аналога упоминаемого ранее весового показателя в итоговом процессе выставления оценок, помогает объективно оценить знания студента, ведь данный параметр не является статичным, он динамично меняется в процессе всего курса, оставляя за собой цифровой след развития. Возникает вопрос, как же формируются данный параметр изначально и что влияет на его изменение?

Для ответа на него разберем тему основной идеи экспертной оценки, которая легла в основу разработанной платформы. Проведя анализ различных стратегии оценивания, применяемых в МООК, начиная от примитивной коллегиальной оценки, заканчивая оценкой на основе сети [7], сформировалось мнение, что каждая стратегия решала лишь локальные проблемы, возникающие в различных дисциплинах МООК.

Таким образом, правильным решением для создания универсальной платформы оценивания, решающей большинство проблем, в частности объективности полученных оценок и уменьшения нагрузки на преподавателя, стал симбиоз системы взаимопроверки с так называемой моделью «The mantle of the expert», разработанной Dorothy Heathcote в 1985 и описанной в O'Toole, Robert (2013) «Pedagogical strategies and technologies for peer assessment in Massively Open Online Courses (MOOCs)» [8]. Модель подразумевает более захватывающий опыт, в котором студенту предлагается взять на себя ответственность "эксперта" в данной области. В нашем случае, группа студентов назначается экспертом-оценщиком заданий в своей области и имеют максимально приближенный к преподавателю вес оценки. Именно с них начинается формирование КД в заданиях начального этапа: в зависимости от того насколько близка оценка рецензента к мнению эксперта, тем ближе к единице будет коэффициент доверия. Далее коэффициент доверия динамически изменяет своё значение в зависимости от оценок рецензента, если работа студента получит оценку выше «ожидаемой», то коэффициент доверия увеличится.

Так как наш сервис предназначен для многопоточных курсов, поддержка системы «ground truth» позволила отказаться от многоразовых проверок экспертами однотипных заданий, так как работы с оценкой экспертов будут использованы на начальном этапе следующего потока, что намного уменьшит трудозатраты на проверку работ без ущерба достоверности оценивания.

Онлайн-курсы состоят из видеолекций, материалов для чтения, практических упражнений, экзаменационных заданий. С развитие образовательной системы растет и потребность в различных видах элементов контроля. Именно поэтому платформа содержит функционал, позволяющий гибко настраивать задания: начиная от простых тестов, заканчивая заданиями с использованием аудиофайлов. Кроме этого, каждый элемент контроля может быть разбит

на разновесные задачи и вопросы. Что позволит сформулировать более точные критерии, с целью наиболее объективной оценки знаний дисциплины учащихся.

Формула расчета итоговой оценки для заданий начального этапа:

$$0 \leq F = S * k_1 + R * k_2 \leq 10$$

где F – итоговая оценка; S – оценка за работу; k_1 – коэффициент веса оценки за работу; k_2 – коэффициент веса оценки за проведение проверок работ сверстников; R – оценка за проверку;

Что касается коэффициентов k_1 и k_2, то данные коэффициенты выставляются вручную и на усмотрение преподавателя, коэффициенты указываются в процентах и должны составлять в сумме 100%.

То есть, если $k_2 \neq 0$ и работы студентов были распределены для проведения пиринга, то максимальный балл мог получить лишь тот студент, который проверил бы все выданные ему на проверку работы ($R_{max} = 10$).

Таким образом, преподаватель имеет возможность мотивировать студентов проверять работы сверстников.

Формула расчета итоговой оценки для заданий основного этапа:

$$0 \leq F = S * k_1 + R * k_2 \pm K \leq 10$$

где F – итоговая оценка; S – оценка за работу; k_1 – коэффициент веса оценки за работу; k_2 – коэффициент веса оценки за проведение проверок работ сверстников; R – оценка за проверку; K – бонус или штраф за текущий коэффициент доверия;

Кроме поощрений вводится и система штрафов, способная корректировать в худшую сторону итоговую оценку рецензента, достоверность реальных знаний которого ставится под сомнения. Для классификации коэффициента доверия студента вводится шкала с тремя характеристиками: 0 – 0.35 «плохой», 0.35 – 0.75 «средний», 0.75 – 1 «хороший». При этом на студентов, обладающих плохим КД, будет наложен штраф равный одному баллу от итоговой оценки, а студентам с КД большим 0.75 будет добавлен один балл.

Таким образом, студентов мотивируют не только качественно проверять работы сверстников, но и хорошо учится на протяжении всего курса.

Интерфейс сервиса сочетает в себе современные технологии разработки Single Page Application (SAP), что увеличивает быстродействие системы, уменьшает время отклика. Для подтверждения этого, далее приводятся статистические данные нагрузки сервера с начала тестирования системы.

Кроме этого система включает в себя множество аналитических инструментов, технологий визуализации статистических данных. Например, с помощью метаданных можно отследить историю успеваемости студентов, как на всем курсе, так и по отдельно взятым заданиям. Данный инструмент полезен для выявления аномальных случаев оценивания, помогает наглядно оценить степень усвоения материалов курса студентами.

Тестирование

Для проверки работоспособности нашей теории был проведено тестирование. Нас интересовала возможность проведения пиринговой проверки среди студентов НИУ ВШЭ. Для проведения эксперимента был выбран 3-ий курс дисциплины «Сетевые видеотехнологии», так как имел возможность создания открытых заданий для контроля полученных знаний.

Общее количество участников, принявших активное участие насчитывало 42 студента и 1 одного «эксперта» в лице преподавателя. Студентам были установлены жесткие временные рамки, в течении недели студенты должны были написать отчет по лабораторной работе и прикрепить свои работы в системе пиринговой проверки.

Задание на взаимное оценивание звучало следующим образом: «Вам предстоит выполнять лабораторную работу по управлению IP PTZ камерами, вы будете работать с поворотом камеры (PTZ) и настройкой изображения (imaging). В этой пробной работе приведите пошаговое описание возможностей профиля S в Onvif». Студентам были предложены 7 критериев для оценки работ сверстников, при этом 5 из них являлись обязательными, 2 носили лишь рекомендательный характер и давали возможность написать более развернутую рецензию на работу сверстника. Вот пример. Ниже представлен пример критерия.

Критерий №1. Соответствие темы сокурсника

3 балла - при полном соответствии темы заданию показан контекст и связь с окружением;

2 балла - работа точно соответствует теме;

1 балл - часть работы посвящена другой теме;

0 баллов - часть работы по теме, в основном -- нет.

Вес каждого критерия устанавливал автор – преподаватель онлайн-курса. Так для каждого обязательного критерия был установлен вес с коэффициентом 0.2. Так как задание курса относится к начальному этапу с привлечением экспертов, то оценка, полученная за этап взаимопроверки, не влияет на итоговую оценку, так как главной целью заданий такого типа является формирование коэффициентов доверия. К тому же мы принимаем то, что экспертная оценка является приоритетнее, чем оценки пиров.

После завершения срока взаимопроверки, преподаватель получает результаты пиринга: основываясь на коэффициенте доверия можно легко определить кто из студентов добросовестно отнесся к проверке работ сверстников, а кто выбрал иной путь.

Далее наступил этап заданий основного типа, где студенты продолжили оценивать работы сверстников, имея индивидуальные объективные весовые коэффициенты в отношении оценивания работ других авторов.

Еще одной целью проведения тестирования, кроме как проверки механизма пиринга, был анализ нагрузочного воздействия на систему в целом. Для анализа нагрузки процессора сервера, а также скоро-

сти работы системы и передачи пакетов трафика была использована платформа Grafana. Анализируя графики с начала работы сервиса, хочется сказать, что пиковая загрузка процессора составила 2.9%, учитывая, что средний показатель загрузки колебался между 1 – 2 % в период активной сдачи и проверки работ студентами, что является довольно хорошим показателем для сервера с 2 ядрами и 14 гигабайтами оперативной памяти. Анализируя скорость сетевого трафика видно, что максимальные колебания по передаче и получению пакетов трафика происходили в последний день сдачи работ, а также всю следующую неделю после начала этапа взаимопроверки и составила в среднем 2.5 пакета в секунду. Исходя из этих показателей можно сказать о возможности масштабируемости решения.

Заключение

Таким образом, в результате тестирования были собраны и проанализированы данные, подтверждающие:

1. работоспособность платформы пиринговой оценки;
2. актуальность аналитических инструментов платформы ;
3. эффективность механизма в решении проблемы достоверности пиринговых оценок;
4. возможность масштабирования и развития системы в целом.

Список литературы

1. Global Massive Open Online Course Market 2015 To 2022: Size, Share, Growth, Trends and Forecast - Acute Market Reports. M2 Presswire; Coventry [Coventry]. 25 Jan 2016.
2. García-Martínez, C., Cerezo, R., Bermúdez, M., Romero, C. Improving essay peer grading accuracy in massive open online courses using personalized weights from student's engagement and performance. 28 Sept. 2018.
3. Кравченко Д.А. «Классический и современный подходы к измерению валидности заданий на взаимное оценивание в МООК». 2018. № 4. С. 99–115.
4. Bowden, P. The Problems of Peer Assessments at Scale: Cheating, Delays, Inconsistencies. 15 Feb. 2021.
5. Lu, Yanxin. Improving Peer Evaluation Quality in Massive Open Online Course. ProQuest Dissertations Publishing, 2015.
6. Blaženka Divjak. Learning Analytics for Peer-assessment: (Dis)advantages, Reliability and Implementation. June 2017 Journal of Information and Organizational Sciences 41(1):21-34.
7. Sánchez-Vera, María del Mar; Prendes-Espinosa, María Paz. Beyond objective testing and peer assessment: alternative ways of assessment in MOOCs/Más allá de las pruebas objetivas y la evaluación por pares: alternativas de evaluación en los MOOC. RUSC: Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento; Barcelona vol. 12, i. 1, Jan 2015: pp. 119-129.
8. O'Toole, R. Pedagogical strategies and technologies for peer assessment In Massively Open Online Courses (MOOCs). Unpublished discussion paper. University of Warwick, Coventry. 22 May 2013. 13 p.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ГЕТЕРОГЕННОЙ СЕТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Смусев М.А., Хайрулин Н.Р.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается архитектура взаимодействия гетерогенной сети Интернета вещей с использованием спутниковой связи Lora-Iridium. Исследуется метод сжатия передаваемых данных, предлагается модель расчета времени начала передачи данных на спутник, позволяющий повысить энергоэффективность передачи данных. Моделирование орбит спутниковой группировки Iridium подтвердило уменьшение затрат энергии на передачу данных.

Введение

Архитектура, разработанная в работе [1], описывает модель взаимодействия LoRaWAN [1] со стандартной моделью взаимодействия сети Iridium [2].

Оконечные устройства передают свои данные по сети LoRaWAN на LoRa [1] шлюз, где они помещаются в брокер сообщений (рис. 1). По мере приближения момента передачи данных, сообщения сжимаются и двоичном виде передаются на модем Iridium. Далее устанавливается сеанс связи с космическим аппаратом [3] (далее - КА).

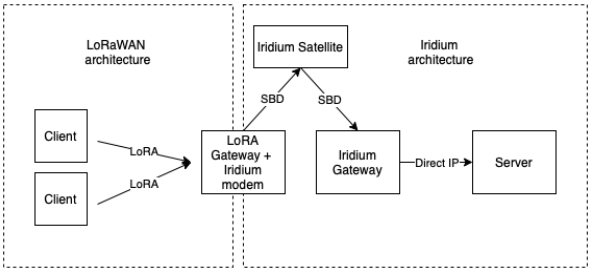


Рис.1. Архитектура взаимодействия LoRa-Iridium

Метод сжатия передаваемых данных, разработанный в [4] включает в себя 3-этапный метод кодирования и сжатия информации.

На первом этапе проводится сериализация данных, в которой каждая структура переводится в последовательность байт с Protocol Buffers (далее Protobuf) [4], позволяющий уменьшить объем передаваемых данных в формате JSON в 4,6 раза.

На втором этапе Protobuf сообщения упаковываются в небольшие пакеты, ограниченные максимальным размером SBD-контейнера [4] для модема Iridium 9602 (340 байт).

На третьем этапе после заполнения контейнера данные уменьшаются в объеме с помощью алгоритма сжатия Хаффмана [4]. Результатом применения 3-этапного метода сжатия является повышение энергоэффективности передачи данных в 13 раз.

Целью настоящего исследования является изучение возможности дальнейшего повышения энергоэффективности с использованием расчета времени начала передачи данных в определенный промежуток, позволяющий уменьшить время задержки на передачу сообщения.

Предлагаемая модель

В эксперименте [1] при отправке данных на спутник в открытой местности наблюдалась задержка при передаче сообщений от 4 до 20 секунд при 38 успешных попытках из 40, что объясняется доступом спутниковой системы Iridium.

Для того, чтобы исключить попытки передачи информации в моменты, когда отсутствует связь со спутниками и уменьшить время задержки, тем самым уменьшив затраты электроэнергии, мы предлагаем модель (Рис. 2), позволяющую прогнозировать момент времени, в который один из спутников группировки Iridium будет находиться под максимальным углом места для определенной точки.

Разработанная модель позволяет определять местоположение спутниковой группировки Iridium (Рис. 3) относительно определенной точки, а также момент времени, в который спутник будет над ней.

Несмотря на то, что космическая группировка Iridium обеспечивает полное покрытие поверхности планеты, не в каждый момент времени над заданной точкой на поверхности Земли может находиться один из спутников или спутник, с подходящим углом места для передачи данных. (Рис. 4.)

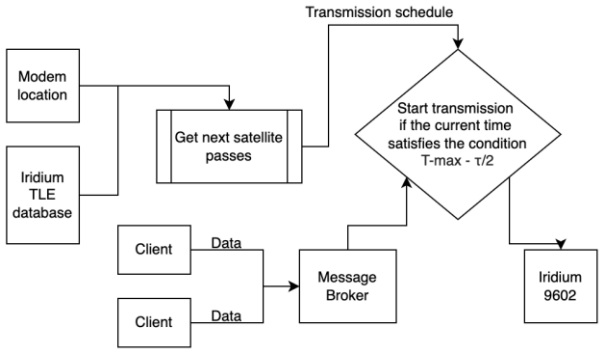
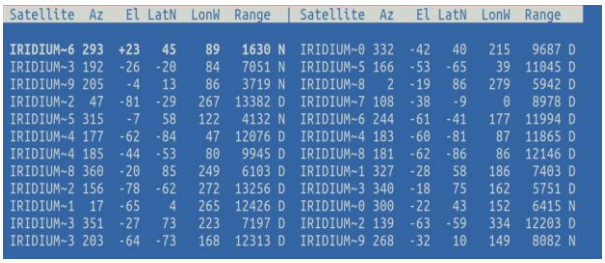


Рис.2. Блок-схема предлагаемой модели



Satellite	Az	El	LatN	LonW	Range		Satellite	Az	El	LatN	LonW	Range	
IRIDIUM~6	**293**	**+23**	**45**	**89**	**1630**	**N**	IRIDIUM~0	332	-42	40	215	9687	D
IRIDIUM~3	192	-26	-20	84	7051	N	IRIDIUM~5	166	-53	-65	39	11045	D
IRIDIUM~9	205	-4	13	86	3719	N	IRIDIUM~8	2	-19	86	279	5942	D
IRIDIUM~2	47	-81	-29	267	13382	D	IRIDIUM~7	108	-38	-9	0	8978	D
IRIDIUM~5	315	-7	58	122	4132	N	IRIDIUM~6	244	-61	-41	177	11994	D
IRIDIUM~4	177	-62	-84	47	12076	D	IRIDIUM~4	183	-60	-81	87	11865	D
IRIDIUM~4	185	-44	-53	80	9945	D	IRIDIUM~8	181	-62	-86	86	12146	D
IRIDIUM~8	360	-20	85	249	6103	D	IRIDIUM~1	327	-28	58	186	7403	D
IRIDIUM~2	156	-78	-62	272	13256	D	IRIDIUM~3	340	-18	75	162	5751	D
IRIDIUM~1	17	-65	4	265	12426	D	IRIDIUM~0	300	-22	43	152	6415	N
IRIDIUM~3	351	-27	73	223	7197	D	IRIDIUM~2	139	-63	-59	334	12203	D
IRIDIUM~3	203	-64	-73	168	12313	D	IRIDIUM~9	268	-32	10	149	8082	N

Рис.3. Местоположение спутниковой группировки Iridium

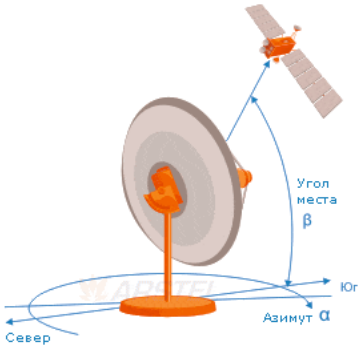


Рис.4. Определение угла места

В спутниковую группировку Iridium входит 75 спутников (66 основных и 9 резервных). Для вычисления момента времени, когда один из этих спутников находится с подходящим углом места для определенной точки, мы реализовали программу на языке программирования Python. Входными данными для нее являются координаты модема, минимально допустимый угол места и файл со списком спутников и описанием их орбит в формате TLE[5] (Two Line Element), разработанный организацией NORAD[5].

По входным параметрам программа рассчитывает время пересечения восходящего узла для заданного угла места (T-raise), нисходящего узла для заданного угла места (T-fall), а также время максимальной элевации (T-max). Ниже приведен фрагмент журнала программы с расчетом параметров T-raise, T-fall и T-max на ближайшие 5 часов с момента начала расчета для угла места 80° и 70° соответственно.

```
IRIDIUM-156:          T-raise          2022-03-09
20:12:07.925557+00:00   |    T-fall    2022-03-09
20:12:35.693622+00:00   |    T-max     2022-03-09
20:12:21.809590+00:00
-----------------------------------------------------------------
-------
IRIDIUM-133:          T-raise          2022-03-09
18:08:09.286947+00:00   |    T-fall    2022-03-09
18:09:04.764960+00:00   |    T-max     2022-03-09
18:08:37.025953+00:00
IRIDIUM-155:          T-raise          2022-03-09
20:03:05.604275+00:00   |    T-fall    2022-03-09
20:03:17.204990+00:00   |    T-max     2022-03-09
20:03:11.404633+00:00
IRIDIUM-156:          T-raise          2022-03-09
20:11:53.010357+00:00   |    T-fall    2022-03-09
20:12:50.586020+00:00   |    T-max     2022-03-09
20:12:21.798188+00:00
```

Исходя из этих расчетов программа определяет момент времени передачи данных равный T-max - τ/2, где τ - время передачи, когда спутник будет находиться над модемом с углом места, превышающим заданный. Предлагаемая модель позволяет уменьшить время передачи сообщения до 6–12 секунд и уменьшить энергопотребление вдвое.

Заключение

В результате выполненной работы была рассмотрена архитектура взаимодействия гетерогенной сети

Интернета вещей с использованием спутниковой связи Lora-Iridium. Проведено исследование метода сжатия передаваемых данных, а также разработана модель расчета времени начала передачи данных на спутник, исключающая попытки передачи, что позволило уменьшить потребление энергии в 2 раза.

Список литературы

1. Ivan Lysogor, Voskov L., Rolich A., Efremov S. G. Study of Data Transfer in a Heterogeneous LoRa-Satellite Network for the Internet of Remote Things // 2019. Vol. 19. No. 15, P. 1-17, DOI: 10.3390/s19153384.
2. Margaret M. McMahon, Ph. D. Measuring latency in iridium satellite constellation data services // 2020. // [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://www.semanticscholar.org/paper/Measuring-Latency-in-Iridium-Satellite-Data-McMahon-Rathburn/fc991794667c15be3136d058a8d3c9686d438551, свободный. (дата обращения 01.02.2021).
3. Floriano De Rango. On the Energy Performance of Iridium Satellite IoT Technology; Spain, 2021. DOI: 10.3390/s21217235. (дата обращения 25.01.2022).
4. Voskov L., Rolich A., Bakanov Gleb, Podkopaeva Polina. Gateway Data Encoding, Packaging and Compression method for heterogeneous IoT-satellite network // 2021. P. 34-38. DOI: 10.1109/REDUNDANCY52534.2021.9606477
5. Чагина В.А., Гришко Д.А., Майорова В.И. Расчет движения космического аппарата на околоземной орбите по данным TLE по упрощенной модели SGP6 // Москва 2016. DOI: 10.7463/0116.0830533. (дата обращения 10.02.2021).

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ С УСТРОЙСТВАМИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Чернышев А.С.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается актуальная задача – создание программно-аппаратного комплекса для удаленного выполнения лабораторных работ с устройствами Интернета вещей, используемыми в треке «Интернет вещей» IT-академии Samsung. Предлагается архитектура решения, состав лабораторного стенда и функционал сервиса. Рассматриваются сценарии удаленного выполнения лабораторных работ с использованием комплекса.

Введение

При выполнении лабораторных работ IT-академии Samsung [1] в треке «Интернет вещей» студенты ВШЭ МИЭМ изучают программные и аппаратные средства при работе с микроконтроллерами STM32 [2] и датчиками на реальном оборудовании в лаборатории «Интернет вещей». Предлагается выполнять эти лабораторные работы в удаленном режиме.

Предлагаемое нами решение позволяет готовиться и выполнять лабораторные работы в удобное для студента время, более эффективно использовать учебное оборудование, экономить время студента, сохраняя качество обучения.

Аппаратная часть системы представляет собой предварительно собранный лабораторный стенд с центральным сервером и подключенными к нему конечными устройствами – микроконтроллерами с датчиками.

Программная составляющая системы включает веб-сервис удаленного доступа с личным кабинетом студента. В личном кабинете реализованы основные этапы по выполнению лабораторных работ:

- резервирование микроконтроллера с датчиками на выбираемый студентом период времени;
- загрузка на сервер и запуск на микроконтроллере предварительно скомпилированной программы;
- контроль исполнения программы на микроконтроллере в реальном времени с использованием веб-камеры и микрофона, установленных на стенде.

Обзор аналогов

Ряд проектов, в том числе выполненных в МИЭМ НИУ ВШЭ решали похожие задачи.

В рамках проекта [3] был разработан веб-сервис, реализующий виртуальный стенд, эмулирующий поведение реального аппаратного стенда, располагающегося в лаборатории. Подход по использованию виртуального оборудования вместо реального сопряжен с рядом трудностей, например, постоянное поддержание достоверного воспроизведения логики работы реального стенда. При каждом изменении исходных условий (то есть, хода выполнения лабораторной работы) программное обеспечение должно будет дорабатываться, чтобы по-прежнему функционировать корректно.

Система в рамках нашего проекта лишена данного недостатка, так как вся работа пользователя производится на реальном оборудовании. При изменении комплектации стенда программное обеспечение остается в актуальном состоянии и не нуждается в доработке.

Работа [4] рассматривает аналогичную проблему по организации дистанционного выполнения лабораторных работ на оборудовании NI ELVIS. Недостатком работы является жесткая привязка разработанной системы к конкретному аппаратному комплексу. Данная особенность проекта является преградой к его масштабированию для применения в других лабораторных работах, использующих другие аппаратные блоки.

Наш проект не ставит перед собой целью специализацию на конкретных типах конечных устройств, а наоборот – особое внимание уделяется обеспечению функциональной совместимости системы с разными моделями микроконтроллеров.

Описание лабораторного стенда

Главным элементом лабораторного стенда является центральный сервер на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi 3 Model B [5] с возможностью подключения к сети Wi-fi. Центральный сервер подключен к используемым в лабораторных работах микроконтроллерам с датчиками. В экспериментальном стенде используется рекомендуемый IT Академией Samsung набор «Мини-лаборатория для изучения основ Интернета вещей для студентов» [6]. В состав набора входят микроконтроллеры STM32 NUCLEO-L152RE [7] и набор датчиков из лабораторного комплекта. Среди них: метеодатчик SHT31 [8], акселерометр LIS331DLH [9], дальномер VL6180 [10] и т. д. К серверу подключены камера и микрофон для мониторинга в реальном времени хода выполнения работ на стенде. В стенде используется веб-камера со встроенным микрофоном Canyon CNE-CWC1 [11]. Для обеспечения сохранности стенда, в соответствии с его размерами изготовляется корпус на 3D-принтере. Итоговый стенд в собранном виде представлен на рисунке 1.

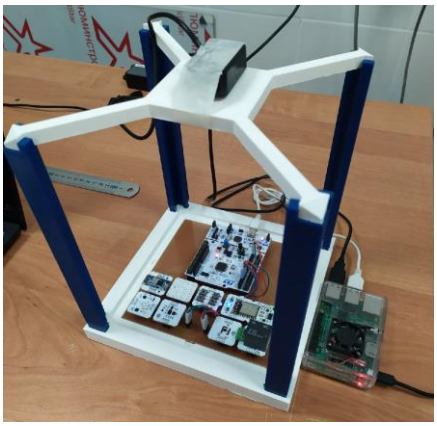


Рис.1. Лабораторный стенд

Описание веб-сервиса

Веб-сервис является связующим звеном между конечными пользователями (студентами) и аппаратной частью системы (см. рис. 2).

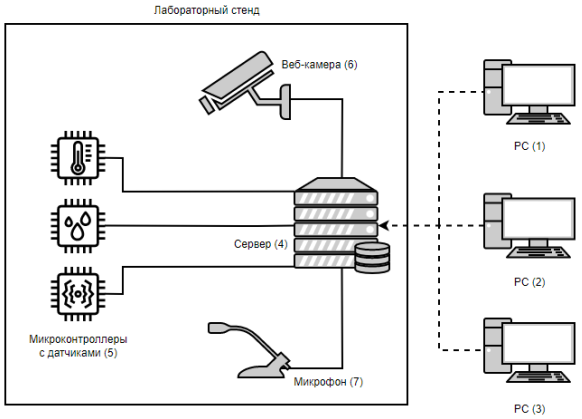


Рис.2. Архитектура системы

Ход выполнения лабораторной работы пользователя с комплексом состоит из следующих этапов:

- Регистрация и авторизация в сервисе.

В результате, для пользователя будет создан персональный личный кабинет. Через личный кабинет пользователю доступен основной функционал веб-сервиса.

- Ознакомление со схемой сборки стенда.

Непосредственно разработка и компиляция программы происходит за рамками описываемой системы, локально на устройстве пользователя. Студент выбирает микроконтроллер с датчиком, и указывает в программе корректный порт подключения.

- Резервирование микроконтроллера на удобный промежуток времени.

Для загрузки программы на сервер пользователю предоставляется персональный доступ к аппаратным ресурсам по сформированному расписанию (см. рис. 3).

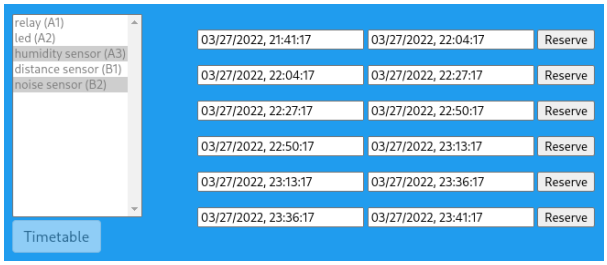


Рис.3. Форма бронирования микроконтроллера

- Загрузка программы на микроконтроллер при наступлении зарезервированного промежутка времени;
- Мониторинг выполнения программы в реальном времени.

В зарезервированный промежуток времени начинается трансляция видео и звука с лабораторного стенда (см. рис. 4). Таким образом, студент способен проверить соответствие фактического выполнения программы с ожидаемым результатом.



Рис.4. Трансляция выполнения программы

Для реализации серверной части используется язык программирования Python [12], имеющий большое количество прикладных библиотек (например, OpenCV [13] для взаимодействия с камерами). Для реализации веб-сервиса был выбран «микрофреймворк» Flask [14]. В качестве высокопроизводительной легковесной базы данных в рамках прототипа системы используется SQLite [15], размещенная на центральном сервере. Среди преимуществ вышеописанных технологий можно выделить их популяр-

ность, открытость исходного кода и невысокие системные требования, что важно при работе на устройствах с ограниченными вычислительными и аппаратными ресурсами. Для реализации пользовательского интерфейса сервиса используются HTML и JavaScript [16].

Заключение

В работе рассмотрена задача по созданию программно-аппаратного комплекса для удаленного выполнения лабораторных работ с устройствами Интернета вещей. Предложена архитектура системы, выбраны технологии для её реализации и описан сценарий взаимодействия пользователя с комплексом.

Описанная выше модель стенда способна работать автономно после сборки и настройки, без привлечения оператора. Решение может быть использовано в ВШЭ МИЭМ и других учебных заведениях, проводящих аналогичные курсы по направлению «Интернет вещей».

Дальнейшее развитие программно-аппаратного комплекса предполагает проработку вопросов масштабирования при возрастающей нагрузке от пользователей, а также интеграцию системы в IT-инфраструктуру МИЭМ ВШЭ.

Список литературы

1. IT Академия - IT Академия Samsung — Учебные курсы по Iot // MYITACADEMY.RU. URL: https://myitacademy.ru/ (дата обращения: 05.03.2022).
2. STM32 32-bit Arm Cortex MCUs // ST.COM. URL: https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html (дата обращения: 05.03.2022).
3. 897 Программный эмулятор устройств Интернета вещей «Virtual IoT Lab» // МИЭМ Wiki. URL: https://wiki.miem.hse.ru/Projects/897 (дата обращения: 20.05.2022).
4. Фахразеев А.Р., Щербаков Г.П. Система дистанционного проведения лабораторных практикумов на базе концепции Интернета вещей и оборудования National Instruments, Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского. - М. ~: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2017. – с.172 -173 // https://publications.hse.ru/chapters/210461161 (дата обращения: 20.05.2022).
5. Raspberry Pi 3 Model B // RASPBERRIPI.COM. URL: https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/ (дата обращения: 05.03.2022).
6. Набор "Введение в Интернет вещей" // TEACHER.AMPERKA.RU. URL: https://teacher.amperka.ru/internet-of-things (дата обращения: 05.03.2022).
7. STM32 Nucleo-64 development board with STM32L152RE MCU, supports Arduino and ST morpho connectivity // ST.COM. URL: https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-l152re.html (дата обращения: 05.03.2022).
8. SHT31 Humidity Sensor: Pinout, Datasheet and Advantages // UTMEL.COM. URL: https://www.utmel.com/components/sht31-humidity-sensor-pinout-datasheet-and-advantages?id=492 (дата обращения: 05.03.2022).
9. 3-axis digital accelerometer, ultra low power operational modes, advanced power saving, smart sleep to wake-up functions // ST.COM. URL: https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lis331dlh.html (дата обращения: 05.03.2022).
10. VL6180 – Time-of-Flight Proximity Sencor - STMicroelectronics // ST.COM. URL: https://www.st.com/en/imaging-and-photonics-solutions/vl6180.html (дата обращения: 05.03.2022).
11. CNE-CWC1 // CANYON.RO. URL: https://canyon.ro/product/cne-cwc1/ (дата обращения: 05.03.2022).
12. Welcome to Python.org // PYTHON.ORG. URL: https://www.python.org/ (дата обращения: 05.03.2022).
13. Home - OpenCV // OPENCV.ORG. URL: https://opencv.org/ (дата обращения: 05.03.2022).
14. Welcome to Flask — Flask Documentation (2.0.x) // FLASK.PALLETSPROJECTS.COM. URL: https://flask.palletsprojects.com/en/2.0.x/ (дата обращения: 05.03.2022).
15. SQLite Home Page // SQLITE.ORG. URL: https://flask.palletsprojects.com/en/2.0.x/ (дата обращения: 05.03.2022).
16. JavaScript.com // JAVASCRIPT.COM. URL: https://javascript.com (дата обращения: 05.03.2022).

СИСТЕМА БРОНИРОВАНИЯ АУДИТОРИЙ

Бородин Ю.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной статье рассматривается создание нового интеграционного решения – системы бронирования аудиторий. Система представляет собой набор сервисов, направленных на автоматизацию предоставления доступа к аудиториям и лабораториям, оснащённым умными замками, разрабатываемыми в институте и использующими как пропуска сотрудников и студентов НИУ ВШЭ, так и коды доступа.

Введение

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы бронирования аудиторий, расширяющей возможности существующей программной и аппаратной инфраструктуры МИЭМ.

На данный момент в МИЭМ уже существует система контроля и управления доступом (далее – СКУД), состоящая из веб-приложения для администраторов системы и умных замков, установленных в нескольких лабораториях. Однако процесс предоставления доступа в данной системе является неочевидным и долгим: новым пользователям необходимо находить каналы связи с администраторами сервиса или лаборатории и ожидать выполнения заявки, а

администраторы вынуждены вручную вносить данные о каждом новом пользователе.

Для выполнения работы были поставлены следующие цели:

1. Создать автоматизированный заявочный комплекс, позволяющий пользователям системы создавать и подтверждать заявки на предоставление постоянного или временного доступа;
2. Интегрировать инфраструктуру IP-камер, установленных в лабораториях, оборудованных умными замками, в рабочие процессы системы бронирования аудиторий;
3. Подготовить программные методы интеграций с ERP системой «Odoo» для получения информации о пользователях;
4. Реализовать автоматизированную поставку новых версий ПО на сервера системы;

Данная работа имеет следующую структуру. В следующем разделе предоставляется обзор различных систем, реализующих функционал предоставления доступа к помещениям или бронирования помещений. В разделе «Описание разработанной системы» приведено описание работы системы бронирования аудиторий. В разделе «Архитектура разработанной системы» приведено описание основных компонентов системы. В разделе «Заключение» приведено описание применения системы, её вклад в инфраструктуру института и пути дальнейшего развития.

Обзор аналогов

Существующие на рынке реализации СКУД, предоставляющих функционал бронирования помещений, часто требуют строгую иерархию сопровождающего персонала (службы безопасности), подтверждающего предоставление доступа. Несмотря на то, что основными способами определения пользователей являются открытые стандарты радиочастотной идентификации (RFID), производители СКУД часто используют собственную программную и аппаратную инфраструктуру, ограничивая возможности применения таких систем в среде существующей инфраструктуры организации [1].

На протяжении многих лет прослеживается тенденция на создание систем для управления доступами в помещения на базе СКУД университетов. Данный подход позволяет использовать существующие пропуска студентов и сотрудников университета. Например, в [2] описывается система, использующая RFID-карты университета для получения доступа к помещениям. Среди особенностей данной реализации можно выделить модульную структуру системы. Помимо базовых модулей для управления данными о доступах, были реализованы модули для отслеживания посещаемости и управления времени работы помещений. Данный подход позволил гибко настраивать систему и собирать релевантные статистические данные. Однако данная система не реализует функционал бронирования помещений, то есть подачи заявок на получение доступа по карте или коду.

Схожий подход приведён в [3]: система, разделённая на несколько компонентов для мониторинга, обработки аппаратных сигналов и обеспечения видеонаблюдения. Данная система представляет интерес в части взаимодействия с системой видеонаблюдения: применяются алгоритмы распознавания лиц для обеспечения безопасности помещений и объектов. Однако стоит также обратить внимание на сложности внедрения таких интеграций, так как точность определения человека в реальном времени напрямую зависит от качества видеопотока и детальности изображения головы человека.

Система, описанная в [4], реализует функционал сервиса бронирования аудиторий для университета без использования аппаратной инфраструктуры. Для бронирования аудиторий используется веб-интерфейс с публичной базой бронирований, где каждый пользователь может просматривать существующие заявки. Процесс создания и подтверждения заявок стандартизированный, заявки требуют подтверждения от ответственных за аудиторию лиц. Данный подход актуален для любых аудиторий университета, однако целевая аудитория сервиса – преподаватели.

Как следует из обзора аналогов, приведённого выше, подходы как к расширению функционала СКУД, так и к реализации функционала бронирования аудиторий, варьируются в зависимости от требований к сервису и условий эксплуатации. Приведённые системы представляют новые подходы к интеграциям с различными аппаратными и программными разработками, используя при этом уже существующие RFID-карты сотрудников и студентов.

Описание разработанной системы

Система бронирования аудиторий представляет собой набор программных компонентов, расширяющих и дополняющих существующую инфраструктуру МИЭМ. Система, в первую очередь, нацелена на построение прозрачного и стандартизированного процесса получения доступа к аудиториям и лабораториям института, оборудованным умными замками, которые также разрабатываются в рамках института.

В системе принята следующая ролевая модель пользователей:

1. Базовый пользователь;
2. Администратор помещения – ответственное лицо для одного или нескольких помещений с возможностями добавления или удаления менеджеров помещений;
3. Менеджер помещения – ответственное лицо для одного или нескольких помещений;
4. Администратор сервиса – сервисная роль, имеющая доступ ко всем компонентам системы.

Процесс предоставления доступа является стандартным для систем с подобным функционалом. Пользователь, желающий получить доступ к той или иной лаборатории или аудитории, должен авторизоваться в системе с помощью сервиса единой авторизации и аутентификации МИЭМ, взаимодействующего с системой по стандарту OAuth2. Далее пользователю предоставляется список аудиторий, подключенных к системе. Для создания заявки на получение доступа необходимо ввести минимальный набор данных:

1. Обоснование заявки – краткое описание необходимости получения доступа;
2. Дата окончания предоставления доступа;
3. Номер пропуска студента или сотрудника, если пользователь планирует использовать пропуск НИУ ВШЭ, вводится единожды и далее сохраняется. Для некоторых аудиторий возможно использование кода доступа, который генерируется для каждой заявки. Кроме того, пользователь должен выбрать согласующее лицо из списка ответственных за аудиторию.

Ответственное лицо, выбранное при заполнении формы, получит уведомление на корпоративный адрес электронной почты и сможет исполнить или отклонить заявку после авторизации и перехода к списку активных заявок. Сразу после подтверждения заявки пользователь может получить доступ к помещению.

Необходимо отметить, что функциональные особенности веб-приложения различаются в зависимости от роли пользователя. Для пользователей с ролью «Базовый пользователь» доступен функционал создания, отмены и просмотра своих заявок, а также редактирования определённых персональных данных – номера пропуска, контактного телефона и личного адреса электронной почты. Для пользователей с ролью «Менеджер помещения» доступны возможности роли «Базовый пользователь», а также следующие возможности:

1. Просмотр страниц с активными и архивными заявками для своих аудиторий;
2. Исполнение или отклонение заявок;
3. Редактирование информации о помещении и связанной камере;
4. Просмотр журналов и статистики посещаемости;
5. Запрос на получение видеозаписи для определённой записи в журнале посещаемости.

Для пользователей с ролью «Администратор помещения» доступен весь функционал роли «Менеджер помещения», а также возможность добавления или удаления менеджеров помещений.

Пользователи с ролью «Администратор сервиса» имеют ограниченный доступ к персональным данным пользователей и могут отключать их аккаунты.

Стоит отметить, что информация о пользователях обновляется каждый день путём интеграции с ERP-системой «Odoo» и использования REST API.

Архитектура разработанной системы

В разработанной системе используется 3 основных внутренних компонента:

1. Веб-приложение системы бронирования аудиторий, являющееся точкой входа для пользователей системы и взаимодействующее с контроллером доступа и ERP «Odoo»;
2. Контроллер доступа, необходимый для взаимодействия с умными замками, установленными в помещениях МИЭМ, и сервисом для записи видео;
3. Сервис для записи видео с камер, установленных вместе с умными замками.

На рис. 1 приведена упрощённая схема взаимодействия как компонентов системы между собой, так и системы с внешними источниками данных.

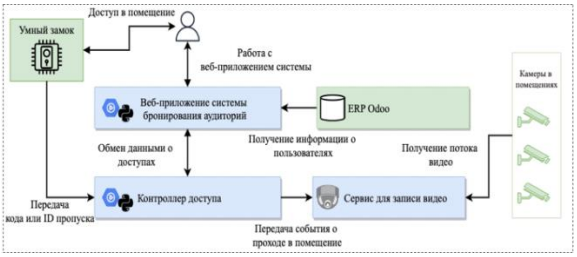


Рис.1. Схема компонентов системы

В соответствии с приведённой схемой, компоненты были разделены по принципу минимальной зависимости друг от друга. Так, например, компонент «Контроллер доступа» является ключевым для получения физического доступа к помещениям. Данный компонент является, в общем случае, обособленным и принадлежит СКУД, на основе которой и построена система бронирования аудиторий. Однако в него были внесены важные изменения: усиление безопасности путём шифрования хранимых данных, добавление функционала обработки не только RFID-карт, но и кодов доступа, а также внедрение интерфейса взаимодействия с брокером сообщений RabbitMQ для минимизации задержки между открытием двери в помещении и началом записи видео. Компонент построен на основе фреймворков Django и Django Rest Framework для языка программирования Python.

Функциональные особенности веб-приложения для системы бронирования аудиторий были изложены в предыдущем разделе, однако стоит отметить, что данный компонент взаимодействует, с одной стороны, с обособленной базой данных компонента «Контроллер доступа» для обработки информации о доступах к помещению, а с другой – с ERP-системой «Odoo» для получения актуальной информации о пользователях. Веб-приложение разработано на основе фреймворка Django для языка программирования Python.

Компонент, предоставляющий дополнительный уровень защиты и необходимый для записи видеопотока с камер также реализован на языке программирования Python и использует утилиту FFMPEG для обработки видео. Видеозаписи хранятся локально и не более 14 дней. Параметры подключения к камере для каждой аудитории задаются через веб-интерфейс системы бронирования аудиторий. Для взаимодействия данного компонента с контроллером доступа используется брокер сообщений RabbitMQ, что позволило использовать механизмы многопоточного программирования. Каждая видеозапись автоматически сопоставляется с записью в журнале посещаемости помещения. Для получения доступа к видеозаписи ответственному за помещение лицу необходимо создать заявку, которая будет обработана автоматически.

Заключение

Разработанная система бронирования аудиторий позволяет упростить процесс получения доступа к помещениям МИЭМ, оборудованным умными замками. Описанная реализация объединяет лучшие практики создания компонентов как систем контроля и управления доступами, так и систем бронирования помещений.

Преимуществами данного сервиса являются как расширение возможностей существующей инфраструктуры МИЭМ и стандартизация процесса получения доступа к помещениям института, так и использование ролевой модели, позволяющей обеспечить необходимый уровень безопасности и ограничения ответственности пользователей.

Среди возможных путей по улучшению данной системы можно выделить внедрение систем распознавания лиц и использование протокола MQTT для удалённого контроля состояния замков в помещениях.

Список литературы

1. Аитов В.Г., Благовещенская М.М., Чекин И.И. Система контроля доступа как часть единого информационного пространства высшего учебного заведения пищевого профиля //Пищевая промышленность. – 2015. – № 12. – С. 16-19.
2. Farooq U. et al. RFID Based Security and Access Control System //IACSIT International Journal of Engineering and Technology. – 2014. – Т. 7. – № 4. – С. 309-314.
3. Kim J. et al. CCTV-RFID enabled multifactor authentication model for secure differential level video access control //Multimedia Tools and Applications. – 2020. – № 79. – С. 23461-23481.
4. Сорочинский М.А., Иванов И.П. Система бронирования аудиторий как часть электронной образовательной среды вуза // Концепт. – 2017. – № 10. – С. 17-27.

РАЗРАБОТКА LMS СИСТЕМЫ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ВИДЕОСВЯЗИ И ПРАКТОРИНГА

Абдулла Р.А., Кобяков С.А., Климова Ю.Д., Моисеева В.В.
Институт международного образования Московского педагогического государственного университета

Аннотация

В работе рассматриваются существующие системы управления образованием, с какими проблемами столкнулись такие системы во время пандемии и с какими могут столкнуться во время отсутствия доступа к иностранному программному обеспечению, описана реализация программного обеспечения позволяющие решить проблему импортозамещения и разрозненности инструментов, используемых в системе образования.

Введение

В условиях пандемии многие системы управления образованием не смогли обеспечить образовательные учреждения всеми инструментами: вместе с системой Moodle приходилось использовать отдельные инструменты видеосвязи такие как Zoom, Microsoft Teams, Discord и др. В таких системах возникали сложности: было сложно однозначно идентифицировать учеников, приходилось выдавать и настраивать доступ, приходилось переключаться между инструментами, которые не имели синхронизации, отсутствие удобного UI, который не учитывал UX. После пандемии возникла ситуация блокировки программного обеспечения: Zoom отказался 2021 году обслуживать госсектор России [1]. А многие компании ввели или планируют ввести санкции против России.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для учета успеваемости, проведение занятий и хранение записи занятий в течении всего семестра, проведение экзаменов с системами прокторинга, автоматической генерации отчетов, расписания и другой документации.

В разделе «Использование систем управления образования в России» приведен обзор текущей ситуации систем в России. В разделе «Анализ существующих решений» приведено краткое описание существующих решений на рынке их сходства и различий. В разделе «Предложенная реализация» описано проектирование и прототипирование программного обеспечения.

Использование систем управления образования в России

LMS (Learning Management System) – система управления обучением – это система обеспечивающая доступ к видеоурокам, дидактическим материалам, а так-же позволяющая проводить оценку знаний.[2] В России такие системы также называются СДО – система дистанционного обучения, однако такие решения можно использовать в совокупности с очной формой обучения. Такие системы позволяют обеспечить образовательной программе открыть, благодаря доступу к материалам лекции в удобное время и в удобном месте для студента, прозрачность при оценивании с помощью встроенной системы оценок, посещаемости, выполнении домашних заданий и т.д. Однако, на рынке все еще нет решения, которое позволило использовать только LMS: в одних LMS нет возможности видео связи, в других нет возможности удобно составлять расписание, кроме этого, нигде нет возможности проводить экзамен с помощью систем автоматического прокторинга, которая повысило бы прозрачность образования.

Сравнительный анализ существующих решений

Во время пандемии многие столкнулись с проблемами онлайн-образованием, однако несмотря на это средний темп рынка онлайн-образования в России составляет 20% и к концу 2023 года, может составить 60 млрд. рублей [3]. Многие ВУЗы и колледжи в настоящее время используют систему Moodle. Moodle – это система управления обучением, которая представляет собой свободное веб-приложение, которое позволяет создавать внутри себя сайты для онлайн обучения.[4]. Также в ТГУ совместно со Сколково разработали в конце 2020 года свою образовательную платформу Odin. Образовательная система строится по принципу экосистемы, в которой

есть микросервисы: возможность просматривать документы с помощью office web, web-player с просмотром видео, статистика посещений и выполнений заданий и т.д.

Плюсами Moodle являются: бесплатное лицензия подразумевает отсутствие расходов на подписку и покупку лицензии, возможность адаптировать систему к своим задачам, возможность прикреплять тестовые задания, возможность разрабатывать и использовать свой интерфейс. Одним из главных минусов системы является необходимость установки системы её на сервер и настройка оборудования. Кроме этого, в Moodle нет общего сервиса для отметки посещения занятия, оценки, к которой имели бы доступ и преподаватель, и студент. В Moodle нет технической поддержки и приходится держать системных администраторов для решения проблем с системой. Также для проведения дистанционных занятий и экзаменов приходится использовать дополнительное программное обеспечение. В настоящее время есть риск, что система может оказаться под санкциями.

Odin – это российская платформа, которая не может оказаться под санкциями, имеет удобный веб-интерфейс и поставляется по принципу SaaS (программное обеспечение как услуга). Имеет большое количество сервисов, которые позволяют оценить занятие, оценить студента, посмотреть, кто выполнил задание, кто нет, добавить материалы к занятию и т.д. По сравнению с Moodle имеет техническую поддержку и позволяет не беспокоиться о вычислительных мощностях, однако при проведении занятий внутри системы, продолжает использоваться Zoom и нет возможности проводить экзамены внутри системы.

Предложенная реализация

Главными особенностями нашей системы будет использование видеосвязи для проведения занятий внутри системы, а также опциональная интегрированная система прокторинга. Прокторинг – это процедура контроля на онлайн – экзамене или тестировании. Автоматизированные системы прокторинга позволяют сделать образование более прозрачным, а также снизить нагрузку на педагога или даже, провести экзамен без педагога. С помощью компьютерного зрения системы прокторинга позволяют эффективно оценивать списывал студент во время экзамена или нет, помогал ему кто-то или нет и т.д. Такие системы активно используются при поступлении в ВУЗы по экзаменам во время пандемии. Многие программы для аудио и видео связи (Discord, Zoom, Skype и т.д.) имеют веб-версии, поэтому будем использовать похожий принцип. Кроме этого, в системе планируется интеграция с социальными сетями, чтобы автоматически через ботов оповещать об отмене занятий, возможности посмотреть расписание из социальной сети для конкретной студии.

При проектировании системы, используется модель Model-View-Controller (MVC). Моделью будет PostgreSQL, языком программирования для бэкенда был выбран Python. Для взаимодействия с базой данным используется Object-Relational Mapping(ORM) SQLAlchemy. Для фронтенда решено использовать React и TypeScript. Чтобы упростить в дальнейшем горизонтальное масштабирование и возможность использовать бэкенда для мобильных решений было решено разработать API проекта с помощью FastAPI. При анализе методологий разработки ПО было решено использовать методологию Rapid Application Development (RAD). RAD ориентирована на быстрое получение результата при ограниченном бюджете, размере команды и времени. Наиболее существенные преимущества – это высокая скорость разработки, низкая стоимость, высокое качество. RAD хорошо работает, когда разработкой занимается команда из 4-5 человек, а сроки выполнения не превышают года. Данная концепция позволяет реализовать на первом этапе прототип пользовательского интерфейса, получить обратную связь, внести коррективы и заняться разработкой следующего прототипа. Многие используют методологию Agile, однако Agile часто отказываются от создания плана развития продукта, так как Agile сосредоточен на краткосрочных планах (двухнедельных циклах, во время которых идет разработка), что позволяет заказчику после каждой итерации вносить коррективе и, возможно, в корне менять направление дальнейшей работы. Другим недостатком является пренебрежение поиском подходящего к той или иной платформе кода в погоне за быстротой и простотой. По этим причинам, RAM поможет повысить качество готового продукта и избежать накапливания ошибок из-за простоты решений, а также создать грамотный план развития продукта, что поможет думать в долгосрочной перспективе и придерживаться определенной стратегии.

Предполагается, что в разрабатываемой системе есть три роли – преподаватель, студент и методист. Основные возможности использования системой описано с помощью Use-Case диаграммы. (рис. 1).

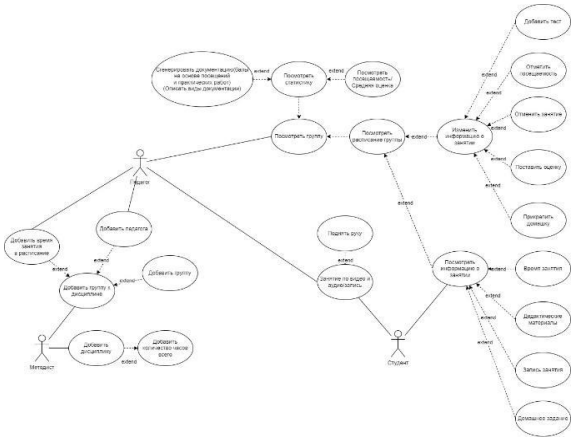


Рис.1. Use-case диаграмма для разрабатываемой системы

Для отображения взаимодействий объектов системы использовалась диаграмма последовательностей (sequence diagrams). В статье будет описаны не все взаимодействия, а добавление группы и педагога к дисциплине (рис 2), это помогло перейти от идей и требований к более формальному уровню уточнения. Также диаграммы последовательностей крайне полезны для документирования того, как будет ве-

сти себя будущая программа. Диаграммы описывают как пользователи с разными правами смогут взаимодействовать с программой. Важным аспектом также является уделение особого внимания проработке различных логических условий для того, чтобы избежать ошибок, которые в теории могут быть вызваны пользователями. Например, для методиста при создании новой дисциплины надо проверять корректно ли заполнены поля, такие как название дисциплины и количество часов.

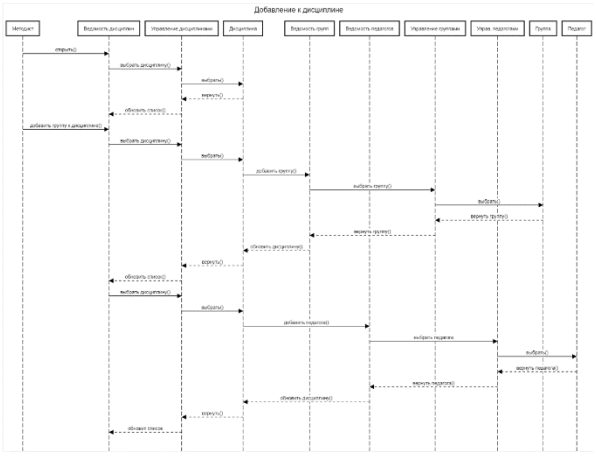


Рис.2. Sequency diagram добавления студентов и педагога к дисциплине

Также была спроектирована база данных для разрабатываемой системы (рис. 3). Во время разработки базы данных приложения использовались три нормальные формы. Каждая таблица прошла нормализацию по трём основным нормальным формам. Некоторые сущности используют в качестве первичного ключа UUID (Universal Unique Identifier) вместо индекса (id). Такой вид идентификации был выбран с целью анонимизации сущности, чтобы нельзя было её получить, просто угадав её первичный ключ. UUID идеально подходит для файлов, т. к. при скачивании файла с сервера первая половина его названия будет состоять из уникального идентификатора, что позволит сохранить безопасность файлов и предотвратить несанкционированный доступ к ним. В базе данных существует два типа таблиц: таблица сущности и связующая таблица. Вторая по большей части состоит исключительно из внешних ключей, в то время как первая - из обычных колонок. Гибкость существующей модели базы данных позволяет создать расписание любого уровня вложенности: будь то университет использует семестровую систему, триместровую или вообще, составляет расписание по неделям или даже дням. Такая реализация возможна благодаря системе “Забегов” (Sprint) и, в частности, связи забега с его родительской сущностью. Преподаватели прикрепляются к дисциплине, а не к группе, что позволяет гибко настраивать взаимосвязь между группами студентов, дисциплинами и преподавателями.

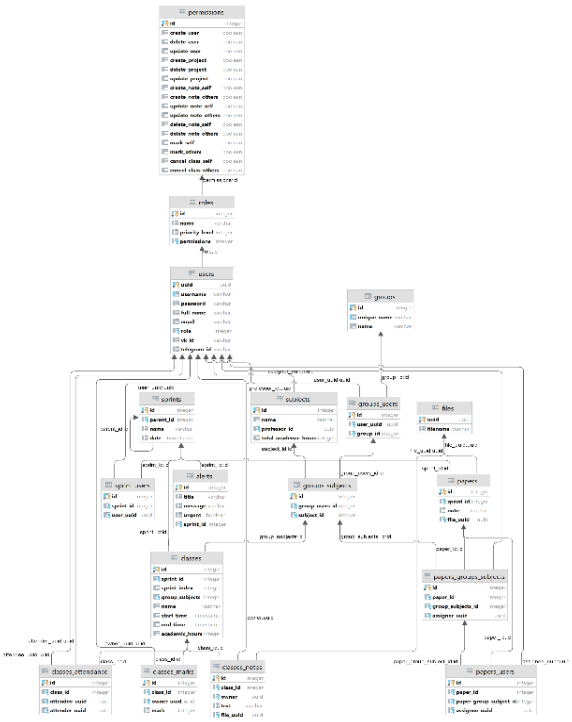


Рис.3. Физическая модель базы данных

Заключение

Результатом работы является анализ рынка lms, swot-анализ разрабатываемого продукта, первоначальное проектирование продукта и создание его базового прототипа. При затратах на разработку и поддержку продукта до стадии minimal viable product (MVP) ожидается потратить около 18 месяцев, и расчет затрат составил 592 000 рублей. Прогнозируемая окупаемость продукта при использовании данного ПО в 10 учебных заведениях – 2 года.

Список литературы

1. Zoom отказался обслуживать госкомпании РФ. URL: https://www.finanz.ru/novosti/aktsii/zoom-otkazalsya-obsluzhivat-goskompanii-rf-1030278414

2. Сбер университет – Система Управления Обучением. URL: https://sberuniversity.ru/edutech-club/glossary/904/

3. E-learning 2020, обзор EdTech-инструментов. URL: https://hr-elearning.ru/e-learning-2020-obzor-edtech-instrumentov

4. Википедия Moodle URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Moodle

5. Rapid Application Development – быстрая разработка приложений URL: http://www.informicus.ru/default.aspx?SECTION=6&id=93

6. Explore the UML sequence diagram. URL: https://developer.ibm.com/articles/the-sequence-diagram/

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРА ГРЕЙДЕРОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ CI/CD GITLAB

Омельченко К.Г., Стрельников Д.Ю., Умбрас Е.Д.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается тема разработки и внедрения сервиса, позволяющего создавать практические задания по программированию в системе управления репозиториями GitLab. Данный инструмент позволяет автоматизировать проверку заданий, а также повысить навыки студентов при работе с системами контроля версий.

Введение

При организации процесса обучения студентов технических специальностей преподаватели часто сталкиваются с проблемой выбора формата заданий по программированию, поскольку данный тип работ играет важную роль в формировании компетенций студента. Для повышения эффективности различные образовательные учреждения все чаще прибегают к решению автоматизации проверки практических заданий, что позволяет снизить нагрузку на преподавателя. Так же важно и то, что такой подход оптимизирует и работу студента над задачей, поскольку обучающийся имеет к системе автоматической проверки постоянный доступ и может мгновенно получить обратную связь о выполненном задании в любое время суток.

Целью работы является разработка веб-сервиса по созданию заданий с поддержкой режима экзамена, выдачи вариантов, детекции плагиата и генерации обратной связи в системах управления образованием и на образовательных платформах, поддерживающих протокол LTI, с автоматической проверкой решений учащихся на базе системы контроля версий GitLab с использованием технологии CI/CD.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи: разработка API веб-сервиса, поддержка протокола LTI, расширение функционала грейдера, организация CI/CD процессов.

Аналоги разработки

Необходимость проверки программного кода и ограниченные возможности тестов с множественным выбором привели к созданию сложных систем для загрузки и проверки решений на различных языках программирования. Например, для оценки решения задач по SQL, подразумевающих наличие разных способов реализации, была создана система [1], сравнивающая правильный набор результатов с полученным в ходе выполнения кода учащегося. Проблема такой системы в том, что можно обмануть ее, подставив в код нужные значения. Другим способом автоматической проверки является анализ исходного кода [2], основанный на проверке синтаксических ошибок в коде, его эффективности, соответствию стандартам оформления. У рассматриваемого решения отсутствует проверка правильности выполнения, что сужает круг задач, для которых оно подходит.

Важным аспектом является доступность и функциональность инструмента, в том числе возможность выдачи индивидуальных вариантов, что снизит количество списываний. Веб-сервисы являются наиболее удобными решениями, поскольку, в отличие от приложений, взаимодействие с ними возможно на любом устройстве. Хорошим примером является веб-сервис [3] для автоматизации сбора, оценки и обнаружения ошибок в решениях студентов. Он включает в себя анализ кода, проверку результата, а также позволяет выдавать варианты заданий учащимся. Из недостатков можно выделить отсутствие проверки на плагиат и встраиваемости в систему контроля курсов, что усложняет процесс сбора оценок по курсу для преподавателя.

Для организации курсов в образовательных учреждениях используют системы управления обучением. В большинстве случаев такие курсы являются частично автоматизированными, например, используют автоматическую проверку в тестах по семинарам или лекциям, а практические задания проверяются вручную [4]. Однако LMS, основанные на системе управления курсами Moodle, позволяют использовать плагины для проверки более сложных заданий. Так, при помощи плагина CodeRunner можно проверять решения, запуская их на серии тестов [5]. Существенный недостаток плагина заключается в ограниченном количестве поддерживаемых языков программирования. Также, плагин не осуществляет проверку на плагиат.

Использование системы управления репозиториями кода GitLab [6] позволяет не только загружать и тестировать решение задачи независимо от места и времени, но и дает возможность преподавателю просмотреть код студента и историю его изменений в любой момент.

Реализация веб-сервиса

Для реализации конструктора грейдеров в качестве языка программирования был выбран Python. Он имеет множество фреймворков для создания интерфейса прикладного программирования. Наиболее подходящим для наших целей является FastAPI, быстрый асинхронный веб-фреймворк со встроенными валидацией и сериализацией. Одной из его особенностей является поддержка Swagger UI, инструмента для автоматического документирования с возможностью взаимодействия с API. Для хранения данных была выбрана PostgreSQL, высокопроизводительная объектно-реляционная система управления базами данных. Платформа автоматизации проверок решений программных задач студентов подразумевает большое количество запросов к серверу и, как следствие, большую нагрузку на систему. Поэтому используется несколько экземпляров API для балансировки нагрузки с помощью NGINX.

Интеграция по протоколу LTI

Во многих системах управления обучением реализована возможность добавления задания в качестве внешнего инструмента. В МИЭМ есть проект GC Bridge, позволяющий взаимодействовать с LMS и популярными образовательными платформами по протоколу LTI. Для работы с сервисом было написано несколько обработчиков запросов к API. В базу данных были добавлены таблицы для хранения информации о заданиях, студентах и оценках.

Получив запрос на создание задания, наше приложение создает группу в GitLab и отправляет запрос к GC Bridge. После обработки запроса возвращаются параметры, которые преподаватель должен указать в настройках внешнего инструмента в LMS. Когда студент нажимает на задание, отправляется еще один запрос к нашему API, в ходе выполнения которого в группе задания создается персональный репозиторий с необходимыми настройками и переменными, студенту предоставляется доступ к нему с ограниченными правами, после чего происходит перенаправление студента в созданный репозиторий. Для выставления оценки в LMS конструктор грейдеров по окончании проверки решения запускает скрипт, посылающий запрос к GC Bridge с указанием почты студента и полученной оценки, приведенной к интервалу от 0 до 1.

Функционал грейдера

В текущей версии веб-сервиса мы реализовали детектор плагиата для одинаковых решений. Основная идея заключалась в хешировании текста файла с решением и сравнении его с хэш-кодами других студентов. В базу данных была добавлена таблица «Attempts», хранящая время сдачи и хэш-коды и связанная внешними ключами с таблицами «Task» и «Student». В качестве алгоритма хэширования был выбран SHA256.

Для реализации такого подхода в механизм автоматической проверки был добавлен дополнительный скрипт на Python, который хеширует код студента и сравнивает его с хэш-кодами других учащихся в рамках выполняемого задания. Если значения полностью совпадают, студент получает оценку 0, и автоматическая проверка завершается. В противном случае хэш-код сохраняется в базе данных, и запускаются остальные тесты.

К числу частично реализованных функций относятся также создание заданий по вариантам и различные режимы работы грейдера. В случае разных вариантов для каждого студента при тестировании используется свой набор тестовых данных. Режимы грейдера позволяют установить лимит на количество попыток, которые студент может предпринять для сдачи решения. При прохождении экзамена у студента не будет неограниченного количества попыток для сдачи задания.

GitLab и контейнеризация

Основным компонентом нашей системы является CVS GitLab, или система контроля версий, которая позиционирует себя как инструментарий автоматизации процессов разработки. Мы используем GitLab не только для репозиториев с кодом студентов, а еще как CI/CD платформу. Это значит, что применяется технология раннеров, которые являются удаленными машинами или агентами, исполняющими набор настраиваемых инструкций через специальный файл YAML формата. Таким образом мы можем исполнять код студентов, проверять его, и управлять стендами с камерами, платами и другими устройствами, поддерживающими удаленное подключение.

Не менее важной технологией, имплементированной в нашем сервисе, является контейнеризация. С помощью контейнеров мы можем инкапсулировать код студентов и, самое главное, повторно использовать окружение для выполнения программ. Таким образом, возможна шаблонизация, позволяющая повторять части уже проделанной работы преподавателя в последующих лабораторных работах.

Общая схема, включающая в себя вышеописанные компоненты (GitLab и контейнеры), для оценки кода имеет три этапа. Сначала студент посылает свой код в репозиторий в GitLab, далее автоматически активируется так называемый pipeline – набор последовательных запусков контейнеров внутри раннера (джоб), каждая джоба может выполнять функции тестов или какую-либо другую, как итог, по результатам операций производится оценивание решения студента с помощью запроса к нашему API-серверу.

Заключение

Несмотря на огромное количество проектов, направленных на повышение качества онлайн-образования, большинство из них, в том числе решения, подразумевающие автоматическое оценивание заданий, остаются за пределами образовательного процесса, представляя собой сторонний сервис. Наш проект устраняет этот недостаток и реализует систему, встроенную в цифровые образовательные среды, такие как GitLab и LMS. Это помогает как студентам, так и преподавателям легко освоить принципы работы с автогрейдером, что ускоряет и облегчает процесс обучения. С использованием конструктора грейдеров были успешно запущены лабораторные работы по следующим курсам: «Сетевые видеотехнологии», «Мультимедиа-технологии», «Компьютерная графика», «Проектный семинар».

Исходя из уже полученных результатов, дальнейшая работа над конструктором CI/CD грейдеров будет направлена на развитие и оптимизацию функциональности сервиса, что позволит расширить области применения и на облегчение и автоматизацию запуска лабораторных работ.

Список литературы

1. Ke H., Zhang G., Yan H. Automatic grading system on SQL programming // International Conference on Scalable Computing and Communications. – IEEE, 2009. – С. 537-540. – DOI 10.1109/EmbeddedComScalCom.2009.105.

2. Yulianto S. V., Liem I. Automatic grader for programming assignment using source code analyzer // International Conference on Data and Software

Engineering (ICODSE). – IEEE, 2014. – С. 1-4. – DOI 10.1109/ICODSE.2014.7062687.

3. de la Peña D. M., Gómez-Estern F., Dormido S. A new Internet tool for automatic evaluation in Control Systems and Programming // Computers & Education. – 2012. – Т. 59. – №. 2. – С. 535-550. – DOI 10.1016/J.COMPEDU.2011.12.016.

4. Шумихина М. С., Яшина И. А. СДО Moodle в обучении программированию // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – Т. 3. – №. 14. – С. 803-804. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sdo-moodle-v-obuchenii-programmirovaniyu (дата обращения: 03.03.2022).

5. Перязева Ю. В. Возможности автоматической проверки заданий в LMS Moodle // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2019. – Т. 15. – №. 4. – С. 876-885. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-avtomaticheskoy-proverki-zadaniy-v-lms-moodle (дата обращения: 03.03.2022).

6. Сидякин И. М. Применение системы контроля версий GitLab для обучения программированию // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2016. – № 10. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sistemy-kontrolya-versiy-gitlab-dlya-obucheniya-programmirovaniyu (дата обращения: 03.03.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАНДАРТА BLUETOOTH 5.1 И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ BLUETOOTH-УСТРОЙСТВА В ЗАКРЫТОМ ПОМЕЩЕНИИ

Наумова Е.А., Бессонова И.А., Якименко С.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматриваются система позиционирования внутри помещения с помощью Bluetooth 5.1 и аналоги этого решения. В ходе исследования проводится тестирование комплекта оборудования и выявляются факторы, оказывающие влияние на достоверность результата. Полученные экспериментальным путем значения сравниваются с результатами программного моделирования с использованием библиотеки MATLAB.

Введение

В современном мире особо актуальной становится задача определение местоположения. Для этого были разработаны алгоритмы для точного определения координат с помощью различных технологий. Но многие системы сложно реализовать из-за высокой стоимости оборудования или низкой точности определения местоположения. Целью данной работы является исследование метода Angle of Arrival (AoA) из новой спецификации Bluetooth 5.1, проведение эксперимента и сравнение полученных результатов с методами, используемыми для позиционирования внутри помещения.

Аналоги

Существуют различные варианты определения местоположения. Самые популярные и известные среди них — это системы, использующие GPS, Wi-Fi и Bluetooth. Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки.

1. GPS

Первый из методов определения местоположения – это известная технология GPS. Однако производительность GPS невысокая из-за из-за ослабления сигнала при прохождении через строительные материалы, такие как бетон и арматура [1].

Группа студентов провела эксперименты по получению точности определения местоположения в различных зданиях: деревянные, кирпичные и бетонные [2]. Измерения проводились в каждом здании для определения отношения сигнал/шум. Результаты показали высокий коэффициент (отношение сигнал/шум) в деревянных зданиях и очень низкий коэффициент в бетонном здании.

Точность измерения положения объекта в помещении составляла 5–20 метров, в зависимости от типа конструкции, используемой при проведении эксперимента. Эти результаты помогают понять, что технология GPS совершенно непригодна для определения местоположения как статического объекта, так и объекта в движении.

2. Wi-FI

Следующий метод позиционирования в помещении основан на технологии Wi-Fi. Система позиционирования внутри помещений на основе Wi-Fi часто используется в офисах и больших зданиях из-за широкого охвата пространства сигналами. Более того, точки доступа Wi-Fi имеют низкую стоимость, а дальность распространения сигнала достигает 100–150 метров в радиусе.

Точность системы в некоторых экспериментальных исследованиях при использовании RSSI для измерения расстояния от точки доступа до ключевой точки составляет около 2–5 метров [3]. При использовании алгоритма Round Trip Time (RTT) для измерения точности результаты показывают, что погрешность расстояния варьируется от 3 до 5 метров [4].

Такие значения не подходят для промышленного использования из-за большой погрешности в расчетах. Однако существуют способы повысить точность полученных данных. Одним из них является фильтр Калмана, который уменьшает погрешность измерения местоположения в среднем до 1,5 метров [5].

Система Wi-Fi часто используется из-за низкой стоимости и высокой точности в большинстве случаев. Однако для некоторых задач требуется более высокая точность определения местоположения

3. Bluetooth

Один из наиболее важных и популярных методов позиционирования в помещении основан на Bluetooth. В большом здании может потребоваться

значительное количество оборудования для создания системы, поскольку сигнал Bluetooth работает в помещениях на расстоянии до 30 метров, однако маломощные антенны тестовых образцов ограничивают эту дистанцию до 3 метров [6].

Для определения местоположения объекта могут быть использованы различные алгоритмы. Алгоритм трилатерации использует 3 точки доступа Bluetooth для вычисления местоположения маяка с точностью 1,5–2,5 метра [7] с помощью метода RSSI и около 1,5–2 метров с помощью метода Time of Flight (TOF) [8].

Недостатками предыдущего решения являются недостаточная точность, необходимость в большом количестве оборудования и высокая стоимость системы. Следующим шагом в повышении точности позиционирования с помощью Bluetooth является использование методов угла прибытия (Angle of Arrival, AoA) и угла вылета (Angle of Departure, AoD). Система требует новый тип оборудования: антенная решетка на точке доступа для AoA и на маячке для AoD.

Точность метода AoA достигает примерно 0,3–0,7 метра в различных экспериментах в зависимости от оборудования. Результаты показывают, что система, основанная на использовании AoA, обладает наилучшей точностью по сравнению с другими методами позиционирования внутри помещений.

Проведение эксперимента

Проведение эксперимента делится на несколько частей: методология, проведение экспериментов и непосредственно обработка результатов.

1. Методология

Для проведения экспериментов в первую очередь было необходимо разработать методологию тестирования.

Поставленный эксперимент можно разделить на несколько этапов. Прежде всего было проведено тестирование комплекта оборудования и установлена точность определения местоположения для определённого набора точек в двумерном пространстве. Следующим этапом стало исследование влияния помех и высоты измерения на достоверность результатов. Далее было проведено моделирование сигнала в MATLAB и определена разница между результатами, полученными эмпирическим путем, и результатами, полученными программно.

В качестве оборудования, используемого для изучения и тестирования спецификации Bluetooth 5.1, был выбран комплект от Texas Instruments. В него входит:

1. Отладочная плата LAUNCHXL-CC2640R2 – 2 шт.;
2. Антенная решетка BOOSTXL-AOA – 1 шт.

В эксперименте предполагается, что плата отправителя сигнала (Sender) неподвижна в начале координат, а приемник (Receiver), на котором расположена антенная решетка BOOSTXL-AOA, перемещается относительно отправителя (рис. 1).

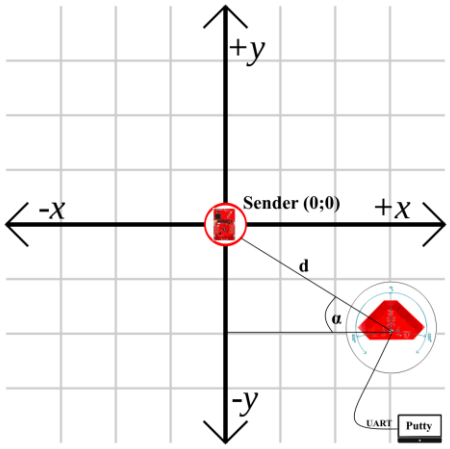


Рис.1. Схема эксперимента

На основе полученной с оборудования информации об уровне сигнала (RSSI) и угле относительно нормали антенны (AoA) можно рассчитать расстояние между датчиком и антенной:

$$d = d_0 * 10^{\frac{P_0 - P_d}{10n}} \quad (1)$$

где d - расстояние от устройства до передатчика, м;

d_0 - расстояние от устройства до точки, в которой была измерена мощность сигнала P0 устройства (выбранное калибровочное расстояние), м

P_0 - мощность сигнала устройства, измеренная на единичном расстоянии d0 от устройства, дБм;

P_d - RSSI, дБм;

n - коэффициент потери мощности сигнала при распространении в среде, неизмеримая величина (для воздуха n = 2; увеличивается при наличии препятствий).

Погрешность измерения рассчитывается как расстояние в метрах между фактическими координатами маячка и значением, полученным эмпирически. Значение средней погрешности измерения позволяет сравнить полученные результаты тестирования с результатами математического моделирования в MATLAB.

2. Проведение экспериментов

На основе описанной методологии был проведен ряд экспериментов. Серия испытаний включала определение погрешности измерений при перемещении в двумерном пространстве. Помимо этого, было рассмотрено влияние таких факторов как мебель, разница в высоте между маячком и антенной решеткой и размер комнаты. Для проведения экспериментов были выбраны 3 комнаты различных размеров: малая (порядка 8x10 м), большая (10x20 м) и коридор (5x15 м).

3. Результаты экспериментов

Опытным путем было установлено, что максимальная дальность действия антенны Bluetooth рассматриваемого устройства составляет 2,5–3 метра. Поэтому контрольные точки были выбраны с учетом этого ограничения (табл. 1) и для проведения эксперимента была выбрана малая комната. Для каждой из контрольных точек на основе формулы 1 были рас-

считаны измеренные координаты устройства (рис. 2) и расстояние между фактическим положением точки и измеренным. Средние значения погрешности измерения для каждой позиции указаны в таблице. По результатам эксперимента средняя погрешность измерения оборудования составила 0,3237 м.

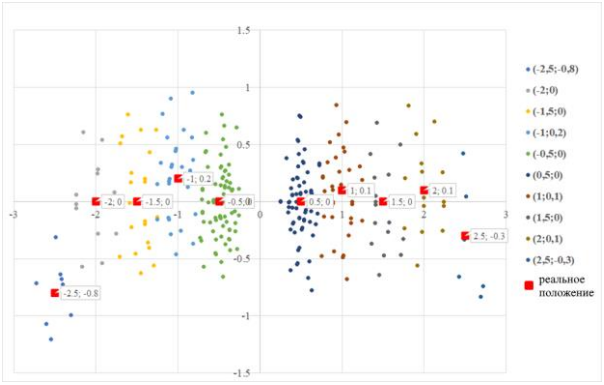


Рис.2. Результаты измерений

Двумя другими ключевыми результатами этого эмпирического исследования являются оценка влияния помех и высоты измерения на результат. В ходе эксперимента было обнаружено, что мебель и разница в высоте между антенной решеткой и маячком не влияют на точность измерения или уровень сигнала (в пределах действия антенны), в то время как расположение приемника и передатчика на противоположных сторонах стены или закрытой двери блокирует сигнал Bluetooth.

Таблица также иллюстрирует сравнение экспериментальных результатов и данных, полученных с использованием модели MATLAB. Можно отметить, что погрешность модели немного ниже, поскольку модель вычисляет угол с большей точностью.

Следовательно, поскольку измерения ограничены расстоянием 2,5–3 м, а сигнал не проходит через стены, необходимо предусмотреть несколько передатчиков для локализации в помещении. В то же время в ходе эксперимента была достигнута точность около 30 см, что является лучшим показателем среди существующих на сегодняшний день научных материалов.

Заключение

Результаты работы позволяют расширить представление и понимание спецификации технологии Bluetooth 5.1. Набор оборудования от Texas Instruments был протестирован в различных условиях, а также определены факторы, влияющие на точность и достоверность измерений. Используемые методы позволили получить наименьшую погрешность измерений среди всех существующих в настоящее время исследованиях. Также была разработана математическая модель MATLAB для тестирования технологии, которая демонстрирует преимущество алгоритма AoA перед другими методами позиционирования.

Таблица 1. Сравнение результатов эксперимента с моделированием в MATLAB

Координаты	Погрешность оборудования, м	Погрешность MATLAB, м
(-2,5; -0,8)	0,2513	0,1461
(-2; 0)	0,3151	0,1867
(-1,5; 0)	0,3949	0,1315
(-1; 0,2)	0,3384	0,1702
(-0,5; 0)	0,2765	0,1785
(0,5; 0)	0,2746	0,2296
(1; 0,1)	0,3192	0,2545
(1,5; 0)	0,3437	0,2462
(2; 0,1)	0,3602	0,2658
(2,5; -0,3)	0,3627	0,1991
Средняя погрешность	0,3237	0,2008

Спецификация Bluetooth 5.1, описанная и исследованная в представленной статье, может широко использоваться для определения местоположения объектов на складах, произведений искусства в галереях или сотрудников в офисных помещениях. Разработанная модель MATLAB может быть в дальнейшем использована для изучения функций Bluetooth 5.1.

Направления будущих исследований включают изучение влияния электрических помех на результат, поиск способов усиления сигнала и визуализацию программного моделирования с использованием пользовательского интерфейса.

Список литературы

1. Xu, R., Chen, W., Xu, Y., Ji, S., “A new indoor positioning system architecture using gps signals,” Sensors (Switzerland), vol. 15, no. 5, pp. 10074-10087, 2015.

2. Kjærgaard, M. B., Blunck, H., Godsk, T., Toftkjær, T., Christensen, D. L., Grønbæk, K., “Indoor positioning using GPS revisited,” Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2010.

3. Cypriani, M., Lassabe, F., Canalda, P., Spies, F., “Open wireless positioning system: A Wi-Fi-based indoor positioning system,” IEEE Vehicular Technology Conference, 2009.

4. Jathe, N., Lütjen, M., Freitag, M., “Indoor Positioning in Car Parks by using Wi-Fi Round-Trip-Time to support Finished Vehicle Logistics on Port Terminals,” IFAC-PapersOnLine, vol. 52, no. 13, 2019.

5. Ma, C., Wu, B., Poslad, S., Selviah, D. R., “Wi-Fi RTT Ranging Performance Characterization and Positioning System Design,” IEEE Transactions on Mobile Computing, vol 21, no. 2, 2022.

6. Baniukevic, A., Jensen, C. S., Lu, H., “Hybrid indoor positioning with Wi-Fi and Bluetooth: Architecture and performance,” Proceedings - IEEE International Conference on Mobile Data Management, vol. 1, 2013.

7. Bembenik, R., Falcman, K., “Ble indoor positioning system using rssi-based trilateration,” Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, vol. 11, no. 3, 2020.

8. Banin, L., Schatzberg, U., Amizur, Y., “Next generation indoor positioning system based on WiFi time of flight,” 26th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, vol. 2, 2013.

ПРОГРАММНЫЙ ЭМУЛЯТОР УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ "VIRTUAL IOT LAB"

Антипов М.М., Угодников А.А., Березуцкий Я.С.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается решение по разработке программного обеспечения, для запуска и работы с Arduino, Raspberry, STM32 в виртуальном пространстве, с возможностью запуска внешнего программного кода или алгоритмов.

Введение

В данный момент на рынке отсутствует эмулятор, позволяющий работать в виртуальном пространстве с микроконтроллерами Arduino, Raspberry, STM32, периферийным оборудованием и датчиками, а также позволяющий компилировать программный код непосредственно на платформе.

Условия карантина продемонстрировали, что подобный продукт может быть использован не только в учебном процессе, но также будет востребован при организации олимпиад, конкурсов хакатонов. Разработанный программный продукт может быть внедрен в образовательный процесс в НИУ ВШЭ для подготовки к практическим занятиям.. Планируется внедрять данный программных продукт в рамках работы с абитуриентами и школьниками в рамках профориентационной деятельности, проектов Инженерный класс и IT-класс.

Постановка задачи

Нам было необходимо написать программу, которая удовлетворяет следующим требованиям:

1. Программный функционал эмулятора устройств Интернета вещей, должен содержать набор базовых контроллеров: Raspberry, Arduino.

2. Должна быть реализована программная подсистема сетевого управления, для развертывания и работы с эмулируемыми IoT-устройствами.

3. Программная подсистема должна предоставлять внешний API для реализации пользовательских дополнений в виде датчиков, сенсорных систем, а также других элементов, способных подключаться к системе.

4. Программная подсистема должна производить контроль и проверку разрабатываемого программного кода, а также мониторинга для использования в учебных процессах

5. Программная подсистема должна предоставлять внешний API для реализации пользовательских дополнений в виде контроллеров, способных подключаться к системе.

Обзор существующих решений

На рынке существуют похожее программное обеспечение, но у них есть некоторые недостатки. Виртуальная лаборатория IoTFY содержит набор виртуальных контроллеров и сенсоров, но там не получится поработать с несколькими виртуальными платами одновременно, платформа разрабатывается и не распространяется свободно.

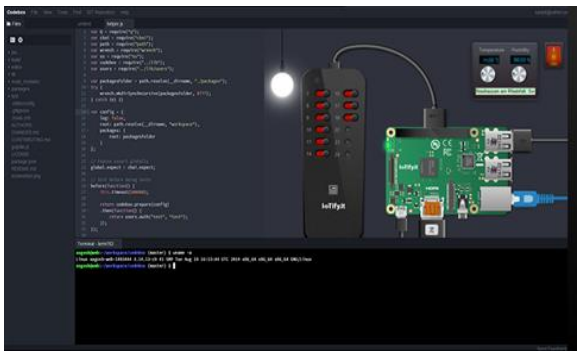


Рис.1. IoTFY Virtual Lab

Среда Tinkercad была включена в список существующих решений, так как позволяет работать с датчиками и Arduino, но Tinkercad не нацелен для создания IoT-проектов, в проекте можно использовать максимум одну плату, поддержка других микроконтроллеров и виртуальных плат не планируется.

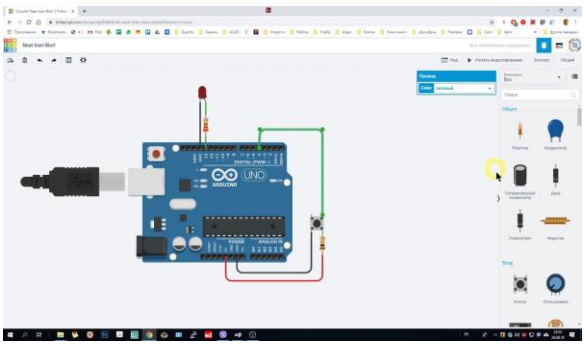


Рис.2. Tinkercad

Технические параметры

Используемые технологии: Angular (JavaScript, HTML, CSS), Flask (Python), Docker.

Рабочий язык ПО: русский.

Вид ПО: веб-интерфейс с доступом к виртуальным платам и дополнительным компонентам, используя протокол SSH и выполняя POST-запросы на сервер.

Пользователи: ученики, студенты.

Особенности разработки ПО

Для разработки веб-интерфейса сайта используется фреймворк Angular, так как он заимствует некоторые лучшие аспекты разработки на стороне сервера и использует их для расширения возможностей разметки HTML в браузере [1]. В нем есть достаточно много полезных готовых решений, более продуманная система сбора и хранения информации, что является очень нужным при разработке данного проекта. Angular упрощает конструирование веб-сайтов и обеспечивает надежное их функционирование.

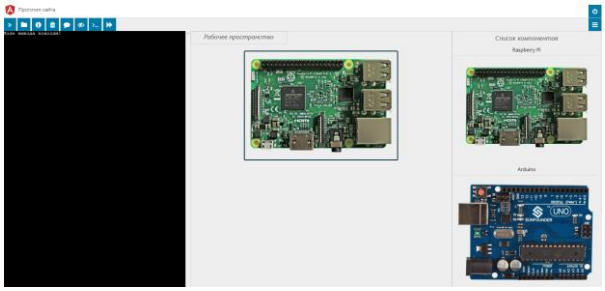


Рис.3. Веб-интерфейс сайта для работы с виртуальными платами

Серверная часть использует фреймворк Flask на языке программирования Python. Используя Flask, можно выбирать, какие его компоненты будут применяться в приложении, и даже писать собственные [2]. В данном проекте используется библиотека Docker SDK, которая позволяет работать с контейнерами, используя язык программирования Python [3]. Библиотека SQLAlchemy позволяет создать объектно-реляционное отображение, работать с реляционными базами данных через Python. На рисунке 4 изображена UML-диаграмма, которая описывает взаимодействие между пользователем и сервером.

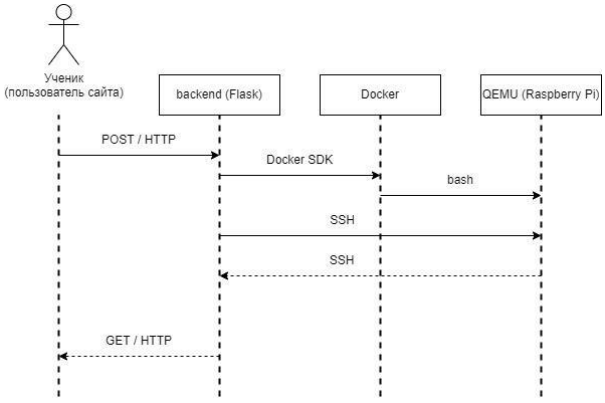


Рис.4. UML-диаграмма взаимодействия пользователя с виртуальной платой

В рамках данного проекта была проведена исследовательская работа по анализу возможностей запуска Raspberry Pi, используя контейнеризацию и виртуальную машину QEMU, которая поддерживает работу с ARM архитектурой.

При изучении вопроса было обнаружено, что поддержка интернета для Raspberry Pi 3b доступна начиная с версии QEMU 5.1 и выше. Для этого используется модуль USB-NET [4].

Для того, чтобы система в контейнере запускалась и настраивалась самостоятельно, используется пакет expect и модуль python3-pexpect для скриптов на языке программирования Python соответственно. Так как запуск происходит через эмулятор QEMU, то возможно реализовать выбор образа для Raspberry Pi при добавлении в проект. Raspberry Pi также содержит GPIO - порты ввода-вывода общего назначения [5]. Python-скрипт, находящийся в контейнере, считывает значения и направления портов, отправляет значения на серверную часть. На рисунке 5 приведена схема взаимодействия контейнера с back-end частью программного обеспечения.

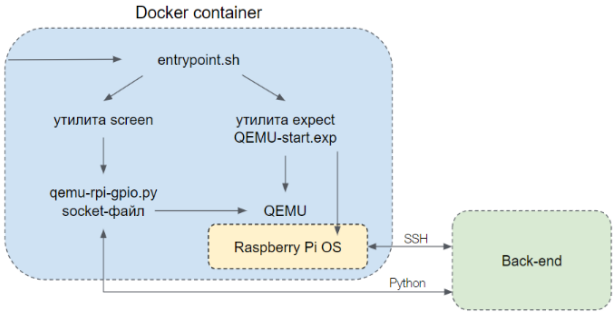


Рис.5. Взаимодействие back-end части с контейнером Raspberry Pi

Для взаимодействия с Raspberry Pi через сайт мы используем SSH-протокол, тем самым мы позволяем пользователю подключаться к виртуальной плате, исполнять на ней команды, выполнять программы, которые загружены через сайт на виртуальную плату. Обмен файлами между Raspberry Pi и сервером реализован через утилиту scp.

Контейнеризация помогает масштабировать и пересоздавать экземпляры виртуальных плат, тем самым открывает возможность пользователю экспериментировать с виртуальными платами, создать различные IoT-проекты, научиться работать с датчиками.

Заключение

Реализация данного программного обеспечения позволит пользователям создавать IoT-системы, используя виртуальные платы и компоненты, датчики, изучать взаимодействие между одноплатными компьютерами и микроконтроллерами.

Список литературы

1. Фримен А. Angular для профессионалов / А. Фримен. - Санкт-Петербург : Питер, 2018. - 800 с. - ISBN 978-5-4461-0451-2

2. Гринберг М. Разработка веб-приложений с использованием Flask на языке Python – М.: ДМК Пресс, 2016 – 274 с. – ISBN 978-5-97060-206-5

3. Docker SDK, URL: https://docs.docker.com/engine/api/sdk/ (дата обращения 23.01.2022).
4. Raspberry Pi boards - QEMU documentation, URL: https://www.qemu.org/docs/master/system/arm/raspi.html (дата обращения 17.12.2021).
5. BCM2835 ARM Peripherals, URL: https://www.raspberrypi.org/app/uploads/2012/02/BCM2835-ARM-Peripherals.pdf (дата обращения 17.12.2021).

ВЕБ-ТРЕНАЖЁР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СЕТЕВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Золотухин Д.С., Климин Н.А., Наумова Е.А., Якименко С.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Перевод образовательного процесса на дистанционный формат является приоритетной задачей многих университетов в последние годы. Одним из решений такой задачи стал формат проведения практических работ определённых дисциплин в веб-тренажёрах [1], в которых студентам предстояло бы работать с эмуляцией некоторой активности в браузере. Именно одному из таких веб-тренажёров и посвящена данная статья.

Введение

На данный момент прохождение лабораторных и практических работ по многим дисциплинам в условиях пандемии стало очень трудоёмким. Студенты должны связываться с преподавателем удалённо и задавать ему вопросы с меньшей степенью взаимопонимания из-за невозможности физически присутствовать в одной аудитории. Более того, работа с некоторыми видами оборудования, такими как серверные шкафы, коммутаторы и маршрутизаторы в контексте дисциплины сетевых технологий, оказалась недосягаемой для студентов. Веб-тренажёр позволяет как можно сильнее приблизиться к условиям выполнения работы с необходимым уровнем интерактивности и к тому же, при необходимости, позволяет автоматизировать процесс выставления оценок студентам. Помимо прочего, одной из важнейших задач во время обучения является повышение эффективности усвоения материала студентами. Автоматизация проверки работ позволяет ускорить получение знаний учащихся и за кратчайшие сроки отобразить результат в виде оценки.

В данной работе рассматривается способ создания обучающих систем, а также исследуются темы и задачи, которые могут быть переведены на автоматическую проверку на примере дисциплины «Проектирование компьютерных сетей».

Существующие аналоги

Для обучения компьютерным сетям используются различные методы, в том числе обучение с использованием специализированного программного обеспечения или веб-сервисов.

На сегодняшний день популярные эмуляторы сетевых взаимодействий распространяются в формате desktop-приложений, в которых уже настроена определённая коллекция лабораторных работ, которые необходимо будет пройти по заданному сценарию. Три самых популярных из не коммерческих программ – Cisco Packet Tracer [2], GNS3 [3], Dynamips [4]. Помимо очевидного недостатка в виде того, что каждый эмулятор — это программа для рабочего стола, присутствуют ещё некоторые неприятные для функциональности моменты:

– Невозможно манипулировать информацией о принадлежности студентов к определённым группам, выдавать задания необходимо каждому студенту персонально с методическими указаниями в том или ином виде.

– Некоторые аналоги при прочих плюсах, заточены только под эмуляцию оборудования конкретных компаний. Dynamips и Cisco Packet Tracer способны воспроизводить поведение только оборудования Cisco [3, 4].

– Отсутствие свободы создания заданий для выполнения. В тех средах, где предусмотрена не косвенная возможность прохождения практических работ, нет возможности создать свои работы для прохождения и проверки.

Наиболее функциональные аналоги, такие как Cisco Packet Tracer, вместе с тем являются проприетарными, что не позволяет использовать их без лицензии и не исключает возможности блокировки со стороны владельца.

Цель проекта и задачи

Целью разработки является создание гибкого в контексте выдачи и составления практических работ по курсу сетевых технологий, а также их последующая автоматизированная оценка. Преподаватель и команда поддержки проекта должны иметь возможность быстро изменять наиболее непостоянные аспекты, такие как сценарий работы и группа студентов для выдачи работы. Основными задачами были выделены:

– Создание микро-сервисной архитектуры веб-приложения.

– Использование внутриуниверситетской авторизации для выполнения работ только студентами вуза.

– Создание независимого от прочих сервисов проекта генератора топологии сети.

– Создание эмулятора протоколов маршрутизации для использования в практических работах.

– Реализация интерактивного интерфейса веб-приложения для удобства пользования.

Микро-сервисная архитектура

Для работы веб-сервиса используется микро-сервисная архитектура. Данный подход позволяет разделить большие системы на небольшие функцио-

нальные блоки. Для развертывания сервиса был выбран подход «сервис как сущность в контейнере». При таком подходе каждый блок упаковывается в отдельный контейнер и изолируется от других с помощью виртуализации.

Для инкапсуляции каждого сервиса используется система контейнеризации Docker и соответственно Docker-контейнеры для каждого из следующих блоков: генератор заданий, генератор топологий, серверная часть проекта. Данная структура также позволяет путем взаимодействия блоков через REST API объединить все части системы.

К тому же, эта система контейнеризации завоевала популярность в последние годы в связи со следующими факторами:

– Более быстрая работа контейнеров, по сравнению с виртуальными машинами [5].

– Относительно лёгкое развёртывание сервера, на базе Docker [6].

Внутриуниверситетская авторизация

Для обеспечения доступа к лабораторным работам только студентам и преподавателям НИУ ВШЭ в веб-тренажёр была интегрирована система авторизации портала Smart LMS. Данная система обладает одним существенным плюсом: она независима и находится полностью под контролем университета. В то время, как авторизация таких гигантов, как Google с интеграцией через OAuth2 [7] пользуется большой популярностью [8], она может быть заблокирована извне. Использование этой функции извне сразу сделало бы невозможным функционирование веб-тренажёра.

Генерация топологии

Генератор топологии реализован в виде отдельного сервиса, который будет предлагать способы взаимодействия посредством REST API. Делается это с той идеей, что в будущем его можно будет использовать и с другими сервисами, а не только с веб-тренажёром. Все необходимые зависимости для генератора также предоставлены ему в виде инкапсулированных сервисов. Команда разработки придерживалось принципа «отдельная задача – отдельный контейнер».

Что касается реализации генератора топологий, был выбран язык программирования Python, а микросервис построен на сервере Flask. Основой алгоритма генерации топологии и подсетей для заданий являются модели Эрдёша-Реньи и Барабаши-Альберта [9]. Работа генератора представляет собой создание случайного графа на матрице смежности и нормализация матрицы путем соединения устройств с маршрутизаторами. Были рассмотрены и другие варианты генерации графов с предпочтительным связыванием [10], однако большая часть алгоритмов имели неоптимизированную структуру или не подходили для работы.

Для программной эмуляции топологий, состоящих из подсетей и маршрутизаторов, было использован модель представления данных в виде двудольного графа или биграфа. Пример представления сети в виде биграфа изображен на рис. 1.

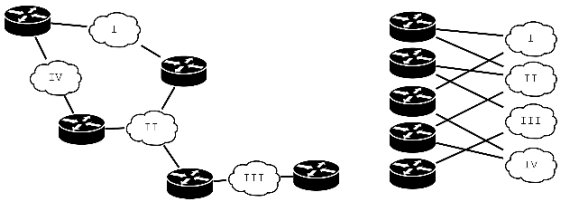


Рис.2. Топология сети в виде двудольного графа

Реализуемые протоколы маршрутизации

В веб-тренажёре предлагается реализовать эмуляцию по 3-м протоколам маршрутизации и протоколу удаления петель или циклов в коммутационной сети. RIP – первый протокол динамической маршрутизации, из ошибок и идей которого развивались другие протоколы. OSPF – самый популярный на данный момент протокол динамической маршрутизации [11], понимание которого пригодится в работе почти с любой компьютерной сетью. EIGRP – относительно молодой протокол, созданный компанией Cisco, знание которого необходимо, ведь зачастую он показывает результаты лучше [12], чем у OSPF, который распространён повсеместно. STP – протокол, особенно важный к изучению, так как являлся прообразом RSTP, PVSTP, MSTP, SPB и других, которые сейчас формируют основную группу инструментов для решения проблем в сетях.

Заключение

Как итог, конечным результатом работы выступит гибкое и функциональное веб-приложение, в котором на этапе проектирования были выделены наиболее часто изменяемые части и обработаны с точки зрения архитектуры. Ядром эмулятора будет генератор сетевой топологии, которые полностью независим и может использоваться в других проектах посредством REST API. Генерация будет основываться на модифицированном методе Барабаши-Альберта, а топология представляться в виде многодольного графа. Проект будет использовать авторизацию SmartLMS, находящийся под полным контролем университета, и не будет зависим от сторонних провайдеров авторизации.

Список литературы

1. Mkrttchian V., Miroljub K., Škraba A., Yeranosyan H., Borštnar M. Development of Educational Web-Based Simulator and its Evaluation.//.IFAC. - Proceedings Volumes. - 2008. - Vol.41. - №2. - URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016405343?via%3Dihub

2. Кобылянский В.Г., Семенцова А.Г. Анализ компьютерных сетей в программном пакете Cisco Packet tracer // Технические науки – от теории к практике. - 2017. - №3 – с.63. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-kompyuternyh-setey-v-programmnom-pakete-cisco-packet-tracer

3. Davies J. N., Comerford P., Grout V., Verovko M. V., Stasiuk S. S. Comparison of network simulators in ip networks // MMC. - 2014. - №4. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/comparison-of-network-simulators-in-ip-networks

4. Лапонина О.Р., Сизов М.Р. Лабораторный стенд для тестирования возможностей интеграции ПКС-сетей и традиционных сетей // International Journal of Open Information Technologies. - 2017. - Vol.5. - №9. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/laboratornyy-stend-dlya-testirovaniya-vozmozhnostey-integratsii-pks-setey-i-traditsionnyh-setey

5. Potdar A. M., Narayan D.G. Performance Evaluation of Docker Container and Virtual Machine // Procedia Computer Science. - 2020. - Vol.171. - URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920311315

6. Васильев П.А. Развертывание сервера с помощью технологии docker // Вестник науки и образования. - 2016. – Vol.24. - №12. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razvertyvanie-servera-s-pomoschyu-tehnologii-docker

7. Шейкина Е.П., Лазарева О.Ю. Проблема безопасности авторизации аккаунта через социальные сети // Вестник МГУП. - 2015. - №1. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/problema-bezopasnosti-avtorizatsii-akkaunta-cherez-sotsialnye-seti

8. Torroglosa-García E., Pérez-Morales A.D., Martinez-Julia P., Lopez D.R., Integration of the OAuth and Web Service family security standards // Computer Networks. - 2013. - Vol.57. - №10. - URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128613001138

9. Берновски М.М., Кузюрин Н.Н. Случайные графы, модели и генераторы безмасштабных графов // Труды ИСП РАН. 2012. №. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sluchaynye-grafy-modeli-i-generatory-bezmasshtabnyh-grafov

10. Юдин Е. Б. Генерация случайных графов предпочтительного связывания // ОНВ. 2010. №2 (90). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/generatsiya-sluchaynyh-grafov-predpochtitelnogo-svyazyvaniya

11. Redmond T. Exchange transport and routing // HP Technologies - Microsoft Exchange 2007 - Digital Press. - 2007. - URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781555583477500077?via%3Dihub

12. Абрамкина О.А. Анализ эффективности протокола EIGRP // T-Comm. 2017. - №10. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analysis-of-the-effectiveness-of-the-eigrp-routing-protocol

СТАБИЛИЗАЦИЯ ОПТОВОЛОКОННОГО ПРИЕМНИКА КВАНТОВЫХ КОГЕРЕНТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Венедиктов И.О., Пестов Ю.С., Ганиев Р.Р., Сыч Д.В.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Базовая кафедра квантовой оптики и телекоммуникаций ЗАО «Сконтел», МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе представлены математическая модель волоконного приемника квантовых оптических когерентных сигналов и расчет допустимых фазовых и поляризационных флуктуаций в приемнике для достижения максимально возможного отношении оптической мощности при конструктивной и деструктивной интерференции.

Введение

Проблема различения квантовых оптических когерентных сигналов возникает в квантовой и классической коммуникации на дальние расстояния. При большой интенсивности этих сигналов (или иначе при большом среднем числе фотонов) когерентные сигналы легко различимы, хотя и не являются ортогональными. Но с уменьшением среднего числа фотонов в сигнале состояния будут становится все менее различимыми из за Пуассоновского распределения числа фотонов в сигнале. Существуют методы, которые позволяют уменьшить ошибку различения когерентных состояний. Один из таких методов – приемник Кеннеди, который основан на смещении фазово-модулированных состояний $|\alpha\rangle$ и $|-\alpha\rangle$ в оптическом фазовом пространстве в состояния $|2\alpha\rangle$ и $|0\rangle$ посредством оператора смещения $\hat{D}(\alpha)$. На практике оператор смещения реализуется при помощи интерференции сигнала с некоторым локальным осциллятором. Поскольку добиться когерентности двух независимых источников довольно сложно, то используется один источник излучения, который попадая на светоделитель делится на сигнал, который смещается по фазе на 0 или π (состояния $|\alpha\rangle$, $|-\alpha\rangle$ соответственно) и на локальный осциллятор, который интерферирует с сигналом давая на выходе состояния $|2\alpha\rangle$ или $|0\rangle$. Но в реальном эксперименте невозможно получить вакуумное состояние, поскольку нельзя идеально согласовать по фазе и поляризации сигнал и локальный осциллятор, что увеличивает ошибку различения состояний. В случае оптоволоконной реализации приемника данные флуктуации возникают из за температурных флуктуаций и механических вибраций в волокне, приводящих к флуктуациям фазы и поляризации излучения. Для уменьшения данных флуктуаций существуют различные подходы, реализующие активную стабилизацию фазы для увеличения точности работы приемника.

В данной работе будет представлена схема оптоволоконной реализации приемника Кеннеди с активной стабилизацией фазы, математическая модель данного приемника и численные оценки допустимых фазовых и поляризационных флуктуаций для достижения заданного значения контраста интерференции. Стабилизация фазы заключается в удержании некоторого заданного ее значаения постоянным во времени Для создания алгоритмов стабилизации необходимо знать какие отклонения фазы от заданного значения являются допустимыми.

Схема оптоволоконного приемника Кеннеди

Установка состоит из 3 частей: подготовка состояний, измерение состояний и стабилизация приемника. Сам приемник реализован на основе интерферометра Маха-Цендера. Для подготовки состояний используется источник излучения на длине волны 1550 нм, излучение с которого попадает на программируемый контроллер поляризации, который может менять вектор Стокса входного излучения. Далее излучение идет на поляризационный светоделитель, данная схема позволяет более точно делить мощность в плечах интерферометра, добиваясь высокого интерференционного контраста. Далее излучение в верхнем плече интерферометра модулируется при помощи фазового модулятора, на который подаются прямоугольные импульсы, соответствующие смещению фазы на 0 или π. После чего излучение с верхнего и нижнего плеча интерферирует на светоделителе с коэффициентом деления 90:10, идет на светоделитель с коэффициентом деления 50:50, где часть идет на измеритель мощности и используется для алгоритма стабилизации интерферометра, а другая часть идет на аттенюатор, который имитирует потери на реальной линии связи, понижая сигнал до однофотонного уровня. В итоге излучение детектируется на сверхпроводниковом однофотонном детекторе [1]: наличие или отсутствие отсчета с детектора соответствуют состояниям $|2\alpha\rangle$ или $|0\rangle$. Стабилизация производится при помощи второго фазового модулятора, который компенсирует фазовые флуктуации, возникающие в волокне, смещая фазу излучения в нижнем плече.

Математическая модель приемника Кеннеди

Представленная в статье математическая модель описывает прохождение излучения от источника излучения до светоделителя 50:50, поскольку после прохождения через него мощность будет отличаться на некоторый постоянный множитель.

Мощность при прохождении до светоделителя определяется выражением (1):

$$I = I_0(kp+(1-k)(1-p)\gamma + 2\sqrt{p(1-p)k(1-k)\gamma}\cos(\varphi)) \qquad (1)$$

где I_0 _ интенсивность на входе поляризационного светоделителя, k _ коэффициент деления на светоделителе (в нашем случае k=0,9), p _ процент излучения прошедшего в верхнее плечо после поляризационного светоделителя, φ _ разность фаз в плечах интерферометра, γ _ коэффициент описывающий относительные потери между плечами, связанный с неидеальностями системы (потери при прохождении, плохое совмещение волокон).

В данном выражении величины p и φ могут флуктуировать со временем меняя величину контраста. Контраст определяется как отношение максимальной интенсивности излучения к минимальной, в идеальной системе контраст бесконечно большой, поскольку возможно получить полностью деструктивную интерференцию. В нашем случае чтобы добиться максимального контраста мы должны сделать $p = \gamma(1-k)/(k+\gamma-k\gamma)$, подобрав необходимый вектор Стокса для входного излучения. Связь p с вектором Стокса входного излучения и вектором Стокса поляризационного светоделителя определяется выражением (2):

$$p = \frac{1+\vec{s}_1 \cdot \vec{s}_2}{2} \qquad (2)$$

где s_1 _ вектор Стокса входного излучения (в представлении без нулевой компоненты), s_2 - вектор Стокса по которому делится мощность в поляризационном светоделителе. Поскольку поляризация меняется из-за температурных флуктуаций и вибраций волокна, то значение p не остается оптимальным и влияет на максимальную величину контраста, делая ее конечной. Флуктуации же фазы приводят к тому, что мы не можем получить точно конструктивную или деструктивную интерференцию, что также делает значение контраста конечным

Расчет возможных отклонений фазы и поляризации

Для того чтобы понять влияние каждого типа отклонений построим график зависимости контраста от возможных значений флуктуаций фазы и поляризации в отдельности, считая что одновременно меняется только одна величина. Для расчетов использованы значения k=0,9 и γ=1.

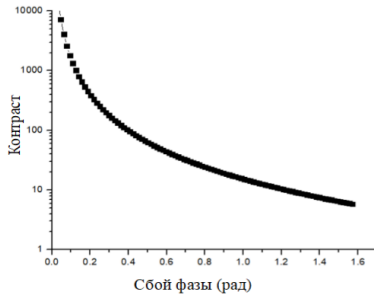


Рис.1. Зависимость контраста от флуктуаций фазы при оптимальном значении параметра p

В результате анализа графиков было показано, что конраст имеет значение более 1000 (чего достаточно для различения сигналов после аттенюации) при значениях флуктуаций фазы не более 6,88 градусов и при значениях отклонения p не более 0,01. Данное отклонение параметра p соответствует отклонению вектора Стокса от оптимального на 5 градусов.

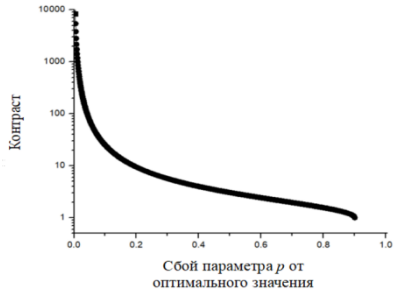


Рис.2. Зависимость контраста от параметра p при оптимальных значениях фазы

Заключение

В данной работе была описана схема оптоволоконного приемника Кеннеди, математическая модель данной схемы, позволяющая описать значение интенсивности при любых параметрах входного излучения. Из данной модели были получены ограничения на допустимые величины отклонений фазы и поляризации излучения во время работы приемника. Эти данные могут быть использованы для реализации алгоритмов стабилизации оптоволоконного приемника.

Список литературы

1. G. Goltsman. Quantum photonic integrated circuits with waveguide integrated superconducting nanowire single-photon detectors. // EPJ Web of Conferences – 2018. – Vol. 190. – N 02004. – P. 1-2. DOI – 10.1051/epjconf/201819002004

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКИ СТЕНДА ДЛЯ УДАЛЕННОЙ РАБОТЫ С ОБОРУДОВАНИЕМ

Мещеряков Н.К. [2]***, Огай В.А.*** [1]***,***
Прокудина К.В. [1]***, Салихов И.М.*** [1]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]***департамент компьютерной инженерии,***
[2]***департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ***

Аннотация

Основной целью данной работы является разработка и сборка базовой модели универсальной ячейки для эргономичного размещения необходимого лабораторного оборудования в корпусе сервера. Это поможет развить стенд для удаленной работы с оборудованием, используемый для поддержания учебного процесса в учебной лаборатории систем автоматизированного проектирования МИЭМ.

Введение

Возможность дистанционно управлять оборудованием лаборатории - перспективное направление будущего инженерного образования. Данное средство поможет студентам, имеющим компьютер с доступом в интернет, вне зависимости от места их проживания, проводить исследования и работать с оборудованием, к которому у них может не быть доступа. Имея такую возможность, студенты смогут заметно повысить свои навыки, а также закрепить полученные знания, так как практика –один из самых важных аспектов обучения.

Стенд для удаленного подключения к оборудованию лаборатории может повысить интерес студентов к изучаемому предмету, а также имеет возможность улучшить эффективность самостоятельного обучения. Целью нескольких работ в МИЭМ является развитие данного аппаратно-программного комплекса, но в разных направлениях. Наша работа направлена, в первую очередь, на улучшение аппаратной части. Основными задачами были создание модели ячеек, продумывание оптимального размещения компонентов для удобной и быстрой их замены в случае неполадок, а также разработка системы предотвращения аварийных ситуаций.

На подготовительном этапе проекта были изучены принципы работы отладочных плат ПЛИС (FPGA), которые используются при проведении практических работ, выполняемых в УЛ САПР МИЭМ НИУ ВШЭ, а также принципы работы программы Intel Quartus Prime [1], необходимой для программирования этих плат. Данные знания помогли при создании модели ячеек, так как необходимо было понимать, какие возможности должны быть у аппаратно-программного комплекса для удобной удаленной работы с лабораторным оборудованием.

Также были установлены размеры различных универсальных комплектующих необходимых для полноценной удаленной работы с лабораторным оборудованием.

Универсальные модели

Удаленный стенд в учебной лаборатории систем автоматизированного проектирования МИЭМ разрабатывался для того, чтобы каждый желающий мог в удобное ему время удаленно подключиться и поработать с лабораторным оборудованием. Значит, необходимо, чтобы данный аппаратно-программный комплекс как можно реже не работал. Отключение происходит в случае замены оборудования (например, процесс замены отладочных плат ПЛИС на платы Arduino) или в случае неполадок, где также необходима замена. Для того, чтобы тратить как можно меньше времени на замену комплектующих или сборку новых ячеек, было принято решение разработать модель универсальной ячейки, с помощью которой очень легко придумать способ замены оборудования или сборки дополнительной ячейки. Также можно проверить через программу создания 3D моделей подходит ли предлагаемое решение проблемы или нет. Дополнительно очень важно было при разработке модели учитывать то, что, например, платы ПЛИС бывают разных размеров, и в любой момент может понадобиться замена плат с разными размерами.

Под «ячейкой» в данной работе подразумевается компьютер с установленной операционной системой Windows [2] или Ubuntu [3] с подключенным к нему оборудованием. Это могут быть, например, камера, отладочная плата ПЛИС Terasic DE10-Lite [4], под-

ключенная к USB-порту для программирования, и отладочная плата Arduino Uno [5] для передачи данных с компьютера на GPIO выходы платы ПЛИС. Все эти комплектующие расположены в серверной ячейке для удобного хранения.

Система предотвращения аварийных ситуаций

Как уже было упомянуто в прошлом разделе, очень важно добиться того, чтобы оборудование в стенде для удаленной работы выходило из строя как можно реже. Для предотвращения поломок было принято решение разработать систему предотвращения аварийных ситуаций.

В задачи данной системы входят: снятие показаний с помощью датчиков загазованности и температуры, применение различных мер для предотвращения перегрева системы в ячейке, разработка и внедрение систем менеджмента питания. Так как ячеек много, для их контроля и иных задач было принято решение собрать управляющую ячейку. В каждой ячейке установлена плата Arduino, с помощью которой принимаются и передаются на управляющую ячейку данные с подключенных датчиков. Примерная схема части данной системы, созданная в Tinkercad [6], указана на рисунке 1.

.

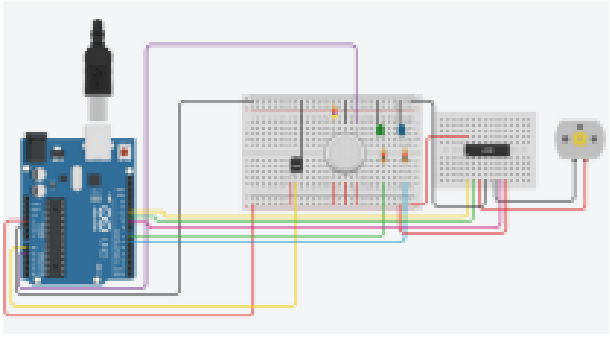


Рис.1. Часть системы предотвращения аварийных ситуаций в Tinkercad

Системы менеджмента питания, интегрированные в управляющую ячейку, отвечают за безопасное включение и выключение оборудования в ячейке. Также они учитывают расход электроэнергии и мощность. Система состоит из 4 розеток, 4 датчиков тока, 4 реле, платы Arduino, проводов, отвечающие за фазу, ноль и заземление, контейнера, Din-рейки, USB-провода и т.д. Собранная система представлена на рисунке 1. Для удобного контроля показателей необходимо было разработать интерфейс, на котором отображается поступающая на управляющую ячейку информация с разработанных устройств. Пример части интерфейса, где изображаются данные, полученные с систем менеджмента питания, представлен на рисунке 3.

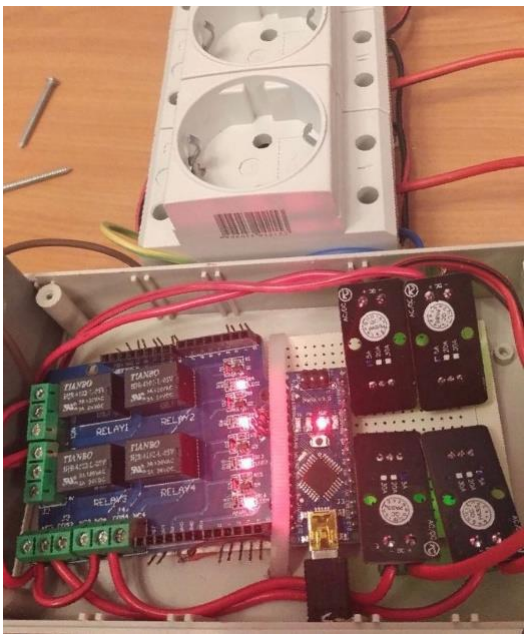


Рис.2. Система менеджмента питания

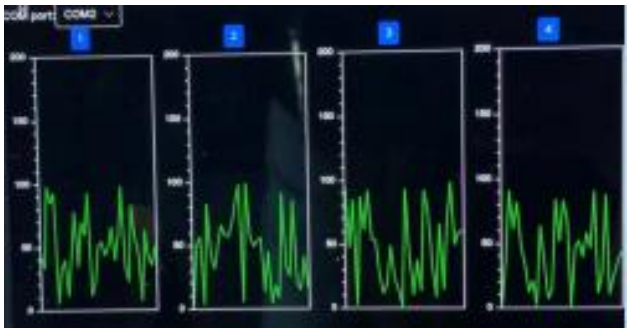


Рис.3. Часть интерфейса системы предотвращения аварийных ситуаций

Заключение

Результатами разработки являются базовая модель универсальной ячейки для размещения оборудования лабораторного стенда в корпусе серверной ячейки, собранные серверные ячейки с необходимым оборудованием для удаленного подключения и работы, а также реализованная система предотвращения аварийных ситуаций.

Предлагаемое решение, в первую очередь, создавалось для того, чтобы процесс сборки ячеек и замены в них комплектующих занимал как можно меньше времени и усилий. Это поможет системе прослужить дольше и быть более продуктивной.

Эта работа является одним из путей развития аппаратной части стенда для удаленной работы с оборудованием, используемый для поддержания учебного процесса в учебной лаборатории систем автоматизированного проектирования МИЭМ. Данный аппаратно-программный комплекс обладает большим количеством особенностей, которые помогут любому пользователю быстро и легко достигнуть нужного результата, не находясь лично в лаборатории, имея только компьютер с выходом в интернет, что очень полезно и необходимо в наше время.

Список литературы

1. Intel Quartus Prime [Электронный ресурс]. URL: https://www.intel.com/content/www/us/en/ software/ programmable/quartus-prime/overview.html .
2. Windows [Электронный ресурс]. URL: https:// www.microsoft.com/ru-ru/windows.
3. Ubuntu [Электронный ресурс]. URL: https://ubuntu.com/.
4. Terasic DE10-Lite Board [Электронный ресурс] URL: https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/p age /archive.pl?Language=English&No=1021.
5. Arduino Uno [Электронный ресурс]. URL: https://arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno.
6. Tinkercad [Электронный ресурс]. URL: https://www.tinkercad.com/.

ОБЗОР МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЗАИМНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Муклаев С.М., Филиппова А.С.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии, МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В настоящей работе рассмотрены методы позволяющие установить взаимную зависимость между временными рядами. Определены основные направления выявления таковых связей при анализе данных. Отобраны наиболее подходящие методы для проведения исследования внутри корреляционного кластера станций сети радиодоступа.

Введение

Развитие любой основополагающей сферы жизни человека, будь то экономическая, технологическая или социальная – подразумевает изучение изменяющихся во времени явлений, благодаря которым становится возможным продвижение той или иной области знаний. Одной из важнейших задач исследования таких явлений считается определение закономерностей и основных тенденций изучаемых процессов. В совокупности, нахождение закономерностей и связей позволяет осуществлять прогноз дальнейшего развития на основе полученных ранее данных. Данные, которые фиксировались до этого момента на протяжении некоторого промежутка времени, представляют собой временные ряды.

В современной статистике, временные ряды являются универсальным инструментом для предсказания показателей, выявления составляющих компонент и описания характерных особенностей или механизмов процессов.

Область наших исследований не является исключением. Необходимость выявления связей между рядами данных станций сети радиодоступа вызвана возрастающей сложностью конфигурации мобильной сети. Увеличение количества разнородных ячеек, которые в совокупности образуют зону покрытия сети, вместе с этим увеличивает нагрузку на сеть и на отдельные базовые станции. Для того чтобы более рационально использовать ресурсы сети, развиваются направления её самоорганизации, в том числе алгоритмы кластеризации станций. Со стороны практического применения, планируется, что такие методы будут использованы в задачах дизайна, оптимизации и траблшутинга сети радиодоступа. Выявление зависимостей между данными станций сети радиодоступа становится возможным благодаря анализу и применению различных методов преобразования временных рядов. Исходя из этого, целью данной работы является повышение знаний в вопросе выявления зависимостей временных рядов. Задачей данной работы является определение метода связанности временных рядов, который позволит качественно выявлять имеющуюся связь между наборами данных, характеризующих поведение станций сети радиодоступа. Далее, будут изложены основные методы обнаружения связанности временных рядов.

Взаимная зависимость временных рядов

Определение однозначной зависимости между двумя величинами x(t) и y(t) решает многие проблемы, в частности, для последующих измерений или построений отпадает необходимость отслеживания двух величин, то есть, для этих операций будет достаточно одной из них, оставшаяся не будет нести новой полезной информации. К сожалению, об однозначной зависимости приходится говорить редко, так как более распространены случаи неоднозначной зависимости [1]. Наиболее простым с точки зрения использования подходов является подсчет функции корреляции или функции когерентности. Функция автокорреляции для временного ряда с лагом k рассчитывается по следующей формуле (1):

$$\mathrm{cor(k)} = \frac{\mathrm{E}[(x_t-\mu)(x_{t+k}-\mu)]}{\sqrt{\mathrm{E}(x_t-\mu)^2\mathrm{E}(x_{t+k}-\mu)^2}} \qquad (1)$$

где E – математическое ожидание, μ – среднее значение ряда.

Коэффициент корреляции

Одним из базовых способов получения коэффициента корреляции между двумя выборками данных является определение коэффициента корреляции Пирсона [2]. Таким образом, коэффициент корреляции Rx,y считается по следующей формуле (2):

$$\mathrm{Rx,y} = \frac{E[(x-\mu x)(y-\mu y)]}{\sigma x * \sigma y} \qquad (2)$$

где $\sigma x, \sigma y$ – стандартные отклонения, $\mu x, \mu y$ – средние значения X и Y, E – математическое ожидание.

Значение коэффициента может варьироваться от 0 до 1 по модулю. В случае сильной связи коэффициент приближен к 1. Если процессы независимы, то коэффициент будет равен 0. Тем не менее, если процессы связаны однозначно, но при этом нелинейно, коэффициент все равно будет равен 0. Поэтому дан-

ный метод используется для характеристики линейных зависимостей.

Стоит добавить, что метод не рекомендуется использовать, если в выборке присутствует большое количество выбросов, также, если между переменными отсутствует причинно-следственная связь.

Существует еще несколько разновидностей подсчета коэффициента корреляции. Одной из таковых является корреляция Спирмена. Коэффициент Спирмена Рх,у – это мера монотонной взаимосвязи. Ощутимое отличие от коэффициента Пирсона заключается в предварительном введении рангов, которые учитываются при подсчете. В остальном методы схожи, но благодаря ранжированию уменьшается влияние наличия выбросов.

Использование рангов применяется и при определении коэффициента Кендалла, с его помощью определяется мера связи между рядами рангов. На практике, корреляция Спирмена и Кендалла взаимозаменяемы, выбор определяет удобство вычислений.

Иногда возникает ситуация, при которой зависимость одного ряда данных от другого обуславливается влиянием третьего ряда. Такое явление получило название частной корреляции, с его помощью стало возможно определять наличие связи в тех случаях, когда это не является очевидным. Если необходимо выявить зависимости между одним рядом со многими, то имеет место множественная корреляция.

Для определения тесноты корреляционной связи в случае нелинейной зависимости используется модификация коэффициента корреляции – корреляционное отношение [3]. Формула для корреляционного отношения следующая (3):

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sigma^2 \text{ост}}{\sigma^2}} \qquad (3)$$

где σ^2ост – остаточная дисперсия, σ^2 – общая дисперсия.

Прогнозирование временных рядов

Принципиально другим методом проведения исследований является анализ зависимостей между двумя временными рядами с использованием временных задержек, поиска ближайших соседей и построения взаимных прогностических моделей [1].

Среди методов прогнозирования одним из самых универсальных является метод «Гусеница» или SSA (Singular Spectrum Analysis) [4]. Алгоритм метода следующий:

1. Одномерный ряд данных преобразуется в многомерный путем сдвигов данных в матрице.
2. Применяется сингулярное разложение, анализируются и выбираются главные компоненты.
3. По выбранным компонентам строится временной ряд.

Метод позволяет производить разложение временного ряда на составляющие компоненты, то есть выделять сезонность, тренды, шумовые и циклические компоненты. Такое разложение позволяет строить прогнозы самого ряда и его составляющих.

Другой метод использует нахождение ближайших соседей и основан на оценивании их сходства. В основном используется для задач классификации (относит объект к классу своих соседей). Метод имеет смысл при рассмотрении локальных участков, при рассмотрении всей выборки могут возникнуть технические сложности.

Метод, которому хотелось бы уделить больше внимания – это тест Гренджера. Подход этого метода следующий, предполагается, что ряды х и у зависимы, если при построении прогноза ряда х использование истории ряда у повышает качество предсказания [5]. С точки зрения математической формы записи мы имеем два ряда x_n и y_n , n = 1,2, .., N, где N – длина рядов. На первом этапе строится индивидуальная модель предсказаний одного ряда на основе собранных ранее данных. Получаем (4):

$$x'_{(n+\tau)} = f(x_n, x_{n-l}, \dots, x_{n-(Ds-1)l}, c^s) \qquad (4)$$

где x'_n – предсказанное значение, f- аппроксимирующая функция, l – лаг модели, τ – дальность прогноза, Ds – размерность модели, c^s –вектор коэффициентов для минимизации ошибки. Далее рассматривается среднеквадратичная ошибка модели (5):

$$\varepsilon_j^2 = \frac{1}{N-n"} \sum_{n=n'+1}^{N} (x'_n - x_n)^2 \qquad (5)$$

После этого строится аналогичная модель с совместным использованием двух временных рядов. Вычисляется среднеквадратическая ошибка, которая сравнивается с полученной ошибкой в прошлом случае. Если она получилась меньше, то системы связаны. Мерой связанности считается показатель улучшения прогноза, который вычисляется как остаток от разности 1 и отношения среднеквадратических ошибок. Тест Гренджера широко используется в задачах с применением стационарных временных рядов. Тем не менее, с помощью него не всегда удается точно определить структуру связи. В случаях, когда тест Гренджера не устанавливает связь между временными рядами, используется ряд других методов, которые основаны на восстановлении одного временного ряда из другого.

Теорема Такенса

Теорема Такенса дает ответ на вопрос: возможно ли по одному ряду данных достоверно описать траекторию состоянии системы. Предполагается, что система полностью описывается переменными: $x_1(t)$, $x_2(t)$, .., $x_m(t)$. Тогда теорема говорит, что вместо m переменных можно рассматривать ряд: $x_1(t+T)$, $x_1(t+2T)$.., $x_1[t+(m-1)T]$, то есть, берется m состояний одной переменной со сдвигом на период T. Из этого делается вывод, что возможно описание системы m-мерными векторами задержек временного ряда [1].

Существует несколько методов, которые используют эту теорему. Один из них это метод

Грассбергера – Прокаччиа [6]. Следуя теореме, строится пространство вложений m-мерного вектора, и с использованием аттракторов восстановленного фазового пространства получается корреляционный интеграл (6):

$$Ce(\varepsilon, N) = lim_{N\to\infty} \frac{1}{N(N-1)} \sum_i^N \sum_j^N \theta\big(\varepsilon - \\ - \left|x_i - x_j\right|\big), i \neq j \quad (6)$$

где N – количество точек аттрактора, |xi-xj| - абсолютное расстояние, ε – размер разрешающей ячейки, θ – функция Хевисайда. Далее оценивается корреляционная размерность D: logC(ε)≅-Dlogε+c – определяет число задействованных параметров в системе. Метод позволяет находить сложные закономерности временных рядов.

Еще одним методом, основанным на теореме Такенса, является метод ложных ближайших соседей. В основу заложен принцип проверки того, что восстановленная фазовая траектория не должна пересекаться сама с собою в пространстве достаточной размерности. Алгоритм метода состоит из следующих этапов:

1. Задается изначальная размерность m=1 и для каждой точки x_i находится ближайший сосед x_j.
2. Вычисляется абсолютное расстояние между соседями.
3. Вычисляется расстояние между этими же точками на следующем шаге и берется отношение R расстояния нового шага к прошлому.
4. Если это отношение больше подходящего порога, то сосед является «ложным», подсчитывается количество таких соседей (P).
5. Вычисляется отношение P/N и алгоритм повторяется со следующим значением m.
6. Повторение производится, пока отношение P и N не будет близко к 0.

К другому способу восстановления одного временного ряда по другому можно отнести метод перекрестного сходящегося отображения [7]. Представим, что задано два ряда $x=[x_1,.., x_N]$ и $y=[y_1,.., y_N]$. В таком случае, ряд y будет зависеть от ряда x, если существует Липшицево отображение одной фазовой (ϕ) траектории в другую на всем отрезке времени: Hx→Hy (7):

$$\rho H_y\left(\phi(x_i), \phi\left(x_j\right)\right) \leq L * \rho H_x\left(x_i, x_j\right), \;\; x_i, x_j \in H_x \; (7)$$

Для этого строится траекторная матрица шириной K и выбирается t-ая строка матрицы. Выделяется вектор xt принадлежавший K-мерному пространству, выбирается момент t’ и ищутся ближайшие соседи вектора xt. Аналогично поступают с другим рядом. Далее каждому вектору xt ставится в соответствие вектор yt. На основе этого множества оценивается мера близости векторов и делается прогноз элементов вектора.

Такие методы подводят к идее анализа фаз рядов данных. В тех случаях, когда амплитуды могут быть некоррелированными между собой, фазы могут выявлять существующую зависимость. Когда разность фаз постоянна, имеет место фазовая синхронизация.

Стоит сказать, что во многих практических задачах связь временных рядов достаточно слабая, для решения этой задачи была предложена методика, в основе которой заложены уравнения фазовой динамики [1]. Предполагается, что фазовая динамика таких рядов подчиняется системе стохастических дифференциальных уравнений. Главной проблемой для такого подхода является нестационарность временных рядов.

Заключение

Одной из задач данного обзора - была демонстрация того, насколько обширна область анализа временных рядов. Выявление взаимных зависимостей между временными рядами – это одно из ключевых направлений современной статистики. Выбор метода должен быть основан на природе анализируемых данных, с учетом их характеристик: сезонности, цикличности, стационарности, тренда временных рядов и др. Распространены случаи, когда не все так очевидно и приходится использовать комбинированные подходы. По результатам обзора предпочтительным методом для нашей задачи является метод перекрестного сходящегося отображения.

Список литературы

1. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. 320 с.
2. Прикладная статистика. Лекции. [Электронный ресурс] URL: https://www.youtube.com/playlist?list=PLk4h7dmY2eYEdKleN2_pwDBFwW0oX-pD (дата обращения 25.02.2022)
3.Статические показатели оценки связи между количественными признаками. [Электронный ресурс]. URL: https://cde.osu.ru/courses2/course66/term9_4.html (дата обращения: 25.02.2022).
4. Голяндина Н.Э., Данилов Д.Л. Обработка многомерных временных рядов с помощью метода «Гусеница» // Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница» / Под ред. Д.Л. Данилова, А.А. Жиглявского. 1997. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, С. 105-131
5. Сысоева М.В., Медведева Т.М. Оптимизация параметров метода причинности по Грейнджеру для исследования лимбической эпилепсии / Изв. Вузов «ПНД», т. 26, № 5, 2018. 24 с.
6. Антипов О.И., Добрянин А.В., Неганова Е.В., Неганов В.А. Фрактальный анализ динамики цен на нефть. Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики. Самара. 2010. 8с.
7. К. Р. Усманова, В. В. Стрижов. Модели обнаружения зависимостей во временных рядах в задачах построения прогностических моделей. Системы и средства информ., 2019, том 29, выпуск 2, 12–30

СЕРВИС ДЛЯ БРОНИРОВАНИЯ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА К ЛАБОРАТОРНЫМ СТЕНДАМ

Коробков И.А., Музычук С.М.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается сервис, позволяющий в автоматическом режиме предоставлять удаленный доступ к лабораторным стендам.

Введение

Почти все университеты используют и создают цифровые сервисы для студентов, преподавателей и сотрудников, которые не только позволяют автоматизировать определенные процессы, но и непосредственно использоваться в образовательном процессе. В последние годы из-за пандемии COVID-19 они стали использоваться еще чаще, так как многие вузы стали переносить занятия в онлайн-формат [1]. В то же время на многих направлениях в процессе обучения используется физическое оборудование и выполнение лабораторных работ с его использованием. По мере того, как популярность набирают массовые открытые онлайн-курсы, потребность в использовании физического оборудования возникает и там [2]. Базовые принципы функционирования различного оборудования можно изучить, используя эмуляторы, но при этом они не смогут обеспечить полноценной имитации работы реального оборудования, включая возможные проблемы. В части случаев возможно обеспечить удаленное подключение к физическому оборудованию, что имеет определенные преимущества [3], но предоставление удаленного доступа осложняется необходимостью автоматизировать этот процесс, а также ограничить или исключить совместное использование ограниченного количества лабораторных стендов, чтобы пользователи своими действиями не мешали друг другу. Данная работа посвящена решению данных проблем с помощью создания сервиса для бронирования синхронного удаленного доступа к лабораторным стендам с веб-интерфейсом.

Обзор существующих аналогов

Благодаря цифровизации образования существуют и разрабатываются различные цифровые сервисы и решения по обеспечению удаленного доступа к лабораторным стендам.

Например, существуют решения по интеграции систем бронирования лабораторных стендов с системами управления обучения (Learning Management Systems, LMS) по протоколу LTI, который поддерживается множеством популярных систем управления контентом, администрирование при этом осуществляется через отдельный веб-интерфейс [4]. Многие существующие решения, например, описанное в [5], предоставляют веб-интерфейс для управления реальными устройствами, однако, такой подход сложно применить в случаях, когда нужно взаимодействовать с оборудованием напрямую, к примеру, из написанных студентами программ. Также зачастую они не являются универсальными и предназначены для конкретного оборудования [6].

Первоначальное решение

После анализа существующих аналогов было принято решение разработать систему для предоставления возможности бронирования удаленного доступа к лабораторным стендам. В начале был разработан прототип на языке Python, который позволял студентам в ходе выполнения лабораторных работ забронировать доступ к IP-камере, установленной в стенде, который применяется на некоторых учебных курсах. В качестве интерфейса пользователями-студентами использовался календарь на внешнем сервисе, в котором необходимо было создать событие согласно желаемому времени бронирования. Сессии бронирования запускались при наступлении времени начала соответствующего события, после чего на камере создавалась учетная запись студента с уникальным паролем, и на электронную почту отправлялись данные для доступа к стенду. После завершения времени события учетная запись удалялась с камеры, таким образом запрещая дальнейшее взаимодействие. Применение данной системы в учебных курсах с численностью студентов около 60 человек и одним описанным выше лабораторным стендом в течение нескольких месяцев показало, что таким образом действительно можно эффективно предоставлять и разграничивать доступ к лабораторному оборудованию. Тем не менее, был выявлен ряд недостатков: из-за использования внешнего сервиса календаря предоставлять доступ к системе приходилось вручную, пользователи имели возможность редактировать и удалять чужие события. Отсутствовала и универсальность - система поддерживала только взаимодействие по стандарту ONVIF, что довольно сильно сужало круг поддерживаемых устройств.

Предлагаемое решение

После анализа преимуществ и недостатков первоначального прототипа было принято решение о разработке улучшенной системы, которая устраняла бы обнаруженные недостатки. В ней для поддержки разных типов лабораторных стендов в ней используются популярные стандарты и протоколы для взаимодействия с оборудованием — SSH и ONVIF, архитектура при этом предполагает возможность простого добавления модулей при необходимости добавить поддержку других способов взаимодействия со стендами. Поддерживается система виртуальных групп для разделения доступа, в которые можно добавлять пользователей и оборудование, таким образом даже студенты могут при желании подключить к системе свое оборудование и открыть к нему доступ. Для добавления оборудования в систему, преподавателю необходимо ввести название стенда, данные для административного доступа к нему, например, в случае с ONVIF, это имя хоста, порт, имя административного пользователя и пароль. Также нужно

указать другие параметры, например, максимальное время бронирования стенда или количество допустимых одновременных сессий. После добавления в группу, в которую уже добавлены нужные стенды, студенты получают возможность создать сессию, выбрав желаемое время бронирования, при этом отображаются другие сессии, созданные на выбранном стенде. Далее сессия запускается в назначенное время, после чего пользователю на почту отправляются данные для доступа к устройству, которые также отображаются в веб-интерфейсе. При необходимости сессию можно отменить, или удалить, если она еще не запущена. Для разработки серверной части используется язык Python и фреймворк FastAPI, для хранения данных - СУБД PostgreSQL. Веб-интерфейс разрабатывается на языке JavaScript с использованием фреймворка Quasar, основанном на фреймворке Vue.js.

Архитектура

Схема архитектуры сервиса представлена на рисунке 1.

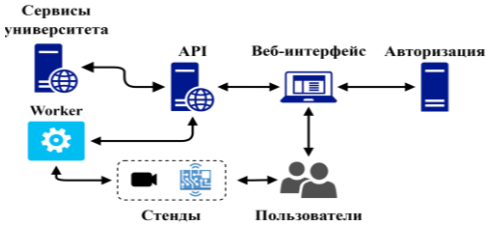


Рис.1. Схема архитектуры сервиса

При проектировании архитектуры сервиса было принято решение отделить управляющий веб-сервис от сервиса, который непосредственно взаимодействует с оборудованием (worker). Это позволит использовать систему и в тех случаях, когда доступ к стендам возможен только из локальной сети, что встречается довольно часто. Серверная часть веб-сервиса используется для непосредственного управления сессиями, и предоставляет API для веб-интерфейса, а также API для сервиса, который взаимодействует с оборудованием. Worker периодически запрашивает у веб-сервиса следующую необработанную сессию, после чего по нужному протоколу отправляет команды на оборудование, чтобы запустить или остановить сессию. Для большинства сценариев при запуске сессии на оборудовании создается личный аккаунт пользователя с автоматически сгенерированным паролем, а при остановке аккаунт удаляется.

Развитие

После окончания разработки необходимого функционала, описанного выше, планируется дальнейшее внедрение системы в образовательный процесс и доработка с учетом обратной связи от студентов и преподавателей. Предполагается интеграция системы с внутренними сервисами университета, что позволит преподавателям настраивать автоматическое предоставление доступа студентам к добавленным в систему стендам, а также предоставлять доступ отдельным группам или потокам. Также планируется добавить поддержку для самостоятельного добавления worker'ов преподавателями и привязки их к конкретным стендам, что позволит использовать систему даже если стенды подключены к различным локальным сетям, при условии наличия доступа к интернету из этих сетей. В качестве одного из способов взаимодействия со стендами также будет использована отправка HTTP-запросов с административным токеном, что позволит использовать в качестве стендов отдельные сервисы или оборудование, которое по умолчанию не поддерживает высокоуровневые сетевые протоколы, например, платформа Arduino с подключенным Ethernet-модулем. Рассматривается реализация поддержки протокола LTI, который часто применяется при интеграции различных инструментов с LMS, например в [7], и может быть использован для автоматического предоставления доступа к стендам из LMS, используемых в университете, а также в различных массовых открытых онлайн-курсах, что еще сильнее расширит универсальность системы. К системе планируется подключить систему мониторинга для оперативного реагирования на проблемы, а также анализа нагрузки на систему и статистики использования.

Заключение

Таким образом, автоматизированное предоставление удаленного доступа к физическому лабораторному оборудованию является важной и актуальной задачей, которая может быть решена при помощи создания соответствующих цифровых сервисов. Предложенное решение может быть централизованно использовано в разных лабораториях и с разными типами лабораторного оборудования, и при необходимости дорабатываться при необходимости внедрить функционал по запросу преподавателей и студентов.

Список литературы

1. Marinoni G. et al. The impact of Covid-19 on higher education around the world //IAU global survey report. – 2020. – Т. 23.

2. Lowe D. MOOLs: Massive open online laboratories: An analysis of scale and feasibility //2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). – IEEE, 2014. – С. 1-6.

3. Alfaro L. et al. New Trends in e-Technologies and e-Learning //2021 IEEE World Conference on Engineering Education (EDUNINE). – IEEE, 2021. – С. 1-6.

4. Borja-Jiménez R. M. et al. LTI Solution as an Integrating Element between an LMS and a Remote Laboratory (LR) //2019 XIV Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO). – IEEE, 2019. – С. 123-128.

5. Kamruzzaman M. M. et al. A web-based remote laboratory for the college of optoelectronic engineering of online universities //2015 Optoelectronics Global Conference (OGC). – IEEE, 2015. – С. 1-6.

6. Wan H. et al. A web-based remote FPGA laboratory for computer organization course //Proceedings of the 2019 on Great Lakes symposium on VLSI. – 2019. – С. 243-248..

7. Sierra A. J. et al. LTI for Interoperating e-Assessment Tools with LMS //Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning. – Springer, Cham, 2016. – С. 173-181.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТОВ МСЭ-Т К СЛАЙСИНГУ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ 5G

Гайдамака А.А., Просвиров В.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе решается оптимизационная задача разделения ресурсов между слайсами на радиоинтерфейсе в сетях пятого поколения. Предлагается использовать методы машинного обучения (МО) для эффективного решения задачи оптимизации с учетом состава слайсов. Помимо этого, проводится анализ стандартов МСЭ-Т для машинного обучения сетей 5G и применяется для описанного частного случая. В заключении приведены результаты работы четырех алгоритмов машинного обучения и проведено их сравнение.

Введение

Слайсинг (англ. network slicing, нарезка сети) – это одна из ключевых парадигм сетей связи пятого поколения, при которой создаются логические сети с соответствующими ресурсами, их изоляцией и оптимизированной топологией с целью предоставления некоторой категории услуг (например, сценарий использования определенного вида трафика) [1]. Эффективная реализация слайсинга на радиоинтерфейсе требует комплексных алгоритмов оптимизации, характеризующихся высокой сложностью выполнения. Чтобы решить проблему быстрого разделения ресурсов между слайсами, мы предлагаем использовать методы машинного обучения. Хотя существует множество работ по применению машинного обучения в сетях связи пятого поколения, не многие работы задействовали подобные методы с учетом стандартов. В 2019 МСЭ-Т стандартизировал структуру сети для внедрения машинного обучения, указав соответствующую архитектуру и фреймворк для обработки данных [2-4]. В данной работе приводится вариант наложения предложенных методов на схему стандарта.

Для ускорения процесс разделения ресурсов в условиях быстрого изменения трафика, когда доли ресурсов должны быть пересчитаны за доли секунд, мы предлагаем и сравниваем несколько методов машинного обучения: линейную регрессию, полиномиальную регрессию и регрессию случайного леса (англ. random forest regression). Эффективность методов оценивается с помощью средней квадратичной ошибки. Наши результаты показывают, что полиномиальная регрессия высокого порядка обеспечивает необходимый баланс между вычислительной сложностью и точностью, превосходя как более простую линейную регрессию, так и более сложные алгоритмы случайного леса.

Интеграция машинного обучения в сети пятого и последующих поколений

В последнее время машинное обучение все чаще рассматривается в качестве реальной альтернативы традиционным методам оптимизации в различных областях науки, чаще всего в прикладных. Промышленность, транспорт, здравоохранение и многие другие области используют машинное обучение для решения широкого круга задач. Существует множество вариантов использования МО в сетях связи: автоматизация и оптимизация сети, обнаружение аномалий, прогнозирование сетевого трафика, корректировка оптимизации трафика и т. д. В контексте систем 5G МСЭ-Т недавно стандартизировал структуру для МО, указав соответствующую архитектуру и обработку данных [2-4].

Машинное обучение определено в [2] как процесс, который позволяет вычислительным системам анализировать данные и извлекать из них полезную информацию без обязательного явного программирования. Ожидается, что МО будет играть решающую роль на каждом уровне сети. Например, на прикладном уровне методы машинного обучения могут обеспечивать связь с малой задержкой за счет интеллектуального кэширования и прогнозирования содержимого. Что касается физического уровня и уровня MAC, МО может предсказать, как изменить рабочие параметры для достижения лучших результатов. Сетевое моделирование МО может помочь достичь доступности, улучшить управление сетевым подключением на основе данных и автоматизировать управление производительностью сети в соответствии с ключевыми показателями производительности.

На рис. 1 показана высокоуровневая архитектура для интеграции машинного обучения в телекоммуникационной сети, предложенная в рек. МСЭ-Т Y.3172 [2]. Его основными компонентами являются пайплайн, оркестратор функций машинного обучения (MOFO) и песочница.



Рис.1. Компоненты высокоуровневой архитектуры для интеграции МО

Пайплайн машинного обучения — это набор логических узлов с определенными функциями. Узлы объединяются в приложение МО. Исходный узел (SRC) предоставляет входные данные для пайплай-

на. Узел-сборщик (C) отвечает за сбор данных с одного или нескольких узлов-источников. Вся предварительная обработка данных, включая очистку и агрегацию данных, выполняется узлом препроцессора (PP). Один из ключевых узлов, узел модели (M), отвечает за выполнение выбранной модели машинного обучения. Выходные данные модели могут быть пересмотрены узлом политики (P), и к ним могут быть применены некоторые правила. После этого узел-распределитель (D) управляет выводом и доставляет его одному или нескольким узлам-приемникам (SINK). Узел приемника представляет собой цель вывода MO, где он выполняет действие.

Пайплайн MO может быть наложен на существующую сетевую инфраструктуру с его узлами, расположенными и связанными между собой на нескольких сетевых уровнях, например, АУ, сети доступа и базовой сети. Размещение функций MO определяется такими факторами, как спецификации приложений MO, их ограничения по задержке и доступности данных, а также ограничения производительности и ресурсов сетевых функций и уровней. Размещение и связывание узлов пайплайна машинного обучения контролируется MOFO, логическим узлом, который управляет узлами пайплайн машинного обучения и организует их. Входными данными для MOFO является intent MO, которое представляет собой декларативное описание, определяющее приложение MO. Основываясь на этой информации и условиях сети, MOFO может контролировать, упорядочивать и изменять узлы пайплайна [5]. Для реализации приложения MO MOFO, в координации с другими функциями управления и оркестровки, создает узлы пайплайна MO с определенными ролями (например, SRC, C, M) и связывает их с технологическими функциями базовой сети на основе их возможности и соответствующие требования приложения MO.

Песочница машинного обучения — это изолированный домен, используемый для обучения, тестирования и оценки пайплайнов машинного обучения перед их развертыванием в действующей сети. Пайплайны, размещенные здесь, являются отдельными, но данные могут поступать как из смоделированных, так и из реальных базовых сетей. Если в intent MO происходят какие-либо изменения или добавляются новые спецификации, MOFO обновляет узлы пайплайна в песочнице, чтобы они соответствовали обновленному сценарию.

Задача оптимизации

Мы предполагаем, что на базовой станции (БС) имеется S слайсов. Множество всех слайсов обозначается $\mathcal{S}$, $|\mathcal{S}| = S$. Пусть $C_S \geq 0$ обозначает емкость слайса $s \in \mathcal{S}$. Мы предполагаем, что каждый слайс отвечает за один тип услуг (например, потоковое видео, видеоконференции, игры). Таким образом, трафик в каждом срезе является однородным. Учитывая, что C - это общая емкость БС, емкости слайсов таковы, что $\sum_{s\in\mathcal{S}} C_S \leq C$.

Пусть N_S обозначает количество пользователей в слайсе s, и пусть скорость передачи данных R_S, предоставляемая каждому пользователю в слайсе s, является результатом равномерного распределения ресурсов слайса, т.е.

$$R_S = C_S/N_S, s \in \mathcal{S} \quad (1)$$

Вектор, содержащий количество пользователей во всех слайсах, обозначается $\mathbf{N} = (N_S)_{s\in\mathcal{S}}$. Вектор, содержащий информацию о скоростях передачи данных $\mathbf{R} = (R_S)_{s\in\mathcal{S}}$.

Кроме того, мы предлагаем два предопределенных порога для удовлетворения требований SLA между InP и арендатором слайса: R_S^{min} и R_S^{max}. До тех пор, пока количество пользователей в слайсе не превышает установленное число N_S^{cont}, т.е. для $N_S \leq N_S^{cont}$, скорость передачи данных не должна опускаться ниже предопределенного порога, $0 < R_S^{min} \leq R_S$. Порог R_S^{min} соответствует минимальной требуемой скорости передачи данных для удовлетворения требований QoS, предоставляемой в слайсе s. Обслуживание считается ненадлежащим, если скорость передачи данных ниже этого значения. В любом случае мы предполагаем, что R_S^{min} согласован между провайдером и арендатором слайса. Введем также вектор $\mathbf{N}^{cont} = (N_s^{cont})_{s\in\mathcal{S}}$.

Второй порог, R_s^{max}, представляет собой максимальную скорость пользовательских данных для слайса, $R_S < R_S^{max} \leq C$, определяемую услугой, предоставляемой в слайсе. Это соответствует такому значению, при котором выделение более высокой скорости передачи данных не приведет к увеличению QoS для пользователя. Значение R_S^{max} согласовывается между провайдером и арендатором слайса. Пусть $\mathbf{R}^{min} = (R_s^{min})_{s\in\mathcal{S}}$, $\mathbf{R}^{max} = (R_s^{max})_{s\in\mathcal{S}}$ - векторы-столбцы.

Перейдём к формулировке задачи оптимизации. Нас интересует диапазон спроса, в котором ресурсов достаточно для предоставления пользователям минимальных скоростей передачи данных, но недостаточно для предоставления всем максимальных скоростей передачи данных. Это соответствует векторам $\mathrm{N} \in \mathbb{N}^S$ таким, что

$$\mathbf{NR}^{min} \leq C \leq \mathbf{NR}^{max} \quad (2)$$

Для такого N — распределение ресурсов, которое (i) обеспечивает максимальную и минимальную справедливость для пользователей с учетом приоритетов сегментов с точки зрения того, превышено ли контрактное количество пользователей и насколько, (ii) удовлетворяет ограничениям минимальной и максимальной скорости передачи данных, и (iii) использует все доступное количество ресурсов, может быть найдено как решение проблемы

$$maximize\ U(\mathbf{R}) = \sum_{s\in\mathcal{S}} W_S(N_S)N_S\ln(R_S)$$
$$\text{subject to } \mathbf{NR} = C \quad (3)$$

$$\text{over } R \in \mathbb{R}^S : R_s^{min} \le R_S \le R_S^{max}$$

Пусть весовая функция имеет вид

$$W_S(N_S) = \begin{cases} 1, N_S \le N_s^{cont} \\ \dfrac{N_s^{cont}}{N_S}, N_S > N_s^{cont} \end{cases}$$

тем самым обеспечивая максимальное и минимальное справедливое распределение ресурсов пользователям, пока их количество в соответствующих слайсах не превышает количество, оговоренное по контракту.

Численные результаты

Набор данных состоит из 1000 строк, из которых 700 выделена на обучение модели и 300 на тест. Каждое $N_s^{(i)}, s \in \mathcal{S}$, выбиралось из равномерного распределения на $\left[0, \left\lfloor C/R_s^{min} \right\rfloor\right]$, после чего векторы популяции $\mathbf{N}^{(i)}$ проходили проверку (2).

Для реализации регрессора RF мы использовали функцию RandomForestRegressor из библиотеки scikit-learn [6]. Методы машинного обучения сравнивались с точки зрения среднеквадратическй ошибки по набору тестовых данных. Напоминая о необходимости простых, но эффективных алгоритмов, мы начнем нашу численную оценку с представления результатов для регрессионных моделей на рис. 2 и 3, где представлены линейная и полиномиальные регрессии разного порядка. Анализируя представленный результат, можно заметить, что модель линейной регрессии характеризуется наихудшим приближением для всех рассмотренных диапазонов пользователей в срезах.

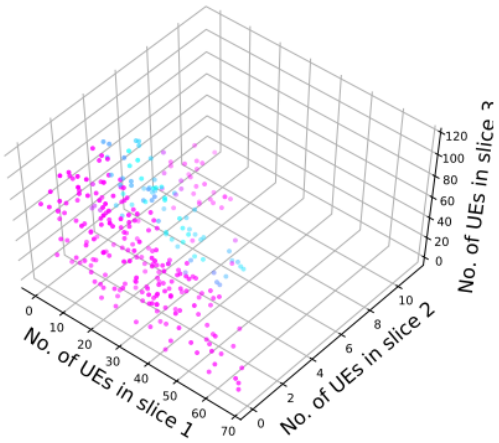


Рис.2. Результаты алгоритма линейной регрессии

Качественно аналогичную аппроксимацию дает полиномиальная регрессия низкого порядка, для порядка 2. Однако, увеличивая порядок регрессии, мы можем наблюдать значительные улучшения с точки зрения точности. Обратите внимание, что вычислительная сложность полиномиальной регрессии не сильно зависит от ее порядка, а лежащие в ее основе алгоритмы относительно легкие, особенно по сравнению с точным решением. Таким образом, полиномиальные регрессии высоких порядков можно рассматривать как потенциальных кандидатов для практической реализации.

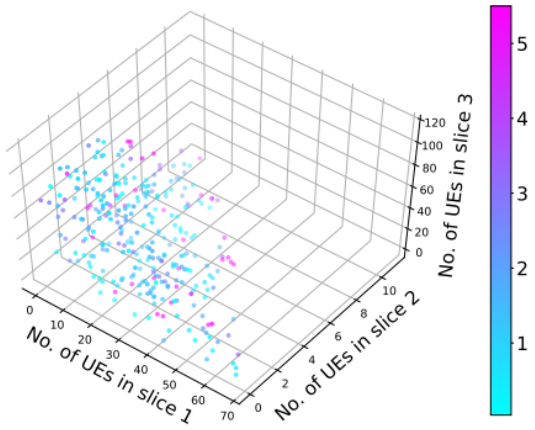


Рис.3. Результаты алгоритма полиномиальной регрессии

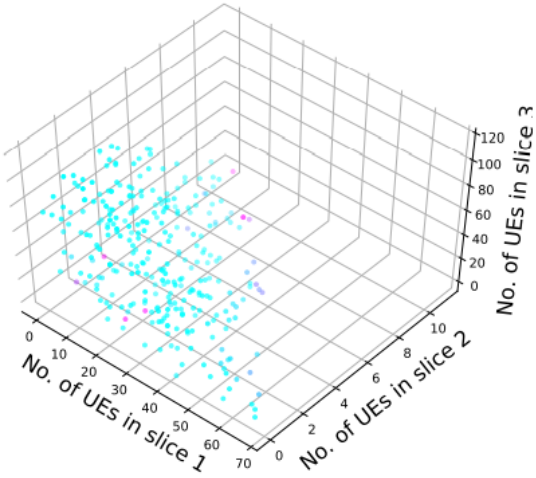


Рис.4. Результаты алгоритмов случайного леса

Теперь сравним результаты полиномиальной регрессии высокого порядка с результатами более продвинутых алгоритмов, например, RF. Для этого на рис. 4 показана производительность алгоритма RF. Сравнивая представленные результаты, можно заметить, что RF обеспечивает точность, сравнимую с алгоритмом полиномиальной регрессии высокого порядка. В целом, наши результаты означают, что для рассматриваемых условий полиномиальная регрессия может обеспечить компромисс между вычислительной сложностью и точностью.

Заключение

Использование слайсинга сети для системы 5G требует решения сложных оптимизационных задач, которые пытаются одновременно обеспечить изоляцию производительности и справедливость разделения ресурсов между слайсами. В данной работе мы реализовали и протестировали несколько приближенных решений на основе алгоритмов МО. Стремясь найти баланс между вычислительной сложностью и точностью, мы протестировали следующие алгоритмы: линейная регрессия, полиномиальная

регрессия различных порядков, регрессор случайного леса. Наши результаты показывают, что полиномиальная регрессия высокого порядка обеспечивает желаемый баланс между вычислительной сложностью и точностью результатов. Производительность этого алгоритма сопоставима с показателями случайного леса и нейронной сети и значительно превосходит линейную регрессию.

Список литературы

1. 3GPP. Aspects; Management and orchestration; Concepts, use cases and requirements. 3GPP TS28.530 V.17.2.0. Rel.17, 2021. [Электронный ресурс]: 3GPP Portal. Режим доступа: https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3273
2. ITU-T Rec. Y.3172, “Architectural framework for machine learning in future networks including IMT-2020”, 2020.
3. ITU-T Rec. Y.3174, “Framework for data handling to enable machine learning in future networks including IMT-2020”, 2020.
4. ITU-T Rec. Y.3176, “Machine learning marketplace integration in future networks including IMT-2020” 2020.
5. Wilhelmi, M. Carrascosa, C. Cano, A. Jonsson, V. Ram, and B. Bellalta, “Usage of network simulators in machine-learning-assisted 5G/6G networks,” 2021.
6. F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg et al., “Scikit-learn: Machine learning in python,” the Journal of Machine Learning research, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАНИЧНЫХ УСТРОЙСТВ В СЕТИ IOT

Ильин А.Д.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии, МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Работа посвящена исследованию методов повышения энергетической эффективности граничных устройств в сети IoT. Рассмотрено электропотребление граничных устройств IoT. Предложен и верифицирован метод повышения энергетической эффективности оконечных IoT устройств.

Введение

Развитие популярности технологий интернета вещей (IoT) и их массовое внедрение, привело к экспоненциальному росту объема данных, генерируемых и передаваемых по беспроводным сетевым системам. Так согласно прогнозу в отчете [1] ожидается что трафик данных увеличится более чем в 100 раз с 2020 по 2030 год и достигнет примерно 163 зеттабайт в 2030 году. IoT – соединения (умные устройства, промышленное оборудование, станции сбора данных) должны превысить отметку в 30 миллиардов подключений к 2025 году согласно прогнозам работы [2].

Существенный рост объема передаваемых данных можно связать со стремительным развитием технического прогресса, появлением новых элементных баз, удешевлением компонентов. Стало возможным в качестве сенсоров использовать миниатюрные маломощные камеры, акустические датчики, гироскопы и другие устройства. Их отличительной чертой является быстрая генерация больших массивов данных. Если отправлять их без предварительной обработки, то пропускная способность существующих телекоммуникационных каналов рано или поздно достигнет своих пределов. Традиционная архитектура централизованной обработки данных, в которой собранная всеми устройствами IoT информация должна быть загружена в удаленный облачный центр, сталкивается с серьезными проблемами, начиная от безопасности до масштабируемости.

Возможным решением данной проблемы является изменение способа обработки данных в сети. Например, предварительная обработка данных до того, как они будут переданы в сеть, непосредственно на граничных устройствах сбора данных. Однако реализация граничных вычислений сопровождается многими проблемами, среди которых можно выделить ограниченную вычислительную мощность и большие энергозатраты на обработку и передачу данных.

Цель исследовательской работы является повышение энергетической эффективности граничных устройств в сети IoT с автономными источниками питания. Задачами исследовательской работы являются: обзор предметной области, анализ энергопотребления беспроводных устройств сенсорной сети IoT, разработка метода повышения энергетической эффективности граничных устройств в сети IoT, проведение экспериментальной верификации предлагаемого метода.

Архитектура IoT

Для лучшего понимания экосистемы IoT её следует разбить на слои. Так IoTWF (Internet of Things World Forum) в 2014 году представил свою многоуровневую модель IoT [3]. Модель поделена на семь уровней, где для каждого описаны задачи, решаемые на этом уровне, с целью обеспечить простоту и высокую масштабируемость системы. Предложенная модель изображена на рис. 1.

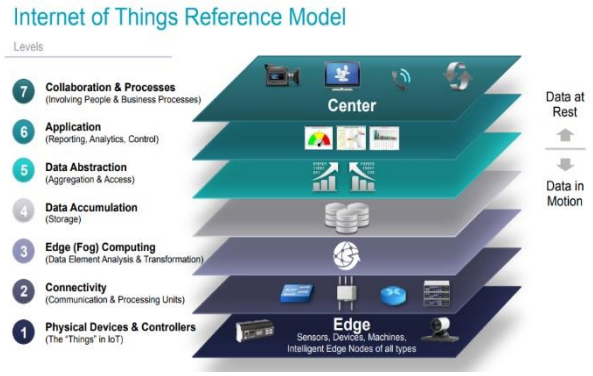


Рис.1. Архитектура IoT от IoTWF

На первом уровне располагаются физические устройства и контроллеры или, другими словами, оконечные устройства. Второй (сетевой уровень) отвечает за связь между устройствами первого уровня и передачу информации по сетям. Под третий уровень выделили первичную обработку информационных потоков. Согласно модели, скорость данных и их организация определяются самими сенсорными устройствами до четвертого уровня. На данных этапах могут применяться различные методы оптимизации и контроля потоков данных. Основной постулат эталонной модели IoT основывается на том, что наиболее интеллектуальная система начинает обработку информации как можно ближе к граничным устройствам сети. Это относят к туманным вычислениям. Однако обработка данных может происходить и на самих оконечных устройствах. Отправляя только результат вместо набора данных, можно заметно снизить использование радиоканала, отвечающего за «последнюю милю».

Децентрализации сетей IoT

Растущие требования к облачным платформам поднимают вопрос об использовании туманных и граничных вычислений. Так сети IoT в будущем будут все больше полагаться на децентрализацию. Это может происходить за счет переноса части функционала из облака в граничные элементы сети, которые могут, например, взять под контроль критические по времени задачи. Также выполнение обработки данных на самих граничных устройствах помогает решить проблему отправки на сервер «мусорных» данных. Подавляющее большинство существующих данных не структурированы [4]. К достоинствам туманных вычислений относят их время реакции и задержки. Предоставление базовой автономности. Однако сильное усложнение системы является существенным недостатком. Периферийные узлы также могут быть уязвимы для атак с целью кражи данных. Здесь граничные вычисления отличаются повышенной экономией трафика канала «последней мили» и могут быть полностью автономными при потере связи. К минусам относят дороговизну оборудования и сложность поддержки системы.

Таким образом, с целью повысить энергоэффективность оконечных устройств IoT было решено остановиться на граничных вычислениях.

Энергопотребление автономных устройств сенсорной сети

В общем виде IoT устройства работают по данной схеме: идет сбор данных датчиком, затем обрабатываются контроллером, после чего информация отсылается на сервер по беспроводной связи. Так необходимая энергия для работы может быть выражена уравнением 1.

$$E_{DEV} = E_{ACQ} + E_{PRC} + E_{NET} + E_{SYS} \quad (1)$$

Где $\mathbf{E_{ACQ}}$ – энергия, затраченная на сбор данных с датчиков, $\mathbf{E_{PRC}}$ – энергия затраченная на обработку данных, $\mathbf{E_{NET}}$ – энергия затраченная на передачу данных по каналу связи, $\mathbf{E_{SYS}}$ – энергия ушедшая на операционную систему и внутренние задачи микроконтроллера.

Энергия, затраченная на передачу сообщения, является основной статей расхода. На рис. 2. представлен типовой профиль энергопотребления оконечного устройства IoT.

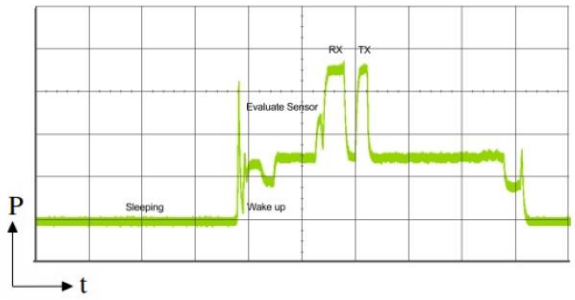


Рис.2. Типовой профиль энергопотребления

Исходя из этого можно сделать вывод, что изменение объёма данных для передачи или приема может существенно повлиять на итоговое энергопотребление IoT устройства.

Метод повышения энергоэффективности

Использование граничных вычислений, как способ справиться со стремительным ростом количества IoT устройств, связано с проблемами аппаратных ограничений вычислительных систем, применяемых в сенсорных устройствах. Однако с каждым годом микроконтроллеры становятся мощнее и экономичнее. Так в статье [5] авторы показали, что уже возможен перенос облегченных библиотек машинного обучения на сами граничные узлы, что позволит производить анализ данных в реальном времени.

К относительно простому и распространенному методу машинного обучения относят обучение с учителем, где прецедент рассматривается как пара «объект - ответ». Здесь могут решаться такие задачи как классификация, регрессия и прогнозирование. Выполняя расчеты на самом оконечном устройстве, мы повышаем его автономность, также уменьшение объема данных, отправляемого в облако, повысит уровень безопасности и конфиденциальности. Так как усложнит перехват данных.

В рамках исследования предлагается развернуть на оконечном устройстве IoT алгоритм машинного обучения поиска аномалий, позволяющая детектировать нестандартное поведение оборудования. Для

базового проекта предполагаемая стратегия обучения представлена на рис. 3. ниже.

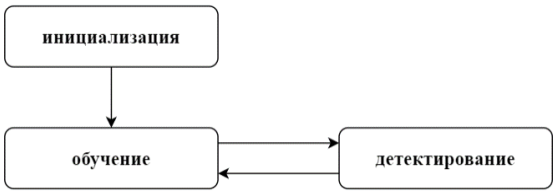


Рис.3. Стратегия обучения

Инициализации модели происходит на месте развертывания системы. Так модель запомнит типовые показания сенсоров, советующие нормальной работе устройства. Далее устройство уже готово к работе. При установке на двигатель вентиляционной системы, модель сможет распознать такие явления как перекрытие воздушного потока, биение оси и другие. Также возможно дообучение модели для запоминания работы оборудования в различных условиях. Оконечное устройство сможет отправлять в облако только итоговый отчет о состоянии оборудования.

Таким образом, применение методов машинного обучения на оконечных устройствах позволит увеличить надежность сенсорных систем, даст им автономность, а передача готового результата вместо сырых данных, сильно снизит использование радиоканала, что отразиться на итоговом энергопотреблении беспроводного оконечного устройства.

Эксперимент

В качестве типовой задачи был выбран сценарий мониторинга работы электродвигателя системы вентиляции. В рамках задачи по оценке предложенного метода повышения энергоэффективности IoT системы за счет интеграции методов машинного обучения, будут оценены итоговые энергозатраты вычислительной системы и модуля связи. Тестовый стенд состоит из микроконтроллера (MCU) STM32F401RE, акселерометра BMI160 и двух модулей связи: LoRaWAN (RYLR896) и Wi-Fi (RYWB116). Для упрощения эксперимента модули связи будут работать в близких к идеальным условиях. Расстояние передачи и отсутствие сильных источников помех, позволят не учитывать потери энергии, которые могли быть вызваны необходимостью повторно отправлять пакет данных, или излишним увеличением мощности радиопередатчика.

В рамках выбранного сценария выполняется периодический сбор данных с акселерометра 10 раз в час. По полученным результатам от модели формируется отчет, который будет отправлен в облако в конце дня. Так как объем данный небольшой, то возможно использовать для этого высоко энергоэффективный модуль связи LoRaWAN. Скорость передачи данных на уровне 20.5 kbps. В качестве альтернативы данные с датчика будут отправляться напрямую в облако, где на их основе будет делаться вывод. Однако из-за размера требуемой к передаче информации уже необходимо использовать Wi-Fi модуль связи. Скорость на стандарте 802.11g: 12–18 Mbps. Результаты испытания приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результат эксперимента

	Wi-Fi	**LoraWAN**
Размер пакета данных	2 Kbyte	30 bytes
Потребление тока системой связи при отправке данных	270 mA	43 mA
Среднее потребление	0.268 mA	0.00053898 mA
	Standard	**ML library**
Среднее потребление для MCU	0.05873 mA	0.10194 mA
Среднее суммарное потребление тока MCU и системы связи	0.32673 mA	0.10247898 mA
Время работы	204,04 days	650.5 days

Эксперимент показал, что предложенный метод увеличения энергоэффективности оконечного устройства IoT за счет интеграции метода машинного обучения и описанной стратегии сбора данных существенно снижает энергозатраты на сетевое взаимодействие (более чем на 90%). В это время затраты на работу вычислительной системы с развернутой библиотекой машинного обучения превзошли аналогичные без модели. Однако итоговое время работы устройства от аккумулятора в 2000mAH увеличилось более чем на год.

Таким образом итоговое потребление оконечного устройства с развернутым алгоритмом машинного обучения в 3 раза ниже. При отсутствии необходимости вести беспрерывный мониторинг в реальном времени состояния оборудования, данный метод позволит существенно увеличить продолжительность роботы граничных IoT устройств.

Заключение

В работе была исследована проблема повышения энергоэффективности граничных устройств в сети IoT. Рассмотрено электропотребление граничных устройств IoT. Предложен метод интеграции машинного обучения в граничные устройства позволяющий повысить максимальное количество подключенных устройств, через уменьшение трафика передаваемых данных. Обработка данных на самих оконечных устройствах повышает автономность системы и безопасность информации. Проведено тестирование предложенного метода, показавшее существенное увеличение продолжительности автономной работы оконечного устройства в описанном сценарии. Развитее вычислительных систем будет способствовать распространению машинного обучения на оконечные устройства IoT.

Список литературы

1. Alliance N. 5G white paper //Next generation mobile networks, white paper. – 2015. – Т. 1. – №. 2015.

2. State of the IoT 2020 [Электронный ресурс]. URL: https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-2020-12-billion-iot-connections-surpassing-non-iot-for-the-first-time/ (дата обращения: 2.03.2022)
3. IOTWF, 2014. “The Internet of Things Reference Model”. Internet of Things World Forum. 12 Apr. 2014 [Электронный ресурс]. URL: http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT_Reference_Model_White_Paper_June_4_2014.pdf (дата обращения: 2.03.2022)
4. The Internet of Everything: How the Network Unleashes the Benefits of Big Data [Электронный ресурс]. URL: https://alln-extcloud-storage.cisco.com/ciscoblogs/GITR-2014-Cisco-Chapter.pdf (дата обращения: 2.03.2022)
5. Varghese B. et al. Challenges and opportunities in edge computing //2016 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud). – IEEE, 2016. – С. 20-26.

АДАПТАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ DEVOPS ДЛЯ СЕРВИСОВ МИЭМ

Постников И.В.[1], Мелехина С.А.[2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
[1]департамент компьютерной инженерии,
[2]департамент прикладной математики
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается задача организации и унификации подхода к разработке веб сервисов с учетом особенностей информационной среды поддержки проектной деятельности МИЭМ.

Инструментом организации процесса разработки была выбрана методология DevOps, роль которой рассматривается в данной статье. Данная методология позволяет повысить эффективность и унифицировать процесс разработки ПО и предоставляет подходы для решения задач автоматического тестирования, сборки и развертывания.

Результатом применения методологии стал технологический базис, а именно сервисы Wiki и Zulip, которые служат примером для дальнейшей унификации разработки и поддержки сервисов цифровой среды института.

Введение

Среда поддержки проектной деятельности в МИЭМ состоит из сервисов имеющих различную архитектуру, разработанных разными командами с использованием различных языков программирования.

Различная архитектура приводит к наличию уникальных для каждого сервиса условий использования, а именно, сборки, развертывания, мониторинга. Также важной особенностью проектной среды МИЭМ является быстрая смена состава команд разработки. Студенты приходят на проект и в среднем работают на одном месте около года. Уникальные способы работы с сервисами и постоянно сменяющаяся команда приводят к усложнению процесса передачи разработанного ПО на дальнейшую поддержку и дальнейшую разработку другой команде.

Многие команды в процессе разработки не пишут документацию, так как находят архитектуру очевидной, и в совокупности с уникальным для них подходом к разработке это приводит к трудности понимания продукта сторонними лицами, например заказчиком, другой командой разработки или технической поддержкой.

Также нередки случаи слияния и разделения проектов. Проблема различной архитектуры сервисов приводит также к наличию уникальных способов сборки и развертывания. Данный факт усложняет процесс использования программного продукта.

Наряду вышеописанными трудностями есть необходимость обеспечить разрабатываемые сервисы долгосрочной поддержкой, возможностью обновлений, добавления нового функционала, новые версии продукта должны быть рабочими сразу после релиза, что обеспечивается за счет хорошего покрытия тестами и предварительного развертывания на тестовые сервера.

Также важной составляющей процесса разработки сервиса является интеграция его как с внутренними разработками МИЭМ, так и с внешними платформами. Примерами таких интегрированных сервисов являются Taiga, Wiki, Zulip. Задачи интеграции решаются написанием модулей, взаимодействующих со сторонними сервисами.

Таким образом возникает необходимость в ведении единого подхода к формированию как продукта в целом, так и отдельных его модулей. Данный подход должен обеспечить автоматизацию процессов развертывания и поддержки, обеспечить методику разделения обязанностей внутри команды для улучшения качества производимого продукта. При этом должна сохраниться связанность между разработкой и поддержкой штатной работы сервиса [1].

Предлагаемое решение

Основной идеей предлагаемого решения является объединение процессов разработки и развертывания в единую автоматизированную структуру [2]. Обобщенная концепция методологии представлена на рисунке 1.

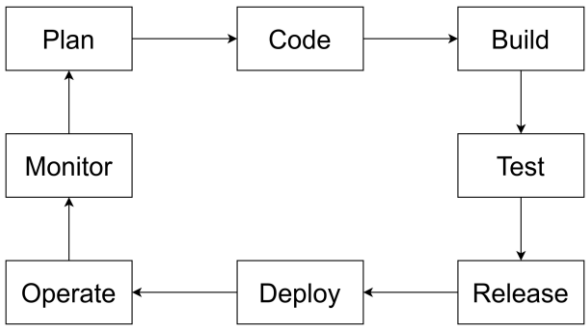


Рис.1. Диаграмма этапов методологии DevOps

Основой методологии является разделение процесса работы над продуктом на последовательность подпроцессов. Традиционно выделяются следующие ключевые элементы: написание кода, сборка и тестирование программного обеспечения как относящиеся к сфере разработки и развертывание, настройка, поддержка, мониторинг как относящиеся к сфере обеспечения функционирования. Каждый подпроцесс логически завершен и необходимым для инициации следующего подпроцесса. Основным элементом данного подхода является введение автоматизации как отдельных подпроцессов, так переходов между ними и всего процесса в целом.

В контексте обозначенной ранее проблемы - организации и унификации управления сервисами - методология DevOps дает следующие преимущества: повышение качества разрабатываемого ПО за счет более быстрого сбора информации об ошибках, снижение временных затрат на сборку и развертывание за счет полной автоматизации этих процессов, уменьшение времени реагирования на сбои за счет применения систем мониторинга и уведомлений [3].

Процесс унификации разработки сервиса с применением указанной методологии заключается в следующем: прежде всего весь сервис разбивается на отдельные компоненты, каждый из которых реализует определенную функциональность. Далее каждый компонент приводится к единому способу развертывания, чаще всего это Docker контейнер, так как сборка сборка и развертывание контейнеров происходят по стандартному сценарию. После этого происходит настройка CI/CD пайплайна для автоматизации часто повторяющихся действий, таких как например, тестирование, сборка и развертывание. Применение автоматизации позволяет сэкономить время разработчика, затрачиваемое на выполнение рутинных операций. Благодаря данному процессу уже были унифицированы сервисы Wiki, Zulip, несмотря на то, что они состоят из разнородных компонентов, таких как open-source движок, различные интеграционные скрипты и дополнительные веб-приложения.

Практическая реализация данной методологии невозможна без применения соответствующих программных инструментов. Краткий обзор основных инструментов, которые мы использовали для построения решения приведены в следующем разделе.

Инструменты реализации

Основным инструментом для реализации CI/CD в нашей разработке является GitLab. GitLab представляет собой хранилище Git-репозиториев, дополненный набором DevOps функций, главной из которых для нас является GitLab CI. Он позволяет запускать различные действия и скрипты, такие как линтер, ansible playbooks при совершении каких-либо действий в репозитории. Этот процесс непосредственно обеспечивает основную автоматизацию рамках методологии DevOps.

Следующим важным решением является средство виртуализации Docker. Он позволяет собирать приложения вместе с их зависимостями в небольшие переносимые среды, называемые контейнерами. Эти контейнеры затем могут быть скачаны на целевой сервер для развертывания. Сборка контейнеров производится автоматически с помощью механизма GitLab CI. В будущем планируется использовать среду оркестрации контейнеров Kubernetes для обеспечения балансировки нагрузки и повышения отказоустойчивости сервисов.

Еще одним немаловажным аспектом методологии DevOps является мониторинг. Для этой цели был выбран стек сервисов, состоящий из Grafana и Prometheus. Prometheus представляет систему сбора и хранения метрик, а Grafana - инструмент визуализации и управления оповещениями.

Пример использования методологии

Рассмотрим пример использования DevOps и CI/CD на практике. Пусть имеется некоторый интеграционный скрипт, который необходимо поддерживать в рамках работы над сервисами. Скрипт разрабатывается с использованием классического git flow[4] - каждая отдельная функциональность разрабатывается в отдельной ветке. Когда разработчик отправляет код в репозиторий, срабатывает специальный триггер и производится проверка кода линтером, запускаются юнит тесты и другие требуемые проверки. После этого он открывает Merge request и руководитель разработки, основываясь на результатах проверок принимает решение о слиянии кода. Через некоторое время, когда необходимо выполнить релиз, руководитель размещает метку (git tag), появление которой в репозитории запускает автоматический процесс проверки, компиляции и упаковки, такой как приведенный на рисунке 2.

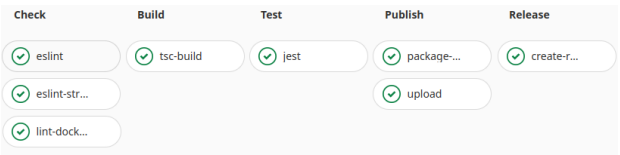


Рис.2. Пример CI/CD пайплайна

После того как все выполнено успешно, происходит развертывание микросервиса на тестовый сервер. Если в процессе работы микросервиса не было выявлено проблем, то он автоматически разворачивается на рабочий сервер.

Заключение

Таким образом, применение методологии DevOps позволит сформировать универсальный для всех сервисов подход к поддержке, развертыванию и дальнейшей эксплуатации. Благодаря этому решается сразу несколько задач: во-первых за счет автоматизации процессов разработчики экономят до 30% времени на выполнение повторяющихся действий и могут быстрее отслеживать ошибки и вносить исправления, а во-вторых за счет применения единых подходов упрощается поддержка сервисов (которая производится по единому сценарию) и взаимодействие с другими командами. Примером успешности применения методологии могут служить сервисы Wiki и Zulip, которые уже разрабатываются с применением описанного подхода.

Список литературы

1. Lwakatare L.E. et al DevOps in practice: A multiple case study of five companies // Information and Software Technology. Elsevier, 2019 - 114 т. - с. 217–230.

2. Luz W.P., Pinto G., Bonifácio R Adopting DevOps in the real world A theory, a model, and a case study // Journal of Systems and Software. Elsevier, 2019 - 157 т.

3. Meyer M. Continuous integration and its tools // IEEE Software. IEEE Computer Society, 2014 - 31 т - с. 14–16.

4. Gitflow Workflow - Atlassian Bitbucket. – 2021. – URL: https://www.atlassian.com/git/tutorials/comparing-workflows/gitflow-workflow (дата обращения: 05.03.2022). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный

АРХИТЕКТУРА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЧАТ-БОТА

Константинов А.С.[1], Войлов С.В.[2], Заякина А.М.[1]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]департамент компьютерной инженерии,
[2]департамент электронной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматриваются принципы, на основе которых создан чат-бот для сопровождения образовательного процесса студентов в условиях ограниченного набора компетенций разработчиков в области web программирования.

Введение

Грамотно спроектированный веб-сервис, учитывающий все ограничения и специфику разработки – ключ к быстрому достижению целей продукта, свободе и гибкости в модификации и расширении программы. Чат-боты используются для быстрого предоставления ответов на вопросы, услуг и сопровождения различных бизнес-процессов [1] на экране смартфона, который у каждого современного человека всегда под рукой, Соответственно, чат-боты используются и в области образования. Специфика предлагаемого решения заключается в необходимости создания и поддержки образовательного чат-бота, содержащего множество авторского контента (теория и задания) без разработки специального графического интерфейса для редактирования сценариев, но с возможностью изменения текста материалов для человека без компетенций в области программирования.

Требования, продиктованные различными местами применения (институт, авторские курсы), могут постоянно меняться, что необходимо учесть при проектировании.

Также в работе отражена тема выбора и предоставления преподавателю инструментов, позволяющих улучшить качество своих курсов.

Использование Google Sheets для редактирования уроков и оптимизация работы с данными

Во время обучающего процесса преподаватели постоянно совершенствуют свои курсы и исправляют ошибки. В связи с этим необходимо предоставить преподавателю или администратору курса инструмент для создания и редактирования материалов, не требующий специальных навыков для его использования. В результате исследования возможных решений в качестве такого инструмента был выбран онлайн редактор таблиц Google Sheets. Такой подход позволяет сократить время и ресурсы на разработку с сохранением гибкости использования, как если бы была реализована специализированная платформа для создания уроков.

Так как урок имеет определенную заранее структуру, то поведение чат-бота [2] можно свести к древовидной или, в частном случае, линейной структуре диалога, которую можно представить в табличном виде.

Авторам статьи удалось обобщить большинство структурных особенностей урока с точки зрения пользовательского опыта и качества подачи материала, чтобы уложить их в диалог с чат-ботом и хранить в виде таблиц.

Урок в табличной форме представляет собой последовательность сообщений для пользователя, Вместе с этими сообщениями могут быть размещены тесты, представляющие из себя вопросы с вариантами ответа или с открытым ответом, либо блоки теории, не требующие ответа собеседника для продолжения урока.

В итоговом решении Google Sheets используется только в качестве удобного инструмента редактирования уроков, так как для обеспечения быстродействия чат-бота, все материалы оттуда регулярно выгружаются в базу данных. Выгрузка необходима, по-

тому что обращение к API Google Sheets для получения каждого задания является долгой операцией, ожидание которой негативно отражается на использовании сервиса. Помимо существенной времязатратности данной операции, при превышении числа запросов к API, Google Sheets приостанавливает возможность отправки запросов на некоторое время, что также приведет к снижению лояльности пользователя.

Среда проведения урока

Изначально система уроков разрабатывалась в целях использования внутри МИЭМ НИУ ВШЭ. Она использовалась для создания уроков для студентов, преимущественно для их знакомства с цифровой средой института без введения дополнительных занятий в учебный план[3, с. 172]. Именно поэтому бот можно использовать в широко используемом в МИЭМ НИУ ВШЭ корпоративном чате Zulip. Вместе с развитием проекта у него появились внешние заказчики. В связи с чем появилась задача создавать уроки также для внешнего использования из чего возникла задача миграции бота в мессенджер Telegram. Для сохранения возможности проводить уроки на разных платформах для общения было реализовано следующее решение: формирование заданий, их оценка и другая обработка данных пользователя производится центральным сервисом, получившим название core, а логика чат-бота и особенности взаимодействия с пользователем на определенной платформе реализуются в отдельных сервисах. Такая структура позволяет при необходимости быстро подключить новый канал взаимодействия с пользователем (Zulip, Telegram, виджет на веб-сайте) без необходимости реализации с нуля полной логики чат-бота и оценки заданий.

Аналитика выполнения уроков для преподавателя

Для улучшения качества преподавания необходимо понимание, насколько хорошо студенты проходят конкретный курс, так как без обратной связи сложно увидеть проблемные места. В ходе исследования был проведен опрос преподавателей для выявления полезной статистической информации и форме ее представления. Исходя из этого опроса были выявлены самые полезные для целевой аудитории (преподавателей) метрики, позволяющие составлять объективную оценку прохождения курса учащимися.

По результатам прохождения урока каждым слушателем курса в таблицу Google Sheets загружается собираемая приложением статистика: идентификатор пользователя (почта, телефон, идентификатор в Telegram или уникальный номер, в зависимости от платформы прохождения урока), время прохождения урока и баллы, полученные за каждое задание. Дополнительно доступны также следующие встроенные возможности для аналитики:

- Вывод списка людей, итоговый балл которых ниже N;
- Вывод списка людей, итоговый балл которых выше N;
- Вывод списка людей, входящих верхние 10% по успеваемости;
- Вывод списка людей входящий в нижние 10% по успеваемости;
- Построение распределения баллов на курсе (в виде графика);
- Подсчет и вывод процента успешности выполнения каждого из заданий;
- Подсчет общего времени, затраченного на прохождение теста.

Все эти параметры позволяют оценить как индивидуальную успеваемость учащегося так и успешность курса в целом. Например, если распределение баллов выполнивших задания далеко от нормального распределения, то возможно, стоит обратить внимание на материал. Проанализировав данную информацию, преподаватель может вносить изменения в структуру и материалы урока для повышения усвояемости урока.

Заключение

Выбранные решения составляют важную часть описанной архитектуры, которая применяется для образовательных чат-ботов. Также будущее создание каких-либо дополнений системы может быть совершено с меньшими трудозатратами, а значит в более сжатые сроки. При использовании описанных архитектурных принципов результатом разработки является универсальный и масштабируемый образовательный чат-бот с возможностью добавления интерактивных и обычных уроков.

Список литературы

1. Матвеева Н.Ю., Золотарюк А.В. Технологии создания и применения чат-ботов // Научные записки молодых исследователей. – М. ФГоБУ «Финансовый университет при Правительстве РФ», 2018. – № 1. – С. 28-30.

2. Ураев Д. А. Классификация и методы создания чат-бот приложений // International scientific review - 2019. – № LXIV – С. 30-34..

3. Окулов С.А. Формирование системы управления образовательным процессом средствами информационных технологий // Успехи современной науки, 2017. – № 5. – С. 170–174

СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ НАЧАЛЬНЫМ НАВЫКАМ ОБЩЕНИЯ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Чернышёв А.К. [1]***, Зотова А.В.*** [2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]***департамент прикладной математики,***
[2]***департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ***

Аннотация

В этой работе представлена система обучения иностранных студентов начальным навыкам обще-

ния на русском языке. Система состоит из Android приложения и веб-интерфейса для заполнения данными мобильного приложения.

Введение

В современном мире знание иностранных языков играет ключевую роль. В настоящее время иностранные студенты, приехавшие в Россию для обучения в вузах, сталкиваются с трудностями общения и коммуникации с другими людьми. Данное мобильное приложение позволит иностранцам быстрее адаптироваться к жизни и учебе в России, помогая не только изучить новые слова, но и приобрести начальные навыки общения и чтения на русском языке [1]. Информационная система будет использоваться школой лингвистики Факультета гуманитарных наук НИУ ВШЭ для адаптации и интеграции иностранных студентов в учебный процесс. Во время выполнения уроков пользователь сможет познакомиться с новыми буквами, словами и фразами или потренироваться над произношением, а также пройти учебные упражнения для закрепления пройденного материала. Таким образом, иностранные студенты смогут в кратчайшие сроки получить начальные навыки общения на русском языке, что позволит им успешно освоить учебные дисциплины.

Исследование существующих аналогов и выявление путей реализации данной системы

В настоящее время на рынке представлено много аналогов: мобильные приложения, например, Duolingo [2] или Wlingua [3], пособия по изучению русского языка как иностранного [4] или другие цифровые образовательные ресурсы [5]. Несмотря на популярность существующих решений, при создании данного программного продукта был учтен ряд недостатков аналогов. К основным недостаткам можно отнести то, что нет информации о том, как составлялась учебная база данных в таких приложениях. При реализации информационной системы языковая основа была сформирована представителями школы лингвистики факультета гуманитарных наук НИУ ВШЭ. Учебные материалы и последовательность их предъявления соответствует современным представлениям об эффективной организации учебного процесса [5] и учитывает сложности, с которыми иностранные студенты сталкиваются при изучении русского языка [4].

Анализ методов разработки ПО

Можно выделить две основные части программного обеспечения:

1. Мобильное приложение для пользователей системы.
2. Веб-интерфейс – модуль, с помощью которого администраторы могут вносить данные уроков в мобильном приложении.

При реализации поставленной задачи были рассмотрены разные технологии и выбраны наиболее подходящие. Для backend-части был выбран python framework Django [6] – полнофункциональный серверный веб-фреймворк на языке программирования Python – в связке с библиотекой django-rest-framework. При создании frontend было принято решение использования React [7] в связи с высокой скоростью работы, доступностью повторного использования его компонентов в различных частях и универсальностью и возможностью применения с другими фреймворками. Для мобильного приложения была выбрана интегрированная среда разработки Android – Android Studio [8], а в качестве языка программирования – Kotlin. Данные хранятся в реляционной базе данных, которая работает под управлением СУБД PostgreSQL, которая была выбрана как одна из самых стабильных СУБД, подходящая для масштабируемых проектов. Хранилище медиа данных осуществляется посредством программного обеспечения MinIO [9]. Вся информационная система развернута на ubuntu сервере в закрытом контуре. Новые версии проекта автоматически развертываются на сервере с помощью программной системы Jenkins [10], которая является самым распространенным средством доставки кода. Для обеспечения бесперебойной работы информационной системы используется средство виртуализации docker [11]. Элементы системы сконфигурированы в docker-compose.yaml, что позволяет надежно и быстро обновлять версию проекта, а также добавлять новые микросервисы и модули.

Архитектура обучающей системы

На Рис.1 приведена архитектура системы обучения иностранных студентов.

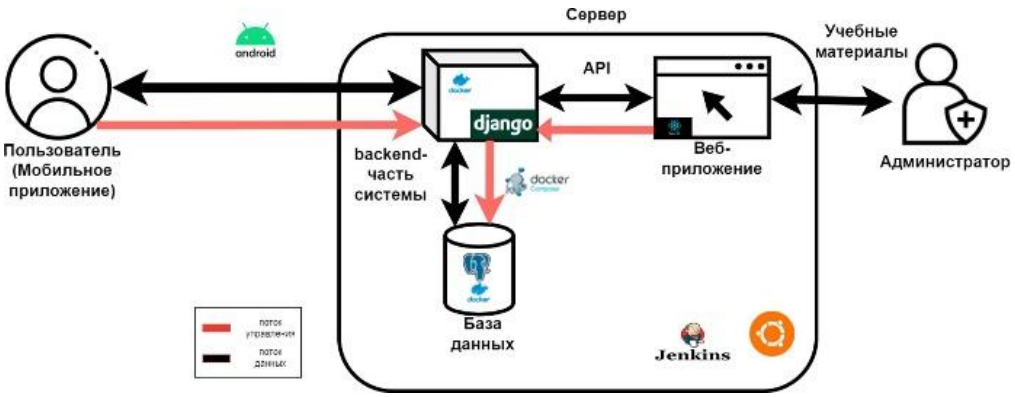


Рис.1. Архитектура системы обучения иностранных студентов начальным навыкам общения на русском языке

Мобильное приложение делает запросы к backend части системы для отображения данных пользователя или сохранения неконфиденциальных данных о пользователе. Администратор использует веб-интерфейс для наполнения данными мобильного приложения через специальные формы.

База данных обучающей системы

Одно из главных преимуществ данного программного продукта заключается в универсальности базы данных. На фрагменте ER-диаграммы (Рис.2) отражены основные элементы базы данных и связи между ними. Базовым элементом конструктора является лексема, которая может принадлежать одному из следующих типов: буква, слог, слово, фраза.



Рис.2. Фрагмент ER-диаграммы

Каждый элемент речи имеет уникальный набор атрибутов (тип, произношение, смысловое значение и т.п.) и может состоять из других элементов речи. Например, слово состоит из слогов, которые в свою очередь складываются из букв. Лексемы применяются в составлении упражнений, которые используются в каждом уроке. Каждый учебный элемент имеет один или несколько медиафайлов, которые могут быть видеороликами (для демонстрации учебных сюжетов), иллюстрацией лексемы, аудиофайлами (для прослушивания звуков и речи) и т. д. Интонационные конструкции демонстрируют правильное произношение реплики из диалога.

Разработанная база данных учитывает все возможные типы учебных элементов и их связей, что позволяет комбинировать различные компоненты упражнений для создания новых обучающих элементов [12]. Благодаря такой организации можно без участия программиста вводить новые учебные материалы, создавать новые уроки и задания.

Заключение

Таким образом, созданный программный комплекс является конструктором уроков, который не требует поддержки по стороны технических специалистов. Данная система будет использоваться школой лингвистики Факультета гуманитарных наук НИУ ВШЭ для адаптации и интеграции иностранных студентов в учебный процесс. При наличии пожеланий со стороны лингвистов или пользователей возможно добавление в систему нового функционала. Благодаря используемому стеку технологий, модульной архитектуре и универсальной структуре базы данных, развитие системы не будет вызывать сложностей.

Список литературы

1. Рубцова Е. В. Формирование коммуникационной и социокультурной компетенций с помощью мультимедийных пособий при обучении русскому языку как иностранному // Балтийский гуманитарный журнал. 2018. Т. 7. № 3(24). С. 288-292.
2. Бесплатная платформа для изучения языка и краудсорсинговых переводов Duolingo. [Электронный ресурс] – URL: https://ru.duolingo.com/ (дата обращения: 05.03.2022)
3. Полный курс английского языка на Android и iOS Wlingua. [Электронный ресурс] – URL: https://english.wlingua.com/ (дата обращения: 05.03.2022)
4. Дмитриева Д.Д. Виды упражнений для обучения устной речи на занятиях по русскому языку как иностранному (на начальном этапе обучения) // Карельский научный журнал. 2018. Т. 7. № 1(22). С. 29-33.
5. Ямалетдинова А.М., Медведева А.С. Современные информационные и коммуникационные технологии в учебном процессе // Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21. №4. С.1134-1141.
6. Свободный фреймворк для веб-приложений на языке Python Django [Электронный ресурс] - URL: https://www.djangoproject.com (дата обращения: 05.03.2022).
7. JavaScript-библиотека для создания пользовательских интерфейсов React [Электронный ресурс] - URL: https://ru.reactjs.org (дата обращения: 05.03.2022)
8. Интегрированная среда разработки для работы с платформой Android Android Studio. [Электронный ресурс] – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Android_Studio (дата обращения: 05.03.2022)
9. Высокопроизводительное объектное хранилище MinIO. [Электронный ресурс] – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/MinIO (дата обращения: 05.03.2022)
10. Программная система с открытым исходным кодом на Java Jenkins. [Электронный ресурс] – URL: https://www.jenkins.io/ (дата обращения: 05.03.2022)
11. Программное обеспечение для автоматизации развёртывания и управления приложениями в средах с поддержкой контейнеризации, контейнеризатор приложений Docker. [Электронный ресурс] – URL: https://www.docker.com/ (дата обращения: 05.03.2022)
12. Схема базы данных для системы обучения иностранных студентов начальным навыкам общения на русском языке. [Электронный ресурс] – URL: https://drive.google.com/file/d/1-0UrGqoga8DATHrA_ZB_CW6ZX1k4sNXF/view?usp=sharing (дата обращения: 05.03.2022).

ОНЛАЙН СЕРВИС С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПО УДАЛЕНИЮ И ЗАМЕНЕ ФОНА И ОБЪЕКТОВ НА СТАТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ РАЗЛИЧНОГО РАЗМЕРА

Лобанева А.А., Ляхова К.А., Усенкова М.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматривается создание веб-сервиса, который позволяет работать с фоном и объектами изображений различного размера. Разработка повышает быстродействие и точность работы с объектами, благодаря обученной нейросети. Веб-сервис позволяет всем пользователям быстро, эффективно и понятно удалить фон или добавить объект, не устанавливая приложение на компьютер.

Введение

В настоящее время интернет стал неотъемлемой частью жизни каждого человека. Веб-сервисы прочно вошли в нашу повседневность, ведь гораздо удобнее просто зайти на нужную страницу в браузере и получить желаемый результат, чем скачивать и устанавливать дополнительное ПО на свой компьютер, а затем обучаться работе с ним. Люди читают новости, общаются в чатах и получают фото и видеоконтент онлайн. С развитием социальных сетей, инструменты для редактирования фотографий стали играть важную роль.

Также в связи с развитием интернета люди разных профессий стали больше работать с визуальной информацией, часто требуется иллюстрировать добытые знания или использовать изображения, поэтому сервисы работы с фото с каждым годом набирают популярность. Несмотря на такую популярность сервисов для работы с фото, профессиональных и эффективно работающих не так много. Активно ведутся работы в направлении обработки изображений. Разрабатываются новые высокоточные нейронные сети, которые позволяют добиваться лучших результатов. Однако, существующие онлайн-сервисы не предоставляют возможности работать как с фоном, так и с объектами.

Требования к онлайн-сервисам растут, и необходимо использовать передовые технологии, что побуждает к внедрению интеллектуальных систем. В связи с отсутствием эффективно-работающих русскоязычных веб-приложений по обработке изображений, а также в связи с интересом исследователей к выбранной теме разработка имеет практическую и научную ценность. Чтобы доказать, что данная разработка действительно лучше существующих аналогов необходимо провести обзор аналогов.

Обзор аналогов

Изучение аналогов - важный этап в процессе разработки. Он позволяет определить общие тенденции и направления изучаемой сферы, интересы пользователей и аспекты их восприятия. Благодаря аналогам формируется общая база знаний, с помощью которой возможно разработать индивидуальный и конкурентоспособный проект.

В статье [1] рассматриваются различные методы подготовки изображения к поиску объекта, а также методы распознавания объекта. Основная часть статьи посвящена методу фильтрации и анализу его результатов, который происходит с помощью алгоритма контурного анализа и алгоритмов на нейронных сетях. Алгоритм контурного анализа позволяет описывать только объекты, которые представлены в виде внешний очертаний - контуров. Недостаток этого метода в том, что внутренние точки объекта не учитываются. Это ограничивает сферу применения контурного анализа. В качестве алгоритмов на нейронных сетях приведены алгоритмы Хаара и Гессе. Минус этих методов – также возможность использования в узких сферах (без использования искусственного интеллекта), только в сферах, где можно обойтись анализом изменения границ с различной яркостью.

В статьях [2] и [3] исследование основано на методах сегментации. Данные методы локализуют дефекты текстуры, резко отличающиеся от фона, но не образованные поворотом и изменением яркости текстуры, локализуют дефекты при разных углах поворота текстуры, однако, не учтено, что, если использовать методы сегментации, границы скорее всего будут недостаточно четкими и алгоритм будет долго работать.

В статье [4] описывается автоматическое извлечении границ объектов из поля Canny edge с целью индексации и поиска на основе содержимого в базах данных изображений и видеорекомендательная система используется для решения задачи оптимизации. Применяется многомасштабный подход, при котором каждый последующий масштаб обеспечивает дальнейшее упрощение изображения за счет удаления большего количества деталей, таких как текстура и шум, при сохранении основных краев. На каждом этапе упрощения края извлекаются из изображения и собираются в масштабную карту, из-за чего можно потерять в качестве выходного изображения, хоть результаты и показывают многообещающую производительность для выделения основных объектов. Основной недостаток метода - апробация метода на реальных данных и оценка эффективности подхода не проводились, значит не были выявлены все недоработки.

Статья [5] описывает применение сверточной нейронной сети, которые широко использовалась в различных визуальных задачах из-за ее мощной способности извлечения признаков. Однако, объединение высокоуровневых и низкоуровневых функций без обработки функций, приводит к размытию карты

значимости и даже к невозможности отличить передний план от фона в сложной среде.

В статье [6] поднимается проблема обнаружения движущихся объектов, которая важна во многих прикладных контекстах, таких как обнаружение и распознавание людей, визуальное наблюдение. В статье описано несколько алгоритмов, один из них касается процедуры фонового обновления: алгоритм обновляет каждую точку опорной модели, второй - алгоритм удаления теней: он основан на корреляции между областями, выбранными из эталонного изображения и текущего. Недостатком данных алгоритмов является сложность устранения артефактов, обнаруженных при внезапных изменениях освещения.

В статье [7] рассматривается вычитание фона как один из этапов предварительной обработки. Вычитание фона на статических изображениях не может выполняться таким же образом, как в динамических, поскольку нет разницы в кадрах. Недостаток в том, что данный метод - ручной, где требуемый фон выбирается вручную, и успех этого зависит от точности, с которой пользователь может выбрать область фона.

Для разработки веб-сервиса будут учтены недостатки различных подходов к решению задачи и предложенные методы по их улучшению. Дальнейшее исследование может быть построено на основе анализа полученных результатов. Предполагается, что можно будет двигаться в сторону ускорения работы сервиса, увеличения качества изображений на выходе, а также добавления совершенно нового функционала для работы с видео. Таким образом, цель работы: повышение эффективности работы с изображениями на этапах удаления и замены фона и объектов различного размера.

Методы

Для достижения поставленной цели становятся следующие задачи:

1. Разработка структуры веб-сервиса. Прежде чем приступать к разработке веб сервиса, необходимо разработать его структуру. Продумать дизайн. Также необходимо заранее сформировать представление о контенте и его расположении. Провести UI/UX (от англ. User Interface/User Experience «Пользовательский интерфейс/Опыт пользователя») тестирование.

2. Разработать внешний интерфейс. Необходимо описать основные объекты веб-сервиса в HTML-файле, подключить стили. Снабдить сервис работающими интерфейсами можно с помощью JavaScript. Для того, чтобы интерфейс был приятен для работы, нужно выбрать цветовую гамму сервиса. А также прежде, чем приступать к разработке, создать продуманный макет интерфейса.

3. Разработка структуры базы данных. Необходимо провести концептуальное проектирование БД. Преобразовать концептуальную модель в логическую. Затем выполнить нормализацию таблиц и представить структуру в виде схемы.

4. Интегрировать базу данных в онлайн-сервис. На выходе необходимо наличие структуры онлайн-сервиса и базы данных. База данных для сайта — это место на веб-сервере, где хранится контент веб-ресурса. Каждая база состоит из таблиц. В таблицах размещены записи — кортежи данных.

5. Разработать алгоритм для улучшения производительности нейросети для работы с объектами и фоном. Выполнение данной задачи позволит повысить быстродействие и точность нейросети. Для этого необходимо обеспечить точность обучения и тестирования нейросети. Каждая нейронная сеть должна иметь свой лучший набор гиперпараметров. Это приведет к максимальной точности.

6. Интегрировать разработанный алгоритм в онлайн-сервис. Данная задача требует объединения различных технологий. Это нейронные сети, веб-приложения и Python. Необходимо использовать сложные функции. Функции должны обрабатывать запросы из браузера и обслуживать контент в виде HTML-файлов.

7. Тестирование работы веб-сервиса. Тестированием веб-сервиса является проверка функциональности интерфейса. Можно протестировать веб-сервис вручную. Также можно создать свой собственный код автоматизации или использовать готовый инструмент автоматизации. Остается только выбрать самый оптимальный метод.

Для выполнения поставленных задач используются новые решения, методы, проводится анализ результатов и сравнение с существующими аналогами.

Стоит отметить, что в работе используются передовые технологии, такие как нейросети. Также языки программирования, современный дизайн и структура веб-сервиса. Произведено проектирование макетов интерфейсов с использованием инструмента Figma. Для реализации frontend используются HTML, CSS и JavaScript, что является стандартным набором технологий для веб-разработки. HTML отвечает за визуальное и смысловое структурирование контента на странице, стили отображения и цветовая гамма определяются в CSS файлах. Технологии языка JavaScript используются для написания внешних интерфейсов и backend частей сайтов. Он позволяет делать сложные вещи на веб-странице, например отобразить графики, обработать событие нажатия на кнопку. Все это помогает разработать современный веб-сервис, с нестандартным наполнением и функциональностью.

В данной разработке интерфейс не только функциональный, но и приятный для работы, цветовая гамма сервиса выбрана, опираясь на современные дизайнерские решения. Данный подход позволит привлечь пользователей. Также прежде, чем приступить к разработке, был создан продуманный макет интерфейса. Для хранения контента веб-приложения на веб-сервере размещается база данных. У онлайн-сервиса и базы данных должна быть четкая структура. Ее реализация достигается с помощью таких средств, как: язык программирования SQL, система

управления реляционными базами данных Postgresql, где осуществляется реализация базы данных.

Подтверждением актуальности разработки является использование алгоритма для улучшения производительности нейросети. Он позволит повысить быстродействие и точность работы как минимум на 20%. Для наилучшего результата необходимо обеспечить качественное обучение и тестирование нейросети. Каждая нейронная сеть должна иметь лучший набор параметров. Это приведет к максимальной точности.

Интегрировать разработанный алгоритм в онлайн-сервис планируется с использованием фреймворка Django. Он применяется для увеличения скорости разработки, содержит готовые методы и шаблоны для создания веб-приложений. Для проверки функциональности интерфейса необходимо провести UI/UX тестирование веб-сервиса.

Из вышесказанного следует актуальность направления работы: увеличивается объем информации, появляются новые профессии, связанные с визуальным контентом, развиваются социальные сети. Требования к онлайн-сервисам растут, и необходимо использовать передовые технологии, что побуждает к внедрению интеллектуальных систем. В связи с отсутствием эффективно-работающих русскоязычных веб-приложений по обработке изображений, а также интересе исследователей к выбранной теме разработка имеет практическую и научную ценность.

Ожидаемые результаты

Планируется разработать онлайн сервис с элементами искусственного интеллекта по удалению и замене фона и объектов на статических изображениях различного размера. Кроме того, повысить эффективность работы с изображениями на этапах удаления и замены фона и объектов как минимум на 20%. А также разместить веб-сервиса в Интернете, чтобы все могли использовать сайт для работы с фото.

Благодаря используемым методам сервис будет работать быстро и эффективно (рисунок 1).



Рис.1. Результат работы улучшенного алгоритма удаления фона с изображения

Применяемые технологии являются актуальными и прогрессивными, в этом можно убедиться, сравнив сервис с аналогами, а также в процессе тестирования сервиса. После реализации данного проекта, возможен поиск более оптимального решения. Это улучшение алгоритма для повышения производительности нейросетей, оптимизация работы базы данных и сервера.

Список литературы

1. Ноздрачев С. А., Живрин Я.Э. Распознавание объектов на двумерном изображении. // Весник МГУП имени Ивана Федорова. - 2015. - №6.

2. Баранов Р. П., Белоконь А. В., Фаворская М. Н. Определение и приоретизация признаков объектов на изображении в системах распознавания. // Актуальные проблемы авиации. Информационные технологии. - 2012. - с. 328-329.

3. Годунов А. И., Баланян С. Т., Егоров П.С. Сегментация изображения и распознавание объектов на основе технологии сверточнх нейронных сетей // НиКСС. 2021. №3. с. 62-72.

4. Kiranyaz S., Ferreira M., Gabbouj M. Automatic object extraction over multiscale edge field for multimedia retrieval. // IEEE Transactions on Image Processing. - 2006. - Vol. 15. - No 12. - p. 3759 -3772.

5. Zhang J., Shi Y., Zhang Q., Cui L., Chen Y., Yi Y. Attention guided contextual feature fusion network for salient object detection. // Image and Vision Computing. - 2022. - Vol. 117.

6. Spagnolo P., D'Orazio T., Leo M., Distante A., Advances in background updating and shadow removing for motion detection algorithms. // Lecture Notes in Computer Science. - 2005. - Vol. p. 398-406.

7. Sabnis, Manoj K., Kavita. Adaptive Background Subtraction Using Manual Approach for Static Images. // Algorithms for Intelligent Systems. - 2020. - p. 43-53.

Секция «Электроника»

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ РЕЖЕКТОРНЫЙ ФИЛЬТР

Балескин В.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматриваются программные и аппаратные режекторные фильтры, преимущества и недостатки различных реализаций, а также предлагается реализация программируемого режекторного фильтра для использования в рамках деятельности учебно-исследовательской лаборатории функциональной безопасности космических аппаратов и систем МИЭМ НИУ ВШЭ.

Введение

О проблеме электризации космических аппаратов и связанных с ней электростатических разрядах известно уже около 40 лет [1]. Для ее решения необходимо проводить исследование материалов, используемых в аппаратах, в частности – полимеров, на предмет их поведения под действием излучения. За время исследования темы было разработано оборудование и программное обеспечение для этой цели [1,2].

В процессе разработки и использования оборудования встает вопрос обработки измеренного сигнала. Ввиду высокой мощности, в сигнале присутствуют помехи. В случае оборудования учебно-исследовательской лаборатории функциональной безопасности космических аппаратов и систем, помехи, в основном, представлены на гармониках 50 Гц и кратных ей.

В данной работе приводится обзор существующих решений для устранения подобных помех, предлагается программно-аппаратное решение задачи.

Обзор литературы

Устранение внешних помех является одной из основных задач в проектировании измерительных приборов. В случае помех частоты 50Гц и кратных, основным их источником является сеть питания. В случае, если есть лишь одна основная частота помех, наиболее эффективным подходом к решению будет использование аппаратного режекторного фильтра. В случае наличия нескольких частот программные и программно-аппаратные методы показывают большую эффективность ввиду упрощения подстройки.

В основном, для частот сети питания, аппаратные режекторные фильтры представлены схемами первого и второго порядка, такими как представленные в работах [3–5]. Такие фильтры делятся на пассивные и активные. Различие между ними заключаются в наличии операционных усилителей, транзисторных схем и иных нелинейных элементов в активных фильтрах. Что касается фильтров более высоких порядков, в основном, они получаются комбинацией фильтров меньшего порядка, как показано в патенте [6]. Преимущества этих методов включают их аналоговую природу и высокие коэффициенты ослабления сигнала. С другой стороны, они не способны одновременно работать с несколькими разными частотами без использования одновременно нескольких разных фильтров, что влияет на качество выходного сигнала.

Что касается программных методов, они предлагают значительно больше вариативности и включают как программные режекторные фильтры, описанные в работах, таких как [7], так и иные методы: wavelet-преобразования [8] и empirical node decomposition [9]. Преимуществами таких моделей является простота обработки ввиду отсутствия аппаратной части и возможность легко подстроить как фильтруемые частоты, так и реализовать одновременную фильтрацию нескольких разных частот. Однако, цифровые методы обеспечивают меньшее подавление помех, по сравнению с аппаратными.

Предлагаемое решение

На данный момент при проведении экспериментов в рамках деятельности учебно-исследовательской лаборатории функциональной безопасности космических аппаратов и систем НИУ ВШЭ на выходе экспериментальной установки сигнал оказывается зашумлен, притом помехи состоят из гармоник 50Гц и кратных ей. В области больших значений сигнала помехи сравнительно незначимы, но в области малых (менее 0.1В) сигналов шумы делают анализ невозможным. Пример сигнала представлен на рис. 1.

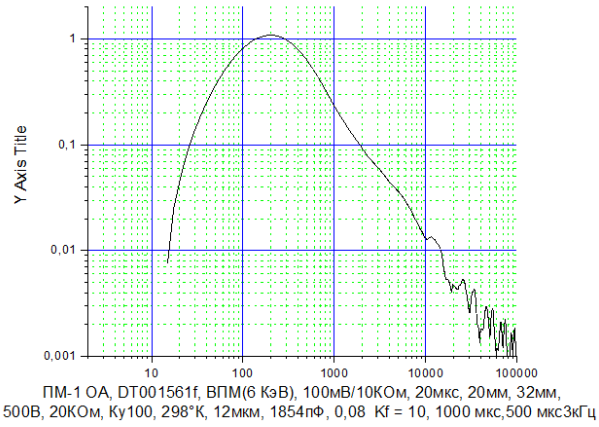


Рис.1. Пример зашумленного сигнала

Целью данной работы стала реализация решения, совмещающего аппаратный и программный подходы к режекторной фильтрации для подавления шумов подобного рода.

Поскольку шумы представлены на нескольких гармониках, одного фильтра оказывается недостаточно. Тем не менее, несколько последовательных аппаратных фильтров внесут чрезмерные изменения в сигнал. Поэтому было выбрано гибридное решение, состоящее из аппаратного фильтра основной частоты (50Гц) и нескольких программных фильтров.

Для аппаратной части была выбрана схема, представленная на рис. 2. И описанная в [4].

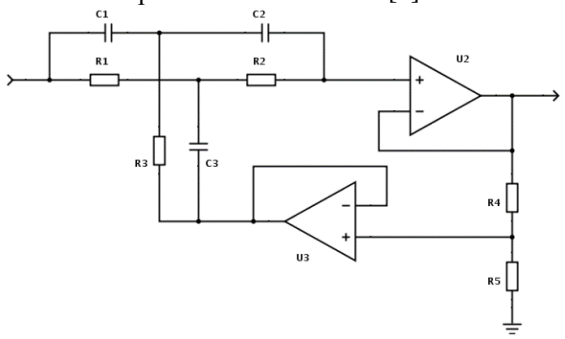


Рис.2. Схема фильтра

Такая схема позволяет обеспечить падение на основной частоте порядка 35-45 дБ, притом, изменением величин резисторов (для этого в схему внедряются подстроечные резисторы) можно регулировать как центральную частоту, так и добротность фильтра.

Для программной части была выбран фильтр, описанный в работе [10]. Однако, ввиду того что данный фильтр основан на нормализованных частотах (для получения нормализованной частоты, частота делится на частоту дискретизации), потребовалось внести некоторые модификации. В частности, в результатах измерений присутствует несколько частот дискретизации (обычно, первые несколько миллисекунд измерения производятся каждые 2.5 мкс, после чего измерения начинают производится реже). Для этого, вместо предварительного расчета констант фильтра, они рассчитываются заново.

Преимуществами такого фильтра являются простота и возможность регулировать все необходимые параметры. Однако, он обеспечивает подавление центральной частоты лишь в 12.5 дБ.

Что касается амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик таких фильтров (как программных, так и аппаратных), они представлены в общем виде на рис.3.

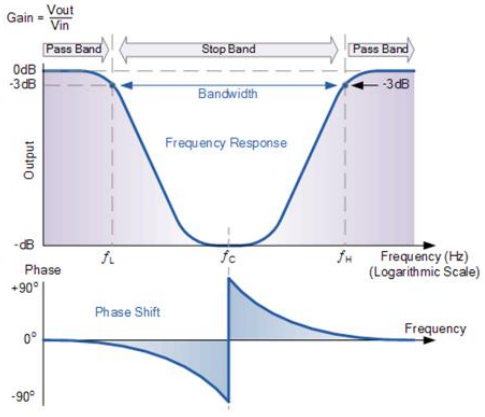


Рис.3. АЧХ и ФЧХ режекторных фильтров

Результатом работы фильтра является новый сигнал по типу представленного на рис. 4. После применения одного цифрового фильтра, в таком сигнале значительно меньше шума и проще оценить реальные значения. При этом стоит отметить, что одним фильтром шум полностью устранить не удалось.

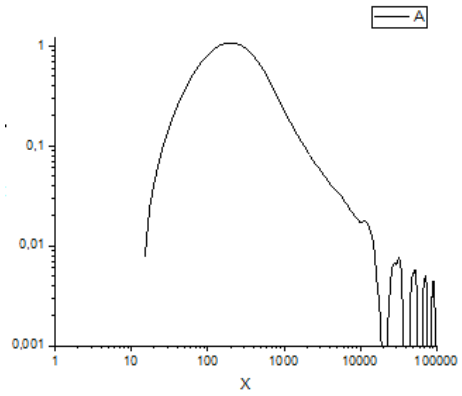


Рис.4. Сигнал после обработки одним фильтром

Заключение

Предложено программно-аппаратное решение на основе режекторных фильтров, позволяющее повысить соотношение сигнал-шум и чувствительность измерений за счет устранения помех на гармониках 50 Гц и кратных ей. Возможно использование при проведении экспериментов в рамках деятельности учебно-исследовательской лаборатории функциональной безопасности космических аппаратов и систем МИЭМ НИУ ВШЭ.

Список литературы

1. Tyutnev A. et al. Experimental and Theoretical Studies of Radiation-Induced Conductivity in Spacecraft Polymers // IEEE Transactions on Plasma Science. 2015. – Vol. 43. – No. 9. – P. 2915–2924.

2. Борисов Н.И., Востриков А.В. Разработка алгоритмов, основанных на редукции математических моделей электрических схем для расчета растекания токов по элементам конструкции космических аппаратов при электростатических разрядах // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2011. – Т. 14. – с. 142–153.

3. Белов Александр Викторович, Сергеев Тимофей Владимирович, Пуликов Дмитрий Георгиевич. Активный rc-режекторный фильтр с перестраиваемой величиной добротности // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2009. – Т. 1. – с. 37–42.

4. Active Twin - T - Notch Filter Calculator [Электронный ресурс]. URL: https://www.changpuak.ch/electronics/Active_Notch_Filter.php (дата обращения: 25.12.2021).

5. Op Amp Active Notch Filter Circuit [Электронный ресурс]. URL: https://www.electronics-notes.com/articles/analogue_circuits/operational-amplifier-op-amp/notch-filter-active-circuit.php (дата обращения: 18.02.2022).

6. Денисенко Дарья Юрьевна, Прокопенко Николай Николаевич, Иванов Юрий Иванович.

РЕЖЕКТОРНЫЙ ФИЛЬТР ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА. RU 2 760 930 C1.

7. Nikolić S., Stančić G. Design of IIR Notch Filter with Approximately Linear Phase // Circuits, Systems, and Signal Processing. 2012. – Vol. 3. – No. 6. – P. 2119–2131.

8. Gong J. A study on wavelet selection in power signal denoising // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. – Vol. 675. – No. 1. – P. 012104.

9. Nimunkar A.J., Tompkins W.J. EMD-based 60-Hz noise filtering of the ECG // 2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2007. – P. 1904–1907.

10. Linear phase Notch filter / Band reject filter implementation in C++ [Электронный ресурс]. URL: https://dsp.stackexchange.com/questions/11290/linear-phase-notch-filter-band-reject-filter-implementation-in-c (дата обращения: 18.02.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Воропаев Д.И., Евсеева Н.А., Тарасова А.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе исследуется точность расчетов тепловых режимов печатных узлов в различных программах теплового моделирования для повышения надежности разрабатываемых печатных узлов.

Введение

В современном мире печатные платы используются во всех электронных устройствах: бытовой технике, промышленном оборудовании, теле- и радиоаппаратуре, в самолетах и космических аппаратах. Все больше специалистов исследуют вопрос теплового моделирования печатных плат при различных условиях окружающей среды [1]. Тем самым, был неоднократно сделан вывод о том, что проектирование тепловых режимов печатных узлов путем теплового моделирования является одним из важнейших этапов для обеспечения наиболее устойчивой работы устройства [2]. Оно помогает всегда учитывать максимально возможный нагрев элементов и предотвращать выход устройства из строя.

Целью данной работы является расчет погрешности теплового моделирования программ АСОНИКА, SolidWorks и Fusion 360 при исследовании тепловых режимов печатных узлов.

К задачам, реализуемым в ходе выполнения работы, относятся: построение 3D модели выбранной схемы с последующим проведением моделирования в указанных выше программах, проведение испытаний в лаборатории и измерение температур на электронных компонентах платы. Ключевой задачей, приводящей к заданной цели, является сравнение полученных результатов теплового моделирования с результатами реальных испытаний.

Таким образом, обладая информацией о погрешностях работы различных программ, разработчики печатных узлов в будущем смогут более точно предсказать значения температур электронных компонентов и избежать возможных поломок и перегревов устройств.

Теоретический обзор видов теплообмена, учитываемых в работе

В процессе эксплуатации аппаратов электрорадиоэлементы (ЭРЭ) и узлы радиоэлектронныз средств (РЭС) выделяют тепловую энергию. Эта энергия рассеивается в окружающую среду, передается с одной части элемента к другой. Данный процесс может происходить темя способами, которые, как правило, существуют в совокупности и осуществляются одновременно. Изучая процессы переноса и рассеивания энергии, определяют тепловой режим устройства, тем самым вычисляя надежность функционирования.

Теплопроводность тела переносится в телах, где различается температура определённых участков. Она распределяется между участками с более высокой температурой и более низкой температурой благодаря энергетической связи при столкновении микрочастиц тела.

При конвекции тепло переносится в газообразных и жидких средах и далее с поверхностью твердых тел. Движения жидкости и газа разделяют на две категории: естественную и вынужденную. Естественная конвекция образуется посредством различия уровней плотностей между холодными и нагретыми слоями жидкости. В случае с вынужденной (принудительной) конвекции движения обусловлены взаимодействием с внешними силами (насос, вентилятор) [3].

Все нагретые тела излучают тепловую энергию в окружающее пространство в виде электромагнитных волн. Электромагнитное излучение способно распространяться практически во всех средах. Подобное явление, как правило, называют тепловым излучением [4].

Виртуальные и реальные испытания

Для получения более точных результатов исследования при моделировании необходимо подобрать программы, позволяющие задать теплофизические свойства элементов печатной платы. К наиболее важным учитываемым свойствам материалов и конструкций для теплового моделирования печатных узлов относятся: реальное значения коэффициента теплопроводности печатной платы, а также габаритные размеры элементов, позволяющие рассчитать площади, от которых исходит конвективный и лучистый теплообмен.

В данной работе используются для проведения теплового моделирования следующие системы автоматизированного проектирования: программы

SolidWorks, АСОНИКА и Fusion 360. Данные программы позволяют моделировать тепловые процессы в исследуемом объекте с получением температурного поля и температур всех элементов, располагающихся на печатной плате.

Автоматизированная система АСОНИКА предназначена для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий. Для выполнения поставленных задач была выбрана подсистема АСОНИКА-ТМ, позволяющая анализировать конструкции печатных узлов на тепловые и механические воздействия. На рис. 1 продемонстрирован результат теплового моделирования исследуемого печатного узла.

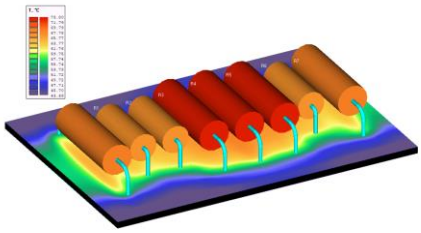


Рис.1. Тепловое моделирование исследуемого печатного узла в программе АСОНИКА

Программный комплекс Fusion 360 обладает широкими возможностям для применения как в качестве среды для разработки учебного проекта, так и для запуска крупного промышленного производства. Платформа имеет инструменты для моделирования и проектирования физических свойств поверхностей, а также функцию осуществления вычислений прямо из интерфейса программы. На рис. 2 представлен аналогичный печатный узел, смоделированный с использованием Fusion 360.

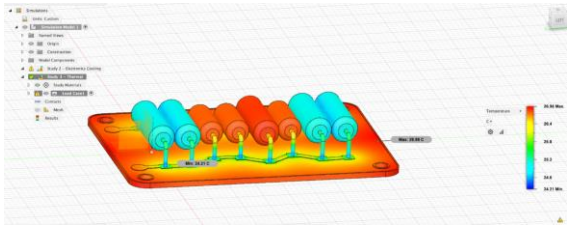


Рис.2. Тепловое моделирование исследуемого печатного узла в программе Fusion 360

Программный продукт SolidWorks позволяет производить тепловой расчет, а именно моделировать тепловые режимы электронных устройств, благодаря интегрированному модулю Flow Simulation. За счет наличия данной функции, появляется возможность проектировать геометрию и выполнять все необходимые расчеты и анализы одновременно, что значительно снижает вероятность возникновения ошибок импорта/экспорта геометрии через промежуточный формат данных. Построение модели печатной плате в программе SolidWorks находится в разработке.

Для проведения эксперимента в лаборатории и получения наиболее точных данных были выбраны цифровые измерители температуры DS18B20 (погрешность измерения 0,5 °C), позволяющие обмениваться температурными данными с микроконтроллером по однопроводной линии связи, используя протокол интерфейса 1-Wire. Особенности микросхемы DS18B20 позволяют передавать данные сразу с нескольких датчиков, распределенных на значительном расстоянии, что позволяет осуществлять мониторинг температуры в узлах оборудования.

Датчики крепились к каждому радиоэлементу теплопроводящим клеем Алсил. Для получения полных тепловых данных об окружающей среде устанавливались два дополнительных датчика для измерения температуры над печатной платой и под ней. Для снятия и анализа результатов измерения температур использовался преобразователь USB UART Board, позволяющий конвертировать полученную информацию в программу Термомониторинг.

Расчет погрешностей

Для оценки точности моделирования рассчитываются несколько видов погрешностей, такие как: погрешность в силу недостаточного учета внешних факторов, погрешность модели и погрешность, возникающая из-за статистической неоднородности вводных факторов.

В данной работе были учтены все аспекты моделирования, а также были проведены точные измерения габаритов элементов. Для расчета погрешности, возникающей в силу неоднородности входных факторов была использована следующая формула:

$$\delta X = \left(\frac{\Delta X}{X_{изм}}\right) \cdot 100\% = \left(\frac{\left|X_{мод} - X_{изм}\right|}{X_{изм}}\right) \cdot 100\%$$

По результатам моделирования печатной платы с элементами в программе АСОНИКА-ТМ были получены относительные погрешности теплового моделирования в пределах от 2.17% до 3.24%.

Заключение

Результатом данной работы будет являться сравнительный анализ степени нагревания элементов в реальном устройстве и в его математических моделях, а именно расчет погрешностей теплового анализа в программных комплексах SolidWorks, АСОНИКА и Fusion 360. Полученные данные позволят разработчикам предварительно на этапе эскизного и технического проектирования более точно предсказывать значения температур электронных компонентов и принимать обоснованные проектные решения для организации охлаждения устройств в случае необходимости.

Список литературы

1. Бирюлин Г.В., Егоров В.И., Муров С.Ю., «Расчет теплового режима электронных компонентов на печатной плате» [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/
raschet-teplovogo-rezhima-elektronnyh-komponentov-na-pechatnoy-plate/viewer (дата обращения: 02.02.2022).

2. Рыбаков И.М. «Алгоритм исследования теплового режима печатной платы» [Электронный ре-

сурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-issledovaniya-teplovogo-rezhima-pechatnoy-platy/ viewer (дата обращения: 20.12.2021).

3. Румянцев Б.М., Жуков А. Д., Смирнова Т. В. «Теплопроводность высокопористых материалов» URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ teploprovodnost-vysokoporistyh-materialov-1 (дата обращения: 07.11.2021).

4. Корепанова А. С. «Электромагнитное излучение, его воздействие на человека» URL: https://moluch.ru/archive/171/45612/ (дата обращения: 01.11.2021).

5. Гойденко В. К. «Комплексная тепловая модель программно-аппаратного комплекса связи» URL: https://inteltech.ru/datafiles/science_ext/%D0%A1%D1%82%D1%8071_%D0%93%D0%BE%D0%B9%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE.pdf (дата обращения: 23.12.2021).

ДИСТАНЦИОННЫЙ СТЕНД ДЛЯ АСИНХРОННОЙ РАБОТЫ С ОБОРУДОВАНИЕМ ЛАБОРАТОРИИ

Петухов Г.А., Лоренс А.С., Козлов А.В.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В настоящее время дистанционная форма обучения все более прочно закрепляет за собой статус более предпочтительной, в сравнении с очной формой обучения по причине большей доступности [1].

Цель данной работы – разработка системы для удаленной работы с оборудованием лаборатории. Данная система позволит выполнять лабораторные работы, или просто работать на платах ПЛИС удаленно в асинхронном формате. Таким образом, данная система позволит наиболее эффективно распределить имеющиеся в лаборатории САПР ресурсы, так как студенты, и прочие заинтересованные в работе с оборудованием ПЛИС люди, не будут создавать живую очередь в лаборатории и смогут получить доступ к платам в любое удобное для них время и из любого удобного для них места. При этом асинхронный формат позволяет ускорить процесс обучения, и делает его более удобным.

Существующее состояние проблемы

ПЛИС – электронный компонент (интегральная микросхема), используемый для создания конфигурируемых цифровых электронных схем. В отличие от обычных цифровых микросхем, логика работы ПЛИС не определяется при изготовлении, а задается посредством программирования (проектирования) [2].

Нами был произведен обзор литературы, в ходе которого было выделено множество статей, патентов и работ связанных с разработкой удаленных лабораторных стендов для работы с ПЛИС [3,4,5,6]. При этом нет ни одного решения, реализующего выполнение произвольных пользовательских прошивок на платах ПЛИС в асинхронном формате. Причинами такого явления выступают дороговизна плат ПЛИС, долгое развитие отрасли в целом, и в частности узкая специализация большей части удаленных лабораторий, направленная на выполнение определенных лабораторных работ, а не разработки прошивок конфигурации ПЛИС. Кроме того, в рамках исследовательских проектов, которые ведутся в лаборатории УЛ САПР МИЭМ по разработке и отладке сетей на кристалле [7], а также новых процессорных ядер, существует потребность в организации удаленного доступа к дорогим и высокопроизводительным платам ПЛИС, которые нельзя использовать вне лаборатории.

Недостатки и ограничения существующих разработок в области удаленных стендов для ПЛИС

К настоящему времени имеется хорошо сформулированный курс для изучения процесса моделирования на платах ПЛИС и изучения языка описания аппаратуры Verilog в целом. Имеется достаточное количество теоретических материалов по данной теме, и любой заинтересованный человек может изучить как работают основные конструкции языка Verilog, и даже собрать и скомпилировать проект в среде Quartus Prime. Но произвести процесс прототипирования на плате при ее фактическом отсутствии невозможно.

Из недостатков имеющихся сейчас разработок можно выделить локальность решаемых задач, и их косвенную связь с разработкой на платах ПЛИС. Реализованные на данный момент удаленные лаборатории в большинстве своем основаны на устаревающих технологиях. Как указано в работе [8], большая часть удаленных лабораторий содержат аналоговые модули расширения и поддерживаемых технологий, включая аналоговые и цифровые компоненты. Многие используют интерфейс LabVIEW и виртуальные сетевые вычисления (VNC), а также большая часть интерфейса удаленных лабораторий реализована в виде веб-приложения, использующего Java-апплеты или Adobe Flash. Использование технологий, время поддержки которых подходит или уже подошло к концу, лишает разработчиков возможности обновления своего решения без внесения существенных изменений в структуру разработки [9]. Система в свою очередь лишается мобильности и универсальности. В некоторых разработках работа платы ПЛИС симулируется программно, и при загрузке на нее прошивки пользователя, выдает предполагаемый сценарий работы. Но, проблема такого подхода заключается в том, что аппаратная часть ПЛИС, не всегда работает так, как ожидает пользователь, и в преодолении случайных аппаратных ошибок и заключается процесс обучения.

Предлагаемые решения

В настоящее время количество решений, связанных с реализацией удаленного доступа к платам ПЛИС растет с каждым годом. Появление большого количества новых проектов обусловлено в большей степени отсутствием возможности удаленного подключения к плате ПЛИС без использования дополнительного оборудования, так как данная возможность не заложена в оборудование такого типа изначально.

Стоит отметить, что одной из основных причин развития удаленных лабораторий на оборудовании ПЛИС является большая цена каждой отдельной платы, и растущий спрос на квалифицированных специалистов в данной области.

Наша разработка должна позволить студентам ВШЭ, а в потенциале, и студентам из других университетов просто и быстро отправлять свои прошивки, и получать результат их работы, без необходимости вживую работать с платой, или даже не работать с платой в режиме реального времени, при этом имея полный спектр возможностей и получая полноценный реальный результат запуска и работы прошивки на плате ПЛИС, без использования программной симуляции. Таким образом студенты смогут прототипировать свои проекты полностью удаленно и в асинхронном формате, за счет разработки программного комплекса, который без участия человека будет загружать на плату прошивку, и получать с нее результат, состоящий из видеозаписи отработанной платы, а также файл с логом работы, если вдруг возникли ошибки.

Для создания асинхронной удаленной лаборатории потребовалось выполнить пять задач:

1. Разработана программа на языке Python 3.8, которая при наступлении очереди выполнения конкретного проекта, выполняет его компиляцию, формирует файл прошивки, и загружает его на плату ПЛИС. После успешной прошивки происходит отправка управляющих воздействий с платы Arduino на плату ПЛИС через внешний интерфейс GPIO, и запись видео выполнения данного процесса. Для выполнения программы записи видео в параллельном процессе используется библиотека subprocess, а для отправки управляющих команд на плату Arduino библиотека pyserial.

2. Создана система с использованием базы данных MySql, программы позволяющей работать с этой базой данных в локальной сети для составления очереди подачи данных прошивок на компиляцию. Программа формирует очередь выполнения проверки проектов соответствии с временем поступления проекта на проверку, его приоритетом и количеством свободных в данный момент лабораторных стендов. При наличии свободного стенда проект направляется на компиляцию, при этом в системе статус стенда сменяется на «занят». Очередь составляется из примерного времени компиляции каждого проекта, а также за счет меток позволяющих определить, скомпилировался ли прошлый проект, или нет. После отработки прошивки, в файл с отчетом переносятся данные для отправки пользователю.

3. Разработан минимальный набор файлов отчетности, отправляемых пользователю на почту после завершения процесса обработки прошивки. В данный список файлов входят: 1) файл сценария пользователя, 2) файл отчета о компиляции проекта для платы ПЛИС, 3) файл отчета о прошивки платы ПЛИС, 4) видеозапись процесса обработки прошивки, 5) файл отчета об ошибках, 6) файл прошивки для платы ПЛИС. Такой набор данных является минимально необходимым для обеспечения удаленной асинхронной работы с оборудованием.

После формирования набора файлов отчетности, из них формируется архив в формате zip, который загружается на Google Drive, а также сохраняется в архив на удаленном стенде. После завершения процесса загрузки на Google Drive, в ответное письмо пользователю помещается ссылка на данный архив, содержащий набор файлов отчетности.

4. Разработан способ передачи информации пользователя на управляющий компьютер. Данная задача может быть решена большим количеством способов. Например, для этого может использоваться FTP-сервер. Такое решение было бы максимально устойчивым, но оно так же является довольно неудобным для пользователя. Исходя из этих соображений при реализации текущего проекта были использованы готовые сервисы экосистемы Google, такие как Google Sheets, Google Drive, Google Scripts, за счет использования данных с помощью открытого API. Так же передача файлов от пользователя в программно-аппаратный комплекс может осуществляться за счет отправки письма на почту с приложенным файлом. Данный канал передачи данных реализован с помощью протоколов SMTP и IMAP. За счет этого уже был доступен готовый веб-интерфейс, решены многие проблемы безопасности и снижено количество времени, необходимое на реализацию всего проекта. Пользователь может загружать свои данные с помощью одного из перечисленных выше сервисов, и получает в ответ сформированный отчет, состоящий из видеозаписи выполнения его прошивки на плате и лога командной строки среды Quartus, присылаемый на почту в виде приложенного файла или ссылки на Google Drive. Это позволяет пользователю намного проще работать с данным программно-аппаратным комплексом, так как ему не надо вникать в процесс работы с новым веб-интерфейсом.

Дополнительно были разработаны способы передачи данных с помощью сервисов экосистемы Yandex, которые выполняют те же функции.

5. Сформирована единая системы из всех, описанных выше модулей. Это реализовано за счет создания некоторого формализованного порядка действий, и внешней программы, следящей за правильностью исполнения последовательности действий программно-аппаратным комплексом. Данная программа выявляет, возникающие проблемы в ходе работы всего комплекса и устраняет эти проблемы. Например, процесс компиляции и загрузки на плату повторяется, если происходит сбой в работе среды разработки Quartus Prime или при проявлении прочих программных или аппаратных неисправностей

конкретного стенда. Это обеспечивает непрерывность и функционирования конвейера выполнения программ пользователей.

Выводы

Результатами разработки является программно-аппаратный комплекс, который способен обрабатывать прошивки студентов за время сравнимое со временем работы с платой в реальном времени. Так как в программно-аппаратном комплексе использованы open source решения, а также система разработана в формате модулей и функций, которые легко модифицируются по отдельности, данный комплекс может быть легко масштабируем и расширен за счет добавления лабораторных стендов.

Список литературы

1. Păduraru M.E., Mihăilă R.A. Comparative Analysis of E-Learning Platforms on The Market// 2018 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI). – 2018. – P. 1-4. – DOI: 10.1109/ECAI.2018.8679004.
2. Intel® FPGA и FPGA с интегрированной системой. – [сайт]. – URL: https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/products/details/fpga.html.
3. Angulo I. et al. Integral Remote laboratory for Programmable Logic // 2019 5th Experiment International Conference (exp.at'19). – 2019. – P. 253-255. – DOI:10.1109/EXPAT.2019.8876561.
4. Mayoz A. et al. FPGA remote laboratory: experience of a shared laboratory between UPNA and UNIFESP // 2020 XIV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEE). – 2020. – P. 1-8. – DOI: 10.1109/TAEE46915.2020.9163773.
5. Machidon O. et al. Implementing a remote laboratory on a chip // 2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME). – 2017. – P. 155-158. – DOI: 10.1109/SIITME.2017.8259880.
6. Schwandt A. et al. Make it Open - Improving Usability and Availability of an FPGA Remote Lab // 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). – 2019. – P. – 232-236. – DOI: 10.1109/EDUCON.2019.8725098.
7. Мячин Н.М. и др. Свободная от дедлоков маршрутизация в сетях на кристалле с циркулянтными топологиями // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2021 (МЭС-2021). – Вып. 3. – М.: ИППМ РАН, 2021. – С. 99-105. DOI: 10.31114/2078-7707-2021-3-99-105
8. Morgan F. et al. Enhancing learning of digital systems using a remote FPGA lab // 6th International Workshop on Reconfigurable Communication-Centric Systems-on-Chip (ReCoSoC). – 2011. – P. 1-8. – DOI: 10.1109/ReCoSoC.2011.5981525.
9. Orduña P. et al. Using LabVIEW remote panel in remote laboratories: Advantages and disadvantages // Proceedings of the 2012 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). – 2012. – P. – 1-7. – DOI: 10.1109/EDUCON.2012.6201134.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМ АНАЛИЗАТОРОМ КОМПОНЕНТОВ АММ3044

Бимухамбетова Д.Ю., Вдовенко П.П., Малькова А.С.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Работа посвящена разработке системы управления (ПО) на графическом языке программирования «G» в среде LabView для удаленной работы с цифровым анализатором компонентов Актаком AMM-3044. В работе рассмотрены методы и способы дистанционного подключения и управления измерительным оборудованием, изучен язык команд для диагностических и измерительных устройств, осуществлен обзор и анализ интерфейсов доступа, функциональных возможностей цифрового анализатора, программных интерфейсов российских аналогов.

Введение

В лабораторию метрологии и измерительных технологий ДЭИ МИЭМ НИУ ВШЭ закуплен прецизионный анализатор компонентов АКТАКОМ AMM-3044 (LCR-метр). AMM-3044 обладает высокой точностью измерений (0,05%) и широкой функциональностью, позволяет проводить измерения на 37 точках с тестовой частотой от 50 Гц до 200 кГц. Прибор имеет встроенный компаратор на 10 ячеек, возможность работы по списку и широкие возможности по подключению к ПК [1].

Разрабатываемое программное обеспечение позволяет управлять прибором в режиме консоли, имитирующей переднюю панель прибора, где управление производится кнопками, ползунками и выпадающими меню аналогично работе с прибором в автономном режиме. Также предусмотрен вывод отправляемых SCPI-команд в текстовом режиме. Управление измерительным устройством с помощью ПО полностью дублирует функциональные возможности управления через приборную панель устройства. Отличительной особенностью от ПО, поставляемого производителем прибора [2], является визуальная схожесть передней панели с панелью прибора (рис. 1).



Рис.1. Передняя панель Анализатора компонентов АММ-3044

Измеритель RLC (иммитанса)

В лаборатории Метрологии и измерительных технологий ДЭИ МИЭМ нет ПО для удаленного управления RLC-метром, что мешает проведению дистанционных лабораторных работ с анализатором компонентов АММ-3044. Целью работы было расширение возможностей используемого оборудования на практических занятиях по измерительным технологиям за счет управления RLC-метром с помощью удаленного рабочего стола компьютера в условиях дистанционного обучения, а также предоставление возможности ознакомиться с прибором, чтобы при последующих очных измерениях сократить время на изучение и исследование органов управления прибора студентами.

Цифровой анализатор компонентов, RLC-метр — это радиоизмерительный прибор, прецизионный измеритель параметров сопротивления, индуктивности и емкости (RLC-параметров, иммитанса) с полосой тестового сигнала переменного тока по частоте - от 50 Гц до 200 кГц. С помощью данного прибора можно получать данные о таких параметрах цепи как фазовый сдвиг, добротность катушки индуктивности, тангенс угла для потерь на конденсаторе, индуктивность, емкость, реактивная и активная составляющая и модуль адмиттанса или импенданса [3].

В зависимости от типа оборудования и модели самого прибора, диапазон рабочих частот может колебаться в верхней границе от 100 Гц до 1 МГц.

В схемотехнике, радиоэлектронике и приборостроении для проведения анализа работоспособности и параметров определенных схем или оборудования применяется измеритель иммитанса в качестве контрольно-измерительного прибора, способного с точностью до 5% получать данные о комплексном используемом в схеме сопротивлении [3].

Среда разработки

На сегодняшний день LabVIEW является одной из наиболее популярных сред разработки виртуальных приборов, позволяющей ученым и инженерам осуществлять взаимодействие с большим набором оборудования и программного обеспечения. Основной особенностью LabVIEW является то, что это среда графического визуального программирования, позволяющая с легкостью создавать пользовательский интерфейс прибора, реализовывать управление прибором, обработку и отображение данных [4].

Логика работы виртуального прибора определяется созданной графической блок-диаграммой (рис. 2), каждый узел которой соответствует выполнению какой-либо функции или процедуры. При этом представление программного кода в виде блок-диаграммы является интуитивно близким и понятным инженерам и ученым, привыкшим иметь дело с электронными схемами и т. п., а также позволяет осуществлять более гибкую и быструю разработку приложений [5].

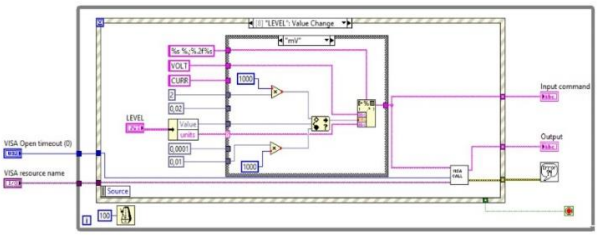


Рис.2. Фрагмент кода программного обеспечения

Прибор должен быть подключен к компьютеру с ОС Windows 7 и выше, имеющему 1 свободный порт USB.

Выводы

В результате работы изучены методы дистанционного подключения и управления измерительным оборудованием, изучен язык команд для диагностических и измерительных устройств, изучены возможности среды LabView, проведен сравнительный анализ существующих решений, обзор и анализ интерфейсов доступа, функциональных возможностей цифрового анализатора с последующим обоснованным выбором интерфейса подключения и управления (USBTMC) [6], разработано ПО на языке LabView , позволяющее в режиме реального времени осуществлять измерения и получать измерительную информацию с прибора.

Список литературы

1. АММ-3044 Анализатор компонентов [Электронный ресурс] – URL: https://www.aktakom.ru/kio/index.php?SECTION_ID=1046&ELEMENT_ID=11974952 (Дата обращения: 02.11.21)

2. Aktakom RLC Pro Программное обеспечение для RLC метров Актаком [Электронный ресурс] – URL: https://www.aktakom.ru/support/software/index.php?SECTION_ID=1341&ELEMENT_ID=4165076&sphrase_id=1036288 (Дата обращения: 30.10.21)

3. ГОСТ 25242-93. Измерители параметров иммитанса цифровые. Общие технические требования и методы испытаний. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1995

4. Контрольно-измерительные приборы и системы [Электронный ресурс] – URL: https://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=3074. (Дата обращения: 15.12.21)

5. Юрин А.И., Красивская М.И., Дмитриев А.В., Злодеев Г.Ю. Применение виртуальных лабораторных стендов в образовательном процессе // Информационные технологии. 2014. № 6. С. 70-72.

6. USBTMC – КИПиС [Электронный ресурс] - URL: https://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=43395 (Дата обращения: 26.01.21)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ФЕДЕРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ

Али А.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Федеративное усреднение (FEDAVG) стало предпочтительным алгоритмом для федеративного обучения из-за его простоты и низкой стоимости связи. Однако, несмотря на недавние исследовательские усилия, его эффективность до конца не изучена. Производительность FEDAVG нестабильна, когда данные неоднородны (не iid), что приводит к нестабильной и медленной конвергенции. В нашей работе мы предлагаем новый алгоритм, который использует переменные управления в локальных обновлениях клиента. Мы доказываем, что это требует значительно меньшего количества раундов связи и не зависит от неоднородности данных или выборки клиентов.

Введение

Федеративное обучение стало важной парадигмой в современном крупномасштабном машинном обучении. В отличие от традиционного централизованного обучения, где модели обучаются с использованием больших наборов данных, хранящихся на центральном сервере, в федеративном обучении обучающие данные остаются распределенными по большому количеству клиентов, которыми могут быть телефоны, сетевые датчики, больницы или альтернативные локальные источники информации [1, 2]. Централизованная модель (называемая серверной моделью) затем обучается без какой-либо передачи клиентских данных по сети, обеспечивая тем самым базовый уровень конфиденциальности [3, 4]. В этой работе мы предлагаем новый алгоритм стохастического управляемого усреднения, который пытается оптимизировать локальные обновления клиента. Интуитивно новый алгоритм оценивает направление обновления для серверной модели (c) и направление обновления для каждого клиентского ci. Разница (c - ci) затем представляет собой оценку смещения клиента, которая используется для исправления локального обновления. Эта стратегия успешно преодолевает неоднородность и сходится в значительно меньшем количестве раундов общения [5, 6].

Алгоритм FEDAVG

В этом разделе мы рассмотрим FEDAVG. Схема состоит из двух основных частей: локальных обновлений модели и агрегирования клиентских обновлений для обновления серверной модели. В каждом раунде равномерно отбирается подмножество клиентов. Каждый из этих клиентов копирует текущую модель сервера $w_i = x$ и выполняет K локальных обновлений [7, 8, 9].

Мы можем резюмировать FEDAVG следующим образом[10]:

Сервер выполняет:

Инициализировать w_0

for каждый раунд t=1, 2, 3,... **do**:

$m \leftarrow \max(C.K, 1)$

$S_t \leftarrow$ случайный набор из m клиентов

for каждый клиент $k \in S_t$ **in parallel do**

$\boldsymbol{w_{k+1}^t} =$ Обновление клиента(k, w_t)

$w_{t+1} \leftarrow \sum_{k=1}^{K} \frac{n_k}{n} w_{t+1}^k$

Обновление клиента (k, w_t):

$B \leftarrow$ разделить локальные данные на пакеты размером B

for каждая локальная эпоха i от 1 до E **do**

for эпоха $b \in B$ **do**

$w \leftarrow w - \nabla l(w; b)$

вернуть w на сервер

Новый подход

В этом разделе мы опишем новый подход и обсудим, как он повышает производительность для разнородных данных.

Новый подход состоит из трех основных этапов: локальные обновления клиентской модели, локальные обновления переменной клиентского элемента управления и агрегирование обновлений. Наряду с серверной моделью x, новый алгоритм поддерживает состояние для каждого клиента (параметр управления клиентом c_i) и для сервера (параметр управления сервером c). В каждом раунде обмена данными параметры сервера (x, c) передаются участвующим клиентам S ⊂ [N]. Каждый участвующий клиент i инициализирует свою локальную модель с помощью модели сервера. Затем он выполняет проход по своим локальным данным, выполняя K обновлений. Затем также обновляется локальная управляющая переменная c_i.

Мы можем обобщить новый алгоритм следующим образом:

входные данные сервера: начальные значения x и c и глобальный размер шага η_g

входные данные клиента i: c_i и локальный размер шага η_i

for каждый раунд r = 1, 2,…, R **do**

примеры клиентов $S \subseteq \{1, \ldots, N\}$

связь (x, c) со всеми клиентами $i \in S$

на клиенте $i \in S$ параллельно **do**

инициализировать локальную модель $y_i \leftarrow x$

for k=1,…, K **do**

компьютерный мини-пакетный градиент g_i

$$y_i \leftarrow y_i - \eta_i(g_i - c_i + c)$$

end for

связь $(\Delta y_i, \Delta c_i) \leftarrow (y_i - x,\ c_i)$

$c_i \leftarrow (i)g_i(x)$

конец на клиенте

$$(\Delta x, \Delta c) \leftarrow \frac{1}{S}\sum(\Delta y_i, \Delta c_i)$$

$$x \leftarrow x + \eta_g \Delta x \text{ и } c \leftarrow c + \frac{|S|}{N}\Delta c$$

end for

Эксперименты

Мы проводим эксперименты на смоделированных данных, чтобы подтвердить нашу теорию. Наши основные выводы заключаются в том, что i) новый подход последовательно превосходит SGD и FEDAVG по всем режимам параметров, и ii) преимущество локальных шагов зависит как от алгоритма, так и от сходства данных клиентов.

Смоделированные результаты

Результаты обобщены на рис. 1. Наши смоделированные данные имеют δ = 1 и β = 1. Значение FED замедляется по мере увеличения количества локальных шагов. Это объясняется тем фактом, что дрейф клиентов увеличивается по мере того, как мы увеличиваем количество локальных шагов, препятствуя прогрессу. Далее, по мере увеличения K, FEDAVG продолжает замедляться.

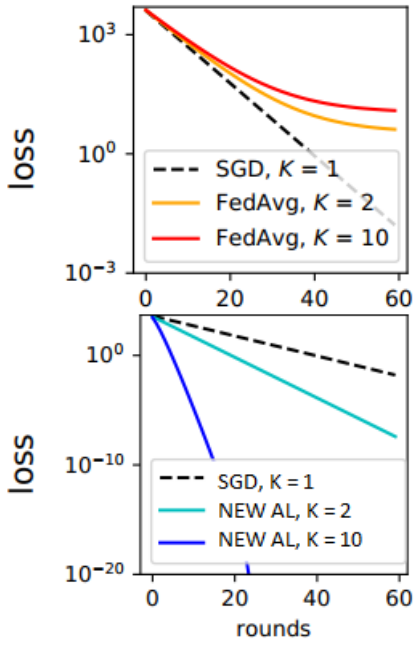


Рис. 1. SGD (пунктирный черный), FedAvg (вверху) и новый алгоритм (внизу) на смоделированных данных. FedAvg ухудшается по мере увеличения локальных шагов с K = 10 (красный) хуже, чем K = 2 (оранжевый)

Заключение

В нашей работе изучалось влияние неоднородности на производительность методов оптимизации для федеративного обучения.

Мы предложили новый стохастический алгоритм, который преодолевает градиентное различие. Мы продемонстрировали эффективность нового алгоритма. Кроме того, мы показали, что, хотя предлагаемый алгоритм всегда, по крайней мере, так же быстр, как SGD, он может быть намного быстрее. Таким образом, разные алгоритмы могут использовать преимущества разных понятий несходства. Мы считаем, что характеристика и выделение различных различий, присутствующих в данных реального мира, может привести к появлению новых алгоритмов и оказать значительное влияние на распределенное, федеративное и децентрализованное обучение.

Список литературы

1. Acar, D. A. E., Zhao, Y., Navarro, R. M., Mattina, M.,Whatmough, P. N., and Saligrama, V. Federated learning based on dynamic regularization. In International Conference on Learning Representations, 2021.

2. Agarwal, N., Suresh, A. T., Yu, F. X., Kumar, S., and McMahan, B. cpSGD: Communication-efficient and differentially-private distributed SGD. In Proceedings of NeurIPS**,** pp. 7575–7586, 2018.

3. Arjevani, Y. and Shamir, O. Communication complexity of distributed convex learning and optimization. **In** Advances in neural information processing systems**,** pp. 1756–1764, 2015.

4. Bassily, R., Smith, A., and Thakurta, A. Private empirical risk minimization: Efficient algorithms and

tight error bounds. In 2014 IEEE 55th Annual Symposium on Foundations of Computer Science**,** pp. 464**–**473. IEEE, 2014.

5. Basu, D., Data, D., Karakus, C., and Diggavi, S. Qsparselocal-SGD: Distributed SGD with quantization, sparsification, and local computations. arXiv preprint arXiv:1906.02367, 2019.

6. Bonawitz, K., Ivanov, V., Kreuter, B., Marcedone, A.,McMahan, H. B., Patel, S., Ramage, D., Segal, A., and Seth, K. Practical secure aggregation for privacypreserving machine learning. In Proceedings of the 2017 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, pp. 1175–1191. ACM, 2017.

7. Brisimi, T. S., Chen, R., Mela, T., Olshevsky, A., Paschalidis, I. C., and Shi, W. Federated learning of predictive models from federated electronic health records**.** International journal of medical informatics**,** 112:59–67, 2018.

8. Cen, S., Zhang, H., Chi, Y., Chen, W., and Liu, T.-Y.Convergence of distributed stochastic variance reduced methods without sampling extra data. arXiv preprint arXiv:1905.12648**, 2019.**

9. Chaudhuri, K., Monteleoni, C., and Sarwate, A. D. Differentially private empirical risk minimization. Journal of Machine Learning Research, 12(Mar):1069–1109, 2011.

10. Chen, M., Mathews, R., Ouyang, T., and Beaufays, F.Federated learning of out-of-vocabulary words. arXiv preprint arXiv:1903.10635, 2019a.

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА БАЗЕ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Ленву С.А.[1], Соболев С.В.[2], Ван Е.В.[3]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1,2]департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ,
[3]ООО «ПОЛИТЕХФОРМ-М»

Аннотация

В работе представлены результаты исследования возможности применения замедляющей системы в качестве первичного преобразователя в датчике для бесконтактного измерения линейных перемещений. Сама замедляющая система в устройстве выполнена в виде пары связанных спиральных катушек индуктивности.

Введение

Датчики для измерения линейных перемещений находят широкое применение в системах слежения и контроля, которые в свою очередь обеспечивают автоматизацию различных производственных процессов. В связи с этим все более актуальной становится задача улучшения характеристик измерительных устройств. Главным преимуществом датчиков на базе замедляющих систем является возможность их миниатюризации и, вместе с этим, возможность работы в широком диапазоне частот, что невозможно при использовании обычных катушек индуктивности [1].

Принцип работы устройства первичного преобразователя заключается в замедлении сигнала, проходящего через его структуру. При изменении расстояния до детектируемой поверхности величина задержки изменяется, что и используется в качестве первичной измерительной информации [2].

В данной работе представлена функциональная схема работы датчика, состоящая из первичного преобразователя, опорного генератора высокой частоты, измерителя разности фаз и интегратора [3].

Замедляющие системы

Использование обычных катушек индуктивности в качестве бесконтактных первичных преобразователей возможно двумя способами. В первом случае эти элементы являются частью колебательного контура генератора, а во втором – они используются в качестве вторичной (измерительной) трансформаторной обмотки [4].

Спиральные катушки индуктивности характеризуются последовательным сопротивлением, последовательной емкостью и индуктивностью [5,6,7]. Величина фазового сдвига проходящего через замедляющую систему сигнала определяется следующим выражением (1):

$$\boldsymbol{\psi = \pi + \frac{\pi^2 d_{\text{ср}}}{\lambda}}, \qquad (1)$$

где $d_{\text{ср}}$ – средний диаметр витка, λ – длина волны сигнала. Включение плоских катушек индуктивности в измерительные каскады аналогично обычным катушкам нецелесообразно, по причине того, что у данных элементов в зависимости от их геометрических характеристик может быть несколько резонансных частот, между которыми может происходить случайный переход [1,2]. Если включить замедляющую систему в колебательный контур генератора, то в процессе измерений частота колебаний генератора может скачкообразно измениться, перейдя на другую резонансную частоту. В связи с этим выходная характеристика датчика становится непредсказуемой и неоднозначной.

В датчике, разрабатываемом в рамках данной работы, замедляющая система включается последовательно с генератором. Это позволяет зафиксировать частоту сигнала, проходящего через замедляющую систему, и исключить возможность случайного перехода между ее резонансами. Частота генератора выбирается такой, чтобы глубина проникновения поля в проводник была много меньше толщины контролируемой поверхности [1].

Сигнал с генератора, проходя через спиральную катушку индуктивности, возбуждает в ней замедленную электромагнитную волну с магнитным полем, смещенным в область между плоскостью катушки и детектируемой поверхностью. В результате этого между сигналом на входе замедляющей системы и сигналом на ее выходе образуется разность фаз, величина которой используется в качестве первичной

измерительной информации. В рамках данной работы была исследована зависимость изменения разности фаз от изменения расстояния до детектируемой поверхности. Для выполнения этой задачи была разработана опытная макетная плата, включающая в себя генератор и спиральную замедляющую систему. Сама система состоит из двух связанных круглых спиралей с противоположным направлением намотки. Спирали выполнены на противоположных сторонах стеклотекстолита марки FR4 и соединены друг с другом в центре через переходное отверстие. Свободный конец первой спирали является входным выводом замедляющей системы, свободный конец второй спирали – выходным выводом замедляющей системы. Макет экспериментальной установки изображен на рисунке 1.

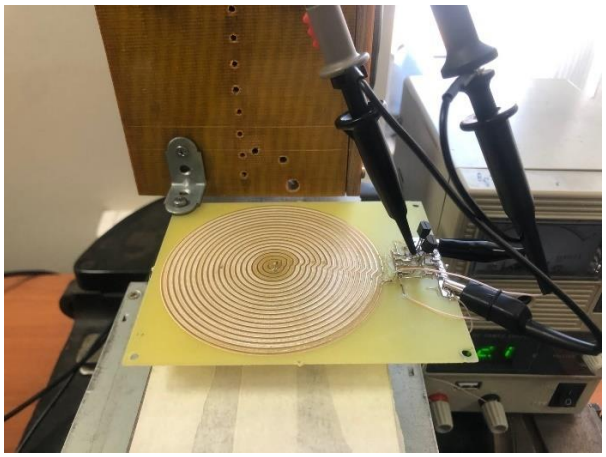


Рис.1. Опытный макет

С помощью данного макета была получена экспериментальная зависимость разности фаз от расстояния до детектируемой поверхности. График этой зависимости представлен на рисунке 2.

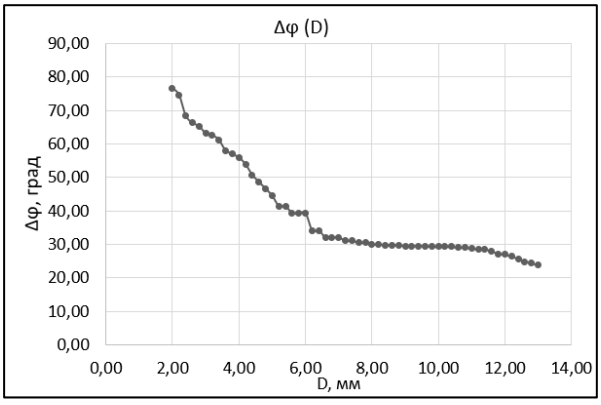


Рис.2. График зависимости разности фаз от расстояния

Частота опорного генератора была настроена на 7,2 МГц, следовательно, период колебаний равен приблизительно 139 нс. При изменении величины зазора от 13 мм до 2 мм разность фаз увеличилась с 23,8º до 76,6º. В долях периода генерируемого сигнала эти величины составляют 6,6% и 21,2% соответственно, что говорит о хорошей чувствительности датчика на измеренных расстояниях.

Функциональная схема датчика

Датчик состоит из следующих функциональных узлов: опорного генератора высокой частоты, замедляющей системы, измерителя разности фаз и интегратора. На рисунке 3 изображена его схема.

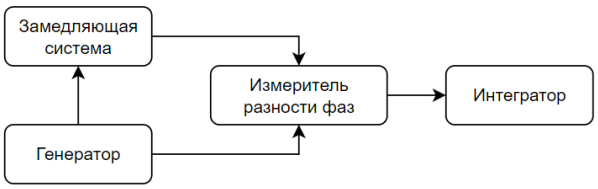


Рис.3. Функциональная схема датчика

Сигнал фиксированной частоты поступает с выхода генератора на вход замедляющей системы и на один из входов измерителя разности фаз. С выхода замедляющей системы на второй вход измерителя поступает сдвинутый по фазе сигнал генератора. Измеритель разности фаз является обработчиком первичной измерительной информации. При расхождении сигналов на его входах по фазе, он генерирует на своем выходе прямоугольные импульсы [8]. Ширина этих импульсов равна величине разности фаз, измеренной в секундах. Чем больше разность фаз, тем шире будут импульсы на выходе измерителя. Частота сигнала на выходе фазового детектора равна частоте входных сигналов, т.е. частоте опорного генератора. Прямоугольные импульсы с выхода измерителя поступают на вход интегратора, который в свою очередь преобразует прямоугольные импульсы в постоянное напряжение [8]. Таким образом, разработанный датчик преобразует неэлектрическую величину расстояния до детектируемой поверхности в электрическую величину постоянного напряжения на своем выходе: при приближении детектируемой поверхности к плоскости замедляющей системы уровень напряжения на выходе датчика будет увеличиваться.

Заключение

В процессе выполнения научной работы была подтверждена возможность использования замедляющих систем в качестве первичного преобразователя в датчиках линейных перемещений, предложен метод получения измерительной информации и способ исключения влияния множественного резонанса в измерительных схемах, содержащих замедляющие системы.

Список литературы

1. Титов А.П. Радио- и микроволновые резонаторы квазистационарного типа на отрезках замедляющих систем: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Москва, 2005. – 21 с.

2. Елизаров А.А. Исследование излучения радиочастотных элементов на микрополосковых спиральных замедляющих системах / А.А. Елизаров,

Э.А. Закирова // T-COMM: Технологии информационного общества. – 2012. – Т.6, №10. – С. 51–53.

3. Пчельников Ю.Н., Дымшиц Р.М., Федичкин Г.М., Пестрецов В.В. Способ измерения зазора до металлической поверхности и устройство для его осуществления // Патент России №96111706/28. 1996.

4. Михлин Б.З. Высокочастотные емкостные и индукционные датчики – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 71 с.

5. Sunderarajan S. Mohan The design, modeling and optimization of on-chip inductor and transformer circuits –December 1999. – 193 с.

6. Sunderarajan S. Mohan Simple Accurate Expressions for Planar Spiral Inductances / Sunderarajan S. Mohan, Maria del Mar Hershenson, Stephen P. Boyd // IEEE journal of solid-state circuits - October 1999 - vol.34, no. 10. – С. 1419-1424.

7. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: в 2 т. Т. 2 / У. Титце, К. Шенк – М.: ДМК Пресс, 2007. – 942 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОХЛАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Цветков В.Э., Ландер Л.Б., Кононова Н.А., Арисова А.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассмотрены различные виды теплопередачи в электронике, изучены методы теплоотвода в радиоэлектронных средствах (РЭС), а также проведено тепловое моделирование некоторых систем охлаждения в программном комплексе САПР SolidWorks. Данное исследование проводится в рамках разработки электронного учебного пособия по компьютерному моделированию РЭС с различными видами охлаждения.

Введение

В современной электронике системы отвода тепла играют важную роль. Благодаря им осуществляется поддержание оптимального теплового режима в РЭС при их работе в различных режимах, климатических условиях и других факторах, которые могут нарушить их корректную работу. Разработчики электронной аппаратуры в настоящее время при проектировании пользуются различными программами моделирования тепловых процессов, например, таким, как SolidWorks [1–3].

Разрабатываемое в рамках данной работы электронное учебное пособие позволит повысить качество усвоения материала обучающимися по теме моделирования РЭС с различными устройствами охлаждения.

Целью работы является исследование влияния на тепловой режим электронных компонентов таких видов отвода тепла, как радиатор, кулер, тепловая трубка. Для этого была изучена теоретическая информация, необходимая для проведения термического исследования, построены 3D-модели печатных плат, корпуса РЭС, теплоотводящих конструкций, проведен их термический анализ в программе SolidWorks.

Теплопередача и теплообмен

Ключевым понятием для создания эффективно работающих систем охлаждения является теплопередача. Теплопередача – это процесс, при котором происходит перенос количества теплоты внутри тела или от более нагретого к менее нагретому телу. Помимо существующей разности температур, интенсивность процесса зависит и от свойств самого вещества. Передача тепловой энергии может осуществляться с помощью теплопроводности (кондукции), конвекции и теплового излучения [4–5].

Теплопроводность. Перенос внутренней энергии от более нагретых частей тела (тел) к менее нагретым частям тела (телам) называется теплопроводностью. Передача теплоты внутри одного тела, обусловлена тепловым движением его микрочастиц (атомов, молекул, электронов).

Интенсивность теплопередачи за счет теплопроводности выражается соотношением, которое называется законом теплопроводности Фурье (1):

$$dQ_\tau = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau, \quad (1)$$

где dQ_τ – количество теплоты [Дж], которая передается за время $d\tau$ через поверхность площадью dF в направлении нормали n к этой поверхности. λ – коэффициент теплопроводности материала [Вт/(м·К)].

Конвекция. С нагреванием жидкости или газа увеличивается интенсивность движения молекул и давление. При отсутствии ограничения в объёме происходит расширение жидкости или газа, их плотность уменьшается и под действием силы Архимеда та часть среды, которая была подвержена нагреванию, перемещается вверх. Другими словами, происходит перенос тепловой энергии с помощью потоков вещества среды.

Полный тепловой поток P_T от тела в среду зависит от свойств среды, начальной скорости её молекул, а также от формы источника тепла и определяется при помощи закона Ньютона-Рихмана (2):

$$P_T = a_k S(T_c - T_ж), \quad (2)$$

где α_k – средний коэффициент конвективной теплоотдачи на поверхности раздела двух сред: жидкости (газа) и твердого тела [Вт/(м^2·К)], S – площадь поверхности, омываемой жидкостью (газом) [м^2], T_c – температура поверхности [К], $T_ж$ – температура жидкости (газа) [К].

Тепловое излучение. Вид теплопередачи, в котором происходит качественное преобразование, то есть преобразование тепловой энергии в энергию электромагнитных волн, называется тепловым излучением. Отличительной особенностью данного вида теплообмена является передача теплоты через вакуум.

Тепловой поток P_T от абсолютно черного тела с температурой T_1 и поверхностью A к окружающей его замкнутой полости с абсолютно чёрной поверхностью с температурой T_2 подчиняется закону Стефана-Больцмана (3):

$$P_T = \sigma A(T_1^4 - T_2^4), \quad (3)$$

где A – площадь поверхности [м^2], T_1 и T_2 – температуры поверхности [K], σ – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5{,}67 \cdot 10^{-8}$ [Вт/(м^2·K^4)].

Для охлаждения современных электронных компонентов существует несколько основных видов теплоотвода. В данной работе рассматриваются воздушные и кондуктивные теплоотводящие системы.

Воздушное охлаждение бывает двух типов: пассивное и активное. Пассивное охлаждение основано на передаче теплоты от элемента, подверженного нагреванию, на радиатор, который изготовлен из таких материалов, как медь или алюминий. Для наибольшей эффективности радиаторы оснащаются тепловыми трубками, благодаря которым происходит увеличение площади рассеивания тепла. Получив некое количество теплоты от элемента, радиатор рассеивает тепло в среду. Это и позволяет отвести некоторую часть тепла от тех радиоэлементов, которые нагреваются. Циркуляция и температура воздуха являются параметрами, которые определяют, насколько эффективно пассивное охлаждение. Соответственно, чем меньше температура воздуха и чем больше его объём, тем пассивное охлаждение будет эффективнее. Создание полностью пассивного охлаждения неосуществимо из-за необходимости применения вентиляторов, образующих движение воздуха внутри ограниченного объёма. В активном воздушном охлаждении используются вентиляторы совместно с радиаторами, называемые кулерами. Принцип работы заключается в следующем: принимающий тепло от нагревающегося элемента радиатор охлаждается потоками воздуха вентилятора. Эффективность охлаждения зависит прямо пропорционально от величины и обратно пропорционально от температуры воздушного потока. Особенности и преимущества данного вида охлаждения делают воздушный метод отвода тепла наиболее эффективным по сравнению с остальными [6].

Кондуктивное (теплопроводящее) охлаждение состоит в передаче тепла от источников к теплоприемникам с помощью явления теплопроводности. К кондуктивным системам охлаждения относятся термоэлектрические охлаждающие устройства и тепловые трубки [7].

Тепловое моделирование теплоотводов

В рамках данного исследования в программе SolidWorks были созданы модели и проведено компьютерное моделирование нескольких печатных плат с расположенными на них электронными компонентами без применения средств теплоотвода, а также последующее моделирование тех же печатных плат с использованием охлаждающих устройств [8–10].

Одним из рассматриваемых видов охлаждения было воздушное. На исходной плате из стеклотекстолита размерами 100x70x1 мм транзистор, корпус которого сделан из эпоксидной смолы, размерами 12.5 x 6.6 мм при подаче мощности 4 Вт на него достигает максимальной температуры 189.86 °C (рис. 1) при температуре окружающей среды 30 °C. Модель транзистора была максимально приближена к транзистору 1N2038. Максимальная рабочая температура данного транзистора равна 150 °C. Коэффициент нагрузки без радиатора получается k = 189.86 / 150 = 1.27 и наблюдается перегрев на 39.86 °C. На рис. 2 показана реализация пассивного воздушного охлаждения конструкции в виде ребристого радиатора, прикрепленного к транзистору. Размеры основания радиатора равны 30 x 20 x 7 мм, толщина ребер 2 мм, расстояние между ними 5.6 мм, их высота 14.77 мм, площадь поверхности 5800 мм2, материалом является медь. Также помимо ребристого радиатора была собрана конструкция со штыревым радиатором (рис. 3), у которого размер основания такой же, диаметр штырей 2 мм, расстояние между ними 4 мм и их высота 15.53 мм. Максимальная температура транзистора снизилась до 105.94 °C (k = 0.71, перегрева нет) при использовании ребристого радиатора и до 105.61 °C (k = 0.7, перегрева нет) при использовании штыревого.

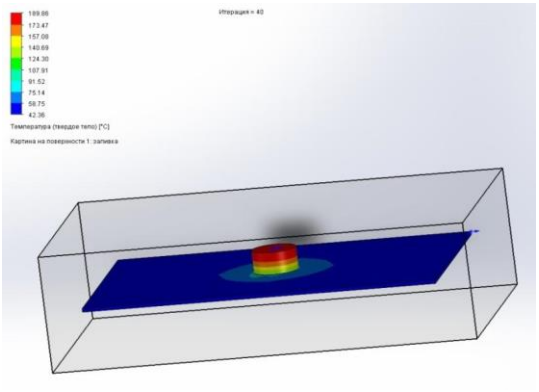


Рис.1. Моделирование печатной платы с Транзистором

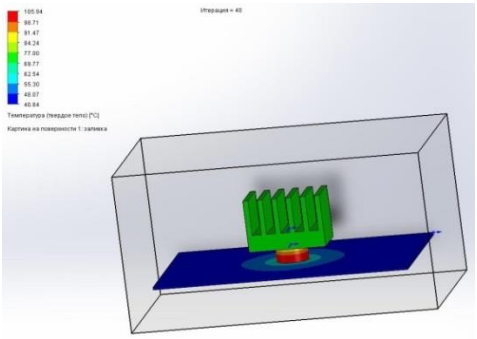


Рис.2. Моделирование воздушного пассивного охлаждения с использованием радиатора

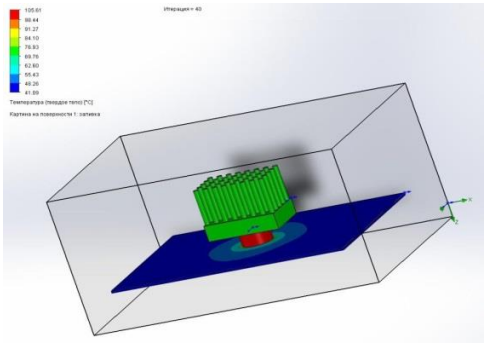


Рис.3. Моделирование теплоотводящей конструкции с использованием штыревого радиатора

Для такой же печатной платы и транзистора была собрана конструкция активного воздушного охлаждения (рис. 4), содержащая медный ребристый радиатор с такими же размерами, как и в сборке пассивного воздушного охлаждения (площадь поверхности 5800 мм2) и расположенный на нем осевой вентилятор размерами 30 х 20 х 15 мм. Скорость вращения лопастей – 628 рад/с. Также был проведен эксперимент с расположением вентилятора сбоку от радиатора и транзистора (рис. 5). Температура транзистора при таком способе охлаждения, когда вентилятор расположен сверху, снизилась с 189.86 до 79.17 °C (k = 0.53, перегрева нет), а при его установке сбоку – со 189.86 до 85.94 °C (k = 0.57, перегрева нет).

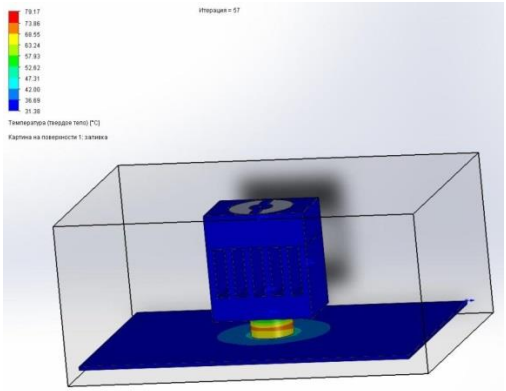


Рис.4. Моделирование теплоотводящей конструкции с использованием кулера при расположении вентилятора сверху

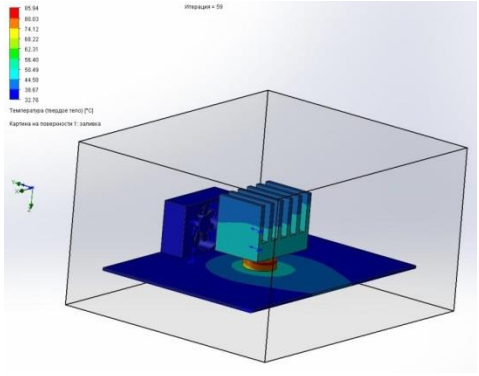


Рис.5. Моделирование теплоотводящей конструкции с использованием кулера при расположении вентилятора сбоку

В качестве последней теплоотводящей конструкции была использована тепловая трубка. Без использования системы охлаждения максимальная температура нагрева транзистора (12.5 х 4 мм) составила 185.12 °C (рис. 6). То есть коэффициент нагрузки равняется 1.23 и присутствует перегрев ЭРИ на 35.12 °C. С применением тепловой трубки длиной 90 мм, сделанной из меди, с ребристым радиатором, на который передается теплота (рис. 7). При таком способе теплоотвода транзистор охладился со 185.12 до 125.83 °C (k = 0.84, перегрева нет). Также был проведен эксперимент с использованием штыревого радиатора (рис. 8). В этом случае температура снизилась до 126.16 °C (k = 0.84, перегрева нет).

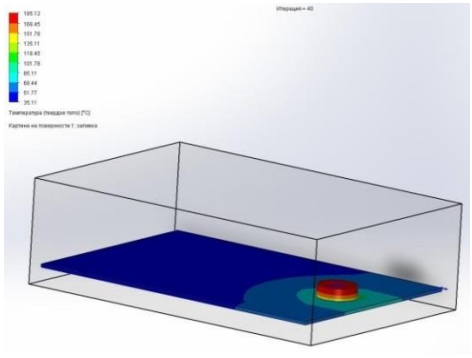


Рис.6. Моделирование печатной платы с транзистором

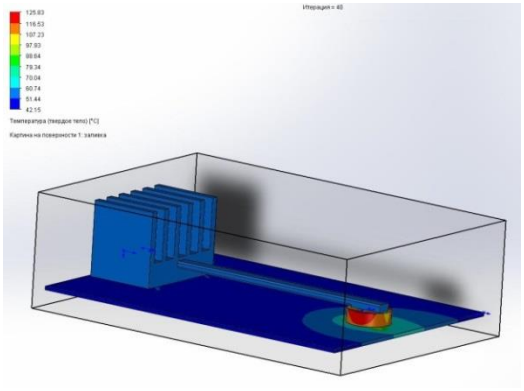


Рис.7. Моделирование теплоотводящей конструкции с применением тепловой трубки и ребристого радиатора

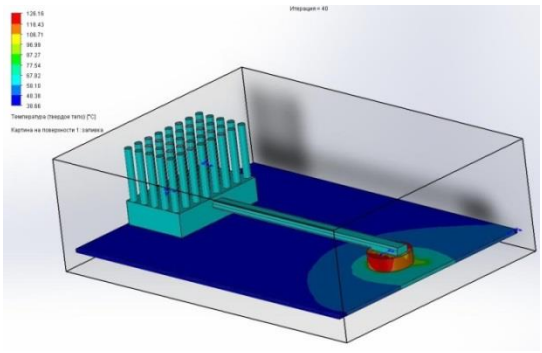


Рис.8. Моделирование теплоотводящей конструкции с применением тепловой трубки и штыревого радиатора

Заключение

В работе было проведено исследование часто использующихся систем охлаждения: пассивных и активных воздушных, кондуктивных.

Таким образом, применение программ теплового анализа (например, SolidWorks) позволяет рационально спроектировать различные методы охлаждения электронных компонентов, и более того оценить их эффективность. Однако важной задачей при проведении моделирования тепловых процессов является корректное задание теплофизических свойств материалов конструкций и различных параметров граничных условий теплообмена.

Разработанные материалы в дальнейшем будут использоваться в электронном учебном пособии.

Список литературы

1. Лужавин Ю.И., Хранилов В.П. Повышение эффективности проектирования систем воздушного охлаждения бортовой авиационной РЭА средствами интерактивного математического моделирования // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 4. С. 140-149.

2. Расчёт систем охлаждения с помощью SOLIDWORKS FlowSimulation. URL: https://www.swrgroup.ru/upload/iblock/69a/69a4fad26c8bb83cc3dde69fbd916a20.pdf (дата обращения: 17.02.2021).

3. Кучинский П.И., Зограф Ф.Г., Трегубов С.И., Маринушкин П.С., Левицкий А.А. Разработка системы автоматизированного проектирования радиаторов охлаждения электронных компонентов на основе API-технологий // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3.

4. Пашинский В.А., Кресова Е.В. Учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Теплопередача». Минск: МГЭИ им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, 2016. С. 163.

5. Введение в тепловое моделирование - onlinepresentation. URL: https://en.ppt-online.org/441896 (дата обращения: 15.02.2021).

6. Какие существуют виды, типы и способы охлаждения ПК. URL: https://agepc.ru/zhelezo/ohlazhdenie/vidy-ohlazhdeniya-pk (дата обращения: 10.02.2021).

7. Муратов А.В., Ципина Н.В. Способы обеспечения тепловых режимов РЭС: учебное пособие. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. С. 96.

8. Обучение Solidworks 2013. Тепловой расчет радиатора охлаждения с принудительной вентиляцией в SolidworksSimulation. URL: http://engio.ru/index/rascheti/teplovoj-raschet-radiatora-oxlazhdeniya-v-solidworks-simulation.html(дата обращения: 13.02.2021).

9. Знакомство с SolidWorks. Waltham: Dassault Systemes SolidWorks Corporation, 2017.

10. Tutorials SolidWorks Flow Simulation 2018. Waltham: Dassault Systemes SolidWorks Corporation, 2018.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СФЕРЫ

Авдеенков В.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Проведена разработка фотоэлектрического измерителя оптического излучения на основе фотометрической сферы и анализ её характеристик. Разработана установка для измерения средней мощности высокоинтенсивного лазерного излучения на основе фотометрической сферы. Проведены предварительные испытания по измерению коэффициента отражения (КО) различных покрытий фотометрической сферы. По результатам измерений определены покрытия с наибольшим КО на необходимых длинах волн, выбраны светочувствительные элементы, разработано схемотехническое решение фотометрической сферы и изготовлен макет средства измерения (СИ). Разработана программа и методика испытаний (ПМИ) макета и проведена проверка метрологических характеристик созданного макета.

Введение

В настоящее время лазеры широко применяются в различных сферах человеческой деятельности — в промышленных технологиях, в связи, в медицине. Разработка высокоточного измерительного оборудования для измерения энергетических параметров лазерного излучения является актуальной задачей. Одним из методов расширения динамического диапазона фотоэлектрических измерителей оптической мощности является применение ослабителей в виде фотометрических сфер.

Цель данной работы состоит в том, чтобы произвести разработку фотоэлектрического измерителя оптического излучения на основе фотометрической сферы, а также провести исследование её характеристик. В ходе него будет необходимо разработать установку для измерения средней мощности высокоинтенсивного лазерного излучения на основе фотометрической сферы; провести испытания на коэффициент отражения (КО) различных покрытий для фотометрической сферы и выбрать по их результатам то, которое обладает наибольшим КО на необходимых длинах волн; выбрать светочувствительный элемент – фотодиод, исходя из требований к мощности излучения и диапазоне длин волн; разработать схемотехническое решение фотометрической сферы – расположение фотоприемника и защитного экрана внутри сферы, диаметр сферы, размеры портов (входного окна, фотоприёмника); изготовить макет СИ на основе разработанного решения; разработать программу и методику испытаний (ПМИ) макета; провести проверка метро-

логических характеристик созданного макета средства измерения средней мощности.

Диапазон измеряемых проектируемым устройством мощностей излучения составляет от 0,1 мВт до 1 Вт; спектральный диапазон – от 450 нм до 1100 нм. Проектируемое устройство предполагается использовать для поверки лазерного терапевтического оборудования и должно соответствовать описанию типа «УПЛТ-М» [1].

Теория фотометрической сферы

Фотометрическая сфера [2] – это устройство для измерения параметров оптического излучения. Назначение фотометрической сферы – пространственное интегрирование светового потока.

Оптические измерения, основанные на применении фотометрических сфер, принадлежат группе методов определения оптических свойств мутных сред, называемых косвенными. В частности, определение коэффициентов пропускания и отражения образца некоего вещества с применением фотометрических сфер – весьма распространённый в исследованиях [3, 4] и производстве метод [5, 6], который известен ещё с начала двадцатого века [7, 8].

Фотометрическая сфера [9] – это пустой изнутри шар достаточно больших размеров (диаметр, как правило составляет 60-150 мм, размеры сфер высокого качества могут достигать двух метров), покрытая с внутренней стороны составом с альбедо (коэффициентом диффузного отражения) порядка ста процентов. Это значит, что внутренняя сторона сферы является практически идеальным диффузным отражателем. Через входное отверстие внутрь сферы попадает свет с источника излучения, который, после многократных отражений и переотражений равномерно заполняет весь внутренний объём сферы. Степень получившейся освещённости внутренней поверхности сферы измеряется при помощи специального фотодетектора, расположенного в специальной нише в поверхности сферы.

Конструкция фотометрической сферы

Конструкция фотометрической сферы, независимо от применения, подразумевает учет нескольких основных моментов. Это, в частности, выбор оптимального диаметра сферы, основанный на количестве и размере портов и периферийных устройств. Выбор подходящего покрытия внутренней поверхности шара предполагает учет спектрального диапазона, а также требования к рабочим характеристикам устройства. Также необходимо рассмотреть использование экранов на пути падающего потока и детектора углового поля и привести радиометрические формулы для определения эффективности сопряжения фотометрического шара с системой детектирования.

Экраны и детекторы углового поля

При использовании фотометрической сферы важно понимать, что рассмотренная яркость не включает в себя часть поверхности сферы, подвергающуюся прямому падению светового потока. Эта часть сферы вносит ложный отклик.

Экраны, имеющие такое же покрытие, как и внутренняя поверхность сферы, преграждают путь падающему потоку, не претерпевшему по крайней мере двух отражений от поверхности сферы.

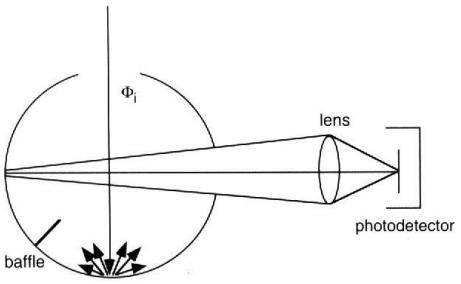


Рис.1. Использование экрана

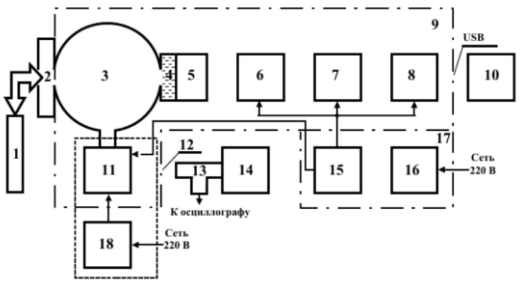
На рисунке 1 поток не попадает напрямую в оптическую систему. Тем не менее, экран все же устанавливают для того, чтобы предотвратить попадание потока после первого отражения в поле фотодетектора.

Экраны могут рассматриваться как элементы, увеличивающие площадь поверхности сферы, что должно быть учтено в виде коэффициентов в формуле для яркости излучения, хотя вклад их в увеличение поверхности обычно незначителен.

Множитель сферы (величина, наличие которой обуславливает увеличение яркости излучения благодаря многократным отражениям) чрезвычайно чувствителен к коэффициенту отражения поверхности сферы. Поэтому выбор покрытия сферы или материала для нее может решающим образом повлиять на яркость излучения при неизменном диаметре сферы.

Схемотехническое решение фотометрической сферы и макет средства измерения

На рисунке 2 изображена блок-схема средства измерения, созданного на основе руководства по эксплуатации УПЛТ-М [10]:



1 – диафрагма; 2 - универсальный зажим; 3 - фотометрический шар; 4 - коррегирующий светофильтр (при необходимости). 5 – фотопреобразователь ЭВЛТ; 6 – усилитель; 7 – АЦП; 8 – контроллер; 9 - блок оптический; 10 – блок регистрации – ноутбук; 11 - быстродействующий фотодиод; 12 – кабель соединительный РК-50; 13 – тройник; 14 - нагрузка 50 Ом; 15 – стабилизатор напряжения питания; 16 - преобразователь напряжения; 17 - блок питания средства измерения; 18 – блок питания для измерителя временных характеристик сигнала.

Рис.2. Блок-схема средства измерения на основе фотометрической сферы

Результаты измерения

На основе разработанной программы и методика испытаний (ПМИ) проведена проверка метрологических характеристик созданного макета, а именно – передача единицы средней мощности, угловая неравномерность нелинейность, относительная спектральная характеристика и на основе вышеперечисленного – основная погрешность на длинах волн калибровки, в спектральном диапазоне и относительных уровней мощности.

Было проведено 20 экспериментов, на их основе были выведены значения искомых основных погрешностей – 1,76%, 3,886% и 1,46% соответственно, что укладывается в необходимые по [1] нормы.

Заключение

В данной работе были рассмотрены принципы работы фотометрических сфер, на основе данной сферы было создано средство измерения оптической мощности и проведены испытания его метрологических характеристик.

Список литературы

1. Приложение к свидетельству № 58696 об утверждении типа средств измерений. Описание типа средств измерений . Установки для поверки фотометров лазерной терапевтической аппаратуры «УПЛТ-М».

2. Жукова М. Фотометрический шар: сбор и равномерное распределение света. [Электронный ресурс] URL: http://photonica.pro/2018/10/05/fotometricheskij-shar-sbor-i-ravnomernoe-raspredelenie-sveta/

3. Fecht I., Johnson M. Non–contact, scattering–independent water absorption measurement using a falling stream and integrating sphere. // Meas.Sci.Technol., 1999. – Vol.10(7). – P.612-618.

4. Milburn D.I., Hollands K.G.T., Kehl O. On measurement techniques for the spectral absorptance of glazing materials in the solar range. // Solar Energy, 1998. – Vol.62(3). –163-168.

5. Zhang Z., Modest M.F. Temperature–dependent absorptances of ceramics for Nd:YAG and CO2 laser processing applications. // J.Heat.Transfer, 1998, – Vol.120(2). – P.322-327.

6.Nostell P., Roos A., Ronnow D. Single–beam integrating sphere spectrophotometer for reflectance and transmittance measurements versus angle of incidence in the solar wavelength range on diffuse and specular samples. // Review of Scientific Instruments, 1999. – Vol.70(5). – P.2481-2494.

7.Ulbricht R. Die Bestimmung der mittleren räumlichen Lichtintensität durch nur eine Messung. // Electrotech.Z., 1900. – Vol.21. – P.595-597.

8.Taylor A.H. The measurement of diffuse reflection factors and a new absolute reflectometer. // J.Opt.Soc.Am., 1920. – Vol.4. – P.9-23.

9. Кочубей В.И., Башкатов А.Н. Спектроскопия рассеивающих сред: Учеб. пособие. – Саратов, 2014. – с 12-21.

10. Установки для поверки фотометров лазерной терапевтической аппаратуры серии «уплт-м.х». Руководство по эксплуатации, 2019.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МИКРОСХЕМ ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМОЙ ПАМЯТИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Безбородов Н.А., Налегач Д.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе рассматриваются модели функционального и параметрического контроля микросхем энергонезависимой памяти на основе проведенного исследования диагностических свойств методов тестирования. Данное исследование проводится в рамках разработки программно-аппаратного комплекса по тестированию энергонезависимой памяти с последовательным интерфейсом. Представляется архитектура решения комплекса и предлагаются схемы тестирования статических параметров микросхем памяти.

Введение

Рост сложности микросхем памяти приводит к повышению вероятности возникновения различных видов неисправностей. Утверждение справедливо и для энергонезависимой памяти, новое поколение памяти имеет более высокую плотность и меньшее время доступа. Анализ структуры и организации ячеек памяти проведён в различных исследованиях, например, в работе P. Pavan [1], но исследований, направленных на изучение характеристик тестируемости энергонезависимой памяти, гораздо меньше.

В рамках разработки программно-аппаратного комплекса ранее было проведено исследование диагностических свойств методов тестирования энергонезависимой памяти. В этой работе были рассмотрены модели неисправностей SAF, TF, WED, WPD, BED, BPD, RD и OE и разработаны методы тестирования для их обнаружения. В итоге, было предложено использовать следующие алгоритмы диагностики, представленные ниже:

- Flash-March: C;↑(R1,S);↕(R0);C;↓(R1,S);↕(R0). Позволяет обнаружить SAF, TF, WED, WPD, BED, BPD, OE.
- March-FT: C;↑(R1,S,R0);↕(R0);C;↓(R1,S,R0);↕(R0). Позволяет обнаружить SAF, TF, WED, WPD, BED, BPD, OE, RD.
- Тест 1: C;↑(R1, S);↓(R0). Позволяет обнаружить SAF, OE.
- Тест 2: C;↑(R1);↑(R1,S,R0);↓(R0). Позволяет обнаружить SAF, RD, OE.
- Тест 3: C;↑(R1,S);C;↓(R1,S,R0);↑(R0). Позволяет обнаружить SAF, TF, WPD, BPD, OE, RD.

Описанные методы контроля возможно реализовать в виде программно-аппаратного комплекса для тестирования энергонезависимой памяти с последо-

вательным интерфейсом. Разрабатываемый комплекс должен позволять проводить функциональный контроль энергонезависимой памяти с последовательным интерфейсом, а также осуществлять проверку статических параметров объектов контроля. Выбор тестов и отображение протокола измерений должно производиться на центральном вычислительном устройстве (персональном компьютере).

Описание архитектуры тестера микросхем памяти

Перечисленные требования возможно выполнить в рамках монолитной архитектуры при этом, устанавливая специализированные платы ввода вывода для установки объекта контроля в требуемого состояние и проведение необходимых измерений. Альтернативой является вынесение функций коммутации, измерения в отдельную микроконтроллерную плату оснастки, а также использование внешних виртуальных приборов. Структура подобного комплекса представлена на Рис. 1.

Разработка распределённой измерительной системы представляется предпочтительней, т.к. имеет большую масштабируемость, что является преимуществом для небольших исследовательских организаций, занимающихся тестированием микросхем памяти.

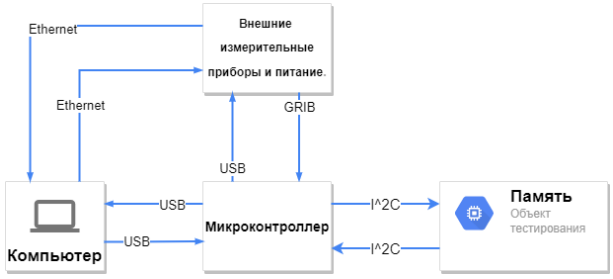


Рис.1. Представление архитектуры тестера

Также данная архитектура более удобна для пользователей, так как на компьютере в разработанном IDE можно предоставить пользователю широкий выбор вариантов тестирования, например, есть возможность не только реализовать данные алгоритмы и разрешить выбирать один из них, но и предоставить возможность пользователю конструировать из имеющихся операций собственные алгоритмы, или же закрепить за необходимыми неисправностями некоторые из операций, таким образом предоставляя возможность пользователю выбрать на какие неисправности будет тестироваться микросхема, а алгоритм программа соберёт из команд уже сама.

Для связи между микроконтроллером и центральным вычислительным устройством предлагается использовать интерфейс USB/USB, так как он подходит для подключения одного устройства и позволяет быстро обмениваться данными.

Для связи между центральным вычислительным устройством и оснасткой предлагается использовать интерфейс Ethernet/Ethernet, так как он позволит подключить одновременно много устройств оснастки.

Для связи между микроконтроллером и оснасткой предлагается использовать интерфейс USB/GRIB, так как он интерфейс GRIB повсеместно используется в устройствах оснастки.

Для разработки тестера микросхем памяти авторы статьи рекомендуют использовать память с последовательным интерфейсом.

В настоящее время среди производителей аппаратуры пользуются популярностью энергонезависимые устройства памяти с доступом по последовательному интерфейсу, на рынке устройства для контроля данного вида микросхем отсутствуют. Предлагаются решения, как в [2-3], но они предназначены для энергозависимой памяти.

Микросхемы последовательного доступа всегда имеют небольшое количество ножек, так как для последовательной записи этого хватает с запасом. Также они отличаются от микросхем с параллельным доступом более низкой частотой работы, а для обеспечения высокой частоты необходимо использовать дорогостоящее оборудование. По этим причинам работать с микросхемами памяти последовательного доступа намного проще, чем с микросхемами параллельного доступа [4]. Основываясь на этих преимуществах, предполагается, что тестеры для памяти с последовательным интерфейсом можно сделать намного более простыми и дешёвыми.

Так как микросхемы памяти последовательного доступа не требуют таких высоких скоростей при подаче на них команд, как память с параллельным доступом, то для тестирования можно ограничиться микроконтроллером – его быстродействие удовлетворяет требованиям и можно не использовать дорогостоящую и сложную при программировании энергонезависимую память.

Измерение статических параметров

Кроме функциональных неисправностей ячеек памяти существуют также неисправности статических параметров, которые влияют непосредственно на работу микросхем. В эти параметры входят напряжение работы, токи утечек, ток потребления и т. д. Поэтому для проверки данных параметров необходимо спроектировать схему их измерения. В данной работе ограничивается проектирование схемы измерениями тока утечек на входах SCL, WP и на выходе SDL и током потребления в режиме хранения I_{CCS}.

Основываясь на этих требованиях, была разработана схема, которая позволяет измерять токи утечки низкого уровня на входе I_{LIL}, токи утечки высокого уровня на входе I_{LIH}, токи утечки высокого уровня на выходе I_{LOH} и токи утечки низкого уровня на выходе I_{LOL}.

Для измерения токов утечки в различных режимах работы микросхемы используется электрическая схема, представленная на Рис. 2.

На данном рисунке присутствуют следующие обозначения:

D1 – тестируемая микросхема памяти;
G1 – источник напряжения питания 5.5 В;
PA1-PA3 – микроамперметры постоянного тока;
S1 – коммутационное устройство;
SA1 – переключатель.

Для реализации функций коммутационного устройства и переключателя были выбраны 2 реле.

Если подключить к этим реле микроконтроллер, то после его программирования, появится возможность выбирать на какие входы подавать напряжения, а на какие нет, таким образом выбирая режимы работы.

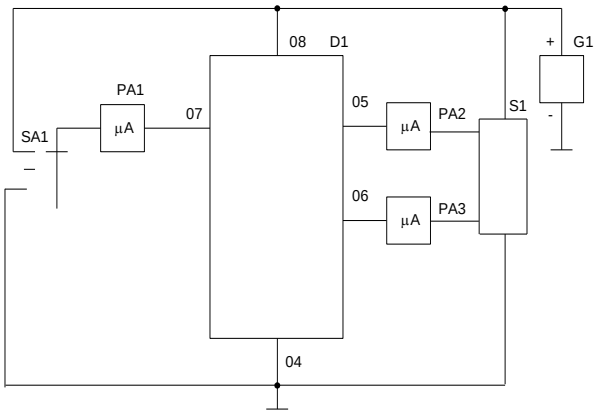


Рис.2. Измерение токов утечки в различных режимах работы

В данной схеме входы 08 – питание VCC, 07 – вход защиты от записи WP, 06 – вход SCL, 05 – SDA, 04 – земля GND. Входы 05, 06, 07 могут подключаться через реле как к питанию, так и к земле, таким образом обеспечиваются различные режимы работы. Вместо реле также можно использовать простое соединение и, меняя его, измерять в различных режимах, однако с помощью реле под управлением микроконтроллера возможно измерение всех токов утечки без каких-либо дополнительных действий со схемой измерений.

Далее была разработана схема для измерения тока потребления в режиме хранения I_{CCS} (см. Рис. 3).

На данной схеме присутствуют следующие обозначения:

D1 – тестируемая микросхема памяти;

G1 – источник напряжения питания 3.0; 5.5 В;

PA1 – микроамперметр постоянного тока.

Обозначения входов/выходов в микросхеме памяти и их названия совпадают с предыдущей схемой. Эта схема описывает измерение тока потребления в режиме хранения. Ток потребления измеряет амперметр, подключенный ко входу 08. На входы 08, 06 и 05 подаётся питание. Так как ток потребления необходимо измерять в двух режимах при различном напряжении питания, то схему можно реализовать не только ручным переключением выходного напряжения источника, но и с помощью двух источников, подключенных через реле, таким образом это выйдет дороже, однако затраты времени на изменение напряжения будут гораздо меньше, ведь надо будет не переключать их вручную, а просто переключить реле.

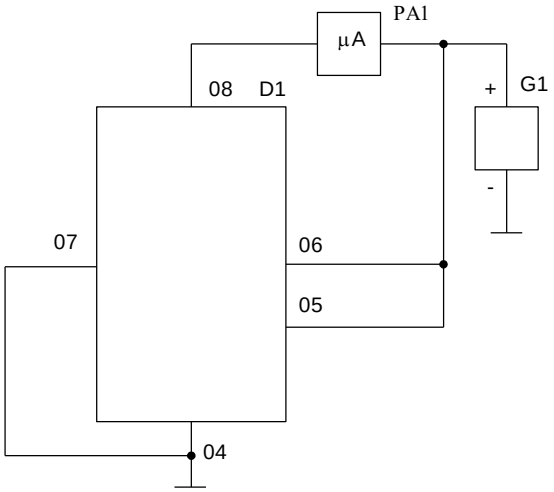


Рис.3. Измерение тока потребления в режиме хранения

Для функционального и параметрического тестирования необходима схема, которая позволит отправлять и принимать команды по интерфейсу I2C и измерять статические параметры микросхемы памяти. Так как по выходу SDA микросхема памяти по документации может выдавать напряжение меньше 0,5*Vcc при передаче напряжения низкого уровня и напряжение больше 0,5*Vcc при передаче напряжения высокого уровня, где Vcc – напряжение питания микросхемы, то для передачи сигнала на микроконтроллер по интерфейсу I2C необходимо использовать компаратор. В качестве опорного напряжения на компаратор необходимо подать половину напряжения питания, которое можно получить с помощью резистивного делителя. Для измерения тока утечки различных входов необходимо подавать напряжение питания на входы SDA, SCL, WP, попеременно подключая часть этих входов к земле, для измерения в разных режимах. Это возможно реализовать через реле, которыми управляет микроконтроллер. На входы SDA, SCL, WP необходимо установить амперметры для измерения тока утечки. После измерения статических параметров необходимо переключить реле, для соединения выхода SDA, компаратора и соответствующего входа на микроконтроллере. Также необходимо переключить реле для соединения входов SCL и WP с микроконтроллером.

Таким образом программно-аппаратный комплекс позволит диагностировать не только функциональные дефекты, но и несоответствие статических параметров нормам для микросхем памяти с последовательным интерфейсом.

Заключение

Тестирование микросхем памяти является важным процессом их производства. Авторы в настоящей статье предложили архитектуру специализированного тестера и разработали схемы измерений статических параметров микросхем памяти. Проведенное исследование позволит авторам непосредственно приступить к разработке программно-аппаратного

комплекса тестирования микросхем энергонезависимой памяти с последовательным интерфейсом.

Список литературы

1. P. Pavan, R. Bez, P. Olivo, and E. Zanoni. Flash memory cells-An overview. Proc. IEEE, 85(8):1248-1271, Aug.1997.
2. D. P. van der Velde and A. J. v.d. Goor, "Designing a memory module tester," Records of the 1999 IEEE International Workshop on Memory Technology, Design and Testing, 1999, pp. 91-98, doi: 10.1109/MTDT.1999.782689.
3. Kinoshita and Saluja, "Built-In Testing of Memory Using an On-Chip Compact Testing Scheme," in IEEE Transactions on Computers, vol. C-35, no. 10, pp. 862-870, Oct. 1986, doi: 10.1109/TC.1986.1676677.
4. Карташёв Сергей Сергеевич, Лосев Владимир Вячеславович, & Крупкина Татьяна Юрьевна (2016). Исследование и разработка схемы последовательного доступа к flash-памяти. Известия высших учебных заведений. Электроника, 21 (5), 478-481.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ СВОЙСТВ МОДЕЛЬНОГО ДИЭЛЕКТРИКА

Агапов И.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», аспирантская школа по техническим наукам МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе выполняется исследование электрофизических свойств модельного диэлектрика, имеющего структуру металл-диэлектрик-металл. Разработана схема для проведения испытаний, позволяющая определять стабильность свойств материала при протекании больших токов.

Введение

Космические аппараты, расположенные на высокоэллиптических и геостационарных орбитах Земли, подвержены электризации, в результате которой на борту аппаратов могут возникать электростатические разряды. Используемые диэлектрики на борту космических аппаратов должны полностью исключать физическую возможность возникновения электростатических разрядов за счет повышенной проводимости. Увеличение проводимости диэлектриков достигается за счет добавления определенной концентрации проводящей примеси, при этом концентрация такой примеси должна быть близка к порогу перколяции.

Ранее было определено, что электропроводность таких материалов должна составлять 10^{-9} $Ом^{-1}м^{-1}$. В лабораториях МИЭМ НИУ ВШЭ была выполнена работа, в которой доказано, что такое значение проводимости материала не виляет негативно на работоспособность цифровой и аналоговой электроники [1]. При увеличении данного значения электропроводности возникает вероятность негативного влияния на бортовую радиоэлектронную аппаратуру космического аппарата, а электропроводность ниже данного значения увеличивает вероятность возникновения электростатических разрядов.

Если концентрация примеси достаточно велика, то такой материал является проводником с характерно высокой стабильностью тока. Одним из примеров такого материала является объемный резистор типа ТО, в котором проводящий материал является композитом из полимерного связующего и технического углерода. Однако, между композитным материалом этих резисторов и диэлектриком с повышенной проводимостью имеется существенное различие в величинах концентрации проводящей примеси. Диэлектрики с повышенной проводимостью содержат такую примесь от 6 до 7 массовых процентов, тогда как в резисторах ТО эта концентрация почти на порядок выше.

Разработанная по нашим предварительным исследованиям в МИЭМ НИУ ВШЭ методика проведения испытаний определила необходимость использования ПО для автоматической фиксации в течение длительного времени (до 20 мин.) изменений проводимости модельного диэлектрика.

Установка для проведения эксперимента

На первом этапе было выполнено изготовление модельного диэлектрика, который имеет структуру металл-проводник-металл. Проводником в данном случае является смесь парафина и технического углерода. Развесовка проводящего наполнителя выполнялась на весах первого класса точности с высоким разрешением. Затем смесь помещалась в магнитную мешалку с возможностью нагрева на период около 10 мин. В результате полученный компонент под действием вибростенда помещался в металлический каркас модели. Схема модельного диэлектрика представления на рисунке 1.

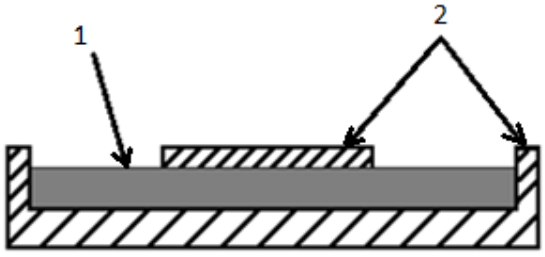


Рис.1. Модельный диэлектрик (1 — проводник; 2 — металл)

Таким образом было изготовлено более десяти образцов с различными концентрациями проводящего материала. Благодаря ранним расчетам [2], удалось избежать проблем при измерении удельного электрического сопротивления образца.

На следующем этапе был определен перечень компонентов схемы, которая состоит из источника питания (УИП-2), образца с определенной концентрацией сажи (от 1 до 10)% и осциллографа (С1-83), имеющего внутреннее сопротивление $R = 10^6$ Ом и

чувствительность от 1 мВ/см.

Для вывода на экран ПК результатов измерения было решено использовать аналого-цифровой преобразователь E14-440 производства компании L-CARD, которая разрабатывает электронное измерительное оборудование уже более 30 лет. Параметры сбора данных АЦП можно настраивать программно, устройство внесено в государственный реестр средств измерений. Ключевым фактором при выборе стало использование стандартной последовательной шины, а именно, подключение к ПК через USB порт с совместимостью USB 2.0.

Преобразователь имеет возможность работы с использованием управляющего сигнала. Программно устанавливалось время, в течение которого АЦП должен фиксировать передаваемые на него показания и выводить их на экран ПК. Для подачи управляющего сигнала использовался генератор импульсов Г5-63 со следующими предустановленными значениями:

- Период повторения (T) = 2.3 мкс;
- Временной сдвиг (D) = 25 мкс;
- Длительность (τ) = 10 мкс;
- Амплитуда = 11 В.

Чтобы АЦП не вышел из строя было решено использовать защитный каскад, который состоит из последовательно подключенных сопротивления, предохранителя и диода.

В результате была реализована общая схема подключения с возможностью программной фиксации изменения проводимости образца, которая представлена на рисунке 2.

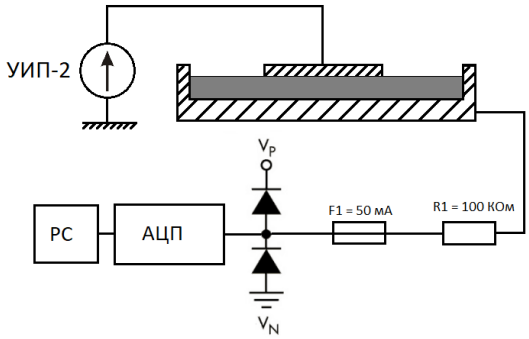


Рис.2. Общая схема подключения с возможностью программной фиксации изменения проводимости образца

К верхнему электроду от генератора напряжения УИП-2 подается питание в диапазоне от 20 до 300 В. С нижнего электрода снимается значение напряжения, которое приходит на АЦП. Номиналы защитного каскада:

- R1 = 100 Ком;
- F1 = 50 мА.

Для эксперимента получилось ограничиться только тремя образцами модельного диэлектрика с соответствующей концентрацией проводящего наполнителя от 7 до 9 % [3-5].

Заключение

В данной работе была разработана схема для проведения испытаний, позволяющая определять стабильность свойств материала при протекании больших токов.

На данном этапе уже был поставлен эксперимент, в котором в течение 20 минут для каждого изготовленного образца подавалось значение напряжения порядка 250 В. Было выявлено, что максимально приближенным к порогу перколяции получился образец с концентрацией сажи 7% масс парафина.

Образцы с более высоким значением концентрации проводящего наполнителя (8-10%) оказались намного устойчивее, так, например, для образца с содержанием сажи 10% масс парафина не было выявлено изменений проводимости на протяжении длительного времени. Тогда как при третьей ротации эксперимента образец с 7% содержанием сажи уже фактически перестал являться проводником, поскольку вне зависимости от приложенного напряжения, значение напряжения на выходе оставалось неизменным и равным нулю.

В дальнейшем планируется очередное изготовление модельных диэлектриков различных концентраций проводящего наполнителя, которые будут иметь меньший размер. Для таких образцов значения проводимости при подаче напряжения сразу будут фиксироваться на ПК с целью определения методики стабилизации параметров композиционного диэлектрика.

Список литературы

1. Г.А. Белик «Метод повышения устойчивости печатных узлов БРЭА космических аппаратов к возникновению ЭСР» дис. к.т.н. НИУ ВШЭ, Москва, 2013.

2. В.А. Соцков, В.А. Борисов «Эволюция аттрактора макросистемы в зависимости от концентрации проводящей фазы и температуры.» // Журнал технической физики. — 2007. — Том 77. — Вып. 11. — С. 103–108.

3. А.Е. Абрамешин, Г.А. Белик, В.С. Саенко «Исключение внутренней электризации бортовой аппаратуры космических аппаратов путем применения нанопроводящих диэлектриков» // В кн.: Труды XXII Международной конференции «Радиационная физика твердого тела» (Севастополь, 9-14 июля 2012 г.) / Отв. ред.: Г.Г. Бондаренко; под общ. ред.: Г.Г. Бондаренко; науч. ред.: Г.Г. Бондаренко. — М.: ФГБНУ "НИИ ПМТ", 2012. — С. 544–550. 83.

4. А.Е. Абрамешин, Г.А. Белик, В.С. Саенко «Новый метод защиты бортовой аппаратуры космического аппарата от внутренней электризации.» // В кн.: Системы управления беспилотными космическими и атмосферными летательными аппаратами: Тезисы докладов II Всероссийской научнотехнической конференции (Москва, 24-26 октября 2012 г.). — М.: МОКБ «Марс», 2012. — С. 160-162. 118 84.

5. Г.А. Белик «Метод снижения негативных эффектов внутренней электризации бортовой аппаратуры космических аппаратов.» // Научнотехническая конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ НИУ ВШЭ. Тезисы докладов. / Ред. кол.: Тихонов А.Н., В.Н. Азаров, М.В. Карасев, В.П. Кулагин и др. — М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. — С. 202– 203.

ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ СТЕНДЫ ПО КУРСУ ЭЛЕКТРОНИКИ

Замурий Н.М., Ярмиева К.Р., Тюрина А.Н.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Представлены результаты разработки программного комплекса для проведения виртуальных лабораторных работ по базовому курсу электроники. Разработанные виртуальные стенды обеспечивают возможность проводить содержательные лабораторные работы по курсу электроники в условиях карантина в рамках регулярных курсов и курсов ДПО.

Введение

В последние годы одним из трендов системы высшего образования является активное внедрение современных компьютерных технологий в процесс обучения. Пандемия COVID-19 внесла коррективы в процесс традиционного обучения, и Российская высшая школа столкнулась с проблемами, вызванными переходом на дистанционное обучение [1]. На сегодняшний день лаборатория электроники МИЭМ НИУ ВШЭ сталкивается с несколькими проблемами при проведении очных лабораторных занятий по базовому курсу электроники. Например, в условиях пандемии может быть непредсказуемо объявлен общий карантин для института в целом или отдельных групп студентов. К тому же лаборатория перегружена занятиями, в результате возникают непреодолимые трудности при составлении расписания; помимо этого, парк лабораторных приборов устарел, его становится всё более трудно поддерживать в работоспособном состоянии.

Для устранения этих проблем был организован студенческий проект; цель его работы состоит в том, чтобы обеспечить преподавателей и студентов средствами для проведения содержательных лабораторных работ по курсу «Электроника» в дистанционном режиме, воспроизводя все этапы, характерные для нормального процесса работы в лаборатории: выдачу варианта задания, сборку и автоматическую проверку схемы измерения, реализацию задания на измерение, запись результатов измерений в табличном и графическом виде.

Выбор подхода к реализации виртуального стенда

В рамках подготовительной работы был проведен анализ наиболее распространенных подходов проведения виртуальных лабораторных работ.

Одним из способов является удаленный доступ к оборудованию в университете. Из достоинств данного метода можно отметить возможность работать на специализированном, дорогостоящем оборудовании университета из любой точки мира, в том числе для людей, не обучающихся в этом университете, в рамках открытых занятий [2]. Однако данный метод ограничен требованиями к вычислительным мощностям и необходимостью установки дополнительного ПО, которое может быть требовательным к вычислительным ресурсам компьютера студента. Другим недостатком является ограничение интерактивности и наглядности проводимой лабораторной работы [2].

Другой распространенный способ – сервис Tinkercad [3]. Среди преимуществ данного сервиса: простой и интуитивно понятный интерфейс; работа через сеть интернет; возможность совместного доступа к схемам измерений. Важнейшим недостатком является то, что встроенные модели полупроводниковых приборов слишком простые и не настраиваемые. Это в числе прочего затрудняет разработку вариантов задания.

Еще одним из способов является проведение лабораторных работ в VR-среде. Это самый наглядный и интерактивный способ из всех перечисленных, позволяющий выполнить работу так, как она выполнялась бы в реальной лаборатории. Однако, для реализации этого подхода требуется как специальное оборудование для визуализации (очки), так и вычислительные мощности для расчета 3D-графики, что увеличивает затраты на развёртывание [4].

Виртуальные лабораторные стенды эффективно реализуются также средствами пакета графического программирования LabVIEW. Это один из самых доступных и эффективных способов, поскольку не требует владения пакетами специальных прикладных программ, при этом обладает достаточным уровнем наглядности. Можно создать лицевую панель установки, имитирующую панель реального стенда, что способствует большей вовлечённости студента в процесс работы, повышению навыков работы с реальным оборудованием. Студент самостоятельно собирает схему, проводит измерения, анализирует результаты [5].

Для выполнения этой работы был выбран метод создания виртуальной лаборатории при помощи программного обеспечения NI LabVIEW как компромисс между функциональностью и простотой эксплуатации пользователем.

Разработка программной части

При реализации проекта были использованы наработки, имеющиеся в группе «Цифровая лаборатория»; в частности, были заимствованы модели источника питания и мультиметра. Соответственно, для достижения цели было необходимо решить следующие задачи:

– реализовать модели объектов измерения: диода, стабилитрона, биполярного транзистора, МОП-транзистора, включая погрешности их выходных параметров;

– реализовать средства автоматической проверки правильности сборки схемы;

– реализовать средства записи результатов измерений, их отображения и сохранения в графическом и табличном виде.

В настоящее время реализованы аналитические модели диода и биполярного транзистора; для этого был использован инструмент formula node из состава

LabVIEW [6], позволяющий выписать в аналитическом виде расчётный алгоритм в соответствии с уравнениями электронного компонента: физическая экспоненциальная модель для диода и модель Гуммеля–Пуна для биполярного транзистора. Для решения трансцендентных уравнений, возникающих в этих моделях, был использован итерационный метод.

Для реализации погрешности используется решение из библиотеки MIST, SubVI, формирующие случайную абсолютную и относительную добавку в пределах заданных ограничений [1].

При анализе модели источника питания оказалось, что она соответствует более простой модели прибора, чем те, которые используются при выполнения лабораторных работ по курсу электроники. Была модифицирована модель источника питания, в результате повысилась точность отображения выходных величин на лицевой панели.

Планируется далее модифицировать модели источника питания и мультиметра с тем, чтобы сделать их многоканальными.

Разработанный инструмент для записи и отображения результатов измерения («планшет») позволяет добавлять измеренные данные в таблицу, удалять их, сортировать по возрастанию, строить соответствующие графики. Таблицу с заполненными данными можно сохранить в формате xls.

Применение виртуальных лабораторных стендов в учебном процессе

Разработанный виртуальный стенд будет применяться для проведения лабораторных работ по курсу электроники студентов второго курса МИЭМ НИУ ВШЭ, а именно “Изучение статических характеристик диода и определение основных параметров его модели для расчета схем ”, “Изучение статических характеристик биполярного транзистора и определение основных параметров его модели для расчета схем”, “Изучение статических характеристик МОП транзистора и определение основных параметров его модели для расчета схем”.

Данный лабораторный стенд будет распространяться в виде exe файла и не будет требовать установки LabVIEW на ПК студента. При запуске программы студент сможет отобразить на экране компьютера виртуальный стенд, включающий в себя наглядные и функциональные модели элементов лабораторного оборудования: источников питания, мультиметров (см. рис. 1). Студент будет иметь возможность собрать виртуальную схему измерений с помощью проводов, то есть соединить модели полупроводниковых приборов с измерительными приборами. Далее проводится проверка на правильность сборки схемы, в случае верного соединения можно продолжить работу. Пользователю доступно изменение напряжения на источнике питания, результат будет отображаться на передней панели прибора.

Для удобной фиксации экспериментальных данных обучающемуся предложен планшет, на котором можно хранить данные в табличном и графическом видах, а также сохранять полученные данные в таблицы Excel.

Выбор варианта реализуется за счёт подключения к модели полупроводникового прибора индивидуального набора параметров.

Заключение

В работе рассмотрена актуальная задача обеспечения проведения содержательных лабораторных работ по курсу «Электроника» в дистанционном режиме. В ходе анализа возможных вариантов реализации был выбран наиболее удобный способ - создание виртуального стенда на базе NI LabVIEW. Благодаря разработанному виртуальному стенду, студенты получат возможность в рамках дистанционного обучения ознакомиться с функциями и поведением реальных приборов, провести измерения и проанализировать результаты.

Данный проект выполняется в рамках проектной группы «Цифровая лаборатория», функционирующей в МИЭМ НИУ ВШЭ.

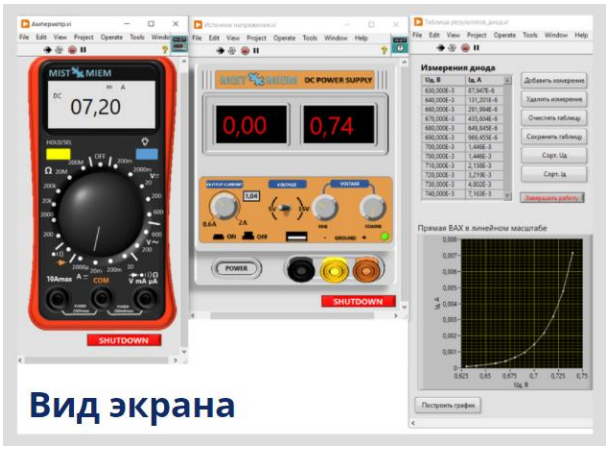


Рис.1. Вид экрана компьютера при работе с виртуальным стендом

Список литературы

1. Юрин А. И., Красивская М. И., Дмитриев А. В., Злодеев Г. Ю. Применение виртуальных лабораторных стендов в образовательном процессе // Информационные технологии. 2014. № 6. С. 70-72.

2. Зимин А. М., Манушин Э. А. Об использовании автоматизированных практикумов удаленного доступа //Школьные технологии. – 2010. – №. 5.

3. Mohapatra B. N. et al. Smart performance of virtual simulation experiments through Arduino Tinkercad Circuits //Perspectives in Communication, Embedded-systems and Signal-processing-PiCES. – 2020. – Т. 4. – №. 7. – С. 157-160.

4. Корнилов Ю. В. Иммерсивный подход в образовании //Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2019. – Т. 8. – №. 1 (26). – С. 174-178.

5. Батоврин В. К., Бессонов А. С., Мошкин В. В. LabVIEW. Практикум по электронике и микропроцессорной технике. Учебное пособие. – ДМК Пресс, 2007.

6. Трэвис Д., Кринг Д. LabVIEW для всех. Учебное пособие. – 2011.

УСИЛИТЕЛЬ ТОКА ДЛЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДРАЙВЕРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Кацнельсон А.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается усилитель тока для многофункционального драйвера двигателей с током на канал до 15А и напряжением питания до 50В, реализованный в виде печатного узла. Данный модуль разработан в рамках работы по созданию интеллектуального робота-гида.

Введение

В предыдущей работе [1] был рассмотрен процесс создания многофункционального драйвера ЭД, однако, столкнувшись с нехваткой мощности у драйвера электрического двигателя (далее ЭД), было принято решение разработать усилитель тока на полевых транзисторах, рассчитанный на ток 10А без активного охлаждения. Также важным аспектом создания усилителя тока была необходимость реализации защиты от его перегрузки по току. Данная работа является продолжением междисциплинарного проекта “Разработка интеллектуального робота-помощника”.

Принципиальная схема

Первым этапом в создании любого устройства является разработка принципиальной схемы.

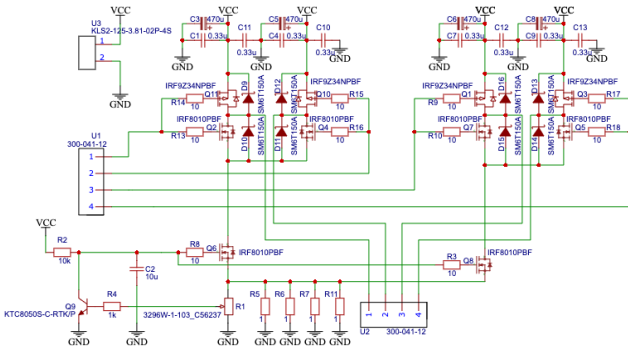


Рис.1. Принципиальная схема устройства

Можно заметить, что схема усилителя состоит из двух Н-мостов. Поскольку в рамках выполнения проекта мы используем шаговые биполярные двигатели, было принято решение разработать плату, способную усиливать ток для одного двигателя. В качестве платы управления используется многофункциональный драйвер ЭД [1]. Для понимания схемы рассмотрим принцип работы Н-моста, а затем обратим внимание на принципиальную схему.

Н-мост

Н-мост решает важнейшую проблему, а именно смену направления вращения ЭД.

Рассмотрим принцип работы данной схемы. Н-мост (рис. 2) состоит из 4 переключателей. Замыкая переключатели S1 и S4, мы позволяем мотору вращаться по часовой стрелке, а замыкая контакты S2 и S3, мотор начинает вращаться против часовой стрелки.

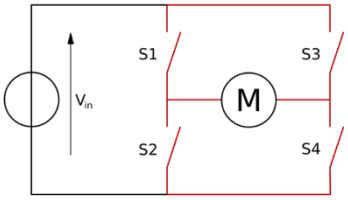


Рис. 2. Условная схема Н-моста

Реализация Н-моста

В качестве выключателей используются мощные полевые транзисторы, которые имеют низкое сопротивление при полностью открытом канале. Рассмотрим принципиальную схему подробнее.

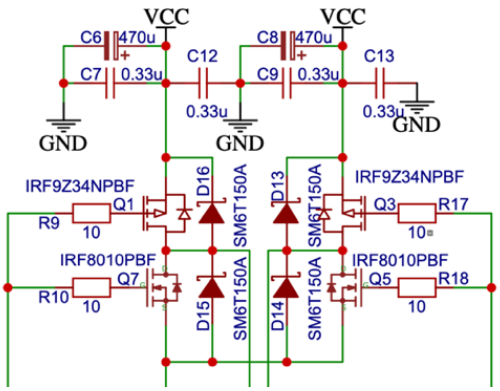


Рис.3. Принципиальная схема Н-моста

На рисунке 3 показано, что в схеме используются два n-канальных транзистора и два p-канальных транзистора. Это позволяет коммутировать среднюю точку к шине питания или земли. Для примера рассмотрим случай, когда на затворе транзистора Q1 имеется 0 вольт, а питание системы составляет 12В. Так как транзистор p-канальный, а разность потенциалов между затвором и истоком составляет -12В, то транзистор откроется. Если мы подадим на затвор напряжение питания, то разница потенциалов между затвором и истоком будет равна 0, а значит транзистор будет закрыт. Аналогичная ситуация будет происходить с транзистором Q3.

Теперь рассмотрим пару транзисторов Q7 и Q5. Они являются n-канальными, а значит при подаче 0 на затвор транзистор будет закрыт. В противном случае транзистор откроется.

Теперь рассмотрим таблицу режимов работы Н-моста (таблица 1) в случае подключения ЭД постоянного тока. Обозначим затворы Q1 и Q7 как левый

канал, а Q3 и Q5 как правый. Важным условием является напряжение питания VCC > 10В.

Таблица 1. Режимы работы Н-моста

Левый канал	Правый канал	Режим работы
GND	GND	Торможение двигателем
GND	VCC	Вращение по часовой
VCC	GND	Вращение против часовой
VCC	VCC	Торможение двигателем

Поскольку любой полевой транзистор имеет емкость затвора, был установлен резистор на 10 Ом для ограничения тока. Также были установлены быстрые защитные диоды. Они защищают плату от индуктивных выбросов. Например, если мотор провернуть рукой, то диоды возьмут ток на себя, тем самым сохранив транзисторы. Для стабилизации питания были установлены 2 конденсатора по 0.33мкФ и один на 470мкФ. Конденсаторы позволяют сгладить импульсные помехи от работы шагового двигателя или двигателя постоянного тока.

Система защиты от перегрузок

Продолжим рассматривать правую часть схемы (рис. 1). Для защиты платы от перегрузки по току был установлен еще один n-канальный транзистор. Транзистор Q8 постоянно открыт, но в случае большой токовой нагрузки и настроенного переменного резистора транзистор Q9 открывается и подтягивает землю к затвору транзистора Q8 и Q9, обесточивая оба Н-моста. Для стабильной работы системы были добавлены резистор R2 и конденсатор C2, которые являются RC-цепью, делая защиту более инертной.

Моделирование

После создания принципиальной схемы было произведено моделирование данного устройства в программе microcap12 [2].

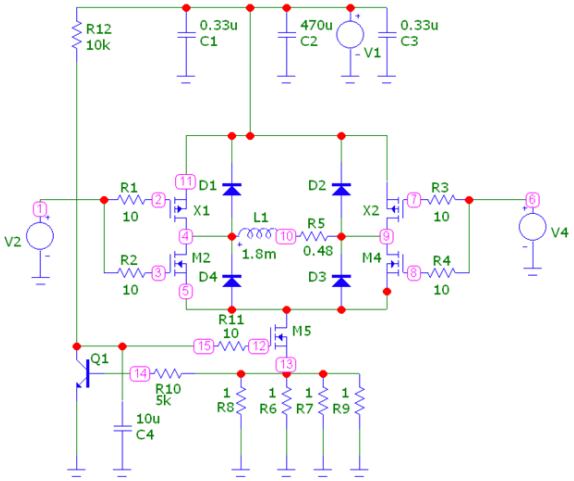


Рис.4. Схема в программе microcap12

Рассмотрим работу схемы.

Компоненты при моделировании были подобраны максимально приближенными к реальной схеме. О подборе компонентов будет рассказано далее.

Произведем моделирование схемы со следующими входными параметрами: V1 – 12В, V2 и V4 выдают меандр с частотой 1кГц со сдвигом на четверть периода. Это позволит нам рассмотреть все режимы работы. Напряжение на обоих источниках 12В. В качестве нагрузки будем использовать резистор 0.48Ом вместе с катушкой на 1.8мГн. Параметры нагрузки приближены к моторам MOONS 23HS3416, которые используются в рамках выполнения проекта.

Произведем моделирование схемы, указав 10 миллисекунд за время анализа.

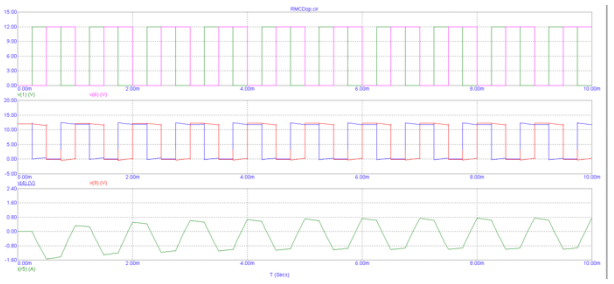


Рис.5. Моделирование схемы

Первый график показывает входной сигнал с источников напряжения V2 и V4. Следующий график иллюстрирует напряжение на клеммах мотора. Можно заметить небольшие просадки из-за малого сопротивления обмоток мотора. На последнем графике показана зависимость тока нагрузки от времени.

Теперь заменим нагрузку на резистор сопротивлением 1Ом, тем самым проверим работу схемы защиты. Постоим два графика, 1, где резистор R10 выкручен на 10кОм и второй, где резистор установлен на 1кОм см. рис.6 и рис.7.

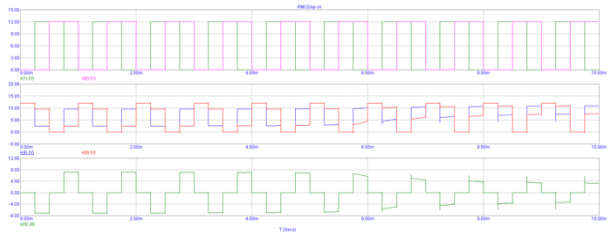


Рис.6. Моделирование схемы при R10=10кОм

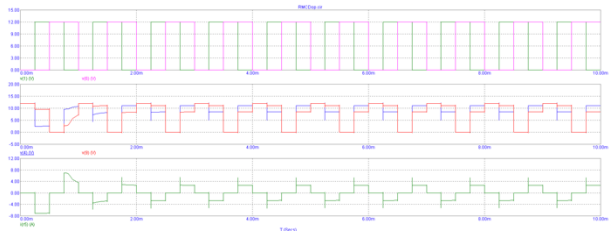


Рис.7. Моделирование схемы при R10=1кОм

Можем видеть, что на рисунке 7 максимальный ток значительно меньше, чем на рисунке 6.

Выбор компонентов

Подбор компонентов — это очень важная и ответственная задача, поскольку от выбора компонентов будет зависеть работоспособность и надёжность платы. Подбор полевых транзисторов определялся следующими параметрами: максимальный ток, сопротивление открытого транзистора, максимальное напряжение исток-сток, цена, тип корпуса наличие в Москве для розничной покупки.

В качестве корпуса был выбран TO-220, т. к. он имеет удобный монтаж и опционально предполагает наличие радиатора. Минимальным напряжением питания от 25В, минимальный ток 15А и сопротивление открытого канала до 0.1Ом. Под данные параметры подошло 5 транзисторов см. таблицу 2.

Таблица 2. Сравнение p-канальных транзисторов

Название	Макс. Ток	Макс. Напр.	Цена
AUIRF4905	74A	55B	510р.
FQP27P06	27A	60B	140р.
IRF4905PBF	74A	55B	210р.
IRF9Z34NPBF	19A	55B	75р.
AUIRF9Z34N	19A	55B	140р.

Исходя из данных таблицы был выбран p-канального транзистора был выбран IRF9Z34NPBF. Однако максимальный ток устройства можно увеличить, подобрав другую элементную базу и дополнительно усилив проводами силовые дорожки. Аналогичная процедура подбора была выполнена для n-канального транзистора, в результате которой был выбран IRFB3806PBF [3].

Защитные диоды были подобраны исходя из максимального импульсного тока с большим запасом по напряжению. Конденсаторы также были выбраны, учитывая импульсные нагрузки и напряжение питания.

Трассировка

Была выполнена трассировка печатной платы в программе EasyEda [4], которую можно увидеть на рисунке 8. Можно заметить, что конденсаторы были размещены рядом с транзисторами, это необходимо для более стабильной работы устройства. Поскольку печатная плата была реализована однослойной, некоторые печатные проводники было очень трудно разместить. Поэтому были установлены 3 нулевых резистора smd2512 (U4, U5, U3).

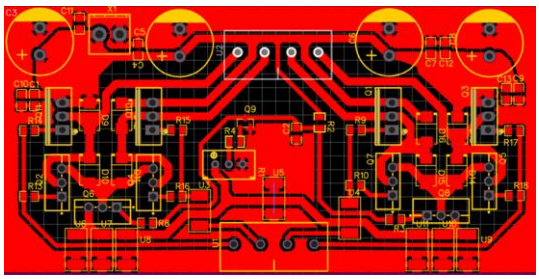


Рис.8. Трассировка печатного узла

Ширина силовых печатных проводников составляет 1.5мм. Поскольку транзисторы имеют большой запас по току, печатные проводники можно дополнительно усилить медными жилами. Остальные печатные проводники имеют ширину 0.8мм. Также все свободное место на плате было использовано, как полигон GND.

Монтаж

В результате работы печатая плата была изготовлена на фрезерном станке, а затем смонтирована (рис. 9 и рис. 10) согласно ГОСТ [5].



Рис.9. Обратная сторона печатного узла

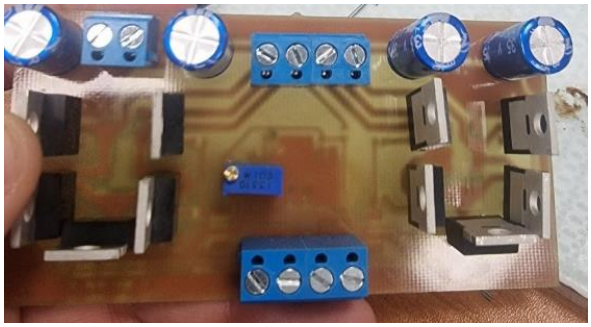


Рис.10. Лицевая сторона печатного узла

Вывод

В ходе работы над проектом была разработана, изготовлена и смонтирована оригинальная печатная плата усиления тока для многофункционального драйвера ЭД [1]. Полученный печатный узел может с успехом применяться в различных робототехнических устройствах в качестве функционально законченного модуля.

Список литературы

1. Материалы конференции 2021 “Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского“[Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.hse.ru/data/2022/02/21/1749376530/MIEM-HSE-2021.pdf. – Дата доступа: 02.02.2022.

2. Microcap12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.spectrum-soft.com/demo.shtm. – Дата доступа: 02.03.2022.

3. Datasheet IRF9Z34NPBF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://static.chipdip.ru/lib/414/DOC011414803.pdf– Дата доступа: 01.03.2022.

4. EasyEDA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://easyeda.com. – Дата доступа: 01.03.2022.

5. ГОСТ Р 53429-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Платы печатные. -М.: Стандартинформ, 2018.

КОЛОНКА С ПЯТЬЮ ДИНАМИКАМИ И ИНДИКАТОРНЫМИ ЛАМПАМИ “КОТОДИНАМИК”

Кацнельсон А.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается процесс создания колонки с пятью динамиками и двумя индикаторными лампами, отображающими амплитуду сигнала. Также будет рассмотрен процесс создания корпуса, создание принципиальной схемы и сборка устройства.

Введение

Большинство людей любят слушать музыку. От параметров колонки зависит то, насколько раскроется задуманная автором мелодия. Звук зависит не только от динамиков, но и от грамотно спроектированного корпуса, подбора электронных компонентов, их монтажа. Рассмотрим каждый из этапов создания колонки.

Создание корпуса

Изменяя параметры корпуса, можно добиваться самых разных звучаний. В качестве типа короба был выбран классический фазоинвертор. Он был посчитан в программе Speakerboxlite[1], а затем смоделирован в программе AutoCad[2]. Поскольку проект называется “Котодинамик”, форма колонки напоминает кота (см. рисунок 1), уши выполняют функцию твитеров, глаза - индикаторные лампы 6E5C.

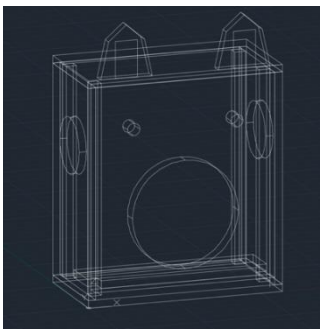


Рис.1. Модель короба колонки

Корпус выполнен из 20мм фанеры, передняя стенка сдвоена для лучших звуковых характеристик. Также в корпусе установлен брус 30мм, что дало дополнительную прочность и точку крепежа. Корпус был проклеен клеем ПВА, а фанера дополнительно пропитана. На картинке 2 можно увидеть процесс создания колонки.

В качестве динамиков был куплен 12 дюймовый сабвуфер, 2 среднечастотных и 2 твитера. Данное количество динамиков было выбрано, чтобы получить стереозвук. Поскольку человек не воспринимает расположение низкочастотных динамиков, сабвуфер установлен один в центр устройства, в отличие от СЧ и ВЧ динамиков, которые установлены парно с обеих сторон колонки. Специального анализа или подбора динамиков не производилось.



Рис.2. Процесс сборки

Принципиальная схема

Поскольку целью проекта было создать законченное устройство с нуля, была разработана принципиальная схема, состоящая из 2 частей: усилителя и лампового индикатора (рис. 3 и 4). Рассмотрим их подробнее.

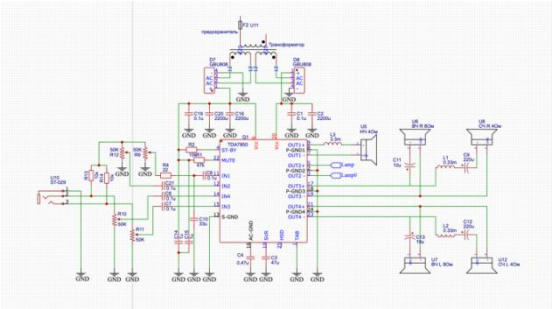


Рис.3. Принципиальная схема усилителя

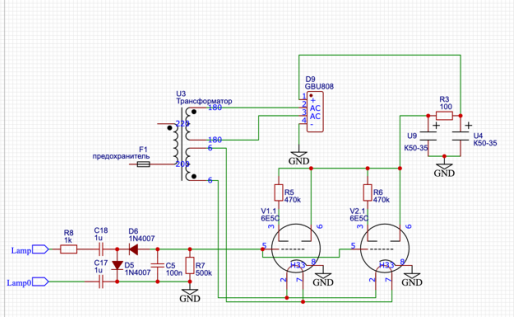


Рис.4. Принципиальная схема управления лаповым индикатором 6E5C

Питание

В качестве питания были выбраны 2 трансформатора. Один предназначается для питания усилителя и преобразует переменный ток розетки в 12В, которые затем выпрямляются с помощью диодного моста. Из принципиальной схемы на рисунке 4 можно заметить предохранитель, который спасает плату от перегрузки, или короткого замыкания. Из-за резких скачков тока были установлены фильтрующие конденсаторы (C20, C19, C16, C2, C1).

Теперь рассмотрим схему питания лампового индикатора. В данном случае был куплен трансформатор, имеющий 2 обмотки: на 180В и на 6В. Шестивольтное питание необходимо для накала, тип тока (переменный или постоянный) какой-то роли для данной задачи не играет, однако для питания анода и катода полярность важна. Поэтому был установлен диодный мост.

Звуковой усилитель

Поскольку были куплены 5 динамиков (2 твитера мощностью 5Вт, 2 СЧ по 12Вт и один сабвуфер мощностью 200Вт), нужно не просто усиливать сигнал, но и фильтровать его согласно типу динамика. Для этого был установлен на сабвуфер фильтр нижних частот (далее НЧ), на твитеры - фильтр верхних частот (далее ВЧ), а на среднечастотные динамики - полосовой фильтр (далее СЧ).

В работе используется фильтры первого порядка, поскольку они задействуют меньшее количество компонентов, что упрощает сборку, а также минимизируют стоимость.

Произведем расчет частоты среза для фильтра НЧ по формуле:

$$f_{\text{нч}} = \frac{\mathrm{R}}{2\pi \mathrm{L}} = \frac{4}{2\pi \cdot 3.3 \cdot 10^{-3}} = 193(\text{Гц}),$$

что является оптимальным для низкочастотного динамика.

Произведем моделирование в программе microcap12 (см. рис. 5 и рис. 6). Моделирование происходит на частоты от 20Гц до 20кГц из-за особенностей восприятия человеком данных частот.

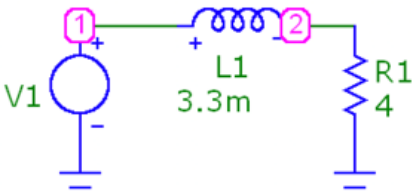


Рис.5. Схема фильтра нижних частот

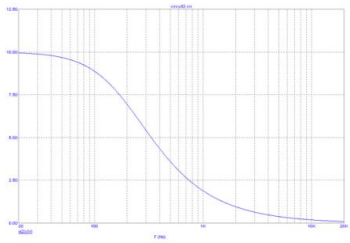


Рис.6. AC моделирование фильтра НЧ от 20Гц до 20кГц

Теперь рассмотрим фильтр ВЧ. Он представляет из себя RC-цепь, частоту среза которой мы можем найти по формуле:

$$f_{\text{вч}} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 8 \cdot 10^{-5}} = 1989(\text{Гц}).$$

Теперь произведем аналогичное моделирование, как и с фильтром НЧ (рис. 7, рис. 8).

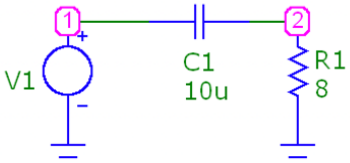


Рис.7. Схема фильтра верхних частот

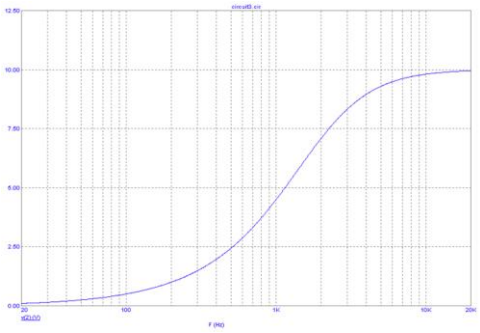


Рис.8. AC моделирование фильтра ВЧ от 20Гц до 20кГц

Теперь произведём расчет полосового фильтра по формуле:

$$f_{\text{сч}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}{2\pi} = 590(\text{Гц}).$$

Произведем моделирование:

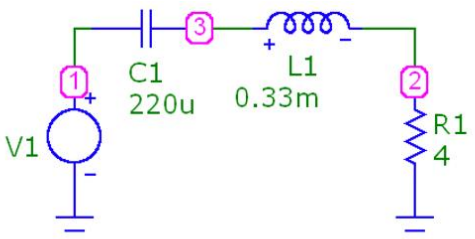


Рис.9. Схема фильтра средних частот

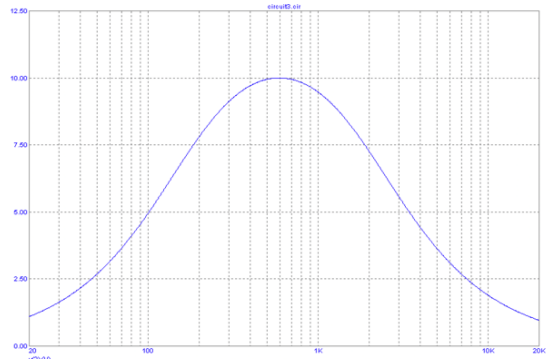


Рис.10. АС моделирование фильтра СЧ от 20Гц до 20кГц

В итоге наш динамик имеет следующие АЧХ (рис. 11).

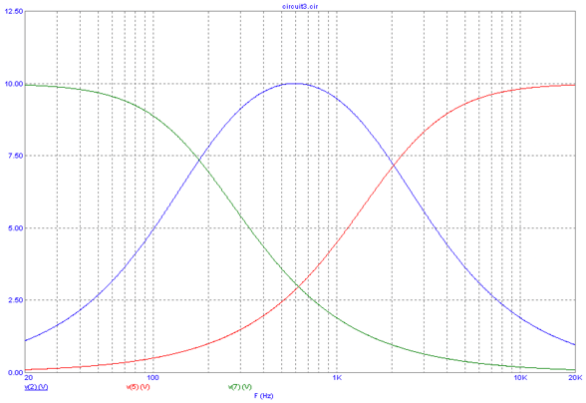


Рис.11. АС моделирование АЧХ колонки от 20Гц до 20кГц

Теперь рассмотрим вход усилителя, он состоит из делителей напряжения, которые меняют громкость (см. рис. 12). По входу также можно заметить конденсаторы, которые не пропускают постоянную составляющую, тем самым снимая короткое замыкание с динамиков.

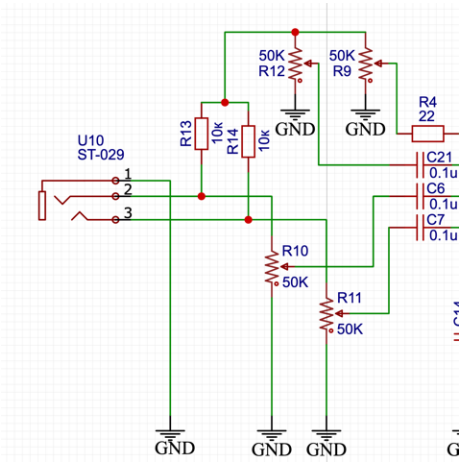


Рис.12. Вход усилителя

Рассмотрим сам усилитель TDA7850. Он представляет из себя четырехканальный усилитель класса АВ мощностью до 85Вт. К нему была добавлена обвязка согласно параметрам из его документации [4]. Один канал используется для сабвуфера, два канала для стереозвука (они являются общими для СЧ и ВЧ динамиков) и отельный канал для индикаторных ламп.

Индикаторные лампы

Для красивого отображения амплитуды сигнала были куплены советские индикаторные лампы 6E5C [13], также известные как кошачий глаз. К ним также была добавлена характерная для них обвязка.



Рис.13. Индикаторные лампы 6E5C

Монтаж печатного узла

Был произведен монтаж элементов на макетную плату (рис. 14), к усилителю был добавлен радиатор для более эффективного рассеивания тепла.



Рис.14. Монтаж элементов на макетную плату

Вывод

В результате был рассчитан и создан корпус колонки. Произведен подбор и моделирование фильтров для динамиков различного типа. Спроектирована плата и смонтирован печатный узел для 5 динамиков и 2 индикаторных ламп.

Список литературы

1. SpeakerBoxLite [Электронный ресурс]. – Режим досупа: https://speakerboxlite.com. – Дата доступа: 02.03.2022.

2. Microcap12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.spectrum-soft.com/demo.shtm. – Дата доступа: 02.03.2022.

3. Статья “Электрический фильтр” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ruselectronic.com/passive-filters/ Дата доступа: 02.03.2022.

4. Datasheet TDA7850 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://static.chipdip.ru/lib/327/DOC012327569.pdf. – Дата доступа: 02.03.2022.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

Баканов Г.П., Цыгикало П.Н., Зайцев А.Д., Шарипова С.Д.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается актуальная в современной микроэлектронике задача – расчёт распределения тепла в интегральных микросхемах и репрезентативное трёхмерное представление результатов. Учитываются геометрия и теплоёмкость элементов микросхем, а также мощность, выделяемая активными элементами. Обсуждаются вопросы визуализации результатов моделирования и возможностей взаимодействия пользователя с ними в разрабатываемом программном решении.

Введение

Необходимость решения задачи моделирования тепловых режимов интегральных микросхем привела к появлению соответствующего функционала в широко известных системах автоматизированного проектирования и разработки [1-2]. Программные решения основываются на различных подходах к моделированию, в том числе с учётом: динамического изменения мощности активных элементов, деформации и внешнего воздействия (ANSYS [3]), а также передачи теплоты излучением (FloTHERM [4]). Существует ряд отечественных программ-аналогов: АСОНИКА-Т, COMSOL, Multiphysics, и Sauna. Все вышеперечисленные продукты распространяются по лицензиям [5]. Для расчёта теплового распределения в данной работе решается стационарная, краевая задача теплопроводности посредством квази-трёхмерного симулятора Overheat [6], разработанного в МИЭМ. Overheat позволяет осуществлять расчёт карты теплового распределения без учёта излучения. Ввиду отсутствия [7-9] бесплатных или свободно распространяемых отечественных продуктов, поддерживающих вышеописанный функционал предлагается реализовать пост-процессинговую оболочку для симулятора Overheat. Результатом успешной реализации предлагаемого решения является кроссплатформенная (Windows, Linux) программа, позволяющая визуализировать трёхмерные модели интегральных схем с цветовой индикацией теплового распределения, а также возможностью выбора параметров отрисовки (градиентная, стратифицированная) и списка демонстрируемых элементов схемы.

Метод решения задачи расчёта теплового распределения

В симуляторе Overheat реализовано решение стационарной задачи теплопроводности для расчёта теплового распределения в интегральных микросхемах. Данная задача предполагает установление постоянной разницы температур в пространстве и при этом неизменность количества тепла, входящего и выходящего из элементов интегральной микросхемы на единицу времени. Модель теплообмена линейна, излучение не учитывается.

Распределение температуры в сплошной изотропной среде описывается дифференциальным уравнением второго порядка в частных производных:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda(x,y,z)\frac{\partial T}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda(x,y,z)\frac{\partial T}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\lambda(x,y,z)\frac{\partial T}{\partial z}\right]=-P(x,y,z)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, а P – удельная мощность.

Предлагается не учитывать распределение по оси Z ввиду малой толщины. Таким образом задача сводится к двумерной. Получаем систему уравнений, описывающих распределение температуры на верхней поверхности платы T1(x,y), поверхностях внутренних слоев Tξ(x,y), ξ = 2, …, N, и на поверхности подложки печатной платы TN+1(x,y).

Уравнение на поверхности:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda_1(x,y)\frac{\partial T_1}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda_1(x,y,z)\frac{\partial T_1}{\partial y}\right]+\alpha(T_{AMB}-T_1)+\lambda_1(x,y)\frac{T_2-T_1}{Z_1}=0$$

где α - коэффициент конвективного переноса тепла.

Уравнение для границ раздела слоев:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda_\xi(x,y)\frac{\partial T_\xi}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda_\xi(x,y,z)\frac{\partial T_\xi}{\partial y}\right]+\lambda_{\xi-1}(x,y)\frac{T_{\xi-1}-T_\xi}{Z_{\xi-1}}+\lambda_\xi(x,y)\frac{T_{\xi+1}-T_\xi}{Z_\xi}=-P(x,y)$$

где N – количество слоёв, ξ – номер слоя, λ_ξ – коэффициент теплопроводности, z_ξ – толщина структурного слоя, $P(x,y)$ – удельная мощность источников тепла.

Совместно решается система двумерных дифференциальных уравнений с линейным распределением

температуры по Z для каждого слоя. Выполняется приближение производной в точке методом конечных разностей. На область, описываемую уравнением, наносится разностная сетка. В грубом приближении производная первого порядка в точке i равна:

$$\frac{T_i - T_{(i-1)}}{h_i}$$

где h-шаг разностной сетки. Построенное приближение позволяет перейти от системы дифференциальных уравнений к системе алгебраических уравнений, где неизвестными являются значения температуры в узлах сетки. Система решается при помощи итерационного метода последовательной верхней релаксации (Successive over relaxation).

Вышеописанный алгоритм [10] реализован в модуле Ядро 1 симулятора Overheat. Исходными данными модуля являются геометрические размеры, теплофизические параметры кристалла и конструктивных слоев корпуса, мощности активных элементов интегральной микросхемы, температура окружающей среды, коэффициент теплообмена. Исходные данные задаются в виде текстового файла, вводимого программой. Результатами расчёта являются двумерные матрицы температуры в узлах разностной сетки на поверхности кристалла интегральной микросхемы в виде текстового файла.

В ходе теплового моделирования применяется Ядро 2, в котором программно реализован следующий подход. Кристалл считается однородным, состоящим из полупроводника, коэффициент теплопроводности – константа. Таким образом получается линейное трехмерное уравнение теплопроводности с нулевой правой частью. Для его решения на горизонтальную поверхность накладывается равномерная разностная сетка, применяется метод конечных разностей. Благодаря этому трехмерное уравнение теплопроводности заменяется системой одномерных уравнений теплопроводности. Это обыкновенные дифференциальные уравнения, где независимая переменная – вертикальная координата z. К этой системе уравнений применяется дискретное косинус преобразование Фурье:

$$\tilde{f}_{k,i} = F(f_{i,j}) = \frac{2}{\sqrt{M_x M_y}} \sum_{i=0}^{M_x} \sum_{j=0}^{M_y} f_{i,j} \cos\frac{k\pi i}{M_x} \cos\frac{l\pi j}{M_y}$$

$$f_{i,j} = F^{-1}(\tilde{f}_{k,l}) = \frac{2}{\sqrt{M_x M_y}} \sum_{k=0}^{M_x} \sum_{l=0}^{M_y} \tilde{f}_{k,l} \cos\frac{k\pi i}{M_x} \cos\frac{l\pi j}{M_y}$$

В результате получаются изображения реальной функции по Фурье, ими являются M*N дифференциальных уравнений, не зависящих друг от друга. Каждое из них решается аналитически. Вычисляется значение на поверхности верхнего слоя и к этому решению применяется обратное косинус преобразование Фурье.

Архитектура приложения

Предлагается следующая архитектура постпроцессинговой оболочки для симулятора Overheat (Рис. 1). В разработке применяется язык C++ для быстрой [11] обработки математических операций для тысяч элементов, в том числе с перерасчётом параметров в реальном времени при взаимодействии с трёхмерной моделью. Также подавляющее число библиотек для разработки САПР написаны на C++ [12]. Обработка геометрии реализуется на основе широко распространенного в индустрии САПР стандарта OpenGL [13], позволяющего достичь высокой производительности.

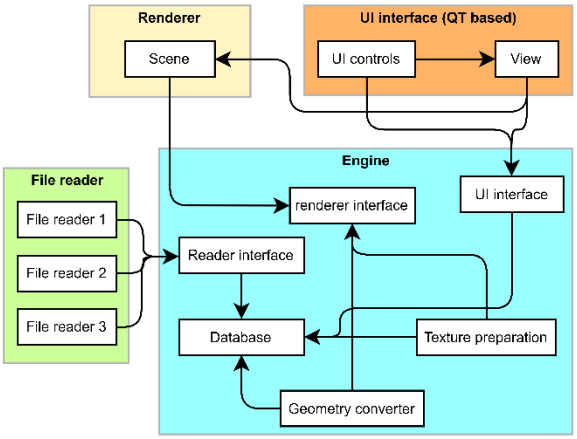


Рис.1. Архитектурная схема приложения.

Программа принимает на вход файлы геометрии интегральной схемы и результат расчёта карты теплового распределения. Затем модуль File reader осуществляет парсинг данных, и они передаются в модуль ядра программы Engine для сохранения в хранилище Database через связующий блок Reader interface. Далее происходит преобразование геометрии (Geometry converter) и тепловых карт (Texture preparation), после чего происходит их загрузка в сцену рендерера. В нем по полученной геометрии с помощью OpenGL создаются и переиспользуются необходимые буферы вершин и текстуры для отображения карт теплового распределения, цвет которых на элементах корректно интерполируется при плотности сетки температурных значений меньше, чем плотность пиксельной сетки. Таким образом пользователь получает трёхмерную цветовую визуализацию результатов теплового моделирования интегральной микросхемы.

Возможности программного решения

На момент написания тезисов разработан прототип программы, соответствующий заявленным критериям и решающий поставленную задачу (Рис. 2). Помимо вышеперечисленных возможностей программа позволяет взаимодействовать с видом трёхмерной модели во вкладке Options: изменять координату точки обзора и угол обзора, настраивать параметры отображения — установить в соответствие рассчитанным температурам цветовой диапазон, включить отображение изотерм с заданным шагом в ºC, а также применить градиентную или стратифицированную отрисовку с заданным шагом в ºC. До-

ступны иерархический список всех элементов и выбор отображаемых элементов модели (окно Shapes).

Для каждого элемента возможен просмотр значений характеристик: теплопроводность, геометрические размеры, координаты центра, температура, удельная теплоёмкость, плотность, число слоёв под элементом во вкладке Metadata.

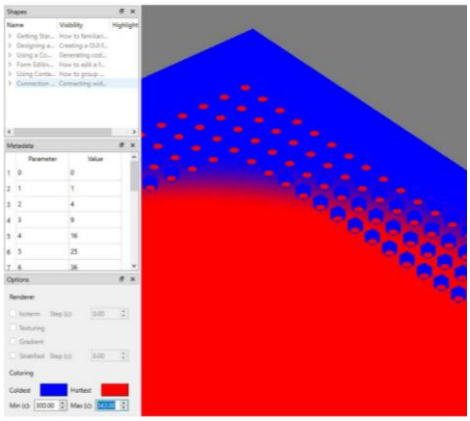


Рис.2. Прототип приложения к 15.02.2022.

Заключение

В работе проведен сравнительный анализ функциональных возможностей систем автоматизированного проектирования и разработки, включающих режим теплового моделирования интегральных микросхем. Оценка порядка стоимости этих программ подтверждает актуальность задачи разработки аналогичного приложения, используя опыт разработки МИЭМ. Была разработана пост-процессинговая оболочка для программы-симулятора Overheat, позволяющая пользователю (инженеру, ученому) получать трехмерную цветовую визуализацию модели микросхемы с тепловым распределением. Предложенное решение значительно повышает репрезентативность результатов расчета теплового распределения, а также открывает дополнительные возможности взаимодействия с трехмерной моделью и отдельными её элементами.

В продолжении данной работы планируется переработка пре-процессинговой программы Overheat с целью убрать искусственные ограничения: количество элементов и размеры разностной сетки, обусловленные особенностями языка программирования Fortran. Для данной задачи оправдано также использовать язык C++, так как для разработки программного продукта в области САПР на C++ написаны самые часто применяемые и библиотеки широкой функциональности. Переход на современные парадигмы программирования позволит быстрее и эффективнее вносить изменения по требованию заказчика программного обеспечения. Переработанный симулятор Overheat планируется использовать для построения и исследования тепловых моделей элементов радиоэлектронной аппаратуры.

Список литературы

1. Batty W., Christoffersen C. E., Panks A. J., David S., Snowden C. M., Steer M. B. // Electrothermal CAD of Power Devices and Circuits With Fully Physical Time-Dependent Compact Thermal Modeling of Complex Nonlinear 3-d Systems // IEEE Trans. Comp. and Pack. Technologies. 2001. Vol. 24. No. 4. P. 566–590.
2. Rudnyi E.V., Korvink J.G. Dynamic electro-thermal simulation of microsystems — a review // Journal of Micromechanics and Microengineering. 2005. Vol. 15. P. R17–R31.
3. ansys.com. Products // Semiconductors // Ansys RedHawk-SC Electrothermal Ansys RedHawk-SC — 2022. — https://www.ansys.com/.
4. sw.siemens.com. Siemens // Siemens Digital Industries // Software // Products // Flotherm XT — 2022. — https://www.sw.siemens.com/.
5. resolvedanalytics.com. Theflux // Comparing CFD Software // Part 1: CAD Embedded CFD — 2022. — https://www.resolvedanalytics.com/theflux/comparing-cfd-software-part-1-cad-embedded-cfd/.
6. Petrosjanc K.O., Ryabov N.I., Kharitonov I.A., Kozynko P.A. Electro-thermal simulation: a new Subsystem in Mentor Graphics IC Design Flow // EDA Publishing/THERMINIC. 2009. P. 71–74.
7. asonika-online.ru. Asinika // Price — 2022. — https://asonika-online.ru/price/.
8. comsol.ru. Comsol // Sla — 2022. — https://www.comsol.ru/sla/.
9. thermalsoftware.com. Thermalsoftware // Pricing – – 2022. — http://www.thermalsoftware.com/pricing.htm/.
10. «Методы решения сеточных уравнений, Самарский, Николаев, 1978г»
11. towardsdatascience.com. How fast is C++ compared to python — 2022. — https://towardsdatascience.com/how-fast-is-c-compared-to-python-978f18f474c7.
12. cadalyst.com. Management // CAD programming intro 2021 — 2022. — https://www.cadalyst.com/management/cad-programming-intro-2021-78837.
13. opengl.org. OpenGL — 2022. — https://www.opengl.org/.

ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ СБОЕВ РЭА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С УЧЕТОМ МЕТОДОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ

Полуйко Е.Ю., Иванов Г.И.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В ходе эксплуатации космические аппараты и их аппаратура постоянно подвергаются воздействию ионизирующих излучений, таких как тяжелые заряженные частицы (ТЗЧ) и высокоэнергичные протоны (ВЭП). Воздействие ТЗЧ и ВЭП приводит к возникновению одиночных сбоев и отказов в аппаратуре.

Поэтому при проектировании устройств, которые будут использоваться на космических аппаратах, необходимо принимать соответствующие меры для парирования сбоев и исключения отказов. В данной статье представлен метод расчета частоты сбоев при воздействии ТЗЧ и ВЭП, позволяющий учитывать помехоустойчивое кодирование.

Введение

Важным критерием для современной электроники является устойчивость к самым разным условиям эксплуатации, как например в космосе. Хорошо известно, что на функционирование БРЭА (бортовой радиоэлектронной аппаратуры) в околоземном и межпланетном пространстве влияет много различных факторов, каждый из которых может вызвать сбой или отказ всей системы. В общем случае необходимо принимать во внимание воздействие ТЗЧ и ВЭП[1].Оценка частоты сбоев бортовой аппаратуры при этом проводится в соответствие с нормативной документацией, которая требует учитывать методы парирования сбоев в ЭРИ. Однако, в настоящее время не разработаны методики, которые бы позволяли проводить оценку частоты сбоев ЭРИ с учетом помехоустойчивого кодирования, примерами которого являются коды Хемминга и Рида-Соломона[2]. Поэтому разработка методов оценки частоты сбоев бортовой аппаратуры при воздействии ТЗЧ и ВЭП с учетом применения помехоустойчивого кодирования является актуальной задачей.

Основная часть

Помехоустойчивое кодирование – добавление дополнительной проверочной информации, используемой для кодирования/декодирования передаваемой информации. Передающая сторона при этом имеет кодер, а принимающая декодер. Наиболее часто используемыми кодами являются коды Рида-Соломона и Хэмминга. Их преимущество состоит в том, что они могут не только обеспечивать обнаружение и исправление одиночных ошибок, но также используют минимально возможное число проверочных бит, что в свою очередь снижает вычислительные затраты при их использовании[3].

В качестве объекта исследования нами выбран микроконтроллер (МК) 1986ВЕ8Т (32-разрядный микроконтроллер с повышенной стойкостью к СВВФ на базе микропроцессорного RISC ядра). Микроконтроллер работает на тактовой частоте до 100 МГц, содержит 128 Кбайт однократно программируемое ПЗУ(постоянное запоминающее устройство) с ECC (SEC-DED) и 32 Кбайт статическое ОЗУ (оперативное запоминающее устройство) ECC (SEC-DED)). Известно, что сбои в МК могут происходить в разных местах, но при этом самыми чувствительными областями являются ОЗУ и ПЗУ. По этой причине в нем исправления проводиться не могут, а ошибки корректируются перезагрузкой. Поэтому при расчетах следует учитывать параметры одиночных сбоев в ОЗУдля ТЗЧ и для ВЭП космической аппаратуры.

В общем случае частота сбоев и отказов РЭА за счет действия ТЗЧ и ВЭП космического пространства определяется по формуле[4]:

$$\nu_{\text{ТРЭА}} = \sum_{i=1}^{n} n_{\text{ИЭТ}.i}\left[\sigma_{\text{ТЗЧ.наси}} \cdot F_{\text{ТЗЧ}}(\geq L_0) + \sigma_{\text{р.наси}} \cdot F_p(\geq E_{0p})\right] = 4{,}348 \cdot 10^{-4}\left(\frac{1}{c}\right), \quad (1)$$

- где $\nu_{\text{ТРЭА}}$- число сбоев в аппаратуре в единицу времени, $с^{-1}$;$n_{ИЭТ.i}$ – количество ИЭТ (изделий электронной техники) i-ого типа, при этом n=1;$\sigma_{\text{ТЗЧ.наси}}$ и $\sigma_{\text{р.наси}}$ – значения насыщения сечений возникновения одиночных эффектов (сбоев или катастрофических отказов) в ИЭТ для 32-разрядного микроконтроллера 1986ВЕ8Т;$F_{\text{ТЗЧ}}$ ($>L_0$) – интегральный ЛПЭ (линейная пороговая энергия) спектр средней плотности потока ТЗЧ, част.$см^{-2}$.$с^{-1}$;Fp($>E_{0p}$) – интегральный энергетический спектр средней плотности потока протонов, част.$см^{-2}с^{-1}$.

Параметры чувствительности по различным одиночным эффектам для 32-разрядного МК 1986ВЕ8Т были взяты из протокола радиационных испытаний. Интегральный поток и сечение насыщения МК, использованные для данного расчета, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры чувствительности по различным одиночным эффектам для 32-разрядного МК 1986ВЕ8Т

Вид излучения	**ТЗЧ**		**ВЭП**	
	$\boldsymbol{F}_{\text{ТЗЧ}}$, МэВ·$см^2$/мг	$\boldsymbol{\sigma}_{\text{ТЗЧ.наси}}$, $см^{-2}$	$\boldsymbol{F_p}$, МэВ	$\boldsymbol{\sigma_{p.наси}}$, $см^{-2}$
ГКЛ	$2{,}87\cdot10^{-3}$	$6{,}55\cdot10^{-4}$	4,76	$5{,}24\cdot10^{-10}$
СКЛ	$6{,}60\cdot10^{-1}$		4,62	
ЕРПЗ	-		733	

Согласно существующей методике, частота критических сбоев для каждой микросхемы, в том числе и для МК 1986ВЕ8Т, определяется раздельно для заряженных частиц ГКЛ, СКЛ и ЕРПЗ с учетом толщины защиты. Затем полученные частоты складываются и результат подставляется в формулу вероятности возникновения одинарного катастрофического отказа[5]:

$$Pсб = 1 - \exp(-\nu_{\text{ТРЭА}} \cdot t) = 4{,}347 \cdot 10^{-4}, \quad (2)$$

где t – время, в течение которого МК 1986ВЕ8Т находится в рабочем состоянии, t = 1с; $\nu_{\text{ТРЭА}}$- число сбоев в аппаратуре в единицу времени,$с^{-1}$, с учётом принятых мер по предотвращению отказов ИЭТ, чувствительных к одиночным отказам. Отсюда легко можно выразить период, за который будет возникать одинарная критическая ошибка:

$$T = \frac{1}{\nu_{\text{ТРЭА}} \cdot 3600} = 0{,}639 \text{ часов} \approx 38 \text{ минут} \qquad (3)$$

Как видно из проведенного расчета, период возникновения ошибки составляет 38 минут, что может приводить к функциональному сбою МК, который требует для восстановления функционирования перезагрузки. Однако, данный расчет не учитывает влияние помехоустойчивого кодирования на частоту сбоев в МК и не отображает реальной вероятности появления ошибки. Поэтому была предложена методика, позволяющая учитывать влияние помехоустойчивого кодирования на частоту сбоев. Этот метод позволит определить вероятность появления ошибки и существенно расширит возможности существующих методов расчета частоты сбоев.

Расчеты частоты сбоев с применением помехоустойчивого кодирования

При проектировании систем передачи информации оценка достоверности обмена информацией определяется допустимой вероятностью искажения сообщений Рош. При этом указывается вероятность искажения двоичного символа передаваемого сообщения Рсб. Из этого следует, что вероятность отсутствия искажения в случае действия независимых ошибок в канале связи может быть записана как (1-Рсб). Тогда вероятность передачи данных при условии возникновения одинарной ошибки в слове, содержащей n символов, равняется:

$$P_{\text{ПР}} = (1 - \text{Рсб})^n , \qquad (4)$$

где Рсб - вероятность возникновения ошибки в слове в конкретной микросхеме; Рсб = $4.347 \cdot 10^{-4}$, которое получается из предыдущего расчёта с учётом параметров чувствительности микросхемы к воздействию ТЗЧ и ВЭП. В данном случае разрядность слова совпадает с разрядностью исследуемого микроконтроллера, n = 32.

Из выражения (4) следует, что вероятность ошибки при передаче данных при условии возникновения одинарной ошибки в слове из ***n*** символов может быть получена в виде:

$$P_{\text{ошибки}} = 1 - (1 - \text{Рсб})^n , \qquad (5)$$

Использование избыточных кодов позволяет исправлять или находить ошибки в зависимости от кодового расстояния ту или иную кратность независимых ошибок. Поэтому для оценки эффективности кодов нужно знать вероятность появления *i*-кратных независимых ошибок (где *i*=1,2,3 и т. д.) в слове из n символов:

$$P_{\text{ош}} = C_n \cdot \text{Рсб}^i \cdot (1 - \text{Рсб})^{n-i} , \qquad (6)$$

$C_n = \frac{n!}{i!\,(n-i)!}$ - количество возможных i-кратных независимых ошибок в слове длиной n=32 символам, *i*=1,2,3 и т. д.;

В таблице 2 представлены численные значения для вероятности ошибки при передаче данных с кратностью от 1 до 4.

Таблица 2. Вероятности ошибки при передаче данных с кратностью от 1 до 4

$P_{\text{ош}}$ *при i=1, n = 32*	$P_{\text{ош}}$ *при i=2, n = 32*	$P_{\text{ош}}$ *при i=3, n = 32*	$P_{\text{ош}}$ *при i=4, n = 32*
0,014	$9{,}252 \cdot 10^{-5}$	$4{,}024 \cdot 10^{-7}$	$1{,}269 \cdot 10^{-9}$

$$P_{\text{исп}} = \sum_{i=1}^{2} \left[\frac{n!}{i!\,(n-i)!} \cdot \text{Рсб}^i \cdot (1 - \text{Рсб})^{n-i} \right], \qquad (7)$$

- где $P_{\text{исп}}$ –вероятность исправления для кодов, исправляющих ошибки кратности до ***i.*** Сумма берется для количества ошибок от 1 до 2, так как значения вероятности ошибок с кратностью более 2 пренебрежимо малы.

Далее рассчитывается вероятность появления неисправляемой ошибки:

$$P_{\text{и\_о}} = P_{\text{ошибки}} - P_{\text{исп}} . \qquad (8)$$

Частоту сбоев с учетом помехоустойчивого кодирования можно определить из выражения для вероятности появления неисправимых ошибок:

$$P_{\text{и\_о}} = 1 - \exp(-\nu \cdot t) , \qquad (9)$$

- где ν - искомая частота; t – время, за которое проводится анализ.

Для этих расчетов был выбран временной интервал t = 1 с. За этот промежуток времени проходит около $1 \cdot 10^8$ тактов обработки информации, что вполне достаточно для оценки частоты критических сбоев бортовой аппаратуры.

Выражая из уравнения (9) частоту с помощью натурального логарифма, получаем следующее выражение:

$$\nu = \frac{-\ln(1 - P_{\text{и\_о}})}{t} = 4{,}04 \cdot 10^{-7} \qquad (10)$$

Далее для наглядности выражаем период Т через полученное значение частоты:

$$T = \frac{1}{\nu 3600 \cdot 24} = 28{,}675 \text{ дней}, \qquad (11)$$

Таким образом, представленный расчетный метод позволит определить частоту сбоев с учетом помехоустойчивого кодирования. При этом период появления функционального сбоя МК увеличился с 38 минут до 28 дней.

Вывод

В работе была представлена методика расчета частоты сбоев, позволяющая проводить расчеты с учетом применения помехоустойчивого кодирования, что существенно расширяет возможности существующих методов оценки влияния одиночных сбоев на функционирования бортовой аппаратуры космических аппаратов при воздействии ТЗЧ и ВЭП.

По результатам расчета можно сделать заключение, что учет влияния помехоустойчивого кодирова-

ния существенно (более 1000 раз)уменьшает частоту сбоев в аппаратуре.

Применение данного метода позволяет уточнить частоту сбоев и более точно проводить оценку влияния одиночных сбоев на функционирование бортовой аппаратуры космических аппаратов при воздействии ТЗЧ и ВЭП.

Список литературы

1. Жаднов Валерий, Полесский Сергей, Артюхова Майя, Прохоров Вячеслав. Обеспечение радиационной стойкости аппаратуры космических аппаратов при проектировании // Компоненты и технологии. – 2010–№9.
2. Справочник. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы. // С. 27–28
3. Учебныематериалы ОКСО 210000. Электронная техника, радиотехника и связь. Лекции для преподавателей и студентов ВУЗ. // Лекция 7. Корректирующие коды.
4. РД 134-0139-2005. Нормативный документ по стандартизации РКТ. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование космических аппаратов.
5. К.И. Таперо, В.Н. Улимов, А.М. Членов. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения // Москва, 2009

МЕТОД ВАЛИДАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ

Уркунов А.К., Федоров Н.Г.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В рамках работы проведен обзор и анализ существующих математических моделей показателей надежности резисторов. Проведено изучение зависимости эксплуатационной интенсивности отказов от температуры. Осуществлены прогнозирование и теоретическая валидация показателей безотказности на отрицательном диапазоне температур. Разработан программно-аппаратный комплекс и применена методика проведения ускоренных испытаний.

Введение

Стремительно развивающиеся технологии способствуют расширению географии применения современных объектов электроники. Все более актуальным становится эксплуатация электронных приборов в ближнем и дальнем космосе – всевозможные спутники, орбитальные научные телескопы, ракеты-носители. Кроме того, аппаратура также применяется в северных регионах – Ямало-Ненецкий Автономный Округ, Новая Земля.

Проведено множество различных испытаний для определения математических моделей (ММ) показателей надежности электрорадиоизделий (ЭРИ) [1]-[3]. Одним из основных показателей является эксплуатационная интенсивность отказов (ЭИО). Существует более 12 справочников по теме надежности, и ММ ЭИО, представленные в них, имеют ограничения по диапазону температур – не учитывается область отрицательных температур, так как ММ построены на основе формулы Аррениуса, показывающей зависимость скорости реакции от температуры [4]. Вследствие ограниченности ММ ЭИО становится невозможным корректное определение показателей надежности при отрицательных температурах. Более того, для проверки значений ЭИО, получаемых в результате прогнозирования, необходимо проведение испытаний длительностью в десятки лет, поэтому в рамках данной работы предложена методика их проведения и структура соответствующего стенда.

Цель работы заключается в повышении достоверности ММ ЭИО при отрицательных температурах. Задачами являются анализ существующих ММ ЭИО [1]-[3], анализ и проверка данных о зависимости характеристик резисторов от температуры [5]-[6], разработка прогнозной модели и предсказание значений ЭИО ЭРИ при отрицательных температурах, разработка программно-аппаратного комплекса и применение методики ускоренных испытаний.

Обзор и анализ существующих математических моделей эксплуатационной интенсивности отказов

В рамках данной работы рассмотрены ММ ЭИО резисторов группы «Тонкопленочные» из трех справочников по надежности [1]-[3].

ММ ЭИО (1), приведенная в справочнике [1], разработанного 22 Центральным научно-исследовательским испытательным институтом МО РФ (22 ЦНИИИ МО РФ) корректна для диапазона температур от +25 °С до +100 °С.

$$\lambda_э = \lambda_б K_р K_{сл} K_{корп} K_{техн} K_э K_{пр}. \quad (1)$$

Расшифровка коэффициентов приведена в таблице 1:

Таблица 1. Описание коэффициентов ММ ЭИО [1]

Коэффициент	Описание
$\lambda_б$	базовая интенсивность отказов, определяется по таблице характеристик надежности, 1/ч
$K_р$	коэффициент режима, зависит от температуры и электрической нагрузки
$K_{сл}$	коэффициент слоя
$K_{корп}$	коэффициент корпуса
$K_{техн}$	коэффициент технологии
$K_э$	коэффициент эксплуатации, зависит от степени жесткости эксплуатационных условий, определяет отношение интенсивности отказов ЭРИ в аппаратуре конкретного класса (группы эксплуатации по ГОСТ Р В 20.39.304-98 [7]) для определенной группы изделий при прочих равных

	к интенсивности отказов в наземной стационарной аппаратуре (группа 1.1 по [7])
$K_{пр}$	коэффициент приемки

ММ ЭИО, приведенные в справочниках [2] и [3] имеют одинаковое представление (2). Отличия существуют только в способе расчета коэффициентов, таких как базовая интенсивность отказов, входящих в состав ММ, и представленных в таблице 2.

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_R \pi_Q \pi_E, \quad (2)$$

Таблица 2. Описание коэффициентов ММ ЭИО [2] и [3]

Коэффициент	Описание
$\lambda_б$	базовая интенсивность отказов, 1/ч
π_R	коэффициент режима, зависит от температуры и электрической нагрузки
π_Q	коэффициент слоя
π_E	коэффициент корпуса

Кроме того, ММ ЭИО, представленные в [2] и [3], корректны для диапазонов температур 0 °С до +125 °С и 0 °С до +170 °С соответственно.

Для дополнительного доказательства ограниченности представленных ММ, построены графики их зависимости от температуры на диапазоне температур от –55 °С до +170 °С. Полученные графики представлены на рисунке 1:

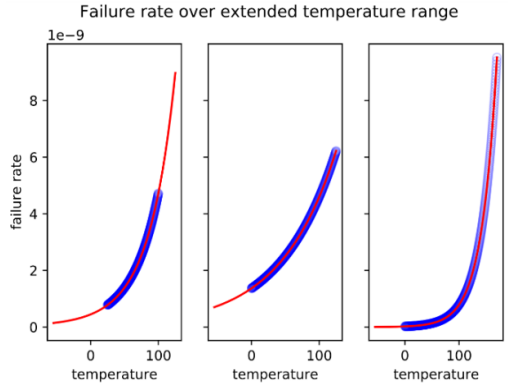


Рис.1. Структура блока управления стенда для проведения ускоренных испытаний электрорадиоизделий

Синим цветом обведены значения, входящие в диапазон корректных для каждого из справочников температур.

На рисунке 1 видно, что при отрицательных температурах ЭИО не увеличивается, что является некорректным, так как при отрицательных температурах возникают деградационные процессы, увеличивающие вероятность отказов ЭРИ.

Обзор и анализ исследований зависимости характеристик резисторов от температуры

Существует множество характеристик резисторов, зависящих от температуры. Две из них: температурный коэффициент сопротивления (ТКС) и сдвиг сопротивления (СС). ТКС определяет стабильность и диапазон рабочих температур, СС показывает изменение относительного сопротивления в зависимости от температуры. Формулы ТКС (3) и СС (4) представлены далее:

$$\text{ТКС} = \frac{\triangle(|R_t - R_0|/R_0)}{|T - T_0|} = \frac{\triangle(\triangle R/R_0)}{\triangle T}, \quad (3)$$

$$\text{СС} = |R_t - R_0|/R_0 = \triangle R/R_0 = f(t), \quad (4)$$

В таблице 3 представлены описания коэффициентов, входящих в состав (3) и (4):

Таблица 3. Описание коэффициентов ММ ТКС и СС

Коэффициент	Описание
R_t	сопротивление при температуре t
R_0	сопротивление при t = +25 °С
T	температура
T_0	нормальная температура (+25 °С)

В статьях [5] и [6] описано исследование зависимости ТКС и СС от температуры суммарно для 8 тонкопленочных резисторов (ТПР) на расширенном диапазоне температур (–55 °С до +125 °С). Исходя из (3) и (4) выводим, что ТКС является первой производной СС. На основе вышеприведенных выводов, обработаны в окружении Google Colab [8] таблицы с данными из [5] и [6]. На рисунках 2 и 3 представлена визуализация значений из этих исследований (6 линейных и 2 пузырчатых диаграммы):

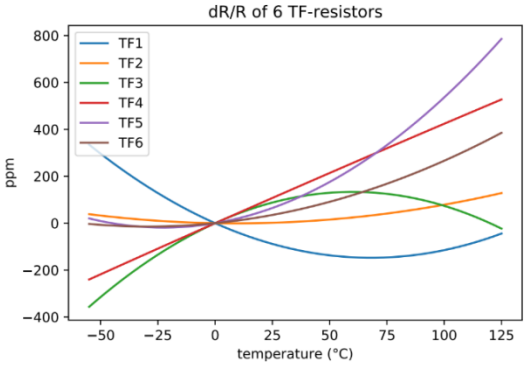


Рис.2. Сдвиг сопротивления для 6 ТПР из [5]

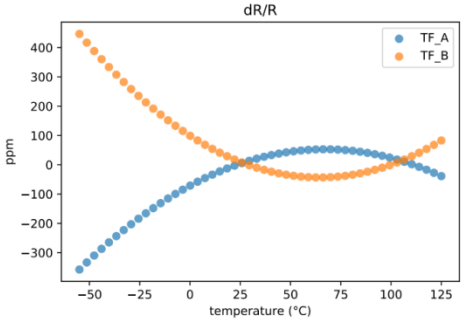


Рис.3. Сдвиг сопротивления для 2 ТПР из [5]

Валидация данных и прогнозирование значений эксплуатационной интенсивности отказов

Для валидации данных, полученных в предыдущем пункте, была построена корреляционная матрица для поиска зависимости между значениями СС с рисунков 2 и 3 и значениями ЭИО из [1]-[3]. Был определен резистор, экспериментальные данные СС которого наиболее коррелировали с ЭИО.

Была разработана программа на языке программирования Python [9], основанная на методе машинного обучения LinearRegression (линейная регрессия). Набор данных, получаемых на вход программы, представляет таблицу с двумя атрибутами: температура и значения СС выбранного ТПР. На основе этих значений методом линейной регрессии прогнозируются значения ЭИО на расширенном диапазоне температур.

Спрогнозированные значения ЭИО ТПР были провалидированы на диапазоне температур от +25 °С до +100 °С, так как ММ ЭИО [1] корректны для данного диапазона. Определены значения коэффициента детерминации и среднеквадратичное отклонение (СКО) от значений ММ ЭИО [1] и представлены в таблице 4. Коэффициент детерминации стремится к 1, СКО – к 0, что подтверждает корректность спрогнозированных значений.

Таблица 4. Коэффициент детерминации и СКО

Коэффициент	Значение
Детерминация	0.9986221010532798
СКО	4.172777995986538e-11

Далее полученные значения были аппроксимированы до полинома третьей степени, так как такая функция наиболее точно описывает поведение значений на векторе температур. Таким образом, получена макромодель ЭИО ТПР (5):

$$\lambda_э = 10^{-29}T^3 + 6 * 10^{-13}T^2 - 3 * 10^{-11}T + 10^{-9}, \quad (4)$$

где $\lambda_э$ – ЭИО, T – температура.

Методика ускоренных испытаний

Для определения интенсивности отказов в диапазоне температур от –55 °С до +125 °С требуется соответствующее оборудование и методика испытаний.

ЭРИ подчиняются экспоненциальному закону [10], при котором распределение вероятности отказа и плотность распределения отказов во времени описываются выражением (5):

$$\mathrm{F}(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (5)$$

Средняя интенсивность отказов резисторов группы «Тонкопленочные» составляет $2 * 10^{-6}$ [1/час] [11], следовательно, наработка на отказ составляет 57 лет, и необходимо ускорять испытания. Для этого в рамках данной работы применена методика ускоренных испытаний [12]. Коэффициент ускорения испытаний по всем ускоряющим факторам обозначается $K_У$ и вычисляется по формуле (6):

$$K_У = K_T * K_{ЭН} * N, \quad (6)$$

где K_T – коэффициент ускорения по температуре, $K_{ЭН}$ – коэффициент ускорения по электрической нагрузке, N – количество одновременно испытываемых образцов ЭРИ. Отсюда следует, что в ходе испытаний необходимо подавать различную электрическую нагрузку на резисторы и фиксировать значения их сопротивлений при разных температурах.

Структура стенда

Был разработан стенд, состоящий из климатической камеры, вычислительного модуля, экспериментального модуля, блока питания на 12В и модуля передачи данных в сеть Интернет.

Климатическая камера представляет собой испытательное оборудование для исследования влияния различных факторов на изучаемые объекты. Такие воздействия позволяют определить значения вероятности сохранения работоспособности устройства.

Резисторы обладают меньшей интенсивностью отказов, чем электронная компонентная база, измеряющая значения сопротивлений на них. Вследствие этого были разработаны два модуля: экспериментальный и вычислительный. Экспериментальный модуль, помещаемый в климатическую камеру, представляет собой плату с резисторами и контактами. Вычислительный модуль выполнен на ESP8266 и состоит из защиты от короткого замыкания, реле, схемы измерения сопротивления, мультиплексора, счетчика, сдвиговых регистров, микроконтроллера и Wi-Fi модуля. Схема модуля измерения представлена на рисунке 4:

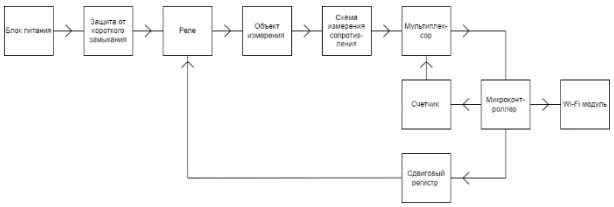


Рис.4. Схема модуля измерения

Общий принцип измерения сопротивления резисторов построен на схеме неинвертирующего операционного усилителя с положительной обратной связью и представлен на рисунке 5:

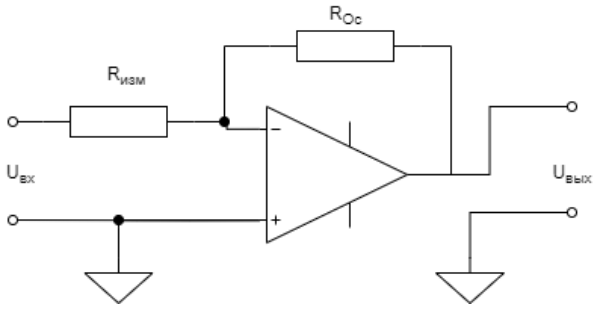


Рис.5. Схема измерения сопротивления

Общая формула измерения сопротивления имеет вид (7):

$$R_{\text{изм}} = \frac{U_{\text{вх}} \cdot R_{\text{ос}}}{U_{\text{вых}}}, \quad (7)$$

где $R_{\text{изм}}$ – сопротивление тонкопленочного резистора на экспериментальном модуле, $U_{\text{вх}}$ – напряжение с блока питания, $R_{\text{ос}}$ – сопротивление резистора обратной связи, меняя который можно менять диапазон измерения сопротивления, $U_{\text{вых}}$ – напряжение, считываемое вычислительным модулем. В случае короткого замыкания на измеряемом резисторе, стоит защита на 250мА, для того чтобы ток не превысил допустимые значения на операционном усилителе и далее на мультиплексоре.

Для подачи напряжения с блока питания на измеряемый резистор, в первую очередь, требуется подать напряжения на реле. Это сделано для того, чтобы можно было моделировать ненагруженный резерв. Также в модуле есть сдвиговые регистры, уменьшающие количество портов, необходимых для управления всей схемой открытия реле. Напряжение со схемы измерения сопротивления передается на мультиплексор, подключенный к счетчику. Подавая тактирующий сигнал на счетчик и регистр с МК, можно синхронизировать схему измерения.

Также в данном модуле предусмотрена передача данных в сеть интернет и логирование из-за длительного времени ожидания результата эксперимента.

Заключение

Таким образом, в рамках данного проекта разработана макромодель для расчета ЭИО на расширенном диапазоне температур, и полученные значения проверены на основе сравнения с данными из справочников испытаний. Кроме того, разработана структура программно-аппаратного модуля для проведения ускоренных испытаний резисторов и применена методика, учитывающая изменение температуры, электрической нагрузки и количество элементов. Более того, макромодель и модуль можно использовать не только в производственных целях, но и в научных – в рамках соответствующих научных дисциплин для проведения практических занятий.

Список литературы

1. Надежность ЭРИ 2006: справочник. – М.: МО РФ, 2006. – 641 с.

2. Reliability Prediction Model For Electronic Equipment (From Chinese Standard GJB/z 299B) Part One: Part Stress Analysis Prediction // Translated By: Beijing Yuntong Forever Digital Controlling Technology Co. Ltd., May 2001, p. 104.

3. Military Handbook (1991). Reliability prediction of electronic equipment. MIL-HDBK-217F, 205 p.

4. Уравнение Аррениуса. / Фонд знаний «Ломоносов», Энциклопедия. – 2010.

5. Ф. Зендмен and Д. Шварц, “Non-Linearity of Resistance/Temperature Characteristic: Its Influence on Performance of Precision Resistors,” Vishay Foil Resistors, Tech. Note 108, pp.1-10, 2018.

6. Р. Голдштейн, “Interpretation of TCR Specifications for Precision Resistors,” Vishay Foil Resistors, Tech. Note 111, pp.1-6, 2018.

7. ГОСТ РВ 20.39.304-98. Менеджмент риска. Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам [Дата введения 1998-07-09]. - М.: МО РФ, 1998. (Руководящий документ).

8. T. Carneiro, R. V. Medeiros Da NoBrega, T. Nepomuceno, G. B. Bian, V. H. C. De Albuquerque, and P. P. R. Filho, “Performance Analysis of Google Colaboratory as a Tool for Accelerating Deep Learning Applications,” IEEE Access, vol. 6, no. 1, pp. 61677-61685, 2018.

9. A. Navlani, A. Fandango, and I. Idris, Python Data Analysis: Perform data collection, data processing, wrangling, visualization, and model building using Python. Бирмингем, Великобритания: Packt Publishing, 2021.

10. Испытания на надежность: Реферат/ФГУП «НПО "Орион"», 2006.

11. I. N. Orlov, ed. Elektrotekhnicheskii spravochnik: v 4 t. [The electrotechnical reference book: in 4 vol.]. 9th ed. Moscow, MEI Publ., 2003.

12. Методы ускоренных испытаний на надежность приборов, устройств и модулей АСУ ВМФ. Л. И. Сулейманова, А. И. Ляхов. УДК 004.415.2.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Демокидов А.Р., Бичурина Е.П.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В разработанной методике проведения входного контроля источников вторичного электропитания (ИВЭП) приводятся способы проверки параметров импульсных ИВЭП с помощью программно-аппаратного комплекса. Методика создана на основе требований и стандартов качества блоков питания (БП), а также существующих методов измерения параметров электрических приборов.

Введение

На мировом рынке порядка 30% источников вторичного электропитания составляют некачественные аналоги, параметры и характеристики которых не соответствуют заявленным производителями.



Рис.1. Причины неисправностей БП

В конце 2020 года Gigabyte представила модульные блоки питания GP-P750GM. Портал Gamers Nexus провёл расследование и выяснил, что эти модели демонстрируют серьёзный процент брака. На рисунке 1 приведены причины неисправностей данного блока питания.

«Некачественный» ИВЭП может привести к выходу из строя радиотехническое устройство. Кроме того, отсутствуют эффективные методы, позволяющие проводить входной контроль блоков питания.

На текущий момент на мировом рынке представлены контрольно-измерительные системы либо стационарные, автоматизированные с высокой стоимостью, либо мобильные, но с ручным управлением. Кроме того, отсутствуют эффективные методики, позволяющие проводить входной контроль ИВЭП, учитывая тепловые параметры.

Цель разработанной методики - повысить эффективность проведения входного контроля источников вторичного электропитания.

Задачи исследования:

1. Общий обзор анализ выпуска продукции на предприятии, проведения входного и выходного контроля.
2. Выполнение общего обзора ИВЭП компьютерной техники.
3. Обзор схем электрических принципиальных (СЭП) блоков питания.
4. Проведение анализа основных параметров выходных характеристик ИВЭП (требования для их оценки с учетом тепловых параметров).
5. Изучение документации ИВЭП.
6. Обзор и анализ программно-аппаратных комплексов (ПАК) для проведения входного контроля.
7. Проведение анализа основных методов и средств контроля ИВЭП и существующих стандартов, регламентирующих процедуру контроля ИВЭП.
10. Разработка методики и алгоритма проведения входного контроля ИВЭП.

В данной работе описана методология контроля импульсных источников вторичного электропитания с учетом как времени переходных электрических процессов в электрических цепях, так и времени переходных тепловых процессов перед измерением электрических параметров и краткий пользовательский алгоритм.

Методика проведения входного контроля источников вторичного электропитания

Электрорадиоизделия (ЭРИ), установленные на печатные узлы блоков питания зависят от температуры. Каждое ЭРИ имеет свою индивидуальную рассеиваемую мощность в зависимости от приложенной нагрузки. Тепловой поток, исходящий от поверхности электрорадиоизделий внутри корпуса ИВЭП имеет свойство распределяться по всему объему и позволяет сформировать температуру внутри ИВЭП, зависящую от материала ЭРИ и от их формы. Поэтому спустя некоторое время достигается стационарный тепловой режим, при котором электрофизические параметры ЭРИ тоже становятся постоянными.

В начале проведения входного контроля нужно подключить ИВЭП к контрольно-измерительному модулю (КИМ) и включить КИМ. В программе необходимо выбрать последовательный порт, к которому подключён контрольно-измерительный стенд. Настройка выходного тока производится изменением скважности и включением/выключением каналов. Вычисляется выходной ток по формуле тока RMS $I_{HRMS} = \sqrt{\left(\frac{U_{PS}}{R_H}\right)^2 \frac{s}{100}}$, где U_{PS} – выходное напряжение ИВЭП, R_H – нагрузка канала, s – скважность. Скважность – это безразмерная величина, одна из основных характеристик импульсных систем, определяющая отношение периода повторения импульсов к длительности импульса: $s = \frac{T}{\tau}$, где T – период импульсов, τ – длительность импульса.

Прежде всего необходимо импульсный ИВЭП вывести на стационарный режим при заданной электрической нагрузке согласно паспорту или сведений, содержащихся в базе данных. Процедуру начинает человек-оператор.

В процессе изучения при моделировании тепловых процессов, в частности определения времени выхода ИВЭП на стационарный тепловой режим, было выявлено что установившийся процесс выбранных компонентов (особенно нагруженных) ИВЭП наступает по истечению триста секунд, но при снижении нагрузки время выхода на данный процесс уменьшается до двухсот секунд. Таким образом, для выхода ИВЭП на стационарный тепловой режим достаточно уделить пять минут.

Следующим этапом происходит измерение основных параметров БП с помощью контрольно-измерительного модуля, руководствуясь ГОСТ.

Необходимо установить допустимую по паспорту величину входного напряжения, по графику определить выходное напряжение $U_{вых}$. Измерить выходное напряжение без нагрузки $U_{бн}$ и при полной нагрузке $U_{бн}$.

После измерения рассчитываются дополнительные параметры, такие как мощности, уровень пульсаций, КПД и др.

Вычислить погрешность установки выходного напряжения по формуле: $\Delta U_{\text{вых.н}} = U_{\text{бн}} - U_{\text{н}}$

Нестабильность входного напряжения при изменении тока нагрузки – разность между входным напряжением без нагрузки $U_{\text{бн.вх}}$ и входным напряжением при максимальной нагрузке $U_{\text{н.вх}}$: $\Delta\text{Uвх.н} = U_{\text{бн.вх}} - U_{\text{н.вх}}$. Коэффициент стабилизации выходного напряжения: $\text{Ku} = \frac{\Delta\text{Uвх.н}}{\Delta\text{Uвых.н}}$. Внутреннее сопротивление источника питания: $\text{Rвн} = \frac{U_{\text{бн}} - U_{\text{н}}}{I_{\text{вх}}}$. Коэффициент полезного действия: $\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} * 100$.

$P_{\text{вых}} = I_{\text{вых}} * U_{\text{вых}},\ P_{\text{вх}} = I_{\text{вх}} * U_{\text{вх}}$.

Затем нужно подать напряжение значительно больше, чем указанно в паспорте изделия. По графику входного напряжения зафиксировать присутствие или отсутствие защиты от коротких замыканий.

Специальное программное обеспечение анализирует результаты входного контроля и сравнивает с БД на соответствие стандартам. После проведения оценки результатов контроля определяется техническое состояние ИВЭП.

Если не было обнаружено неисправное состояние, происходит изменение электрической нагрузки. Это действие должно выполняться только при установки импульсного ИВЭП в стационарный режим работы. Далее повторяются процедуры, и определяется техническое состояние, которое является результатом контроля.

Интерфейс программы

Клиентское приложение содержит 3 основных окна: окно выбора блока питания, окно добавления блока питания, окно измерений. Окно проведения измерений изображено на рисунке 3.

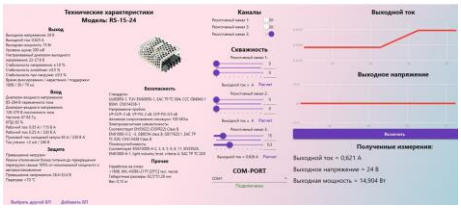


Рис.2. Виртуальный интерфейс для измерений параметров ИВЭП

Алгоритм проведения входного контроля параметров импульсных ИВЭП

Данный алгоритм представлен на рисунке 3.

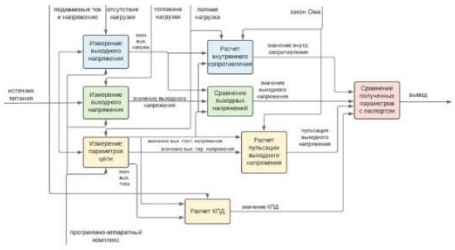


Рис.3. IDEF0 диаграмма алгоритма проверки ИВЭП

1. Запустить интерфейс пользователя. Выбрать записанный ИВЭП или внести новый. Записать технические характеристики ИВЭП согласно паспорту.

2. Подключить ИВЭП к КИМ и включить КИМ. В программе выбрать comport.

3. Установить допустимую по паспорту величину входного напряжения, по графику ,который выводится в виртуальном интерфейсе (рисунок 2) определить выходное напряжение Uвых.

4. Измерить выходное напряжение без нагрузки и при полной нагрузке. Настройка выходного тока производится изменением скважности и включением/выключением каналов. В режиме постоянного тока через электронную нагрузку протекает ток в соответствии с заданным значением тока на установленном канале.

5. Посчитать погрешность установки выходного напряжения по формуле: $\Delta U_{\text{вых.н}} = U_{\text{бн}} - U_{\text{н}}$ нестабильность входного напряжения при изменении тока нагрузки:

Рассчитать коэффициент стабилизации выходного напряжения: $\text{Ku} = \frac{\Delta\text{Uнестаб.вых}}{\Delta\text{Uвых.н}}$

6. Рассчитать внутреннее сопротивление источника питания: $\text{Rвн} = \frac{U_{\text{бн}} - U_{\text{н}}}{I_{\text{вх}}}$

7. Рассчитать коэффициент полезного действия: $P_{\text{вых}} = I_{\text{вых}} * U_{\text{вых}},\ P_{\text{вх}} = I_{\text{вх}} * U_{\text{вх}}, \eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} * 100$

8. Подать напряжение значительно больше, чем указанно в паспорте изделия. По графику входного напряжения зафиксировать присутствие или отсутствие защиты от коротких замыканий.

9. Сравнить получившиеся значения с паспортом ИВЭП.

10. Установленные значения в ПО выключить/обнулить. Выключить КИМ. Отсоединить ИВЭП.

Заключение

Разработана методика проведения входного контроля ИВЭП. Методология включает в себя подробное описание каждого измерения, диаграмму и пошаговый алгоритм действий. Алгоритм аргументирован и понятен для пользователей.

По данной методике осуществляется проверка следующих параметров: выходное напряжение, коэффициент стабилизации, внутреннее сопротивление, потребляемая мощность, КПД; защита от короткого замыкания. Разработанная методология для проведения входного контроля ИВЭП может использоваться на предприятиях, в сервисных центрах и в учебных целях, используя ПАК как лабораторный стенд.

Список литературы

1. Тепловые режимы вторичных источников питания. [Электронный ресурс]: <https://studopedia.ru/9_209369_vvedenie.html>, 01.03.2022.

2. Методика тестирования блоков питания. [Электронный ресурс]:

<https://overclockers.ru/lab/show/60976_2/Testirovanie_blokov_pitaniya_metodika>, 02.03.2022.

3. Электронные нагрузки. [Электронный ресурс]: < https://prist.ru/library/stati/elektronnye_nagruzki_serii_akip-13hh_i_ih_ispolzovanie_dlya_testirovaniya_istochnikov_pitaniya/>, 03.03.2022.

4. ГОСТ 27300–87. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200005684>, 03.03.2022.

5. ГОСТ 23854–79. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200022041>, 03.03.2022.

6. ГОСТ IEC 61010–1–2014 [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200022041>, 03.03.2022.

7. ГОСТ Р 51318.24–99 [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200027335>, 03.03.2022.

8. ГОСТ Р 54364–201199 [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200085958>, 03.03.2022.

9. Массовый брак блоков питания [Электронный ресурс]: <https://dtf.ru/hard/826300-smi-i-polzovateli-soobshchili-o-massovom-brake-blokov-pitaniya-gp-p750gm-i-gp-p850gm-ot-gigabyte>, 03.03.2022.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС VR-ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ЯХТСМЕНОВ

Юлдашов А.С., Капочкина А.В., Азаров А.А., Тарунтаева А.С.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе разрабатывается VR-тренажер для яхтсменов в рамках заказа Яхтенные школы системы YIT "Спортфлот" и "Далеко". Разработка ведется относительно килевой яхты, предоставляя возможность отработки практических навыков маневрирования.

Введение

В условиях городской жизни вдали от крупных незамерзающих водных объектов ставится задача отработки навыков судоходства без практического использования яхт или иных видов судов. Обучение будущих шкиперов сложное и финансово затратное. Для повышения эффективности тренировок, поддержания навыков и повышения квалификации стандартные методы практических занятий стали терять актуальность в условиях технического прогресса.

Разработка предлагает альтернативу классическому способу обучения, применяя новейшие технологические решения. Область VR-технологий является одним из способов предоставления иного метода подхода к проблеме. Для более тщательного процесса подготовки будущих шкиперов следует также использовать устройства, моделирующие взаимодействие с реальными объектами, такими как штурвал, переключатель режима скоростей и др.

Решение

В данной работе рассматривается способ создания модели управления килевой яхты в виде тренажера с VR-очками и программно-аппаратным контроллером в виде системы управления яхтой (штурвал + гашетка), функционирующей в VR-пространстве с модуляцией окружающих условий.

Аналоги

Аналогом является проект немецкий стартап XRNAUT. Основное отличие от нашего проекта – там нету механизма обратной связи штурвала.

Математика движения водных объектов

Рассмотрим математическую сторону проекта. Обзор охватывает отдельные темы, связанные с математическими моделями кораблей, используемыми при маневрировании судов, главным образом в целях моделирования. Дан необходимый анализ кинематики маневренного движения с обсуждением различных форм динамических уравнений и параметрического представления гидродинамических сил. Опишем случай движения в горизонтальной плоскости (1):

$$\begin{cases} (\mathrm{m}+\lambda_x)\frac{\mathrm{dv_x}}{\mathrm{dt}} + (\mathrm{m}+\lambda_z)\omega_\mathrm{y}\mathrm{v_z} = \mathrm{F}_x \\ (\mathrm{m}+\lambda_z)\frac{\mathrm{dv_z}}{\mathrm{dt}} + (\mathrm{m}+\lambda_x)\omega_\mathrm{y}\mathrm{v}_x = \mathrm{F}_z \end{cases} \quad (1)$$

где m - масса яхты, λx и λz - масса воды спереди и сбоку яхты, vx и vz - скорость яхты спереди и сбоку, ωy - производная от угла рыскания, Fx и Fz – силы, действующие на яхту с двух перпендикулярных сторон. На моделируемое судно оказывается давление со стороны водного пространства, таким образом мгновенная скорость влияет не только на массу объекта, но и на массу воды, оказывающей давление на судно. Аналогичная ситуация рассматривается при воздействии боковой скорости судна, зависящей от угла рыскания.

Эта формула нуждается в другой, чтобы узнать текущую скорость яхты [1], включая погодные условия (2):

$$\begin{matrix} F_x=H_x+P_x+R_x+A_x+W_x \\ F_z=H_z+P_z+R_z+A_z+W_z \end{matrix} \quad (2)$$

где Hx и Hz - гидродинамические силы и момент, Px и Pz - тяга, поперечная сила и момент от пропеллеров, Rx и Rz - сопротивление, подъемная сила и момент на руле, Ax и Az - аэродинамические силы и момент, Wx и Wz - силы и момент, вызванные волнением. Теперь эти формулы можно использовать в программе для расчета текущей скорости яхты. Все остальные параметры уже известны из условий моделирования условий в программной среде. Силы, воздействующие на объект имеют собственные значения для реализации их отображения.

Инженерная часть

Прототип состоит из реальных штурвала и ручки газа, также микроконтроллера Arduino Nano, двух энкодеров для считывания положения штурвала и ручки газа, бесщеточным мотором для возвращающегося усилия. Для создания такого усилия использована ременная передача, которая, взаимодействуя с мотором и с осью штурвала, может создавать нужные для реального ощущения моменты сопротивления или доворачивания.

Компоненты тренажера образуют цельный и собранный механизм.

1. Особенности Blueprint и C++

UE4 реализует две модели проектного программирования, и эти модели имеют свои преимущества и недостатки. Во-первых, это Blueprint Visual Scripting, способ, продвигаемый как полноценная рабочая среда с низким порогом входа. Действительно, преимущества такого стиля написания очевидны с начальных этапов развития. Синтаксис блока достаточно прост и понятен, для быстрого старта проекта – это необходимая вещь [2], не требующая установки дополнительной среды. Однако чертежи имеют несколько недостатков, которые напрямую влияют на производительность конечного продукта. Во-первых, их нельзя принять за код, потому что это данные, требующие соответствующего отношения с технической точки зрения. Эти данные компилируются в системный код, работающий на виртуальной машине Unreal Engine 4, разработанной для визуального редактора. Во-вторых, существует проблема с объединением результатов разработки двух программистов, поэтому часть, созданная разными людьми, принудительно блокируется. Но несмотря на все недостатки, стоит признать, что Blueprints является мощным инструментом для построения логики и работы с графической частью. По этой причине проекты, содержащие сложные элементы, лучше писать на C++ [3]. Это сохраняет четкую логику, стабильность кода и возможность совместной работы на одном этапе проекта. При этом разработчики настоятельно не рекомендуют злоупотреблять преобразованием логики Blueprint в фалы C++. Полное сравнение характеристик двух методов отображено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ особенностей Blueprints и C++

	Blueprints	C++
Наличие плагинов	-	+
Мердж файлов	-	+
Компиляция	+	-
Рефакторинг	-	+
Скорость исполнения	-	+
Прототипирование	+	-

Кроме того, разумным является подход к использованию этих моделей в разработке вместе, Blueprints быстры, но ненадежны, C ++ медленный, но долговечный. К примеру излишнее использование функции Tick в Blueprint Может привести к критическим проблемам при большом логическом фрагменте, привязанном к нему. Исходя из приведенного обзора следует, что грамотное использование обоих методов программирования в Unreal Engine 4 приводит к улучшению общих затрат при работе над проектом.

Обратная связь штурвала

Для того, чтобы реализовать обратную связь, использована специфическая схема на основе электроусилителя [4], как на рис. 1. Она позволяет создать необходимую обратную связь благодаря бесколлекторному мотору с помощью алгоритма на основе удерживающего момента.

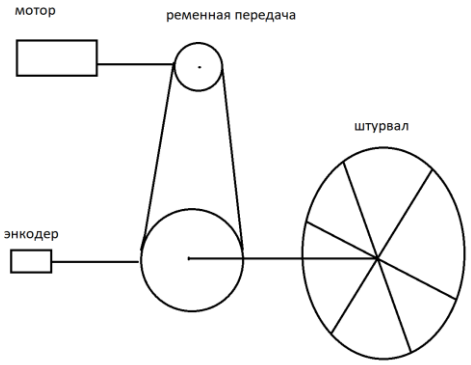


Рис.1. Схема на основе электроусилителя руля автомобиля

Программное обеспечение

Для соединения физического оборудования и VR-гарнитуры использован провод, по которому передаются изменения энкодеров, скорость яхты.

Для получения значений в Unrial Engine 4 был использован материал [5]. Происходит моделирование движений в виртуальной среде, реагирующей на действия человека с тренажером.

Команды для создания возвращающего усилия посылает сам микроконтроллер на бесколлекторный мотор.

Архитектура разработки

Физическая архитектура разработки изображена рис. 2,

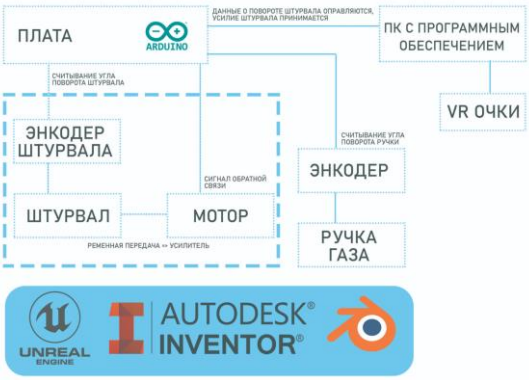


Рис.2. Физическая архитектура

Скриншоты результатов

Скриншоты с электроникой и VR-гарнитурой с экраном продемонстрированы на рис. 3 и рис. 4.

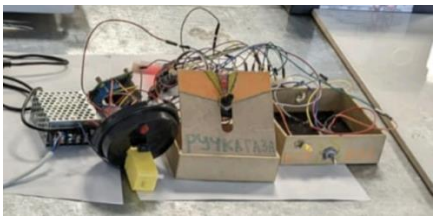


Рис.3. Скриншот с электроникой – энкодерами и VR-монитором



Рис.4. Скриншот с монитором, где изображено море с яхтой и мариной с настраиваемыми внешними условиями

Заключение

На данный момент запрограммирована модель движения яхты в разных условиях, продуман алгоритм возвращающегося усилия, проанализирована модель движения яхты, сделан первый прототип тренажера без обратной связи.

Для механической части выбран метод для создания обратной связи, проведены испытания. Для программирования VR использована IDE Unrial Engine 4, предоставляющая подходящий широкий инструментарий для моделирования [6].

Список литературы

1. S. Sutulo, & C. G. Soares. (2011). Mathematical models for simulation of manoeuvring performance of ships. Marine Technology and Engineering. https://www.researchgate.net/publication/270590697_Mathematical_models_for_simulation_of_manoeuvring_performance_of_ships

2. N. Mower. (2020). Unreal Engine C++ vs. Blueprint – Which Should I Choose? https://www.techarthub.com/unreal-engine-c-vs-blueprint-which-should-i-choose/

3. Santheesh, P. (2016). Unreal Engine 4 Game Development Essentials. Epic Games Inc. https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/

4. Md Akhtaruzzaman, N. Razali, R. Mahbub, A.A. Shafie. (2011). An experiment on Electric Power Steering (EPS) system of a car. Applied Mechanics and Materials. 110-116. https://www.researchgate.net/publication/252595108_An_experiment_on_Electric_Power_Steering_EPS_system_of_a_car

5. Samples and Tutorials Unreal Engine 4. https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/Resources/

6. Unreal Engine 4. Create without limits. https://www.unrealengine.com/en-US/

ЭКСТРАКТОР SPICE-МОДЕЛЕЙ

Евланова А.А., Зарубина А.А., Казакова В.Е, Казачков А.О., Овчинникова Е.Ю., Хлынов П.А., Явнова С.Д.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе расширяются возможности аппаратно-программного комплекса для измерений электрических характеристик электронных компонентов и идентификации параметров SPICE-моделей в условиях низких и высоких температур.

Введение

Разработка SPICE-моделей для отечественных полупроводниковых компонентов по-прежнему остаётся актуальной задачей. Одним из важнейших этапов такого процесса является определение температурных параметров, которые учитывают как эффекты воздействия внешней температуры (и положительной, и отрицательной), так и эффекты саморазогрева п/п компонента.

Получение и анализ электрических характеристик п/п компонентов для этой цели возможен только с использованием специальных программно-аппаратных комплексов. Существующие наиболее известные аппаратные аналоги от ведущих производителей, таких как Keysight [1], Form [2] и Keithley Instruments [3], а также программные аналоги IC-CAP [4] и Easy Expert [5] являются дорогостоящими и не всегда целесообразными к покупке.

В данной работе приведены результаты расширения возможностей существующего в департаменте программно-аппаратного комплекса [6] за счёт реализации автоматизированного измерения характеристик транзисторов средней мощности с учётом возможного саморазогрева и в условиях низких и высоких температур, а также статистической обработки результатов измерений партий электронных компонентов и оптимизации параметров SPICE-моделей.

Цели и задачи проекта

Дополнительные функции, которые реализуются в рамках проекта, заключаются в следующем:

– возможности автоматизированного измерения характеристик партий МОП-транзисторов (МОПТ) средней мощности (от 1.5 до 3 Вт) на разработанной измерительной оснастке: а) с учётом их возможного саморазогрева; б) в условиях температуры среды в диапазоне от минус 60 °С до плюс 100 °С;

– реализации программного обеспечения для определения параметров SPICE-моделей МОПТ средней мощности, в том числе, статистической обработки результатов измерений партий электронных компонентов и оптимизации параметров SPICE-моделей.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

– тепловое моделирование работы полупроводниковых компонентов;

– проектирование и разработка блока согласования и коммутации для подключения партий тестируемых объектов к тестеру;

– разработка программного обеспечения для считывания определения параметров SPICE-моделей МОПТ средней мощности;

– тестирование разработанной оснастки совместно с программным обеспечением;

– написание руководства пользователя, конструкторской и технической документации для разработанного измерительного комплекса.

Аппаратная часть комплекса

В проекте на данный момент спроектирована в Altium Designer, изготовлена и тестируется измерительная оснастка (рис. 1) для подключения одного тестируемого МОПТ средней мощности к автоматизированному тестеру серии «Формула» или другой автоматизированной системе измерений с целью дальнейшего определения параметров SPICE-модели.

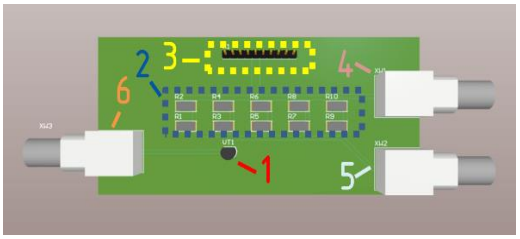


Рис.1. Измерительная оснастка

В процессе проектирования измерительной оснастки используются материалы и сырье гражданского применения в целях снижения стоимости реализации проекта.

В процессе тестирования используются имеющиеся в наличии лабораторные средства измерений и оборудование: осциллограф цифровой запоминающий АКИП-4126/3А-Х; генератор сигналов высокочастотный АКИП-3417; импульсный источник питания постоянного тока SPS-1230 (рис.2).

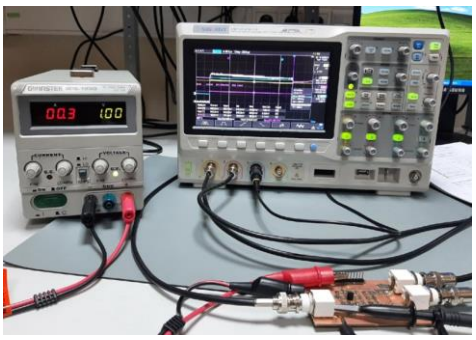


Рис.2. Собранная схема для измерений параметров одного МОПТ

Одновременно проведено тепловое моделирование первого варианта оснастки в COMSOL при подаче 1 Вт тепловой мощности длительностью 10 секунд (см. рис .3).

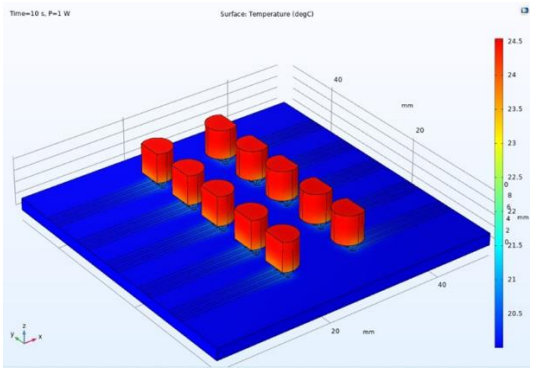


Рис.3. Результаты теплового моделирования измерительной оснастки

Программная часть комплекса

Разработано программное обеспечение для измерения электрических характеристик МОП-транзисторов и ПО для определения параметров SPICE-моделей МОПТ.

ПО для измерения электрических характеристик МОПТ реализует управление контрольно-измерительными приборами для поточечного снятия квазистатических сток-затворных и выходных электрических характеристик МОП-транзисторов в импульсном режиме, что необходимо для компонентов средней и большой мощности. Важной частью реализованного алгоритма является процедура проверки выхода МОПТ в установившийся режим, где и должны производиться измерения. Процедура включает в себя процедуры фильтрации, дифференцирования и сглаживания полученного графика производной (рис. 5). По итоговому значению производной определяется попадание графика в заранее установленные пользователем границы устойчивости.

Последовательность действий пользователя программы по определению SPICE-моделей МОПТ (выполнена в среде разработки Matlab) состоит в следующем: загружаются результаты измерений, вычисляются средние значения по структурам, проводится оптимизация по выбранным параметрам модели, производится сравнение измеренных и смоделированных характеристик по их графикам, определяется погрешность измерений (рис. 4). Основным результатом работы приложения является файл с набором параметров SPICE-модели в формате, требуемом для целевого симулятора электрических схем.

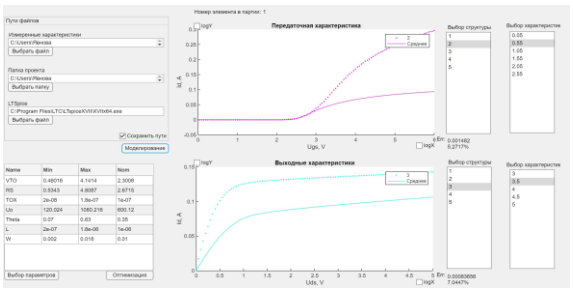


Рис.4. Интерфейс приложения для экстракции параметров SPICE-моделей

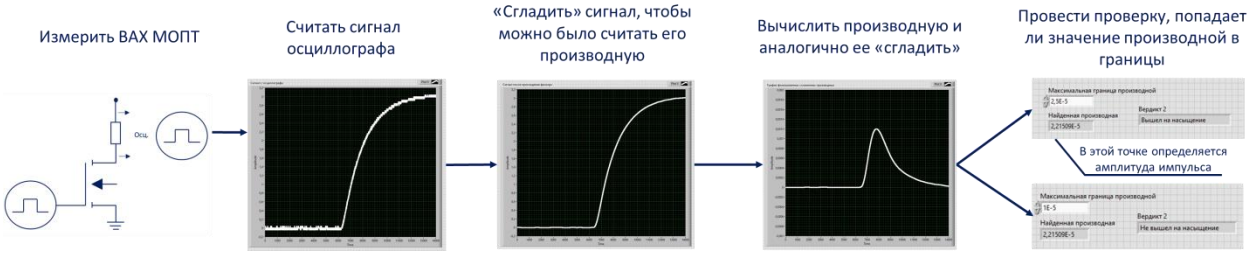


Рис.5. Иллюстрация к алгоритму определения выхода МОПТ в установившийся режим

Заключение

В процессе выполнения работы были получены следующие результаты:

1) разработаны виртуальные инструменты (vi) в среде LabView для управления процессом измерения в импульсном режиме квазистатических характеристик компонентов средней мощности и/или с недостаточным теплоотводом;

2) выполнена доработка и разработка новых модулей (m) в среде Matlab для статической обработки результатов измерений партий электронных компонентов и оптимизации параметров SPICE-моделей.

Модернизированный аппаратно-программный комплекс, дополненный разработанной измерительной оснасткой, контрольно-измерительными приборами, камерой тепла-холода и ПО для обработки результатов и оптимизации SPICE-моделей в дальнейшем будет использован для выполнения договорных работ по идентификации параметров SPICE-моделей, а кроме того, в исследовательских и проектных работах студентов и научных сотрудников.

Работа выполнена в рамках проектной группы «Программно-аппаратный комплекс для исследования характеристик и определения параметров SPICE-моделей полупроводниковых приборов и компонентов БИС, работающих в условиях воздействия внешних факторов», функционирующей в МИЭМ НИУ ВШЭ.

Список литературы

1. B1500A. Semiconductor Device Analyzer, User’s Guide, Keysight Technologies, 2014;

2. Тестер FORMULA TT2. Техническое описание. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://form.ru/products/semiconductor/tt2/.

3. Series 2600B System SourceMeter® Instrument Reference Manual, Keithley Instruments, 2012;

4. IC-CAP 2006, User’s Guide, Agilent 85190A;

5. EasyEXPERT Software User's Guide, Agilent Technologies, 2014;

6. Petrosyants K. O. et al. Proc. EWDTS'2017. P. 504-511

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ИНТЕРФЕЙСА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Копытин И.А., Недошивина М.С., Язовская Д.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Представлены результаты разработки универсального интерфейса комплекса, созданного для измерения электрических характеристик электронных компонентов.

Введение

В лаборатории 220 МИЭМ НИУ ВШЭ организован и функционирует программно-аппаратный комплекс для получения SPICE-моделей различных электронных компонентов: биполярных и МОП-транзисторов различных видов, тиристоров [1]. В комплексе используются связанные контрольно-измерительные приборы (КИП) под управлением компьютера и программное обеспечение (ПО) для идентификации параметров. Однако, имеется ряд недостатков, касающихся его интерфейса: а) он недостаточно дружественный, для каждого нового типа компонента и электрической характеристики требуется работа программиста для формирования дополнительных модулей, б) затруднено переподключение контрольно-измерительных приборов к комплексу, в) комплекс настраивается только через текстовые файлы.

Для устранения этих проблем был организован студенческий проект; цель его работы состоит в том, чтобы упростить процесс настройки измерительного комплекса на различные виды электронных компонентов и электрических характеристик с учетом разнообразных входных требований ПО идентификации параметров SPICE-моделей, например [2], [3].

В новой версии измерительного комплекса должна быть реализована обобщенная схема измерений статических характеристик с новым дружественным интерфейсом (особенности каждой схемы измерений должны быть локализованы в отдельных модулях), и база данных по настройкам измерений различных типов электронных компонентов и характеристик.

При создании интерфейса за основу был взят аналог – промышленное ПО EasyEXPERT для управления прибором B1500A (Keysight) [4].

Перед существующим интерфейсом он обладает некоторыми преимуществами: например, есть возможности в графическом виде задать параметры каждого измерительного канала, организован доступ к базе данных с информацией о сохраненных электронных компонентах и др..

На рис. 1 приведено изображение пользовательского интерфейса ПО EasyEXPERT, где отмечены характерные особенности, необходимые для нормальной работы.

Однако ПО EasyEXPERT рассчитано на использование только с приборами фирмы Keysight и имеет большую стоимость. Поэтому было принято решение разработать интерфейсную часть измерительного комплекса самостоятельно, использовать драйверы приборов в тех случаях, когда они поставляются производителями, а для остальных приборов использовать прямой обмен командами.

В разделе I описан новый интерфейс измерительного комплекса. В разделе II описана новая обобщённая схема измерения электрических характеристик электронных компонентов.

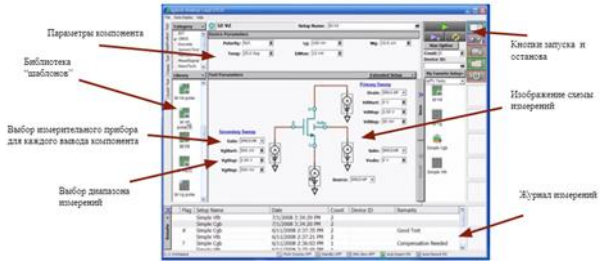


Рис.1. Интерфейс аналога

Новый интерфейс измерительного комплекса

Новый пользовательский интерфейс (см. рис. 2) был разработан в программной среде «NI LabVIEW» [5], предназначенной для разработки модулей управления КИП. Он имеет вид конструктора, в котором пользователь имеет возможность сформировать и настроить нужную измерительную схему в графическом виде. Имеется база данных по сохранённым наборам настроек для распространённых вариантов измерений.

Результаты измерений могут быть выведены в файлы в виде графиков и текстовых файлов формата, требуемого для целевой программы обработки данных.

Работа пользователя с интерфейсом разделена на несколько этапов (см. пункты на рис. 2)..

На первом шаге вводятся настройки (рис. 2 – пункт 1): адреса папок для сохранения результатов в текстовый файл, графиков и пресетов, а также файл базы приборов.

На втором шаге пользователь выбирает измерительный приборы для каждого канала (рис. 2 – пункт 2). Информация о приборах считывается с подключенных портов и выводится на интерфейс.

Затем пользователь загружает пресет – сохранённый набор настроек измерения (рис. 2 – пункт 3): например, данные о каждом канале исследуемого транзистора: значения источника, очередность обработки канала, названия выходных переменных и режим работы; значение любого поля можно изменить.

На четвертом шаге запускаются измерения (рис. 2 – пункт 4). При этом в обобщенную схему измерений передаются все заданные значения.

Последние действия: вывод графиков по выбранным переменным (рис. 2 – пункт 5) и сохранение результатов измерений в файл в формате, необходимом для программы идентификации параметров SPICE-моделей (рис. 2 – пункт 6).

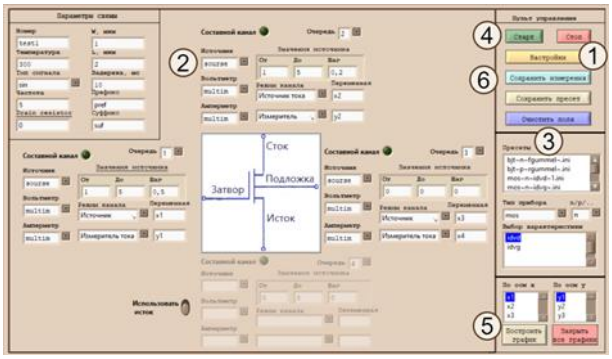


Рис.2. Новый пользовательский интерфейс; 1…6 – последовательность действий пользователя при работе с интерфейсом

Новая обобщённая схема измерений

Новая схема измерений электрических характеристик (см. рис. 4), также реализованная в среде LabView, представляет собой обобщённую многоуровневую конструкцию, рассчитанную на использование переменного количества измерительных каналов и набора КИП, изменяемые настройки по подаче и измерению электрических величин. Особенности обмена командами и данными с конкретными КИП локализуются в отдельных модулях, подключаемых к обобщённой схеме по стандартному интерфейсу.

Схема содержит модули для получения информации о подключенных приборах, многоуровневые циклы для обработки изменяемой пользователем информации, модуль инициализации выбранных пользователем приборов, модуль измерений, модуль деинициализации и обработки результатов измерений. Упрощенная блок-схема работы программы представлена на рисунке 3.

Основная часть измерительной схемы реализована в виде многоуровневого цикла. Каждый уровень цикла соответствует одному измерительному каналу, что в результате даёт возможность измерять многоканальные электрические характеристики с несколькими параметрами: например, сток-затворную характеристику МОП-транзистора – зависимость тока стока Ic от напряжения затвора Vзи при различных дискретных значениях управляющих сигналов: напряжения стока Vси, подложки Vпи, контакта к активной области транзистора и др. Каждый из управля-

ющих сигналов Vзи, Vси, Vпи и др. подаётся с помощью отдельного прибора на своём уровне цикла. Измерения всех выходных величин в каждой точке многомерного пространства управляющих сигналов проводятся одновременно во внутреннем цикле.

Заключение

В ходе выполнения проекта был разработан универсальный интерфейс измерительного комплекса, включающий в себя дружественный пользовательский интерфейс и обобщённую схему ихмерений для подключения к контрольно-измерительным приборам. Новый интерфейс исправляет недостатки прошлой версии, и сделан по образу аналогичного средства промышленного ПО.

Развитие проекта планируется в следующих направлениях: распространение универсальной схемы измерений на различные виды характеристик разных типов электронных компонентов и разработка библиотеки сигнатур и характеристик распространенных контрольно-измерительных приборов для автоматизированной проверки реализуемости заданной программы измерений.

Работа выполнена в рамках проектной группы «Программно-аппаратный комплекс для исследования характеристик и определения параметров SPICE-моделей полупроводниковых приборов и компонентов БИС, работающих в условиях воздействия внешних факторов», функционирующей в МИЭМ НИУ ВШЭ.



Рис.3. Упрощенная блок-схема программы измерений

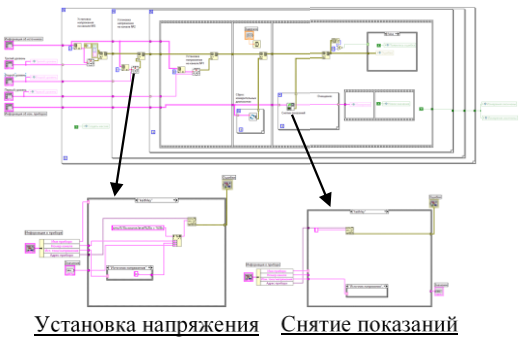


Рис.4. Обобщенная схема измерений

Список литературы

1. Petrosyants K. O. et al. Proc. EWDTS'2017. P. 504-511

2. IC-CAP 2006, User's Guide, Agilent 85190A

3. MBP Users' Manual, Keysight Technologies.

4. EasyEXPERT Group+ Characterization Software, Keysight Technologies, 2019.

5. LabVIEW Support [Электронный ресурс]. URL: https://www.ni.com/ru-ru/support/downloads/ software-products/download.labview.html#443274 (дата обращения: 26.02.2022)

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ АНАЛИЗА КОНТАКТНЫХ РАДИОПОМЕХ В СВЯЗНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Уткин Б.В. [1]***, Матвеев В.Е.*** [2]***,***
Фортуна С.В. [2]***, Соколов В.М.*** [3]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]***департамент электронной инженерии***
[2]***департамент компьютерной инженерии***
[3]***департамент прикладной математики***
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной статье рассматривается алгоритм для анализа контактных радиопомех в связных радиотехнических системах. Полученные результаты позволят повысить межсистемную электромагнитную совместимость и помехозащищённость радиоэлектронных систем.

Введение

В условиях развития техники появляются всё новые требования к снижению массогабаритных параметров радиоэлектронной аппаратуры, при этом количество излучающего и передающего оборудования с каждым годом только растёт. Это, в свою очередь, приводит к росту помех, возникающих за счёт переизлучения от токопроводящих контактов. Следовательно, возникает потребность в учёте влияния данного вида помех на связную радиотехническую систему и применения мер по снижению их влияния.

Структурная схема связной радиоэлектронной системы в условиях влияния контактных радиопомех представлена на рис. 1.

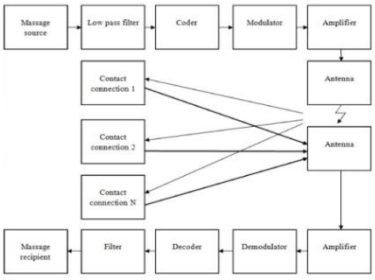


Рис.1. Структурная схема связной радиоэлектронной системы в условиях влияния контактных радиопомех

Согласно представленной схеме, процесс формирования контактных радиопомех можно описать следующим образом. Сигнал от антенны передатчика радиотехнической системы попадает в антенну приёмника, в то же время падая на подвижные контактные соединения. В результате переизлучения в открытое пространство сигнал от контактного соединения попадает в приемно-передающую антенну. Таким образом, на приёмную антенну поступают следующие виды сигналов: сигнал непосредственно от передающей антенны и сигнал, который образован в результате переизлучения от подвижного контактного соединения.

Исходя из вышесказанного, процесс образования контактных радиопомех связан с переизлучением электромагнитного поля от конструктивных элементов подвижных токопроводящих конструкций. При этом имеет место модуляция переизлучаемого радиосигнала сигнала за счет изменения электрических параметров подвижных контактных соединений. Вследствие этого происходит образование широкополосного вторичного излучения. Данное излучение, попадая в приёмное устройство, будет оказывать влияние на спектр полезного сигнала. Следовательно, под контактными радиопомехами следует понимать помехи радиоприему, возникающие за счёт воздействия электромагнитного поля от передающих элементов устройств на электрические подвижные контактные соединения с нелинейным и переменным во времени контактным сопротивлением.

В настоящее время имеется ряд работ по данной тематике [1-7]. В книге Клементенко А.Я., Панова Б.А., Свешникова В.Ф. [1] рассматривается основы теории контактных радиопомех, а также даны общие рекомендации по способам борьбы с контактными радиопомехами (проведение экранирования устройства, использование сварки и пайки для соединения контактов, максимальное разнесение антенн). В книге Левина А.П. [2] рассматриваются основные конструкции контактных пар электрических соединителей радиоэлектронной аппаратуры различного назначения, излагаются основные требования к ним, методы расчета и конструирования.

В работе Лазарева Д.В. [3] рассматриваются вопросы создания моделей электрического тока, проходящего через разъемные контактные соединения, моделей флуктуационных линейных и нелинейных контактных радиопомех от конструкций, содержащих разъемные контактные соединения, в ближней и дальней зонах излучения.

Проведённый анализ источников [1-7] позволяет сделать вывод о том, что, несмотря на то что в данной области имеются исследования, на данный момент есть ряд нерешённых задач.

Необходимость проведения исследования по представленной тематике имеется вследствие того, что в существующих в настоящее время работах также нет полного набора моделей различного вида соединений с описанием параметров соединений. Это приводит к невозможности точного прогнозирования уровня напряжённости контактных помех в ближней и дальней зоне на тех или иных соединениях, входящих в состав связной радиотехнической системы. Кроме того, существующие в настоящее время классические модели радиотехнических систем либо в принципе не учитывают влияния контактных радиопомех, либо их учёт является неполным.

Алгоритм реализации поставленной задачи

Ключевой целью проводимого исследования является исследование механизмов образования контактных радиопомех и разработка алгоритма проектирования связных радиотехнических систем с учётом влияния контактных радиопомех на качество функционирования на подвижных объектах.

Другие задачи, рассмотренные выше, будут являться инструментом для реализации поставленной цели.

Алгоритм решения поставленной задачи будет включать в себя четыре основных этапа, каждый из которых содержит несколько.

На первом этапе работы необходимо выполнить следующие задачи (реализовать подэтапы): провести оценку электромагнитной обстановки на объектах, в состав которых входит радиоэлектронная аппаратура; составить характеристику методов обеспечения электромагнитной совместимости в радиоэлектронных системах; провести анализ существующих систем автоматизированного проектирования для решения задач по оценке влияния радиопомех на радиоэлектронную систему; провести классификация помех, возникающих при работе радиоэлектронных систем; провести анализ механизмов возникновения контактных радиопомех, классификация контактов, являющихся источниками вторичного модулированного излучения, видов моделей контактов и контактных радиопомех, существующих на данный момент методы проектирования радиотехнических систем.

Основной целью второго этапа работы является проведение исследования влияния контактных радиопомех на радиотехническую систему связи. Предполагается, что для проведения данного исследования будут использованы методы системного анализа, методы интегрального и дифференциального исчисления. В рамках второго этапа работы необходимо реализовать следующие задачи: разработать структурные и функциональные схемы радиотехнических систем связи в условиях влияния контактных радиопомех; построить эквивалентные схемы для различных линейных и нелинейных моделей контактов (провести уточнение параметров существующих схем); разработать математическое описание построенных эквивалентных схем с помощью частотных и временных функций.

На третьем этапе работы необходимо выполнить следующие задачи: на основе эквивалентных схем, разработанных на втором этапе, построить модели для различных линейных и нелинейных моделей контакта; при построении моделей использовать специализированное программное обеспечение и системы автоматизированного проектирования; с

помощью построенных моделей провести оценку влияния контактных радиопомех на радиотехническую систему связи; выработать рекомендации по применению построенных моделей; разработать методику проектирования связных радиотехнических систем в условиях влияния флуктуационных линейных и нелинейных контактных радиопомех.

Четвёртый этап работы будет посвящен вопросам экспериментального исследования полученных результатов. Для этого в соответствии с разработанными в ходе выполнения второго этапа работы схемами и разработанными в ходе третьего этапа моделями планируется разработать экспериментальный стенд. Исследования, проведённые на данном этапе, позволят подтвердить полученные в ходе работы результаты и провести их возможные корректировки.

В настоящий момент в ходе проведения исследования реализован первый (информационно-аналитический) этап работы. Основным результатом выполнения данного этапа является опыт оценки параметров контактных соединений, анализ видов моделей контактов, а также методов прогнозирования контактных радиопомех

Процесс преобразования спектра электромагнитного поля можно описать с помощью линейного дифференциального уравнения (1):

$$\mathrm{A}_t e_1(t) = \mathrm{B}_t e_2(t) \qquad (1)$$

где $e_1(t)$, $e_2(t)$ – зависимости напряжённостей для облучающего и вторичного электромагнитного поля; A_t, B_t – линейные дифференциальные операторы.

Линейные дифференциальные операторы определяются выражениями (2), (3):

$$\mathrm{A}_t = \sum_{k=0}^{n} a_k(t)\frac{\mathrm{d}_k}{\mathrm{d}t^k} \qquad (2)$$

$$\mathrm{B}_t = \sum_{k=0}^{m} b_k(t)\frac{\mathrm{d}_k}{\mathrm{d}t^k}, \qquad m << n \qquad (3)$$

Необходимо также учитывать, что случайный процесс, который описывает изменение сопротивления электрического контакта, является дифференцируемым в среднеквадратическом. Следовательно, определение импульсной характеристики линейного инерционного параметрического четырёхполюсника является очень сложной задачей, поскольку аналитически требует определение функции Грина для линейного дифференциального уравнения.

Таким образом, для описания процесса формирования канатных радиопомех удобно использовать модель, рассмотренную в [1]. Согласно данной модели, электрическое контактное соединение может быть представлено четырёхполюсником с передаточной функцией $H(\omega,t)$.

В основе рассматриваемой модели лежит анализ процесса преобразования электромагнитного поля данным четырёхполюсником. При этом следует отметить, что модель также предполагает разделение электрических контактов, являющихся источников вторичного излучения, на линейные и нелинейные контакты. Основным критерием отнесения модели контакта в той или иной группе будет наличие нелинейных свойств в самом контакте за счёт высокой мощности облучаемого электромагнитного поля.

Пусть подвижный переменный контакт облучается моногармоническим электромагнитным полем с частотой ω_0 (4):

$$e_1(t) = E_{1m}\cos\omega_0 t = E_{1m}\,\mathrm{Re}[e^{j\omega_0 t}] \qquad (4)$$

где $E_{1\mathrm{m}}$ – амплитуда напряжённости облучающего электромагнитного поля.

Тогда изменение напряжённости вторичного электромагнитного поля будет определяться по формуле (5):

$$\begin{aligned} e_2(t) &= E_{1m}\,\mathrm{Re}[\dot{H}(j\omega,t) = \\ &= E_{1m}\{H_0(\omega)\cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \\ &+ \frac{1}{2}\sum_{n\geq 1} H_n(\omega_0)[\cos<(\omega_0 + n\Omega)t + \psi_n + \varphi_n> + \\ &+ \cos<(\omega_0 - n\Omega)t + \varphi_n - \psi_n>]\} \end{aligned} \qquad (5)$$

где $H_0(\omega)$, $H_1(\omega)$…, $H_{\mathrm{n}}(\omega)$ – амплитуды соответствующих гармоник передаточной функции $H(j\omega,t)$ после их преобразования в ряд Фурье, Ω – основная частота изменения передаточной функции; ϕ_0, ϕ_1, …, ϕ_{n} – компоненты начальных фаз передаточной функции $H(j\omega,t)$; ψ_1, ψ_2, … , ψ_{n} – фазовые сдвиги, вызванные контактными радиопомехами.

На основании анализа выражения (5) можно сделать вывод о том, что напряженность вторичного электромагнитного поля или контактных радиопомех можно разделить на две составляющих.

Первая составляющая описывает напряжённость первичного электромагнитного поля, которая уменьшена по амплитуде в $H_0(\omega)$ раз и претерпела фазовый сдвиг ϕ_0. Вторая составляющая описывает изменение напряжённости электромагнитного поля при облучении контактного соединения, сопротивления которого изменяется за счёт движения или вибраций. Иными словами, вторая составляющая описывает возникающие контактные радиопомехи.

Таким образом, спектр электромагнитного поля от электрического контакта, сопротивление которого изменяется по периодическому закону, будет иметь составляющие на частоте первичного электромагнитного поля и дополнительные составляющие на частотах
$\omega_0 \pm n\omega$.

Заключение

Прогнозирование контактных радиопомех на подвижных объектах является актуальной задачей, поскольку зависит от множества детерминированных и случайных факторов. В рамках данной работы был рассмотрен предлагаемый алгоритм проектирования связных радиотехнических систем с учётом влияния контактных радиопомех на качество функционирования на подвижных объектах.

Решение поставленной задачи позволит учитывать данное явление на этапе проектирования радиоэлектронных средств, что приведёт к снижению затрат на проведение испытаний радиоэлектронных систем и снижению экономических затрат, связанных с возможной корректировкой радиоэлектронной аппаратуры на этапе проектирования. Полученные результаты позволят обеспечить межсистемную электромагнитную совместимость и помехозащищённость радиоэлектронных систем.

Список литературы

1. Клементенко А.Я., Панов Б.А., Свешников В.Ф. Контактные помехи радиоприему. М.: Воениздат, 1979. – 116 с.

2. Левин А.П. Контакты электрических соединителей радиоэлектронной аппаратуры. -М.: Советское радио, 1972. – 216 с.

3. Лазарев Прогнозирование флуктуационных линейных и нелинейных контактных радиопомех для обеспечения внутрисистемной электромагнитной совместимости на подвижных объектах радиосвязи: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, Москва, 2009.

5. Хольм Р. Электрические контакты, Перевод с английского под ред. Брускина Д. Е. М.: Издательство иностранной литературы, 1961. – 464 с

4. Сливкин В.Г. Электромагнитная совместимость электрооборудования информационных технологий при воздействии импульсных электромагнитных помех: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, Самара, 2004.

5. Мухаметзянов, Р. И. Автоматизация анализа электромагнитных помех в линиях связи технических систем при воздействии мощных источников радиоизлучения / Р. И. Мухаметзянов // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых) : Материалы Международной молодёжной научной конференции. В 6-ти томах, Казань, 07–08 ноября 2019 года. – Казань: ИП Сагиева А.Р., 2019. – с. 51-53.

6. Воршевский А.А., Воршевский П.А., Агафонов А.М. Испытания на электромагнитную совместимость электронного оборудования, расположенного на ходовом мостике судна // Технологии электромагнитной совместимости. 2007. № 2 (21). – с. 10-21.

7. Wu M.K.W., Tse C.K., Peter Chan O.B. Development of an integrated CAD tool for switching power supply design with EMC performance evaluation (1998) IEEE Transactions on Industry Applications, 34 (2). – p. 364-373.

СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВ

Шафиев Р.И., Ганин М.Ю., Самченко А.А., Хромов П.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Работа посвящена исследованию и созданию системы мониторинга технического состояния мостов.

Метод работы устройства основан на детектировании отклонений лазерного пучка с помощью машинного зрения. Колебания создаются за счет движения транспорта по мосту. Эти вибрации приводят к смещению лазерного луча, направленного на мишень, световое пятно на которой фиксирует камера. С помощью программного обеспечения рассчитывается величина отклонения и сравнивается с критическим, полученным в ходе моделирования. Данные отправляются на сервер, результатам мониторинг отображается в веб-интерфейс. Используя его, диспетчер может осуществлять диагностику технического состояния мостовых сооружений.

Введение

Мост – одно из древнейший инженерных сооружений человека, которое на протяжении сотен лет упрощает жизни людей и способствует взаимному развитию регионов, находящихся по разные стороны водоемов и других труднопроходимых районов местности.

К сожалению, довольно большое количество мостов находятся в аварийном состоянии и в среднем порядка 100 мостов обрушаются ежегодно, что приводит к последствиям различной степени тяжести. Некоторых аварий можно было бы избежать при своевременном контроле технического состояния мостов, а наиболее эффективный вариант контроля — это непрерывный, благодаря которому можно заблаговременно спрогнозировать аварийную ситуацию [1].

Периодический контроль включает в себя геодезические измерения и неразрушающий контроль, который выполняется разными методами. Как понятно из названия, он проводится по определенному «расписанию», что кончено является минусом.

Непрерывный контроль напротив обеспечивает учет истории действия нагрузок, так как мониторинг проводится постоянно. Сегодня существуют методы, основанные на использовании тензодатчиков, инклинометров, акселерометров и вибродатчиков. В зависимости от задач, их могут комбинировать. Основными минусами данного контроля являются: большое количество датчиков, необходимых для сбора информации, сложность их установки и эксплуатации, результаты обработки требуют специфического оборудования и ПО. Все это играет большую роль в ценообразовании таких устройств мониторинга [2].

Принцип работы и элементная база устройства

Алгоритм контроля технического состояния основан на детектировании отклонения точки лазерного луча на экране камерой, подключенной к микрокомпьютеру, на котором с помощью программы машинного зрения [3,4] будут анализироваться полученные изображения [5]. Стоит заметить, что затемненный экран необходим для работы устройства в условиях большого количества солнечного света, который будет пагубно влиять на качестве лазерного пучка [6]. Программа выполняет детектирование амплитудных отклонений и при выходе за критические значения, которые рассчитываются для каждого моста по его техническим параметрам, устройство сигнализирует о том, что существует определенная неисправность. Для этой цели в нашем устройстве есть модуль GSM связи, с помощью которого микрокомпьютер способен отправлять данные на сервер [7].

Состав устройства, позволяющего реализовать предложенный алгоритм содержит следующие элементы: микрокомпьютер (Raspberry PI Zero), излучатель (лазер), камера, экран с затемнением, устройство GSM связи, система питания, системы обеспечения нормальных условий работы, сервер.

Структурная схема подключения элементов представлена на рисунке 1.

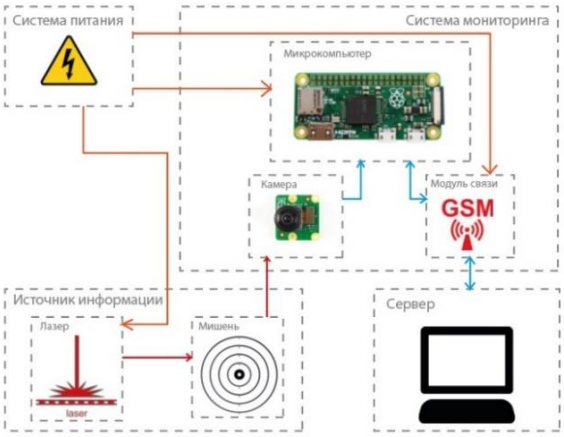


Рис.1. Структурная схема устройства

Моделирование объекта исследования

Для построения модели моста и ее дальнейшего анализа на различные нагрузки была выбрана программа SolidWorks.

Отдельно хочется отметить подпрограмму SolidWorks Simulation, позволяющая проводить всевозможные исследования: как статический, так и динамический анализ с множеством различных внешних нагрузок и креплений.

Мост состоит из 4-х оснований, 3-х пролетных строений, защитно-выравнивающего слоя и асфальтного слоя. Материал оснований и пролетных строений – ультра-прочный фибробетон Portland, свойства которого схожи с железобетоном, позволяя избавиться от необходимости в армировании бетона. Асфальтный и защитно-выравнивающий слои выполнены из бетонов различной степени прочности высотой 70 и 80 мм соответственно [8].

Характеристики созданной модели:

Длина – 39 м (15 м между центральными основаниями и 12 м до краев), ширина – 14.164 м, высота – 4.948 м, масса – 957041.917 кг.

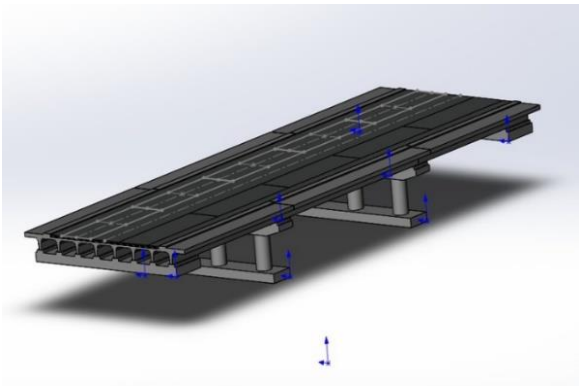


Рис.2. Модель моста в САПР SolidWorks

Моделирование было проведено в соответствии со стандартами ГОСТ 33390-2015 [9] и ГОСТ 32960-2014 [10].

В качестве динамической нагрузки проведено моделирование движения фуры массой 20т. Для этого дорожная полоса была разделена на множество участков, и в зависимости от времени на них подавались значения силы тяжести от колес фуры. В результате получили максимально допустимое значение отклонения моста равное 22,534 мм (рис. 3).

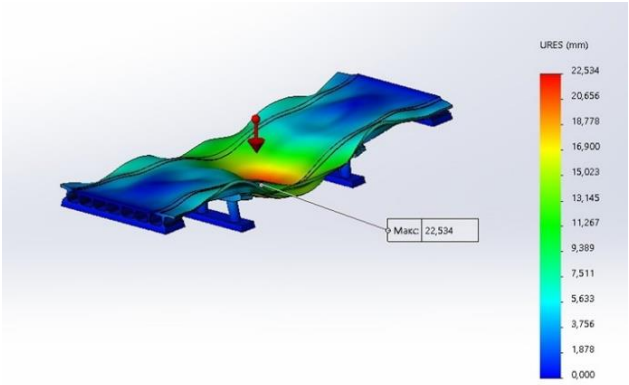


Рис.3. Результат моделирования моста под нагрузками

Веб интерфейс системы

Представление работы системы было реализовано в виде веб-интерфейса. При его создании использовался язык разметки HTML, так как это широко используемый язык с большим количеством ресурсов и огромным сообществом. Кроме того, он в открытом доступе и бесплатный. Для добавления стилей, таких как фон, цвета, интервал и т. п., использовался язык таблиц стилей CSS [11], а также JavaScript [12].

Для получения информации из базы данных MySQL, которая далее применяется в построении графика, тревожной таблицы, а также дается возможность ее выгрузки, написан алгоритм на языке PHP.

Программа обработки запускается непосредственно на микрокомпьютере Raspberry Pi Zero, работающий на операционной системе Raspbian.

Код алгоритма написан на языке Python, его функционал полностью удовлетворяет поставленным задачам. Библиотеки, использующиеся в программе, стандартны для реализаций машинного зрения: OpenCV (cv2) – для обработки изображений и нахождения контуров, Imutils – для чтения изображения с камеры.



Рис.4. График истории нагрузок и тревожная таблица

Алгоритм программы обработки основан на выделении определенного цвета спектра (в нашем случае красного) из общего потока.

Устанавливается соединение с базой данных MySQL по заданным параметрам (IP сервера, имя пользователя, пароль, название базы данных).

Создается объект видео потока с параметрами размера кадра и частотой съемки видео. Далее создаются окна: окно видеопотока, окно видеопотока с примененной маской, окно подстройки (предназначенное для выбора выделяемого спектра). В бесконечном цикле начинается обработка изображения – считывается кадр изображения из видеопотока, конвертируется из RGB в HSV формат. По заданному спектру формируется маска, которая складывается со считанным изображением, после чего удаляется цвет (конвертирование в оттенки серого). В полученном изображении выделяем контур, максимальное по оси y значение которого записываем в массив.

Действия описанные выше повторяются пока размер массива не станет равным 50. После достижения этого размера производится выделение максимального значения. По необходимости размер формируемого массива может быть изменен. Это значение зависит от требуемой частоты получения данных.

Далее формируется массив из 3 элементов: номер отсчета, локальное время (время на микрокомпьютере), максимальное значение, являющееся максимальным отклонением моста за промежуток времени. Сформированный массив отправляется к подключенной базе данных, где записывается в соответствующую номера отсчету строчку.

Экспериментальная проверка

На начальном этапе разработки системы были проведены предварительные проверки, целью которых является подтверждение работоспособности системы непрерывного мониторинга технического состояния мостов основанную на детектировании отклонения лазерного пучка с помощью машинного зрения. На центр выбранного моста был жестко закреплен лазерная модуль. На конце моста была закреплена мишень таким образом, чтобы пучок попадал в центр мишени. При перемещении по мосту легковых автомобилей наблюдались едва заметные колебания пучка, но при движении грузовиков вибрации становились куда заметнее и пучок отклонялся на 1 см при расстоянии от лазерного модуля до мишени в 25 метров. Данный эксперимент дал понять, что детектировать прогибы и колебания моста с использованием лазера и мишени возможно.

Прототип

В настоящем разделе будет описан изготовленный прототип системы и его работа в лабораторных условиях.

Принимающим устройством выступает блок обработки оптического сигнала, совместно с затемненной мишенью. В данном случае блок обработки питается от сети.

Блок источника оптического сигнала, как говорилось ранее, конструктивно выполнен похожим образом. На данном блоке продемонстрировано резервное электропитание. В лабораторных условиях блоки были разнесены на максимально возможное расстояние, которое ограничивалось размерами комнаты.

Далее оптический сигнал попадает на затемненную мишень. Лазерный луч должен быть в центре мишени.

Так блок обработки оптического сигнала видит картину мишени. Алгоритм накладывает маску на исходное изображение, которая пропускает лишь ту часть спектра, которая соответствует цвету лазера (в данном случае красный). Для наглядности на исходное изображение выводится рамка, габариты которой построены на основе крайних координат лазерной точки.

Обработав необходимое количество кадров, происходит запись в базу данных MySQL.

Заключение

Разрабатываемая система мониторинга позволяет выявлять технические неисправности мостов, а также определять их динамические изменения. Данное устройство может создать конкуренцию существующим аналогам.

На данный момент существуют следующие результаты исследования:

– Проведено моделирование реального объекта в программе SolidWorks по чертежам и технической документации.

– Исследовано влияние динамической и статической нагрузок на конструкцию объекта в зависимости от температуры окружающей среды в соответствии с ГОСТ 33390-2015 и ГОСТ 32960-2014.

– Разработаны схемы электрические принципиальные, позволяющая реализовать контроль машинным зрением и передачу данных на удаленный сервер.

– Собран работающий прототип.

– Написан алгоритм детектирования отклонений лазерной точки и передачи данных.

– Разработан веб-интерфейс системы, который включает в себя всю необходимую информацию о системе и отображает историю нагрузок на мост в виде графика и выгрузке из базы данных, тревожную таблицу со значениями, превышающими критические.

Список литературы

1. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Нигаматова О.И., Михалдыкин Е.С., Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 2. Непрерывный мониторинг состояния мостовых сооружений // Транспортные сооружения, Том 1, №2 (2014) URL: http://t-s.today/PDF/01TS214.pdf

2. Овчинников И.Г., Косауров А.П., Суров Д.И., Непрерывный удаленный мониторинг и диагностика технического состояния мостов.

3. Понс Ж., Форсайт Д.А., Компьютерное зрение. // Вильямс. – 2004.-№1. - с. 13

4. Richard S., Computer Vision: Algorithms and Applications. // Springer. – 2011.-№1. - с. 718

5. Петин В. А., Микрокомпьютеры Raspberry Pi. Практическое руководство. // СПб. – 2015.-№1. - с. 135.

6. Ананьев Ю.А., Оптические резонаторы и лазерные пучки. // СПб. – 1990.-№1. - с. 4.

7. Гонсалес Р., Вудс ., Цифровая обработка изображений. // Техносфера. – 2019.-№3. - с. 121

8. Н.М Колоколов, Б.М. Вейнблат, Строительство мостов. // М. – 1984.-№2. - с. 110.

9. ГОСТ 33390-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Мосты. Нагрузки и воздействия.

10. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения.

11. Изучаем HTML, XHTML и CSS. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2014. — 720 с.

12. Создаем динамические веб-сайты с помощью PHP, MySQL, JavaScript, CSS и HTML5. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2019 – 816 с.

О СТЕНДЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ В НИУ ВШЭ

Уркунов А.К., Махмудов Т.Г.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе исследовано влияние электрических, механических и климатических факторов на радиоэлектронные средства. Осуществлена разработка структуры программно-аппаратного комплекса для одновременного проведения испытаний различного рода. Разработаны и запрограммированы алгоритмы и методики проведения ускоренных испытаний электрорадиоизделий. Проведен обзор и анализ имеющихся на данный момент математических формул для прогнозирования времени работы электрорадиоизделия.

Введение

Мир наполнен огромным множеством видов электронных средств, эксплуатирующихся в различных условиях применения. Нередко их эксплуатация происходит в экстремальных условиях с перепадами температуры, сильными механическими воздействиями, а также мощными электрическими нагрузками.

Для прогнозирования времени работы в конкретных условиях и определения надежности используются соответствующие математические модели [1] и программно-аппаратные комплексы, имитирующие всевозможные воздействия. Как правило, для проведения различного рода испытаний используются отдельные установки, что значительно увеличивает время полного исследования и анализа поведения электрорадиоизделий в тех или иных условиях. Более того, математические модели, использующиеся для прогнозирования времени работы [2] электронной техники ограничены положительным диапазоном температур, что приводит к невозможности точной оценки надежности электрорадиоизделий, работающих при низких температурах.

Цель работы заключается в повышении качества радиоэлектронных средств. Задачами являются анализ и составление методик проведения ускоренных испытаний на надежность, разработка структуры блока управления стенда, разработка структуры программно-аппаратного комплекса для проведения ускоренных испытаний электрорадиоизделий, составление корректных математических моделей прогнозирования времени работы в конкретных условиях применения.

Разработка структуры блока управления

Анализ программно-аппаратных комплексов, имитирующих различные воздействия на электронные средства, показывает, что такие системы не могут одновременно проводить электрические, темпе-

ратурные и механические испытания. Одной из целей нашей работы является составление методики ускоренных испытаний, что подразумевает в себе возможность параллельных воздействий трех вышеуказанных типов.

Для имитации реальных климатических условий эксплуатации радиоэлектронных средств необходимы три специализированных модуля: для управления электрической нагрузкой, механическими воздействиями, температурой и влажностью. Разработка первого модуля состоит в составлении и сборке схемы электрической принципиальной подачи нагрузки на объекты исследования (резисторы) и измерения их параметров. Второго модуля – в разработке схемы, имитирующей работу вибромотора. Третьего модуля – в составлении и сборке схемы электрической принципиальной для управления температурой и влажностью. Вышеперечисленные модули составляют единый блок управления. Структура блока управления представлена на рисунке 1.

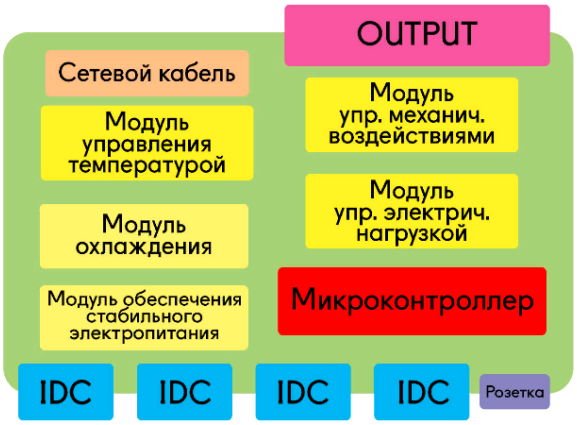


Рис.1. Структура блока управления стенда для проведения ускоренных испытаний электрорадиоизделий

Алгоритм работы блока управления позволяет совершать все воздействия, предусмотренные стендом, одновременно.

Разработка структуры стенда

Блок управления является одной из двух основных составных частей разработанного программно-аппаратного комплекса.

Второй не менее важной по значимости частью является испытательная климатическая камера. Данный элемент комплекса имеет возможность поддержки заданной температуры с точностью от ±0,1 °С до ±0,3 °С в диапазоне от –90 °С до +180 °С и позволяет устанавливать влажность в интервале от 5% до 98% со стабильностью поддержания влажности в рабочем объеме ±2%. В совокупности с блоком управления камера позволяет проводить ускоренные испытания и измерять необходимые для анализа характеристики во время имитации эксплуатации объекта исследования (электрорадиоизделия). Внутри климатической камеры расположены датчики температуры и влажности и датчики, считывающие электрическую нагрузку. Они являются составляющими блока управления. Кроме того, неотъемлемой частью камеры является виброустановка, позволяющая совершать вибрационные воздействия на исследуемые электронные средства.

Блок управления и испытательная климатическая камера являются основными структурными элементами программно-аппаратного комплекса. Структура стенда представлена на рисунке 2.

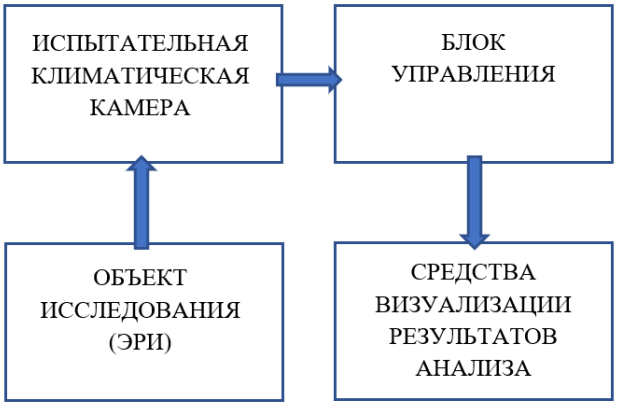


Рис.2. Структура стенда для проведения ускоренных испытаний электрорадиоизделий

Принцип работы стенда: объект контроля (электрорадиоизделие) помещается внутрь испытательной климатической камеры на виброустановку. Модули управления температурой и влажностью осуществляют управление климатическими воздействиями на ЭРИ. Модуль управления механическими воздействиями посредством вибромоторов управляет вибрацией. Электрические воздействия контролируются через модуль управления электрической нагрузкой. В ходе проведения испытаний с объекта контроля блоком управления считываются соответствующие параметры, автоматически анализируются программой и визуализируются на экране компьютера, ноутбука.

Методика проведения испытаний

На практике применяют несколько методов испытаний [3]. Первый – испытания на надежность, выполняющиеся для определения и контроля показателей надежности в заданных условиях, проверки соответствия фактических значений показателей надежности требованиям стандартов (СТРК), технических заданий (ТЗ) и технических условий (ТУ). Второй – имитационное моделирование. Это аналитический метод, заключающийся в замене изучаемой системы на модель. Третий – оценка надежности на основе расчета интенсивности отказов. Расчет надежности производится по показательному закону, по которому рассчитывается вероятность безотказной работы, т.е. вероятность того, что объект не откажет в пределах заданной наработки.

Рассмотрим вероятность безотказной работы на фиксированном интервале времени $(0, t)$ и обозначим ее через $\bar{F}(t)$. Тогда вероятность безотказной работы на фиксированном интервале времени рассчитывается по формуле (1):

$$\bar{F}(t) = P\{\xi \geq t\}, \quad (1)$$

где P – функция вероятности, ξ – «непрерывная случайная величина, обозначающая время до отказа объекта» [4].

Главной проблемой испытаний является время, которое требуется на их проведение. Для решения данной проблемы используются ускоренные методы испытаний, заключающиеся в объединении нескольких условий испытаний и форсировании соответствующих нагрузок.

Заключение

В рамках данной работы разработаны методики испытаний, запрограммированы алгоритмы данных методик, что позволяет в автоматизированном режиме проводить необходимые измерения параметров и характеристик электрорадиоизделий в ходе электрических, механических и температурных испытаний. Разработан программно-аппаратный комплекс (стенд), позволяющий имитировать реальные климатические условия эксплуатации электрорадиоизделий таких, как резисторы, конденсаторы, стабилитроны и других. Помимо научных и производственных целей есть возможность применения стенда в рамках соответствующих научных дисциплин для проведения практических занятий.

Список литературы

1. Надежность ЭРИ 2006: справочник. – М.: МО РФ, 2006. – 641 с.

2. Системный анализ параметров и показателей качества многоуровневых конструкций радиоэлектронных средств / А.К. Гришко, Н.К. Юрков, Д.В. Артамонов и др. // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2 (26). – С. 77–84.

3. Жаднов В.В. Прогнозирование надежности электронных средств с механическими элементами: научное издание. / В.В. Жаднов. - Екатеринбург: Изд-во ООО «Форт Диалог-Исеть», 2014. - 172 с.

4. Каштанов В.А., Медведев А.И. Теория надежности сложных систем. – 2-е изд., перераб. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 608 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАССИВ ГОРИЗОНТАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Вовк Н.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Исследовано влияние гидромеханического воздействия на массив горизонтально ориентированных углеродных нанотрубок (УНТ) во время создания функционального слоя будущих приборов. Слой углеродных нанотрубок формировался методом нанесения спреем. Продемонстрирован метод контроля поверхностного сопротивления слоя нанотрубок, нанесенного на поверхность подложки, до и после гидромеханического воздействия. Полученные результаты показывают, что предлагаемая методика позволяет получать на поверхности подложки слой углеродных нанотрубок с заданным значением поверхностного сопротивления, зависящего от концентрации используемой суспензии и последующей обработки получаемых слоев.

Введение

Интегрирование УНТ в приборы подразумевает создание функционального слоя для таких приборов, как транзистор на основе УНТ [1], диод Шоттки [2] и пр. Из литературных источников известно несколько способов формирования слоев из УНТ, например, каталитический синтез [3] и нанесение суспензии с УНТ [4]. В методе нанесения суспензии с УНТ параметры слоя из УНТ зависят от способа нанесения суспензии с УНТ на подложку [5, 6], состава наносимой суспензии [7, 8], внешнего воздействия после нанесения слоя на пластину [9].

Во всех способах нанесения слоя УНТ из суспензии присутствует проблема равномерности нанесения УНТ по всей поверхности пластины и наличие конгломератов, увеличивающих количество дефектов при проведении дальнейших технологических операций.

В данной работе исследовался метод обработки слоя УНТ гидромеханическим воздействием, так как он позволяет равномерно обрабатывать пластины различных размеров и толщин, а также широко применяется в микроэлектронике. Основная идея предлагаемого метода воздействия на слой с УНТ заключается в последовательной многократной обработке поверхности вращающейся подложки струей жидкости.

Методика эксперимента

В качестве подложек нами были использованы кремниевые пластины диаметром 4”, на поверхности которых был сформирован слой термического оксида кремния толщиной 200 нм. Для нанесения слоев использовалась водная суспензия собственного при-

готовления на основе УНТ Таунит-М с использованием холата натрия ($C_{24}H_{39}NaO_5$) в качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ) для предотвращения коагуляции частиц в суспензии. Суспензия последовательно диспергировалась 5 раз по 60 мин с помощью УЗ-диспергатора с рабочей частотой 22 кГц и выходной мощностью 100 Вт. После каждого этапа УЗ-обработки диспергатором мы производили фильтрацию полученной суспензии для получения однородной взвеси.

Для нанесения спреем использовался пульверизатор с емкостью для суспензии, в качестве газа-носителя использовался азот особой чистоты марки 6.0. Приготовленная суспензия наносилась спреем при постоянном давлении азота 2.5 атм на нагретую до 200°С подложку (рис. 1а). Суспензия последовательно наносилась под углом 60° к подложке для обеспечения покрытия слоем УНТ всей поверхности пластины. Выходное сопло пульверизатора обеспечивало распыление суспензии в виде струи тумана (аэрозоля), что позволило оптимизировать процесс нанесения и сушки суспензии из УНТ. Нагрев подложки осуществляется нагревательным элементом с молибденовым столиком до заданной температуры. Было установлено, что температура столика нагревателя в 200°С является оптимальной для осуществления процесса испарения воды из суспензии на поверхности пластины с минимальным образованием капель.

Для контролируемого равномерного распределения УНТ по пластине использовался метод гидромеханического воздействия поверхности пластины, для чего использовалась стандартная серийная установка для резки и отмывки пластин. Во время обработки, на вращающуюся со скоростью 1000 об. /мин поверхность пластины с нанесенным слоем УНТ, осуществлялось последовательное воздействие потоком деионизированной воды давлением 4.5 атм от центра пластины к краю и обратно (рис. 1б).

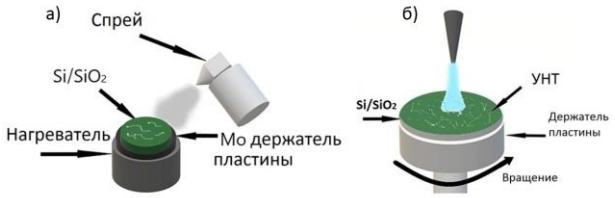


Рис.1.а) Метод нанесения УНТ спреем
б) Реализация гидромеханического воздействия по пластине с УНТ

Методы исследования

Для проведения исследований были изготовлены образцы с различными объемами нанесенной суспензии УНТ (10, 20, 40, 80, 120 мл).

Для исследования морфологии слоев из УНТ использовался метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а для определения поверхностного сопротивления слоя УНТ проводились измерения четырехзондовым методом (рис. 2). Значения легенд всех карт сопротивления на рис. 2 нормированы к максимальному значению сопротивления образца до проведения обработки.

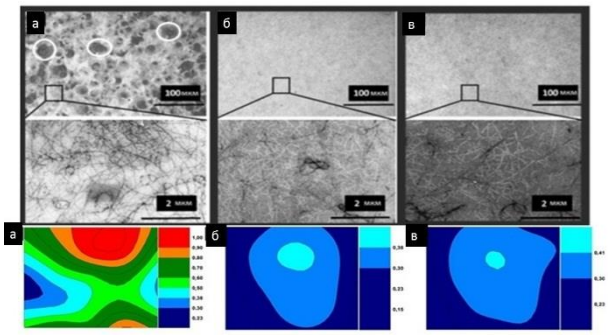


Рис.2. Изображения центральной области пластины после нанесения 40мл суспензии с УНТ, полученные с СЭМ. Белыми кругами выделены агрегации, возникающие в результате высыхания капель. Пластина до обработки (а), после четырёх циклов обработки гидромеханическим воздействием (б), после девяти циклов обработки гидромеханическим воздействием (в). Карты распределения поверхностного сопротивления слоев с УНТ, измеренные четырехзондовым методом. Пластина до обработки (а), после четырёх (б) и после девяти (в) циклов обработки гидромеханическим воздействием соответственно

Рис. 2 демонстрирует, что с увеличением количества циклов гидромеханического воздействия однородность и равномерность слоя УНТ увеличивается, но толщина слоя уменьшается.

Использование метода обработки гидромеханическим воздействием поверхности подложки со слоем УНТ, нанесенного спреем, позволяет получить однородные слои УНТ с заданным поверхностным сопротивлением.

Среднее поверхностное сопротивление слоя УНТ слабо зависит от увеличения циклов обработки гидромеханическим воздействием после проведения первого цикла.

Далее полученные образцы исследовались методом комбинационного рассеяния света (КРС). Основываясь на экспериментальных данных из литературных источников [10, 11], значения полуширины на полувысоте 2*D*-мод у многостенных УНТ ~ 60 $см^{-1}$ и одностенных УНТ ~ 30 $см^{-1}$. Из полученных нами КРС спектров можно сделать вывод, что УНТ с количеством стенок 2 и более частично смываются с поверхности пластины. После трёх циклов обработки гидромеханическим воздействием значения полуширины на полувысоте 2*D*-мод не изменяются (рис. 3).

Проведенные исследования позволяют построить графики зависимости среднего поверхностного сопротивления слоя УНТ от количества циклов обработки гидромеханическим воздействием (рис. 4). Результаты, приведённые на рис. 4, означают, что при обработке гидромеханическим воздействием большие наслоения УНТ размываются до более тонкого слоя с большим сопротивлением, а области пластины с малой плотностью УНТ, образованные при

нанесении малых объёмов суспензии, наоборот заполняются с уменьшением сопротивления получаемого слоя. Варьируя исходное количество нанесенных УНТ и время обработки гидромеханическим воздействием, на поверхности подложки можно получать слои УНТ с необходимыми характеристиками.

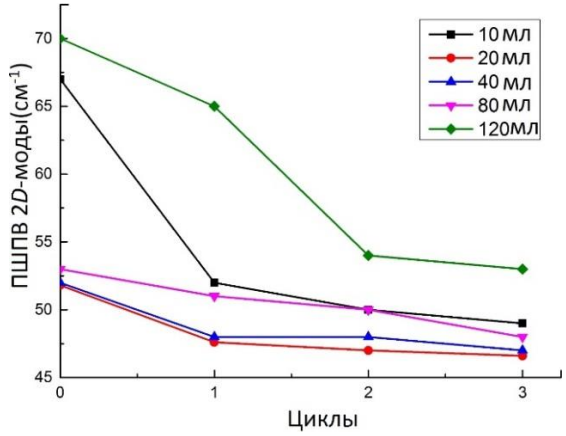


Рис.3. Зависимость отношения значений интенсивностей полуширины на полувысоте 2D-мод от количества циклов гидромеханического воздействия для образцов с различным объемом нанесенной суспензии с УНТ

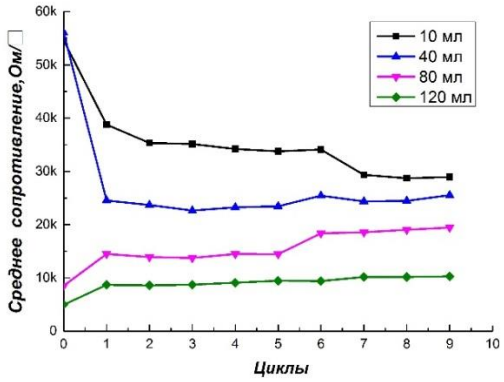


Рис.4. Зависимость среднего поверхностного сопротивления слоя УНТ от количества циклов обработки гидромеханическим воздействием

Предлагаемый метод формирования функциональных слоев УНТ имеет ряд преимуществ по сравнению с методом механического отшелушивания УНТ с использованием адгезионного покрытия из фоторезиста, приведенным в [9]: более дешевый, технологичный (требует меньшего количества оборудования, так как нет дополнительных операций по нанесению фоторезиста), экологически чистый. В дальнейшем мы планируем изготовить приборы на основе УНТ и улучшить метод по созданию суспензии УНТ.

Заключение

В результате выполненной работы была продемонстрирована методика получения слоя из УНТ нанесением спреем на подложки диаметром 4”.

Использование метода обработки гидромеханическим воздействием поверхности подложки со слоем УНТ, нанесенного спреем, позволяет получить однородные слои УНТ с заданным поверхностным сопротивлением.

Среднее поверхностное сопротивление слоя УНТ слабо зависит от увеличения циклов обработки гидромеханическим воздействием после проведения первого цикла.

В результате обработки слоя УНТ гидромеханическим воздействием часть УНТ с количеством стенок, равным двум и более, смываются с поверхности пластины.

Полученные образцы могут использоваться в качестве функциональных слоев УНТ для разработки таких приборов, как транзистор на основе УНТ, диод Шоттки.

Автор выражает благодарность М. А. Тархову, Н. В. Порохову, Е. Р. Тимофеевой, . М. Тагаченкову, М. В. Шибалову, И. В. Трофимову, . М. Мумлякову, А. В. Коновалову, Е. В. Зеновой, В. В. Сень за помощь в постановке задачи и полезные обсуждения.

Список литературы

1. Keshavarzian, P., Sarikhani, R. // Circuits, Systems, and Signal Processing. 2013. V. 33. № 3, P. 665. DOI: 10.1007/s00034-013-9672-6.

2. Yang M. H., Teo K. B. K., Milne W. I., Hasko D. G. // Applied Physics Letters. 2005. V. 87. № 25, P. 1. DOI: 10.1063/1.2149991.

3. Deck C. P., Vecchio K. // Carbon. 2006. V. 44. № 2, P. 267. DOI: 10.1016/j.carbon.2005.07.023

4. Datsyuk V., Kalyva M., Papagelis K. et al. // Carbon. 2008. V. 46. № 6, P. 833. DOI: 10.1016/j.carbon.2008.02.012.

5. Jeong M., Lee K., Choi E. et al. // Nanotechnology. 2012. V. 23. № 50. P. 1. DOI: 10.1088/0957-4484/23/50/505203.

6. Shi Y., He L., Deng Q., et al. // Micromachines. 2019. V. 10. № 5. P. 330. DOI: 10.3390/mi10050330

7. Cui H., Yan X., Monasterio M., Xing F. // Nanomaterials. 2017. V. 7. № 9. P. 262. DOI: 10.3390/nano7090262.

8. Tian Y., Zhang X., Geng H.-Z. et al. // RSC Advances. 2017. V. 7. № 83. P. 53018. DOI: 10.1039/c7ra10092b.

9. Hills G., Lau C., Wright A. et al. // Nature. 2019. V. 572. № 7771. P. 595. DOI: 10.1038/s41586-019-1493-8.

10. Graf, D., Molitor, F., Ensslin, K., et al. // Nano Letters. 2007. V. 7. № 2. P. 238–242. DOI: 10.1021/nl061702a.

11. Ferrari A. C., Meyer J. C., Scardaci V. et al. // Phys. Rev. Lett. 2006. V. 97. № 18. P. 187401. DOI: 10.1103/PhysRevLett.97.187401

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ КРЕМНИЙ - УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

Калачикова И.В., Шагаева А.Е.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе получены экспериментальные концентрационные зависимости энергии активации проводимости, температурные зависимости удельной электропроводности и вольт-амперные характеристики металлосодержащих нанокомпозитных кремний-углеродных пленок (далее МНКУП). Установлено что, характер легирующего металла и его концентрация в пленке оказывают значительное влияние на электрические свойства МНКУП. Даны рекомендации по применению МНКУП в датчиках температур и в качестве резистивных материалов для потенциометров.

Введение

Кремний-углеродные пленки применяются во многих отраслях промышленности: электроника и оптоэлектроника, авиа- и автомобилестроение, медицина. Поэтому потребность в данном типе пленок постоянно возрастает. МНКУП обладают уникальным сочетанием физических свойств: хорошей адгезией к подложкам из различных материалов, термостойкостью и износостойкостью, высокими механическими характеристиками. Возможность заданным образом варьировать их электрические свойства обусловливает широкий спектр применения данных пленок.

Высокая вариативность свойств МНКУП, обусловленная их составами, требует глубокого анализа зависимостей удельного электросопротивления пленок от различных факторов.

Высокая термостойкость и износостойкость МНКУП по сравнению с рядом других материалов позволяет повысить ресурс изделий на их основе, поэтому исследование пленок необходимо для улучшения эксплуатационных характеристик потенциометров, датчиков температур и т.д.

Целью данной работы является выработка рекомендаций по применению МНКУП в конкретных областях техники для их дальнейшего практического применения в терморезисторах и потенциометрах. Для этого проведены исследования зависимостей удельного электросопротивления от температуры и концентрации металлов. Также рассчитаны и проанализированы зависимости энергии активации проводимости МНКУП.

В данной работе также произведены расчеты энергии активации и построены вольт-амперные характеристики (далее ВАХ) МНКУП.

Методика проведения экспериментов

Снятие ВАХ образцов осуществлялось с помощью характериографа многофункциональной платформы NI Elvis. Для получения температурных зависимостей сопротивления пленка закреплялась над конвекционной печью с температурным диапазоном 50-500 °С. К поверхности пленки крепился датчик температуры LM135, напряжение с которого измерялось встроенным мультиметром NI Elvis. Сопротивление исследуемой пленки измерялось другим мультиметром. После снятия всех показаний строились графики зависимостей и проводился анализ экспериментальных результатов. На следующем этапе выполнялись расчеты энергии активации проводимости, для которой также строились графики концентрационных зависимостей.

Влияние концентраций легирующих металлов на электропроводность пленок

Исследования ВАХ проводились для того чтобы убедиться, что образцы имеют омический контакт. Также полученные данные использовались для определения удельного сопротивления пленок.

При построении и анализе ВАХ пленок с наночастицами гафния, хрома, ванадия, вольфрама и молибдена было обнаружено, что при увеличении концентрации металла до 35 ат.% наблюдается рост удельной электропроводности МНКУП. Увеличение содержания металла в пленке приводит к возрастанию туннельного тока. Данное явление можно объяснить изменениями в структуре матрицы, возникающими вследствие уменьшения расстояния между наночастицами, которое приводит к токопереносу по оборванным связям [1].

Из полученных зависимостей (рисунок 1) следует, что при сопоставимой концентрации металла удельная электропроводность хромсодержащих пленок выше, чем у содержащих ванадий, на три порядка величины.

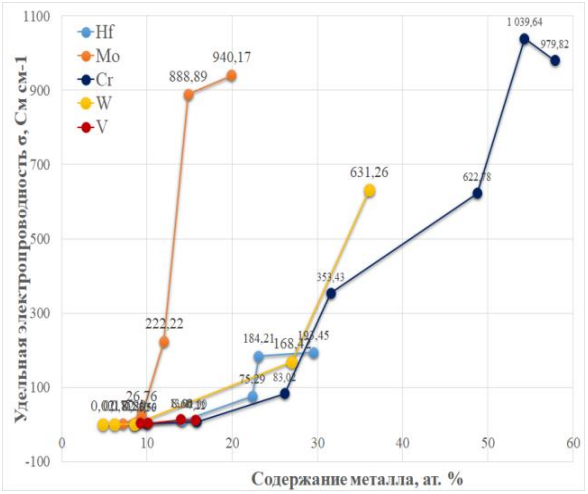


Рис.1. Концентрационные зависимости удельной электропроводности МНКУП при различном содержании металла

Зависимость энергии активации от концентрации легирующей примеси

МНКУП обладают зависимостью удельной электропроводности от температуры, характерной для полупроводниковых материалов, отрицательным ТКС - при увеличении температуры их удельная электропроводность возрастает. Для применения в термисторах существенное значение имеет энергия активации проводимости МНКУП [2].

Для расчета энергии активации проводимости используется формула и температурной зависимости электропроводности:

$$\sigma = \sigma_0 e^{\frac{-\Delta E_{акт}}{2kT}}, \quad (1)$$

где σ_0 - проводимость, которой обладал бы полупроводник при очень высоких температурах, k - постоянная Больцмана, T – температура пленки [3].

После несложных преобразований получаем формулу для расчета энергия активации проводимости:

$$\Delta E_{акт} = -tg(\alpha) \cdot 2 \cdot k, \quad (2)$$

где tg(α) – тангенс угла наклона зависимости логарифма проводимости от обратной температуры. Энергия активации $E_{акт}$ рассчитывается по экспериментальным данным зависимости σ от температуры.

Анализ температурных зависимостей проводимости для МНКУП с молибденом, вольфрамом и гафнием показал, что энергия активации проводимости уменьшается при увеличении концентрации легирующего металла в образцах. Зависимости энергии активации от состава пленки представлена на рисунке 2.

Из графиков на рисунке 2 видно, что энергия активации пленок, содержащих до 4,8 ат.% вольфрама, резко уменьшается от 0,31 эВ до 0,13 эВ. Основной причиной столь резкого уменьшения величины энергии активации является образование проводящих каналов, через которые осуществляется токоперенос. Данная особенность приводит к тому, что с ростом концентрации металла, ТКС пленок уменьшается по абсолютной величине.

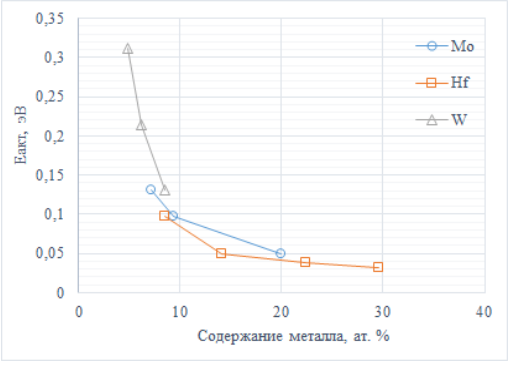


Рис.2. Концентрационная зависимость энергии активации проводимости пленок с молибденом, гафнием и вольфрамом

В пленках, содержащих гафний ($E_{акт}$=0,1…0,03 эВ) и молибден ($E_{акт}$=0,13…0,05 эВ), наблюдается плавное уменьшение энергии активации с ростом содержания металла.

Заключение

Проведен анализ электрических свойств МНКУП с наночастицами гафния, вольфрама и молибдена концентрацией до 35 ат.%, выявлено, что их энергия активации уменьшается с ростом концентрации металла в пленках. Также при увеличении содержания металла удельная электропроводность растет, а удельное сопротивление падает. Анализ результатов показал, что удельная электропроводность МНКУП уменьшается при повышении температуры.

В результате проведенных исследований были предложены некоторые области возможных применений МНКУП. Также выявлено, что для датчиков температур необходимы пленки с низким количеством металлосодержащей фазы и высоким удельным сопротивлением, в частности пленки, содержащие ванадий 9-16 ат.%, вольфрам 5-9 ат.% или хром 10-16 ат.%.

Для резистивных материалов потенциометров рациональнее использовать низкоомные МКУП, обладающие минимальным температурным коэффициентом сопротивления, для этого подходят пленки, содержащие вольфрам 27-36 ат.%, хром 26-58 ат.%, молибден 12-20 ат.% и гафний 22-29 ат.%. [4].

Повышение технических и эксплуатационных характеристик потенциометров и терморезисторов на основе МНКУП может быть достигнуто за счет сочетания их высокой термостойкости и механических свойств, что будет являться предметом дополнительных исследований.

Список литературы

1. Баринов А.Д., Попов А.И., Пресняков М.Ю. Зависимость свойств металлсодержащих кремний-углеродных нанокомпозитов от концентрации нанофазы // Неорганические материалы. – 2017. – Т.53– №°7. – С. 1-6.

2. Дьячкова И.Г., Мамонтов А.В., Монахов И.С., Шахбазов С.Ю., Шупегин М.Л. Электрофизические свойства металлсодержащих нанокомпозитов при концентрации нанофазы до порога перколяции//Кристаллография. – 2020. - Т.65 – №°4. – С. 640-643.

3. Бондаренко Г. Г. Основы материаловедения: учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко; под ред. Г. Г. Бондаренко. — 2-е изд.. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. - 763 с.

4. Ротнер С.М., Лагутин В.В., Медведенко Ю.С. Мощные резисторы нового поколения на основе углеродных (алмазоподобных) пленок // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2006. – №°6. – С. 58-60.

МЕТОД ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОГЕНЕРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ

Астафьев А.В.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Фотоэлектрические свойства полимерного материала определяются фотогенерацией и транспортом носителей заряда в пленке. Квантовая эффективность фотогенерации (КЭФ) свободных электронов и дырок является характеристикой процесса фотогенерации. В работе рассмотрен электрографический метод экспериментального определения КЭФ и представлена измерительная установка.

Введение

Основными параметрами, характеризующими фотопроводимость, являются квантовый выход генерации носителей, тип носителей, подвижность, концентрация, время жизни, чувствительность, величина поверхностной и объемной проводимости [1]. Актуальность данных исследований связана с поиском новых органических фотопроводников с высокой квантовой эффективностью генерации носителей заряда для разработки устройств регистрации и преобразования светового излучения в электрический ток (солнечные элементы, фотодиоды).

Электрографический метод (метод разряда) позволяет исследовать фотоэлектрические процессы в полимерных пленках. С его помощью возможно определение подвижности, концентрации и других параметров. В частности, возможно измерение квантовой эффективности фотогенерации (КЭФ) Φ – это отношение числа генерированных носителей заряда к числу поглощенных фотонов. Величина Φ зависит от энергии фотона, напряженности электрического поля и температуры.

Описанные методы измерения КЭФ

Измерения КЭФ были описаны в литературе. Так в статье [2] использовали метод электрофотографии для определения светочувствительных своиств полидисалицилиденазометинов (ПСАМ), содержащих в своей цепи атомы кремния.

Использовался метод электрофотографии для определения квантового выхода при исследования закономерностей изменения собственной (без введения добавок-сенсибилизиторов) фотопроводимости полимеров винилового ряда [–CRH–CH2] (поливинилнафталин). Было описано, что метод основан на возможности формирования в материале при его электростатическом очувствлении двойного электрического слоя с последующей локализацией модуляции его мощности (произведения плотности поверхностного заряда на толщину слоя) за счет фотопроводимости. Дрейф генерированных светом носителей заряда приводит к нейтрализации поверхностного заряда или к уменьшению толщины двойного электрического слоя. Квантовый выход измерялся при напряженности электрического поля E = 105−106 В/см, при контроле условий полного собирания фотогенерированных носителей заряда.

В статье [3] описывается использование времяпролетного метода. Образцы (РНТ) наносились на стеклянные подложки, покрытые ITO, и контактировали с полупрозрачным алюминиевым электродом, напыленным сверху. Образцы освещались короткими световыми импульсами с помощью лазера. В данном случае больший вклад имел транспорт носителей, диффузная его составляющая.

В статье [4] описываются измерения похожих структур (фотовольтаические элементы), как и в предыдущей, за исключением способа измерения. Здесь снимается ток короткого замыкания. Так называемый charge extraction – вытягивание заряда. В этих методах отсутствует приложение высокого электрического поля [4]

В отличие от методов, описанных выше, электрофотография является более точным методом измерений квантовой эффективности, так как измерения проходят до возникновения вероятности захвата носителей на электронные глубокие ловушки.

Принцип метода

Суть метода заключается в заряжении ионами коронного разряда верхней поверхности исследуемого образца до потенциала V_0 относительно заземленной обратной поверхности. При освещении пленки полимера сильно поглощаемым светом наблюдается спад потенциала поверхности V за счет возникновения фототока под действием поля в пленке (Рис. 1).

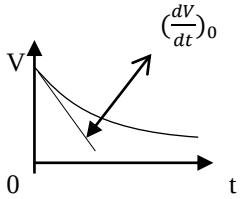


Рис.1. Экспериментальная кривая спада поверхностного потенциала пленки под действием света

Производная по времени дает возможность прямо определить значение КЭФ Φ из уравнения (1):

$$(\frac{dV}{dt})_0 = \frac{\Phi \times e \times P}{C} \quad (1)$$

где P – число поглощенных фотонов в единицу времени, e – заряд электрона, C – электрическая емкость полимерного образца.

Установка

Принципиальная схема измерительной части установки представлена на рис 2. С помощью коронатора, состоящего из нескольких разведенных между собой проводов с острыми концами, происходит заряжение образца, т.е. нанесение ионов одного знака на поверхность пленки [5]. Через развязывающий конденсатор (выполняет роль фильтра) подключается сигнальный провод на осциллограф. Освещение образца происходит от светодиода с длиной волны 405 нм, встроенного непосредственно в вибрирующий электрод, находящийся сверху образца. Регулированием положения электрода добиваются стабилизации картины на осциллографе и снимаются текущее значения потенциала. Данная установка собрана в части измерительного блока, проводится ее дальнейшая модернизация.

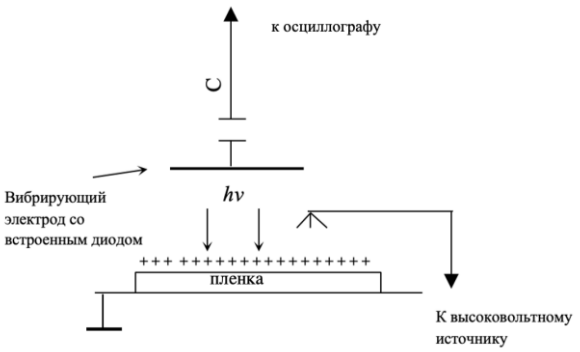


Рис.2. Схема измерительной части электрографической установки

Заключение

Электрографический метод позволяет определить одну из важных характеристик фотогенерации – квантовую эффективность генерации свободных носителей заряда. Он также позволяет измерить время жизни носителей заряда. По сравнению с методом измерения фотопроводимости в образцах диодной структуры, преимущество электрографического метода заключается в том, что в установке не требуются труднореализуемые омические контакты, которые, к тому же могут искажать экспериментальный сигнал. При этом надо учитывать и ограничения метода - он не применим при напряженности электрического поля менее 10^3 В/см из-за низкого отношения сигнал/шум.

Список литературы

1. В. С. Мыльников, “Электрические и фотоэлектрические свойства органических полимерных полупроводников”, *Усп. хим.*, 37:1 (1968), 78–103; *Russian Chem. Reviews*, 37:1 (1968)

2. Александрова Е. Л., Иванов А. Г., Геллер Н. М., Шаманин В. В. «Структурные закономерности механизма фотогенерации свободных носителей заряда в рядах элементосодержащих полисалицилиденазометинов». Физика и техника полупроводников. 2010. Т. 44. № 5. С. 660-668.

3. R. Sterbacka K. Genevicius A. Pivrikas G. Juka K. Arlauskas T. Kreouzis et al. "Quantum efficiency and initial transport of photogenerated charge carriers in pi-conjugated polymers" Synthetic Met. vol. 139 pp. 811-813 2003

4. Kan Ding,a Xiaheng Huang,b Yongxi Lib, Stephen R. Forrest "Photogeneration and the bulk quantum efficiency of organic photovoltaics", Energy Environ. Sci., 2021,14, 1584-1593

5. Thomas F. Hayne (January 1976), "Screen Controlled Corona Device (Scorotron) for Charging in a Xerographic Copier", *IEEE Transactions on Industry Applications*, IA-12 (1)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА С МИКРОНАГРЕВАТЕЛЕМ НА ЧИПЕ ИЗ НИТРИДА КРЕМНИЯ

Святодух С.С.[1], Кузьминых И.О.[2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]Базовая кафедра квантовой оптики и телекоммуникаций ЗАО «Сконтел»,
[2]департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассмотрена одна из реализаций перестраиваемых оптических фильтров и модуляторов на чипе – кольцевых резонаторов с микронагревателями. Данное исследование направленно на изучение термооптического эффекта в нитриде кремния, для оценки потенциала данной интегрально-оптической платформы.

Введение

Интегральная нанофотоника, является бурно развивающейся областью науки и техники [1,2]. Она находит многочисленные применения в таких областях как – телекоммуникации [3,4], где она используется для создания узкополосных фильтров оптического излучения, сверхбыстрых оптических модуляторов и сверхчувствительных детекторов, спектроскопии [5,6], где используя явления интерференции и резонанса, можно получать устройства со сверхвысокими показателями скорости и чувствительности, которые сложно получить использую оптические волокна.

Нитрид кремния (Si_3N_4) является одной из самых перспективных нанофотонных платформ, имея широкий спектр пропускания (от ультрафиолета до среднего ИК диапазона), низкие потери на распространение (возможно получать потери менее 1 дБ/м [7,8]) и др. Однако, в силу кубической симметрии кристаллической решетки, нитрид кремния лишен квадратичной нелинейности из-за чего, создание активных элементов на данной платформе затруднительно [9, 10]. Для решения этой проблемы, в данной работе будет рассмотрена реализация активного эле-

мента на термооптическом эффекте – локальном изменении показателя преломления материала, при его нагреве. Поскольку методик напыления нитрида кремния на подложку достаточно много и каждый отдельный способ позволяет получать пленку нитрида кремния с различными физическими свойствами, существует необходимость в определении теормооптического коэффициента для каждой конкретной напыленной плёнки.

Кольцевые резонаторы заполучили столь большую популярность в силу простоты идеи перестройки резонансной длины волны кольцевого резонатора. Например, в работе [11] изучаются микронагреватели интегрированные на кремниевую фотонную интегральную платформу, являющаяся самой популярной фотонной интегральной платформой, в силу большого задела кремниевой технологии. В данной работе подробно рассматриваются, как теоретические, так и экспериментальные зависимости степени перестройки резонансной длины волны от подаваемого тока на микронагреватель. Также в данной работе рассматривается зависимость положения резонансной длины волны, в зависимости от частоты тока смещения, тем самым определяется предельная скорость перестройки кольцевого резонатора. В работе [12], рассматривается применение перестраиваемых кольцевых резонаторов на платформе нитрида кремния, в применении генерации керровских гребенок – набора равноудаленных спектральных линий, получающиеся при накачке резонатора из керровского нелинейного материала, непрерывным лазерным излучением. Микронагреватель необходим для тонкой подстройки резонансной длины кольцевого резонатора, для более эффективной генерации оптических керровских гребенок. В работе [13] рассматривается применение кольцевых резонаторов в роли простейшего фильтрующего устройства с возможностью перестройки за счет микронагревателя на кремниевой фотонной интегральной платформе. В результате удалось продемонстрировать узкополосное, перестраиваемое фильтрующее устройство со сверхнизким потреблением мощности. Стоит отметить, что во всех приведенных выше работах используется вертикальное расположение микронагревателя, относительно оптического волновода (микронагреватель находится непосредственно над оптическим волноводом), что несколько усложняет технологический процесс изготовления устройств. В данной работе будет рассматриваться подложка $Si/SiO_2/Si_3N_4$, где Si_3N_4 напылен методом химического осаждения из газовой фазы. Дальнейшее описание работы устроено следующим образом, в первой части будет описан процесс изготовления кольцевых резонаторов с микронагревателями на платформе нитрида кремния, во второй части будут представлены экспериментальные результаты исследования изготовленных структур.

Технология изготовления кольцевых резонаторов с микронагревателями

В целом технологический маршрут изготовления кольцевых резонаторов с микронагревателями можно описаться следующими пунктами:

1. Резка 4ех дюймовой пластины $Si/SiO_2/Si_3N_4$ методом скрайбирования на чипы размером 15x15 мм.
2. Чистка получившихся пластинок в органических растворителях.
3. Нанесение позитивного электронного резиста методом центрифугирования.
4. Проведение электронно-лучевой литографии.
5. Проявление электронного резиста.
6. Плазмохимическое травление нитрида кремния.
7. Удаление остатков резиста.
8. Нанесение фоторезистам методом центрифугирования.
9. Задание топологии микронагревателей методом фотолитографии.
10. Напыление золотых нагревателей методом термического испарения.
11. Проведение взрывной литографии золота в теплом ацетоне.
12. Завершающая чистка итоговых пластинок в ацетоне/ деионизированная воде/изопропаноле и кислородной плазме.

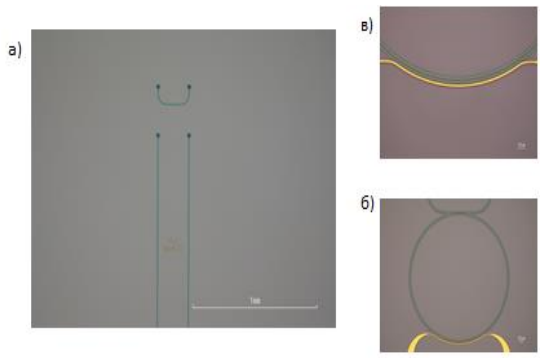


Рис.1. Фотографии изготовленного кольцевого резонатора с микронагревателем.
а) Решетчатые элементы согласования
б) Кольцевой резонатор с микронагревателем
в) Микронагреватель крупным планом

В итоге технологического процесса получаются структуры, показанные на рисунке 1, где представлены устройства ввода излучения на чип – решетчатые элементы согласования (рис.1.а) и сами кольцевые резонаторы с микронагревателями (рис.1.б, в).

Измерение основных параметров кольцевых резонаторов с микронагревателями.

Следующим этапом в изучении кольцевых резонаторов с микронагревателями, было измерение основных параметров кольцевых резонаторов – добротности, FSR и др, а также термооптического эффекта нитрида кремния. Приведенные основные параметры кольцевого резонатора представляют из себя следующие характеристики. Добротность кольцевого резонатора, по определению является пара-

метром определяющий ширину резонансного пика. Используя добротность, имеется возможность оценивать степень согласованности оптического волновода с кольцевым резонатором, а также потери в кольцевом резонаторе [14]. Величина FSR или же свободное спектральное расстояние, определяет расстояние между резонансными пиками. Значение FSR вычисляется аналитически из оптической длины резонатора, а также из показателя задержки волновода (данный показатель характеризует насколько единица длины оптического волновода "задерживает" свет, на пути его распространения) [14]. Положение резонансной длины волны, также является очень важной характеристикой кольцевого резонатора, поскольку, рассчитывая то или иное устройство, всегда имеется опора некоторую длину волны (чаще всего 1550 нм, определяемая окном прозрачности оптического волокна). Резонансная длина волны, определяется исключительно длинной оптического пути резонатора [14]. Помимо характеристик самого кольцевого резонатора, также вводятся характеристики кольцевого резонатора совместно с микронагервателем. Основными из них являются вносимые потери металлическим микронагревателем, а также перестраиваемость резонансной длины волны, кольцевого резонатора. Все эти величины позволяют характеризовать и сравнивать кольцевые резонаторы с интегрированными микронагревателями.

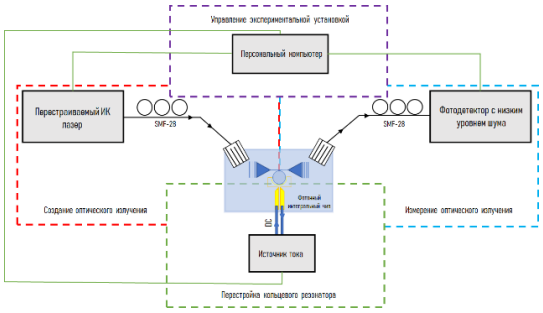


Рис.2. Блок схема эксперимеатальной установки для измерения кольцевых резонаторов с микронагревателями

Схема экспериментальной установки для измерения кольцевых резонаторов с миронагревателями представлена на рисунке 2. Она состоит из четырех основных блоков – блок создания оптического излучения, блок перестройки кольцевого резонатора, блок измерения оптического излучения и блока управления экспериментальной установкой. Блок создания оптического излучения включает в себя перестраиваемый в диапазоне длин волн 1510–1620 нм, контроллер поляризации и вводящее волокно. Блок перестройки кольцевого резонатора, включает в себя управляемый источник напряжения и игольчатые зонды для контакта с чипом. Блок измерения оптического излучения состоит из выводящего оптического волокна и измерителя оптической мощности, синхронизированного с перестраиваемым лазером. Блок управления экспериментальной установкой состоит из персонального компьютера с программой управления экспериментальной установкой, написанной в программном обеспечении LabView.

Основные полученные результаты представлены на рисунке 3. Параметры кольцевого резонатора определяют основные характеристики резонансов – их глубину (добротность), расстояние между ними (FSR). Из рисунка 3.а, б можно получаем, что добротность резонатора на длине волны 1550 нм порядка 10000 и FSR получается порядка 3 нм.

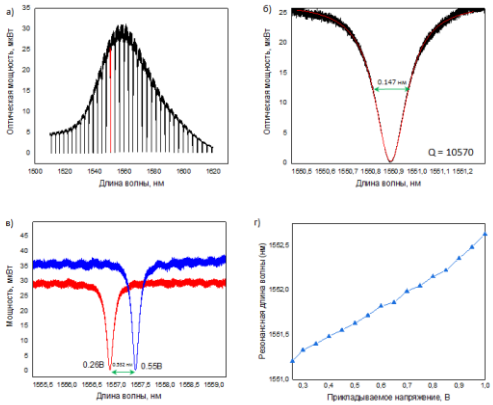


Рис.3. а) Экспериментально полученный спектр пропускания изготовленного кольцевого резонатора. б) Увеличенное изображение резонансного пика, расположенного рядом с длиной волны 1550 нм. в) Экспериментальная зависимость перестройки резонансных пиков, в зависимости от прикладываемого напряжения на микронагреватель. г) Обработанная зависимость резонансной длины волны от прикладываемого напряжения на микронагреватель, наклон кривой равен 1.429 нм/В

Зависимости положения резонансных пиков от напряжения на микронагревателях представлены на рисунке 3 в. Из них можно увидеть, что зависимость резонансной частоты от прикладываемого напряжения является достаточно крутой, что потенциально позволит перестраивать резонансную длину волны в большом диапазоне длин волн. Вычисляя из полученных данных наклон кривой зависимости положения резонансного пика от прикладываемого напряжения, отображенная на рисунке 3 г, получаем значение 1.429 нм/В. Сравнивая приведенные значения основных параметров кольцевых резонаторов с микронагревателями со значениями приведёнными в работах [11-13], можно сделать вывод, что рассматриваемые результаты сравнимы с мировыми аналогами. Стоит отметить, что для получения физического значения термооптического коэффициента, необходимо провести компьютерную симуляцию, которая позволит преобразовать полученную зависимость напряжения от положения резонансных пиков в зависимость от физической температуры. Однако эту работу нам еще предстоит проделать в будущем.

Заключение

В данной работе изучались кольцевые резонаторы с микронагревателями на чипе из нитрида крем-

ния. В работе было дано полное описание технологического маршрута изготовления кольцевых резонаторов с микронагревателями, а также проведен эксперимент с изготовленными структурами. Нами были посчитаны добротность и FSR полученного кольцевого резонатора, которые равны 10000 и 3 нм, соответственно. Помимо этого, мы получили зависимость положения резонансного пика от прикладываемого напряжения, наклон данной кривой равнялся 1.429 нм/В.

Список литературы

1. Siew S. Y. et al. Review of silicon photonics technology and platform development //Journal of Lightwave Technology. – 2021. – Т. 39. – №. 13. – С. 4374-4389.
2. Leuthold J., Koos C., Freude W. Nonlinear silicon photonics //Nature photonics. – 2010. – Т. 4. – №. 8. – С. 535-544.
3. Yamada K. et al. High-performance silicon photonics technology for telecommunications applications //Science and Technology of Advanced Materials. – 2014.
4. Doerr C. R. Silicon photonic integration in telecommunications //Frontiers in Physics. – 2015. – Т. 3. – С. 37.
5. Subramanian A. Z. et al. Silicon and silicon nitride photonic circuits for spectroscopic sensing on-a-chip //Photonics Research. – 2015. – Т. 3. – №. 5. – С. B47-B59.
6. Dhakal A. et al. Silicon-nitride waveguides for on-chip Raman spectroscopy //Optical Sensing and Detection III. – International Society for Optics and Photonics, 2014. – Т. 9141. – С. 91411C.
7. Lee H. et al. Ultra-low-loss optical delay line on a silicon chip //Nature communications. – 2012. – Т. 3. – №. 1. – С. 1-7.
8. Chauhan N. et al. Ultra-low loss visible light waveguides for integrated atomic, molecular, and quantum photonics //Optics Express. – 2022. – Т. 30. – №. 5. – С. 6960-6969.
9. Blumenthal D. J. et al. Silicon nitride in silicon photonics //Proceedings of the IEEE. – 2018. – Т. 106. – №. 12. – С. 2209-2231.
10. Levy J. S. et al. Harmonic generation in silicon nitride ring resonators //Optics express. – 2011. – Т. 19. – №. 12. – С. 11415-11421.
11. Bahadori M. et al. Thermal rectification of integrated microheaters for microring resonators in silicon photonics platform //Journal of Lightwave Technology. – 2017. – Т. 36. – №. 3. – С. 773-788.
12. Xue X. et al. Thermal tuning of Kerr frequency combs in silicon nitride microring resonators //Optics express. – 2016. – Т. 24. – №. 1. – С. 687-698.
13. Amatya R. et al. Precision tunable silicon compatible microring filters //IEEE Photonics Technology Letters. – 2008. – Т. 20. – №. 20. – С. 1739-1741.
14. Bogaerts W. et al. Silicon microring resonators //Laser & Photonics Reviews. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 47-73.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ 3D ПЕЧАТИ

Гилинская А.А. [1]***, Продьма И.Д.*** [2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]***департамент электронной инженерии,***
[2]***департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ***

Аннотация

В данной работе рассмотрен процесс разработки системы предотвращения аварийных ситуаций, возникающих при 3D печати, в частности проведен обзор и классификация ошибок при 3D печати, предложен алгоритм обнаружения различных ошибок, дано описание разрабатываемой системы оповещения.

Введение

В связи с развитием технологий все чаще возникает потребность в 3D принтерах практически во всех сферах жизни, например медицина [1], кулинария [2] и т. д. На данный момент аварийные ситуации сложно отследить из-за продолжительности печати и невозможности постоянного отслеживания этого процесса, так как время печати может достигать нескольких дней. Согласно источнику [3] наиболее часто возникающими ошибками при печати являются: отлипание модели от стола, неправильная геометрия, отверстия и щели в верхнем слое, разделение слоев. При данном формате возникает сложность в создании сложных моделей. Также стоит отметить, что несвоевременное обнаружение проблемы может вывести из строя дорогостоящие детали принтера. В связи с вышеперечисленными недостатками возникает необходимость в создании системы, которая сможет отслеживать весь процесс печати и уведомлять оператора, в случае непредвиденной ситуации.

Структура системы

Комплекс включает в себя пользовательское приложение для ПК на ОС Windows, 4 USB-камеры, расположенные на стенках принтера и навесную систему обнаружения дефектов нити пластика, состоящую из микроконтроллера Arduino Uno и двух подключенных к нему датчиков протяжки на основе транзисторной оптопары. Камеры и микроконтроллер подключены к компьютеру с установленным приложением и передают соответственно 4 видеоизображения и данные о прохождении нити через оптроны.

Приложение содержит следующие элементы:

– Панель вывода обрабатываемых изображений с камер (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**);

– Панель управления модулем получения информации о процессе печати;

– Панель вывода информации о процессе печати;

Для разработки этого приложения используется язык программирования C# и платформа API.Net Windows Forms [4].

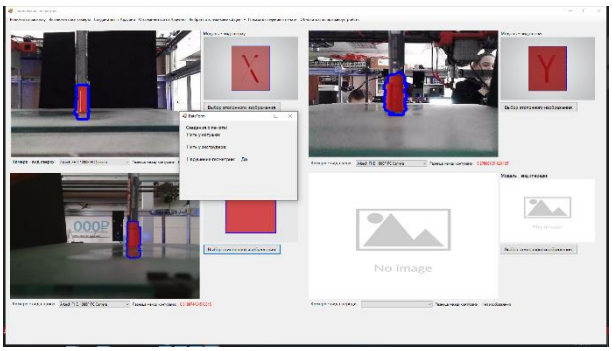


Рис.1. Панель вывода изображений с камер

Алгоритм обнаружения аварийной ситуации

При разработке программы было разработано программное обеспечение, которое позволяет отслеживать процесс печати с помощью четырех камер. Перед началом процесса печати пользователь загружает изображения проекций моделей для соответствующих камер (их можно взять из 3D модели в Unity). На **Ошибка! Источник ссылки не найден.** изображена схема обнаружения ошибки от начала и до конца печати. Рассмотрим данный алгоритм более подробно:

– Изображения с камер передается через USB-порты на компьютер;

– В приложении сравнивается контур объекта, полученного с камер, с контуром модели в среде;

– Датчик протяжки параллельно фиксирует наличие материала;

– В случае обнаружения ошибки, передается сигнал в блоки остановки печати и уведомления оператора;

– Иначе печать продолжается;

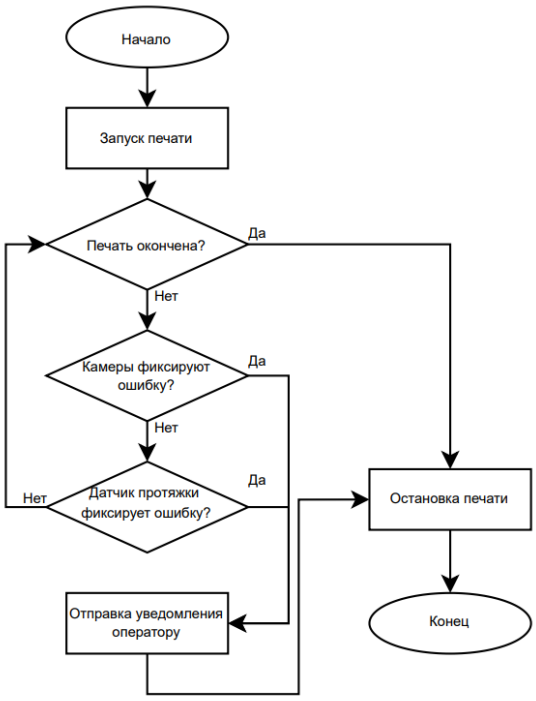


Рис.2. Полная схема системы

Обработка изображений с камер

Камеры устанавливаются с четырех сторон так, чтобы на выводимом изображении были видны вся рабочая поверхность и место печати детали. Для системы достаточной размерностью изображения является 640 x 480 пикселей.

Для визуального определения ряда ошибок предполагается использование технологии компьютерного зрения на основе .NET дополнения EmguCV [5] для библиотеки OpenCV.

При помощи функций определения контуров на черно-белом изображении планируется сравнивать полученные контуры детали на видео с камеры [6] с контурами изображения модели в соответствующей проекции.

Получение информации с датчика протяжки

Ошибка окончания или обрыва филамента определяется при помощи двух оптронов: один ближе к экструдеру и второй у выхода с катушки подачи материала.

Таким образом рассматриваются следующие случаи:

– Наличие нити пластика фиксируется на обоих оптронах, соответственно ошибки нет;

– Наличие нити фиксируется только на подаче, соответственно обрыв нити;

– Наличие нити фиксируется только у экструдера, соответственно окончание материала;

Модуль получения информации о процессе печати фиксирует данные с датчиков, формирует из них кортеж и передает его по COM-порту на компьютер оператора, где информация обрабатывается главным приложением.

При обнаружении сбоя в работе принтера – печать автоматически останавливается, высылается уведомление на компьютер оператора для последующего выяснения проблемы. Отлавливаемые ошибки:

– Отлипание модели от стола;
– Разделение слоев;
– Засорение экструдера;
– Неправильная геометрия;
– Отверстия и щели в верхнем слое;
– Обрыв пластика;
– Попадание в зону печати посторонних объектов;
– Печать не той заготовки;
– Окончание филамента;

Заключение

Разрабатываемая программа должна упростить процесс печати на 3D принтере, а также свести потери к минимуму (поломка деталей, излишние затраты пластика).

На данный момент реализованы: интерфейс программы, передача изображений с камер. Разработаны корпусы для надежной установки датчиков отслеживания.

Планируется установка датчика протяжки, создание систем оповещения и остановки работы принтера.

Список литературы

1. Annals of 3D Printed Medicine [Научный журнал]. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666964121000321 (дата обращения: 09.02.2022)
2. LWT [Научный журнал]. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821020594 (дата обращения: 09.02.2022)
3. Дефекты 3D печати [Блог]. URL: https://3dtoday.ru/blogs/leoluch/defects-3d-printing-will-try-to-introduce-a-classification (дата обращения: 09.12.2021)
4. Браузер API.NET [Электронный ресурс]. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/?view=netcore-3 (дата обращения: 15.01.2022).
5. Документация для библиотеки обработки изображений EmguCV [Электронный ресурс]. URL: https://www.emgu.com/wiki/files/4.5.5/document/html/R_Project_Emgu_CV_Documentation.htm (дата обращения: 02.02.2022).
6. Фреймворк AForge.NET для C# [Электронный ресурс]. URL: http://www.aforgenet.com/framework/docs/ (дата обращения: 15.01.2022).

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА В ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ МАХА-ЦАНДЕРА С МИКРОНАГРЕВАТЕЛЕМ НА ЧИПЕ ИЗ НИТРИДА КРЕМНИЯ

Андреев В.С. [1]***, Елбакиева И.В.*** [1]***, Кузин А.Ю.*** [2]
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]***департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ,***
[2]***Сколковский институт науки и технологий***

Аннотация

В работе рассматривается моделирование геометрических параметров и распределение тепла в структуре интерферометра Маха-Цандера с микронагревателем на чипе. Данное исследование проводится в рамках проекта по исследованию перестройки спектра интерферометра и последующей технической реализации структуры.

Введение

Сегодня интерферометры с высоким контрастом активно используются в новых методах квантовых измерений [1] и оптической коммуникации. Наибольшими преимуществами при создании интерферометров с высоким контрастом имеет технология фотонных интегральных схем на основе нитрида кремния (Si_3N_4) в связи с компактной реализацией устройств, низкой чувствительностью к тепловым и фазовым флуктуациям, а также возможностью интеграции с КМОП технологией для обеспечения термооптического эффекта. Ранее в работах влияние терммооптического эффекта обеспечивалось за счет микронагревателей, которые находились непосредственно на волноводе из Si_3N_4 [2] или над волноводом на буферном слое из оксида кремния (SiO_2) [3]. Однако в первом подходе ширина микронагревателя была ограничена геометрической конфигурацией волновода и потерями оптического излучения в волноводном слое. Во втором подходе влияние термооптического эффекта было ограничено качеством напыленного буферного слоя между волноводом и микронагревателем, что усложняет процесс производства структур с такой конфигурацией слоев. Поэтому целью данной работы было моделирование микронагревателя, находящегося рядом с волноводом, для оптимизации потерь оптического излучения в волноводе и изучения распределения температуры в волноводе в зависимости от температуры на микронагревателе.

В работе представлены результаты моделирования структуры интерферометра Маха-Цандера на чипе с микронагревателем, находящемся сбоку от волноводного слоя. Моделирование производилось с помощью программного пакета COMSOL Multiphysics. Были определены оптимальные геометрические параметры в поперечном сечении волновода для распространения одномодового оптического излучения на длине волны (λ) 1550 нм. Проводилось исследование распространения тепла, исходящего от нагревательного элемента из золота при разных температурах, а также численно было рассчитано расстояние между минимумами интерференции для разных токов на микронагревателе, которое с высокой точностью коррелирует с экспериментальными данными [4]. Полученные результаты будут использованы в дальнейшем для расчета фазовой модуляции спектральных характеристик интерферометра Маха-Цандера за счет термооптического эффекта для обеспечения высокого контраста.

Определение геометрических параметров

В качестве первого шага была построена модель поперечного сечения волновода для определения оптимальной ширины в случае распространения основной TE моды на длине волны 1550 нм. Дисперсия действительной части показателя преломления для всех материалов была взята из открытого электронного источника [5]. На рисунке 1 представлено распределение электрического поля для распространения одномодового (1) и режима распространения высших мод для длины волны 1550 нм.

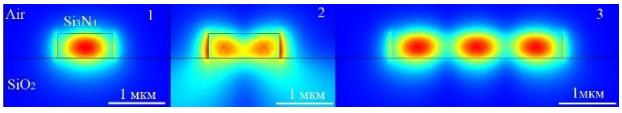


Рис.1. Распределение электрического поля при длине волны 1550 нм в поперечном сечении полностью протравленного волновода. Представлена основная TE_{00}-мода (1) и высшие моды TE_{01}(2) и TE_{02} (3) режимы распространения оптического излучения

На втором шаге была построена зависимость эффективного показателя преломления от ширины волновода (Рис. 2). Целью параметризации ставилось нахождение предельной ширины, при котором в структуре распространяется одна TE_{00} - мода (Рис. 1). Были определены границы областей распространения мод в волноводе. Границы областей соответствуют ширинам волновода 1.3 мкм и 3.1 мкм. Из результатов видно, что для одномодового распространения оптического излучения для длины волны 1550 нм целесообразно взять ширину волновода равную 1.3 мкм или меньше. Для дальнейших этапов численного моделирования была выбрана ширина волновода на 11,5% меньше границы распространения одномодового режима равная 1,15 мкм. В свою очередь толщина слоя нитрида кремния была выбрана на основе коммерчески доступных вариантов пластин и составила 450 нм.

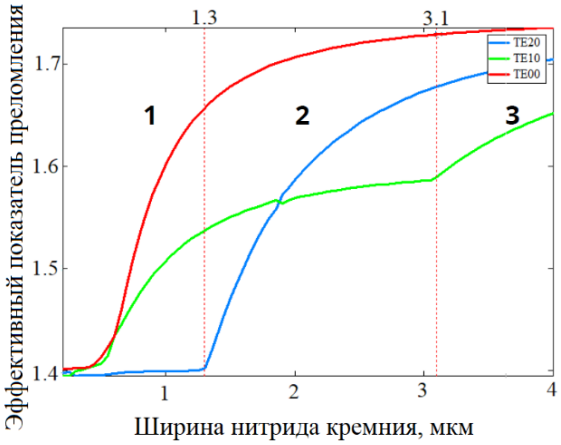


Рис.2. Зависимость эффективного показателя преломления от ширины волновода

Третьим шагом для определения геометрических параметров топологии волноводной структуры было исследование потерь в волноводе для основной TE_{00} моды в зависимости от толщины буферного слоя SiO_2.

Результаты данного моделирования представлены на рисунке 3. Точка, выбранная на графике, соответствует минимальному значению коэффициента затухания. Поскольку в COMSOL Multiphysics используется метод конечных элементов, то по мере приближения к минимальному значению разбивки для сетки появляется предел моделирования, при котором начинаются флуктуации значений коэффициента затухания. Так как размер минимальных элементов разбивки сетки был оптимальным (λ/10) значение SiO_2 было выбрано до предела моделирования и составило 2.6 мкм.

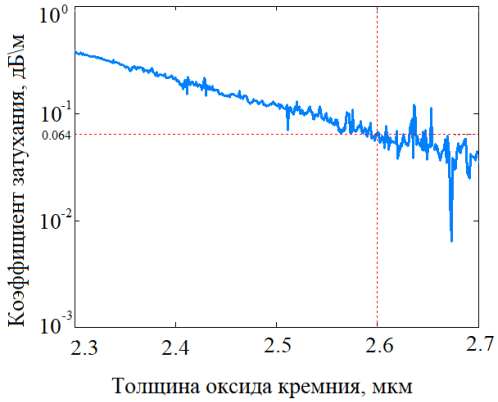


Рис.3. Зависимость коэффициента затухания от толщины оксида кремния. Слева внизу приведен результат модели для распределения электрического поля в поперечном сечении полностью протравленного волновода для длины волны 1550 нм

На четвертом шаге были определены оптимальные геометрические размеры микронагревателя из золота. Толщина и ширина микронагревателя выбирались исходя из технологических возможностей и составили 450 нм и 2 мкм соответственно. Расстояние было между волноводом и микронагревателем было рассчитано численно аналогично подходу на рисунке 3 и составило 2 мкм для 0,1 dB/м значения коэффициента затухания.

На пятом шаге было проведено усложнение модели для полупротравленного случая. Распределение поля и температуры для такого случая представлено на рисунке 4 и 5 соответственно.

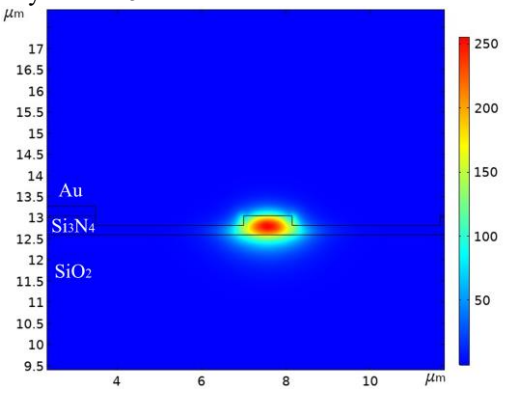


Рис.4. Распространение электромагнитного поля в полупротравленной конфигурации волновода

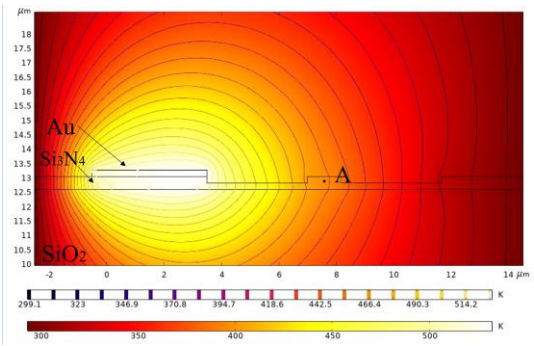


Рис.5. Распределение температуры в полупротравленной конфигурации волновода

На шестом шаге было произведено моделирование распространения тепла от микронагревателя для рассчитанной на предыдущих этапах с помощью численного расчета топологии и геометрии волновода на Si_3N_4 платформе с микронагревателем из золота. Для определения зависимости температуры в волноводе в зависимости от температуры микронагревателя был дополнительно использован модуль теплопередачи в твердых телах в COMSOL Multiphysics. Термооптичиские коэффициенты для слоев нитрида/оксида кремния, а также для слоя золота были взяты из опубликованных работ [6] и [7] соответственно.

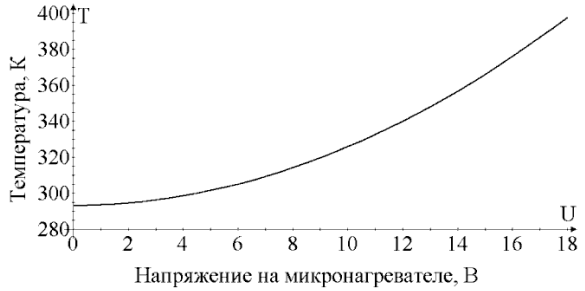


Рис.6. Зависимость температуры в волноводе от напряжения на нагревателе

Температура в центре волновода в зависимости от подаваемого напряжения на микронагреватель приведена на рисунке 6. Зависимость температуры в волноводе от напряжения на нагревателе в дальнейшем может быть использована для определения температурной зависимости коэффициента преломления [8], для измерения которого существует множество методов [9], что позволит численно рассчитать влияние термооптического эффекта от нагревателя на спектральную характеристику интерферометра Маха-Цандера на чипе.

Далее исходя из полученных данных были определены эффективные показатели преломления для трех длин волн 1549, 1550, 1551 нм в зависимости от напряжения на микронагревателе. Результаты расчета представлены н рисунке 7.

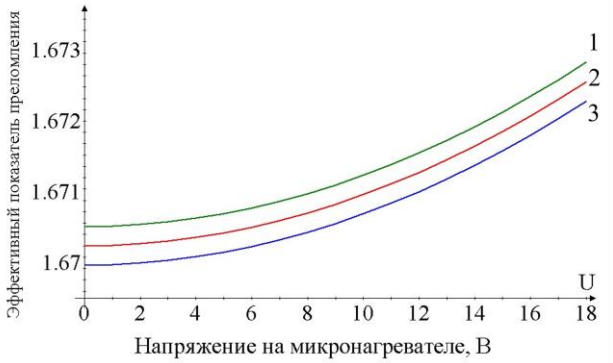


Рис.7. Зависимость эффективного показателя преломления от напряжения на микронагревателе для трёх длин волн, где 1–1549 нм, 2–1550 нм, 3–1551 нм

Далее исходя из этих данных можно найти групповой показатель преломления по формуле:

$$n_g = n_{eff} - \lambda \frac{dn}{d\lambda}. \quad (1)$$

Численный расчет FSR

Дальнейшей задачей был расчет непосредственно параметров интерферометра, которые могут быть получены экспериментально. В качестве такого параметра был выбран FSR (Free Spectral Range), который характеризует расстояние между пиками максимумов/минимумов интерференции. Расчет параметра производился по формуле:

$$FSR = \frac{\lambda^2}{\Delta L n_g}, \quad (2)$$

где λ – центральная длинна волны; ΔL – разность плеч интерферометра; n_g – групповой показатель преломления.

Поскольку в реальной структуре по всей длине плеча есть области с микронагревателем и без, то в дальнейшем целесообразно для расчета FSR использовать формулу:

$$FSR = \frac{\lambda^2}{\Delta L_h n_{g1} + (\Delta L c_h - \Delta L_h) n_{g2}}, \quad (3)$$

где ΔL_h, n_{g1} соответствуют области с микронагревателем; ΔL_{ch}, n_{g2} – соответствуют области без микронагревателя.

Соответствующие n_{g2} = 2.093, как и n_{g1} для разных напряжений на микронагревателе, были рассчитаны по формуле 1. ΔL_{ch} = 952 мкм, ΔL_h = 130 мкм были взяты из данных изготовленной структуры [6]. Результаты расчета FSR представлены на рисунке 8.

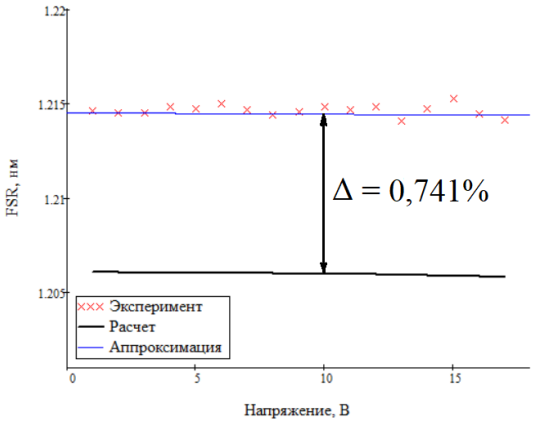


Рис.8. Зависимость FSR от напряжения на микронагревателе, где точками показаны экспериментальные данные

Экспериментальные данные были получены в работе [4], которая также представлена в этом сборнике. Отклонение эксперимента от расчета составляет 0,741%. Это расхождение вызвано неточностью входных параметров модели. А именно термооптических коэффициентов, которые были взяты опубликованных работ [6,7].

Расчетные данные достаточно точно аппроксимируют экспериментальные данные из чего можно сделать вывод о целесообразности использования предложенного численного подхода.

Заключение

В работе было произведено моделирование геометрических параметров поперечного сечения волновода для интерферометра Маха-Цандера и микронагревателя на чипе. Также было рассчитано распределение тепла от микронагревателя для рассчитанных параметров структуры. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем для более сложных структур с микронагревателем для требуемых характеристик температуры в зависимости от поданного на микронагреватель напряжения, эффективного и группового показателя преломления и FSR. Полученные результаты могут быть использованы для численного расчета требуемых характеристик интерферометра Маха-Цандера для применений в квантово-оптических приложениях.

Список литературы

1. Sych, Denis, and Gerd Leuchs. "Practical receiver for optimal discrimination of binary coherent signals." Physical review letters 117.20 (2016): 200501.
2. Qiu C. et al. High-Performance Graphene-on-Silicon Nitride All-Optical Switch Based on a Mach–Zehnder Interferometer //Journal of Lightwave Technology. – 2021. – Т. 39. – №. 7. – С. 2099-2105.
3. Venediktov I., Elezov M., Prokhodtsov A., Kovalyuk V., An P., Golikov A., Shcherbatenko M., Sych D., Goltsman G. Performance of microheaters for tunable on-chip interferometer // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2086. No. 1. P. 1-4.
4. Любчак А, Щепелева Ю, Кузин А. Экспериментальное исследование термооптического эффекта интерферометра Маха-Цандера на нитрид кремниевой платформе.// Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского – 2022
5. Электронная база данных показателей преломления разных материалов [Электронный ресурс] URL: https://refractiveindex.info/
6. Komrakova S. et al. Thermo-optical properties of nanophotonic devices with carbon nanotube films //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2086. – №. 1. – С. 012149.
7. Aleali H. et al. Thermo-optical properties of colloids enhanced by gold nanoparticles //Japanese Journal of Applied Physics. – 2010. – Т. 49. – №. 8R. – С. 085002.
8. Arbabi A., Goddard L. L. Measurements of the refractive indices and thermo-optic coefficients of Si 3 N 4 and SiO x using microring resonances //Optics letters. – 2013. – Т. 38. – №. 19. – С. 3878-3881.
9. Магунов А., Лапшинов Б. Экспериментальное определение температурной зависимости показателя преломления полупроводниковых материалов //Фотоника. – 2016. – №. 5. – С. 62-75.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ЧЕРНИЛ НА ОСНОВЕ ГРАФЕН-СЕРЕБРЯНЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Дарханов Е.В.[1], Данилов Е.А.[2], Монахов И.С.[1]
[1]Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ,
[2]АО «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИграфит»

Аннотация

В работе рассматриваются методики синтеза электропроводных чернил на основе графена и серебряных наночастиц, и влияние различных параметров на результаты синтеза. Данное исследование проводится в рамках разработки гибридных графен-серебряных чернил для технологий печатной электроники.

Введение

Одним из основных направлений развития современной электроники и технологий функциональных материалов является переход к печатным технологиям нанесения проводящих поверхностей. Актуальность печатных технологий связана с возможностью изготовления сложных поверхностей более простым и производительным способом в сравнении с методами электроосаждения или напыления металлов в совокупности с литографией.

Также важную роль играет реализация специальных возможностей, что обеспечивается использованием функциональных материалов. И здесь, преимущество печатных технологий состоит в том, что они не требуют применения нагрева подложки или глубокого вакуумирования, которые могут привести к повреждению функциональных материалов.

Суспензии графена

В научной литературе представлен широкий диапазон жидкофазных способов получения графеновых материалов. Например: получение суспензий графеновых частиц в ионных жидкостях [1], органических растворителях [2] или в водных растворах в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) [3]. Также описаны способы синтеза суспензий на основе графена и родственных ему материалов, и чернил пригодных для струйной печати [4–6].

В нашем исследовании был выбран способ получения водных суспензий графена под воздействием ультразвука (эксфолиация) в присутствии фторсодержащего ПАВ, описанный в [7]. Основными преимуществами выбранной методики являются:

1. применение относительно несложной и легко масштабируемой технологии;
2. возможность нанесения плёнок на различные поверхности;

3. конечные результаты синтеза подходят для технологий печатной электроники.

На рис. 1 представлена зависимость среднего размера частиц графита от времени эксфолиации в выбранной методике.

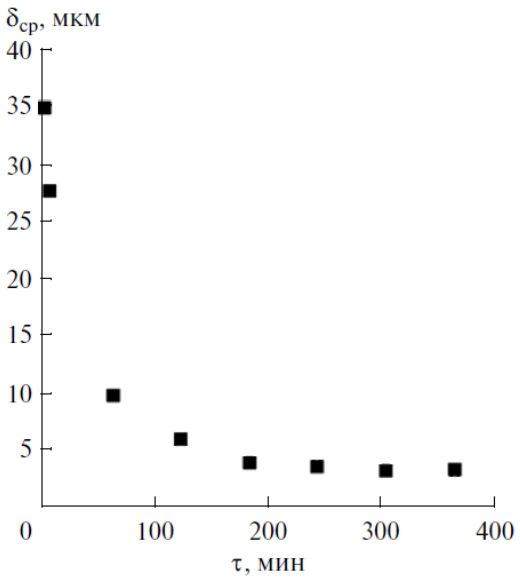


Рис.1. Изменение среднего размера частиц графита в процессе ультразвуковой обработки водной суспензии [7]

Суммарное время эксфолиации составляет 7 часов, так как согласно [7] после 6–7 часов исходные частицы графита, имеющие размеры порядка нескольких десятков микрон, уменьшаются до 3 мкм, что является предельным средним размером. Дальнейшее увеличение времени обработки не приводит к заметному изменению размеров частиц.

Также согласно источнику [7], получаемые методом жидкофазной эксфолиации водные суспензии с концентрацией 6 мг/мл содержат до 95% малослойных графеновых структур.

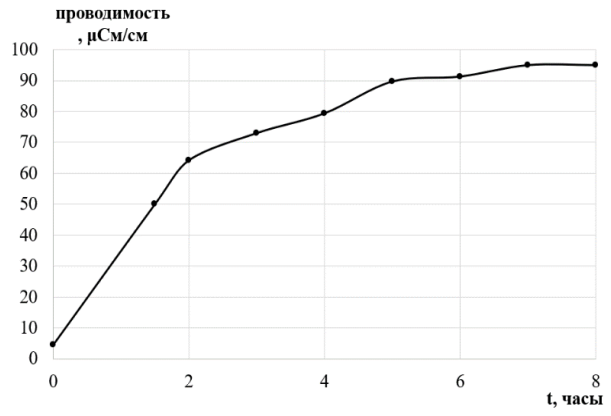


Рис.2. Изменение проводимости суспензии графена в процессе ультразвуковой обработки

Релевантность длительности процесса в 7 часов подтверждается экспериментальными исследованиями по измерению электрической проводимости суспензии графена во время эксфолиации (рис. 2).

С увеличением времени обработки электропроводность суспензии графена увеличивается и выходит на плато. Это может быть связано с изменением выхода графеновых структур и их средних размеров. Увеличение содержания графенов и уменьшение их среднего размера приводит к увеличению электропроводности с течением ультразвуковой обработки. Выход на насыщение может быть связан с максимальным выходом графеновых структур и достижением их минимального размера.

Суспензии серебра

Суспензию серебряных наночастиц изготавливали методом ультразвукового диспергирования нанопорошка серебра в дистиллированной воде.

На первом этапе необходимо было установить влияние различных стабилизирующих агентов (ПАВ) на электрическую проводимость суспензий серебряных наночастиц.

Для этого были поставлены 3 серии синтезов с постоянными концентрациями серебра и ПАВ.

Данные по электрической проводимости сведены в таблицу 1:

Таблица 1. Электрическая проводимость в зависимости от ПАВ

ПВС	56,6 μСм/см
PVP	40 μСм/см
ZONYL	150 μСм/см

Где:

- ПВС – поливиниловый спирт;
- PVP – поливинилпирролидон;
- ZONYL – фторсодержащее ПАВ.

Далее необходимо было установить влияние концентрации активного компонента, то есть серебряных наночастиц, на значения электрической проводимости (рис. 3).

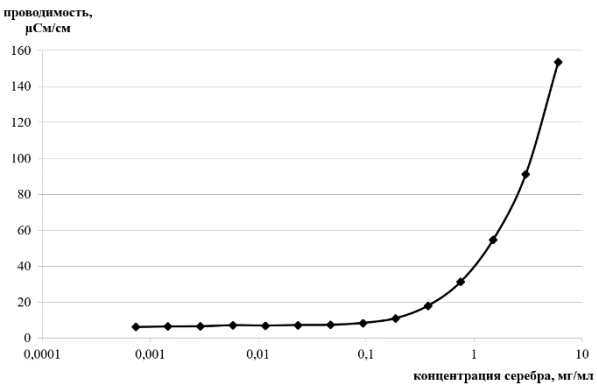


Рис.3. Концентрационная зависимость проводимости

Замечено, что в области низких концентраций значения электропроводности суспензий близки к значениям электропроводности растворителя.

Также наблюдается зависимость близкая к линейной в области высоких концентраций, однако насыщение не было достигнуто ввиду увеличения вязкости до консистенции паст.

Гибридные суспензии

Гибридные графен-серебряные суспензии изготавливались смешением в определённых пропорциях суспензий серебряных наночастиц и графеновых частиц.

Для исследования электрической проводимости необходимо было смешивать их в определённых пропорциях, регистрируя изменения проводимости.

Следующим шагом было сравнение экспериментальных значений электропроводности и рассчитанных по правилам смесей.

Данные по электропроводности гибридных суспензий представлены на рис. 4.

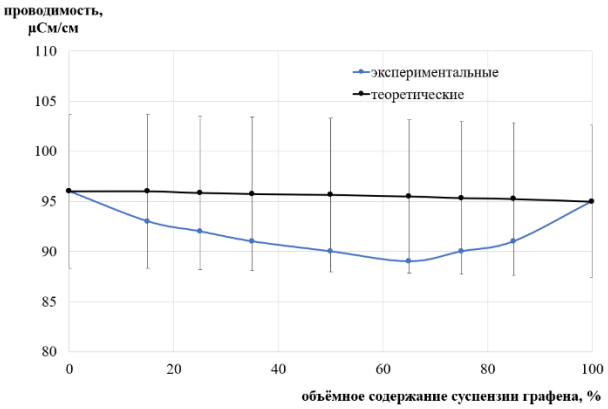


Рис.4. Экспериментальные и теоретические значения проводимости гибридных суспензий

Экспериментальные значения проводимостей гибридных суспензий находятся в пределах погрешности теоретических значений и отвечают правилам смесей и среднему арифметическому.

Заключение

1. Установлены общие подходы к изготовлению серебряных и графеновых чернил. На этапе синтеза частицы диспергируют в смеси растворителей и стабилизаторов, подвергают ультразвуковой обработке.
2. Установлено влияние различных поверхностно-активных веществ на результаты синтеза суспензий. ПАВ ZONYL обеспечивает большие значения электропроводности.
3. Установлено влияние концентрации серебряных наночастиц на конечную электропроводность суспензий при постоянной концентрации ПАВ.
4. Установлено, что электропроводность гибридных графен-серебряных систем изменяется по правилу смесей.

Список литературы

1. Wang X. et al. Direct exfoliation of natural graphite into micrometre size few layers graphene sheets using ionic liquids //Chemical Communications. – 2010. – Т. 46. – №. 25. – С. 4487–4489.
2. Malig J. et al. Wet chemistry of graphene //The Electrochemical Society Interface. – 2011. – Т. 20. – №. 1. – С. 53.
3. Ciesielski A., Samorì P. Graphene via sonication assisted liquid-phase exfoliation //Chemical Society Reviews. – 2014. – Т. 43. – №. 1. – С. 381–398.
4. He P., Derby B. Inkjet printing ultra-large graphene oxide flakes //2D Materials. – 2017. – Т. 4. – №. 2. – С. 021021.
5. Huang L. et al. Graphene-based conducting inks for direct inkjet printing of flexible conductive patterns and their applications in electric circuits and chemical sensors //Nano Research. – 2011. – Т. 4. – №. 7. – С. 675–684.
6. Majee S. et al. Ink-jet printed highly conductive pristine graphene patterns achieved with water-based ink and aqueous doping processing //Carbon. – 2017. – Т. 114. – С. 77–83.
7. Samoilov V. M. et al. Preparation of aqueous graphene suspensions by ultrasonication in the presence of a fluorine-containing surfactant //Inorganic Materials. – 2015. – Т. 51. – №. 2. – С. 98–105.

ТЕПЛОВАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В NbN ПЛЁНКАХ, ОСАЖДЁННЫХ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ ПОДЛОЖКУ

Солдатенкова М.Д.[1,2], Баева Э.М.[2], Тризнова А.Д.[2], Золотов Ф.И.[2], Колбатова А.И.[1,2]
[1]Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[2]Московский педагогический государственный университет

Аннотация

В данной работе исследуется механизм релаксации в плёнках нитрида ниобия (NbN), осаждённых на кристаллическую подложку Al_2O_3, методом шумовой термометрии в диапазоне температур 15-50 K.

Установлено, что тепловая релаксация в тонких плёнках NbN при температурах выше критической температуры сверхпроводящего перехода обусловлена теплосопротивлением Капицы и структурным беспорядком на поверхности подложки. В толстых плёнках NbN, мы наблюдаем, что тепловая релаксация происходит в диффузионном режиме для фононов, т.е. когда длина свободного пробега фонона меньше толщины пленки. Представленные результаты важны для понимания работы низкотемпературных устройств на основе плёнок NbN.

Введение

Нитрид ниобия NbN – популярный сверхпроводящий материал для создания низкотемпературных устройств и детекторов [1]. Производительность низкотемпературных устройств на основе пленок NbN ограничена теплосопротивлением между пленкой и подложкой (теплосопротивление Капицы) [2]. В данной работе выделяются еще два механизма, ограничивающие тепловую релаксацию в тонких плёнках NbN. Первый из них, связанный с неупорядоченностью поверхности поверх подложки [3], может быть устранен правильной обработкой поверхности подложки. Второй, связанный с диффузионным режимом фононов в NbN, можно уменьшить, уменьшив толщину пленки. Согласно нашим результатам, оба механизма необходимо учитывать при моделировании тепловых характеристик различных низкотемпературных устройств на основе неупорядоченных пленок NbN.

Материалы и методы

В этой работе исследуется теплоотдача в пленках NbN с толщинами от 5 до 300 нм, осажденных на сапфировую подложку. В данном эксперименте к NbN образцам прикладывается напряжение, которое приводит к джоулевому нагреву электронной подсистемы и последующему увеличению флуктуаций тока. Используя метод шумовой термометрии [4], мы измеряем температуру электронов в пленке T_e при нагревании образца джоулевым теплом.

Образец помещается в криостат при температуре выше сверхпроводящего перехода 15-50 K. Измерения выполняются в ^4He вставке, внутри которой образцы находятся в вакууме. Через образец пропускают ток и измеряют напряжение по квазичетырехточечной схеме. Архитектура экспериментальной установки изображена на рис. 1.

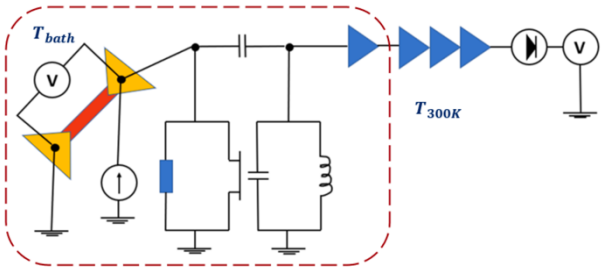


Рис.1. Архитектура экспериментальной установки

Шумовой сигнал проходит через резонансный контур и усиливается низкотемпературным усилителем, работающим при температуре ванны, и каскадом комнатных усилителей. Затем сигнал измеряется детектором мощности, который предварительно откалиброван на резонансной частоте.

Схема с транзистором, установленным параллельно образцу, позволяет получить шум параллельного сопротивления образца при различных температурах, и, таким образом, откалибровать установку. Параллельное сопротивление образца и транзистора контролируется изменением напряжения на его затворе. Калибровка произведена путём измерения мощности на детекторе как функции параллельного сопротивления образца при разных температурах ванны $T_{bath.}$

Из полученных данных мы извлекаем коэффициент усиления и шум усилителя, которые используются в дальнейшей обработке результатов.

В процессе эксперимента измеряется мощность шума образца в зависимости от тока смещения и с помощью калибровки данные шумы конвертируются в токовый шум образца S_I. Также мы измеряем вольт-амперные характеристики, которые позволяют определить значение дифференциального сопротивления $R_{diff} = dV/dI$. На последнем этапе мы вычисляем шумовую температуру T_n [5] по формуле (1):

$$T_n = \frac{S_I R_{diff}}{4k_B}. \quad (1)$$

Теплоотдача [6] от электронов к термостату, измеренная выше критической температуры сверхпроводящего перехода, может быть описана степенной зависимостью (2):

$$P_{2D} = \Sigma_{2D}(T_e^n - T_b^n), \quad (2)$$

где P_{2D} — теплота Джоуля, нормированная на площадь образца, Σ_{2D} — скорость охлаждения, n — показатель степени, T_b — температура термостата. Чтобы сравнить наши экспериментальные результаты с существующими теориями, мы получаем эффективную теплопроводность [4] согласно (3):

$$G_{2D} = \frac{dP_{2D}}{dT_e}. \quad (3)$$

Результаты и обсуждение

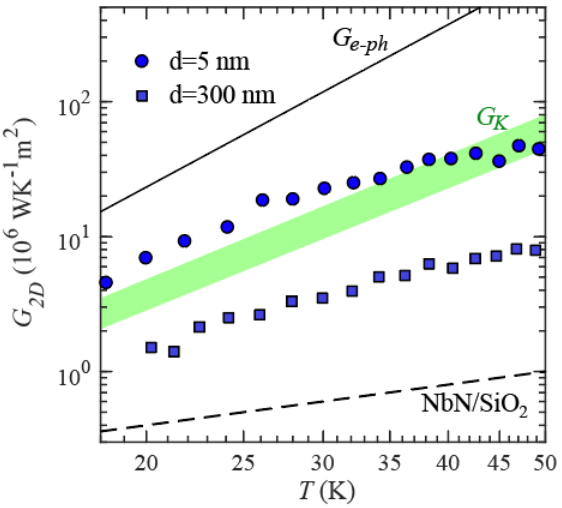


Рис.2. Измеренный коэффициент теплоотвода G_{2D} в зависимости от T для образцов NbN, на Al_2O_3 подложке, по сравнению с измеренным коэффициентом теплоотвода G_{2D} для NbN на подложке SiO_2/Si и расчетными коэффициентами теплоотвода $G_{e\text{-}ph}$ и G_K

На рис. 2 мы сравниваем экспериментальные результаты температурной зависимости G_{2D}, для двух образцов разной толщины (5 нм и 300 нм), как с расчетным электрон-фононным коэффициентом теплоотвода $G_{e\text{-}ph}$ так и коэффициентом теплоотвода Капицы G_K. Видно, что G_{2D} определяется наименьшим коэффициентом теплоотвода среди G_K и G_{e-ph}, которые имеют следующие температурные зависимости: $G_{e-ph} \propto T^4$ и $G_K \propto T^3$. Поскольку в диапазоне температур нашего эксперимента $G_K \ll G_{e-ph}$, мы далее не рассматриваем G_{e-ph}. Из рис. 2 видно, что температурная зависимость G_{2D} при T<30K напоминает температурный тренд характерный для G_K и несколько отклоняется от него при T выше 30 K.

При повышении температуры расхождение между G_{2D} для 5 нм NbN пленки и G_K становится более выраженным и может быть связано со структурным беспорядком на поверхности. Это может объяснить отклонение G_{2D} от G_K при T выше 30 K. Структурный поверхностный беспорядок может вызвать эффективное рассеяние высокочастотных фононов и, таким образом, привести к более слабому температурному тренду G_{2D} [2].

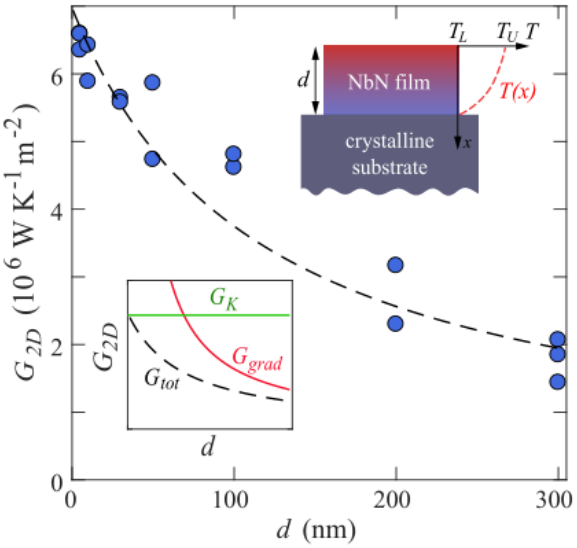


Рис.3. Основная часть: Зависимость коэффициента теплоотвода G_{2D} от толщины NbN пленки при 20K. На правой вставке показано, что релаксация тепла в толстой металлической пленке, нанесенной на кристаллическую подложку, приводит к градиенту температуры поперек пленки в направлении x. На левой вставке схематично показан вклад G_K и G_{grad} в общую теплопроводность G_{tot} пленки

Далее рассматривается переход тепловой релаксации из баллистического в диффузионно-фононный режим. На рис. 3 видно, что G_{2D} уменьшается с увеличением d, а T-тренд $G_{2D} \propto T^{n-1}$ изменяется от n=4 до n=3. На рис. 3 представлен более детальный анализ G_{2D} при 20 K для разного набора толщин. Наблюдаемое монотонное уменьшение G_{2D} с увеличением d резко контрастирует с тенденциями, ожидаемыми для электрон-фононного теплоотвода и теплоотвода Капицы ($G_{e-ph} \propto d$ и $G_{2D} \propto$const), и может быть объяснено рассмотрением диффузионного режима для фононов в NbN пленке. В этом режиме при протекании тока через образец устанавливается температурный градиент по толщине пленки (подробности см. на вставке к рис. 3 и в ссылке [7]). В таком режиме коэффициент теплоотвода может быть определен как $G_{grad} \propto \kappa(T)/d$, где $\kappa(T) = \kappa_e + \kappa_{ph}$ – полная теплопроводность пленки NbN. Ниже исследуется температурная зависимость κ в пленках NbN. На вставке к рис. 3 можно увидеть тенденции изменения толщины, ожидаемые для G_K, G_{grad} и общей теплопроводности (3):

$$G_{tot}^{-1} = G_K^{-1} + G_{grad}^{-1}. \quad (3)$$

Обратите внимание, что G_{grad} проявляется в G_{2D}, если эффекты подложки достаточно малы. Сопоставляя экспериментальные данные с G_{tot} (см. черную пунктирную линию на рис. 3), мы получаем G_{grad} и, следовательно, κ(T). Беря во внимание, что $\kappa_e \simeq 0.15$ Вт/Км из закона Видемана-Франца, мы оцениваем $\kappa_{ph} \simeq 0.06$ Вт/Км в NbN при 20K. Полученное соотношение $\kappa_e \gg \kappa_{ph}$ может соответствовать сильному фонон-электронному рассеянию в NbN [5]. В режиме диффузии фононов показатель степени n=3, наблюдаемый для пленок NbN толщиной 50–300 нм, указывает на то, что $\kappa_e(T)+\kappa_{ph}(T) \propto T^2$ при $\kappa_{ph}(T) \propto T^{2.7}$. Поскольку T-тренд для $\kappa_{ph}(T)$ близок к T-тренду для фононной теплопроводности $C_{ph}(T)$, мы полагаем, что l_{ph} имеет слабую зависимость от T. С учетом значений C_{ph} и v_s для объемного NbN [1] получаем l_{ph}=4 нм при T=20 K. Аналогичную оценку $l_{ph} \simeq 1.4$ нм при T=20 K можно получить, учитывая v_s [1] в тонких пленках NbN.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-72-10101)

Список литературы

1. M. Sidorova, et al., Phys. Rev. B, vol. 102, p. 054501, 2020.

2. A. Dane, et al. “Self-heating hotspots in superconducting nanowires cooled by phonon black-body radiation,” 2021.

3. E. T. Swartz and R. O. Pohl, Rev. Mod. Phys., vol. 61, pp. 605–668, 1989.

4. E. M. Baeva, et al., Phys. Rev. Applied, vol. 15, p. 054014, 2021.

5. H. Nyquist, Phys. Rev. vol. 32, p. 110, 1928.

6. D. Vodolazov, Phys. Rev. Applied, vol. 7, p. 034014, 2017.

7. E. M. Baeva et al., JETP Lett., vol. 111, p. 104, 2020

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА-ЦАНДЕРА НА НИТРИД КРЕМНИЕВОЙ ПЛАТФОРМЕ

Любчак А.Н. [1]***, Щепелева Ю.М.*** [1]***, Кузин А.Ю.*** [2]
[1]***Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ,***
[2]***Сколковский институт науки и технологий***

Аннотация

В работе рассматриваются и сравниваются между собой экспериментально полученные зависимости смещения оптического спектра пропускания интерферометра Маха-Цандера от термооптического эффекта для случаев с использованием микронагревателя и столика с контролем температуры. Результаты данной работы могут быть использованы при создании прецизионных фазовых модуляторов для квантово-оптических приложений.

Введение

Интерферометр Маха-Цандера (ИМЦ) активно используемый элемент в фотонике для определения фазовых изменений между двумя волнами от одного источника. Поэтому ИМЦ с микронагревательными фазовыми модуляторами являются одной из основных частей для реализации высокочувствительных квантовых приемников, способных различать слабые когерентные состояния света [1]. Приемник на основе ИМС выполняет оптическое смещение неизвестного сигнала для определения фактического состояния сигнала [2]. Нитрид кремниевая платформа является наиболее перспективной для создания ИМЦ с микронагревателями за счет низких оптических потерь, возможности работы в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне длин волн и КМОП-совместимой технологией производства [3].

Ранее сообщалось о конструкции микронагревателя поверх оксидной оболочки спирального длинного волновода с более низкой мощностью и малой температурой переключения [5]. Однако оптические потери (~ 40 Дб) вносимые в спирали сечения волновода были относительно велики. При выполнении других попыток переключении питания сообщалось о снижении потерь за счет выборочного удаления оксида оболочки и создания окон до волноводного слоя [6,7]. Но эти окна приводили к большому времени переключения (порядка 500 нс). Напротив, непосредственная интеграция металлических микронагревателей в волновод приводит к уменьшению времени переключения, но за счет большой мощности переключения ($P\pi$ ~ 50 мВт) [8,9]. В рамках работы [2] на микронагреватель подавалось напряжение 3,5 В, в результате чего изменение положения центральной длины волны составило 3,8 нм.

Во всех этих примерах металлические или полупроводниковые микронагреватели соответствующим образом были интегрированы рядом или над волноводным слоем и были задействованы в качестве волноводных термооптических фазовращателей. Однако смещение спектральных характеристик ИМЦ для данных конфигураций устройств было ограничено работой микронагревателей, что ограничивало возможность использования таких устройств при необходимости больших сдвигов спектральной характеристики. Термооптический фазовый сдвиг прямо пропорционален повышению температуры в волноводе и его эффективной длине [9]. Поэтому для дополнительного сдвига спектральной характеристики возможно использование как комбинации микронагревателей на чипе с внешними источниками подстройки температуры, так и отдельно.

В данной работе экспериментально исследуется эффективность использования микронагревателей на чипе относительно внешних источников подстройки температуры.

Интерферометр на чипе

На рисунке 1 (а) изображена фотография ИМЦ на нитрид кремниевой платформе с фазовыми модуляторами из золота. Оптическое излучение заводилось/выводилось с чипа с помощью фокусирующих дифракционных решеток (ФДР) [4].

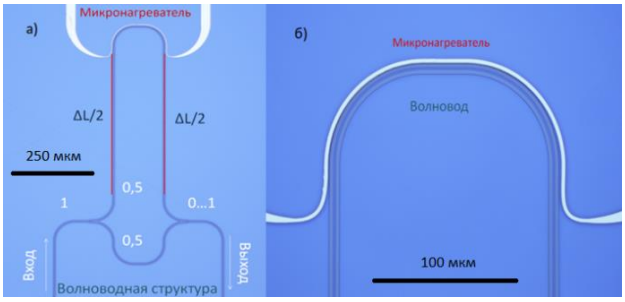


Рис.1. а, б. Микрофотографии интерферометра с микронагревателями

Геометрическая разница между длиной плеч (ΔL) для ИМЦ составляла 952 мкм для обеспечения расстояния между соседними пиками (максимумами/минимумами) в интерференционной картине равной примерно 1 нм. Микронагреватель находился на расстоянии 4.5 мкм от волновода, и его длина взаимодействия была примерно равна нижнему плечу интерферометра.

Схема проведения эксперимента

Для измерения зависимости термооптического эффекта от микронагревателей и столика с контролем температуры использовалась экспериментальная установка, показанная на рис. 2., Оптическое излучение из перестраиваемого лазера в диапазоне длин волн 1510-1620 нм заводилось в ИМЦ через ФДР. На выходе из структуры подавалось в массив волокон, на выходе которого стоял измеритель оптической мощности. В связи с тем, что волноводы имели полупротравленный профиль и работали только для основной TE_{00} моды перед входной ФДР был установлен контроллер поляризации. На микронагрева-

тель подавалось фиксированное значение напряжения и измерялся ток. Значения напряжения изменялись от 0 В до 18 В с шагом 0,5 В каждые 2 минуты. Под воздействием Джоулева разогрева изменяется показатель преломления, что приводило к изменению эффективного показателя преломления, что в свою очередь увеличивало оптический путь, приводивший к изменению разности фаз в плечах интерферометра.

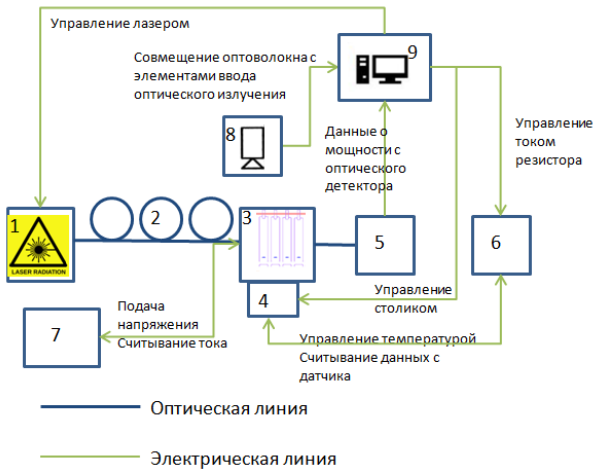


Рис.2. Блок-схема экспериментальной установки для исследования спектра пропускания ИМЦ на чипе. 1-лазер с длиной волны 1510-1620 нм, 2- контроллер поляризации, 3- ИМЦ на чипе, 4- 3D моторизированный столик с регулировкой температуры , 5- оптический детектор, 6- контроллер температуры, 7- источник напряжения, 8- камера, 9- компьютер

Также управление фазовым сдвигом в данной работе осуществлялось за счет изменения температуры столика. В данном случае термооптический эффект возникал не в локальной области плеча интерферометра, а во всем устройстве. Увеличение температуры столика производилось через 5 минут, после записи спектра предыдущей температуры. Перед каждой записью спектральных характеристик проводилась подстройка положения ФДР относительно оптического массива волокон для максимизации мощности на выходе ИМЦ. Таким образом, были сняты спектры пропускания интерферометра в диапазоне температур от 27 до 66 °С с шагом 3 °С.

Экспериментальные данные

Результаты эксперимента с использованием микронагревателя можно увидеть на рисунке 3. Здесь представлено смещение центральной длины волны в минимуме инферференционной картины в спектре пропускания в зависимости от поданного напряжения.

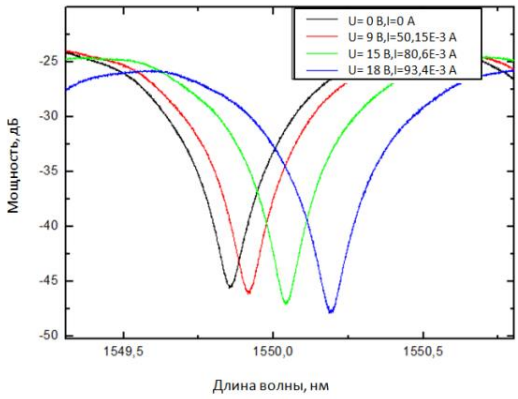


Рис.3. Участок спектра пропускания на центральной длине волны близкой к 1550 нм при разных значениях напряжения

Как видно из графика происходит смещение центральной длины волны в сторону больших длин волн при увеличении фиксированного напряжения на микронагревателе. При подаче напряжения 18 В на микронагреватель происходит сдвиг фазы на π.

Для исследования влияния значений напряжения на микронагревателе на положение центральной длины волны была построена зависимость, представленная на рис. 4. Максимальное изменение положения центральной длины волны при увеличении напряжения от 0 до 18 В составило 0.33 нм.

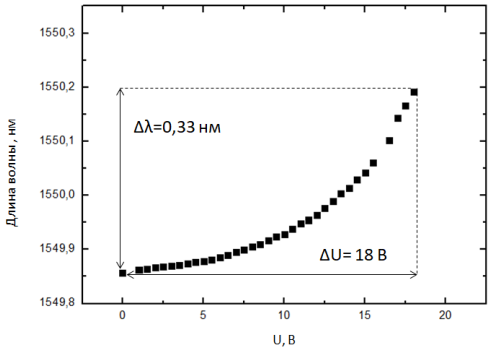


Рис.4. Зависимость смещения центральной длины волны от напряжения на микронагревателях

На рис. 5 представлена ВАХ микронагревателя. Сопротивление составило 189 Ом.

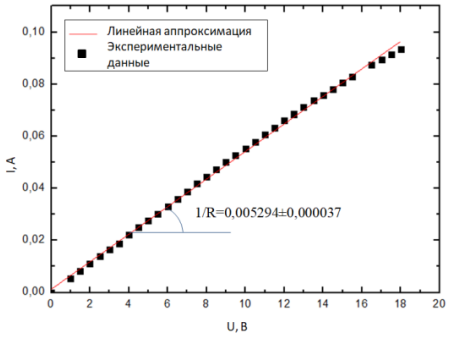


Рис.5. ВАХ микронагревателя

В эксперименте с нагревом всей структуры изменение фазы на π наблюдалось при увеличении температуры на 30 °C. При этом смещение центральной длины волны составляет 0,5 нм. На рис. 6 изображена линейная зависимость центральной длины волны от температуры столика. Тангенс угла наклона прямой равен 0.01857+-0.00011 нм/°C.

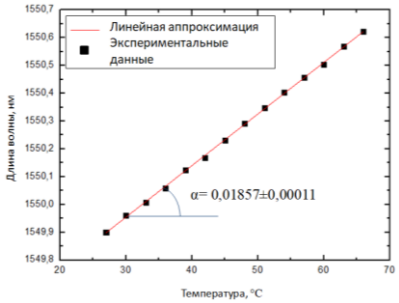


Рис.6. Зависимость спектра пропускания на центральной длине волны при разных значениях температуры

Таким образом, для смещения центральной длины волны в спектре ИМЦ на 0.33 нм, необходимо увеличить температуру всей структуры на 18°C или подать напряжение 18 В на микронагреватель.

Заключение

Полученный результат в данной работе позволяет оценить эффективность использования микронагревателей на чипе относительно внешних источников подстройки температуры. Было установлено, что для осуществления сдвига спектральной характеристики ИМЦ на нитрид кремниевой платформе до 330 пм возможно использование только микронагревателей на чипе, расположенных сбоку от волновода на расстоянии 4,5 мкм. В случае необходимости обеспечения контролируемого сдвига спектральной характеристики более чем на 330 пм необходимо воспользоваться внешним источником подстройки температуры. Эти данные по отдельности и в совокупности могут быть использованы при создании прецизионных фазовых модуляторов для квантово-оптических приложений.

Список литературы

1. Sych, Denis, and Gerd Leuchs. "Practical receiver for optimal discrimination of binary coherent signals." Physical review letters 117.20 (2016): 200501.
2. Venediktov, I. O., et al. "Study of microheater's phase modulation for on-chip Kennedy receiver." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1695. No. 1. IOP Publishing, 2020.
3. Huang, Ying, et al. "CMOS compatible monolithic multi-layer Si 3 N 4-on-SOI platform for low-loss high performance silicon photonics dense integration." Optics Express 22.18 (2014): 21859-21865.
4. Kuzin, A., et al. "Efficiency of focusing grating couplers versus taper length and angle." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1410. No. 1. 2019.
5. Qiu C. et al. High-Performance Graphene-on-Silicon Nitride All-Optical Switch Based on a Mach–Zehnder Interferometer //Journal of Lightwave Technology. – 2021. – Т. 39. – №. 7. – С. 2099-2105.
6. Arbabi A., Goddard L. L. Measurements of the refractive indices and thermo-optic coefficients of Si 3 N 4 and SiO x using microring resonances //Optics letters. – 2013. – Т. 38. – №. 19. – С. 3878-3881.
7. Магунов А., Лапшинов Б. Экспериментальное определение температурной зависимости показателя преломления полупроводниковых материалов //Фотоника. – 2016. – №. 5. – С. 62-75.
8. J. Tao, H. Cai, Y. Gu, and A. Liu, "Demonstration of a compact wavelength tracker using a tunable silicon resonator," Opt. Express 22, 24104–24110 (2014).
9. S. Kaushal and B. K. Das, "Modeling and experimental investigation of an integrated optical microheater in silicon-on-insulator," Appl. Opt. 55, 2837–2842 (2016).

УСИЛЕНИЕ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ В УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНКАХ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕМ БЕСПОРЯДКА

Ломакин А.И. [1,2]***, Баева Э.М.*** [1,2]***, Колбатова А.И*** [1,2]
[1]***Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,***
[2]***Московский педагогический государственный университет***

Аннотация

Работа представляет собой экспериментальное исследование электронных параметров и неупругой релаксации в ультратонких сверхпроводящих пленках NBN при возрастающем беспорядке. Измеряя магнитопроводимость в диапазоне от T_c до ≈$3T_c$, мы наблюдаем четкую тенденцию к увеличению скорости неупругого рассеяния электронов с увеличением сопротивления в нормальном состоянии. Мы предполагаем, что этот эффект может быть связан с сильной чувствительностью электрон-фононного рассеяния к микроскопическому качеству пленок NbN.

Введение

Неупругое рассеяние электронов в нормальном состоянии сверхпроводников играет жизненно важную роль в неравновесной физике сверхпроводящих детекторов. Например, скорости процессов электрон-электронного (e-e) и электрон-фононного (e-ph) рассеяния совместно управляют термализацией и охлаждением неравновесных квазичастиц и, следовательно, определяют временные показатели сверхпроводящих детекторов одиночных фотонов (superconducting nanowire single-photon detector or SNSPDS) и их способность обнаруживать одиночные фотоны. Тонкие неупорядоченные пленки являются основным компонентом множества электронных

устройств, поэтому лучшее понимание механизмов неупругого рассеяния при наличии беспорядка является важным шагом в повышении их производительности.

Выбор материала для этого исследования обусловлен тем, что тонкие пленки нитрида ниобия (NbN) часто используются для изготовления современных электронных устройств, таких как SNSPDS [1, 2], смесители HEB (hot electron bolometers) [3], микроволновые наноиндукторы [4] и т.д.. Кроме того, в NbN беспорядок может быть настроен от умеренного до сильного предела [5].

Первый раздел описывает экспериментальную часть исследования. Второй содержит расчёты скоростей неупругого рассеяния электронов.

Магнетосопротивление

Чтобы изучить транспортные свойства NbN, мы сформировали пленки в виде полос Холла шириной 500 мкм и длиной 1000 мкм. Сопротивление R_s в нормальном состоянии было измерено в конфигурации с четырьмя зондами. Измерения проводились в самодельной криогенной вставке, погруженной в дьюар с жидким гелием ^{4}He, и выполнялись в широком диапазоне температур (от 300 К до 1,7 К). При низких температурах мы измерили магнитосопротивление $R_s(B)$, температурные зависимости второго критического магнитного поля $B_{c2}(T)$ и сопротивление Холла R_H^{25K}, приложив перпендикулярное магнитное поле B до 4 T. Измеряя R(T)-зависимости при разных значениях B, мы определяем наклон dB_{c2}/dT при T_c. Последнее позволяет оценить критическое магнитное поле $B_{c2}(0)$, коэффициент диффузии электронов D и длину когерентности Гинзбурга-Ландау (GL) ξgl(0), используя следующие выражения $B_{c2}(0) = -0{,}69T_c$ (dB_{c2}/dT), $D = -4\,k_B/(\pi e)\,(dB_{c2}/dT)^{-1}$ и $\xi_{GL}^2(0) = \pi\hbar D/(8k_BT_c)$. Здесь критическая температура T_c определяется как температура при $R_s = R_{max}/2$.

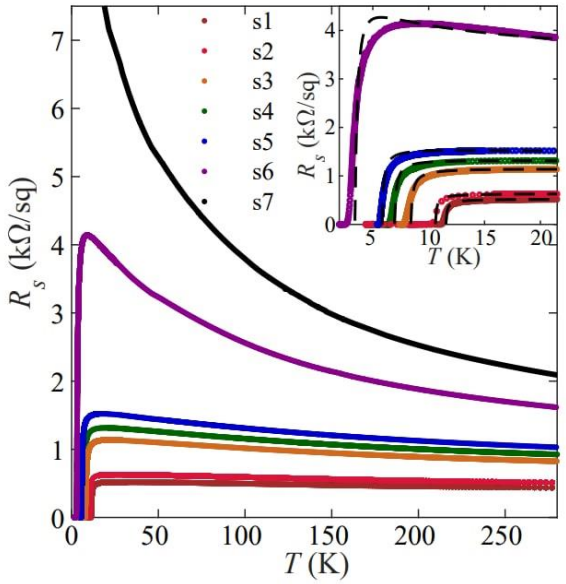


Рис.1. Зависимость сопротивления от температуры для всех образцов (на основном графике) и только для сверхпроводящих образцов (на вставке)

На рисунке 1 показано, что сопротивление листа R_s пленок NbN постепенно повышается с понижением температуры и падает до нуля вблизи критической температуры T_c. Температурный тренд R_s может быть охарактеризован параметром отношения сопротивлений $r_R = R_S^{300K}/R_{max}$, где R_{max} - максимальное сопротивление листа непосредственно над резистивным переходом. Поведение $r_R < 1$ для этих образцов типично для неупорядоченных пленок NbN и отражает чувствительность системы к квантовым поправкам, в то время как вклад рассеяния e-ph здесь считается незначительным. Мы также наблюдаем подавление T_c с увеличением R_S^{300K}, что согласуется с фермионным сценарием подавления сверхпроводимости в неупорядоченных пленках.

Чтобы изучить неупругую релаксацию в пленках NbN как функцию беспорядка, мы измеряем магнитосопротивление путем изменения магнитного поля B в диапазоне от 0 до 4 T при наборе фиксированных температур от T_c до 30 K. Изученные пленки NbN представляют собой квазидвумерную (2D) систему относительно характерных масштабов длины, т.е. длина тепловой когерентности $L_T = \sqrt{\hbar D/(kBT)}$ и длина сверхпроводящей когерентности ξ_{GL} ($d < \xi_{GL}, L_T$). Безразмерное изменение магнитопроводимости при фиксированном T может быть определено по измеренному сопротивлению на квадрат R_s(B,T) с использованием выражения:

$$\delta G(B,T) = \frac{2\pi^2\hbar}{e^2}[R_s(B,T)^{-1} - R_s(0,T)^{-1}] \quad (1)$$

На рисунке 2 показаны типичные экспериментальные зависимости δG(B,T). Изменение проводимости выше T_c, вызванное магнитным полем, в основном происходит из-за сверхпроводящих флуктуаций [6]. Применяя метод флуктуационной спектроскопии [7, 8], мы сопоставляем экспериментальные данные на рисунке 2 с относительной магнитопроводимостью $\delta G^{SC} = G^{SC}(B, T) - G^{SC}(0, T)$, где $G^{SC}(0, T)$ и $G^{SC}(B, T)$ представляют собой сумму сверхпроводящих поправок к проводимости в нулевом и конечном магнитном поле. Используя критическую температуру T_c и поле $B_{c2}(0)$ в качестве подгоночных параметров, мы определяем аномальный член Маки-Томпсона, который содержит зависящую от температуры скорость разрыва электронной фазы τ_ϕ^{-1} (T). Обратите внимание, что выбор T_c в 2D неупорядоченных сверхпроводящих пленках неоднозначен из-за просачивания и встроенной неоднородности сверхпроводящих свойств [9, 10]. Более того, последний эффект, сопровождающийся беспорядком, приводит к появлению ”режима псевдощели” в NbN. Тем не менее, выбор T_c практически не влияет на извлеченное время сбоя фазы τ_ϕ(T). Наилучшие соответствия показаны черными кривыми на рисунке 2 со значениями T_c, изменяющимися в пределах 2% по отношению к значениям, определенным при $R_s = R_{max}/2$. Важно отметить, что длина разрыва фазы $L_\phi = \sqrt{D\tau_\phi}$ больше толщины d пленок в рас-

сматриваемом диапазоне температур. Этот факт подтверждает обоснованность использования 2D-выражений для исследуемых плёнок.

Те же самые сверхпроводящие поправки к проводимости могут быть использованы для подгонки температурной зависимости сопротивления выше T_c. Вставка на рисунке 2 показывает R(T)-кривые, приведенные при значении R_S^{25K} для сверхпроводящих образцов s1-s6. Мы подгоняем R(T)-кривые, используя выражение $R_s(T) = 1/(R_{NS}^{-1} + e^2/(2\pi^2\hbar)G^{SC}(0,T))$. Здесь R_{NS} - параметр подгонки и значения τ_ϕ в $G^{SC}(0,T)$, извлечены из обработки магнитопроводимости. Обратите внимание, что полученное сопротивление R_{NS} в нормальном состоянии близко к значению R_{max}, а не к R_S^{300K}. Расхождение между R_S^{300K} и R_{max} может быть объяснено вкладом квантовых поправок в проводимость из-за электрон-электронного взаимодействия, слабой локализацией и даже скачкообразной проводимостью из-за приближения к переходу Андерсона-Мотта в неупорядоченных пленках NbN. Тем не менее, вклад этих эффектов в магнитосопротивление незначителен по сравнению со сверхпроводящими флуктуациями, и мы не принимаем их во внимание при дальнейшем рассмотрении.

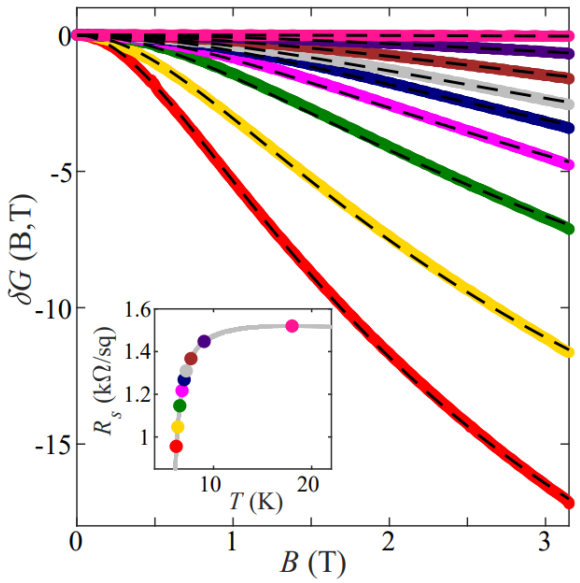


Рис.2. Экспериментальная зависимость нормализованной магнетопроводимости для образца s5. Разные цвета соответствуют разным температурам, отмеченным на кривой $R_s(T)$ на вставке

Время электронного рассеяния

В качестве следующего шага мы исследуем влияние беспорядка на неупругую релаксацию в сверхпроводящих пленках NbN. На рисунке 3(a) показано более сильное снижение скорости разрыва электронной фазы (τ_ϕ^{-1}) с понижением температуры. Точное выражение для скорости разрыва фазы представлено суммой механизмов рассеяния, обусловленных сверхпроводящими флуктуациями τ_{SC}^{-1}, скоростью τ_{e-e}^{-1}, скоростью рассеяния с переворотом спина τ_S^{-1} и скоростью τ_{e-ph}^{-1}следующим образом [8]:

$$\tau_\phi^{-1}(T) = \tau_{SC}^{-1} + \tau_{e-e}^{-1} + \tau_s^{-1} + \tau_{e-ph}^{-1} \qquad (2)$$

Поскольку τ_ϕ^{-1} в наших измерениях характеризуется более сильной зависимостью от T, чем τ_S^{-1}, τ_{e-e}^{-1} и τ_{SC}^{-1}, мы считаем, что e-ph рассеяние является доминирующим процессом дефазирования (см. пунктирные линии на рис. 3 (a)). Применяя это $\tau_{e-ph}^{-1} = \alpha^{-1}_{e-ph}(T/T_c)^p$, где p и α_{e-ph} являются подходящими константами, мы сопоставляем данные на рисунке 3 (a).

На рисунке 3(b) показаны температурные зависимости времени рассеяния τ_{e-ph}^{-1}, извлеченные из общей скорости дефазирования τ_ϕ^{-1} путем вычитания $\tau_{e-e}^{-1}, \tau_S^{-1}$ и τ_{SC}^{-1} для исследованных образцов NbN. Мы наблюдаем, что величина τ_{e-ph} уменьшается в десять раз по мере увеличения беспорядка в пленках NbN, и это сопровождается изменением степенного показателя p с 4 до 2,4 в T-зависимостях $\tau_{e-e}^{-1}(T) \propto T_p(T)$.

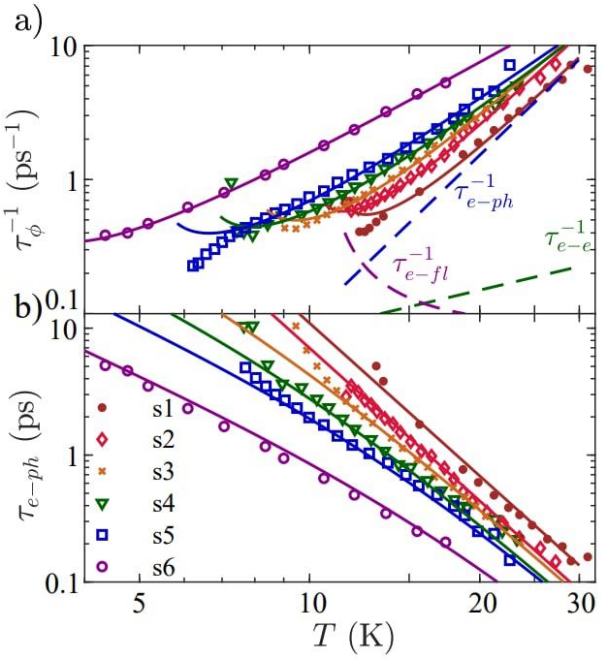


Рис.3. Температурные зависимости скорости сбоя фазы электронов τ_ϕ^{-1}, извлеченные из измерений магнитопроводимости (a), и времени рассеяния τ_{e-ph} (б), нанесенные символами в логарифмическом масштабе. (a) Наилучшее соответствие τ_ϕ^{-1} уравнению (2) показаны сплошными кривыми. Пунктирные линии иллюстрируют вклады механизмов дефазировки e-ph, e-e и SC для образца s1

Наблюдаемая высокая чувствительность неупругого рассеяния в пленках NbN к беспорядку может быть полезна при конструировании практических устройств.

Стоит отметить, что время e-ph рассеяния, определенное при T_c, увеличивается по мере увеличения

$\tau_{e-ph}^{-1}(T_c) \sim T_c^{-1}$ с более слабой температурной зависимостью, чем можно было бы ожидать для τ_{e-ph}^{-1} (T) $\propto$ $T^{-(3\div4)}$ из измерений магнитопроводимости. Следовательно, пленки NbN, которые характеризуются более высоким уровнем беспорядка с более низкими значениями T_c и более сильной e-ph релаксацией, могут быть использованы для увеличения полосы пропускания промежуточных частот HEBs в режиме смешивания или для уменьшения времени отклика в режиме прямого обнаружения. Эффект усиленного e-ph рассеяния может быть также полезен для однофотонных SNSPDS, в которых неупругое рассеяние и диффузия электронов влияют как на размер горячей точки, так и на подавление сверхпроводящей щели. Таким образом, можно ожидать более эффективного подавления сверхпроводимости в неупорядоченных образцах.

Заключение

Обнаружена высокая чувствительность неупругого рассеяния в пленках NbN к беспорядку. Эта зависимость может быть полезна для практических устройств.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-72-10101)

Список литературы

1. G. N. Gol'tsman, O. Okunev, G. Chulkova, A. Lipatov,A. Semenov, K. Smirnov, B. Voronov, A. Dzardanov, C. Williams, and R. Sobolewski, Applied Physics Letters 79, 705 (2001),

2. A. Divochiy, M. Misiaszek, Y. Vakhtomin, P. Morozov,K. Smirnov, P. Zolotov, and P. Kolenderski, Optics Letters 43, 6085 (2018).

3. I. Tretyakov, S. Ryabchun, M. Finkel, A. Maslennikova, N. Kaurova, A. Lobastova, B. Voronov, and G. Gol'tsman, Applied Physics Letters 98, 033507 (2011)

4. A. J. Annunziata, D. F. Santavicca, L. Frunzio, G. Catelani, M. J. Rooks, A. Frydman, and D. E. Prober, Nanotechnology 21, 445202 (2010).

5. S. P. Chockalingam, M. Chand, J. Jesudasan, V. Tripathi, and P. Raychaudhuri, Phys. Rev. B 77, 214503 (2008).

6. D. Destraz, K. Ilin, M. Siegel, A. Schilling, and J. Chang, Phys. Rev. B 95, 224501 (2017).

7. A. Glatz, A. A. Varlamov, and V. M. Vinokur, Phys. Rev. B 84, 104510 (2011).

8. A. A. Varlamov, A. Galda, and A. Glatz, Rev. Mod. Phys. 90, 015009 (2018).

9. L. Benfatto, C. Castellani, and T. Giamarchi, Phys. Rev. B 80, 214506 (2009).

10. S. Caprara, M. Grilli, L. Benfatto, and C. Castellani, Phys. Rev. B 84, 014514 (2011).

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОЧНОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА

Кузьминых И.О.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается фотоэлектрический эффект и эффективность органического солнечного элемента на основе полимера *PCDTBT* и производного фуллерена *PCBM*. В качестве пленочной подложки используется полиэтилентерефталат *PET/ITO* и дырочный транспортный слой на основе комплекса полианилина.

Введение

Получение электроэнергии непосредственно из солнечного света с использованием фотоэлектрических элементов является очень важным способом покрытия растущих глобальных потребностей в энергии за счет возобновляемых ресурсов при минимизации негативного воздействия на окружающую среду. По этой причине большое внимание уделяется разработке полимерных солнечных элементов. [1–3]

Использование полимеров с π-сопряженной системой в качестве фотопроводника в фотоэлектрических устройствах с объемным гетеропереходом имеет значительные потенциальные преимущества по сравнению с неорганическими материалами с точки зрения простоты обработки, формирования больших площадей поверхности и затрат. Среди коммерчески доступных полимерных материалов для полимерных фотовольтаических элементов (ПФЭ) широко используется поли [n-9''-гептадеканил-2,7-карбазол-альт-5,5-(4',7-ди-2-тиенил-2',1',3'-бензотиадиазол)] (*PCDTBT*). Электронодонорные свойства *PCDTBT* обусловлены его высоким уровнем верхней заполненной и нижней свободной молекулярной орбитали *HOMO/LUMO* по сравнению с такими электроноакцепторными соединениями, как производные фуллерена. *PCDTBT* подходит для различных методов нанесения тонких пленок из жидких растворов [4]. При этом он демонстрирует высокую стабильность в условиях внешней среды [5]. *PCDTBT* смешанный с производным фуллерена, в частности, метиловым эфиром [6,6]-фенил c_{71}-масляной кислоты (*$PC_{70}BM$*), образует объемный гетеропереход (BHJ), демонстрирующую высокие значения напряжения разомкнутой цепи U_{oc} ~ 0,9 в, эффективности преобразования энергии *PCE* ~ 7,9% [6] и внутренней квантовой эффективности (до 100%) [7]. ПФЭ на основе *PCDTBT* показывают стабильные характеристики со сроком службы до 7 лет [8]. *PCDTBT* успешно использовался также в тандемных элементах [9], органических светодиодах [4] и в перовскитных солнечных элементах в качестве дырочного транс-

портного слоя [10]. Эффективность использования *PCDTBT* и его смесей с производными фуллерена в этих устройствах обусловлена приемлемыми значениями подвижности носителей заряда в тонких пленках (10^{-5}-10^{-4} см^2 в$^{-1}$с$^{-1}$) [11].

В данной работе представлено исследование фотоэлектрических характеристик пфэ на основе смеси *PCDTBT* и *PC$_{70}$BM (рис. 1)*.

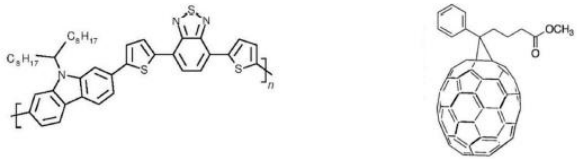


Рис.1. Химическая структура PCDTBT(слева) и PCBM (справа)

Экспериментальная часть

ПФЭ со слоистой структурой из *PET/ITO/PANI/PCDTBT-PCBM(1:4)/LiF/AL* были изготовлены на гибкой подложке из полиэтилентерефталата *PET*, покрытого электропроводящим слоем *ITO* (смесь оксидов In и Sn) (*Kintec*, Гонконг). Толщина пленки *ITO* составила 125 нм, а электрическое сопротивление - 14 ом/□. Дырочный транспортный слой толщиной 35 нм был на основе комплекса электропроводящего полианилина с поликислотой (*PANI*), синтезированного в ИФХЭ РАН. Пленка *PET/ITO/PANI* пропускала около 70% падающего света. Подложку переносили в перчаточный бокс с атмосферой аргона. Фотоактивный слой готовили путем растворения *PCDTBT* в безводном хлорбензоле с концентрацией 4 мг/мл при 80°c в течение суток. Затем в раствор добавляли *PC70BM* в соотношении смеси полимер: фуллерен 1:4 для получения общей концентрации 20 мг/мл. Раствор смеси грели при температуре 80°c в течение 2 часов и охлаждали до комнатной температуры в течение 10 минут. Отфильтрованный через фильтр (0,45 мкм, PTFE) раствор наносили сверху слоя *PANI* и центрифугировали при 700 об/мин, в итоге получали тонкую пленку *PCDTBT0 PC70BM* толщиной приблизительно 70 нм. Образец отжигали при 150°c в течение 10 минут для удаления остатков растворителя. Далее образец помещали в вакуумную камеру с испарителем, где при давлении <10^{-6} мбар осаждали последовательно 0,8 нм *LIF* (буферный слой для дырок), а затем 100 нм *al* катод. Структура приготовленного ПФЭ показана на рисунке 2.

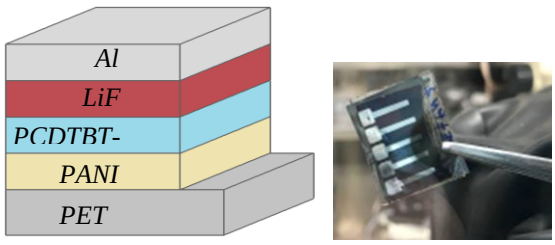


Рис.2. Схема структуры (слева) и топология верхних al электродов (справа) ПФЭ

Фотоэлектрические измерения проводили в атмосфере инертного газа (*AR*) с использованием солнечного имитатора *NEWPORT 92251a* с мощностью светового потока 100 мВт/см^2 (стандарт AM1.5). ВАХ регистрировали с помощью комбинированного источника-измерителя напряжения и тока Keithley 2400.

Тестирование фотоэлектрического элемента

На рисунке 3 показаны полученные вольтамперные характеристики (вах) пфэ. Вах темнового тока показывает, что структура *PET/ITO/PANI/PCDTBT-PCBM(1:4)/LiF/Al* представляет собой диод. ВАХ фототока в iv квадранте свидетельствует о том, что в диоде наблюдается фотовольтаический эффект.

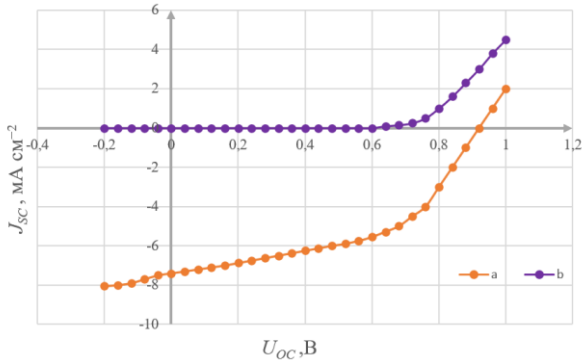


Рис.3. (a) – вах фототока образца пфэ; (b) – вах темнового тока

Эффективность преобразования энергии (*PCE*) полученного ПФЭ была рассчитана согласно формуле (1)

$$PCE = \frac{Jsc \cdot U_{OC} \cdot FF}{P} \cdot 100\% \qquad (1)$$

где J_{sc} – значение плотности тока короткого замыкания цепи, ма см$^{-2}$; U_{oc} – напряжение холостого хода, в; *FF* – фактор заполнения равен отношению максимальной выходной мощности элемента к величине $J_{sc} \times U_{oc}$, p = 100 мВт/см^2 – падающая мощность света. Она составила 3,5%.

Отметим, что в работе *ZHICAI HE* [12] был изучен ПФЭ на основе аналогичной смеси, который показал *PCE*, равный 6,79 %. В той работе была использована стеклянная (негибкая) подложка с дополнительным функциональным слоем. Относительно низкое значение *PCE* нашего ПФЭ, очевидно, связано с тем, что пленочная (гибкая) подложка *PET* имеет поверхностные дефекты, повышающие контактное сопротивления анода *ITO*, которое ведет потерям полезной мощности. При этом подход, основанный на добавлении дополнительного слоя, снижающий поверхностные дефекты может уменьшить влияние дефектов пленки.

В нашей работе была продемонстрирована возможность приготовления фотоэлементов на гибкой пленочной подложке с использованием стабильного полимерного фотопроводника *PCDTBT* и дырочного

транспортного слоя *PANI*. Следующим этапом исследования может стать введение дополнительного слоя в изученную структуру.

Заключение

В заключении стоит отметить, что приготовленные на гибкой пленочной подложке фотовольтаические элементы, показывающие *PCE* =3,5% сравнимы с *PCE* элементов на твердой (негибкой) подложке. При этом использование гибкого основания дешевле и функциональнее, т.е. Расширяют сферы применения фотоэлементов в жизни.

Список литературы

1. C. J. Brabec, n. S. Sariciftci, j. C. Hummelen, adv. Funct. Mater. 2001, 11, 15. B) c. Winder, n. S. Saridifti, j. Mater. Chem. 2004, 14, 1077.

2. H. Hoppe, n. S. Sariciftci, j. Mater. Res. 2004, 19, 1924.

3. K. M. Coakley, m. D. Mcgehee, chem. Mater. 2004, 16, 4533.

4. F. Lombeck, d. Di, l. Yang, l. Meraldi, s. Athanasopoulos, d. Credgington, m. Sommer, r.h. Friend, pcdtbt: from polymer photovoltaics to light-emitting diodes by side-chain-controlled luminescence, macromolecules 49 (2016) 9382–9387.

5. Y. Zhang, e. Bovill, j. Kingsley, a.r. Buckley, h. Yi, a. Iraqi, t. Wang, d.g. Lidzey, pcdtbt based solar cells: one year of operation under real-world conditions, sci. Rep. 6 (2016) 21632.

6. Y. Zhang, h. Zhou, j. Seifter, l. Ying, a. Mikhailovsky, a.j. Heeger, g.c. Bazan, t. Nguyen, molecular doping enhances photoconductivity in polymer bulk heterojunction solar cells, adv. Mater. 25 (2013) 7038–7044.

7. S.h. Park, a. Roy, s. Beauprer, s. Cho, n. Coates, j.s. Moon, d. Moses, m. Leclerc, k. Lee, a.j. Heeger, bulk heterojunction solar cells with internal quantum efficiency approaching 100%, nat. Photon. 3 (2009) 297–303.

8. S. Beauprue, m. Leclerc, pcdtbt: en route for low cost plastic solar cells, j. Mater. Chem. A 1 (2013) 11097–11105.

9. M. Li, k. Gao, x. Wan, q. Zhang, b. Kan, r. Xia, f. Liu, x. Yang, h. Feng, w. Ni, y. Wang, j. Peng, h. Zhang, z. Liang, h.-l. Yip, x. Peng, y. Cao, y. Chen, solution-processed organic tandem solar cells with power conversion efficiencies >12%, nat. Photon. 11 (2017) 85–90.

10. M. Wong-stringer, j.e. Bishop, j.a. Smith, d.k. Mohamad, a. Parnell, v. Kumar, c. Rodenburg, d.g. Lidzey, efficient perovskite photovoltaic devices using chemically doped pcdtbt as a hole-transport material, j. Mater. Chem. A 5 (2017) 15714–15723.

11. Z.m. Beiley, e.t. Hoke, r. Noriega, j. Dacuna, g.f. Burkhard, j.a. Bartelt, a. Salleo, m.f. Toney, m.d. Mcgehee, morphology-dependent trap formation in high performance polymer bulk heterojunction solar cells, adv. Energy mater. 1 (2011) 954–962.

12. Z. He, c. Zhong, x. Huang, w. Wong, h. Wu, l. Chen, s. Su, y. Cao simultaneous enhancement of open-circuit voltage, short-circuit current density, and fill factor in polymer solar cells, adv. Mater. 23, (2011), 4636–4643.

Секция
«Информационная безопасность»

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН: СОДЕРЖАНИЕ, ОГРАНИЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Сарибекян Г.Э.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе проведен анализ современного состояния технологии «блокчейн»: возможности ее применения и имеющиеся в этом отношении ограничения. Рассмотрены основные факторы, препятствующие развитию данной технологии, криптографические основы построения блоков, наиболее актуальные атаки злоумышленников, перспективы постквантового развития технологии и вопрос стандартизации.

Введение

Развитие цифровой экономики в РФ должно учитывать поддержку ключевых сквозных цифровых технологий, среди которых называются системы распределенного реестра (в том числе и «блокчейн»).

В 2018 году данное направление было включено в перечень основных направлений стратегического развития нашей страны до 2025 года.

В условиях развития данной технологии и «криптовалютной золотой лихорадки» безусловно открылись новые перспективы. Вместе с тем все более актуальной становится задача предотвращения острых конфликтов и многомиллионных афер.

Помехи росту на глобальном рынке

Выделим сдерживающие факторы в использовании «блокчейна» согласно глобальному опросу среди организаций [1]:

1) Нормативные вопросы – 39%
2) Встраивание в имеющуюся инфраструктуру (корпоративный ландшафт) – 37 %
3) Потенциальные проблемы с безопасностью – 35%
4) Неопределённая ситуация с рентабельностью инвестиций – 33 %

Данная работа посвящена изучению проблем безопасности и нормативного регулирования данной технологии.

Защищённость системы

Атомарная задача «блокчейна» состоит в передаче информации в зашифрованном виде так, что следующий блок связан с предыдущим. Рассмотрим (1) - отображение h из множества бесконечных последовательностей V_∞ в множество “слов” длины n V_n, причём h – это некоторая хеш-функция. Как правило, в «блокчейне» в качестве хеш-функции используется SHA-256.

$$h: V_\infty \to V_n \tag{1}$$

Пусть a_i – это некоторая информация с номером i, записанная в виде бесконечной последовательности, которая передаётся в хеш. Тогда выполняется следующее выражение (2):

$$\text{Для } \forall\, a_i \in V_\infty \;:\; h(a_i) \in V_n \tag{2}$$

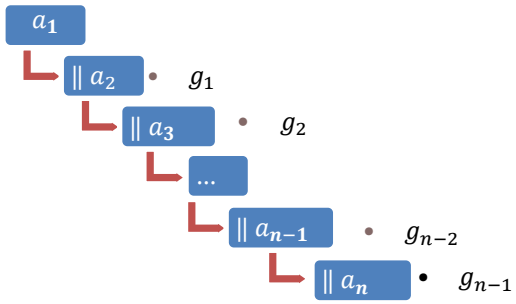


Рис.1. Структурная схема формирования блоков

На данной схеме (рисунок 1) стрелки показывают применение хеш-функции к блоку информации. Причём, функция g формулы (3) явно выражает связь, которую блок имеет с предыдущим.

$$g_{n-1} = a_n \;||\; h(a_{n-1}), \qquad \text{при } n \geq 2 \tag{3}$$

Заметим, что, исходя из ряда свойств хеш-функции (быстрое вычисление, стойкость к коллизии и лавинный эффект) и описанной схемы построения блоков, такое отображение легко позволяет найти (построить) образ элемента. Но, зная образ, сложно восстановить прообраз.

Обобщим вопросы защищённости системы:

1. Стойкость к атаке прообраза, то есть, обратное отображение, зная результат хеш-функции от a.
2. Подмен информации a_i на b_i : подбор такой последовательности b_i, для которой $h(b_i)$ совпадает с $h(a_i)$. Иначе говоря, $h(b_i) = h(a_i)$.
3. Объединив 1. и 2., в тождестве $h(a_i) = h(a_j)$ сложность нахождения прообразов a_i и a_j гарантирует достаточную защищённость.

Возможности пакета Wolfram Matematica

Хеш-функция SHA-256 в шестнадцетиричной форме преобразует строку (рисунок 3).

```
Hash["Hard work beats talent", "SHA256", "HexString"]
хэш
3ba3c07926f02a3954d835548c7346b7626227ce130254dc05edc90492c3f190
```

Рис.3. Вызов хеш-функции

Язык Wolfram содержит встроенные функции для взаимодействия с «блокчейнами», позволяющие как извлекать информацию из, например, Эфириума (рисунок 4), так и создавать, отправлять транзакции в «блокчейны» (рисунок 5), а также при необходимости верифицировать их [2].

```
BlockchainData[BlockchainBase → "Ethereum"] // Dataset
данные о блок··· база блокчейна массив данных
```

Type	Ethereum
Name	ETH.main
Core	Ethereum
Blocks	14289645
LatestBlockHash	42b4a43f5c0bee35ecbb927bdb7fdc7731898026d4ffb82af582cf5676cfbc6a
LowestGasPrice	41.547 Gwei
AverageGasPrice	45.0971 Gwei
HighestGasPrice	81.77 Gwei

Рис.4. Получение базовой информации в текущий момент о Эфириуме

```
ethTX = BlockchainTransaction[<|"BlockchainBase" → {"Ethereum", "Testnet"},
        блокчейн-транзакция
    "TransactionCount" → 12345, "Address" → "35353535353535353535353535353535353535",
    "Amount" → Quantity[0.002, "Ether"], "GasPrice" → Quantity[1, "GWei"]|>]
                размерная величина          размерная величина

BlockchainTransaction[ blockchain base: {Ethereum, Testnet}
                       signed: False
                       fee: 25200000000000 wei ]

ethTXSigned = BlockchainTransactionSign[ethTX,
                подписать блокчейн-транзакцию
    "CAAB89C53A5C8344E7AD79C4EE99B764DDA09F7B1083779470F6C14CA919757D"]

BlockchainTransaction[ blockchain base: {Ethereum, Testnet}
                       signed: True
                       fee: 25200000000000 wei ]

ethTXSubmit = BlockchainTransactionSubmit[ethTXSigned]
                отправить блокчейн-транзакцию

BlockchainTransaction[ blockchain base: {Ethereum, Testnet}
                       signed: True
                       fee: 25200000000000 wei ]
```

Рис.5. Создание, подписание, отправление транзакции

Алгоритм консенсуса

В сети с консенсусом Proof-of-Work транзакции подтверждаются майнерами - участниками, которые используют огромное количество ресурсов для обеспечения безопасной и корректной работы сети. Они создают и подтверждают блоки транзакций. В борьбе за право валидировать следующие блоки, им необходимо использовать специализированное оборудование для майнинга, которое осуществляет решение весьма сложных математических задач.

Первый майнер, которому удалось найти решение, получает право добавить свой блок в «блокчейн» и получить награду за блок. Награды за блок состоят из созданных единиц криптовалюты и комиссий за транзакции.

Поскольку процесс майнинга (в системах на основе PoW) включает в себя вклад огромных объемов электроэнергии и вычислительных ресурсов, производительность майнера основывается на величине вычислительной мощности, которую он имеет, и это обычно называют мощность хеширования или hashrate.

Атака большинства или 51%

В случае, если вычислительная мощность недостаточно хорошо распределена в единицу времени и лицо или группа владеет более, чем половиной всей мощности хеширования, то возможна данная атака [3].

При проведении этой атаки злоумышленник может:

- менять порядок транзакций, в том числе и реверсировать, что ведёт к проблеме двойного расходования
- предотвратить подтверждение некоторых или всех транзакций (отказ в обслуживании монополии) или предотвратить добычу майнеров (Mining monopoly)

Основные свойства данной атаки:

- не позволяет атакующим реверсировать транзакции от других пользователей и предотвращать их создание и передачу в сеть
- невозможны изменения награды за блок, создания денег из ничего или их кража

Атака 51% маловероятна благодаря сотрудничеству участников цепи в процессе достижения консенсуса:

1) масштабам сети и необходимой вычислительной мощности;

2) росту цепочки со временем, успешная атака сможет повлиять только на недавние блоки в течение короткого промежутка времени

Sybil атаки

В сущности, слово “Sybil” произрастает от женщины по имени Sybil Dorsett, лечащейся от “множественного расстройства личности”. Эта атака заключается в попытке создать сеть с помощью нескольких узлов [4].

Основные характеристики атаки:

1) Избегание атакующими истинных узлов цепи при создании достаточного количества фальшивых. Как следствие, возможность отказаться от приёма и передачи блоков, эффективно блокируя других пользователей сети;

2) Частный случай атаки 51%. Возможность не допускать подтверждения транзакций и изменения их порядка. В частности, отмена транзакций и проблема двойного расхода.

Вариант защиты – правила генерации блоков, (алгоритм консенсуса). Благодаря правилу того, что способность создавать блок пропорциональна вычислительной мощности механизма Proof of Work. То есть, ввиду необходимости владения компьютерной мощностью, требующейся для создания нового блока, процесс взлома сильно усложняется и становится дорогостоящим для злоумышленника.

Главные вызовы и предметы будущих исследований пост-квантового «блокчейна» [5]

a) Быстрая эволюция квантовых вычислений
b) Переход от пре-квантового «блокчейна», к пост-квантовому
c) Большие размеры ключей и цифровых подписей
d) Медленная генерация ключа
e) Вычислительная и энерго эффективность
f) Неприспособленность аппаратного обеспечения
g) Большие накладные расходы на шифртекст

Вопрос стандартизации «блокчейна»

Недавний прогресс в области квантовых вычислений вызвал интерес у исследователей и разработчиков, которые работают с распределённым реестром, таким как «блокчейн», где криптография с открытым ключом и хэш-функции имеют важное значение.

Многочисленные инициативы в настоящее время анализируют пост-квантовые криптосистемы с целью их стандартизации. Поскольку это постоянная работа, поисковики, которые ищут гарантии совместимости «блокчейна», должны будут следить за пост-квантовой сценой и избегать риска использования нестандартных, отброшенных или сломанных схем.

В настоящее время существует большое количество независимых функционально несовместимых «блокчейнов» [6]. Отраслевые инициативы по разработке и внедрению «блокчейн»-приложений в частном и государственном секторах остаются фрагментарными и изолированными, что вызывает опасения и осторожность со стороны участников рынка. В среднесрочной и долгосрочной перспективе отсутствие стандартов может привести к рискам, связанным с управлением, безопасностью, конфиденциальностью, функциональной совместимостью. Исходя из анализа, стандартизация будет способствовать улучшению совместимости различных вариантов «блокчейна», а также между «блокчейном» и устаревшими ИТ-системами, что в результате облегчит создание экосистем на основе «блокчейна». Стандартизация технологии «блокчейн» безусловно окажет позитивное влияние на развитие данной технологии и промышленное внедрение «блокчейн»-проектов, а также приведет к повышению доверия со стороны участников рынка и как следствие к увеличению инвестиций.

Конечно, стандарты не заменят специфического правового регулирования, но они обеспечат условия для создания правовой базы в соответствии с требованиями технологической реальности.

Заключение

В российском исследовании [7] на позицию регуляторов как на возможное препятствие указали 68% респондентов.

Отечественные «блокчейн»-решения входят в категорию средств криптографической защиты (СКЗИ) и относятся к ФСБ [8].

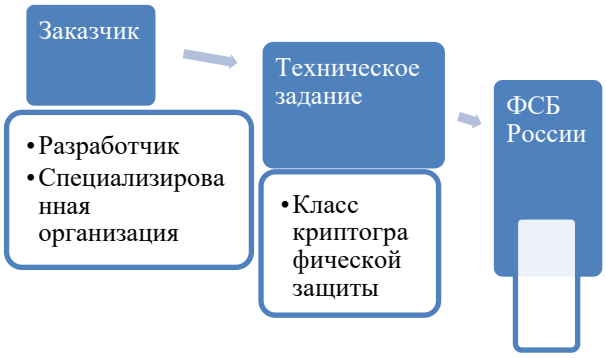


Рис.6. Порядок взаимодействия при разработке, производстве и эксплуатации СКЗИ

В Положении ПКЗ-2005 приведён порядок взаимодействия при разработке, производстве и эксплуатации СКЗИ между заказчиком, разработчиком, специализированной организацией, которая выполняет исследования по оценке соответствия СКЗИ требованиям информационной безопасности ФСБ России, и ФСБ России, которая оценивает полноту и корректность проведённых экспертиз (рисунок 6). На самом деле, проблема разработки «блокчейн»-решений, которая связана с использованием криптографических алгоритмов, описанных в национальных стандартах, мала по сравнению с проблемой устранения неполадок, которые возникают в процессе создания «блокчейн»-решений.

Важно понимать техническую сторону вопроса при изучении данной темы, а именно: «блокчейн»-решение есть набор исходных текстов и скомпилированных модулей со всеми вытекающими проблемами безопасности.

Список литературы

1. Deloitte Global Blockchain Survey 2018 [Электронный ресурс]. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/financial-services/us-fsi-2018-global-blockchain-survey-report.pdf (дата обращения 02.02.2022).

2. Wolfram Working with Blockchains [Электронный ресурс]. URL: https://reference.wolfram.com/language/guide/Blockchain.html (дата обращения 02.02.2022).

3. Binance academy Что такое атака 51% [Электронный реурс]. URL: https://academy.binance.com/ru/articles/what-is-a-51-percent-attack (дата обращения 02.02.2022).

4. Binance academy Sybil атаки [Электронный ресурс]. URL: https://academy.binance.com/ru/articles/sybil-attacks-explained (дата обращения 02.02.2022).

5. Fernandez-Carames, T. M. Towards Post-Quantum Blockchain: A Review on Blockchain Cryptography Resistant to Quantum Computing Attacks / T. M. Fernandez-Carames, P. Fraga-Lamas // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 21091-21116. – DOI 10.1109/ACCESS.2020.2968985.

6. Былинкина, Е. В. Блокчейн: правовое регулирование и стандартизация / Е. В. Былинкина // Пра-

во и политика. – 2020. – № 9. – С. 143-155. – DOI 10.7256/2454-0706.2020.9.33614.

7. Исследование OSP Data, Hitachi Vantara и Oracle: Блокчейн в мире и в России. Проблемы и перспективы [Электронный ресурс]. URL: https://www.osp.ru/netcat_files/18/10/OspData_Blockchain2018_light.pdf (дата обращения 02.02.2022).

8. Елистратов, А. Подводные камни сертификации блокчейн-решений / А. Елистратов, Г. Маршалко, В. Светушкин // Открытые системы. СУБД. – 2019. №1. – С. 19.

БЕЗОПАСНОСТЬ КЛАСТЕРА APACHE KAFKA

Шурлов А.Е.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Приводится обзор безопасности кластера Apache Kafka для применения в высоко нагруженных корпоративных решениях. Данный обзор проводится в рамках разработки корпоративной шины с потоковой обработкой данных.

Введение

Активный спрос крупными коммерческими компаниями к программному обеспечению с открытым кодом (Open Source) приводит к перестроению технологического ландшафта. Увеличение объемов, обрабатываемых и передаваемых данных, потребность обработки данных в потоке повысили интересу к Apache Kafka.

Для многих организация Apache Kafka является источником достоверных данных для потребителей всего предприятия и внешних партнеров. [1]. Коммерческие компании последнее время проявляют повышенный интерес к программному обеспечению с открытым кодом, обеспечение надежности и безопасности как самого программного обеспечения, так и защиты передаваемых данных, становиться все более актуальной задачей.

Цель – обзор средств обеспечения безопасности и разграничения доступа к кластеру Apache Kafka.

Задачи:

- Проанализировать доступные способы криптозащиты
- Проанализировать имеющиеся способы управления доступом к кластеру

В работе рассматривается свободно распространяемая версия Apache Kafka, не берутся во внимание коммерческие решения.

В работе рассмотрены способы криптозащиты передаваемого трафика, разграничение доступа к кластеру производителей и потребителей данных.

Информационная безопасность Apache Kafka

Основу информационной безопасности Apache Kafka составляет три основные технологии [2]:

- **шифрование SSL/TLS**, позволяет шифровать передаваемые данные в режиме онлайн при передаче данных между поставщиком(продюсером) кластером Kafka и получателем(консюмером);
- **аутентификация по протоколу SSL или SASL**, обеспечивает идентификацию на кластере Kafka поставщика и получателя;
- **авторизация по список управления доступом(**Access Control List или ACL [3]) обеспечивает гранулированный доступ клиентов кластера Kafka к топикам с сообщениями.

Шифрование и аутентификация

Apache Kafka позволяет шифровать данные передаваемые между кластером и приложением и кластером. Для шифрования данных выполняется дополнительная настройка кластера.

Поддерживаются два варианта:

- SASL_SSL – все брокеры и клиенты кластера взаимодействуют друг с другом через шифрованную связь, а аутентифицируются через SASL/PLAIN
- SSL – всё меж-брокерное взаимодействие в том числе и аутентификация выполняется по SSL

Для конфигурации кластера в режиме SSL/SASL_SSL необходимо внести дополнительные параметры в файл конфигурации каждого брокера server.properties [4].

Для включения шифрования необходимо в параметре listeners отвечающий, за протокол подключения клиентов добавить SSL://:port, SASL_SSL://:port, через параметр security.inter.broker.protocol явно указать брокерам как взаимодействовать между собой, значение SSL включает меж-брокерное шифрование.

Следующим шагом необходимо подключить хранилище сертификатов и клиентский сертификат который необходим меж-брокерного взаимодействия выполняется указанием пути к файлам, расположенным в файловой системе. Хранилища сертификатов защищены паролями так же как приватный ключ внутри хранилища, пароли указываются в открытом виде в указанном файле.

Такие же настройки необходимо добавить в конфигурационные файлы клиентских приложений.

В зависимости от выбранного способ аутентификации, при использовании SSL имя пользователя добавляется в сертификат keystore.jks, а при SASL_SSL/PLAIN имя пользователя и пароль добавляются в файл подключения в секцию sasl.jaas.config в параметры username/password в открытом виде.

Для аутентификации на серверах брокерах кластера присутствует файл с секцией sasl.jaas.config где указываются доступные пользователи и их пароли в открытом виде.

Кроме описанных методов аутентификации присутствуют и другие (GSSAPI, OAUTHBEARER, SCRAM, Delegation Tokens). Они не рассматриваются так как, конфигурируются идентично описанным через файл конфигурации в котором в текстовом

виде записываются необходимые для аутентификации данные.

Авторизация по спискам управления доступом(ACL)

Как только клиенты аутентифицировались на сервере брокера кластера Apache Kafka, брокер должен определить какие операции клиенту разрешено или запрещено выполнять в кластере. Здесь вступает в дело авторизация, контролируемая списками контроля доступа [2].

Благодаря широким возможностям конфигурирования ACL, достигается высокая сегментация операций над топиками с сообщениями и кластером в целом.

Для создания или ограничений привилегий, есть набор операций. Их можно сопоставить с определенными ресурсам, чтобы разрешить определенные операции в кластере для конкретного пользователя [5].

Таблица 1. Операции в Kafka

Read	Alter	AlterConfigs
Write	Describe	IdempotentWrite
Create	ClusterAction	All
Delete	DescribeConfigs	

Операции в таблице 1 могут быть применяются к ресурсам кластера.

Рассмотрим основные:

- **Топик (Topic):** для чтения записи в них требуются специальные привилегия определяемые операциями.
- **Группа (Group):** предназначена для потребителя (consumer). Для присоединения к группе потребителю требуются определенные привилегии.
- **Кластер (Cluster):** ресурс является глобальным для всего кластера, например, позволяет создавать, удалять топики, получать информацию как обо всем кластере, так и об отдельном топике.

Заключение

Надежность кластера Apache Kafka обеспечено на достаточно высоком уровне, за счет механизмов шифрования меж-брокерного обмена данными и взаимодействующих с кластером производителей, и потребителей данных.

С учетом того что по умолчанию кластер Apache Kafka не использует шифрование при обмене данными и не обеспечивает контроль доступа [6], данные авторизации, пароль пользователя, пароль от хранилища сертификата используемого для шифрования, хранятся в открытом виде в конфигурационном файле и могут быть скопированы злоумышленником. Для повышения защиты кластера необходимо принимать дополнительные меры обеспечения безопасности на сетевом уровне применяя межсетевые экраны для сегментации сетевого трафика, использовать возможности операционной системы по ограничению доступа к файлам конфигурации.

При конфигурации кластера с шифрованием также необходимо учитывать повышенную нагрузку на центральный процессор (CPU), не точные расчеты требуемых ресурсов могут привести к замедлению работы системы.

В качестве дополнительных мер может быть применено:

- межсетевой экран операционной системы предоставлявший доступ к кластеру только от разрешённых адресов;
- контроль парольной политики и аудит доступа к операционной системе;
- ограничение использования root пользователя;
- использование централизованных систем управления конфигурациям в управлении межсетевым экраном и кластером Apache Kafka

Список литературы

1. Best Practices to Secure Your Apache Kafka Deployment [Электронный ресурс] // confluent: [сайт]. [2020]. URL: https://www.confluent.io/blog/secure-kafka-deployment-best-practices/ (дата обращения: 4.Январь.2022).
2. Introduction to Apache Kafka Security [Электронный ресурс] [2018]. URL: https://medium.com/@stephane.maarek/introduction-to-apache-kafka-security-c8951d410adf (дата обращения: 4.Январь.2022).
3. ACL [Электронный ресурс] // wikipedia: [сайт]. [2019]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ACL (дата обращения: 4.Январь.2022).
4. Security Tutorial [Электронный ресурс] // docs.confluent.io: [сайт]. URL: https://docs.confluent.io/platform/current/security/security_tutorial.html (дата обращения: 12.02.2022).
5. Authorization and ACLs [Электронный ресурс] // kafka.apache.org: [сайт]. URL: https://kafka.apache.org/documentation/#security_authz (дата обращения: 12.02.2022).
6. general-overview [Электронный ресурс] // confluent: [сайт]. URL: https://docs.confluent.io/platform/current/security/general-overview.html (дата обращения: 4.Январь.2022).
7. RICK SPURGEON N.V. Best Practices to Secure Your Apache Kafka Deployment // confluent. 2020. URL: https://www.confluent.io/blog/secure-kafka-deployment-best-practices (дата обращения: 4.Январь.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЛЕДОВ В ЦИФРОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Вишнёв Е.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе изучаются данные, которые могут содержаться в цифровой фотографии, в том числе, опубликованной в сети Интернет. Исследуются виды информации, скрытые в изображении, производится

анализ методов получения такой информации, а также возможность её изменения и удаления. Выявлена зависимость получаемой информации от методов поиска. Отмечается, что популярные онлайн-ресурсы могут оставлять в цифровых фотографиях информацию, которая может использоваться с целью планирования и совершения целевых хакерских атак.

Введение

Цифровая фотография – это файл, в котором хранится не только само изображение, но и некоторые скрытые сведения о нём, которые компьютер может использовать для эффективной работы и упрощения выполнения пользовательских задач. Например, если пользователь забудет, где и когда он сделал фотографию, благодаря вложенной информации он сможет посмотреть эти данные. В связи с этим возникает вопрос, может ли злоумышленник использовать скрытую в фотографии информацию для совершения хакерской атаки и может ли пользователь предупредить такую возможность, убрав потенциально опасные данные из файла, содержащего фотографию.

В рамках исследования поставлены следующие задачи:

1) выяснить, какие виды информации могут содержаться в цифровой фотографии;

2) определить возможные последствия в случае публикации фотографии в сети Интернет без предварительного уничтожения сокрытой информации;

3) провести анализ методов получения скрытой информации из цифровой фотографии;

4) исследовать возможность изменения скрытых данных в цифровой фотографии и их удаление;

5) выяснить, оставляют ли онлайн-ресурсы в сети Интернет в изображениях информацию, которую злоумышленник потенциально может использовать для совершения хакерских атак.

Определение метаданных и цели их использования

Метаданные – это субканальная информация об используемых данных [1]. То есть, это любые сведения о некотором файле, которые скрыты в самом файле. Стоит отметить, что метаданные есть не только у цифровых фотографий. Также скрытые сведения могут содержаться в текстовом файле, аудио- или видеозаписи.

В настоящее время метаданные могут использоваться для работы с большим количеством файлов [2]. Благодаря скрытым данным можно сортировать и ранжировать фотографии по датам их создания, найти время редактирования изображения, посмотреть настройки камеры, которой и была сделана фотография. Наличие метаданных позволяет легко управлять файлами в больших информационных потоках.

EXIF (Exchangeable Image File Format) – это некоторая техническая информация об изображении, включает в себя данные, комментирующие определённый файл. В EXIF содержатся сведения о деталях съёмки, которые добавляются в файл благодаря устройству, на которое сделана фотография, и программных средствах, которые внесли изменения в файл. Именно в EXIF содержится основная информация о файле [3].

В метаданных могут храниться следующие параметры [4]:

- имя и версия программного обеспечения (камеры);
- название устройства, на которое было сделано фото;
- данные о цифровой среде – дополнительных программных средствах, которые использовались для обработки и редактуры изображения;
- настройка диафрагмы камеры в тот момент, когда было сделано фото;
- фокусное расстояние;
- режим замера экспозиции фотоаппаратом;
- баланс белого – одна из настроек, регулирующая оттенки цветов в изображении;
- значение яркости – коэффициент изменения яркости изображения при обработке в сравнении с оригиналом;
- значение ISO – параметр, управляющий цветочувствительностью матрицы фотоаппарата;
- выдержка;
- ориентация камеры (горизонтальная или вертикальная);
- размер матрицы фотоаппарата;
- схема сжатия – алгоритмы, которые применяются для
- географические координаты местоположения;
- данные об авторе.

Примеры использования метаданных

Как видно из представленного списка, большинство сведений, которые потенциально содержатся в изображении, необходимы, в основном, фотографам, которым необходимо настроить фотокамеру нужным образом.

Однако некоторые метаданные представляют особую угрозу для владельцев снимков. Обратимся к первым пунктам списка – злоумышленник может узнать, на каком устройстве был сделан снимок. Легко предположить, что владелец снимка часто пользуется этими устройством и программным обеспечением. Злоумышленник может найти уязвимости в программном обеспечении и совершить целевую атаку.

Более того, особую опасность представляет знание географических координат. Благодаря этому за автором фотографий становится проще следить. Наложив координаты на карту, можно выяснить, где он живёт и в каких местах бывает.

В 2015-ом году один из членов международной террористической организации ИГИЛ (Исламское государство Ирака и Леванта) сделал фотографию себя на свой смартфон. Фотографию он решил опубликовать социальных сетях, на фоне самого изображения была военная база ИГИЛ. Службы США на постоянной основе проводят анализ социальных сетей, и военнослужащие из авиационного крыла специальных операций в Херлберт Филд, штат Флорида, обнаружили эту фотографию. Попавшее на фотогра-

фию здание штаб-квартиры ИГИЛ было уничтожено тремя высокоточными авиационными бомбами спустя 22 часа после публикации этой фотографии [5].

Особо известен случай, произошедший с Джоном Макафи. Джон Макафи – основатель компании-разработчика антивирусного обеспечения McAfee. Он весьма эпатажная личность, неоднократно получал обвинения в различных преступлениях. В 2012-ом году один из его соседей был найден застреленным, после чего Джон Макафи отправился в бега. Постоянно укрываясь от полиции, однажды он всё же дал интервью встретившему его редактору журнала Vice. Пост с интервью был опубликован в социальной сети Twitter, где прилагалась фотография, содержащая метаданные, с самим Джоном Макафи. Специалист по безопасности Марк Лавлес изучил скрытые данные в фотографии и обнаружил точные географические координаты местоположения беглеца [6].

Способы узнать метаданные

С точки зрения компьютера метаданные не скрыты – информационные следы закодированы таким образом, что программы для просмотра изображений по умолчанию не настроены демонстрировать скрытые сведения. Машинный код такого программного обеспечения просто игнорирует те участки файла, где находится метаданные, подобно тому, как файловые менеджеры не показывают директории, в начале которых стоит точка. Однако есть ряд сервисов, которые могут показать информационные следы в изображении. Далее рассмотрены несколько способов узнать метаданные.

В качестве примера было найдено изображение советской шифровальной машины «Фиалка М-125» [7].

Онланй-сервисы

Существует множество онлайн-сервисов для получения метаданных цифровой фотографии. На нескольких изображениях были протестированы такие сайты, как metapicz [8], MetaData2go [9], Exif Info [10], Exif Viewer [11]. Каждый из этих сервисов показал примерно один и тот же список метаданных, а наиболее быстрым и простым в использовании оказался Exif Viewer. Более того, именно он показал самый полный список метаданных среди изученных программ. На главной странице сайта достаточно просто загрузить фотографию, и веб-страница выдаст найденные сведения.

Результаты поиска метаданных отображаются в виде набора строчек, в каждой из которых находится тип информации и её текущее значение. Так, например, тип «DateTime» означает время создания фотоснимка [4].

На рисунке 1 приведён неполный список найденных сведений о фотографии Фиалки М-125 (рис. 1).

DateTime	2011:05:23 10:58:09
DateTimeDigitized	2011:05:21 13:04:11
DateTimeOriginal	2011:05:21 13:04:11
DigitalZoomRatio	0/1
ExifImageLength	4320
ExifImageWidth	3240
ExifOffset	216
ExifVersion	48, 50, 50, 48
ExposureBiasValue	0/1
ExposureMode	0
ExposureProgram	2
ExposureTime	1/100
Flash	16
FlashPixVersion	48, 49, 48, 48
FNumber	33/10
FocalLength	49/10
FocalLengthIn35mmFilm	28
ISOSpeedRatings	80
LightSource	0
Make	Panasonic
MaxApertureValue	24335/7064
MeteringMode	5
Model	DMC-TS2

Рис.1. Снимок экрана. Результат работы сервиса Exif Viewer с фотографией Фиалки М-125

С помощью этого сервиса была получены: дата и время создания снимка с точностью до секунды (10:58:09 23.05.2011), сведения о настройке камеры, фирма-производитель (Panasonic) и модель устройства (DMS-TS2).

Этой информации может быть вполне достаточно, чтобы в некоторой группе людей вычислить создателя фотоснимка, поскольку маловероятно, что в этой группе все пользуются именно этой моделью устройства.

Расширения для браузера

Помимо онлайн-сервисов для получения метаданных можно воспользоваться расширениями для браузеров. Изучено расширение Exif Viewer от Алана Раскина для Mozilla Firefox, рекомендованное Лабораторией Касперского [12]. На рисунке 2 приведён весь список показанных метаданных.

По сравнению с онлайн-сервисами, данное расширение демонстрирует значительно меньше метаданных, связанных с настройками камеры. Однако можно подчеркнуть ту же самую информацию, что и с помощью онлайн-сервисов. Получены данные о времени создания (в данном случае – последнем изменении) изображения, модели устройства и производителе.

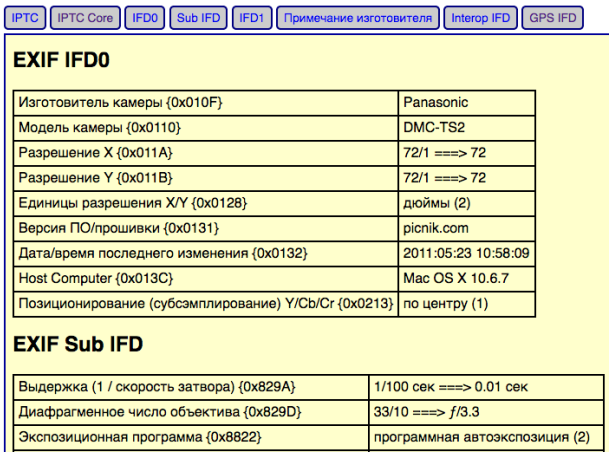


Рис.2. Снимок экрана. Результат работы расширения Exif Viewer для Mozilla Firefox с фотографией Фиалки М-125

Более того, в отличие от онлайн-сервиса, это расширение показало онлайн-редактор, в котором было создано изображение – Picnik. Можно предположить, что там совершалась обработка оригинальной фотографии. Также получены сведения об операционной системе компьютера, на котором содержится изображение – Mac OS X 10.6.7. В случае подготовки целевой атаки будет известно, на какой именно операционной системе должен сработать вредоносный код.

Специальное программное обеспечение

Для более детального изучения метаданных фотоснимка существует приложение ExifTool, предоставляющее широкий список действий с метаданными, в том числе и их просмотр [13].

На рисунке 3 представлено начало списка найденных метаданных. Полный список включает в себя намного больше информации, в том числе и ту, что была показана онлайн-сервисами и расширениями для браузеров (рис. 3).

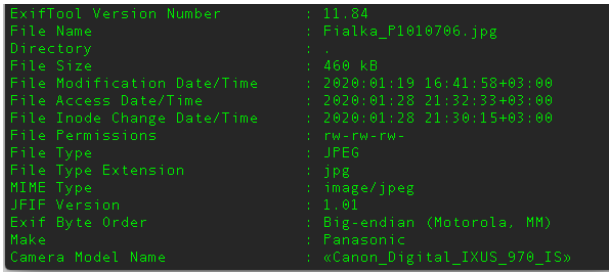


Рис.3. Снимок экрана. Результат работы приложения ExifTool с фотографией Фиалки М-125

Благодаря ExifTool удалось выяснить точное название устройства, на которое был сделан фотоснимок – Canon Digital IXUS 970 IS. Более того, получены технические сведения о кодировке изображения. Как показало приложение, дата последней модификации изображения оказалась существенно позднее, чем указывало расширение для браузера – по сведениям из ExifTool, на момент изучения изображения последняя дата изменения файла – 19.01.2020.

Спустя месяц после первого исследования фотографии «Фиалки М-125» было осуществлено скачивание файла с того же ресурса с целью повторного изучения. Показания ExifTool изменились, теперь дата последней модификации поменяла своё значение на 28.01.2020. Более детальный анализ информационного следа изображения показал, что из метаданных файла были удалены сведения о точном имени устройства, на которое было сделан снимок, а именно «Canon Digital IXUS 970 IS». Рисунок 4 иллюстрирует показания метаданных цифровой фотографии после повторного скачивания (рис. 4).

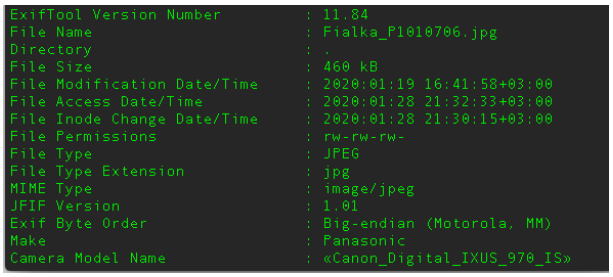


Рис.4. Снимок экрана. Результат работы приложения ExifTool с фотографией Фиалки М-125, скаченной повторно

Изменение и удаление метаданных

С помощью приложения ExifTool можно редактировать и уничтожать метаданные цифровой фотографии. Средствами этого программного обеспечения была изменена секция «Model», которая ранее хранила в себе наименование модели устройства. Далее в эту секцию был помещён текст «Message from Elisey». Кроме того, была удалена секция «Make», которая ранее показывала производителя устройства – Panasonic. Проверка надёжности изменения метаданных осуществлена онлайн-сервисом Exif Viewer, что иллюстрируется на рисунке 5 (рис. 5).

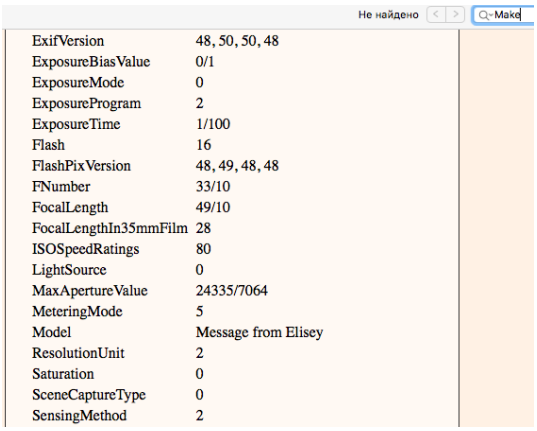


Рис.5. Снимок экрана. Результат работы сервиса Exif Viewer с модифицированной фотографией Фиалки М-125

Текст «Message from Elisey» действительно отобразился среди метаданных файла. Визуальный ана-

лиз страницы и встроенная в браузер функция поиска слов показали, что в информационном следе отсутствуют секция «Make» и информация об изготовителе устройства.

ExifTool или иные подобные ему приложения не являются единственным способом удаления метаданных из файла. В процессе работы исследовано программное обеспечение Microsoft Office, которое показало, что в случае вставки изображения в файл, все его текущие метаданные будут удалены. Также есть онлайн-сервисы, уничтожающие скрытую информацию.

Кто удаляет метаданные

Ранее было показано, что в цифровых фотографиях может содержаться личная информация и сведения, которые могут помочь злоумышленникам навредить своей жертве. Поэтому со стороны крупных онлайн-сервисов выгодно не допускать утечку метаданных в сети Интернет.

Специалистами Лаборатории Касперского было выявлено, какие именно онлайн-сервисы занимаются удалением метаданных. Ими оказались Facebook, ВКонтакте, eBay, Craiglist [12].

Однако защиту от утечки персональных данных нельзя назвать надёжной. В случае передачи изображения в сжатом виде его скрытые сведения останутся и будут в доступе любого, кто сможет получить изображение.

В статье Блога Касперского также говорится, что такие сервисы как Google+, Flickr, Google Photo, Tumblr и ЦИАН информационные следы в изображениях не уничтожают. Для проверки этого утверждения было использовано расширение Exif Viewer для браузера Mozilla Firefox, рекомендованное в этой же статье для поиска метаданных.

В процессе работы собрано множество фотографий с сайта ЦИАН, затем был произведён поиск метаданных по ним с помощью Exif Viewer. И выяснилось, что цифровые фотографии с данного ресурса более не содержат полезной скрытой информации (рис. 6).

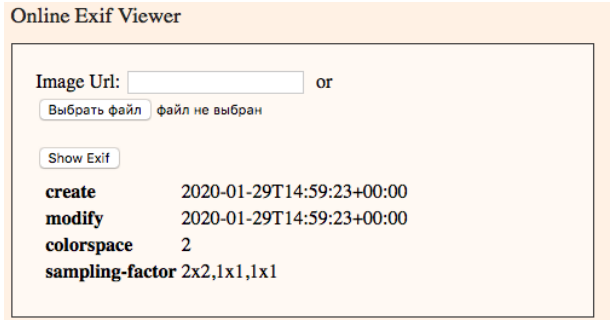


Рис.6. Снимок экрана. Результат работы сервиса Exif Viewer с фотографией квартиры из случайно выбранного объявления на ЦИАН

Предположительно, спустя некоторое время после публикации статьи в Блоге Касперского разработчиками сайта было принято решение уничтожать скрытые следы в цифровых фотографиях.

Заключение

В рамках данного исследования изучены способы получения и изменения скрытых данных цифровых изображений.

В ходе исследования выяснено следующее:

1) в цифровой фотографии содержатся скрытые данные, которые могут использоваться злоумышленником для совершения хакерских атак;

2) скрытые данные можно использовать для раскрытия личности автора и определения его местоположения;

3) получать и изменять скрытую информацию можно в любом браузере, однако полный список данных можно получить только через специальное программное обеспечение;

4) уничтожение скрытых следов из файлов не является трудоёмким процессом;

5) некоторые онлайн-ресурсы оставляют в изображениях информацию, которую злоумышленник может использовать для совершения хакерских атак.

Список литературы

1. Воройский, Ф. С. Информатика. Новый систематизированный словарь-справочник / Ф. С. Воройский; 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 760 с. - ISBN 5-9221-0426-8 – Текст : непосредственный

2. Riley J. Understanding metadata, what is metadata, and what is it for? / Jenn Riley. – Baltimore : National Information Standards Organization, 2017. III, 45 p. - ISBN: 978-1-937522-72-8

3. Camera & Imaging Products Association. Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif Version 2.31 – Текст : электронный // Ассоциация производителей фототехники CIPA. – URL:https://web.archive.org/web/20171201035720/http://www.cipa.jp/std/documents/e/DC-008-Translation-2016-E.pdf (дата обращения 20.04.2020)

4. Статья новостного ресурса withsecurity.ru // Режим доступа:http://withsecurity.ru/metadannye-kak-uznat-gde-byla-sdelana-fotografiya

5. Статья новостного ресурса military.com // Режим доступа:https://www.military.com/defensetech/2015/06/03/us-air-force-targets-and-destroys-isis-hq-building-using-social-media

6. Статья новостного ресурса Naked Security // Режим доступа: https://nakedsecurity.sophos.com/2012/12/03/john-mcafee-location-exif/

7. Цифровая фотография из интернет-энциклопедии Wikipedia // Режим доступа:https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0f/Fialka_P1010706.jpg

8. Metapicz : сайт. – URL: http://metapicz.com (дата обращения 20.04.2020)

9. Metadata2Go : сайт. – URL: https://www.metadata2go.com (дата обращения 20.04.2020)

10. Exifinfo : сайт. – URL: https://exifinfo.org (дата обращения 20.04.2020)

11. Exif Viewer : сайт. – URL: http://exif-viewer.com (дата обращения 20.04.2020)

12. Блог Касперского, статья «Эксперимент: проверяем, что интересного можно узнать из метаданных фотографий в Интернете» // Режим доступа: https://www.kaspersky.ru/blog/exif-privacy/ 13506/ (дата обращения 29.04.2020)

13. Официальный сайт приложения Exif Tool // Режим доступа: https://exiftool.org (дата обращения 25.04.2020)

КЛАССИФИКАЦИЯ МИНОРОВ ЦИРКУЛЯНТНЫХ МАТРИЦ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ПРОВЕРКИ ПРИЗНАКА MDS

Малахов С.С.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В настоящей работе для циркулянтных матриц описаны теоретические способы классификации миноров и приведены результаты классификации, достигнутые на практике. Изложенные результаты можно использовать для ускорения проверки признака MDS у циркулянтных матриц.

Введение

Рассмотрим матрицу $\boldsymbol{M}$ размера $k \times m$ над конечным полем $\mathbb{F}_q$. Множество $\{(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x} \cdot \boldsymbol{M}) | \boldsymbol{x} \in \mathbb{F}_q\}$ задает линейный $[n, k, d]$ код длины $n = k + m$, размерности k с минимальным расстоянием Хэмминга d между кодовыми словами. Для линейного кода справедливо неравенство Синглтона [1]: $d \leq n - k + 1 = m + 1$. Линейный код, для которого $d = m + 1$, называется MDS кодом (Maximum Distance Separable), а соответствующая матрица $\boldsymbol{M}$ называется MDS матрицей. Известно [1], что код является MDS кодом, если и только если каждая квадратная подматрица матрицы $\boldsymbol{M}$ невырождена, поэтому можно определить MDS матрицу следующим образом.

Определение 1.

Матрица $\boldsymbol{M}$ является MDS матрицей, если и только если определитель каждой квадратной подматрицы отличен от нуля.

MDS матрицы используются при синтезе блочных криптографических алгоритмов, в которых отвечают за рассеивание входных данных. Рассеивание входного блока $\boldsymbol{x}$ проявляется следующим образом: если изменить $i, 1 \leq i \leq k$, знаков $\boldsymbol{x}$, то в выходном блоке $\boldsymbol{x} \cdot \boldsymbol{M}$ произойдут изменения в $m - i + 1$ знаках. В этом смысле MDS матрицы реализуют идеальное рассеивание [2]. Среди криптографических алгоритмов, построенных с применение MDS матриц, шифры Rijndael, ГОСТ Р 34.12—2015 и IDEA NXT, а также функции хэширования ГОСТ Р 34.11—2012 и Whirlpool.

Хотя построение MDS матриц является вычислительно сложной задачей в общем случае, существует множество различных частных решений. Один из способов построения предполагает, что задан матричный шаблон, элементами которого являются переменные. Тогда выбирая конкретные значения переменных и проверяя для полученной матрицы необходимый и достаточный признак MDS (по определению 1), можно найти такие значения переменных, для которых заданный шаблон становится MDS матрицей. Подобный способ был предложен в работе [2]. Там же представлено несколько матричных шаблонов специального вида. Вместе с тем в работе [3] строятся циркулянтные матричные шаблоны, пригодные для поиска MDS матриц.

Проверка признака MDS по определению 1 вычислительно трудоемка, поскольку общее число квадратных подматриц велико для матриц, имеющих криптографическую значимость. Когда задан матричный шаблон, его миноры представляют собой многочлены, зависящие от переменных шаблона. Если шаблон имеет структурные закономерности или содержит небольшое число различных переменных, некоторые миноры могут быть равны или отличаться только знаком, что позволяет объединить их в классы. Тогда для проверки признака MDS достаточно вычислить значение одного минора из класса, за счет чего и снижается сложность проверки. Описанный подход по классификации миноров можно использовать для построения контрольного множества.

Определение 2.

Множество миноров, достаточное для однозначной проверки признака MDS, будем называть контрольным множеством.

Задача построения MDS матриц может быть решена в две фазы. Во время первой фазы строится контрольное множество путем классификации миноров матричного шаблона. Во время второй фазы для выбранных значений переменных вычисляются значения миноров из контрольного множества. Если какой-либо минор равен нулю, то матрица не имеет свойства MDS. Если все значения миноров отличны от нуля, то матрица является MDS матрицей.

В настоящей работе для циркулянтных матриц описываются теоретические способы классификации миноров и приводятся результаты классификации, достигнутые на практике. Изложенные результаты могут использоваться при построении MDS матриц с помощью циркулянтных матричных шаблонов из [3] при использовании описанного выше двухфазного подхода. Прежде циркулянтные матрицы становились предметом многих исследований (например, [4,5,6]).

Теоретические способы классификации миноров

Рассмотрим циркулянтную матрицу $\boldsymbol{L} = \boldsymbol{L}_{m \times m}$,

$$\boldsymbol{L} = \begin{pmatrix} a_0 & \cdots & a_{m-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m-1} & \cdots & a_0 \end{pmatrix},$$

полученную циклическим сдвигом влево нулевой строки $(a_0, \dots, a_{m-1})$. Здесь элементы $a_0, \dots, a_{m-1}$ представляют попарно различные переменные.

Определение 3.
Пусть $\boldsymbol{M}_1$ и $\boldsymbol{M}_2$ — некоторые матрицы. Назовем $\boldsymbol{M}_1$ и $\boldsymbol{M}_2$ эквивалентными матрицами ($\boldsymbol{M}_1 \sim \boldsymbol{M}_2$), если одна получается из другой перестановкой строк и столбцов.

Интерес к эквивалентным матрицам обусловлен равенством абсолютных значений определителей для квадратных матриц: если $\boldsymbol{M}_1 \sim \boldsymbol{M}_2$, то $|\det \boldsymbol{M}_1| = |\det \boldsymbol{M}_2|$, при условии существования определителей.

Определение 4.
Для матрицы $\boldsymbol{A}$ размера $k \times m$ через $\boldsymbol{A}[i_0, \dots, i_{u-1}; j_0, \dots, j_{v-1}]$ обозначим подматрицу, образованную строками $i_0 < \dots < i_{u-1}$ и столбцами $j_0 < \dots < j_{v-1}$.

Определение 5.
Пусть $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}} = \boldsymbol{L}[i_0, \dots, i_{u-1}; j_0, \dots, j_{v-1}]$ есть подматрица матрицы $\boldsymbol{L}$. Для $l \in \{0, m-1\}$ через $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}^{(l)}$ обозначим подматрицу матрицы $\boldsymbol{L}$, полученную из $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}$ циклическим сдвигом ее элементов на l позиций вниз и вправо в матрице $\boldsymbol{L}$, $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}^{(l)} = \boldsymbol{L}[\pi((i_0 + l)_{\bmod m}), \dots, \pi((i_{u-1} + l)_{\bmod m}); \rho((j_0 - l)_{\bmod m}), \dots, \rho((j_{v-1} - l)_{\bmod m})]$. Здесь π и ρ — перестановки множеств $\{(i_0 + l)_{\bmod m}, \dots, (i_{u-1} + l)_{\bmod m}\}$ и $\{(j_0 - l)_{\bmod m}, \dots, (j_{v-1} - l)_{\bmod m}\}$ соответственно, которые сортируют элементы множеств в порядке возрастания. Подматрицу $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}^{(l)}$ будем называть образующей при $l = 0$ и производной при $0 < l < m$.

Для циркулянтной матрицы $\boldsymbol{L}$ справедлива следующая теорема относительно эквивалентности ее подматриц.

Теорема 1.
Пусть $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}$ и $\boldsymbol{M}'_{\boldsymbol{L}}$ — подматрицы матрицы $\boldsymbol{L}$, тогда $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}} \sim \boldsymbol{M}'_{\boldsymbol{L}}$, если и только если $\boldsymbol{M}'_{\boldsymbol{L}}$ является производной подматрицей от $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}$.

Из теоремы 1 следует, что $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}$ задает класс $[\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}]$ эквивалентных подматриц,

$$[\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}] = \left\{ \boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}^{(l)} \middle| l \in \{0, m-1\} \right\}. \quad (1)$$

Заметим, что подматрицы $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}^{(l_1)}$ и $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}^{(l_2)}$ могут быть равны для различных значений l_1 и l_2. Справедлива следующая теорема.

Теорема 2.
Образующая подматрица $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}$ размера $u \times v$, матрицы $\boldsymbol{L}$ задает класс эквивалентности $[\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}]$, который содержит l элементов, $l \in \{qm/\text{НОД}(m, u, v) \,|q \in \{1, \dots, \text{НОД}(m, u, v)\}\}$ при $u < m > v$.

Следствие 1.
При простых m все образующие подматрицы задают классы эквивалентности, содержащие в точности m элементов.

Не только эквивалентные в соответствии с определением 3 матрицы имеют равные абсолютные значения определителей, но и транспонированные. Следующая теорема для матрицы $\boldsymbol{L}$ устанавливает необходимое и достаточное условие, при котором одна подматрица равна другой подматрице в транспонированном представлении.

Теорема 3.
Пусть $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}} = \boldsymbol{L}[i_0, \dots, i_{u-1}; j_0, \dots, j_{v-1}]$ есть подматрица матрицы $\boldsymbol{L}$.
Тогда $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}^T = \boldsymbol{L}[j_0, \dots, j_{v-1}; i_0, \dots, i_{u-1}]$.

Следствие 2.
В условиях теоремы 3 выполняется: $\{\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}} = \boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}^T\} \Leftrightarrow \{\{i_0, \dots, i_{u-1}\} = \{j_0, \dots, j_{v-1}\}\}$.

Теоремы 1–3 позволяют оценить количество миноров, из которых можно составить контрольное множество $\mathcal{D}$, достаточное для проверки признака MDS у циркулянтной матрицы. Рассмотрим два случая: (i) матрица $\boldsymbol{L}$ имеет простой порядок m; (ii) матрица $\boldsymbol{L}$ имеет составной порядок m.

Если матрица $\boldsymbol{L}$ имеет простой порядок m, то по следствию 1 каждая образующая квадратная подматрица порядка $u < m$ задает класс размера m, поэтому число различных образующих подматриц

$$1 + \frac{1}{m} \sum_{u=1}^{m-1} \binom{m}{u}^2, \quad (2)$$

где единица обозначает единственную подматрицу порядка m, а квадрат биномиального коэффициента совпадает с числом подматриц размера $u \times u$. При этом из рассмотрения необходимо исключить транспонированные подматрицы, каждая из которых так же задает класс размера m. Одновременно в матрице $\boldsymbol{L}$ имеются симметрические подматрицы $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}$,

то есть такие что $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}} = \boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}^T$. Число симметрических подматриц порядка u совпадает с числом сочетаний из m по u. Тогда с учетом транспонированных и симметрических подматриц

$$|\mathcal{D}| = 1 + \sum_{u=1}^{m-1} \binom{m}{u} + \frac{1}{2m} \sum_{u=1}^{m-1} \left(\binom{m}{u}^2 - m \binom{m}{u} \right), \quad (3)$$

где второе слагаемое определяет число симметрических матриц, задающих различные классы, а третье слагаемое определяет число классов, в которые не входят симметрические подматрицы.

Рассмотрим теперь матрицу $\boldsymbol{L}$, имеющую составной порядок m. У такой матрицы по теореме 2 класс $[\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}]$, задаваемый некоторой квадратной матрицей $\boldsymbol{M}_{\boldsymbol{L}}$ порядка $u < m$, имеет $l \in \{qm/\text{НОД}(m, u) \,|q \in \{1, \dots, \text{НОД}(m, u)\}\}$ элементов. Видно, что для взаимно простых u и m любой класс содержит в точности

m элементов, однако, если $\text{НОД}(m,u) > 1$, то $m/\text{НОД}(m,u) \le l \le m$, поэтому

$$|\mathcal{D}| \le 1 + \sum_{u=1}^{m-1} \binom{m}{u} + \frac{1}{2m} \sum_{u=1}^{m-1} \left(\text{НОД}(m,u) \binom{m}{u}^2 - m \binom{m}{u} \right). \quad (4)$$

Итак, в общем случае

$$\frac{1}{2m} \sum_{u=1}^{m-1} \binom{m}{u}^2 \le |\mathcal{D}| + \frac{1}{2} \sum_{u=1}^{m-1} \binom{m}{u} - 1 \le \frac{1}{2m} \sum_{u=1}^{m-1} \text{НОД}(m,u) \binom{m}{u}^2. \quad (5)$$

Результаты практической классификации миноров

Приведем результаты практической классификации миноров для циркулянтных матричных шаблонов порядка $m \le 16$ с попарно различными переменными. Нижеследующие результаты получены на ПЭВМ с помощью программы, разработанной на языке Wolfram Language. В таблице 1 для разных значений m приводится общее число T миноров, мощность контрольного множества $\mathcal{D}$, при построении которого учитывались эквивалентные, транспонированные и симметрические подматрицы, и отношение $T/|\mathcal{D}|$, характеризующее снижение сложности проверки признака MDS.

Таблица 1. Соотношение общего числа миноров матриц порядка m и мощности контрольного множества $\mathcal{D}$

m	7	8	12	16
T	3431	12869	2 704 155	601 080 389
$\lvert\mathcal{D}\rvert$	309	941	115 157	18 838 305
$T/\lvert\mathcal{D}\rvert$	11.1	13.7	23.5	31.9

Из таблицы 1 видно, что контрольное множество для циркулянтных шаблонов, при построении которого учтены эквивалентные, транспонированные и симметрические подматрицы, снижает сложность проверки признака MDS примерно в $2m$ раз, где m — порядок шаблона.

Заметим, что матрица $\boldsymbol{L}$ построена путем циклического сдвига нулевой строки влево. В то же время можно рассмотреть циркулянтную матрицу $\boldsymbol{R}$, построенную с помощью циклического сдвига в правую сторону. Оказывается, что для $\boldsymbol{R}$ можно доказать теоремы, аналогичные теоремам 1–3, и построить с их применением контрольное множество, для которого оценка (5) и данные таблицы 1 останутся справедливы.

Заключение

В настоящей работе для циркулянтных матриц описаны теоретические способы классификации миноров и приведены результаты классификации, проведенной на практике. Изложенные результаты могут использоваться при построении MDS матриц с помощью циркулянтных шаблонов для снижения вычислительной сложности проверки признака MDS у циркулянтных матриц.

Список литературы

1. MacWilliams F. J., Sloane N. J. A. The theory of error correcting codes. — Elsevier, 1977. — Т. 16.
2. Junod P., Vaudenay S. Perfect diffusion primitives for block ciphers //International Workshop on Selected Areas in Cryptography. — Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. — С. 84–99.
3. Malakhov S. S., Rozhkov M. I. On construction of bi-regular circulant matrices, relating to MDS matrices //2021 International Conference Engineering Technologies and Computer Science (EnT). — IEEE, 2021. — С. 56–58.
4. Cauchois V., Loidreau P. On circulant involutory MDS matrices //Designs, Codes and Cryptography. — 2019. — Т. 87. — №. 2. — С. 249–260.
5. Chand Gupta K., Ghosh Ray I. On constructions of circulant MDS matrices for lightweight cryptography //International Conference on Information Security Practice and Experience. — Springer, Cham, 2014. — С. 564–576.
6. Kesarwani A., Sarkar S., Venkateswarlu A. Exhaustive search for various types of MDS matrices //IACR Transactions on Symmetric Cryptology. — 2019. — С. 231–256.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ БЛОЧНЫХ ШИФРОВ И РЕЖИМОВ ШИФРОВАНИЯ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ STM32

Кузьмин Д.А.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент прикладной математики МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе получены оценки сложности реализации блочных криптоалгоритмов с оптимизацией по памяти для нескольких различных моделей микроконтроллеров семейства STM32 и проведены исследования скорости их работы.

Введение

Происходит развитие в области интернета вещей для нужд жилищно-коммунальных хозяйств, для городов постепенно разрабатывают «умные» парковки. Новостной портал iot.ru, авторы которого являются участниками технического комитета №194

«Кибер-физические системы» от Росстандарта, сообщает, что количество устройств Интернета вещей в России вырастет в 2 раза и достигнет 42 млн к 2022 году [1]. Специалисты компании Microsoft в обзоре на тему общих сведений о безопасности в Интернете вещей сообщают об актуальных угрозах [2].

В работе проводится экспериментальное исследование выполнения криптографических алгоритмов «AES», ГОСТ Р 34.12-2015 «Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры» и ГОСТ 28147-89 «Алгоритмы блочного шифрования» в режимах простой замены, простой замены с зацеплением, гаммирования с обратной связью по шифротексту, режим гаммирования с обратной связью по выходу для аппаратных платформ Nucleo-G474RE, Nucleo-F401RE, Nucleo-L152RE.

Особенности реализации криптоалгоритмов

Все алгоритмы реализованы в соответствии с их стандартами [3][4] с оптимизациями по памяти без использования платформозависимого кода и аппаратных возможностей. Режимы работы реализованы в соответствии со стандартом о режимах работы блочных шифров [5].

Методика тестирования

Для тестирования используются псевдослучайные наборы данных размером от 16 до 256 байт, находящиеся в памяти микроконтроллера. Промежуточным результатом эксперимента является значение времени зашифрования и расшифрования набора данных. Каждый эксперимент проводится 100 раз, в качестве конечного результата берется среднее арифметическое значение всех промежуточных результатов для набора данных.

Потребляемая память

Все криптографические алгоритмы были объединены в специальный фреймворк (FW). На таблице ниже вся память, не относящая к фреймворку, занята системным кодом.

Таблица 1. Скорость работы алгоритмов в различных режимах в байт/с

Память		**L152**	**F401**	**G474**
		Память, КБайт		
Static RAM	Занято (FW)	8,70 (0,63)	8,59 (0,63)	9,22 (0,63)
	Свободно	71,30	87,41	118,78
	Всего	80,00	96,00	128,00
Flash	Занято (FW)	116,95 (16,56)	116,63 (16,56)	119,65 (16,56)
	Свободно	395,05	395,37	392,35
	Всего	512,00		

Результаты экспериментов

Ниже приведены результаты экспериментов.

Таблица 2. Скорость работы алгоритмов в различных режимах в байт/с

Режим	**Алгоритм**	**L152**	**F401**	**G474**
		Скорость, байт/с		
ECB	Кузнечик	0,84	2,50	4,56
	AES	1,12	3,36	6,14
	Магма	5,77	17,57	27,01
CBC	Кузнечик	0,84	2,48	4,56
	AES	1,12	3,32	6,12
	Магма	5,73	16,84	26,77
CFB	Кузнечик	0,84	2,42	4,56
	AES	1,56	4,61	8,51
	Магма	5,38	15,78	25,38
OFB	Кузнечик	0,84	2,41	4,56
	AES	1,58	4,67	8,60
	Магма	5,38	16,23	25,37

Для нивелирования зависимости скорости обработки от частоты работы микроконтроллера значения преобразованы в биты за такт.

Таблица 3. Скорость работы алгоритмов в различных режимах в бит/такт

Режим	**Алгоритм**	**L152**	**G474**	**F401**
		Скорость, бит/такт * 10^-7		
ECB	Кузнечик	2,10	2,15	2,38
	AES	2,80	2,89	3,20
	Магма	14,40	12,70	16,70
CBC	Кузнечик	2,10	2,15	2,36
	AES	2,80	2,88	3,16
	Магма	14,30	12,60	16,00
CFB	Кузнечик	2,10	2,15	2,30
	AES	3,90	4,00	4,39
	Магма	13,50	11,90	15,00
OFB	Кузнечик	2,10	2,15	2,30
	AES	3,95	4,05	4,45
	Магма	13,50	11,90	15,50

Таблица 4. Результаты экспериментов в градации эффективности по скорости

Микроконтроллер	**Алгоритм (по скорости)**	**Режим (по скорости)**
Nucleo-L152RE	1. Магма	CBC
	2. AES	OFB
	3. Кузнечик	Любой
Nucleo-F401RE	1. Магма	CBC
	2. AES	OFB
	3. Кузнечик	CBC
Nucleo-G474RE	1. Магма	CBC
	2. AES	OFB
	3. Кузнечик	CBC

Все полученные данные проанализированы и помещены в таблицу. Для каждого микроконтроллера алгоритмы размещены по скорости работы от самого быстрого до самого медленного, для каждого алгоритма выделен наиболее эффективный по скорости режим.

Заключение

Для применения в микроконтроллерах семейства STM32 при оптимизациях по памяти рекомендуется к использованию алгоритм блочного шифрования Магма в режиме простой замены с зацеплением.

Список литературы

1. Бутусов А. Количество устройств Интернета вещей в России достигнет 42 млн к 2022 году [Электронный ресурс] // Официальный сайт iot.ru, новость от 19.08.2019. URL: https://iot.ru/promyshlennost/kolichestvo-ustroystv-interneta-veshchey-v-rossii-dostignet-42-mln-k-2022-godu (дата обращения: 10.01.2022)

2. Общие сведения о безопасности в Интернете вещей // Официальный сайт Microsoft Azure. URL: https://azure.microsoft.com/ru-ru/overview/internet-of-things-iot/iot-security-cybersecurity (дата обращения: 13.01.2022)

3. ГОСТ Р 34.12-2015 «Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры» – Москва: Стандартинформ, 2016. – 12 с.

4. FIPS PUB 197 «Advanced Encryption Standard (AES)» – NIST, 2001. – 47 с.

5. ГОСТ Р 34.13-2015 «Информационная технология. Криптографическая защита информации. Режимы работы блочных шифров» – Москва: Стандартинформ, 2016. – 24 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ НОВОСТНОГО ПОРТАЛА

Кучеренко Ю.Р.
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», департамент компьютерной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается сравнительный анализ четырех методов аутентификации для новостного портала по нескольким критериям, таким как: затраты на разработку и обслуживание, эффективность, надежность и безопасность. Методика сравнения была разработана самостоятельна и может в дальнейшем использовать для сравнения других методов аутентификации.

Введение

Сегодня, в эпоху колоссального развития инфокоммуникационных технологий, вопросы защиты информации, в которой содержатся конфиденциальные сведения, стоят особенно остро, и, как следствие, актуальны вопросы защиты информации. Доступ к такой информации должен быть строго регламентирован, иначе меры, применяемые для ее защиты, окажутся бесполезны, даже если будут применены комплексно и на высоком уровне [1]. В статье рассматривается регламент доступа к ресурсам вычислительной сети в целом будет рассмотрен с позиции процесса аутентификации. Аутентификацией называется процесс определения легитимности пользователя для доступа к ресурсам информационной системы, содержащей сведения конфиденциального характера на основании предъявления пользователем определенного идентификатора, который либо известен пользователю, либо пользователь им владеет, либо идентификатор является свойством пользователя. Целью работы является сравнение методов аутентификации по следующим критериям: затраты на разработку и обслуживание системы идентификации, эффективность ее работы, надежность и безопасность функционирования [2,3].

Этапы аутентификации

В случае, когда субъект доступа предъявляет два и более идентификатора, то аутентификацию называют многофакторной. [4]. В данной работе будет рассмотрена однофакторная и двухфакторная аутентификация. В первом случае субъект предъявляет один идентификатор, чаще всего, заранее заданный пароль. Данная идентификация по категории является «идентификацией по знанию», где в качестве знания подразумевается то, что легитимному субъекту доступа известен пароль. Во втором случае субъект доступа владеет некоторым носителем, являющимся ключом аутентификации [5]. В статье предполагается, что носителем будет мобильной устройство с установленным приложением Google Authenticator. Данная идентификация относится к категории «идентификацией по владению». На рис. 1 изображен процесс использования n – факторный аутентификации для доступа к ресурсам вычислительной сети.

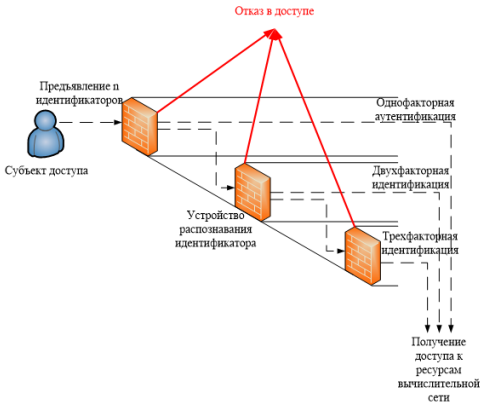


Рис.1. Использование многофакторной аутентификации с целью контроля доступа

В рамках настоящего исследования разработано четыре подсистемы аутентификации к новостному порталу. В данной статье будет произведено сравне-

ние получения пароля пользователем для новостного сайта следующими вариантами:

1. получение многоразового пароля;
2. вход при помощи одноразового пароля;
3. вход при помощи пароля, высланного на почту;
4. вход через приложение.

Также в рамках исследования предлагаются следующие критерии оценки процедуры аутентификации.

1. затраты на установку и обслуживание;
2. эффективность;
3. надежность;
4. безопасность.

В интерфейсе авторизации пользователь сам может выбрать способ аутентификации, либо пройти процедуру регистрации, если она не была пройдена. Необходимо отметить, что в данной статье такие угрозы, как межсайтовый скриптинг не будут учтены, так задача защита от подобных атак лежит в рамках реализация кода самого сайта, а не в рамках реализации подсистемы аутентификации. [6,7].

Особенности получения пароля пользователем для аутентификации на исследуемом ресурсе

Существует несколько способов аутентификации пользователя на новостном портале. Первый – вход с помощью пароля, который получает пользователь. Пароль является долгосрочным. Для получения пароля пользователь регистрируется на новостном сайте, далее для получения пароля он предоставляет свой e-mail, далее он придумывает пароль, и после регистрации ему высылается на почту логин и пароль.

Данный процесс проиллюстрирован на рис. 2. В нем слабым местом является пользовательское устройство или почтовый ящик, который может быть взломан. Долговременный пароль должен где-то храниться, и чем больше срок его действия, тем выше вероятность его компрометации (считается, что нарушитель преследует цель похитить пароль). Также пароль может быть слабозащищенным и использоваться в других интернет ресурсах, его можно легко подобрать или подсмотреть.

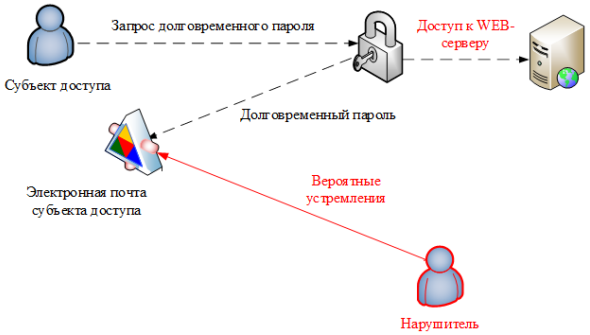


Рис.2. Процесс получения долговременного пароля для аутентификации на исследуемом WEB-ресурсе

Второй способ – это вход при помощи одноразового пароля. Он получается таким образом: пользователь регистрируется на новостном сайте, после на электронную почту приходит набор случайно сгенерированных паролей. Пароли являются одноразовыми, после их ввода они перестают быть актуальными.

Процесс получения и угрозы, в результате вероятных устремлений нарушителя приведены на рис.3.

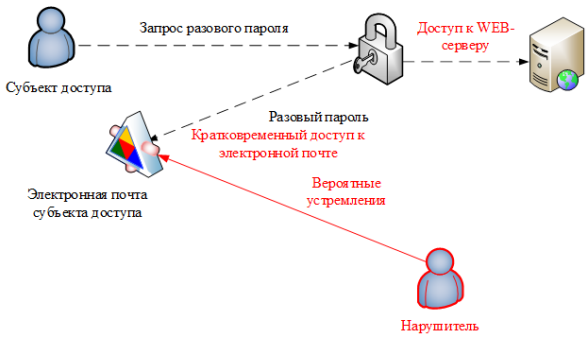


Рис.3. Процесс получения одноразового пароля для аутентификации на исследуемом WEB-ресурс

Необходимо отметить, что для получения одноразового пароля используется такая же схема, как и для получения долговременного пароля. Но за счет того, что смена одноразового пароля происходит при каждом новом входе на ресурс, отсутствует необходимость его хранения на пользовательских устройствах и, как следствие, становится невозможной атака злоумышленника на извлечение пароля.

Третий тип – аутентификация при помощи электронной почты. Аутентификация в данном случае происходит следующим образом: пользователь выбирает вход с использованием по e-mail, далее на e-mail ему приходит сообщение, содержащее ссылку, по которой необходимо перейти; он переходит по ссылке и становится авторизованным пользователем WEB-ресурса (рис.4).

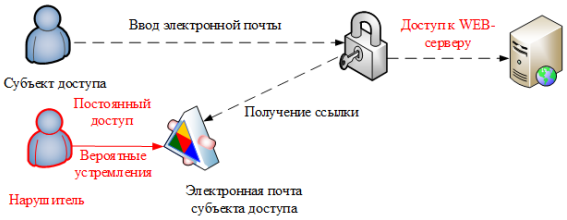


Рис.4. Процесс аутентификации на исследуемом WEB-ресурсе при помощи электронной почты по ссылке

Отличие от разового пароля заключаются в том, что для захвата ссылки требуется постоянный доступ к электронной почте, что уменьшает вероятность отсутствия реакции со стороны субъекта доступа, так как существует множество вариантов оповещения пользователей о несанкционированном доступе к ресурсам электронной почты.

И последний процесс – аутентификация через приложение. При выборе такого способа аутентификации пользователь производит следующие действия: пользователь регистрируется на новостном сайте, и ему предоставляется QR-код. Для аутентификации он входит в приложение Google Authenticator сканирует код и вводит данные, при

успешной аутентификации в приложении пользователь становится авторизованным пользователем WEB-ресурса.

Вход в само приложение Google Authenticator происходит при помощи пользовательского устройства. Код обновляется каждые 30 секунд. Для успешного входа нарушитель должен получить доступ к приложению и доступ к устройству где находится много разовый пароль.

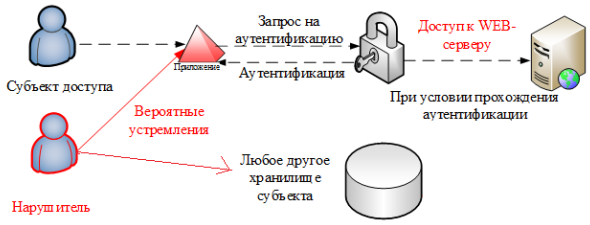


Рис.5. Процесс аутентификации на исследуемом WEB-ресурсе с помощью приложения

Сравнение методов аутентификации по критериям

Для оценки по исследуемым параметрам данные представлены в табличной форме в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1. Сравнение методов аутентификации по критериям

	Затраты	Эффективность	Надежность	Безопасность
Многоразовый пароль	Низкозатратно	минимальные	Высокая	Одно направление
Одноразовый пароль	Среднезатратно	минимальные	Высокая	Одно направление
По ссылке на e-mail	Среднезатратно	минимальные	Высокая	Одно направление
При помощи приложе	Трудоемко	Средние	Высокая	Два направления

Сравнение методов аутентификации производится по следующим критериям: затраты на разработку и обслуживание системы идентификации, эффективность ее работы, надежность и безопасность функционирования.

Затраты на разработку – доля времени затраченное на разработку данной подсистемы, от общего количества времени, затраченного на разработку всей работы

$$Rz = 1 - Cзатр$$

где $Cзатр$ – процент затраченного времени на разработку метода аутентификации ко времени на разработку всей подсистемы.

Эффективность – простата и усилия, приложенные пользователем для аутентификации в системе. Оценивается как количество шагов, которые необходимо пройти пользователю для успешной идентификации.

Надежность – оценивается как вероятность того, что владелец учетной записи осуществит успешную процедуру аутентификации тогда, когда это будет необходимо.

Безопасность – оценивается в количестве этапов аутентификации, которые необходимо обойти злоумышленнику для успешного прохождения ложной идентификации [8].

При равновероятных событиях необходимо привести оценки к унифицированному виду, применив к ним условные коэффициенты. Принимаются следующие коэффициенты:

Затраты – по шкале от 0.1 до 0.3;

Эффективность – минимальные усилия = 0,1;

Эффективность – средние усилия = 0,2;

Надежность – высокая = 1;

Безопасность – два направления вероятных устремлений = 1;

Безопасность – одно направление вероятных устремлений = 0,5.

Таблица 2. Сравнение методов аутентификации по коэффициентам

	Затраты	Эффективность	Надежность	Безопасность
Многоразовый пароль	0,9	0,1	1	0,5
Одноразовый пароль	0,75	0,1	1	0,5
По ссылке на e-mail	0,76	0,1	1	0,5
При помощи приложения	0,6	0,2	1	1

Общее сравнение будет получено в результате суммирования данных коэффициентов.

Таблица 3. Оценка метода

	Оценка метода
Многоразовый пароль	2,5
Одноразовый пароль	2,35
По ссылке на e-mail	2,35
При помощи приложения	2,8

Заключение

В настоящей статье предложен метод оценки в рамках сравнительного анализа однофакторной аутентификации при получении доступа к новостному WEB-ресурсу. Предложена методика оценки методов по критериям. Проведена оценка методов. По исследуемым критериям самым приемлемым является метод аутентификации при помощи приложения.

Список литературы

1. Зиятдинов А. И., «Принципы построения систем аутентификации»/ МФТИ, 2005, 8 с.;

2. Вакуленко А., Юхин А., «Методы идентификации личности: обоснованный выбор и внедрение», 2007;

3. 20.10.2006. Технология биометрической аутентификации Precise BioMatch [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: www.morepc.ru.

4. Журнал «Системы безопасности» #2, 2012. Статья – Безопасность. Риски и их предотвращение;

5. Шелупанов А.А., Зайцев А.П., Мещеряков Р.В., Филипинов Ю.М., Давыдова Е.М., Новгородова Н.А., Сопов М.А., Колесник Е.В., Колесник Е.А. «Основы защиты информации», часть 2, Томск: Изд-во «В-Спектр», 2010. В трех частях. Ч.2. – 186 с;

6. Болл Р.М., Коннел Дж. Х., Ратха Н.К., Сеньор Э.У. Руководство по защите информации. М.: ЗАО «РИЦ Техносфера», 2006;

7. Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955;

8. Каталог «Системы безопасности»-2012 Статья – Аутентификация. развитие технологий.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. «Математика и компьютерное моделирование» **5-47**

Пчелинцев И.И. 5-6
Модель Изинга на многомерной полимерной цепочке

Вишневская А.Д. 7-9
Классификация однопараметрических семейств статических конфигураций точечных вихрей на плоскости

Волгина О.А. Нечаева П.А. 10-12
Численное моделирование процессов распространения активности в социальных сетях на основе моделирования гетерогенных взаимодействий MIMO-агентов

Москаленко Р.Б. 12-15
Свойства магнитных моделей на ансамблях конформаций

Борисова М.А. Челнокова П.Д. Шумай Д.В. 15-18
Реализация алгоритма кластеризации Mean Shift на базе data-flow

Гафурова Д.Р. 18-22
Построение и исследование периодических решений круговой ограниченной задачи трех тел

Михайлова С.О. Петухова Е.С. 22-24
Случайные блуждания на решётках

Гордин В.А. Шадрин Д.А. 24-27
Компактная разностная схема для эллиптических уравнений с разрывным коэффициентом и правой частью

Степанянц В.Г. Романов А.Ю. 27-30
Требования к разработке среды для компьютерного моделирования использования автономных подключенных и электрических транспортных средств и концепций совместной мобильности и мобильности как услуги в интеллектуальных транспортных системах

Реброва А.В. 30-32
Анализ и оптимизация структуры системы массового обслуживания при различных параметрах входящего потока и скорости обслуживания

Глушак А.А. Тарарушкин Е.В. 32-34
Атомистическое многомасштабное моделирование цементных AFm фаз как потенциальных адсорбентов радиоактивных отходов

Миколаенко В.В. 34-37
Коррекция модели деформационного поведения сверхпластических материалов

Посынкин А.А.
Применение методов машинного обучения для расчета орбит вокруг точек либрации ограниченной задачи трех тел 38-40

Гордин В.А. Шемендюк А.А. 41-43
Компактные аппроксимации для уравнения поперечных колебаний стержня с постоянными коэффициентами

Гордин В.А. Романов А.С.
Компактные конечно-разностные схемы для квазилинейных уравнений в частных производных: Эйлера – Хопфа, Бейтмана – Бюргерса, Лейбензона, Фишера – Колмогорова – Петровского - Пискунова и нелинейного уравнения Шредингера 43-47

Секция 2. «Информационно-коммуникационные технологии» **48-187**

Зыкова В.И. 48-50
Несколько статистических методов оценки синтаксических деревьев

Лясковский А.Д. 50-53
Программное обеспечение для таск-менеджера на облачной платформе Rightech IoT Cloud

Веденский Д.С. 53-57
Разработка проектных метрик для студентов МИЭМ НИУ ВШЭ

Гаджиев Э.И. Елисеев Н.С. 57-59
Проектирование компилятора data-flow языка программирования

Литвиненко А.М. 59-61
Разработка реализации архитектуры RISC-V с поддержкой вычислений, основанных на модулярной арифметике

Гальцева Д.М. 61-64
Автоматическая генерация текста с опорой на генерацию его дискурсивной структуры

Савастьянова А.В. Рахманкулова С.Е. 64-67
Интегрирование моделей в единую среду для высокоуровневого моделирования сетей на кристалле

Ким Н.В. Пуженков П.А. 67-68
Разработка программного обеспечения для сопровождения и контроля 3D-печати с использованием Microsoft Hololens

Пономарев А.С. Таржанов Т.В. Бородин Н.Ю. 69-71
Методы оптимизации высокоуровневого моделирования сетей на кристалле

Зимина Е.Ю. Бурцев А.Н. Таранченко Ю.Г. Щербаков Н.Р. 71-75
Применение преобразования Фурье к кардиологическим данным

Денисова А.В. Меинов А.С. 75-77
Сравнительный анализ голосовых ассистентов нейросети при определении речи с нарушениями

Сивков А.А. Бесчастнов С.А. 78-79
Разработка программного комплекса для обязательной маркировки лекарственных препаратов

Белоруков А.М. Измайлова Л.Г. 80-82
Дистанционный стенд для синхронной работы с оборудованием лаборатории

Якубов В.Ю. Сиротинский Н.В. Котов Ф.И. 82-85
Разработка и анализ методов сжатия изображений и работы со сжатыми представлениями на основе нейронных сетей с глубоким обучением

Бадалян Р.К. Сафронов М.А. Эфендиев С.В. 85-88
Разработка устройства для переработки отходов пластика после 3D-печати

Колпаков М.М. Камаров Л.Ш. Рыкова Т.Д. 88-89
Дистанционное управление роботизированными устройствами с открытой структурой данных

Чехоева А.С. Быков Ф.Л. 90-92
Прогнозирование среднеквадратичной ошибки прогнозов приземной температуры воздуха с помощью глубоких свёрточных нейронных сетей

Морин Д.А. Курдашвили И.М. Цкиманаури Т.М. 93-94
Робот-гид

Фёдоров А.А. Озирный М.Н. Елисеенко А.М. 94-97
Валидация сборки оборудования видеопроизводства, выполненной в графическом редакторе на основе draw.io

Зайцев С.А. 97-99
Мобильный мультисервис с элементами машинного обучения для подбора объектов искусства в дополненной реальности

Бутылкин А.И. Штырлин Н.В. 100-101
Программно-аппаратный комплекс для сбора и передачи графической информации по низкоскоростным сетям с использованием машинного обучения и граничных вычислений

Лернер А. 101-104
Циклически точная мульти-плис платформа для ускоренной эмуляции масштабных сетей на кристалле

Малчевская К.А. 104-106
Онлайн-сервис для перевода черно-белых изображений в цветные с использованием элементов искусственного интеллекта

Раджабов Ф.Р. Американов А.А. 106-109
Программный симулятор DEC9 для моделирования циркулянтных сетей на кристалле

Дюндик Д.А. Маршутина Е.Н. Шошина А.А. Макагонова В.Д. 109-111
Дистанционный стенд для удаленной работы с оборудованием на основе виртуальной лаборатории Intel FPGA DevCloud Remote Development Environments

Матющенко А.А. 111-112
Разработка системы мониторинга автоматизированных систем на базе платформы Splunk

Карманова К.А. Кудрявцева А.Г. Рыбникова В.В. 113-116
Исследование и создание сервиса проверки оформления и форматирования документов

Солдатов А.В. Козырева Д.Д. Мазиков Я.А. Лукашов С.А. 116-122
Исследование методов отделения объектов от фона на фотографиях

Кофман М.О. 122-124
Мобильное приложение МИЭМ

Волков М.А. Ковригина А.А. Таран Д.Д. 124-127
Исследование полярной системы координат для беспроводных самоорганизующихся сетей

Беловицкий В.И. 128-130
Интернет вещей: мониторинг оборудования и автоматизация сервисного обслуживания для компании-интегратора

Синявский И.В. 130-132
Исследование процесса инкапсуляции команд IoT в пакеты VoIP

Романов Л.А. Балескин В.А. Косинов А.Н. Бубнова М.А. 133-135
Клиент-серверное приложение для моделирования пролёта малого космического аппарата на околоземной орбите

Заякина А.М. Немна В.А. Савельев Н.А. 135-138
Обучающая система с процедурой онбординга на основе чат-бота

Дубровский Н.А. Пригородов Р.А. 138-140
Конструктор форм

Данченко А.Д. 140-142
Разработка программного обеспечения для изучения 3D печати

Кинтана Л.Х.А. Моисеев М.В. Семенов А.О. Юсупов М.А. 142-145
Исследование и описание реализации пиринговой проверки работ в курсовых потоках

Смусев М.А. Хайрулин Н.Р. 145-147
Энергоэффективный метод взаимодействия в гетерогенной сети интернета вещей с использованием спутниковой связи

Чернышев А.С. 147-149
Система удаленного выполнения лабораторных работ с устройствами Интернета вещей

Бородин Ю.И. 149-152
Система бронирования аудиторий

Абдулла Р.А. Кобяков С.А. Климова Ю.Д. Моисеева В.В. 152-154
Разработка lms системы с интегрированными возможностями видеосвязи и практоринга

Омельченко К.Г. Стрельников Д.Ю. Умбрас Е.Д. 155-157
Разработка конструктора грейдеров для системы CI/CD GitLab

Наумова Е.А. Бессонова И.А. Якименко С.И. 157-160
Исследование стандарта Bluetooth 5.1 и определение точности позиционирования Bluetooth-устройства в закрытом помещении

Антипов М.М. Угодников А.А. Березуцкий Я.С. 160-162
Программный эмулятор устройств Интернета вещей "Virtual IoT Lab"

Золотухин Д.С. Климин Н.А. Наумова Е.А. Якименко С.И. 162-164
Веб-тренажёр для обучения сетевым технологиям

Венедиктов И.О. Пестов Ю.С. Ганиев Р.Р. Сыч Д.В. 164-166
Стабилизация оптоволоконного приемника квантовых когерентных оптических сигналов

Мещеряков Н.К. Огай В.А. Прокудина К.В. Салихов И.М. 166-1168
Разработка универсальной ячейки стенда для удаленной работы с оборудованием

Муклаев С.М. Филиппова А.С. 168-170
Обзор методов выявления взаимной зависимости временных рядов

Коробков И.А. Музычук С.М. 171-172
Сервис для бронирования удаленного доступа к лабораторным стендам

Гайдамака А.А. Просвиров В.А. 173-176
Применение стандартов МСЭ-Т к слайсингу сети с использованием машинного обучения в системах 5G

Ильин А.Д. 176-179
Разработка и исследование методов повышения энергетической эффективности граничных устройств в сети IoT

Постников И.В. Мелехина С.А. 179-181
Адаптация методологии DevOps для сервисов МИЭМ

Константинов А.С. Войлов С.В. Заякина А.М. 181-182
Архитектура образовательного чат-бота

Чернышев А.К. Зотова А.В. 182-184
Система обучения иностранных студентов начальным навыкам общения на русском языке

Лобанева А.А. Ляхова К.А. Усенкова М.А. 185-187
Онлайн сервис с элементами искусственного интеллекта по удалению и замене фона и объектов на статических изображениях различного размера

Секция 3. «Электроника» **188-269**

Балескин В.А. 188-190
Программируемый режекторный фильтр

Воропаев Д.И. Евсеева Н.А. Тарасова А.А. 190-192
Исследование точности моделирования тепловых режимов печатных узлов

Петухов Г.А. Лоренс А.С. Козлов А.В. 192-194
Дистанционный стенд для асинхронной работы с оборудованием лаборатории

Бимухамбетова Д.Ю. Вдовенко П.П. Малькова А.С. 194-195
Разработка системы управления цифровым анализатором компонентов AMM3044

Али А.А. 196-198
Разработка моделей и алгоритмов федеративного обучения для беспроводных каналов связи

Ленву С.А. Соболев С.В. Ван Е.В. 198-200
Разработка датчика линейных перемещений на базе замедляющей системы

Цветков В.Э. Ландер Л.Б. Кононова Н.А. Арисова А.И. 200-203
Исследование тепловых режимов работы электронных компонентов с применением различных видов охлаждающих конструкций

Авдеенков В.А. 203-205
Разработка и исследование характеристик фотоэлектрического измерителя мощности оптического излучения на основе фотометрической сферы

Безбородов Н.А. Налегач Д.И. 205-208
Разработка программно-аппаратного комплекса для функционального и параметрического контроля микросхем энергонезависимой памяти с последовательным интерфейсом

Агапов И.И. 208-209
Исследование стабильности свойств модельного диэлектрика

Замурий Н.М. Ярмиева К.Р. Тюрина А.Н. 210-211
Виртуальные лабораторные стенды по курсу электроники

Кацнельсон А.И. 212-215
Усилитель тока для многофункционального драйвера электродвигателей

Кацнельсон А.И. 215-218
Колонка с пятью динамиками и индикаторными лампами "Котодинамик"

Баканов Г.П. Цыгикало П.Н. Зайцев А.Д. Шарипова С.Д. 218-220
Моделирование теплового распределения в интегральных микросхемах

Полуйко Е.Ю. Иванов Г.И. 220-223
Оценка частоты сбоев РЭА при воздействии космического излучения с учётом методов помехоустойчивого кодирования

Уркунов А.К. Фёдоров Н.Г. 223-226
Метод валидации показателей безотказности электрорадиоизделий

Демокидов А.Р. Бичурина Е.П. 226-229
Методика проведения входного контроля источников вторичного электропитания

Юлдашов А.С. Капочкина А.В. Азаров А.А. Тарунтаева А.С. 229-231
Программно-аппаратный комплекс VR-тренажера для яхтсменов

Евланова А.А. Зарубина А.А. Казакова В.Е. Казачков А.О. Овчинникова Е.Ю. Хлынов П.А. Явнова С.Д. 231-233
Экстрактор SPICE-моделей

Копытин И.А. Недошивина М.С. Язовская Д.А. 233-235
Разработка универсального интерфейса измерительного комплекса

Уткин Б.В. Матвеев В.Е. Фортуна С.В. Соколов В.М. 235-238
Обоснование и разработка алгоритма для анализа контактных радиопомех в связных радиотехнических системах

Шафиев Р.И. Ганин М.Ю. Самченко А.А. Хромов П.А. 238-241
Система непрерывного мониторинга технического состояния мостов

Уркунов А.К. Махмудов Т.Г. 241-243
О стенде для проведения ускоренных испытаний электрорадиоизделий в НИУ ВШЭ

Вовк Н.А. 243-245
Исследование влияния гидромеханического воздействия на массив горизонтально ориентированных углеродных нанотрубок

Калачикова И.В. Шагаева А.Е. 246-247
Исследование электрических свойств металлсодержащих нанокомпозитных кремний-углеродных пленок

Астафьев А.В. 248-249
Метод электрофотографического разряда для определения квантовой эффективности фотогенерации носителей заряда в полимерных пленках

Святодух С.С. Кузьминых И.О. 249-252
Исследование кольцевого резонатора с микронагревателем на чипе из нитрида кремния

Гилинская А.А. Продьма И.Д. 252-254
Разработка системы предотвращения аварийных ситуаций при 3D печати

Андреев В.С. Елбакиева И.В. Кузин А.Ю. 254-257
Моделирование распределения тепла в интерферометре Маха-Цандера с микронагревателем на чипе из нитрида кремния

Дарханов Е.В. Данилов Е.А. Монахов И.С. 257-259
Разработка электропроводящих чернил на основе графен-серебряных наночастиц для технологий печатной электроники

Солдатенкова М.Д. Баева Э.М. Тризнова А.Д. Золотов Ф.И. Колбатова А.И. 259-261
Тепловая релаксация в NbN плёнках, осаждённых на кристаллическую подложку

Любчак А.Н. Щепелева Ю.М. Кузин А.Ю. 262-264
Экспериментальное исследование термооптического эффекта интерферометра маха-цандера на нитрид кремниевой платформе

Ломакин А.И. Баева Э.М. Колбатова А.И. 264-267
Усиление неупругого рассеяния в ультратонких пленках, обусловленное увеличением беспорядка

Кузьминых И.О. 267-269
Вольт-амперные характеристики пленочного фотоэлектрического элемента

Секция 4. «Информационная безопасность» **270-285**

Сарибекян Г.Э. 270-273
Анализ современного состояния технологии блокчейн: содержание, ограничения использования, вопросы безопасности

Шурлов А.Е. 273-274
Безопасность кластера Apache Kafka

Вишнёв Е.А. 274-279
Исследование информационных следов в цифровом изображении

Малахов С.С. 279-281
Классификация миноров циркулянтных матриц для ускорения проверки признака MDS

Кузьмин Д.А. 281-283
Исследование сложности реализации блочных шифров и режимов шифрования на микроконтроллерах STM32

Кучеренко Ю.Р. 283-285
Сравнительный анализ методов аутентификации для новостного портала

СОДЕРЖАНИЕ 286-293

Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского. Материалы конференции.

ISBN 978-5-903650-71-2

9 785903 650712

Подписано в печать 02.08.2022 г. Формат 60х84/8. Бумага офсетная №2.
Печать ризография. Усл.печ.л. 36,75. Уч.-изд.л. 33,1. Тираж 100 экз.
ООО "Издательский дом Медиа Паблишер".