

# 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



2018

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

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



**SuperJob**

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

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

Москва 2018г.

ББК 2+3

Н 34

Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского. Материалы конференции. - М. ~: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2018. – 304.

**ISBN 978-5-94768-079-9**

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; инновационные технологии цифровой экономики; инновационные технологии в дизайне.

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

Редакционная коллегия: Е.А. Крук, С.А. Аксенов, С.М. Авдошин, У.В. Аристова, Г.Г. Бондаренко, Л.С. Восков, А.А. Елизаров, М.В. Карасев, Э.С. Клышинский, А.Б. Лось, Н.С. Титкова

Издание осуществлено с авторских оригиналов.

ISBN 978-5-94768-079-9

© Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2018 г.  
© Авторы, 2018г.

## Введение

На текущий момент не существует стандартных общепринятых методов, позволяющих собрать, проанализировать и оценить оптимальность использования суперкомпьютерных ресурсов. Общие методы и подходы только начали развиваться.

В данной работе под повышением эффективности использования суперкомпьютерных комплексов будет подразумеваться:

- 1) уменьшение времени ожидания задачи в очереди,
- 2) ускорение счета задачи (за счет оптимального выбора размера вычислительного поля),
- 3) снижение энергопотребления суперкомпьютера.

В работе приводится краткий обзор литературы по данной тематике, анализируется современное состояние изучаемой области. Описываются основные методы и технологии, согласно которым был произведен анализ эффективности использования суперкомпьютера «Десмос», а также приведены первые результаты анализа.

## Краткий обзор литературы

В [1] авторы поднимают проблему того, что крупномасштабные распределенные системы потребляют огромное количество энергии. Для решения этой проблемы предлагается использовать политики отключения заданий, способные динамически адаптировать объем ресурсов к фактической рабочей нагрузке.

В работах [2] и [3] представлены новые методы распределения ресурсов, которые учитывают топологию машины, шаблоны взаимодействия задач и характеристики приложения для выбора наилучшего узла среди доступных на платформе.

В статье [4] рассматривается современное состояние энергоэффективных методов параллельных вычислений с целью достичь оптимального потребления ресурсов в условиях ограниченного энергопотребления.

В данной работе [5] приводится подробный разбор проблем и возможностей суперкомпьютерных вычислений в разнообразных сферах человеческой деятельности: в машинном обучении, астрономии, медицине, материаловедении и энергоэффективности. Авторы обсуждают проблемы масштабируемости как технического оборудования, так и программного обеспечения и алгоритмов. В связи с этим обсуждение проблем эффективности с точки зрения будущего exascale-вычислений и анализа больших данных является крайне актуальным и важным.

В 2017 году вышла статья [6], в которой впервые предприняты попытки проанализировать эффективность использования всем известного суперкомпьютера МГУ «Ломоносов». Исследование проводится с помощью статистического анализа данных системного мониторинга, собираемых по всему потоку задач.

## Сбор и анализ статистики использования суперкомпьютера «Десмос»

На суперкомпьютере «Десмос» в ОИВТ РАН установлен *SLURM* – это высокомасштабируемый отказоустойчивый менеджер и планировщик заданий. В его составе есть так называемый демон *SLURMBD* – он обеспечивает интерфейс взаимодействия между базой данных и *SLURM*. Статистика использования суперкомпьютера в режиме реального времени записывается в *MYSQL* базу, из которой мы с помощью *SQL*-запросов ее получили и проанализировали.

Прежде всего была проанализирована зависимость времени счета задачи от количества выделяемых ядер. В представлении <пиковая производительности> \* <количество ядер> мы построили две линии постоянного уровня: 10 Петафлоп и 100 Петафлоп (1 Флоп – это одна операция с плавающей точкой). Дальше мы выяснили, сколько же задач в данном представлении попадает в каждую из областей. Ре-

зультаты за первые месяцы работы суперкомпьютера оказались следующими:

- 5% задач попали в область меньше 10 Петафлоп;
- 52% – между 10 и 100 Петафлоп;
- 43% – свыше 100 Петафлоп.

При этом есть ряд задач (22%), которые являются одноузловыми. Минимизация их числа способствовала бы повышению эффективности использования суперкомпьютера.

## Заключение

- Была проанализирована статистика использования суперкомпьютера «Десмос».
- Предложены методы анализа загрузки суперкомпьютера задачами пользователей.
- Данные методы анализа позволяют количественно характеризовать эффективность использования суперкомпьютера и планировать шаги по ее повышению.
- На основе *SQL*-запросов к *SlurmDB* построены распределения за последние несколько месяцев работы суперкомпьютера «Десмос»;

## Список литературы:

1. Benoit A. et al. Reducing the energy consumption of large-scale computing systems through combined shutdown policies with multiple constraints //The International Journal of High Performance Computing Applications. – 2018. – Т. 32. – №. 1. – С. 176-188.
2. Georgiou Y. et al. Topology-aware job mapping //The International Journal of High Performance Computing Applications. – 2018. – Т. 32. – №. 1. – С. 14-27.
3. Gómez-Martín C., Vega-Rodríguez M. A., González-Sánchez J. L. Performance and energy aware scheduling simulator for HPC: evaluating different resource selection methods //Concurrency and Computation: Practice and Experience. – 2015. – Т. 27. – №. 17. – С. 5436-5459.
4. Jin C. et al. A survey on software methods to improve the energy efficiency of parallel computing //The International Journal of High Performance Computing Applications. – 2016. – С. 1094342016665471.
5. Reed D. A., Dongarra J. Exascale computing and big data //Communications of the ACM. – 2015. – Т. 58. – №. 7. – С. 56-68.
6. Мамаева А. А. и др. Методы статистического анализа потока задач большого суперкомпьютерного комплекса //Суперкомпьютерные дни в России. – 2017. – С. 788-799.

## ОБНОВЛЕННАЯ БИБЛИОТЕКА ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ RNGAVXLIB

М.С. Гуськова  
НИУ ВШЭ,

департамент прикладной математики  
МИЭМ НИУ ВШЭ

## Аннотация

Целью данной работы является ускорение генерации псевдослучайных чисел с использованием программно-аппаратного расширения центрального процессора AVX512. Это расширение содержит 32 регистра длиной 512 бит и набор инструкций, которые позволяют выполнять векторные операции над этими регистрами. Для ускорения были выбраны надежные и современные генераторы псевдослучайных чисел LFSR113[1], MRG32K3A[2], MT19937[3], GM29[4,5], GM31[6,7], GM55.4[4,5], GM55.8[4,5], GM61[6,7], PHILOX4X32\_10[8]. AVX512-реализации генерируют ту же последовательность случай-

ных чисел, что и исходный алгоритм. В результате было получено ускорение до 55 раз к ANSI C версии генераторов. И ускорение до 4 раз к предыдущей версии библиотеки RNGAVXLIB [9], в которой использовалось расширение AVX2.

### Введение

Для генерации случайных чисел в компьютерном моделировании используются генераторы псевдослучайных чисел (ГПСЧ). ГПСЧ использует детерминированные алгоритмы для вычисления чисел, но полученная таким способом последовательность по статистическим свойствам ничем не отличается от действительно случайной последовательности. Библиотека RNGAVXLIB [9] содержит подходящие для моделирования методом Монте-Карло ГПСЧ. Эти генераторы имеют достаточно большой период, известно в пространстве какой размерности вектора из случайных чисел равномерно распределены (размерность равномерного распределения). Также эти генераторы являются надежными, что подтверждается результатами тестов [10,11]. Характеристики ГПСЧ, входящих в состав библиотеки можно видеть в таблице 1.

Также необходимо, чтобы вычисление случайных чисел происходило быстро и эффективно. В данной работе предлагается использовать технологию AVX512, которая реализует принцип SIMD для ускорения этих генераторов.

### Технология AVX512

Операции SIMD (Single Instruction Multiple Data) позволяют применять одну команду одновременно к нескольким элементам данных. Начиная с процессоров Pentium II и Pentium, компания Intel выпустила 9 расширений для архитектур Intel 64 and IA-32. Это MMX технология, расширения SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4, AVX, AVX2 и AVX512 [12]. Каждое расширение содержит набор SIMD-инструкций для работы с упакованными целыми и/или с упакованными числами с плавающей точкой. Каждому расширению также соответствует свой набор регистров Рис.1. Регистры XMM соответствуют расширениям SSEn, YMM - AVX и AVX2, регистры ZMM появились в AVX512. Каждое следующее расширение сохраняет возможность работы с регистрами предыдущего поколения.

Таблица 1. Свойства ГПСЧ

	$\log_{10}(T)$ Т период	Размерность равно- распре- деления	Small crush (15 tests)	Crush (144 tests)	Bigcrush (160 tests)
LFSR113	34	30	0	6	6
MRG32K 3A	57.5	45	0	0	0
MT19937	6001.6	623	0	2	2
PHILOX 4X32_10	38.5	-	0	0	0
GM29	17.4	200	0	0	0
GM31	18.7	210	0	0	0
GM55.4	30.7	350	0	0	0
GM55.8	30.7	350	-	-	-
GM61	36.7	415	0	0	0

Микроархитектура процессоров, реализующих AVX512, также подразумевает наличие 8 регистров-масок (k0-k7), позволяющих гибко работать с частями регистров общего

назначения. Разрядность этих регистров равна 16 (64 в случае AVX512BW) и позволяет маскировать 16 элементов 512-разрядных регистров при работе с 32-разрядными числами с плавающей точкой или двойными словами. В случае работы с числами с плавающей точкой двойной точности или четверными словами используется только 8 бит масочных регистров.

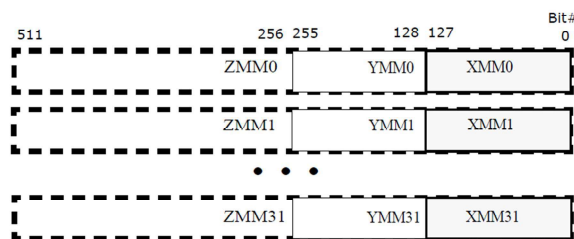


Рис.1. Регистры XMM, YMM, ZMM

### Результаты

Библиотека содержит различные реализации каждого из генераторов: реализацию ANSI C, реализации использующие расширения SSE, AVX2, AVX512 соответственно. На этапе компиляции библиотека автоматически определяет доступные наборы инструкций.

Все версии генератора независимо от используемого расширения воспроизводят эталонную последовательность. Скорости каждой из них можно видеть в таблице 2. Тестирование проводилось на машине с CPU: Intel(R) Xeon Phi(TM) CPU 7250 (1.4 GHz). Использовался компилятор gcc с уровнем оптимизации O3.

Таблица 2. Скорости генераторов

	ANSI C (Gbit/s)	SSE (Gbit/s)	AVX2 (Gbit/s)	AVX 512 (Gbit/s)
LFSR113	1.887	1.410	1.523	6.271
MRG32K 3A	0.969	1.372	1.712	2.574
MT19937	1.572	3.157	3.798	4.261
PHILOX 4X32_10	1.354	0.973	1.508	2.334
GM29	0.018	0.342	0.455	0.741
GM31	0.011	0.223	0.363	0.573
GM55.4	0.055	0.427	0.442	0.654
GM55.8	0.409	0.764	0.779	1.557
GM61	0.006	0.115	0.170	0.300

### Заключение

В работе реализованы следующие генераторы псевдослучайных чисел LFSR113, MRG32K3A, MT19937, GM29, GM31, GM55.4, GM55.8, GM61, PHILOX4X32\_10 с применением новейшего набора инструкций Intel AVX512F. Проведено тестирование, подтверждающее идентичность получаемой последовательности псевдослучайных чисел предыдущим реализациям (ANSI C, SSE, AVX2). Выполненное измерение производительности, показало, что большинство алгоритмов получило заметное ускорение вследствие AVX512 векторизации.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 14-21-00158.

### Список литературы:

1. P. L'Ecuyer, Tables of Maximally Equidistributed Combined LFSR Generators, *Math. of Comp.*, 68 (255), 261269 (1999).
2. P. L'Ecuyer, Good Parameter Sets for Combined Multiple Recursive Random Number Generators, *Oper. Res.* 47 (1), 159164 (1999).
3. M. Matsumoto and T. Tishimura, Mersenne Twister: A 623 dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator, *ACM Trans. on Mod. and Comp. Simul.* 8 (1), 330 (1998).
4. L. Barash, L.N. Shchur, Periodic orbits of the ensemble of Sinai-Arnold cat maps and pseudorandom number generation, *Phys. Rev. E* 73, 036701 (2006).
5. L.Yu Barash, L.N. Shchur, RNGSSELIB: Program library for random number generation, SSE2 realization, *Computer Physics Communications*, 182 (7), 15181527 (2011).
6. L.Yu. Barash, Applying dissipative dynamical systems to pseudorandom number generation: Equidistribution property and statistical independence of bits at distances up to logarithm of mesh size, *Europhysics Letters (EPL)* 95, 10003 (2011).
7. L.Yu. Barash, Geometric and statistical properties of pseudorandom number generators based on multiple recursive transformations // *Springer Proceedings in Mathematics and Statistics*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Vol. 23, 265280 (2012).
8. Salmon J. K. et al. Parallel random numbers: as easy as 1, 2, 3 // *High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC)*, 2011 International Conference for. – IEEE, 2011. – С. 112
9. Guskova, M. S., L. Yu Barash, and L. N. Shchur. "RNGAVXLIB: Program library for random number generation, AVX realization." *Computer Physics Communications* 200 (2016): 402405.
10. Manssen M., Weigel M., Hartmann A. K. Random number generators for massively parallel simulations on GPU // *The European Physical Journal Special Topics*. – 2012. – Т. 210. – №. 1. – С. 5371.
11. Barash L. Y., Shchur L. N. PRAND: GPU accelerated parallel random number generation library: Using most reliable algorithms and applying parallelism of modern GPUs and CPUs // *Computer Physics Communications*. – 2014. – Т. 185. – №. 4. – С. 13431353.
12. Intel® 64 and IA-32 architectures software developer's manual combined volumes: 1, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A, 3B, 3C, 3D, and 4 [Электронный ресурс]/Intel. Режим доступа: <http://www.intel.com/content/www/us/en/processors/architecture-s-software-developer-manuals.html>, свободный. Дата обращения (09.01.2018).

## РАСЧЕТ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МНОГООБРАЗИЙ ДЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ОРБИТ В ОКРЕСТНОСТИ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ L2 СИСТЕМЫ СОЛНЦЕ-ЗЕМЛЯ

*М.А. Бубнова, Д.Г. Загороднев*  
*НИУ ВШЭ,*  
*департамент прикладной математики*  
*МИЭМ НИУ ВШЭ*

### Аннотация

В работе проводится расчет и визуализация устойчивого и неустойчивого многообразий траекторий, соответствующих периодическим орбитам в окрестности коллинеарной точки либрации L2.

### Введение

Целью работы является построение изображения инвариантных многообразий в окрестности коллинеарной точки либрации. Задачами данного исследования являются: определение начальных условий, соответствующих периодическим орбитам; расчет равномерно распределенных вдоль одного оборота орбиты (гало/Ляпунова) векторов состояния космического аппарата; произведение расчета траекторий, принадлежащих указанным многообразиям. В первом разделе обоснована актуальность проведенного исследования. Во втором разделе приведено описание алгоритма расчета траекторий многообразий. В третьем разделе размещены результаты визуализации устойчивых и неустойчивых многообразий, берущих свое начало на гало-орбите и вертикальной орбите Ляпунова.

### Актуальность использования инвариантных многообразий

В окрестности точек либрации возможно существование особых орбит, на которых затраты топлива космического корабля на корректирующие маневры минимальны, при этом время нахождения корабля на орбите длительно [1]. Неустойчивость точки L2 используется при проектировании космических миссий. Основным свойством орбит в окрестности коллинеарной точки либрации является наличие многообразий. М.Г. Ширококов в своей работе описал концепцию, обосновывающую рациональность использования точек либрации в качестве транспортных узлов при освоении космоса [2]. В статье [3] рассматривается применение многообразий для осуществления перелета к Марсу.

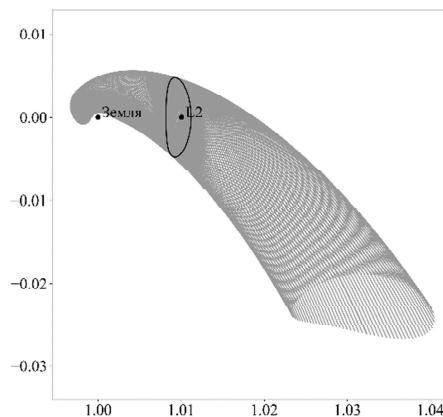


Рис.1. Устойчивое многообразие для гало-орбиты в окрестности точки L2 системы Солнце-Земля

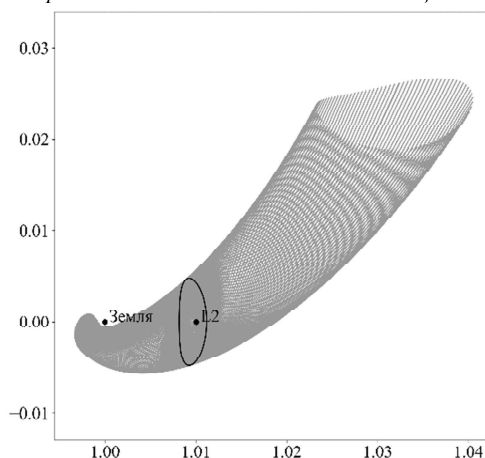


Рис.2. Неустойчивое многообразие для гало-орбиты в окрестности точки L2 системы Солнце-Земля

**Межвузовская научно-техническая конференция студентов,  
аспирантов и молодых специалистов им.Е.В.Арменского.  
Материалы конференции.**

ISBN 978-5-94768-079-9



9 785947 680799

Подписано в печать 10.02.2018г. Формат 60x84/8. Бумага офсетная №2.

Печать ризография. Усл.печ.л. 38. Уч.-изд.л. 34,2. Тираж 100 экз.

Европейский центр по качеству