



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Разработка методов эффективного взаимодействия беспроводных сенсорных сетей

Дворников Андрей Алексеевич

Научный руководитель:
к.т.н., доцент Восков Л.С.

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникации

Введение

Обзор и анализ литературы:

- 1. Телекоммуникационный резерв** в беспроводных сенсорных сетях **увеличивается** на фоне развития сетевых стандартов.
- 2. При помощи наложенных сетей возможно** обеспечить прозрачную передачу данных с сохранением адресации.
- 3. В беспроводных сенсорных сетях возможно обеспечение качества обслуживания** для предотвращения функционального отказа беспроводной сенсорной сети на фоне передачи данных внешней вычислительной сети.
- 4. Для восстановления соединений одной беспроводной сенсорной сети за счёт резервов другой беспроводной сенсорной сети с сохранением качества обслуживания необходимы новые методы.**

Проблема

Существующие недостатки:

- 1. Отсутствуют методы эффективного взаимодействия беспроводных сенсорных сетей, направленные на восстановление соединений одной беспроводной сенсорной сети за счёт резервов другой беспроводной сенсорной сети.**
- 2. Не исследовано** влияние передачи данных внешних вычислительных сетей на беспроводные сенсорные сети.

Цель исследования

- Разработка методов эффективного взаимодействия беспроводных сенсорных сетей на примере перераспределения резервов одной беспроводной сенсорной сети для восстановление соединений другой беспроводной сенсорной сети:
 - для передачи данных используются резервы беспроводной сенсорной сети;
 - для предотвращения функционального отказа беспроводной сенсорной сети используется качество обслуживания;
 - прозрачность передачи данных и сохранение адресации достигается за счёт использования наложенной сети.

Научная новизна

- **Разработан новый метод преобразования норм качества обслуживания соединения наложенной сети в нормы качества обслуживания соединения беспроводной сенсорной сети,** позволяющий избежать функционального отказа беспроводной сенсорной сети на фоне работы наложенной сети.
- **Разработана новая графовая модель беспроводной сенсорной сети,** учитывающая специфические метрики QoS беспроводных сенсорных сетей.
- **Разработан новый метод поиска пути в графовой модели беспроводной сенсорной сети для соединения наложенной сети с учётом качества обслуживания,** позволяющий использовать существующие алгоритмы поиска кратчайшего пути за счёт применения параметрического веса ребра.
- **Получены результаты исследования** предложенных методов на имитационных моделях и экспериментальном оборудовании, позволяющие сделать вывод об их эффективности.

Метод преобразования норм

Этап 1. Структурные преобразования.

$z_r = f_{sc}(x \in K_o)$: $z_r \in K_w$, где:

x – набор норм QoS наложенной сети;

z_r – набор норм QoS беспроводной сенсорной сети без понижения требований.

Этап 2. Понижение требований.

$\begin{cases} G_m = y(t): \mathbb{Z}^+ \rightarrow F_w \\ z = f_d(z_r \in K_w, z_l \in K_w, G_m, s \in V_m, g \in V_m): z \in K_w \cup \{\emptyset\}, \end{cases}$ где:

G_m – графовая модель беспроводной сенсорной сети с наборами параметров на узлах и дугах в момент времени t выполнения функции;

F_w – множество всех возможных состояний беспроводной сенсорной сети;

z_r – набор норм QoS беспроводной сенсорной сети до понижения требований;

z_l – набор норм QoS наложенной сети;

s – узел-инициатор соединения;

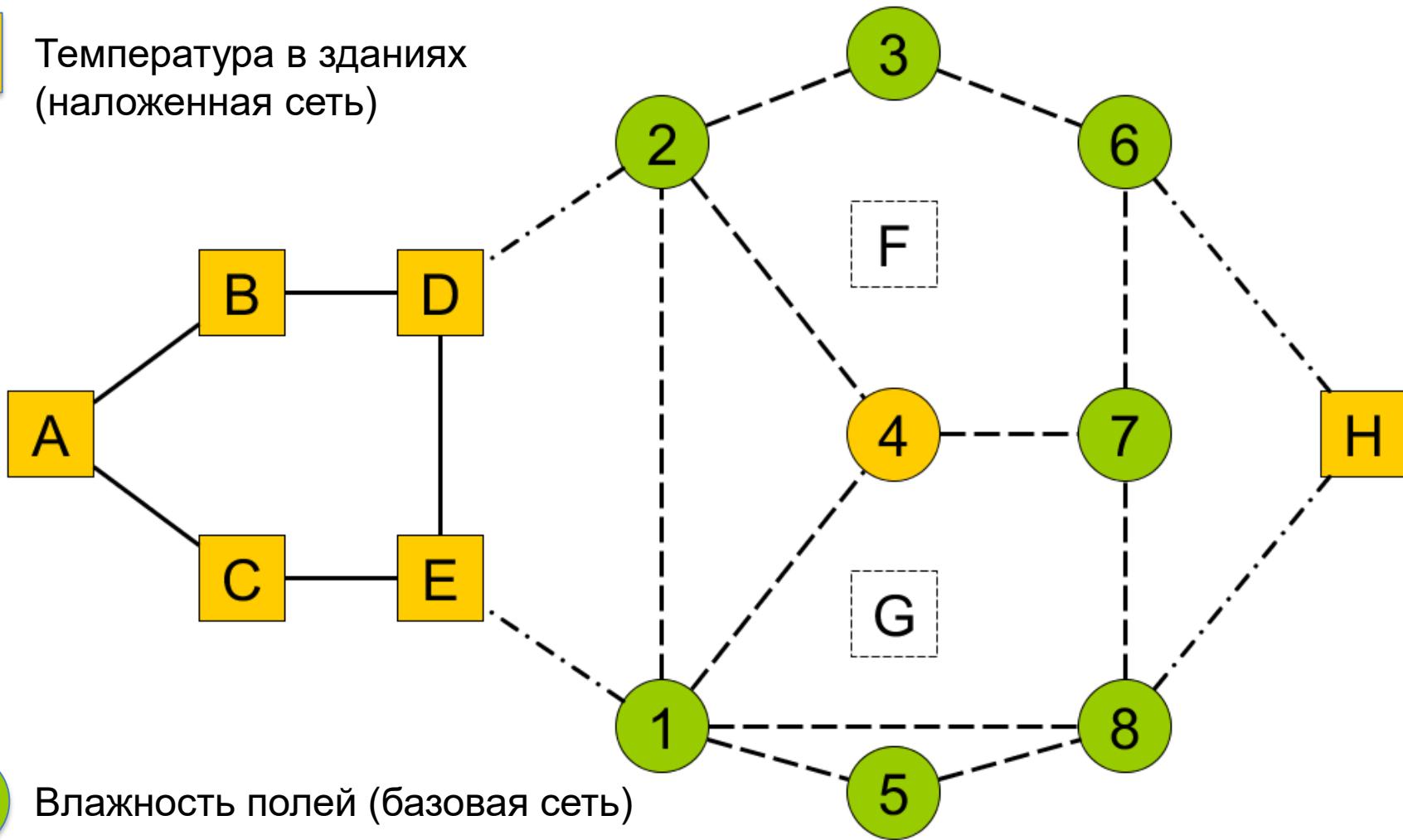
g – узел назначения соединения.

Этап 3. Согласование требований.

Цель исследования



Температура в зданиях
(наложенная сеть)



Влажность полей (базовая сеть)

Метод преобразования норм

Этап 1. Структурные преобразования.

$$f_{sc}(x) = \begin{cases} \tau' = \text{round}\left(\frac{s_{\max} * 8}{d - d_s}\right) \\ \epsilon' = \text{round}\left(\frac{\epsilon - \epsilon_{min1}}{\epsilon_{max1} - \epsilon_{min1}} * (\epsilon_{max2} - \epsilon_{min2}) + \epsilon_{min2}\right) \\ \delta' = \delta \\ \psi' = \psi \end{cases}$$

→

s_{\max}	763
d_s	0,5

ϵ_{min1}	100
ϵ_{max1}	2000
ϵ_{min2}	500
ϵ_{max2}	1500

$$Q_o = \{d = 1 \text{ с}; \{\epsilon = 1250 \text{ мВт} * \text{ч}; \delta = 0,7; \theta = 0,6\}\}$$

→

$$Q_w = \{\tau' = 12 \text{ кбит/с}; \{\epsilon' = 1105 \text{ мВт} * \text{ч}; \delta' = 0,7; \theta' = 0,6\}\}$$

	p_o
p_n	0
p_1	0,35
p_2	0,52
p_3	0,73

Графовая модель

$G_w = (V_w, E_w)$ – ненаправленный граф.

$V_w = \{v_1, v_2, \dots, v_m\} : m \in \mathbb{N}, m > 0$ – множество вершин графа.

$E_w = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n\} : n \in \mathbb{N}, n > 0$ – множество рёбер графа.

$v = (b, e)$

$b \in \mathbb{Z}^+$ - свободный телекоммуникационный ресурс узла;

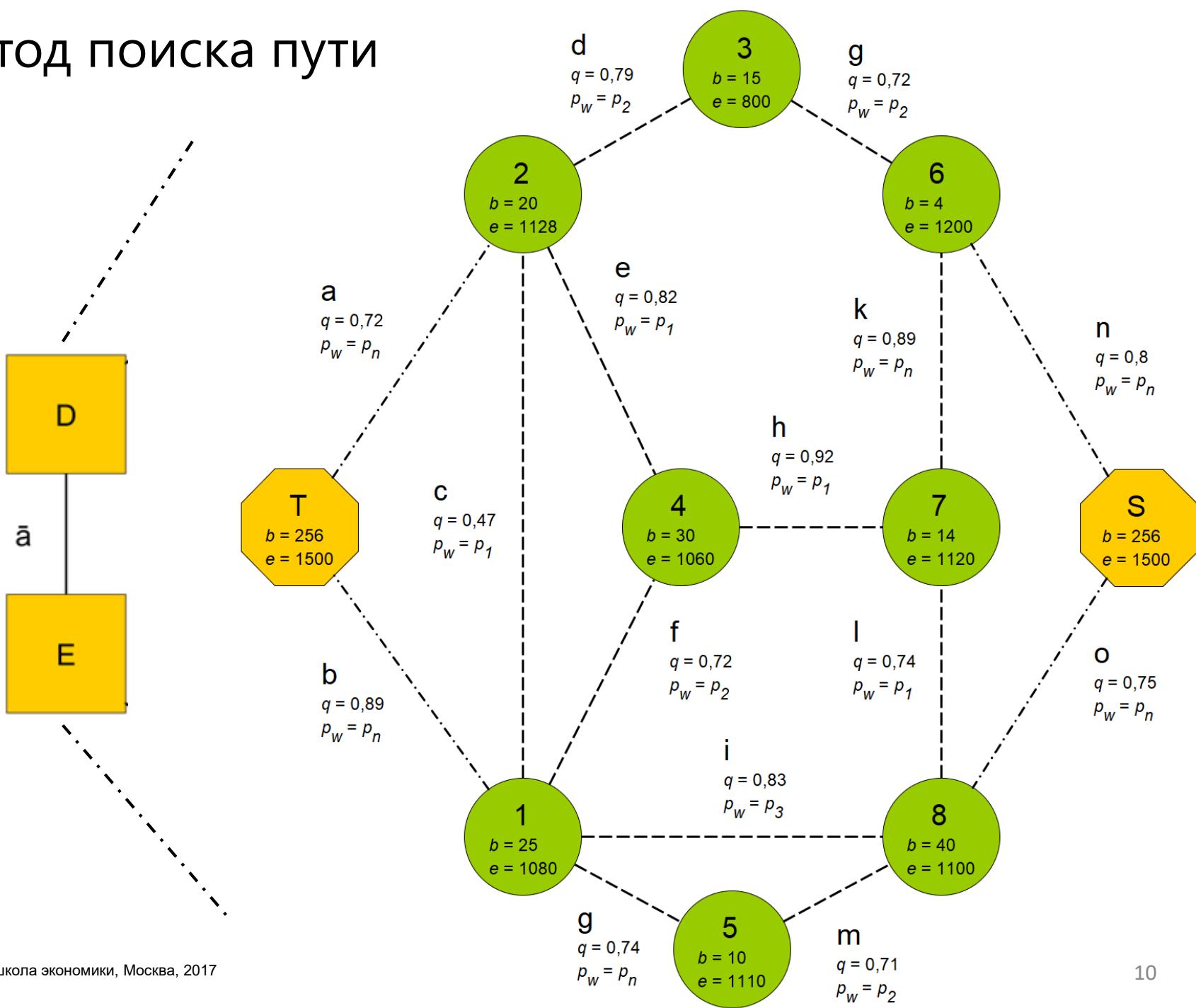
$e \in \mathbb{Z}^+$ - свободный энергетический ресурс узла;

$\varepsilon = (q, p_w)$

$q \in \mathbb{R}, q \in \{0, \dots, 1\}$ - относительный уровень сигнала между узлами;

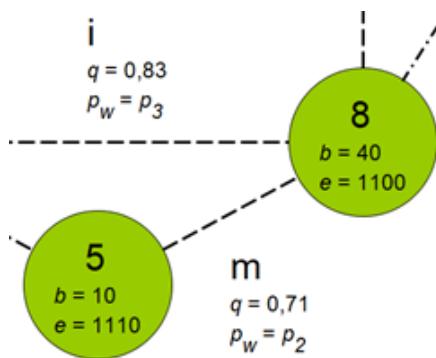
$p_w \subseteq P_w$ - характеристика сетевой службы беспроводной сенсорной сети;

Метод поиска пути



Параметрический вес

$$w(u, v) = \text{round}(C_n - k_b \cdot \min(b_u, b_v) - k_e \cdot \min(e_u, e_v) - k_q \cdot q_{(u, v)} + k_\sigma \cdot \zeta(p_{w_{uv}}, p_n)) \rightarrow 505$$



	p_o
p_n	0
p_1	0,35
p_2	0,52
p_3	0,73

Технические характеристики

b_{max}	256
e_{max}	1500
q_{max}	1
$\min(\Sigma)$	0

Моделирование или расчёты

$$C_n = k_b \cdot b_{max} + k_e \cdot e_{max} + k_q \cdot q_{max} - k_\sigma \cdot \min(\zeta(p_{w_{uv}}, p_n))$$

738,32

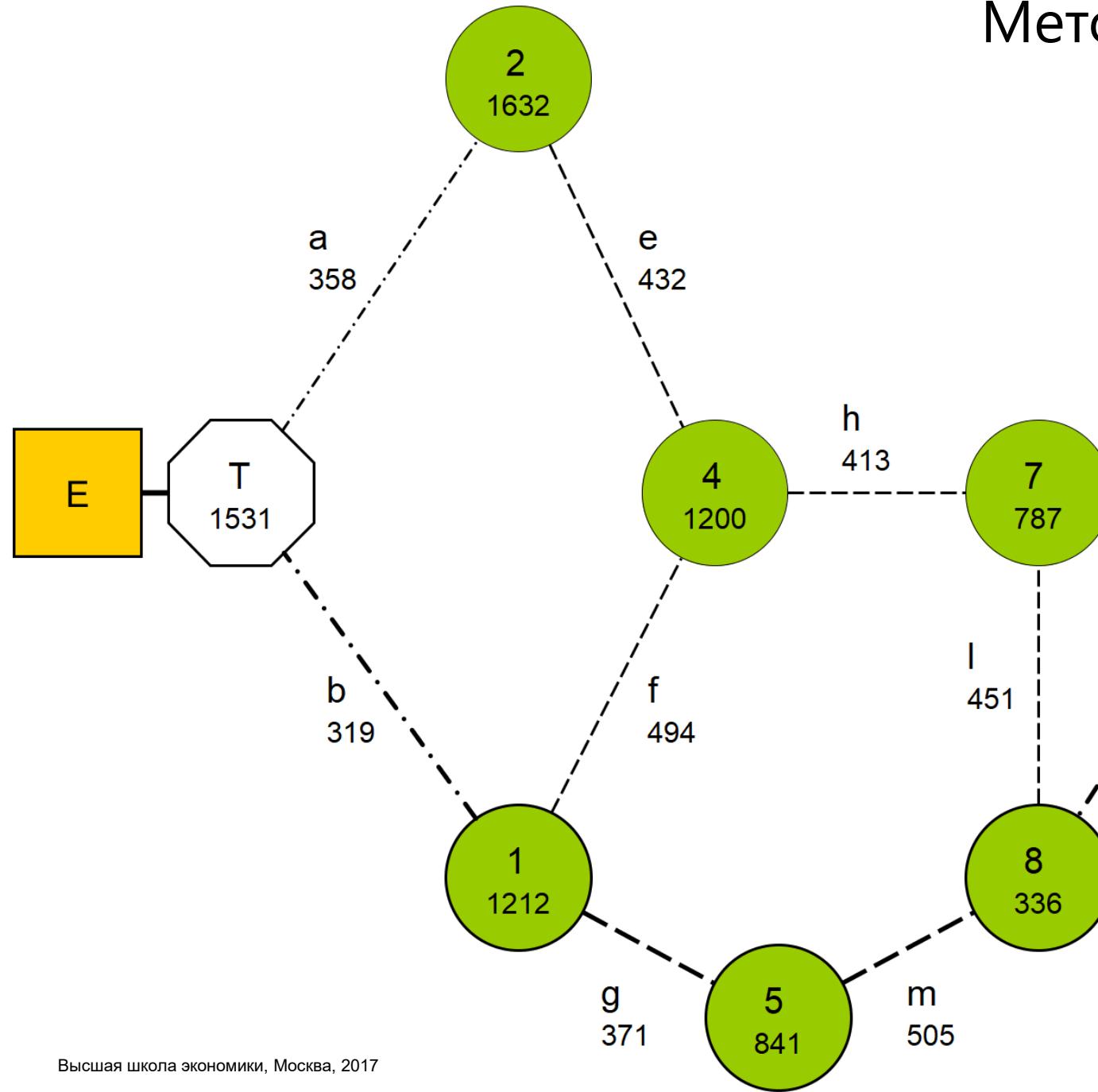
Экспертный анализ

k_b	0,97
k_e	0,16
k_q	250
k_σ	250

Метод поиска пути

Экспертный анализ

z_I	
b_{lim}	5
e_{lim}	1000
q_{lim}	0.5
σ_{lim}	0.6



Метод преобразования норм

Этап 2. Понижение требований.

$$Q_w = \{\tau' = 10 \text{ кбит/с}; \{\varepsilon' = 1080 \text{ мВт} * \text{ч}; \delta' = 0,7; \theta' = 0,6\}\}$$

Этап 3. Согласование требований.

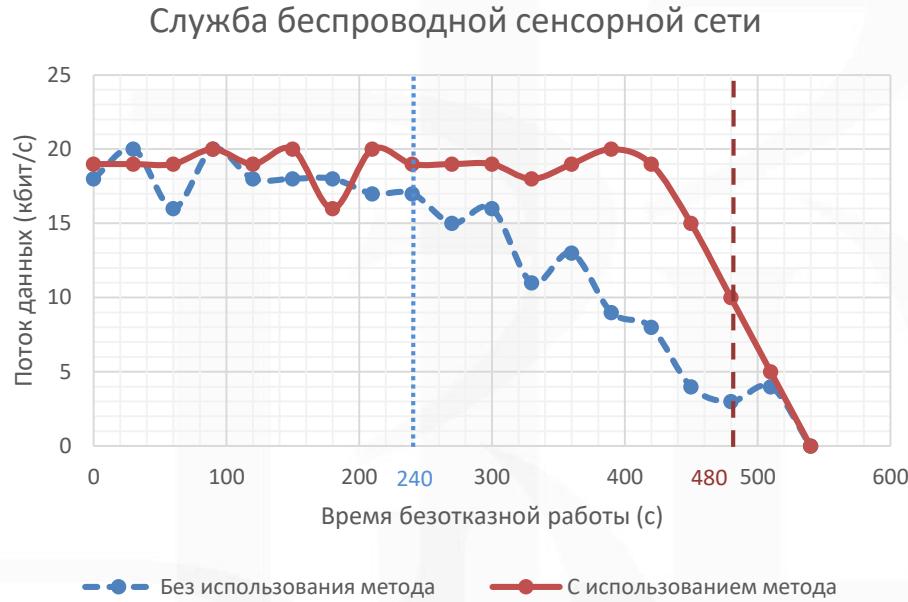
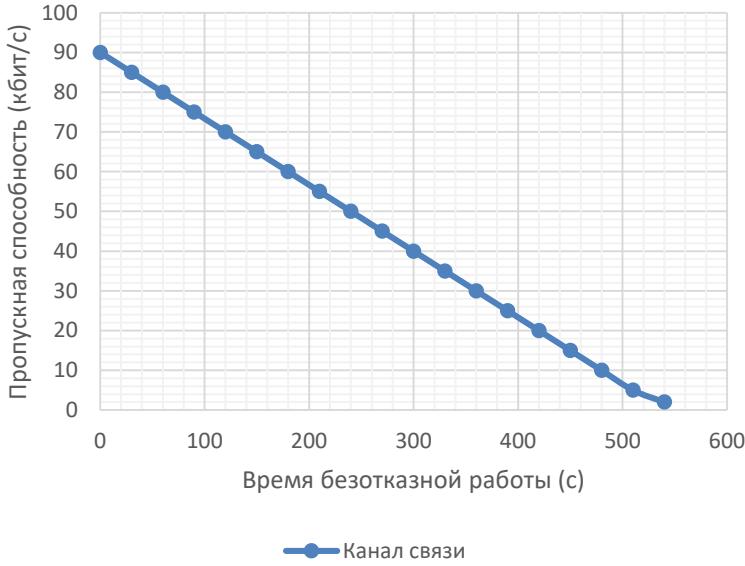
$$f_{sc}^{-1}(x) = \begin{cases} d = \frac{s_{max} * 8}{\tau'} + d_s \\ \epsilon = round\left(\frac{\epsilon' - \epsilon_{min2}}{\epsilon_{max2} - \epsilon_{min2}} * (\epsilon_{max1} - \epsilon_{min1}) + \epsilon_{min1}\right) \\ \delta = \delta' \\ \psi = \psi' \end{cases}$$

$$Q_o = \{d = 1 \text{ с}; \{\varepsilon = 1250 \text{ мВт} * \text{ч}; \delta = 0,7; \theta = 0,6\}\}$$



$$Q_o = \{d = 1,1 \text{ с}; \{\varepsilon = 1202 \text{ мВт} * \text{ч}; \delta = 0,7; \theta = 0,6\}\}$$

Реализация метода преобразования норм



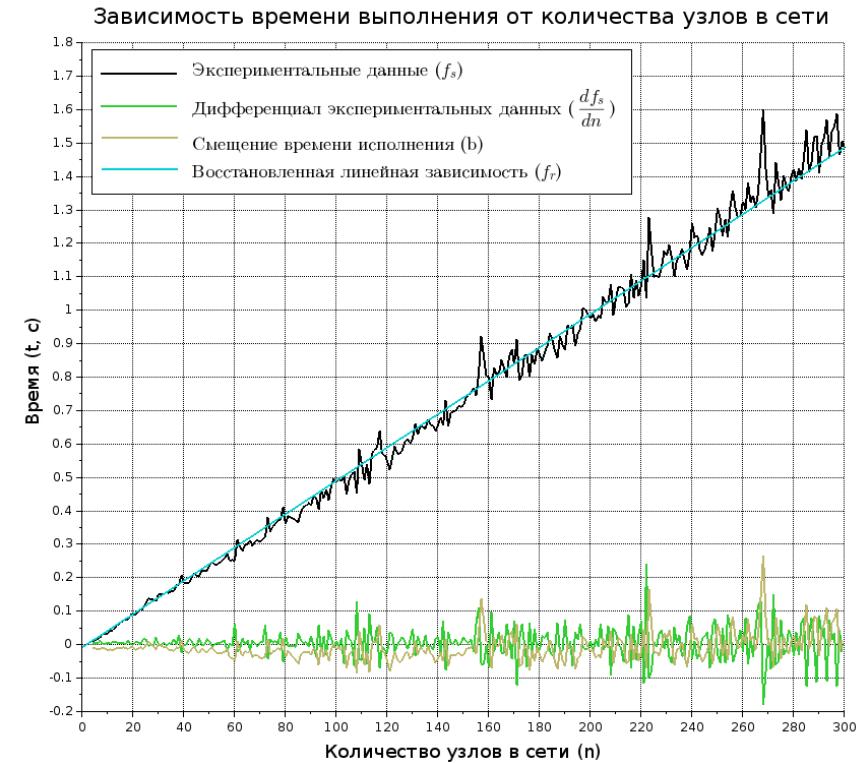
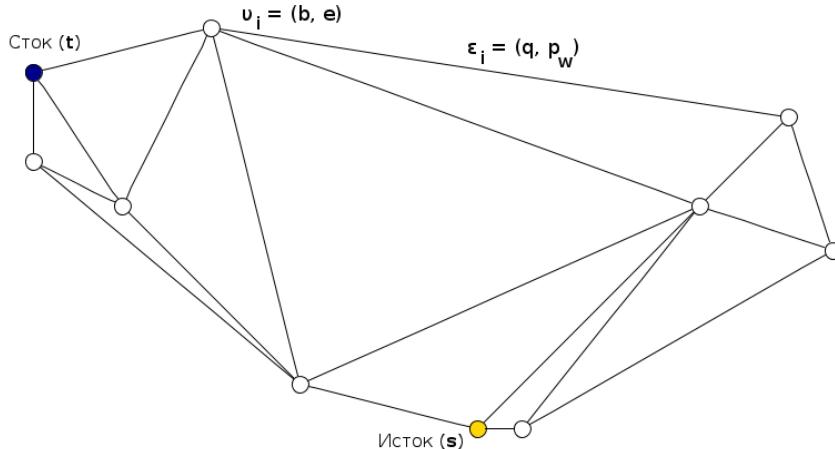
- Raspberry Pi 3
- Raspberry Pi 802.15.4 Radio

Применение метода исключает функциональный отказ беспроводной сенсорной сети на фоне работы наложенной сети.

Реализация метода поиска пути

Метод реализован в имитационной модели, построенной в среде SciLab с применением графовой библиотеки metanet.

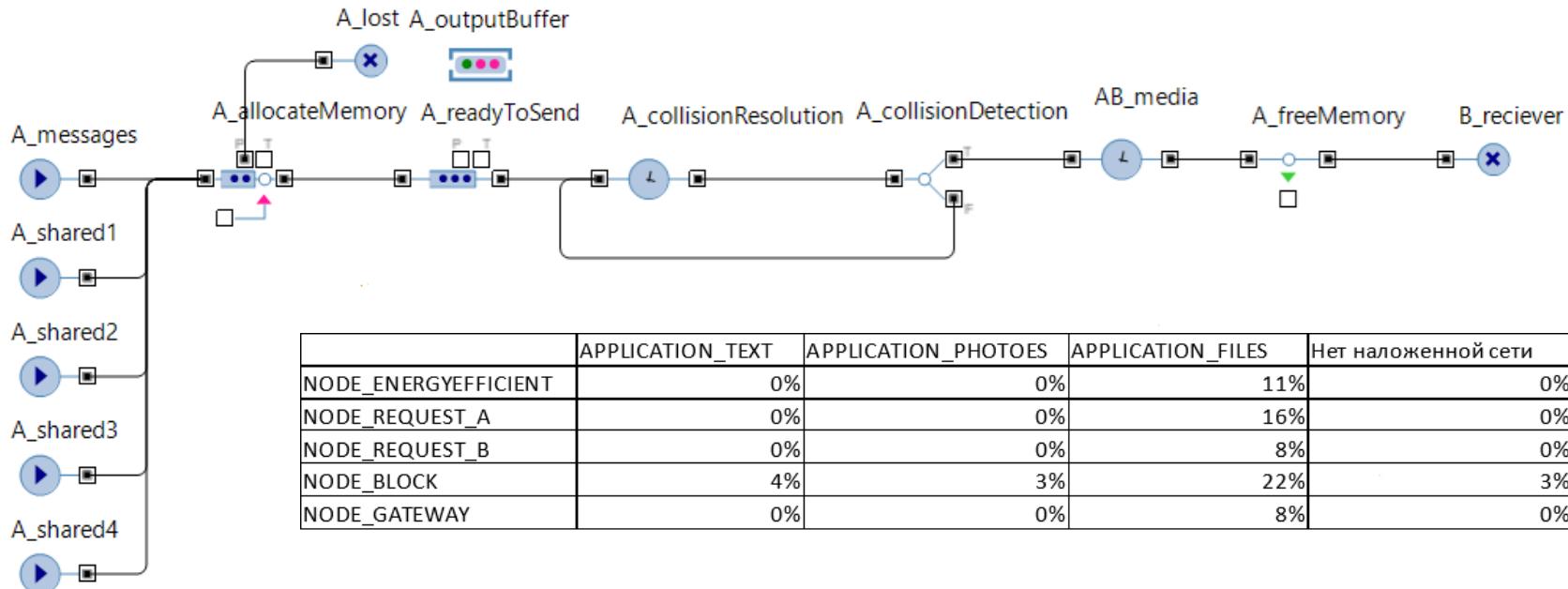
Подтверждён линейных характер алгоритма в составе метода поиска пути.



* Результаты моделирования для Intel Core i7 2600S @ 2.80GHz

Исследование совместимости служб

Построена имитационная модель канала связи для изучения совместимости служб наложенной сети и беспроводной сенсорной сети.



Экспериментально подтверждено наличие потерь при наложении потоков данных соединения наложенной сети и соединения беспроводной сенсорной сети некоторых служб.

Результаты и выводы

1. **Предложен метод** преобразования норм качества обслуживания соединения наложенной сети в нормы качества обслуживания соединения беспроводной сенсорной сети, позволяющий избежать функционального отказа беспроводной сенсорной сети на фоне работы наложенной сети
2. **Построена графовая модель** беспроводной сенсорной сети, учитывающая специфические метрики QoS беспроводных сенсорных сетей.
3. **Предложен метод** поиска пути для соединения наложенной сети в графовой модели беспроводной сенсорной сети, позволяющий использовать существующие алгоритмы поиска кратчайшего пути за счёт применения параметрического веса ребра.
4. Метод преобразования норм **реализован** на программно-аппаратном комплексе IEEE 802.15.4, что позволило показать его положительное влияние на время безотказной работы.
5. Метода поиска пути **реализован** на имитационной модели, подтвердившей линейную временную сложность его алгоритма.



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Спасибо
за внимание!

101000, Россия, Москва, Мясницкая ул., д. 20

Тел.: (495) 621-7983, факс: (495) 628-7931

www.hse.ru

Метод преобразования норм

$$Q_{o_i} = (d_i, \{\epsilon_i, \delta_i, \psi_i\}), i = \overline{1..n}$$

d - минимальная задержка пакетов в соединении, необходимая приложениям класса (с).

ε - минимальный энергетический ресурс на узлах, через которые проходит соединение (мВт*ч).

$$Q_{w_i} = (\tau_j', \{\epsilon_j', \delta_j', \psi_j'\}), j = \overline{1..m}$$

τ' - минимальная пропускная способность соединения, необходимая приложениям класса (кбит/с).

ε' - минимальный энергетический ресурс на узлах, через которые проходит соединение (мВт*ч).

	Наложенная сеть	Базовая сеть
<i>d</i>	[1 ... 4]	
<i>τ</i>		[1 ... 128]
<i>ε</i>	[100 ... 2000]	[500 ... 1500]

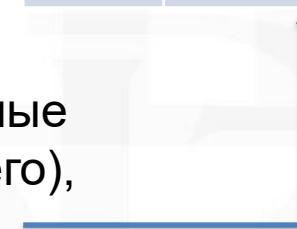
Метод преобразования норм

$$Q_{o_i} = (d_i, \{\epsilon_i, \delta_i, \psi_i\}), i = \overline{1..n} \quad Q_{w_i} = (\tau_j', \{\epsilon_j', \delta_j', \psi_j'\}), j = \overline{1..m}$$

δ и δ' - минимальный относительный уровень сигнала между узлами в соединении, где значение 1 показывает наилучший уровень сигнала (сигнал проходит канал связи без изменений), а 0 — наихудший уровень сигнала (сигнал не достигает узла назначения).

ψ и ψ' - максимальная доля потерянных пакетов, вызванная наложением соединения беспроводной сенсорной сети сбора данных о температуре (наложенная сеть) и соединения беспроводной сенсорной сети сбора данных о влажности полей (базовая сеть), где значение 1 показывает максимальные потери (пакеты в соединении не доходят до следующего), а 0 — отсутствие потерь (все пакеты в соединении доходят до следующего узла).

	p_{o1}	...	p_{om}
p_{w1}			
...			
p_{wn}			



Метод поиска пути

