

# ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОДНОРАНГОВОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-3-20-26

**Татарникова Татьяна Михайловна,**  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения,  
г. Санкт-Петербург, Россия, [tm-tatarn@yandex.ru](mailto:tm-tatarn@yandex.ru)

**Миклуш Виктория Александровна,**  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения,  
г. Санкт-Петербург, Россия, [miklush-v@yandex.ru](mailto:miklush-v@yandex.ru)

**Manuscript received** 10 February 2023;  
**Accepted** 12 March 2023

**Ключевые слова:** одноранговая беспроводная сенсорная сеть, Mesh сеть, маршрут от источника к адресату, вероятностно-временные характеристики доставки данных, установление соединения

В статье приводится описание разработанной имитационной модели Mesh сети. Имитационная модель является средством для оценки вероятностно-временных характеристик доставки данных, как основного показателя качества предоставляемого Mesh сетью сервиса. Mesh сеть является сложным объектом моделирования: подвижность узлов, отсутствия фиксированной инфраструктуры и централизованного управления, ограничения беспроводной среды передачи и ресурсов узлов – это основные особенности, которые отличают Mesh сети от проводных сетей связи. Перечисленные особенности влияют на выбор маршрута доставки данных и показатели качества предоставляемого Mesh сетью сервиса. В имитационной модели учтены особенности Mesh сети, в частности, рассмотрены особенности моделирования состояний и загрузки узлов сети, длины очереди на обслуживание, изменение уровня остаточной энергии узла. С помощью имитационного эксперимента на модели Mesh сети с заданными параметрами и внешними воздействиями можно не только оценить вероятностно-временные характеристики доставки данных, но и с учетом допустимых значений на показатели качества предоставляемого сервиса рекомендовать структуру Mesh сети.

## Информация об авторах:

**Татарникова Татьяна Михайловна,** Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра прикладной информатики, доктор технических наук, профессор, г. Санкт-Петербург, Россия

**Миклуш Виктория Александровна,** Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра информационных систем и технологий, старший преподаватель, г. Санкт-Петербург, Россия

## Для цитирования:

Татарникова Т.М., Миклуш В.А. Имитационная модель одноранговой беспроводной сенсорной сети // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №3. С. 20-26.

## For citation:

Tatarnikova T.M., Miklush V.A. (2023) Simulation model of a peer-to-end wireless sensor network. *T-Comm*, vol. 17, no.3, pp. 20-26. (in Russian)

## Введение

В силу особенных свойств беспроводных сенсорных сетей (БСС): подвижности узлов, отсутствия фиксированной инфраструктуры и централизованного управления, ограничения беспроводной среды передачи и ресурсов узлов, для БСС остается актуальной задача гарантированной доставки данных с соблюдением требований на качество предоставляемого сервиса [1-3]. В статье обсуждается БСС с ячеистой топологией – Mesh сеть.

В Mesh сети доставка данных выполняется по установленному соединению от источника (И-узел) к адресату (А-узел) через активные транзитные узлы (Т-узел). Соответственно каждый Т-узел, должен находиться в зоне чувствительности своего ближайшего соседа – тоже Т-узла [4,5]. И таких соединений должно быть несколько из-за возможной потери связности между узлами или смены режима функционирования сенсорных узлов [6,7].

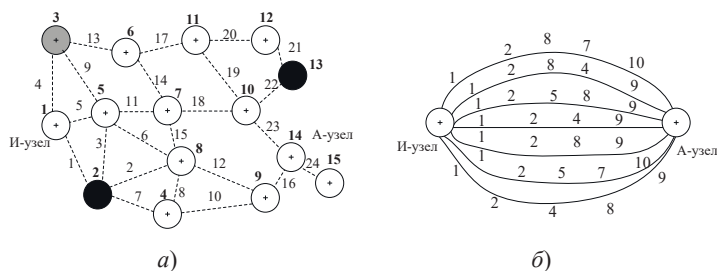
Таким образом, необходимы модели оценки вероятностно-временных характеристик (ВВХ) доставки данных, которые соответствуют требуемому качеству сервиса. Как правило, в роли такого инструмента применяется имитационная модель, в которой учитываются особенности сложного объекта моделирования, каким является Mesh сеть.

## Описание процесса выбора маршрута в Mesh сети

Известно, что любая стратегия маршрутизации основывается на построении таблиц маршрутизации, сохраняемых в сетевых узлах, позволяющих в зависимости от характеристик узлов, выстраивать путь доставки данных А-узлу. Таким образом создается множество альтернативных путей для каждой пары «И-узел-А-узел» [8,9].

Предлагается при формировании таблицы маршрутизации на каждом Т-узле, записывать не только адрес узла и число Т-узлов до адресата, но и уровень заряда аккумулятора, производительность узла, наличие очереди, состояние узла и его загрузка. Эти показатели будут учитываться при принятии решения о выборе оптимального маршрута доставки данных.

Установление сквозного соединения от И-узла к А-узлу позволяет обеспечить гарантированную доставку данных. Установление соединения начинается с отправки пакета ROUTE REQUEST, при получении которого на каждом узле формируется множество альтернативных маршрутов доставки данных (рис. 1) [10].



**Рис. 1.** Формирование маршрутов доставки данных:  
а – БСС; б – множество альтернативных маршрутов между И-узлом и А-узлом

Если любой Т-узел на маршруте находится в состоянии сна, переместился или занят обработкой собственных данных или произошла коллизия, то вызов через такой Т-узел не проходит и должен быть передан по альтернативному маршруту – выполняется рестарт к предшествующему узлу, либо к И-узлу для повторной отправки. Эта особенность должна быть отражена в модели.

Таким образом, конечный результат установления сквозного соединения имеет два исхода:

1) вызов дойдет до А-узла, будут зарезервированы ресурсы Т-узлов. По этому маршруту передается пакет данных. Время доставки оценивается как

2) вызов не дойдет до А-узла (во всем множестве  $R$  альтернативных маршрутов наличествуют полностью занятые нагрузкой транзиты).

Время доставки данных  $T$  в Mesh сети будем оценивать по (1) и (2):

$$T = t_d + t_m + \sum_{i=1}^n (t_i^{\text{обп}} + t_i^{\text{пер}}), \quad (1)$$

где  $t_d$  – время, необходимое на подготовку данных;

$t_m$  – время построения маршрута;

$n$  – число хопов от И-узла к А-узлу;

$t_i^{\text{обп}}$  – время обработки пакета на  $i$ -м узле;

$t_i^{\text{пер}}$  – время передачи пакета от  $i$ -го узла.

Время построения маршрута  $t_m$ :

$$t_m = \sum_{i=1}^n t_i^{\text{пер}} + n_{att} t_{out}, \quad (2)$$

где  $n_{att}$  – число попыток установления доступа к соседним узлам;  $t_{out}$  – время истечения тайм-аута.

На построенном множестве маршрутов  $R$  методом Монте-Карло разыгрываются значения характеристик узлов маршрута. Эти характеристики разыгрываются один раз перед началом эксперимента. По факту установления соединения между И-узлом и А-узлом фиксируются значения  $n_{att}$  и  $t_{out}$  и основанное на них значение времени построения маршрута  $t_m$  из (2). Далее, поскольку все остальные составляющие выражения (1) – времени доставки данных  $T$  являются детерминированными, то их оценка сводится к простым вычислениям:

$$t_i^{\text{обп}} = \sum_{i=1}^n \frac{L}{S_i}, \quad (3)$$

$$t_i^{\text{пер}} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{L}{\Lambda_i}, \quad (4)$$

где  $L$  – длина пакета, [бит];

$S_i$  – производительность  $i$ -го узла маршрута, [пакетов/с];

$n$  – число узлов в маршруте;

$\Lambda_i$  – пропускная способность  $i$ -го канала, [пакетов/с].

После очередной отправки данных по маршруту уровень остаточной энергии каждого узла маршрута корректируется согласно

$$E^- = E^+ - (E'L + E''Ld^2),$$

где  $E^+$  и  $E^-$  – уровень остаточной энергии узла до и после отправки данных соответственно.

$E'$  – энергия, необходимая для генерации одного бита, Дж/бит;  $E''$  – энергия необходимая для передачи одного бита Дж/бит/м<sup>2</sup>;  $d$  – расстояние до соседнего узла маршрута.

Для получения устойчивых результатов оценки  $T$  эксперимент повторяется несколько раз при заданной топологии.

### Описание имитационной модели построения маршрута и оценки BBX доставки данных

Состояние узла «активный» или «сон» разыгрывается как простое случайное событие, исходы всех остальных характеристик узлов как группа несовместных случайных событий.

Состояние множества маршрутов  $R$  после применения моделирования простого случайного события ко всем узлам БСС получаем некоторое число непроводящих Т-узлов. В результате векторы  $R_1, R_2, \dots, R_n$ , получают конкретную комбинацию из  $l$  единиц и  $(n-l)$  нулей. С учетом условий построения маршрута вычисляется значение  $\xi(n|l)_k = f[R_{ij}^k]$ , где

$\xi(n|l)_k$  – исход наличия или отсутствия маршрута при  $k$ -м испытании;  $\xi(n|l)_k \in (0,1)$ . Значение  $\xi(x|\eta)_k = 0$  означает,

что маршрут от И-узла до А-узла не построен: все маршруты множества  $R$  содержат нули, либо число попыток разрешения коллизий превысило порогового значения.

Коэффициент загрузки  $\rho$  для каждого узла разыгрываем как дискретную случайную величину  $z \in [0,1]$  – «метод испытания по жребию». Длину очереди также разыгрываем методом «испытание по жребию» из диапазона, заданного функцией принадлежности:  $[0; 10]$ .

Имитационная модель построения маршрута в Mesh сети – то программная модель, позволяющая:

во-первых, создать сеть с заданной топологией взаимодействия сетевых узлов,

во-вторых, проводить имитационный эксперимент на Mesh сети с целью определения BBX доставки данных.

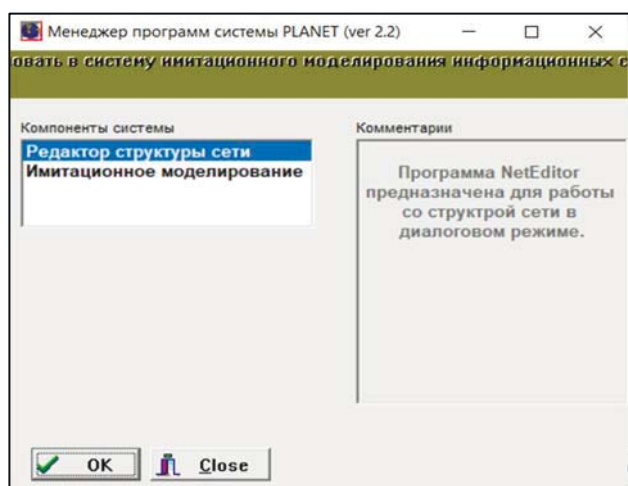


Рис. 2. Интерфейс программной реализации имитационной модели построения маршрутов доставки данных в Mesh сети

В редакторе структуры сети при нажатии на вкладку «Добавить» → «Добавить УК» в поле моделирования добавляется новый узел, при нажатии на вкладку «Добавить» → «Добавить КС» в поле моделирования добавляется канал связи (рис. 3).

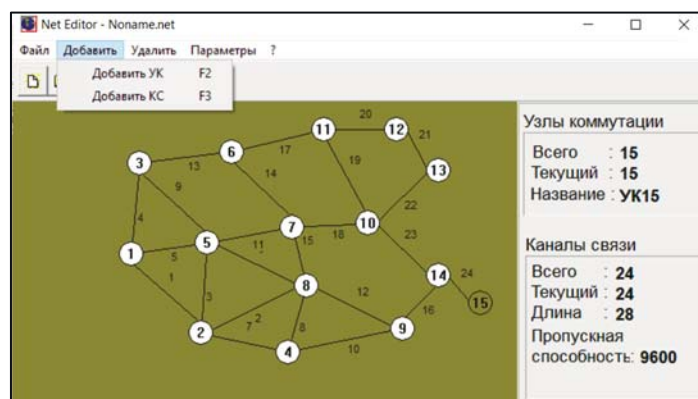


Рис. 3. Интерфейс редактора структуры сети (добавление узлов и каналов)

Во вкладке «Параметры» задаются параметры сетевого узла и канала соответственно. Для сетевого узла – это вероятность перехода в «спящий» режим (рис. 4), для канала связи – это радиус действия сигнала, скорость передачи данных и вероятность разрыва соединения (рис. 5). По умолчанию параметры имеют минимальное значение: вероятность перехода в «спящий» режим –  $10^{-3}$ ; радиус действия сигнала – 64 м; скорость передачи данных – 9,6 Кбит/с и вероятность разрыва соединения –  $5 \cdot 10^{-5}$ .

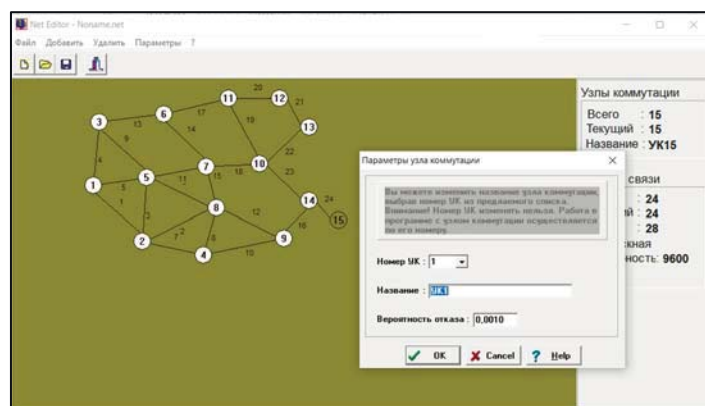


Рис. 4. Ввод параметров узла

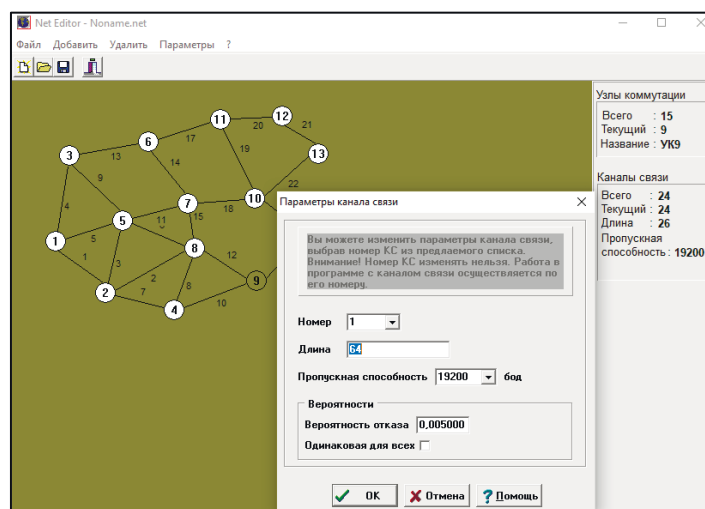


Рис. 5. Ввод параметров канала

Выполнение имитационного эксперимента на модели БСС заключается в том, что в каждой новой попытке установить соединение между выбранными узлами источника и адресата (на рис. 6 – красным цветом) определяется число сетевых узлов и каналов связи, через которые не может быть установлено соединение. Это либо «спящие» узлы (на рис. 7 – черные кружочки), либо разорванные связи (на рис. 8 – пунктирной линией).



Рис. 6. Окно визуализации эксперимента на модели

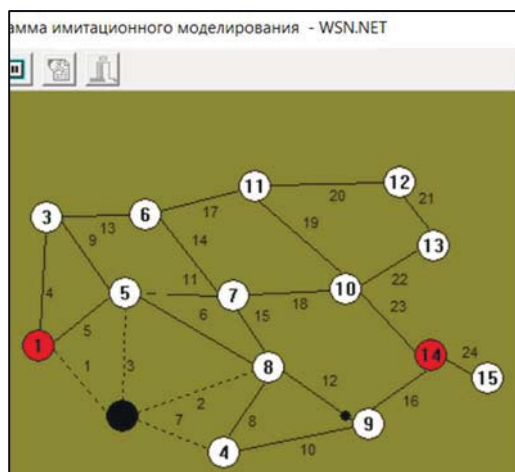


Рис. 7. Окно визуализации эксперимента на модели (спящие узлы – черные кружочки)



Рис. 8. Окно визуализации эксперимента на модели (непроводящие каналы – пунктирная линия)

При установленном сквозном соединении – маршрута доставки фиксируется время  $t_m$  и к нему добавляется время доставки самих данных, вычисляемое по (1) и (2).

По окончании эксперимента в окне «Статистика» публикуются результаты имитационного моделирования – BBX установления соединения в Mesh сети (рис. 9).

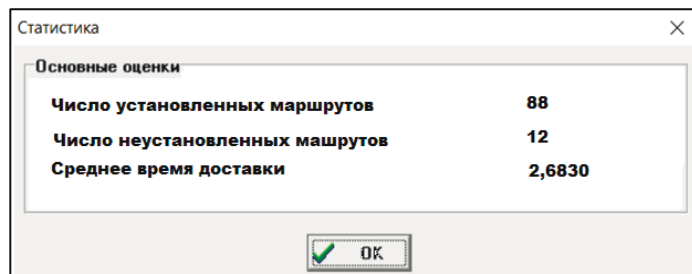


Рис. 9. Окно визуализации результатов эксперимента

На рисунке 10 приведено окно смены приоритета отправки.

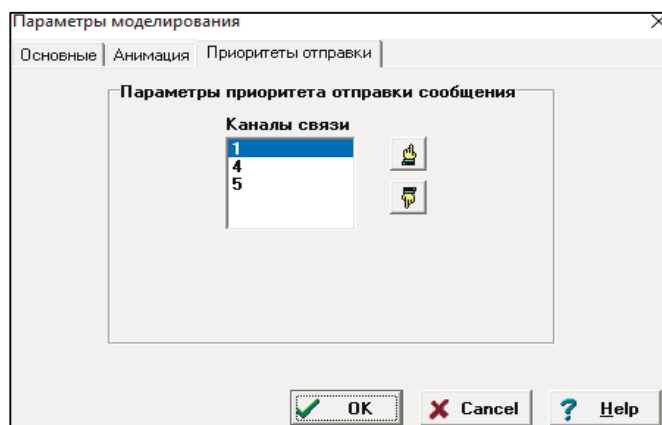


Рис. 10. Окно для смены приоритета отправки

По умолчанию стоит приоритет, заданный исходящим каналом с наименьшим номером. Для узла 1 рассматриваемой в эксперименте БСС таких приоритетов будет: 1, 4 и 5. Для каждого приоритета эксперимент проводится отдельно и решение о выборе приоритета решается по результатам BBX.

#### Анализ результатов имитационного эксперимента по оценке BBX доставки данных

Заданы следующие параметры, характеризующие УК и КС:

- Вероятность перехода узла в спящий режим – 0,01;
- Пропускная способность канала – 9,6 Кбит/с
- Вероятность перемещения узла –  $5 \cdot 10^{-3}$
- Число попыток разрешения коллизий – задается
- Время тайм-аута – 0,7 мс
- Количество экспериментов – 100

Построим зависимости  $T$  от:

- количества недоступных каналов  $n_a$  (узел вышел из сети или переместился), рис. 10;
- количества попыток установления соединения  $n_{att}$  с соединим узлом (рис. 11).

– серии эксперимента (каждая серия включает 100 экспериментов), рис. 12.

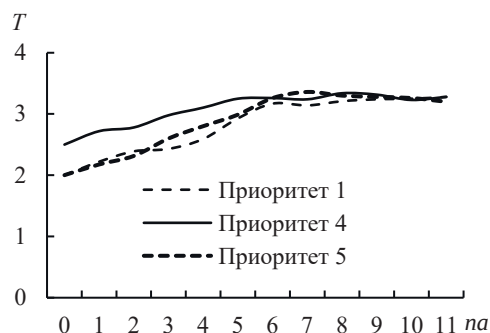


Рис. 10. Зависимость  $T$  от  $n_a$

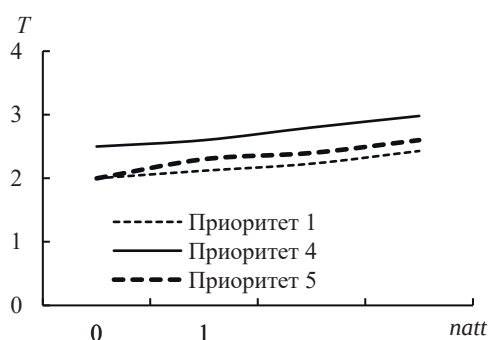
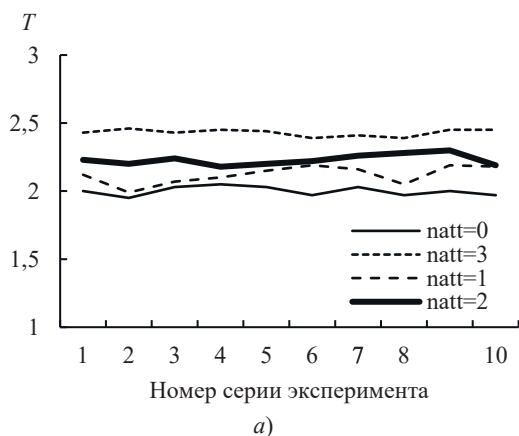
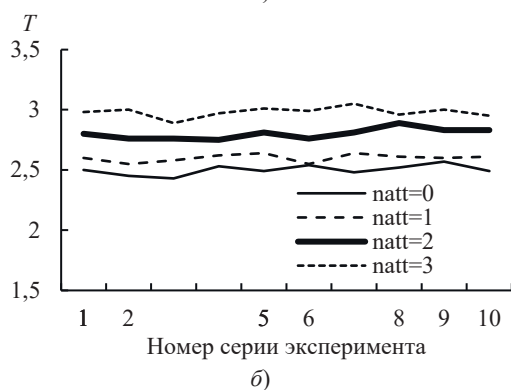


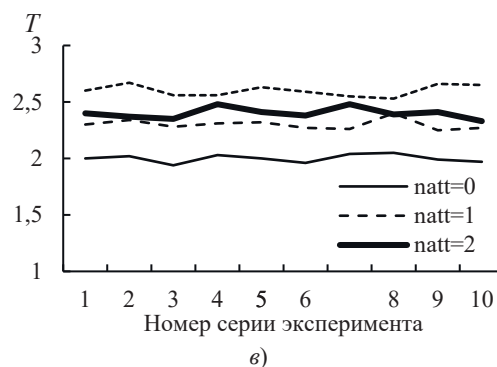
Рис. 11. Зависимость  $T$  от  $n_{att}$



а)



б)



в)

Рис. 12. Зависимость  $T$  от серии эксперимента:  
а – для приоритета 1; б – для приоритета 2; в – для приоритета 3

С увеличением количества недоступных каналов увеличивается время доставки данных из-за необходимости поиска альтернативных путей доставки. Так, время доставки по приоритету 1 при доступности всех каналов на пути от И-узла (узел 1) к А-узлу (узел 14) составит 2 мс, и при увеличении недоступных каналов по всей БСС до 10-ти увеличивается до 3,23 с. Аналогичные выводы можно сделать и о времени доставки по приоритетам 4 и 5.

При приближении числа недоступных каналов к 50% от общего числа каналов на всей Mesh сети время доставки данных сходится к одному значению – возможности по поиску альтернативных маршрутов сужаются. Так, при 11 недоступных каналах из 24-х каналов на заданной топологии Mesh сети сходятся в одну точку – 3,25 мс (рис. 10). Также видно, что для разных приоритетов отправки пакетов время доставки разное, что создает альтернативу выбора маршрута.

Количество попыток разрешения коллизий также влияет на время доставки данных (рис. 11) – время увеличивается, но более одной попытки разрешения коллизий, по сути, увеличивает вероятность доставки данных.

Графики на рисунке 12 показывают значения измеренного времени доставки данных в каждой серии эксперимента, дисперсия не превышает  $1,4 \cdot 10^{-3}$ .

Построим зависимости вероятности доставки данных  $P$  при  $n_{att} = 3$  от:

- количества недоступных каналов  $n_a$  (рис. 13).
- количества «спящих» узлов  $n_s$  (рис. 14).
- количества попыток установления соединения  $n_{att}$  с соединим узлом (рис. 15).

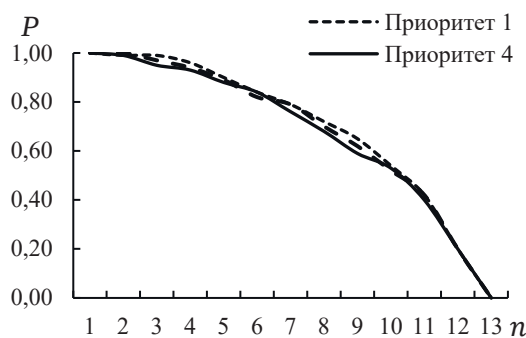
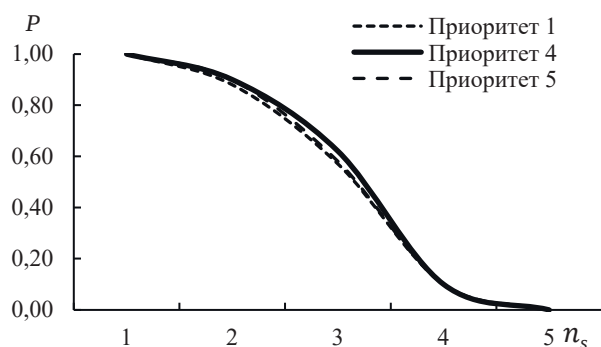
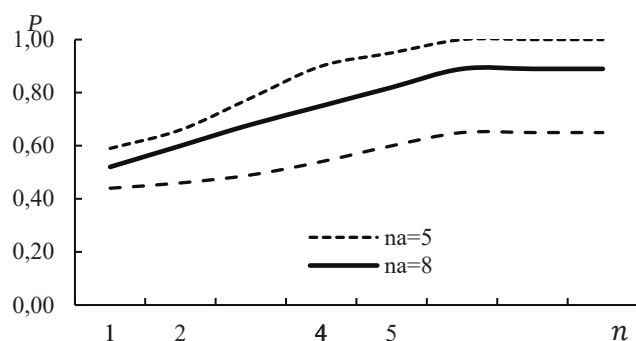


Рис. 13. Зависимость  $P$  от  $n_a$

Рис. 14. Зависимость  $P$  от  $n_s$ Рис. 15. Зависимость  $P$  от  $n_{att}$ 

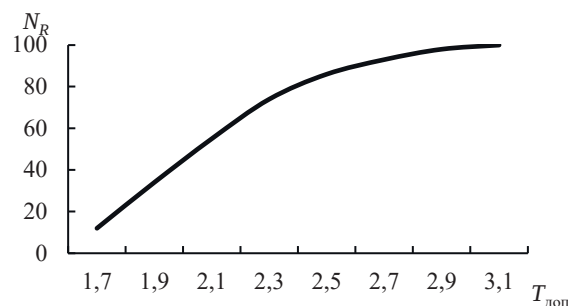
Вероятность доставки данных будет снижаться с увеличением количества недоступных каналов и «спящих» узлов. С увеличением количества недоступных каналов к 50% от общего количества каналов Mesh сети вероятность доставки данных быстро падает до нуля (рис. 13). При числе «спящих» узлов более 3-х сеть быстро теряет функцию доставки данных, так что вероятность построения маршрута сходится к нулю (рис. 14).

Вероятность доставки данных также увеличивается с ростом числа попыток установления соединения с соседним узлом, но до определенного значения – с большим числом недоступных каналов, например 10, увеличение числа попыток установления соединения с соседними узлами уже не влияет на вероятность доставки данных (рис. 15).

Этот эксперимент устанавливает предельное количество «спящих» узлов и недоступных каналов, меняющих структуру Mesh сети, но позволяющих сохранить ее работоспособность, а также количество попыток установления соединения с соседними узлами, приводящее к гарантированной доставке данных при заданной топологии Mesh сети.

В имитационной модели предусмотрен эксперимент при заданном требуемом времени доставки данных  $T_{доп}$ , что позволяет рекомендовать значение  $T_{доп}$  для конкретной Mesh сети. На рисунке 16 приведены зависимости количества построенных маршрутов  $N_R$  от  $T_{доп}$ , при этом зафиксируем  $n_{att}=3$ ,  $n_a=3$  для отправки данных по приоритету 1 (рис. 16).

По результатам на рисунке 16 можно сделать вывод о том, что с увеличением времени, отводимого на доставку пакета, соответственно увеличивается количество маршрутов доставки, это означает, что вероятность доставки будет приближаться к единице.

Рис. 16. Зависимость количества построенных маршрутов от  $T_{доп}$ 

Таким образом, при определенных исходных данных можно находить гарантированное время доставки.

На рисунке 17 приведена динамика потери узлов Mesh сети при истощении энергии узлов.

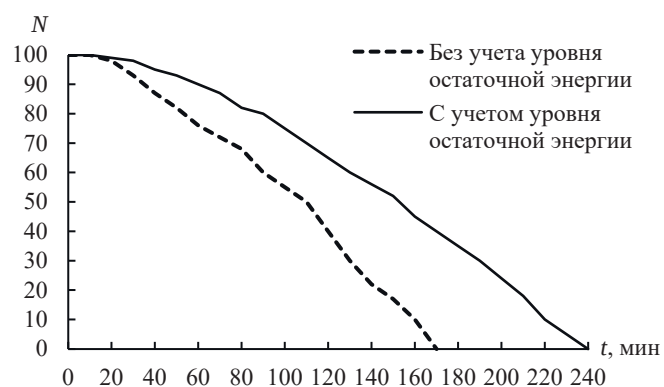


Рис. 17. Динамика числа узлов в жизненном цикле БСС

Если не учитывать уровень остаточной энергии узлов при выборе маршрута доставки данных, а выбирать кратчайшие маршруты только по времени доставки данных, как это реализуется в инфраструктурных сетях передачи данных, то время жизни  $t$  Mesh сети будет сокращаться значительно быстрее в сравнении с этой же сетью, но в которой учитывается уровень остаточной энергии узлов при выборе маршрута доставки данных.

Это связано с тем, что при каждой отправке от И-узла к А-узлу будет выбираться один и тот же маршрут, что быстро приведет к истощению энергии узлов маршрута и, соответственно, всей Mesh сети, т.к. узлы маршрута являются транзитными узлами и других маршрутов. В данной топологии учет уровня остаточной энергии узлов Mesh сети позволяет увеличить  $t$  на один час.

### Заключение

Разработана имитационная модель самоорганизующейся беспроводной сенсорной сети с ячеистой топологией – Mesh сети, которая является средством для исследования работы данного класса инфокоммуникационных сетей. В модели учтены особенности Mesh сети, влияющие на выбор маршрута от узла источника узлу адресата и значения показателей качества предоставляемого сервиса доставки данных.

С помощью имитационного эксперимента на модели Mesh сети с заданными параметрами и внешними воздействиями можно не только оценить вероятностно-временные характеристики доставки данных, но и с учетом допустимых значений на показатели качества предоставляемого сервиса рекомендовать структуру Mesh сети.

### Литература

1. Алзагир А.А., Парамонов А.И., Кучерявый А.Е. Исследование качества обслуживания в сетях 5G и последующих поколений // *Электросвязь*. 2022. № 6. С. 2-7. DOI: 10.34832/ELSV.2022.31.6.001
2. Мулярчик К.С., Полочанский А.С. Качество обслуживания в беспроводных сенсорных сетях // *Журн. Белорус. гос. ун-та. Математика. Информатика*. 2017. № 2. С. 65-70.
3. Татарникова Т.М., Богданов П.Ю., Краева Е.В. Предложения по обеспечению безопасности системы умного дома, основанные на оценке потребляемых ресурсов // *Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы*. 2020. № 4. С. 88-94.
4. Киреев С.А. Оптимизация передачи информации в самоорганизующихся сетях // *Процессы управления и устойчивость*. 2020. Т. 7. №1. С. 381-386.
5. Миклуш В.А., Татарникова Т.М. Решение задачи расположения датчиков различной физической природы при организации беспроводной сенсорной сети с топологией Mesh // *Успехи современной радиоэлектроники*. 2022. Т. 76, № 12. С. 15-20. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700784-202212-03>
6. Кашикарров Д.В., Парамонов А.И., Кучерявый А.Е. Модель и метод использования множественных связей для реализации сверхнадежных соединений в сети 5G // *Электросвязь*. 2021. № 8. С. 16-22. DOI: 10.34832/ELSV.2021.21.8.001
7. Татарникова Т.М. Аналитико-статистическая модель оценки живучести сетей с топологией mesh // *Информационно-управляющие системы*. 2017. №1(86). С. 17-22. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2017.1.17.
8. Pham V. D., Kisel V., Kirichek R., Koucheryavy A., Shestakov A. Evaluation of a mesh network based on Lora technology. 24th International Conference on Advanced Communication Technology: Artificial Intelligence Technologies toward Cybersecurity. 2022, pp. 1280-1285. doi:10.23919/ICACT53585.2022.9728830
9. Lysogor I., Voskov L., Rolich A., Efremov S. Study of data transfer in a heterogeneous Lora-satellite network for the internet of remote things // *Sensors*. 2019. V. 19, no. 15. P. 3384.
10. Федоров А. Е., Легков К.Е. Моделирование упреждающего и реагирующего протоколов маршрутизации в беспроводной мобильной адаптивной сети // *Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики*. 2014. №1. С. 362-65.

## SIMULATION MODEL OF A PEER-TO-END WIRELESS SENSOR NETWORK

**Tatyana M. Tatarnikova**, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia, [tm-tatarn@yandex.ru](mailto:tm-tatarn@yandex.ru)  
**Viktoria A. Miklush**, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia, [miklush-v@yandex.ru](mailto:miklush-v@yandex.ru)

### Abstract

The article provides a description of the developed simulation model Mesh network. The simulation model is a tool for assessing the probabilistic and temporal characteristics of data delivery, as the main indicator of the quality of the service provided by the Mesh network. A mesh network is a complex object of modeling: the mobility of nodes, the lack of a fixed infrastructure and centralized control, the limitations of the wireless transmission medium and node resources are the main features that distinguish Mesh networks from wired communication networks. These features affect the choice of the data delivery route and the quality indicators of the service provided by the Mesh network. The simulation model takes into account the features of the Mesh network, in particular, the features of modeling the states and loading of network nodes, the length of the queue for service, and the change in the level of residual energy of the node are considered. With the help of a simulation experiment on a Mesh network model with given parameters and external influences, it is possible not only to evaluate the probabilistic and temporal characteristics of data delivery, but also, taking into account the acceptable values for the quality indicators of the provided service, recommend the structure of the Mesh networks.

**Keywords:** peer-to-peer wireless sensor network, Mesh network, route from source to destination, probabilistic-temporal characteristics of data delivery, connection establishment.

### References

1. Alzagir, A.A., Paramonov, A.I., Koucheryavy, A.E. (2022), "Study of quality of service in 5G and next-generation networks", *Elektrosvyaz*, no. 6, pp. 2-7. DOI: 10.34832/ELSV.2022.31.6.001 (In Russian)
2. Mulyarchik, K.S., Polochansky, A.S. (2017), "Quality of service in wireless sensor networks", *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika. Informatika*, no. 2, pp. 65-70. (In Russian)
3. Tatarnikova, T.M., Bogdanov, P.Yu., Kraeva, E.V. (2020), "Smart home security proposals based on assessment of consumption resources", *Problems of information security. Computer systems*, no 4, pp. 88-94. (In Russian)
4. Kireev, S.A. (2020), "Data transfer optimization in Ad Hoc networks", *Protsessy upravleniya i ustoychivost'*, vol. 7, no. 1, pp. 381-386. (In Russian)
5. Miklush, V.A., Tatarnikova, T.M. (2022), "Problem solution of different sensors location in organizing a Mesh topology wireless sensor network", *Achievements of Modern Radioelectronics*, vol. 76, no. 12, pp. 16-22. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700784-202212-03>
6. Kashkarov, D. V., Paramonov, A. I., Kucheryavy, A. E. (2021), A model and method of multi-connectivity for ultra-reliable 5G connections. *Elektrosvyaz*, no. 8, pp. 16-22. DOI: 10.34832/ELSV.2021.21.8.001 (In Russian)
7. Татарникова, Т.М. (2017), "Analytical-Statistical Model of Mesh Network Survivability Evaluation", *Information and control systems*, vol. 1(86), pp. 17-22, DOI: 10.15217/issn1684-8853.2017.1.17.
8. Pham, V. D., Kisel, V., Kirichek, R., Koucheryavy, A., Shestakov, A. (2022), Evaluation of a mesh network based on Lora technology. 24th International Conference on Advanced Communication Technology: Artificial Intelligence Technologies toward Cybersecurity, pp. 1280-1285. doi: 10.23919/ICACT53585.2022.9728830
9. Lysogor I., Voskov L., Rolich A., Efremov S. Study of data transfer in a heterogeneous Lora-satellite network for the internet of remote things. *Sensors*. 2019. Vol. 19, no. 15. P. 3384.
10. Federov A.E., Legkov K.E. (2014), Modeling proactive and reactive routing protocols in a wireless mobile adaptive. *Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tekhnicheskogo universiteta svyazi i informatiki*, no. 1, pp. 362-65. (In Russian)