

УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-645-654

Имитационная модель функционирования беспроводной сети с низким энергопотреблением

¹ Ясир М.Д.Я., ² Польщиков К.А., ² Маматов Е.М.

¹ Южный технический университет

Ирак, 61001, г. Басра, ул. Шоссе Зубаир

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: muhaned.yaser@stu.edu.iq, polshchikov@bsu.edu.ru, mamatov@bsu.edu.ru

Аннотация. Представлена имитационная модель функционирования беспроводной сети, предназначенной для сбора данных, поступающих из многочисленных датчиков. Подразумевается, что оконечные устройства сети снабжены источниками батарейного питания, обеспечивающими автономную работу узлов в течение длительного времени. Показаны схемы и особенности моделирования работы оконечных устройств и шлюза, а также оценивания величины энергопотребления в процессе передачи данных сетевыми узлами. Минимизация энергопотребления на выходе передающих модулей оконечных устройств достигается за счет установки рекомендуемых значений выходной мощности и коэффициента расширения спектра, зависящих от текущего уровня затухания сигналов при передаче информационных кадров. Эти рекомендуемые значения предложено вычислять в сервере сети и передавать оконечным устройствам в кадрах-подтверждениях. В результате применения разработанной имитационной модели есть возможность оценить суммарное энергопотребление оконечных устройств при передаче сообщений в течение заданного интервала времени.

Ключевые слова: Интернет вещей, беспроводная сеть, LoRaWAN, имитационная модель, Matlab, Simulink, энергопотребление, оконечные устройства

Для цитирования: Ясир М.Д.Я., Польщиков К.А., Маматов Е.М. 2023. Имитационная модель функционирования беспроводной сети с низким энергопотреблением. Экономика. Информатика, 50(3): 645–654. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-645-654

Simulation Model of Functioning of a Low-Power Wireless Network

¹Yaser M.J. Yaser, ²Konstantin A. Polshchikov, ²Evgeny M. Mamatov

¹Southern Technical University

Zubair Highway St, Basra, 61001, Iraq

²Belgorod National Research University

85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russian Federation

E-mail: muhaned.yaser@stu.edu.iq, polshchikov@bsu.edu.ru, mamatov@bsu.edu.ru

Abstract. A simulation model of the operation of a wireless network designed to collect data from multiple sensors is presented. It is assumed that the terminal devices of the network are equipped with battery power supplies that provide autonomous operation of the nodes for a long time. The schemes and features of modeling the operation of terminal devices and the gateway, as well as estimating the amount of energy consumption in the process of data transmission by network nodes are shown. Minimization of power consumption at the output of the transmitting modules of terminal devices is achieved by setting the recommended values of the output power and the spectrum spreading factor, depending on the current level of signal attenuation during the transmission of information frames. These recommended values are proposed to be calculated in the network server and transmitted to end devices in acknowledgment frames.

As a result of applying the developed simulation model, it is possible to estimate the total power consumption of terminal devices when transmitting messages during a given time interval.

Keywords: IoT, wireless network, LoRaWAN, simulation model, Matlab, Simulink, power consumption, end devices

For citation: Yaser M., Polshchikov K.A., Mamatov E.M. 2023. Simulation Model of Functioning of a Low-Power Wireless Network. Economics. Information technologies, 50(3): 645–654 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-645-654

Введение

Беспроводные сети передачи данных широко используются для решения задач связи, мониторинга и управления. На основе беспроводных технологий обеспечивается функционирование различных распределенных систем, осуществляется взаимодействие многочисленных устройств в рамках Интернета вещей (Internet of Things, IoT) [Wang et al., 2021; Jameel et al., 2022; Jouhari et al., 2023]. Не случайно совершенствованию беспроводных сетей уделяется большое внимание ученых и разработчиков [Polschykov, Olexij, Rvachova, 2010; Rvachova et al., 2015; Konstantinov et al., 2017a, б; Polshchykov, Lazarev, Kiseleva, 2018; Джамил, Лихошерстов, Польщиков, 2022].

На практике востребовано внедрение энергоэффективных сетей, обеспечивающих сбор информации с удаленных датчиков. Такие IoT-системы разрабатываются для сельского хозяйства, промышленности, строительства и многих других отраслей [Arshad et al., 2022; Ragnoli et al., 2022; Safi et al., 2022]. Одним из стандартов, в соответствии с которым осуществляется обмен данными в таких системах, является протокол LoRaWAN [Loh, Mehling, Hofffeld, 2022], ориентированный на выполнение требований длительной автономной работы сетевых узлов за счет экономии их энергопотребления. В целях снижения энергетических затрат в процессе обмена данными протоколом LoRaWAN предусмотрено выполнение алгоритма адаптивной скорости передачи (Adaptive Data Rate, ADR) [Benkahla et al., 2021; Yang et al., 2022; Swathika, Kumar, 2023]. Несовершенство этого эвристического алгоритма обуславливает необходимость создания новых решений, обеспечивающих минимизацию энергии, потребляемой узлами сети. В связи с этим актуальной является разработка средств оценивания энергопотребления сетевых устройств, функционирующих в беспроводной сети.

Целью данной статьи является создание имитационной модели функционирования беспроводной сети для оценивания величины энергопотребления в процессе передачи данных сетевыми узлами.

Схема модели

В программной среде Matlab-Simulink разработана имитационная модель функционирования беспроводной сети с низким энергопотреблением, схема которой представлена на рисунке 1. Данный вариант схемы моделирует работу сети, в состав которой входят 12 оконечных устройств (элементы *Node1* – *Node12*) и шлюз (элемент *Gateway Node*). Оконечные устройства периодически передают шлюзу сообщения о значениях параметров, измеренных соответствующими датчиками. Эти сообщения передаются по беспроводной сети с помощью кадров – информационных блоков канального уровня. В ответ на принятые информационные кадры шлюз отправляет оконечным устройствам служебные кадры-подтверждения. Полученные из оконечных устройств сообщения шлюз ретранслирует в сервер сети.

При получении информационного кадра из оконечного устройства на входе приемного модуля шлюза измеряется мощность принимаемого сигнала RP . С учетом измеренного значения RP и хранящихся в сервере данных о значении мощности сигнала TP , установленном на выходе оконечного устройства, вычисляется текущий уровень затухания сигнала A :

$$A = RP - TP. \quad (1)$$

Уровень A характеризует помеховые условия, в которых осуществляется обмен данными между конкретным оконечным устройством и шлюзом. Изменение уровня A свидетельствует об изменении помеховых условий и необходимости корректировки характеристик физического уровня оконечного устройства. К таким характеристикам относятся коэффициент расширения спектра SF и мощность TP на выходе передающего модуля.

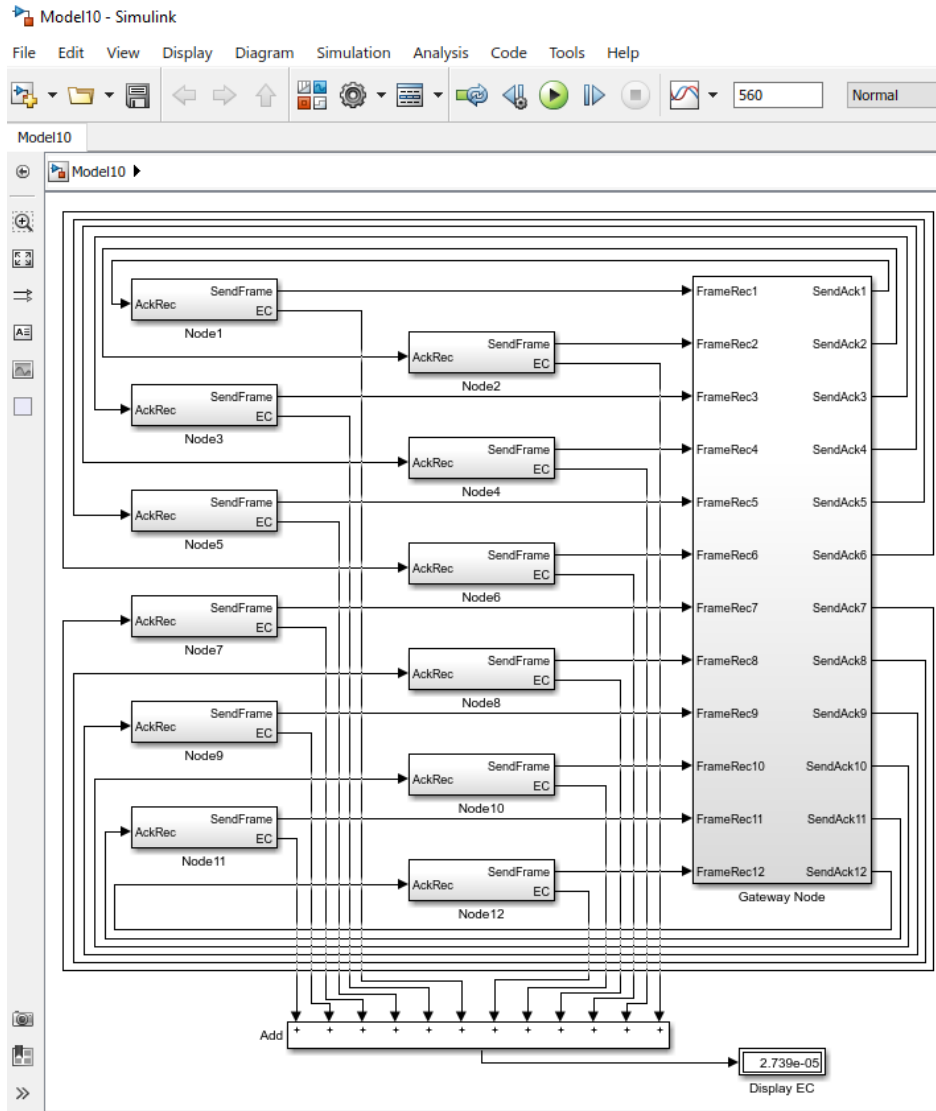


Рис. 1. Схема имитационной модели
Fig. 1. Schematic of the simulation model

На рисунке 2 представлены элементы, моделирующие обработку кадров, поступивших в шлюз из оконечного устройства. С помощью элемента $Calc_A$ моделируется вычисление текущего уровня затухания сигнала. Текущие значения A , вычисленные при поступлении кадров из оконечного устройства, можно наблюдать с помощью виртуального регистратора $Score_A$ (отображены на рисунке 3). С помощью элементов $A=-131 - A=-140$ моделируется выбор из сформированной базы данных « $A - TP - SF$ » значений коэффициента расширения спектра и мощности на выходе передающего модуля, которые соответствуют текущему уровню затухания сигнала и рекомендуются для установки в оконечном устройстве. Вышеуказанная база данных формируется на основе использования результатов вычислительных экспериментов, представленных в работах [Седунов, Жунусова, Зырянова, 2021; Леушин,

2022; Ясир, 2023; Ясир, Польщиков, Федоров, 2023]. Данные о рекомендуемых значениях TP и SF передаются на оконечное устройство в составе кадров-подтверждений.

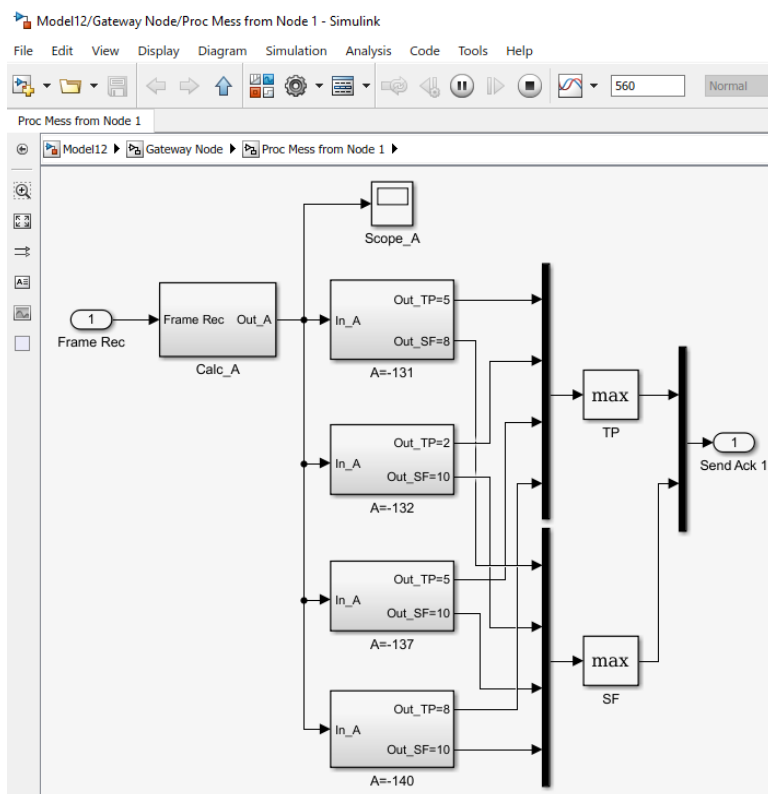


Рис. 2. Элементы, моделирующие обработку кадров, поступивших в шлюз
 Fig. 2. Elements modeling the processing of frames received by the gateway

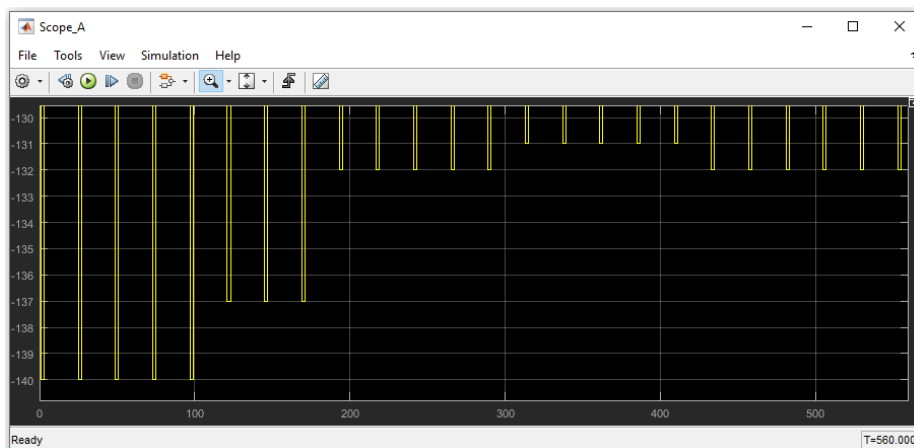


Рис. 3. Результаты моделирования, отображаемые виртуальным регистратором $Scope_A$
 Fig. 3. Simulation results displayed by virtual recorder $Scope_A$

Моделирование работы оконечного устройства

Сформированные вышеуказанным образом кадры-подтверждения передаются из шлюза в оконечное устройство, функционирование которого моделируется с помощью элементов, представленных на рисунке 4. На рисунках 5 и 6 показаны рекомендованные значения характеристик TP и SF , данные о которых содержались в полученных оконечным устройством кадрах-подтверждениях и отобразились с помощью виртуальных регистраторов $Scope_TP$ и $Scope_SF$ соответственно.

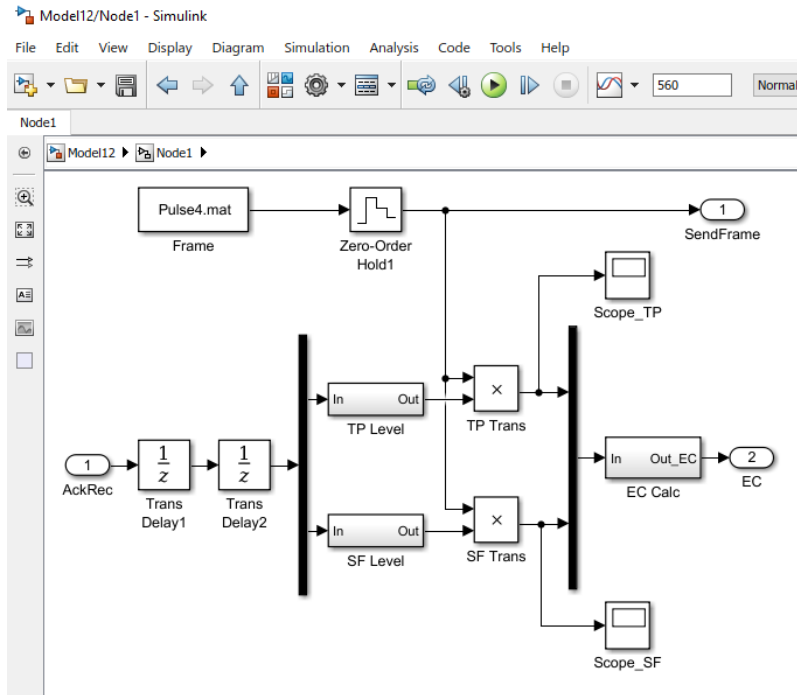


Рис. 4. Элементы, моделирующие работу оконечного устройства
Fig. 4. Elements modeling the operation of the terminal device

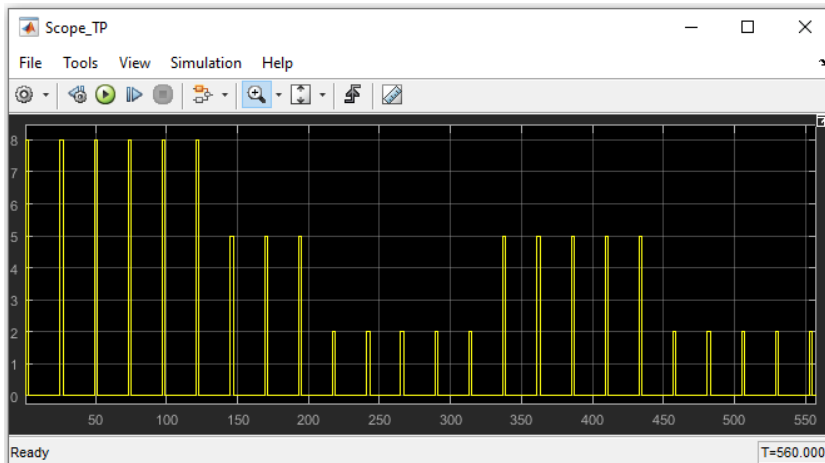


Рис. 5. Результаты моделирования, отображаемые виртуальным регистратором *Scope_TP*
Fig. 5. Simulation results displayed by virtual recorder *Scope_TP*

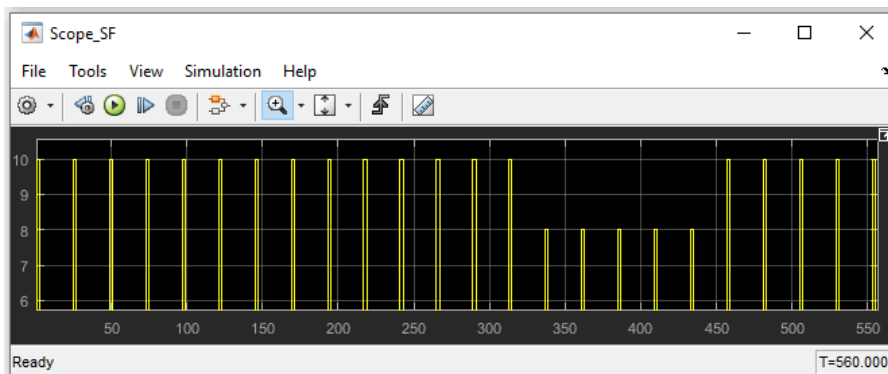


Рис. 6. Результаты моделирования, отображаемые виртуальным регистратором *Scope_SF*
Fig. 6. Simulation results displayed by virtual recorder *Scope_SF*

От значений характеристик TP и SF , установленных на выходе передающего модуля оконечного устройства, зависит его энергопотребление EC в процессе функционирования.

Вычисление энергопотребления

Вычисление величины EC моделируется с помощью подсистемы $Calc_EC$, схема которой представлена на рисунке 7.

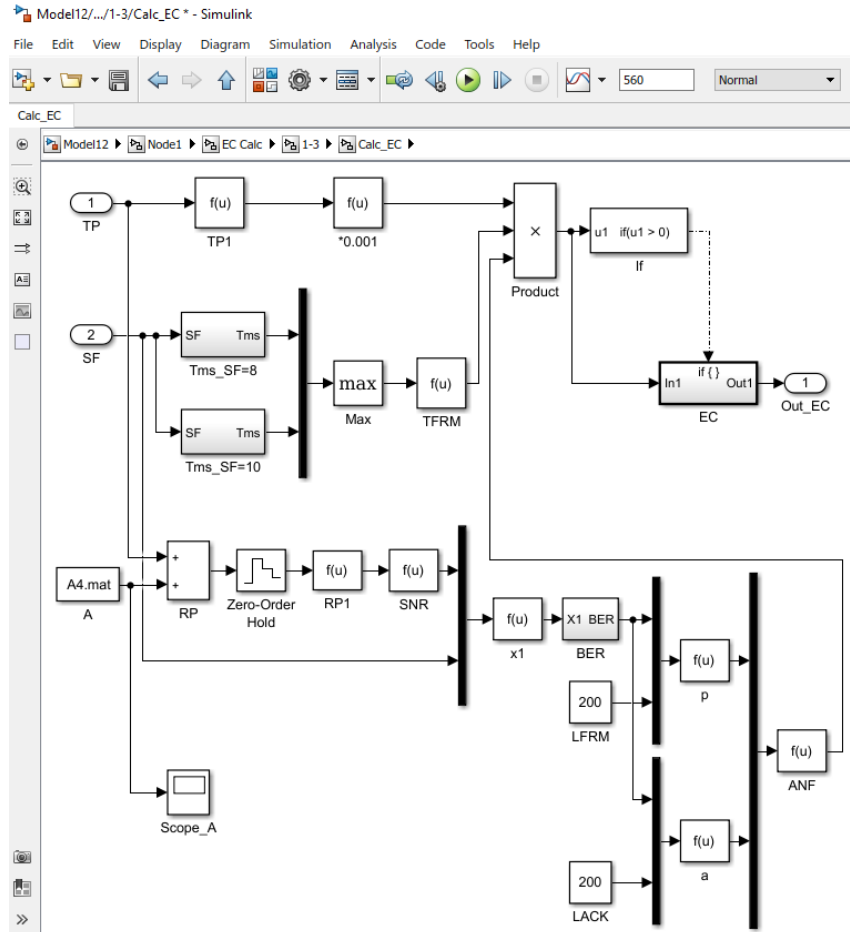


Рис. 7. Схема подсистемы $Calc_EC$
 Fig. 7. Diagram of the $Calc_EC$ subsystem

На вход TP подсистемы поступают значения мощности на выходе передающего модуля, измеряемые в дБм. С помощью элемента $TP1$ осуществляется пересчет этих значений в мВт в соответствии с формулой:

$$TP_{mW} = 10^{TP/10}. \quad (2)$$

С помощью элементов $Tms_SF=8$, $Tms_SF=10$, мультиплексора, а также элементов Max и $TFRM$ вычисляется значение длительности передачи кадра в часах в соответствии с выражением:

$$TFRM = \frac{T_{ms} \cdot 10^{-3}}{3600}, \quad (3)$$

где T_{ms} – измеренная в мс длительность передачи кадра.

Благодаря элементам A , RP , $Zero-Order Hold$ и RPI осуществляется вычисление мощности принимаемых шлюзом сигналов в соответствии с выражением:

$$RP = 10^{\frac{TP+A}{10}}. \quad (4)$$

Элемент SNR служит для вычисления уровня «сигнал-шум» на входе приемного модуля шлюза по формуле:

$$SNR = \frac{RP \cdot 10^{-3}}{k \cdot TEMP \cdot W \cdot NF}, \quad (5)$$

где $k = 1,38 \times 10^{-23}$ – постоянная Больцмана, Дж/К; $TEMP$ – температура; W – ширина полосы пропускания канала; NF – коэффициент шума приемника.

С помощью элементов XI и BER вычисляется вероятность битовой ошибки при передаче данных по формуле, в которой используется Q-функция:

$$BER = 0,5 \cdot Q \left[\sqrt{SNR \cdot 2^{SF+1}} - \sqrt{1,386 \cdot SF + 1,154} \right]. \quad (6)$$

Элементы p , a , $LFRM$ и $LACK$ предназначены для вычисления вероятности доставки кадров, передаваемых шлюзу, и вероятности доставки подтверждений оконечному устройству в соответствии с формулами:

$$p = (1 - BER)^{LFRM}, \quad (7)$$

$$a = (1 - BER)^{LACK}, \quad (8)$$

где $LFRM$ – битовая длина кадра; $LACK$ – битовая длина подтверждения.

С помощью элемента ANF вычисляется среднее количество кадров, необходимое для доставки шлюзу одного сообщения в соответствии с формулой:

$$ANF = p \cdot a \cdot [1 + 2 \cdot [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]]; \quad (9)$$

Наконец, с помощью элементов $*0.001$, $Product$, if и EC вычисляются значения энергопотребления оконечного устройства при передаче одного сообщения в соответствии с выражением:

$$EC = ANF \cdot TFRM \cdot TP_{mW} \cdot 10^{-3}. \quad (10)$$

Аналогично вычисляются значения EC каждого оконечного устройства, которые затем суммируются с помощью элемента Add , представленного на рисунке 1. На этом же рисунке показан виртуальный регистратор $Display EC$, на котором отображаются значения суммарного энергопотребления оконечных узлов сети в течение заданного интервала времени моделирования. Представленные на рисунке 1 результаты моделирования соответ-

ствуют эксперименту по оцениванию энергопотребления оконечных устройств сети в течение суток. В этом случае на виртуальном регистраторе *Display EC* отображено значение $2,739 \cdot 10^{-5}$ (Вт×час). С помощью установки значений интервала моделирования есть возможность оценить величину энергопотребления сетевых оконечных устройств в течение заданного количества месяцев или лет. Количество моделируемых сетевых устройств может быть расширено до десятков, сотен и нескольких тысяч узлов в зависимости от размеров и емкости исследуемой беспроводной сети.

Заключение

Таким образом, в программной среде Matlab-Simulink разработана оригинальная имитационная модель функционирования беспроводной сети с низким энергопотреблением. Элементы представленной модели служат для моделирования работы оконечных устройств и шлюза, а также оценивания величины энергопотребления в процессе передачи данных сетевыми узлами. Моделируемые оконечные устройства сети снабжены источниками батарейного питания, обеспечивающими автономную работу узлов в течение длительного времени. В целях минимизации энергопотребления на выходе передающих модулей оконечных устройств устанавливаются рекомендуемые значения характеристик физического уровня (выходной мощности и коэффициента расширения спектра), зависящие от текущего уровня затухания сигналов при передаче информационных кадров. С использованием соответствующей базы данных, сформированной по результатам вычислительных экспериментов, эти рекомендуемые значения определяются в сервере сети и передаются оконечным устройствам с помощью шлюза в составе данных, содержащихся в кадрах-подтверждениях.

Применение разработанной имитационной модели позволяет оценить суммарное энергопотребление оконечных устройств при передаче сообщений в течение заданного интервала времени. Дальнейшие исследования планируется посвятить модификации представленной разработки для моделирования различных алгоритмов, позволяющих снизить энергопотребление беспроводной сенсорной сети.

Список литературы

- Джамил К.Дж.К., Лихошерстов Р.В., Польщикова К.А. 2022. Модель передачи видеопотоков в летающей беспроводной самоорганизующейся сети. Экономика. Информатика, 49(2): 403–415. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-403-415.
- Леушин А.В. 2022. LORA как новый вид модуляции. Принцип работы, основные параметры, помехоустойчивость. Техника радиосвязи, 2(53): 28–42.
- Седунов Д.П., Жунусова А.С., Зырянова Ю.О. 2021. Расчет параметров системы беспроводного сбора данных сети LoRawan. Техника радиосвязи, 2(49): 31-41.
- Ясир М.Д.Я. 2023. К вопросу снижения энергопотребления беспроводных сенсорных узлов. Инженерный вестник Дона, 7. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/p7y2023/8526> (дата обращения: 24.08.2023).
- Ясир М.Д.Я., Польщикова К.А., Федоров В.И. 2023. Модель доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением. Экономика. Информатика, 50(2): 439–447. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-439-447.
- Arshad J., Aziz M., Al-Huqail A.A., Zaman M.Hu., Husnain M., Rehman A.U., Shafiq M. 2022. Implementation of a LoRaWAN Based Smart Agriculture Decision Support System for Optimum Crop Yield. Sustainability, 14(2): 827.
- Benkahla N., Tounsi H., Song Y.Q., Frikha M. 2021. Review and experimental evaluation of ADR enhancements for LoRaWAN networks. Telecommunication Systems, 77: 1–22.
- Jameel J.Q., Mahdi T.N., Polshchikov K.A., Lazarev S.A., Likhosherstov R.V., Kiselev V.E. 2022. Development of a mathematical model of video monitoring based on a self-organizing network of unmanned aerial vehicles // Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 10(6): 84–95.
- Jouhari M., Saeed N., Alouini M.-S., Amhoud E.M. 2023. A Survey on Scalable LoRaWAN for Massive IoT: Recent Advances, Potentials, and Challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 25(3): 1841–1876.

- Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2017. Mathematical Model of Message Delivery in a Mobile Ad Hoc Network. Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT): 10–13.
- Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2017. Model of Neuro-Fuzzy Prediction of Confirmation Timeout in a Mobile Ad Hoc Network. CEUR Workshop Proceedings. Mathematical and Information Technologies, 1839: 174–186.
- Loh F., Mehling N., Hoßfeld T. 2022. Towards LoRaWAN without Data Loss: Studying the Performance of Different Channel Access Approaches. Sensors, 22(2): 691.
- Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Kiseleva E.D. 2018. Mathematical Model of Multimedia Information Exchange in Real Time Within a Mobile Ad Hoc Network. International Journal of Computer Science and Network Security, 18(6): 20–24.
- Polshchikov K., Olexij S., Rvachova N. 2010. The Methodology of Modeling Available for Data Traffic Bandwidth Telecommunications Network. Proceedings of the X International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science” (TCSET’2010): 158.
- Ragnoli M., Colaiuda D., Leoni A., Ferri G., Barile G., Rotilio M., Laurini E., De Berardinis P., Stornelli V. 2022. A LoRaWAN Multi-Technological Architecture for Construction Site Monitoring. Sensors, 22(22): 8685.
- Rvachova N., Sokol G., Polshchikov K., Davies J.N. 2015. Selecting the intersegment interval for TCP in telecomm networks using fuzzy inference system. Proceedings of the 6th International Conference “Internet Technologies and Applications” (ITA): 256–260.
- Safi A., Ahmad Z., Jehangiri A.I., Latip R., Zaman S.Ku., Khan M.A., Ghoniem R.M. 2022. A Fault Tolerant Surveillance System for Fire Detection and Prevention Using LoRaWAN in Smart Buildings. Sensors, 22(21): 8411.
- Swathika R., Kumar S.M.D. 2023. Optimizing Throughput Using Effective Contention Aware Adaptive Data Rate in LoRaWAN. Lecture Notes in Networks and Systems, 690. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2680-0_26 (дата обращения: 24.08.2023).
- Wang J., Lim M.K., Wang C., Tseng M.-L. 2021. The evolution of the Internet of Things (IoT) over the past 20 years. Computers & Industrial Engineering, 155: 107174.
- Yang L., Cui H., Zhang M., Wang Y., Wang R., Wu Y. 2022. Research of ADR mechanism in low mobility scenario. 2022 IEEE 5th International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT): 460–463.

References

- Jameel K.J.Q., Likhosherstov R.V., Polshchikov K.A. 2022. Model of Video Streams Transmission in a Flying Ad Hoc Network. Economics. Information technologies, 49(2): 403–415 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-403-415.
- Leushin A.V. 2022. LORA kak novyj vid moduljatsii. Princip raboty, osnovnye parametry, pomehoustojchivost'. Tehnika radiosvjazi, 2(53): 28–42. (in Russian).
- Sedunov D.P., Zhunusova A.S., Zyrjanova Ju.O. 2021. Raschet parametrov sistemy besprovodnogo sbora dannyh seti Lorawan. Tehnika radiosvjazi, 2(49): 31–41. (in Russian).
- Yaser M.J.Y. 2023. K voprosu snizhenija jenergopotreblenija besprovodnyh sensornyh uzlov. Inzhenernyj vestnik Dona, 7. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8526>. (in Russian).
- Yaser M.J.Y., Polshchikov K.A., Fedorov V.I. 2023. Message Delivery Model in a Low-Power Sensor Network. Economics. Information technologies, 50(2): 439–447 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-439-447.
- Arshad J., Aziz M., Al-Huqail A.A., Zaman M.Hu., Husnain M., Rehman A.U., Shafiq M. 2022. Implementation of a LoRaWAN Based Smart Agriculture Decision Support System for Optimum Crop Yield. Sustainability, 14(2): 827.
- Benkahla N., Tounsi H., Song Y.Q., Frikha M. 2021. Review and experimental evaluation of ADR enhancements for LoRaWAN networks. Telecommunication Systems, 77: 1–22.
- Jameel J.Q., Mahdi T.N., Polshchikov K.A., Lazarev S.A., Likhosherstov R.V., Kiselev V.E. 2022. Development of a mathematical model of video monitoring based on a self-organizing network of unmanned aerial vehicles // Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 10(6): 84–95.
- Jouhari M., Saeed N., Alouini M.-S., Amhoud E.M. 2023. A Survey on Scalable LoRaWAN for Massive IoT: Recent Advances, Potentials, and Challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 25(3): 1841–1876.
- Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2017. Mathematical Model of Message Delivery in a Mobile Ad Hoc Network. Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT): 10–13.

- Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2017. Model of Neuro-Fuzzy Prediction of Confirmation Timeout in a Mobile Ad Hoc Network. CEUR Workshop Proceedings. Mathematical and Information Technologies, 1839: 174–186.
- Loh F., Mehling N., Hoßfeld T. 2022. Towards LoRaWAN without Data Loss: Studying the Performance of Different Channel Access Approaches. Sensors, 22(2): 691.
- Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Kiseleva E.D. 2018. Mathematical Model of Multimedia Information Exchange in Real Time Within a Mobile Ad Hoc Network. International Journal of Computer Science and Network Security, 18(6): 20–24.
- Polschikov K., Olexij S., Rvachova N. 2010. The Methodology of Modeling Available for Data Traffic Bandwidth Telecommunications Network. Proceedings of the X International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science” (TCSET’2010): 158.
- Ragnoli M., Colaiuda D., Leoni A., Ferri G., Barile G., Rotilio M., Laurini E., De Berardinis P., Stornelli V. 2022. A LoRaWAN Multi-Technological Architecture for Construction Site Monitoring. Sensors, 22(22): 8685.
- Rvachova N., Sokol G., Polschikov K., Davies J.N. 2015. Selecting the intersegment interval for TCP in telecomms networks using fuzzy inference system. Proceedings of the 6th International Conference “Internet Technologies and Applications” (ITA): 256-260.
- Safi A., Ahmad Z., Jehangiri A.I., Latip R., Zaman S.Ku., Khan M.A., Ghoniem R.M. 2022. A Fault Tolerant Surveillance System for Fire Detection and Prevention Using LoRaWAN in Smart Buildings. Sensors, 22(21): 8411.
- Swathika R., Kumar S.M.D. 2023. Optimizing Throughput Using Effective Contention Aware Adaptive Data Rate in LoRaWAN. Lecture Notes in Networks and Systems, 690. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2680-0_26 (дата обращения: 24.08.2023).
- Wang J., Lim M.K., Wang C., Tseng M.-L. 2021. The evolution of the Internet of Things (IoT) over the past 20 years. Computers & Industrial Engineering, 155: 107174.
- Yang L., Cui H., Zhang M., Wang Y., Wang R., Wu Y. 2022. Research of ADR mechanism in low mobility scenario. 2022 IEEE 5th International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT): 460-463.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: о potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ясир Муханад Джаббар Ясир, магистр наук, ассистент преподавателя Южного технического университета, г. Басра, Ирак.

Польщикова Константин Александрович, доктор технических наук, доцент, директор института инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Маматов Евгений Михайлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yaser Muhanad Jabar Yaser, MSc, Assistant lecturer of Southern Technical University, Basra, Iraq.

Konstantin A. Polshchikov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation

Evgeny M. Mamatov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation