

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-439-447

Модель доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением

¹ Ясир М.Д.Я., ² Польщиков К.А., ² Федоров В.И.

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, fedorov_v@bsu.edu.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке математической модели доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением. Обоснована актуальность исследования процессов функционирования беспроводных сетей для сбора данных, передаваемых многочисленными узлами-датчиками, а также необходимость создания теоретически обоснованных средств снижения энергопотребления конечными приемо-передающими устройствами. На основе применения математического аппарата вероятностных графов получены аналитические выражения, позволяющие оценить вероятность доставки сообщения в сенсорной сети и среднее число кадров, которое потребуется для этого передать. Представлены результаты вычислительных экспериментов, проведенных с использованием разработанной модели. Получены количественные данные, показывающие, что повышение допустимого числа повторных передач дает возможность увеличить вероятность доставки сообщений в сенсорной сети, но при этом требуется передача большего числа кадров, что приводит к нежелательному росту энергопотребления конечных узлов.

Ключевые слова: IoT, сенсорная сеть, LoRaWAN, модель доставки сообщения, энергопотребление сетевых узлов, датчики, повторные передачи кадров

Для цитирования: Ясир М.Д.Я., Польщиков 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

Message Delivery Model in a Low-Power Sensor Network

¹ M.J.Y. Yaser, K.A. Polshchikov, ² V.I. Fedorov

¹ Southern Technical University,

Zubair Highway St, Basra, 61001, Iraq

² Belgorod National Research University,

85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

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

Abstract. The article is devoted to the development of a mathematical model for message delivery in a sensor network with low power consumption. The relevance of the study of the processes of functioning of wireless networks for collecting data transmitted by numerous sensor nodes, as well as the need to create theoretically justified means of reducing power consumption by end transceivers, is substantiated. Based on the use of the mathematical apparatus of probabilistic graphs, analytical expressions are obtained that allow estimating the probability of message delivery in the sensor network and the average number of frames that will need to be transmitted for this. The results of computational experiments carried out using

the developed model are presented. Quantitative data have been obtained showing that increasing the allowed number of retransmissions makes it possible to increase the probability of message delivery in the sensor network, but this requires the transmission of more frames, which leads to an undesirable increase in the power consumption of end nodes. Based on the results obtained, further research is planned to develop an algorithm that minimizes the energy consumption of the end nodes of the sensor network.

Keywords: IoT, sensor network, LoRaWAN, message delivery model, power consumption of network nodes, sensors, frame retransmissions

For citation: 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

Введение

В последние десятилетия усилия многих разработчиков и научных коллективов ориентированы на совершенствование беспроводных средств передачи информации [Rvachova, 2015; Polshchikov, Lazarev, Zdorovtsov, 2017; Константинов и др., 2016; Polshchikov, Shabeeb, Lazarev, 2020; Mahdi et al., 2021]. Одной из основных тенденций применения цифровых технологий является создание распределенных систем, осуществляющих управление различными прикладными процессами на основе сбора, обработки и анализа данных, полученных от многочисленных маломощных сенсорных приемо-передающих устройств. Подобные системы функционируют в рамках концепций «Интернета вещей» (Internet of Things, IoT), «умного города», «точного сельского хозяйства» [Radeta et al., 2019; Haque et al., 2020; Sahir, Abbina, Krishna, 2020; Umer et al., 2020; Luntovskyy et al., 2021; Polshchikov et al., 2021; Jameel et al., 2022] и предполагают беспроводное подключение оконечных узлов-датчиков, суммарное количество которых по оценкам специалистов в текущем году достигнет 25 млрд.

Для организации IoT-инфраструктуры применяются технологии построения сетей передачи данных с низким энергопотреблением (Low Power Wide Area Network, LPWAN), создаваемые, в частности, на базе стандарта LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks) [Zhang, Zhang, Meng, 2019; Cheikh, Sabir, Sadik, 2022]. Конечные устройства LoRaWAN представляют собой недорогие беспроводные сенсорные узлы с большим радиусом действия (до 15 км), которые подключаются к сети с помощью шлюзов, образуя структуру «звезда их звезд». Благодаря такому способу наращивания сетевого покрытия обеспечивается широкий территориальный охват и высокая емкость сети. К преимуществам LoRaWAN также относятся высокая чувствительность и помехоустойчивость узлов, низкие энергетические затраты конечных устройств, экономия за счет возможности использования не лицензируемых частот. При этом технология имеет ограничения по мощности излучаемых сигналов и характеризуется невысокой скоростью передачи информации, поэтому применяется для обмена короткими сообщениями, содержащими данные измерений и управляющие команды.

Питание конечных LoRaWAN-узлов осуществляется с помощью источников электроэнергии в виде автономных элементов или аккумуляторных батарей. С учетом того, что в сети могут функционировать одновременно десятки тысяч и более узлов, несомненную важность приобретает снижение их энергопотребления. Анализ показал, что предлагаемые разработчиками и применяемые на практике методы снижения энергетических затрат сенсорных узлов [Park, Lee, Joe, 2020; Moysiadis et al., 2021; Zinonos, Chatzichristofis, Gkelios, 2022] имеют ряд существенных недостатков, связанных с использованием эвристических алгоритмов и недостаточным теоретическим обоснованием или, напротив, требующих формирования массивных обучающих данных и выполнения громоздких процедур нейросетевой настройки. Это определяет актуальность исследований, направленных на создание теоретически обоснованных средств снижения энергопотребления сенсорных узлов.

Целью статьи является разработка модели передачи сообщения в сенсорной сети для оценивания характеристик, влияющих на энергетические затраты сетевых конечных узлов. Для разработки этой математической модели предлагается использовать аппарат вероятностных графов, который успешно применяется при исследовании процессов

информационного обмена в беспроводных сетях [Константинов, Польщиков, Лазарев, 2015; Polshchykov, Lazarev, Kiseleva, 2018; Джамил, Лихошерстов, Польщиков, 2022].

Разработка модели процесса доставки сообщения в сенсорной сети

Сообщения в сети LoRaWAN передаются с помощью информационных блоков канального уровня модели OSI, именуемых кадрами. На рисунке 1 представлен вероятностный граф процесса доставки сообщения в сенсорной сети с помощью передачи кадров. Рассматривается случай, при котором сообщение имеет короткую битовую длину и может быть доставлено с помощью одного информационного кадра.

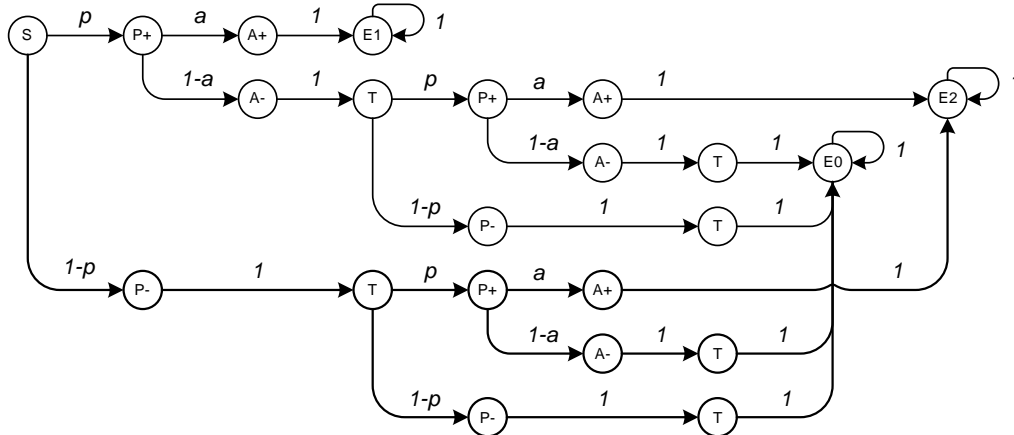


Рис. 1. Граф процесса доставки сообщения
 Fig. 1. Graph of message delivery process

Начало процесса доставки сообщения моделируется вершиной « S ». Конечным узлом отправляется информационный кадр, адресуемый узлу-шлюзу. Этот кадр может быть корректно принят узлом-шлюзом, в таком случае моделируемый процесс переходит в состояние « $P+$ ». Если информационный кадр корректно принят, то узлом-шлюзом в обратном направлении передается кадр-подтверждение, адресуемый соответствующему конечному узлу. В случае корректного приема этого подтверждения конечным узлом, моделируемый процесс переходит в состояние « $A+$ ». Результатом вышеуказанных переходов является успешная доставка сообщения с помощью одного информационного кадра, что соответствует терминальному состоянию « $E1$ » моделируемого процесса.

Из состояния « $P+$ » моделируемый процесс может перейти в состояние « $A-$ », если подтверждение на корректно принятый кадр не было успешно доставлено конечному узлу. В этом случае в конечном узле срабатывает таймер повторной передачи, и моделируемый процесс переходит в состояние « T ». Срабатывание таймера повторной передачи происходит по прошествии заданного интервала времени, в течение которого конечный узел ожидает получение подтверждения успешной доставки кадра, отправленного узлу-шлюзу. Факт срабатывания этого таймера указывает на необходимость принятия решения о повторной передаче кадра узлу-шлюзу. При этом принимается во внимание, что число повторных передач не должно превышать некоторого допустимого значения NRT . Такое ограничение на повторную отправку кадров используется для недопущения перегрузок, вызванных чрезмерным ростом сетевого трафика.

После срабатывания таймера повторной передачи возможен один из двух вариантов:

- 1) если число сделанных повторных передач меньше заданного значения NRT , то конечный узел дублирует передачу кадра узлу-шлюзу;
- 2) если число сделанных повторных передач равняется заданной величине NRT , то доставка сообщения безуспешно завершается, и моделируемый процесс переходит в терминальное состояние « $E0$ ».

Возможны ситуации, когда содержащаяся в кадре информация в процессе передачи будет искажена вследствие неблагоприятной помеховой обстановки или других случайных факторов. Не исключены также ситуации, при которых не может быть обеспечен прием этой информации средствами физического уровня модели OSI из-за низкого уровня соответствующих сигналов на входе шлюза. В таких ситуациях моделируемый процесс переходит в состояние « P –», а затем в конечном узле срабатывает таймер повторной передачи, и моделируемый процесс переходит в состояние « T ». Если после срабатывания таймера повторной передачи дублируется передача кадра, продублированный кадр корректно принимается узлом-шлюзом, а затем на этот кадр в конечный узел приходит подтверждение, то считается, что выполнена успешная доставка сообщения с помощью отправки двух информационных кадров, и моделируемый процесс переходит в терминальное состояние « $E2$ ».

Изображенный на рисунке 1 граф моделирует процесс доставки сообщения при $NRT = 1$. Он может быть преобразован к более простому виду, представленному на рисунке 2.

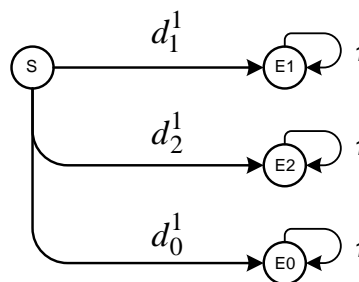


Рис. 2. Граф процесса доставки сообщения в упрощенном виде
 Fig. 2. Graph of the message delivery process in a simplified form

Вероятность перехода из начальной вершины « S » в терминальную вершину « $E1$ » соответствует вероятности доставки сообщения с помощью одного кадра, для вычисления которой следует использовать следующее выражение:

$$d_1^1 = p \cdot a, \tag{1}$$

где p – вероятность доставки кадра; a – вероятность доставки подтверждения.

Вероятность перехода из начальной вершины « S » в терминальную вершину « $E2$ » соответствует вероятности доставки сообщения с помощью двух кадров, значение которой можно вычислить по формуле:

$$d_2^1 = p \cdot (1-a) \cdot p \cdot a + (1-p) \cdot p \cdot a = p \cdot a \cdot [p \cdot (1-a) + (1-p)]. \tag{2}$$

Переход из начальной вершины « S » в терминальную вершину « $E0$ » осуществляется с вероятностью того, что сообщение, передаваемое из конечного узла, в результате не будет доставлено в узел-шлюз. Значение этой вероятности можно вычислить с помощью следующего выражения:

$$\begin{aligned} d_0^1 &= p \cdot (1-a) \cdot p \cdot (1-a) + p \cdot (1-a) \cdot (1-p) + (1-p) \cdot p \cdot (1-a) + \\ &+ (1-p) \cdot (1-p) = p^2 \cdot (1-a)^2 + 2 \cdot p \cdot (1-a) \cdot (1-p) + (1-p)^2 = \\ &= [p \cdot (1-a) + (1-p)]^2. \end{aligned} \tag{3}$$

Из выражения (3) можно получить формулу для вычисления вероятности доставки сообщения, имеющую следующий вид:

$$d^1 = 1 - [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]^2. \quad (4)$$

Для доставки сообщения при $NRT = 1$ в среднем потребуется передать d_{aver}^1 кадров. Вычислить эту величину можно с помощью следующего выражения:

$$d_{aver}^1 = d_1^1 + 2 \cdot d_2^1. \quad (5)$$

В рамках выполненного исследования построен граф, моделирующий процесс доставки сообщения при $NRT = 2$. Получены выражения для вычисления вероятностей доставки сообщения с помощью одного, двух и трех кадров соответственно:

$$d_1^2 = p \cdot a, \quad (6)$$

$$d_2^2 = p \cdot a \cdot [p \cdot (1 - a) + (1 - p)], \quad (7)$$

$$d_3^2 = p \cdot a \cdot [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]^2, \quad (8)$$

а также выражения для вычисления вероятности доставки сообщения и требуемого для этого среднего числа кадров:

$$d^2 = 1 - [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]^3, \quad (9)$$

$$d_{aver}^2 = d_1^2 + 2 \cdot d_2^2 + 3 \cdot d_3^2. \quad (10)$$

Аналогично получены выражения для вычисления величин, характеризующих процесс доставки сообщений при $NRT = 3, 4$ и 5 . Анализ этих и представленных выше выражений позволил вывести обобщенные формулы для оценивания величин, характеризующих процесс доставки сообщений в сенсорной сети при NRT , равному любому натуральному числу n . В результате для вычисления вероятности доставки сообщения в сенсорной сети с помощью $(n + 1)$ кадров получено следующее выражение:

$$d_{n+1}^n = p \cdot a \cdot [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]^n. \quad (11)$$

Вычислить вероятность доставки сообщения в сенсорной сети при $NRT = n$ можно с помощью следующего выражения:

$$d^n = 1 - [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]^{n+1}. \quad (12)$$

Наконец, оценить величину среднего числа кадров, которое потребуется передать для доставки сообщения в сенсорной сети при $NRT = n$, можно с помощью следующего выражения:

$$d_{aver}^n = d_1^n + 2 \cdot d_2^n + 3 \cdot d_3^n + \dots + (n + 1) \cdot d_{n+1}^n. \quad (13)$$

Проведение вычислительных экспериментов

Представленные выше выражения (1) – (13) использованы при проведении вычислительных экспериментов, в ходе которых оценивались характеристики доставки сообщений

в сенсорной сети. Результаты этих исследований представлены ниже. При вычислении оцениваемых характеристик вероятности доставки подтверждений принимались равными вероятностям доставки кадров.

На рисунке 3 показаны полученные кривые зависимости величин d_{aver}^1 , d_{aver}^2 и d_{aver}^3 от вероятности доставки кадра в сенсорной сети.

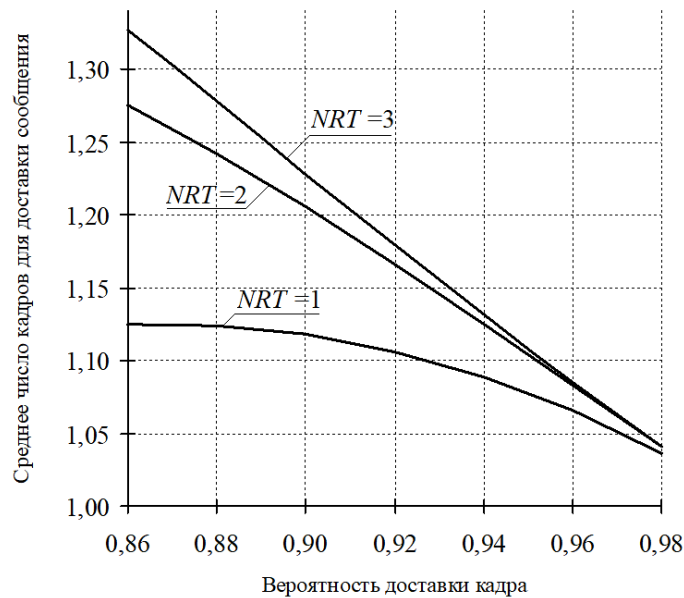


Рис. 3. Кривые зависимости передаваемого среднего числа кадров от вероятности доставки кадра в сенсорной сети

Fig 3. Curves of dependence of the transmitted average number of frames on the probability of frame delivery in the sensor network

На рисунке 4 показаны полученные кривые зависимости величин d^1 , d^2 и d^3 от значений вероятности p .

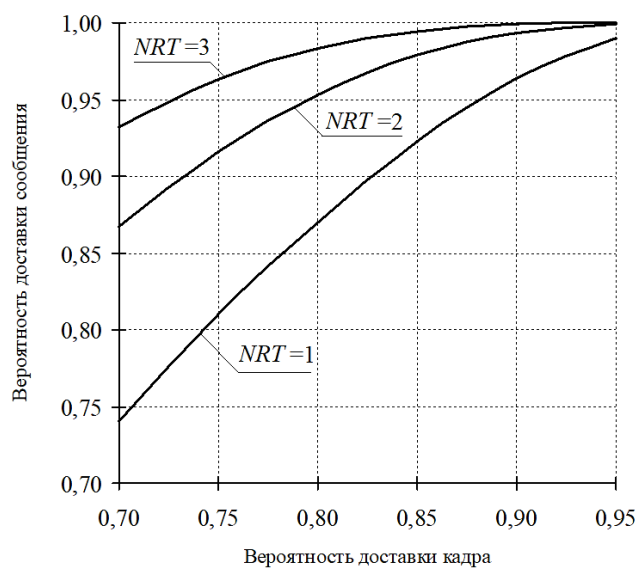


Рис. 4. Кривые зависимости вероятности доставки сообщения от вероятности доставки кадра в сенсорной сети

Fig 4. Curves of Dependence of the Message Delivery Probability on the Frame Delivery Probability in the Sensor Network

Графические зависимости, представленные на рисунке 3, наглядно демонстрируют, что с ростом параметра NRT для доставки сообщений в сенсорной сети требуется передача большего числа кадров. Однако увеличение NRT дает возможность повысить вероятность доставки сообщений, что видно из рисунка 4.

Заключение

Таким образом, с использованием математического аппарата вероятностных графов разработана модель доставки сообщения в сенсорной сети, которая дает возможность оценить ряд характеристик, влияющих на энергетические затраты сетевых конечных узлов. Предполагается, что сообщения в исследуемой сети передаются с помощью отдельных кадров. В модели учитываются ситуации, когда содержащаяся в кадре информация в процессе передачи искажается вследствие неблагоприятной помеховой обстановки или других случайных факторов, а также ситуации, при которых не может быть обеспечен качественный прием сигналов, имеющих слишком низкий энергетический уровень. В таких ситуациях моделируются повторные передачи кадров. Число повторных передач ограничивается для недопущения перегрузок, вызванных чрезмерным ростом сетевого трафика.

Применение модели позволяет оценить вероятность доставки сообщения в сенсорной сети и среднее число кадров, которое потребуется для этого передать. С использованием разработанной модели проведены вычислительные эксперименты, в результате которых получены количественные данные, показывающие, что повышение допустимого числа повторных передач дает возможность увеличить вероятность доставки сообщений в сенсорной сети, но при этом требуется передача большего числа кадров, что приводит к нежелательному росту энергопотребления конечных узлов.

На основе полученных результатов планируется проведение дальнейших исследований, посвященных разработке алгоритма, обеспечивающего минимизацию энергопотребления конечных узлов сенсорной сети.

Список литературы

- Джамил К.Дж.К., Лихошерстов Р.В., Польщиков 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.
- Константинов И.С., Пилипенко О.В., Польщиков К.А., Иващук О.Д. 2016. К вопросу обеспечения связи в процессе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах строительства. Строительство и реконструкция, 1(63): 40-46.
- Константинов И.С., Польщиков К.А., Лазарев С.А. 2015. Имитационная модель передачи информационных потоков в мобильной радиосети специального назначения. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика, 13 (210): 156–163.
- Cheikh I., Sabir E., Sadik M. 2022. Multi-Layered Energy Efficiency in LoRa-WAN Networks: A Tutorial. IEEE Access, 10: 9198-9231.
- Haque K.F., Abdelgawad A., Yanambaka V.P., Yelamarthi K. 2020. Lora architecture for v2x communication: An experimental evaluation with vehicles on the move. Sensors, 20(23): 1-26.
- Jameel J.Q., Mahdi T.N., Polshchykov 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.
- Luntovskyy A., Shubyn B., Maksymyuk T., Klymash M. 2021. 5G Slicing and Handover Scenarios: Compulsoriness and Machine Learning. Lecture Notes in Networks and Systems, 212: 223-255.
- Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchykov K.A., Lazarev S.A., Polshchykov I.K., Kiselev V.E. 2021. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 9(4): 1138-1145.
- Moysiadis V., Lagkas T., Argyriou V., Sarigiannidis A., Moscholios I.D., Sarigiannidis P. 2021. Extending ADR mechanism for LoRa enabled mobile end-devices. Simulation Modelling Practice and Theory, 113: 102388.

- Park G., Lee W., Joe I. 2020. Network resource optimization with reinforcement learning for low power wide area networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020: 176.
- Polshchykov K., Lazarev S., Zdorovtsov A. 2017. Multimedia Messages Transmission Modeling in a Mobile Ad Hoc Network. *Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*: 24–27.
- Polshchykov 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.
- Polshchykov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S. 2020. Algorithm for receiving the recommended bandwidth of a wireless self-organizing network channel. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 8(3): 1873–1879.
- Polshchykov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S., Kiselev V. 2021. Justification for the decision on loading channels of the network of geocological monitoring of resources of the agroindustrial complex. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3): 781–787.
- Radeta M., Ribeiro M., Vasconcelos D., Nunes N.J. 2019. LoRattle – An Exploratory Game with a Purpose Using LoRa and IoT, 11863: 263-277.
- Rvachova N., Sokol G., Polshchykov 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.
- Sahir S., Abbina Y., Krishna P.G. 2020. Implementation of environment gases monitoring system using lora gateway in smart cities with IoT technology, 12(2): 1109-1118.
- Umer M.A., Stepanov S.N., Ndayikunda J., Kanishcheva M.G. 2020. Cellular network resource distribution methods for the joint servicing of real-time multiservice traffic and grouped IoT traffic. *T-Comm*, 14(10): 61-69.
- Zhang X., Zhang M., Meng F. 2019. A Low-Power Wide-Area Network Information Monitoring System by Combining NB-IoT and LoRa. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(1): 590-598.8
- Zinonos Z., Chatzichristofis S.A., Gkelios S. 2022. Grape Leaf Diseases Identification System Using Convolutional Neural Networks and LoRa Technology, 10: 122-133.

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.
- Konstantinov I.S., Pilipenko O.V., Polshchykov K.A., Ivaschuk O.D. 2016. The issue of communication in the process of prevention and liquidation of emergency situations at construction sites. *Building and reconstruction*, 1 (63): 40–46. (in Russian).
- Konstantinov I.S., Polshchikov K.A., Lazarev S.A. 2015. Simulation model of information flows transmission in mobile ad-hoc network for special purpose. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*, 13 (210): 156–163. (in Russian).
- Cheikh I., Sabir E., Sadik M. 2022. Multi-Layered Energy Efficiency in LoRa-WAN Networks: A Tutorial. *IEEE Access*, 10: 9198-9231.
- Haque K.F., Abdelgawad A., Yanambaka V.P., Yelamarthi K. 2020. Lora architecture for v2x communication: An experimental evaluation with vehicles on the move. *Sensors*, 20(23): 1-26.
- Jameel J.Q., Mahdi T.N., Polshchykov 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.
- Luntovskyy A., Shubyn B., Maksymyuk T., Klymash M. 2021. 5G Slicing and Handover Scenarios: Compulsoriness and Machine Learning. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 212: 223-255.
- Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchykov K.A., Lazarev S.A., Polshchykov I.K., Kiselev V.E. 2021. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geocological monitoring system. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(4): 1138-1145.
- Moysiadis V., Lagkas T., Argyriou V., Sarigiannidis A., Moscholios I.D., Sarigiannidis P. 2021. Extending ADR mechanism for LoRa enabled mobile end-devices. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 113: 102388.
- Park G., Lee W., Joe I. 2020. Network resource optimization with reinforcement learning for low power wide area networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020: 176.

- Polshchikov K., Lazarev S., Zdorovtsov A. 2017. Multimedia Messages Transmission Modeling in a Mobile Ad Hoc Network. Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT): 24–27.
- 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., Shabeeb A.H.T., Lazarev S. 2020. Algorithm for receiving the recommended bandwidth of a wireless self-organizing network channel. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 8(3): 1873–1879.
- Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S., Kiselev V. 2021. Justification for the decision on loading channels of the network of geocological monitoring of resources of the agroindustrial complex. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 9(3): 781–787.
- Radeta M., Ribeiro M., Vasconcelos D., Nunes N.J. 2019. LoRattle – An Exploratory Game with a Purpose Using LoRa and IoT, 11863: 263-277.
- Rvachova N., Sokol G., Polshchikov 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.
- Sahir S., Abbina Y., Krishna P.G. 2020. Implementation of environment gases monitoring system using lora gateway in smart cities with IoT technology, 12(2): 1109-1118.
- Umer M.A., Stepanov S.N., Ndayikunda J., Kanishcheva M.G. 2020. Cellular network resource distribution methods for the joint servicing of real-time multiservice traffic and grouped IoT traffic. T-Comm, 14(10): 61-69.
- Zhang X., Zhang M., Meng F. 2019. A Low-Power Wide-Area Network Information Monitoring System by Combining NB-IoT and LoRa. IEEE Internet of Things Journal, 6(1): 590-598.
- Zinonos Z., Chatzichristofis S.A., Gkelios S. 2022. Grape Leaf Diseases Identification System Using Convolutional Neural Networks and LoRa Technology, 10: 122-133.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no 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 Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Федоров Вячеслав Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем Белгородского государственного национального исследовательского университета, 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, Russia

Vyacheslav I. Fedorov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia