

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛЮЗОВ ZIGBEE-LORAWAN В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ

Д. К. Нгуен¹, Р. В. Киричек¹

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация
Адрес для переписки: nguyendaccu27991@gmail.com, kirichek@sut.ru

Аннотация

В настоящее время становится популярной концепция Интернета Вещей (ИВ). Для персональной сети (*Personal Area Network, PAN*) и Беспроводной сенсорной сети (*Wireless sensor network, WSN*) наиболее популярными технологиями Интернета Вещей (ИВ) являются Zigbee, Bluetooth, 6LoWPAN. В свою очередь, для масштабных локальных вычислительных сетей используются такие технологии, как Ethernet, WiMax, GPRS, 3G, LTE и LPWAN технологии (LoraWAN, Sigfox, NB-IoT). **Предмет исследования.** В статье рассматривается концепция применения шлюзов ИВ для обеспечения взаимодействия между основными технологиями персональных и глобальных сетей. В частности, рассматривается структура шлюза Zigbee-LoraWAN. **Метод.** Разработана имитационная модель, а также проводится исследование его работы в зависимости от числа узлов сети Zigbee, подключенных к данному шлюзу. **Основные результаты.** В результате исследования было получено пороговое значение количества оконечных узлов при котором будут отсутствовать потери пакетов. На основе полученных результатов, было рассчитано оптимальное количество узлов сети Zigbee для нормальной работы шлюза. **Практическая значимость.** При проектировании сетей ИВ с применением шлюза Zigbee-LoraWAN, полученные результаты позволяют рассчитать требуемые параметры системы, обеспечивающие необходимые для корректной работы без потери.

Ключевые слова: Интернет Вещей, IoT, LPWAN, Zigbee, LoraWAN, шлюз.

Информация о статье

УДК 004.71

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 31.01.17, принята к печати 28.02.17.

Ссылка для цитирования: Нгуен Д. К., Киричек Р. В. Исследование шлюза Zigbee-LoraWAN в гетерогенных сетях // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 1. С. 97–104.

RESEARCH OF THE ZIGBEE-LORAWAN GATEWAY IN HETEROGENEOUS NETWORKS

D. Nguen¹, R. Kirichek¹

¹SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation
Corresponding author: nguyendaccu27991@gmail.com, kirichek@sut.ru

Abstract—At present, the concept of the Internet of Things (IoT) is becoming popular. For the Personal Area Network (PAN) and Wireless Sensor Network (Wireless sensor network, WSN), the most popular IoT technologies are Zigbee, Bluetooth, 6LoWPAN. In its turn, in large-scale local area networks use technologies such as Ethernet, WiMax, GPRS, 3G, LTE and LPWAN technologies (LoraWAN, Sigfox, NB-IoT). **Research subject.** In this article refers to the concept of using IoT gateways for providing interaction between the main technologies of personal and global networks. In particular, the structure of the Zigbee-LoraWAN gateway is considered. **Method.** A simulation model has been developed, and a research is conducted depending on the number of nodes of the Zigbee networks connected to this gateway. **Core results.** As a result of the researching, the threshold value of the number of end-nodes was obtained, at which there would be no packet loss. Based on the obtained results, the optimal number of Zigbee network nodes was calculated for the normal operation of the gateway. **Practical relevance.** When designing IoT networks using the Zigbee-LoraWAN gateway, the obtained results allow to calculate the required parameters of the gateway system, providing necessary for correct operation without loss.

Keywords—Internet of things, IoT, LPWAN, Zigbee, LoraWAN, gateway.

Article info

Article in Russian.

Received 31.01.17, accepted 28.02.17.

For citation: Nguen D., Kirichek R.: Research of the Zigbee-LoraWAN Gateway in Heterogeneous Networks // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 1. pp. 97-104 (in Russian).

Введение

В настоящее время становится популярной концепция Интернета Вещей (ИВ) (*Internet of Things*, IoT). ИВ – это сеть, в которой все устройства могут подключиться к Интернету и непосредственно взаимодействовать друг с другом без участия людей. Наиболее важными характеристиками для конечных устройств сети ИВ являются: автономность работы без дополнительной подзарядки и обслуживания, размер устройства, его цена и стоимость услуг операторов по передаче данных [1, 2, 3]. Для ИВ, появилось много технологий, применяемых в беспроводной сенсорной или персональной сети, такие как: Zigbee, Bluetooth, 6LoWPAN. Технологиями для сети передачи данных в WAN являются: Ethernet, WiMax, GPRS, 3G, LTE [4, 5], но они не эффективны для обмена данными между устройствами ИВ в глобальной сети и необходимо разрабатывать новые технологии. Для эффективного решения поставленной задачи появился новый тип сети LPWAN – Low Power Wide Area Network. LPWAN является новым подходом в радиосвязи, который применяется в крупной распределенной

беспроводной сети передачи данных. Главные характеристики такой сети: широкая территория (*wide-area*) и низкое энергопотребление (*low-power*). Сегодня в мире существуют несколько распространенных стандартов и технологий LPWAN для ИВ, например, LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT, Стриж [6, 7]. Наличие многих и сильно различающихся между собой сетевых технологий для ИВ привело к формированию отдельных сетей ИВ. Поэтому для возможности совместимости и повышения качества самоорганизации таких сетей необходимо создать шлюзы, которые будут выполнять данные функции.

Шлюз (*Gateway*) – это сетевое устройство или ретрансляционная система, предназначенная для обеспечения взаимодействия двух информационных сетей, которые обладают различными характеристиками, используют различные наборы протоколов или технологии всех семи уровней OSI (например, локальной и глобальной) [8]. В частности, в этой статье рассматривается шлюз Zigbee-LoraWAN, предназначенный для обеспечения передачи данных из сети Zigbee в сеть LoraWAN.

Структура шлюза Zigbee-LoraWAN

Технология передачи данных Zigbee в настоящее время является одной из самых популярных технологий, используемых в сфере беспроводных персональных сетей передачи данных (WPAN). Для разработки спецификаций стандарта и продвижения продукции на рынок был создан ZigBee Alliance, в его состав входят Philips, Motorola, Honeywell, Invensys, Mitsubishi и другие производители электроники и оборудования, общий список которых включает в себя более пятидесяти производителей. А LoRaWAN является технологией, считающейся наиболее перспективной из всех имеющихся LPWAN технологий. Данная технология разработана компанией Semtech. В начале 2015 года создается LoRa Alliance для стандартизации технологии LoRa в LPWAN сетях. В состав LoRa Alliance входят следующие вендеры: IBM, Cisco, MultiTech, Actility, Microchip, Semtech, Eolane, IMST, Sagemcom, Kerlink и русская компания Лейс, обладающая аудиторией более чем в 1 млн потенциальных пользователей. LoRaWAN работает в субгигагерцовом нелицензируемом диапазоне [10, 11].

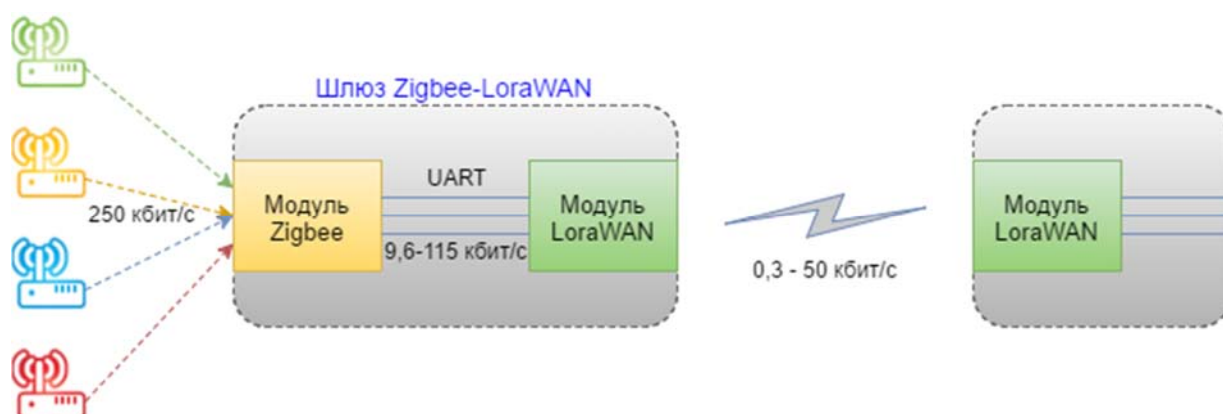


Рис. 1. Структура шлюза Zigbee-LoraWAN

Структура шлюза Zigbee-LoraWAN показана на рис. 1, включает в себя две основные части: модуль Zigbee и модуль LoraWAN, соединенные между собой с помощью UART-интерфейса. На рис. 1 видны скорости на различных участках сети. Так, скорость передачи данных в радиоканале для технологии ZigBee составляет 250 кбит/с, на интерфейсе UART – от 9,6 до 115,2 кбит/с, а скорость передачи данных между модулями LoraWAN варьируется от 0,3 до 50 кбит/с. Тем не менее, фактическая скорость передачи данных LoraWAN достигает примерно 10 кбит/с [12, 13, 14].

Имитационная модель шлюза Zigbee-LoraWAN

Для исследования работы шлюза Zigbee-LoraWAN [15, 16] и возникающих на сети проблем из-за неравномерной пропускной способности на разных ее участках, шлюз можно рассматривать как СМО с потерями. Принцип СМО-FIFO. Имитационная модель шлюза представлена на рис. 2.

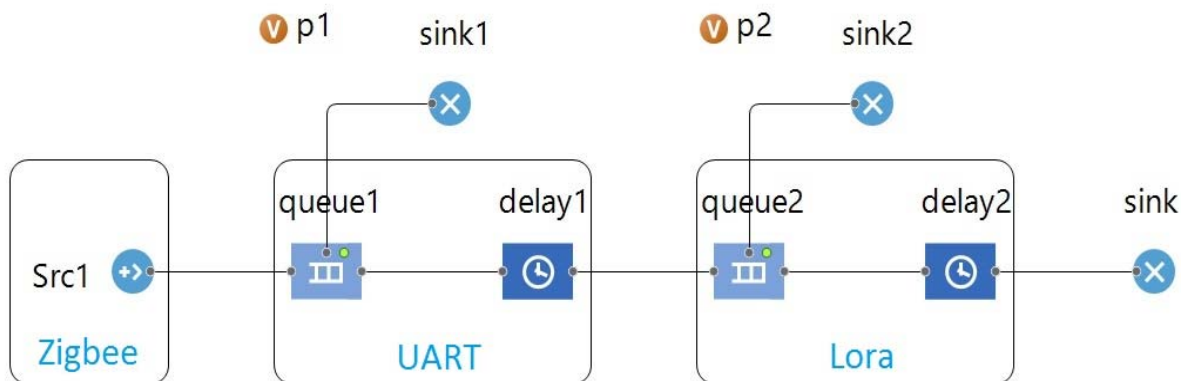


Рис. 2. Имитационная модель шлюза Zigbee-LoraWAN

Предполагается, что на участке «Zigbee» модуль Zigbee принимает пакеты от конечных устройств сети Zigbee и отправляет через интерфейс UART модулю LoraWAN. Участок «Zigbee» можно рассматривать как источник входящего потока. В частности, предлагается, что каждый узел Zigbee отправит 1 пакет/с, т. е. в сети Zigbee с количеством n узлов, в каждую секунду на входе UART-интерфейса имеется n пакетов. Примем средний размер пакета Zigbee равным 130 байтам, время обработки которого на UART-интерфейсе составит 9 миллисекунд (табл.). Размер пакета LoraWAN составляет от 51 до 222 байтов. Для модели был выбран произвольный размер пакета LoraWAN, который составил 90 байт, тогда время задержки для обработки одного такого пакета в модуле LoraWAN составляет 72 миллисекунды. Размер буферов примем равным 100.

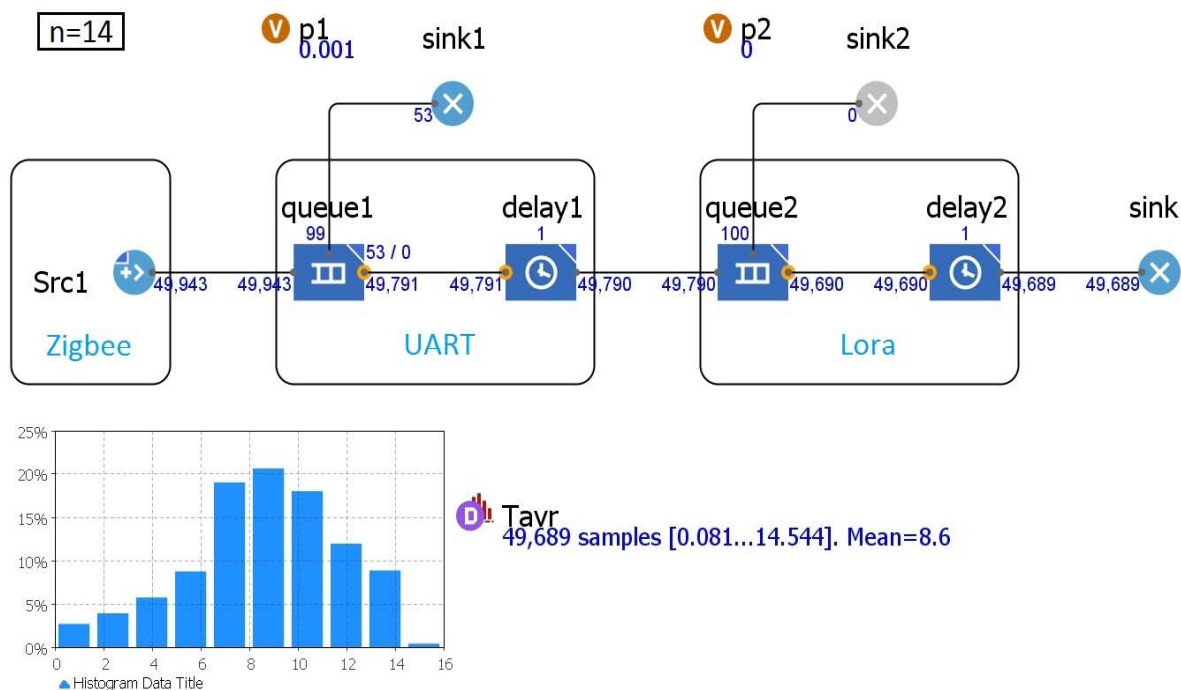
Таблица

Значения параметров для модели шлюза Zigbee-LoraWAN

Параметры	Значение
Число узлов сети Zigbee (n)	0...200
Размер пакета Zigbee	130 байт
Размер пакета LoraWAN	90 байт
Скорость передачи данных на интерфейсе UART	115 кбит/с
Скорость передачи данных в LoraWAN	10 кбит/с
Время задержки на интерфейсе UART	9 мс
Время задержки в модуле LoraWAN	72 мс
Размер буферов	100

Эксперимент

На основе параметров, представленных в таблице, проведены эксперименты для исследования зависимости среднего время задержки на обработку пакета в шлюзе (T_{avr}) и вероятности потери (p) от количества узлов сети Zigbee (n). Эксперименты проведены с помощью системы имитационного моделирования Anylogic версии 7.0.

Рис. 3. Результат исследования при $n = 14$

В результате исследования, получено пороговое значение количества узлов сети Zigbee ($n = 14$), при котором стали наблюдаться потери пакетов. На рис. 3 видно, что при $n = 14$, количество потерянных пакетов составляет 53 пакета и вероятность потери равна 0,1 %. Это значит, при $n < 14$ шлюз будет работать без потерь пакетов, иначе говоря, при условии, что каждый узел отправляет 1 пакет в секунду, максимальное число узлов в сети равно 13. Исходя из специфики работы устройств в сети Zigbee, для уменьшения энергопотребления конечные узлы отправляют данные только в активном периоде, и большую часть времени находятся в «спящем состоянии». Таким образом, если узел будет отправлять только 1 пакет за 10 минутный интервал времени, то число обслуживаемых шлюзом узлов может достичь 7800.

Графики зависимости времени задержки обработки пакета и вероятности потерь от количества узлов сети Zigbee показаны на рис. 4. На рисунке можно видеть, что при превышении порогового значения числа узлов, вероятности потери и среднего времени обслуживания быстро увеличиваются. Это связано с тем, что шлюз является «узким местом», т.е. вследствие падения скорости будет расти очередь пакетов, что и приведет к их потере. Для решения этой проблемы было предложено уменьшить входящий поток за счет уменьшения количества узлов, обслуживаемых шлюзом.

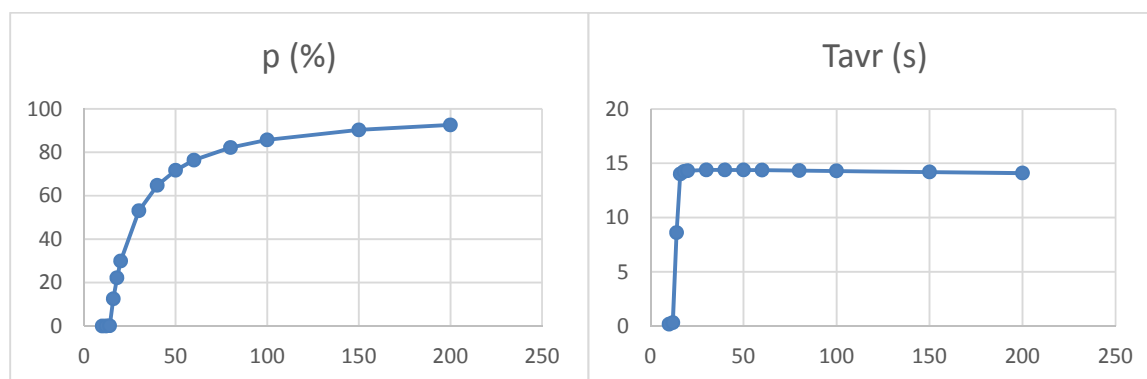


Рис. 4. Зависимость вероятности потери (p) и среднего время (T_{avr}) задержки от числа узлов ($n = 0...200$)

Заключение

В статье были рассмотрены концепция шлюза и основные технологии ИВ, предпринята попытка «связать» между собой технологии, такие как Zigbee для персональной сети и LPWAN для глобальной вычислительной сети. В частности, была рассмотрена структура шлюза Zigbee-LoraWAN и создана его имитационная модель с помощью системы имитационного моделирования AnyLogic 7.0. Кроме этого, в статье было проведено исследование зависимости среднего времени задержки обработки пакета в шлюзе и вероятности потери от количества узлов сети Zigbee. В результате исследования, получено пороговое значение количества конечных узлов при котором будут отсутствовать потери пакетов.

Литература

1. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
2. Кучерявый А. Е. Самоорганизующиеся сети и новые услуги // Электросвязь. 2009. № 1. С. 19–23.
3. Кучерявый А. Е., Кучерявый Е. А., Прокопьев А. В. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич. 2011. 312 с.
4. Прокопьев А. В. Перспективы использования протокола 6LoWPAN в сетях IEEE 802.15.4 // Электросвязь. 2009. № 1. С. 33–36.
5. Jayavardhana G., et al. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions // Future Generation Computer Systems. 2013. Vol. 29. Iss. 7. pp. 1645–1660.
6. Савинцев А. LPWAN технологии, применяемые в мире Интернета вещей (IoT) (2016). URL: <http://lorawan.lace.io/lpwan-iot/>
7. Low Power Wide Area Network – LPWAN Technology Decisions: 17 Critical Features. URL: <http://www.weightless.org/membership/hvVs4ZGQqr5dwCDIBiYX>
8. Ramankutty R., Velandy R., Puthiyandiyil S. K. Combined Gateway for Network Communications. Patent US8363664, 29.01.2013.
9. Kinney P. ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works // Communications Design Conference. 2003. Vol. 2. pp. 1–7.
10. Alliance, LoRa. "LoRaWAN™ Specification." LoRa Alliance (2015). URL: <https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>
11. Petäjäjärvi J., et al. Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Remote Health and Wellbeing Monitoring // International Journal of Wireless Information Networks. 2017. pp. 153–165. DOI: 10.1007/s10776-017-0341-8.
12. Варгаузин В. Сетевая технология ZigBee. Сетевые устройства ZigBee. Создание и расширение сетей // TeleMultiMedia. 2005. С. 29–32.
13. Norhuzaimin J., Maimun H. H. The Design of High Speed UART // Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE). 2005. pp. 388–390. DOI: 10.1109/APACE.2005.1607831.
14. Кулик В. А., Киричек Р. В., Бондарев А. Н. Методы исследования беспроводных каналов связи Интернета Вещей в условиях совместной работы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 1. С. 106–114. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/1-15.pdf>
15. Kirichek R., Kulik V. Methods of Test Flying Ubiquitous Sensor Networks // Распределенные компьютерные и коммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN). 2015. С. 489–499.
16. Kirichek R., Kulik V. Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 678. pp. 442–453. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_39.

References

1. Koucheryavy, A. Internet of Things// *Electrosvyaz'*. 2013. No. 1. pp. 21–24.
2. Koucheryavy, A. Self-Organizing Networks and New Services // *Electrosvyaz'*. 2009. No. 1. pp. 19–23.
3. Koucheryavy, A., Koucheryavy, Y., Prokopiev, A. Self-Organizing Networks. SPb.: Lyubavich. 2011. 312 p.
4. Prokopiev, A. Future Trends of 6LoWPAN used in IEEE 802.15.4 Networks // *Electrosvyaz'*. 2009. No. 1. pp. 33–36.
5. Jayavardhana, G., et al. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions // *Future Generation Computer Systems*. 2013. Vol. 29. Iss. 7. pp. 1645–1660.
6. Savintsev, A. LPWAN Technologies used in the World of Internet of Things (IoT) (2016). URL: <http://lorawan.lace.io/lpwan-iot/>
7. Low Power Wide Area Network – LPWAN Technology Decisions: 17 Critical Features. URL: <http://www.weightless.org/membership/hvVs4ZGQqr5dwCDIBiYX>

8. Ramankutty, R., Velandy, R., Puthiyandyil, S. K. Combined Gateway for Network Communications. Patent US8363664, 29.01.2013.
9. Kinney, P. ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works // Communications Design Conference. 2003. Vol. 2. pp. 1–7.
10. Alliance, LoRa. "LoRaWAN™ Specification." LoRa Alliance (2015). URL: <https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>
11. Petäjälä, J., et al. Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Remote Health and Wellbeing Monitoring // International Journal of Wireless Information Networks. 2017. pp. 153–165. DOI: 10.1007/s10776-017-0341-8.
12. Vargauzin, V. Network Technology ZigBee. Network Devices ZigBee. Networks Creation and Expansion // TeleMultiMedia. 2005. pp. 29–32.
13. Norhuzaimin, J., Maimun, H. H. The Design of High Speed UART // Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE). 2005. pp. 388–390. DOI: 10.1109/APACE.2005.1607831.
14. Kulik, V., Kirichek, R., Bondarev, A. Research Methods Wireless Channel of Internet of Things in other Networks Interference // Telecom IT. 2015. Vol. 1. pp. 106–114. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/1-15.pdf>
15. Kirichek, R., Kulik, V. Methods of Test Flying Ubiquitous Sensor Networks // Distributed Computer and Communication Networks (DCCN). 2015. pp. 489–499.
16. Kirichek, R., Kulik, V. Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 678. pp. 442–453. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_39.

Нгуен Дак Кы

– студент, СПбГУТ, Санкт-Петербург,
193232, Российская Федерация,
nguyendaccu27991@gmail.com

Киричек Руслан Валентинович

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,
kirichek@sut.ru

Nguen Dak Ku

– Student, SPbSUT, St. Petersburg, 193232,
Russian Federation, nguyendaccu27991@gmail.com

Kirichek Ruslan

– Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation,
kirichek@sut.ru