

УДК 004.735

DOI: 10.31673/2412-9070.2020.063941

С. А. ЖЕЖКУН, студент;
Л. Б. ВЕКСЛЕР, студентка;
С. М. БРЕЗІЦЬКИЙ, студент;
Б. О. ТАРАСЮК, студент,
Державний університет телекомунікацій, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДАЛЕКОГО РАДІУСА ДІЇ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ РІШЕНЬ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Основну увагу приділено аналізу перспективних технологій передавання трафіку далекого радіуса дії для реалізації рішень Інтернету речей. Наведено результат огляду технічних особливостей технологій, їх переваги та недоліки. Виконано порівняльний аналіз. Зроблено висновок, що в перспективі вирішальну роль у реалізації мереж і систем 5-го покоління відіграватимуть гетерогенні структури, засновані на інтеграції безлічі використовуваних радіотехнологій.

Ключові слова: M2M; 5G; LTE; інформаційна система; LPWAN; IoT; SIGFOX; LoRaWAN; NB-IoT; crowdsensing; безпека; фреймворк; платформа; безпроводові сенсорні мережі.

Вступ

Сьогодні, незважаючи на обмежену функціональність, сегмент IoT стає все більш потужним і взаємозв'язаним з іншими технологіями. На додаток до недорогого обладнання, включно з датчиками, приводами й інтелектуальними лічильниками, IoT наступного покоління готується охопити більш ефективні мережні пристрої з підвищеним ступенем складності і неоднорідності, зокрема самокеровані автомобілі з підімкненням до мережі Інтернет, портативні гаджети, промислові роботи і літаючі квадрокоптери.

Таке бачення розвитку IoT висуває нову парадигму колективного сприйняття, так званий crowdsensing, що означає краудсорсінг даних датчиків із мобільних пристроїв, які разом вимірюють, зіставляють або аналізують певні відомості, дані.

Основна частина

Концепція IoT передбачає можливість виходу в Інтернет таких пристроїв, як сенсори і датчики для періодичного відправлення результатів вимірювань різних параметрів. Нині передавання даних Інтернету речей реалізується поверх наявних мереж 4-го покоління LTE в двох формах: Narrow Band IoT і LTE-M.

Незважаючи на те, що вузькосмугові безпроводові мережі зв'язку IoT не розглядаються як самий масовий сегмент, їх передбачається використовувати для підімкнення пристроїв IoT в багатьох галузях економіки для широкого кола застосувань, які буде важко або неможливо реалізувати з використанням інших типів безпроводового зв'язку.

Фактично ці технології не є самостійними стандартами, а являють собою розвиток чинних стандартів стільникового рухомого зв'язку, доопрацьованих для задоволення потреб у підімкненні

малопотужних пристроїв, що працюють, як правило, від батареї і мають обмежені потреби в пропускну здатності.

При цьому існує більше десятка різних відкритих і закритих стандартів вузькосмугових безпроводових мереж зв'язку IoT у діапазонах радіочастот, що використовуються в спрощеному порядку (в неліцензованому спектрі), але, передусім, за популярністю в світі виокремлюють LoRaWAN і SigFox.

Що ж до перспектив, то в процесі розвитку нових технологій оператори зв'язку намагатимуться захоплювати нові ніші, пропонуючи не тільки сервіс зв'язку як такий, а й комплексне вирішення, зокрема послуги системної інтеграції і сервісних IoT-платформ.

Значну частку трафіку в сучасних мережах зв'язку створено користувачами мереж рухомого зв'язку (МРЗ). Сьогодні це такі види трафіку: трафік відео, передавання мови і звуку, передавання даних. Тому МРЗ стали безумовними лідерами як за кількістю абонентів, так і за обсягом виробленого трафіку.

Основним напрямком розвитку МРЗ є побудова мереж сучасного зв'язку, який характеризується розвитком технологічної бази побудови мереж і структурних та організаційних рішень щодо їх реалізації [5].

Найбільш значущі особливості цих мереж такі:

- гетерогенна структура мережі;
- значною мірою більш висока досяжна пропускна здатність на противагу сучасним МРЗ;
- можливість застосування безпосередніх зв'язків між абонентськими терміналами (D2D — Device to Device), що може бути реалізовано як у ліцензованих, так і в неліцензованому діапазонах радіочастот;
- використання для організації зв'язку більш високочастотних ділянок спектра.

Передбачається, що перспективні мережі 5-го покоління інтегрують у собі мережі IP. Така інтеграція може бути як повної, так і часткової. Тому ці мережі реалізують деякі нові способи обслуговування трафіку, з урахуванням особливостей трафіку IP. Передусім до цих способів належить можливість D2D комунікацій.

Використання прямих зв'язків дає змогу організувати спрямування частки виробленого в мережі IP трафіку безпосередньо між пристроями, наприклад терміналами користувачів, обминаючи базові станції та інші елементи МРЗ. Такий спосіб обслуговування трафіку в літературі називають «вивантаженням трафіку».

Цей спосіб вивантаження трафіку уможлиблює значне зниження обсягу й інтенсивності трафіку, що надходить на елементи МРЗ. Під час використання неліцензованих ділянок спектра забезпечується істотна економія радіочастотного ресурсу [6]. Такий спосіб, у цілому, дає можливість значно підвищити ефективність використання ресурсів мережі.

Низький рівень споживання енергії, доступна ціна на чіпсет, висока дальність зв'язку і можливість розгортання масивних пристроїв є основними вимогами до нових вирішень IoT, які в сукупності можна назвати енергоефективною мережею далекого радіуса дії (Low-Power Wide-Area Networks, LPWANs). Розроблення таких технологій було розпочато і розвивалося паралельно в рамках кількох провідних організацій зі стандартизації, зокрема IEEE, ETSI і 3GPP, а також окремими компаніями і невеликими промисловими консорціумами [1]. Дві з найпопулярніших технологій далекого зв'язку LPWAN, заснованих на запатентованих стандартах, це SIGFOX і LoRaWAN. Тоді як обидва варіанти працюють у зонах ISM, які не потребують ліцензування, і топологічно прив'язані до стільникової структури, провідні засади їх роботи принципово різняться.

Технологія SIGFOX працює з ультравузькосмуговими сигналами 100 і 600 Гц для відповідно висхідної і низхідної ліній зв'язку. Досяжна швидкість передавання даних по висхідній лінії зв'язку становить майже 100 біт/с, і хоча корисна ємність кадру не може перевищувати 12 байт, ефірний час кожного кадру становить не більш як 1 с. Іншими обмеженнями SIGFOX є використання єдиної схеми модуляції і кодування (modulation and coding scheme, MCS) і обмежена кількість пакетів висхідної і низхідної ліній зв'язку відповідно 140 і 4 на пристрій. Незважаючи на те, що пристрої SIGFOX відрізняються низьким енергоспоживанням і тривалим терміном служби батареї, властиві їм обмеження звужують спектр використання даної технології для майбутніх crowdsensing додатків.

На відміну від SIGFOX, LoRaWAN підтримує кілька схем модуляції і кодування (MCSs), результатом чого є збільшення швидкості передавання даних до 50 кбіт/с, що значно розширює діапазон додатків [2]. Незважаючи на те, що LoRaWAN, так само як і SIGFOX, слабо розгорнуті і реалізовані деякими виробниками чіпсетів на ринку, промислове підтримання цих технологій як з боку телекомунікаційного, так і автомобільного співтовариства досить низьке, оскільки жодну з технологій не було глобально стандартизовано. Отже, тоді як ці вирішення можуть знайти своє місце на ранніх стадіях розвитку IoT, їх довгострокове глобальне проникнення в наше життя може бути сумнівним.

І навпаки, сімейство технологій IoT 3GPP здебільшого орієнтувалося на масштабні сценарії з самих ранніх етапів їх розвитку. Так, у LTE Release 12 спрощену категорію Cat.0 обладнання користувача (User equipment, UE) було представлено з пропускнуою здатністю 20 МГц і піковими швидкостями передавання даних 1 Мбіт/с. Також у такої категорії пристроїв майже на 50% менша логічна складність порівняно із застарілою Cat.1. Нову категорію призначених для користувача пристроїв Cat. M1 було розроблено для роботи зі смугою частот 1,4 МГц, що дало змогу зменшити максимальну потужність передавання до 20 дБм, при цьому все ще забезпечуючи істотне покриття. Ця категорія є частиною LTE Release 13 і в кілька разів менш складна, ніж Cat. 1 UE. Крім того, для країн, що розвиваються з низьким рівнем проникнення LTE, було розроблено засноване на GSM вирішення IoT під назвою extended coverage GSM (EC-GSM). EC-GSM теоретично може забезпечити ємність стільника, а покриття збільшити до 20 дБ.

Згідно з останніми розробками 3GPP щодо стільникового IoT (CIoT) [3] було затверджено роботу над стандартом стільникового зв'язку для пристроїв телеметрії з низькими обсягами обміну даними (Narrowband IoT, NB-IoT). NB-IoT — вирішення, яке може бути легко інтегроване в наявні мережі. Смуга пропускання додатково звужується до 180 кГц, забезпечуючи більш високий коефіцієнт підсилення 20 дБ. Процес стандартизації NB-IoT було завершено, і цю технологію офіційно включено в LTE Release 13 [4].

У NB-IoT смуга пропускання і раніше була достатня для забезпечення можливості з'єднання з тисячами підімкнених машин: смугу можна поділити на 12 піддіапазонів по 15 кГц кожен із загальною швидкістю передавання даних до 250 кбіт/с у висхідній лінії зв'язку і до 227 кбіт/с у низхідному каналі. Це істотне масштабування в 5 МГц може забезпечити покриття до 10 км у місті і до 30 км для сільських районів, що є вельми актуальним. Більш звужена смуга пропускання також

сприяє спрощенню радіоелементів у пристроях кінцевого користувача, що, відповідно, зумовлює зменшення витрат на обладнання користувача. За тієї самої причини розміри транспортних блоків як у висхідній, так і в низхідній лініях зменшуються, а також спрощуються процедури сигналізації. У результаті можна стверджувати, що абонентське обладнання для NB-IoT є значно дешевшим, ніж для LTE, а за ціною конкурує з технологіями LoRaWAN і SIGFOX.

Висновки

Таким чином, NB-IoT є найперспективнішою технологією дійсно масового розгортання послуг Інтернету речей для мереж далекого радіуса дії.

Аналіз нових технологій, концепцій розвитку мереж і систем телекомунікацій показує, що в перспективі вирішальну роль в реалізації мереж і систем 5-го покоління відіграватимуть гетерогенні структури, засновані на інтеграції безлічі використовуваних радіотехнологій за умов надщільних мереж зв'язку. При цьому для створення перспективних мереж і систем зв'язку потрібно розроблення як нової методології дослідження гетерогенних мереж, так і комплексу взаємозв'язаних адекватних новому етапу розвитку мереж моделей і методів розподілу ресурсів.

Список використаної літератури

1. *On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology* / J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainenet [et al.] // *Proc. of International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*. 2017, December.
2. *Mikhaylov K., Petaejaejaervi J., Haenninen T. Analysis of Capacity and Scalability of the LoRa Low Power Wide Area Network Technology* // *Proc. of European Wireless Conference (EW)*. 2018, May.
3. *3GPP, Cellular system support for ultra-low complexity and low throughput Internet of Things (CIoT)*, 3GPP TR 45.820/r13, December 2018.
4. *3GPP, Standardization of NB-IOT completed*. URL: http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1785-nb_iot_complete, June 2016.
5. *On Lambert's W function: Tech. Rep. CS-93-03* / R. Corless, G. Gonnet, D. Hare, D. Jeffrey. University of Waterloo, 2018.
6. *An overview of load balancing in HetNets: old myths and open problems* / Jeffrey G. Andrews, Sarabjot Singh, Qiaoyang Ye [et al.] // *IEEE Wirelessm Communications*. 2014. Vol. 21. P. 18–25.

С. А. Жежкун, Л. Б. Векслер, С. Н. Брезицкий, Б. А. Тарасюк

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДАЛЬНЕГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

В статье основное внимание уделяется анализу перспективных технологий передачи трафика дальнего радиуса действия для реализации решений Интернета вещей. Приведен результат осмотра технических особенностей технологий, их преимущества и недостатки. Выполнен сравнительный анализ. Сделан вывод, что в перспективе решающую роль в реализации сетей 5-го поколения будут играть гетерогенные структуры, основанные на интеграции множества используемых радиотехнологий.

Ключевые слова: M2M; 5G; LTE; информационная система; LPWAN; IoT; SIGFOX; LoRaWAN; NB-IoT; crowdsensing; безопасность; фреймворк; платформа; беспроводные сенсорные сети.

S. A. Zhezhkun, L. B. Veksler, S. M. Brezitskiy, B. O. Tarasiuk

RESEARCH OF LONG RADIUS TECHNOLOGY FOR IMPLEMENTATION OF SOLUTIONS OF THE INTERNET OF THINGS

This article focuses on the analysis of promising technologies for long-range traffic transmission for the implementation of the Internet of Things. The result of the review of technical features of technologies, their advantages and disadvantages is given. A comparative analysis was performed. An analysis is made that in the future heterogeneous structures based on the integration of many used radio technologies will play a crucial role in the implementation of fifth generation networks and systems.

The Internet of Things (IoT) is heavily affecting our daily lives in many domains, ranging from tiny wearable devices to large industrial systems. Consequently, a wide variety of IoT applications have been developed and deployed using different IoT frameworks. An IoT framework is a set of guiding rules, protocols, and standards which simplify the implementation of IoT applications. The success of these applications mainly depends on the ecosystem characteristics of the IoT framework, with the emphasis on the security mechanisms employed in it, where issues related to security and privacy are pivotal. In this paper, we survey the security of the main IoT frameworks, a total of 8 frameworks are considered. For each framework, we clarify the proposed architecture, the essentials of developing third-party smart apps, the compatible hardware, and the security features. Comparing security architectures shows that the same standards used for securing communications, whereas different methodologies followed for providing other security properties.

Keywords: M2M; 5G; LTE; information system; LPWAN; IoT; SIGFOX; LoRaWAN; NB-IoT; crowdsensing; security; framework; platform; wireless sensor networks.