

УДК 004.722–047.37

DOI: 10.31673/2412-9070.2024.032831

В. В. БИЧКОВ¹, ст. викладач, ORCID: 0000-0002-1054-9182,

О. В. ЖИДКА², аспірантка, ORCID: 0009-0009-4272-9071,

¹ Національний авіаційний університет, Київ

² Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТОКОЛІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У МЕРЕЖАХ ІОТ

Для передачі даних в мережах ІоТ використовуються різні технології та протоколи, яких зараз налічується більше двадцяти. Метою дослідження є огляд та порівняльна характеристика основних технологій та протоколів передачі даних на довгі відстані в ІоТ мережах. Проведено порівняльний аналіз базових характеристик протоколів та технологій передачі даних мережі LPWAN: NB-IoT, Weightless, LoRa, SigFox.

Ключові слова: ІоТ; Інтернет речей; мережа; протокол; передача даних; технології.

Вступ

Інтернет речей (ІоТ) — концепція обчислювальної мережі фізичних об'єктів, оснащених вбудованими технологіями для взаємодії один з одним або з зовнішнім середовищем, яка розглядає організацію таких мереж як явище, здатне перебудувати економічні та суспільні процеси, що виключає з частини дій і операцій необхідність участі людини [1].

Інтернет речей вже став не просто технологічною концепцією, а реальністю, яка активно розвивається. Ця технологія має величезний потенціал для трансформації життя суспільства, і вже можна спостерігати її перші плоди. В якості «речей» в Інтернеті речей можуть виступати будь-які об'єкти, яким можна присвоїти ІР-адреси і які можна оснастити датчиками і пристроями для передачі даних. Це можуть бути як невеликі пристрої, такі як розумні годинники або розумні колонки, так і великі системи, такі як розумні міста або розумні поля. Інтернет речей має величезний потенціал для підвищення ефективності та комфорту нашого життя. Він може допомогти нам економити енергію, ресурси та гроші. Він може зробити наше життя більш безпечним і комфортним [2].

Інтернет речей уже допомагає мільярдам людей по всьому світу. Тисячі розумних, підключених пристроїв надають нові можливості та значно знижують витрати. Одним із ключових питань у концепції ІоТ є оптимальний підбір способу передачі інформації між вузлами. На основі аналізу відкритих джерел можна зробити висновок про перспективність використання для цих цілей наступних технологій: NB-IoT, Weightless, LoRa, SigFox.

Аналіз дослідження. У найближчому майбутньому до ІоТ будуть підключені мільярди пристроїв. Більша частина цих пристроїв буде працювати від батарейок. У зв'язку з цим, однією з основних вимог до таких пристроїв є тривалість роботи без втручання людини.

Для того, щоб забезпечити тривалу роботу пристроїв ІоТ, були розроблені нові мережі, які називаються LPWAN (*Long Power Wide Area Network*). Ці мережі характеризуються низькою потужністю передачі даних, що дозволяє їм працювати від батарейок протягом тривалого часу. До основних технологій цих мереж належать NB-IoT, Weightless, LoRa, SigFox та інші. Перераховані технології забезпечують тривалий час автономної роботи пристроїв та низьку вартість. Вони використовуються в таких сферах, як розумні міста, сільське господарство та охорона здоров'я [3]. Надалі буде наведено основні технології мережі LPWAN.

Метою дослідження є огляд та порівняльна характеристика основних технологій та протоколів передачі даних на довгі відстані в ІоТ мережах.

Основна частина

Технологія LoRaWAN викликала великий інтерес у галузі бездротового зв'язку. Це призвело до необхідності створення єдиного стандарту для глобальних мереж з низьким енергоспоживанням, таких як LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) [4]. Аббревіатура LoRa означає «Long Range». Цей метод модуляції дозволяє передавати дані на великі відстані з низьким енергоспоживанням. LoRa розроблений і запатентований компанією Semtech і використовується в мережах LPWAN. Протокол LoRaWAN є відкритим, що означає, що його може використовувати будь-яка компанія. Це сприяє поширенню технології LoRaWAN і її використанню в різних сферах. Технологія LoRaWAN має великий потенціал для розвитку ІоТ. Вона дозволяє підключати велику кількість пристроїв з низьким енергоспоживанням, що відкриває нові можливості для автоматизації та контролю.

Метод модуляції LoRa і заснований на технології розширення спектру. Це означає, що дані передаються у вигляді ширококутових імпульсів з частотою, яка змінюється з часом. Таке рішення

має кілька переваг. По-перше, воно робить передавач і приймач більш стійкими до перешкод. По-друге, воно дозволяє використовувати недорогі компоненти, такі як кварцові резонатори. LoRa працює в субгігагерцовому діапазоні частот, що також сприяє його енергоефективності [5].

Завдяки своїй високій чутливості (148 dbm) LoRa ідеально підходить для пристроїв з вимогами низького споживання електроенергії та високої стійкості зв'язку на великих відстанях.

SigFox — це технологія бездротового зв'язку, яка дозволяє підключати велику кількість пристроїв з низьким енергоспоживанням. Архітектура мережі SigFox схожа на архітектуру мереж стільникових операторів зв'язку (GSM та GPRS), але має ряд відмінностей. По-перше, SigFox працює в субгігагерцовому діапазоні частот, що дозволяє їй бути більш енергоефективною. По-друге, SigFox використовує більш простий метод модуляції, що також сприяє її енергоефективності [6].

SigFox має великий радіус дії, який може досягати 30-50 км у сільській місцевості та 3-10 км у містах. SigFox має потенціал для широкого застосування в різних сферах. Вона дозволяє підключати велику кількість пристроїв з низьким енергоспоживанням, що відкриває нові можливості для автоматизації та контролю.

SigFox використовує надзвужку смугу частот для передачі даних між пристроями та базовими станціями. Це дозволяє їй бути дуже енергоефективною, що важливо для пристроїв з низьким енергоспоживанням.

Пристрої SigFox передають свої повідомлення до базових станцій SigFox. Базові станції SigFox, у свою чергу, передають дані до хмарних серверів SigFox. Хмарні сервери SigFox передають дані на клієнтські сервери та ІТ платформи через інтерфейси прикладного програмування (APIs) [6].

Технологія SigFox спрямована на низьку вартість пристроїв, де потребується широка зона покриття.

NB-IoT — це стандарт стільникового зв'язку, який дозволяє підключати велику кількість пристроїв з низьким енергоспоживанням. Стандарт NB-IoT розроблений 3GPP і є розвитком мобільних стільникових мереж. Перша версія цього стандарту була представлена в 2016 році [7]. NB-IoT має ряд переваг, таких як: низьке енергоспоживання (пристрої NB-IoT можуть працювати від батарей протягом 10 років або більше); широка зона покриття (NB-IoT може забезпечити покриття навіть в важкодоступних районах); можливість швидкої модернізації мережі (NB-IoT можна легко додати до існуючих мереж стільникового зв'язку); висока надійність передачі даних.

Weightless-P — це технологія бездротового зв'язку з низьким енергоспоживанням, яка вико-

ристовується для Інтернету речей. Вона розроблена для пристроїв, які потребують тривалої роботи від батарей, двостороннього зв'язку та підтримки великої кількості пристроїв [8]. В якості особливостей цієї технології слід зазначити широку зону покриття, масштабованість мережі, довгий термін роботи батареї та безпеку.

Weightless-P підтримує кілька типів модуляції, але обмежений діапазон. Це дозволяє їй забезпечувати високу якість зв'язку, навіть у складних умовах. Одна базова станція Weightless-P може обслуговувати більше пристроїв, ніж базова станція іншої технології LPWAN. Крім того, базова станція Weightless-P має повний контроль над мережею та пристроями, що дозволяє їй забезпечувати більш високу безпеку та надійність.

Weightless-P — це більш розвинена технологія, ніж LoRa і SigFox. Вона підтримує гарантовану доставку повідомлень: повідомлення буде доставлено до кінцевого пристрою, навіть за умови слабого сигналу та наявності перешкод. Це дозволяє уникнути повторного відправлення повідомлень, що економить заряд пристроїв. Крім того, Weightless-P використовує метод підтримки адаптивної швидкості передавання інформації. Це означає, що швидкість передавання даних змінюється в залежності від умов навколишнього середовища.

Weightless-P підтримує адаптивну зміну швидкості передачі даних. Це означає, що швидкість передачі даних для кожного пристрою регулюється в залежності від його відстані до базової станції. Чим ближче пристрій до базової станції, тим вища швидкість передачі даних. Більш оптимізований та невеликий по розмірам протокол Weightless-P дозволяє зменшити вартість системи та простоту експлуатації. Це пов'язано з тим, що для реалізації цієї технології потрібно менше апаратного забезпечення та програмного забезпечення [9].

Все це дозволяє підвищити продуктивність мережі та продовжити термін служби батареї пристроїв. Крім того, Weightless-P має більш оптимізований та невеликий по розмірам протокол, ніж NB-IoT та інші стільникові M2M системи. Це дозволяє зменшити вартість системи та простоту експлуатації.

Технологія використовується в різних системах спостереження, моніторингу за станом здоров'я людини, розумних речах та ін.

Обговорення результатів проведеного дослідження. Провівши аналіз відкритих джерел, можна зробити висновок про перспективність використання для даних цілей наступних технологій: NB-IoT, Weightless, LoRa, SigFox (див. таблицю).

Вибір оптимальної технології LPWAN залежить від конкретних потреб застосування. Наприклад, NB-IoT є хорошим вибором для застосунків,

які вимагають довгого часу автономної роботи та низької вартості, таких як розумні міста та сільське господарство. Weightless є хорошим вибором для застосунків, які вимагають низької вартості та високої пропускну здатності, таких як промисловість та логістика. LoRa та SigFox є хорошими виборами для застосунків, які вимагають дуже низької вартості та дуже тривалого часу автономної роботи, таких як охорона здоров'я та моніторинг навколишнього середовища.

3. *A Survey on Sensor-based Threats to Internet-of-Things (IoT) Devices and Applications* // електрон. текст. дані. URL:

<https://arxiv.org/pdf/1802.02041.pdf>

4. *Технології інтернету речей. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» / Б. Ю. Жураковський, І. О. Зенів; КПІ ім. Ігоря*

Порівняльна характеристика технологій передачі даних на довгі відстані в мережі IoT

Характеристики	LoRaWAN	SigFox	NB-IoT	Weightless-P
Метод модуляції	CSS	DBPSK/GFSK	GFSK/BPSK/QPSK	GMSK/PSK
Діапазон	ISM	ISM	Ліцензований	ISM
Швидкість	0,3-50 кбіт/с	100 кбіт/с	UL: 1-144 кбіт/с DL: 1-200 кбіт/с	0,2-100 кбіт/с (адаптивна)
Смуга	Широкосмуг. до 500 кГц	Вузькосмуг. 100 кГц	Вузькосмуг. 200 кГц	Вузькосмуг. 12,5 кГц
Максимальний час автономної роботи пристроїв	> 10 років	До 20 років	До 10 років	3-5 років
Частота	868,8 МГц (Європа)	868,8 МГц (Європа)	800/900/1800 МГц	169/433/470/780/868/ 915 МГц
	915 МГц (США)	915 МГц (США)		
	433 МГц (Азія)			
Безпека	AES-64/128	AES з HMACs	AES-256	AES-128/256
Дальність	До 2,5 км у місті,	До 10 км у місті,	до 2 км	До 2 км у місті
	до 45 км за містом	до 50 км за містом		

Висновки

Сучасний світ потребує створення мережі фізичних об'єктів, які можуть взаємодіяти між собою та зовнішнім середовищем. Для реалізації цієї концепції необхідно використовувати різні види передачі даних, залежно від конкретних потреб.

Історія розвитку передачі даних поділила її на декілька типів: проводові, кабельні та бездротові. Незважаючи на розвиток бездротових систем, їх необхідно комбінувати з іншими типами передачі даних, а також між собою, щоб підвищити ефективність.

Список використаної літератури

1. *Що таке інтернет речей? Все, що потрібно знати про IoT прямо зараз.* URL:

<https://futurenow.com.ua/shho-take-internet-rechej-vse-shho-potribno-znaty-pryamo-zaraz/>

2. *IoT Explained — How Does an IoT System Actually Work?* // електрон. текст. дані URL:

<https://medium.com/iotforall/iot-explained-how-does-an-iot-system-actually-work-e90e2c435fe7>

Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с.

5. *MAC Layer Protocols for Internet of Things: A Survey* // електрон. текст. дані URL:

<https://www.mdpi.com/1999-5903/11/1/16/htm>

6. *Sigfox Technology* // електрон. текст. дані URL: <https://www.betasolutions.co.nz/Blog/17/Sigfox-Technology-Review>

7. *Z-Wave Technical Basics* // електрон. текст. дані URL:

<https://www.domotiga.nl/attachments/download/1075/Z-Wave%20Technical%20Basicssmall.pdf>

8. *Tison J. SVP Emerging Business, Panduit October 2015 3 Steps for Evolving IoT Architectures.* [Електронний ресурс]. URL:

<http://www.industrial-ip.org/en/industrial-ip/internet-of-things/3-steps-for-evolving-iot-architectures>.

9. *The advantages and disadvantages of Internet Of Things* // електрон. текст. дані URL:

<https://e27.co/advantages-disadvantages-internet-things-20160615/>

V. Bychkov, O. Zhydka

RESEARCH OF PROTOCOLS AND TECHNOLOGIES DATA TRANSMISSIONS IN IoT NETWORKS

Important functions of the concept of the Internet of Things are the facilitation of everyday life, improvement of efficiency and quality of work, energy saving, etc. More and more often, data from "things" are transferred to the public communication network and cloud services. Any objects in the physical world that can be assigned IP addresses and are capable of transmitting data can act as "things" in such a network. Various technologies and protocols are used for data transmission, of which there are currently more than twenty. In the near future, a large number of devices will be connected to the Internet of Things. Most of these devices will run on batteries. At the same time, one of the main characteristics is the duration of equipment operation without human intervention. In order to solve this problem, new networks were created specifically for the Internet of Things. These networks are called LPWANs. At the same time, one of the key issues is the optimal selection of the method of information transfer between nodes in the Internet of Things concept. After conducting an analysis of open sources, it is possible to conclude about the prospects of using the following technologies for these purposes: NB-IoT, Weightless, LoRa, SigFox.

The subject of research in the article is long-distance data transmission technologies and protocols used to send information from a sensor to a cloud service in the context of the Internet of Things. The purpose of the study is to review and compare the main technologies and protocols for long-distance data transmission in Internet of Things networks. A comparative analysis of the main characteristics of long-distance data transmission protocols and technologies of the LPWAN network was carried out: NB-IoT, Weightless, LoRa, SigFox. The results of the analysis are presented in the form of a table.

Experimental results have shown that the effectiveness of the considered protocols and technologies depends on various conditions of the communication network. In this regard, currently the choice of protocols for devices depending on operating conditions helps to solve the problem of saving resources, both energy consumption and guaranteed delivery. This is especially relevant in connection with the spread of the Internet of Things technology and the increase in the total number of "things".

Keywords: IoT; Internet of Things; network; protocol; data transmission; technologies.

