

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РАДІОТЕХНОЛОГІЙ МЕРЕЖ ІОТ

Кузьмінський А.Р., Носков В.І.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: artemschoolacc1@gmail.com; nvi2010@ukr.net

COMPARATIVE ANALYSIS OF RADIO TECHNOLOGIES FOR INTERNET OF THINGS NETWORKS

The modern development of the Internet of Things (IoT) creates a need for efficient radio technologies for data transmission in networks of various scales and application specifics. IoT radio technologies are becoming particularly relevant in the context of smart city development, industrial Internet of Things, agricultural systems, and conventional household solutions. The primary objective of this study is to compare various radio technologies based on their technical specifications, such as energy consumption, communication range, bandwidth, and deployment costs, which allows for the identification of optimal solutions for different application scenarios.

Сучасний розвиток Інтернету речей (IoT) створює потребу у використанні ефективних радіотехнологій для передачі даних у мережах різного масштабу та специфіки застосування. Радіотехнології IoT набувають особливої актуальності в умовах розвитку смарт-міст, промислового Інтернету речей, аграрних систем та і у звичайних побутових рішеннях. Основна мета дослідження полягає у порівнянні різноманітних радіотехнологій з огляду на їх технічні характеристики, такі як енергоспоживання, дальність зв'язку, пропускну здатність та вартість розгортання, що дозволяє визначити оптимальні рішення для різних сценаріїв їх застосування.

Інтернет речей докорінно змінив концепцію підключення, розширивши її від взаємодії між людьми до інтеграції майже всіх пристроїв, здатних до зв'язку. Головною метою такої масштабної мережі взаємопов'язаних об'єктів є підвищення якості життя та стимулювання економічного розвитку шляхом упровадження IoT-рішень у різні сфери, зокрема: автомобільну промисловість, моніторинг довкілля, медицину, промислову автоматизацію, носимі пристрої, автоматизоване сільське господарство, інтелектуальні енергомережі тощо.

Проте для повноцінного функціонування IoT необхідно вирішити низку важливих технічних питань, серед яких: ідентифікація пристроїв, сенсорика, комунікація, обчислювальні потужності, надання сервісів та інтерпретація даних. У цьому контексті важливу роль відіграють комунікаційні технології, які забезпечують взаємозв'язок між різними гетерогенними пристроями для реалізації очікуваних послуг.

Інтернет речей (IoT) використовує різноманітні радіотехнології для з'єднання пристроїв. Для енергоефективного зв'язку на малих дистанціях Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) запропонував два ключові стандарти: IEEE 802.15.4 та IEEE 802.11 (WiFi). Провідні організації,

такі як Bluetooth, SIG та ZigBee Alliance, адаптували ці стандарти, що дозволило створити економічно ефективні рішення для бездротового зв'язку на короткі відстані. Водночас поширені радіотехнології SigFox та LoRa, які забезпечують велику дальність передачі з низьким енергоспоживанням. Порівняння поширених радіотехнологій IoT наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння радіотехнологій IoT.

Технологія	Частота	Дальність	Швидкість	Енерго- споживання	Переваги	Недоліки
Wi-Fi	2,4 ГГц / 5 ГГц	До 100 м	11–9600 Мбіт/с	Високе	Висока швидкість, велика кількість пристроїв	Високе споживання енергії, мала дальність
Bluetooth (BLE)	2,4 ГГц	До 100 м (BLE)	До 2 Мбіт/с	Низьке	Енергоефективність, сумісність зі смартфонами	Мала дальність, обмежена кількість пристроїв
Zigbee	2,4 ГГц	До 100 м	До 250 Кбіт/с	Низьке	Мережева топологія, низьке споживання	Низька швидкість, обмежена дальність
Z-Wave	868 МГц (ЄС) / 908 МГц (США)	До 100 м	До 100 кбіт/с	Низьке	Енергоефективність, хороша прохідність через стіни	Менша підтримка пристроїв, обмежена пропускну здатність
LoRa (LoRaWAN)	868 МГц (ЄС) / 915 МГц (США)	2–15 км	До 50 кбіт/с	Дуже низьке	Велика дальність, робота в складних умовах	Низька швидкість, ліцензування частот у деяких країнах
NB-IoT	Ліцензовані діапазони (700-2100 МГц)	1–15 км	До 250 кбіт/с	Низьке	Інтеграція з мобільними мережами, висока надійність	Залежність від операторів, плата за підключення
Sigfox	868 МГц (ЄС) / 902 МГц (США)	10–50 км	До 100 біт/с	Дуже низьке	Велика дальність, енергоефективність	Дуже низька швидкість, обмежена підтримка

Вибір технології залежить від вимог щодо дальності зв'язку, енергоспоживання, швидкості передачі даних та вартості.

Аналіз наведених радіотехнологій дозволяє надати наступні рекомендації щодо їх використання:

- Wi-Fi – підходить для високошвидкісного IoT (розумні будинки, камери, потокове відео);
- Bluetooth (BLE) – ідеальний для переносних пристроїв (фітнес-браслети, розумні годинники);
- Zigbee, Z-Wave – добре працюють у розумних будинках та автоматизації;
- LoRa, Sigfox – ефективні для розподілених датчиків (розумне місто, аграрні рішення);
- NB-IoT – підходить для IoT у сфері індустрії, транспорту та інфраструктури.

Література

1. Elkhodr, M., Shahrestani, S., & Cheung, H. (2016). "Emerging Wireless Technologies in the Internet of Things: A Comparative Study." *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*. DOI: 10.5121/ijwmn.2016.8505
2. Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 31 (70), № 6, 2020, Частина 1.
3. Морін, Е., Маман, М., Гвізетті, Р., & Дуда, А. (2017). "Порівняння тривалості роботи пристроїв у бездротових мережах для Інтернету речей." DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2688279.
4. Al-Sarawi, S., Anbar, M., Alieyan, K., & Alzubaidi, M. (2017). "Internet of Things (IoT) Communication Protocols: Review." 2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT). DOI: 10.1109/ICITECH.2017.8079928.
5. Bhoyar, P., Sahare, P., Dhok, S. B., & Deshmukh, R. B. (2018). "Communication Technologies and Security Challenges for Internet of Things: A Comprehensive Review." DOI: 10.1016/j.aee.2018.11.031.
6. Badihi, B. (2021). Analysis and characterization of short-range and low-power radio technologies for Internet of Things: Protocol and Application. [Doctoral Thesis, Aalto University]. ISBN:978-952-64-0240-6