

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОТОКОЛІВ ФІЗИЧНОГО ТА КАНАЛЬНОГО РІВНЯ МЕРЕЖ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Семенюк Ю.С., Носков В.І.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: semeniukyulianka333@gmail.com

TECHNOLOGIES AND PROTOCOLS OF PHYSICAL AND DATA LINK LAYERS ANALYSIS FOR INTERNET OF THINGS NETWORKS

The main technologies and protocols of the physical and data link layer of the Internet of Things (IoT) networks are considered. Their features, challenges, and limitations are analyzed, and a comparative analysis is performed to determine the optimal solutions for different application scenarios. The results based on modeling of IoT networks in Cisco Packet Tracer are presented and recommendations for choosing technologies depending on the needs of users are provided.

Розглянуто основні технології та протоколи фізичного та каналного рівнів мереж Інтернету речей (IoT). Проаналізовано їх особливості, проблеми та обмеження, проведено порівняльний аналіз для визначення оптимальних рішень для різних сценаріїв застосування. Представлено результати, отримані на основі моделювання мереж IoT в Cisco Packet Tracer, та надано рекомендації щодо вибору технологій в залежності від потреб користувачів.

Зростання популярності IoT стимулює розвиток технологій зв'язку, особливо на фізичному та каналному рівнях. Ефективність IoT-мереж залежить від характеристик обраних стандартів і протоколів. Дослідження цих аспектів дозволяє визначити оптимальні рішення для стійких IoT-систем.

Архітектура IoT-мереж має рівневу модель: фізичний рівень відповідає за передачу сигналів, а каналний — за з'єднання вузлів і контроль доступу. Основні виклики – обмежені ресурси пристроїв, енергоспоживання, безпека та масштабованість.

Фізичний рівень охоплює LPWAN (LoRa, Sigfox, NB-IoT, LTE-M), BLE, Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, 4G, 5G. Канальний рівень включає стандарти IEEE 802.15.4 (Zigbee, Thread, 6LoWPAN), IEEE 802.11 (Wi-Fi), LPWAN-протоколи (LoRaWAN, Sigfox).

Вибір технологій та протоколів залежить від дальності зв'язку, швидкості передачі, енергоспоживання та умов застосування. Наприклад, для розумного міста важлива велика зона покриття та низьке енергоспоживання, тоді як у промисловості пріоритетом є надійність і швидкість передачі. Нижче наведено

порівняльний аналіз технологій та протоколів IoT для різних сценаріїв використання:

Таблиця 1. Порівняльний аналіз технологій IoT.

Технологія/ Протокол	Дальність зв'язку	Швидкість передавання даних	Енергоспоживання	Тип мережі
LoRaWAN	До 15 км	0.3-50 Кбіт/с	Низьке	LPWAN
NB-IoT	До 10 км	20-250 Кбіт/с	Середнє	LPWAN
Sigfox	До 50 км	0.1 Кбіт/с	Низьке	LPWAN
Zigbee	До 100 м	20-250 Кбіт/с	Середнє	PAN (персональна мережа)
Wi-Fi	До 100 м	До 9.6 Гбіт/с	Високе	WLAN (локальна мережа)
5G	До 1 км	До 10 Гбіт/с	Високе	Мобільна мережа

Аналіз технологій показує, що:

1. LoRaWAN та NB-IoT підходять для масштабованих IoT-мереж з низьким енергоспоживанням.
2. Zigbee та BLE використовуються для локальних сенсорних мереж.
3. Wi-Fi та 5G забезпечують високу пропускну здатність, але споживають більше енергії.

Для різних сценаріїв застосування оптимальними є різні рішення: деякі технології краще підходять для розгортання у масштабних мережах із низьким енергоспоживанням, тоді як інші забезпечують високу швидкість передавання даних, що критично для промислових застосувань.

Для оцінки ефективності технологій та протоколів фізичного та каналного рівня була досліджена модель IoT-мережі розумного будинку, створеної у Cisco Packet Tracer. У моделі інтегровані розумні лампи, датчики руху, IP-камери, термостат і дверні замки, що взаємодіють через Wi-Fi, Zigbee та MQTT. IoT-контролер керує пристроями та забезпечує їх зв'язок.

Wi-Fi використовується для основних IoT-пристроїв, Zigbee – для малопотужних сенсорів, а MQTT оптимізує обмін даними з хмарним сервером. Моделювання показало, що Zigbee енергоефективний, але має обмежений радіус дії, Wi-Fi забезпечує швидку передачу даних, а MQTT мінімізує затримки.

На рис. 1 представлена схема IoT-мережі, що ілюструє використані технології.

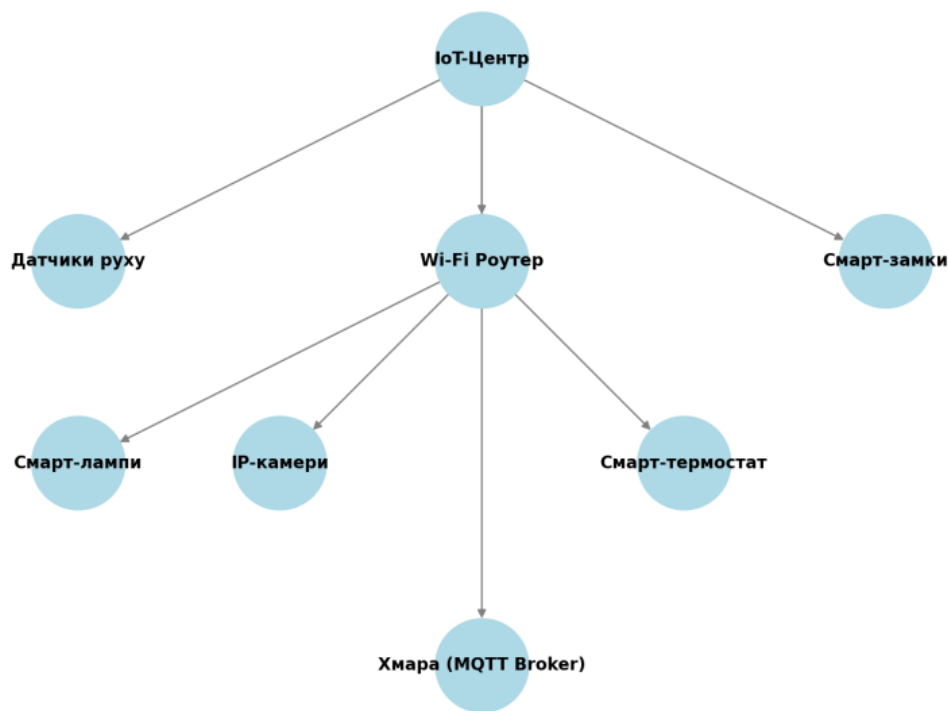


Рис.1. Схема IoT-мережі для розумного будинку.

Результати підтверджують, що комбінація Wi-Fi, Zigbee та MQTT забезпечує баланс між швидкістю, енергоефективністю та стабільністю з'єднання.

Література

1. Harari, Y. N. Homo Deus: A Brief History of Tomorrow / Yuval Noah Harari. – London: Vintage, 2017. – 513 p.
2. Gislason, D. Zigbee Wireless Networking / Drew Gislason. – Burlington: Newnes, 2008. – 344 p.
3. Heydon, R. Bluetooth Low Energy: The Developer's Handbook / Robin Heydon. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2013. – 368 p.
4. Hillar, G. C. MQTT Essentials: A Lightweight IoT Protocol / Gastón C. Hillar. – Birmingham: Packt Publishing, 2017. – 178 p.
5. Hersent, O., Boswarthick, D., Elloumi, O. The Internet of Things: Key Applications and Protocols / Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. – Chichester: Wiley, 2012. – 360 p.
6. Cirani, S., Ferrari, G., Picone, M., Veltri, L. Internet of Things: Architectures, Protocols and Standards / Simone Cirani, Gianluigi Ferrari, Marco Picone, Luca Veltri. – Chichester: Wiley, 2018. – 250 p.