

## **АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІОТ МЕРЕЖ**

**Лапа Є.О., Лисенко О.І., Савченко А.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: lapa.yegor@gmail.com*

### **ANALYSIS OF TECHNOLOGIES AND OPERATING PARAMETERS OF IOT NETWORKS**

This article describes and compares three main IoT communication technologies: Bluetooth Low Energy, 6LowPAN and ZigBee, using the following operating parameters – distance range, network throughput, and packet delay. All technologies have its own advantages and disadvantages, but as «golden mean» we can consider 6LowPAN.

Для побудови мережі інтернету речей (IoT) на сьогодні розробляються досить багато різних технологій, серед яких відомі такі як: IEEE 802.11 (WiFi), IEEE 802.15.4 (ZigBee), Bluetooth Low Energy (BLE), 6LowPAN (Thread), LoRaWAN, Z-wave, SIGFOX, NFC та інші [1]. Однак в літературі недостатньо приділено уваги практичному порівнянню даних технологій, що ускладнює вибір раціонального рішення для тої чи іншої задачі. Тому метою даної роботи є порівняльний аналіз основних особливостей та характеристик таких технологій як BLE, 6LowPAN (Thread) і LoRaWAN та розробка рекомендації щодо їх застосування.

Однією із найрозповсюдженіших технологій, яка тісно пов'язана з нашим життям стала BLE (Bluetooth Low Energy). Енергоефективність BLE зробила його кращим та одним із найбільш сумісних варіантів IoT. Наприклад, BLE є більш енергоефективним, ніж ZigBee, Bluetooth classic та Wi-Fi. Це означає, що BLE може краще підтримувати підключення пристроїв IoT протягом довших періодів, ніж зазначені вище (особливо, коли пристрої працюють від батареї). Крім того, низька швидкість передачі даних BLE робить її надзвичайно придатною для використання в тих випадках, коли потрібно обмінюватися лише даними стану, наприклад датчиками. У наш час це також домінуюча технологія низького енергоспоживання у смартфонах, на відміну від ZigBee, Z-Wave, LoRa та інших [2].

Ще однією технологією, яка щільно пов'язана з нашим життям є 6LowPAN. 6LowPAN – відкритий стандарт, визначений в RFC 6282 Робочою групою інженерів Інтернету (IETF). Особливість 6LowPAN полягає в тому, що він був спочатку задуманий, щоб підтримувати малопотужні бездротові мережі 2,4 ГГц, побудовані на базі IEEE 802.15.4, але тепер цей стандарт адаптований і використовується в безлічі інших середовищ мережевий передачі, включаючи бездротові мережі в діапазонах нижче 1 ГГц, Smart Bluetooth, передачу даних по лініях електропередачі (PLC) і малопотужні мережі Wi-F [3].

Одним з перших гравців в технологіях протоколів IoT є ZigBee. Основними ідеями цієї технології є швидкість передачі даних може становити від 20 до 250 кбіт/сек, Дальність дії – до 100 м. Завдяки низькому рівню

енергоспоживання мережі ZigBee можуть працювати по кілька років від однієї батареї. Особливістю ZigBee є можливість підтримки комірчастої топології, що дозволяє мережі самовідновлюватися і продовжувати передачу пакетів даних при обриві зв'язку між вузлами.

Порівняємо характеристики технологій за різними показниками, скориставшись дослідженнями Ericsson и Silabs. В таблиці 1 наведено порівняння характеристик дальності роботи при різній вихідній потужності.

Таблиця 1. Порівняння дальності роботи протоколів IoT.

| Вихідна потужність [дБм] | 0   | +4  | +8  |
|--------------------------|-----|-----|-----|
| Bluetooth Low Energy     | 248 | 276 | 345 |
| 6LowPAN                  | 209 | 270 | 328 |
| ZigBee                   | 196 | 231 | 280 |

Виходячи з даних таблиці, можна зробити висновок, що найбільшу дальність дає Bluetooth Low Energy, на другому місці йде 6LowPAN, яка гірша на 2-5%, а в кінці технологія ZigBee з показниками гірше на 16-18%.

Розглянемо пропускну здатність в залежності від кількості стрибків (рис.1).

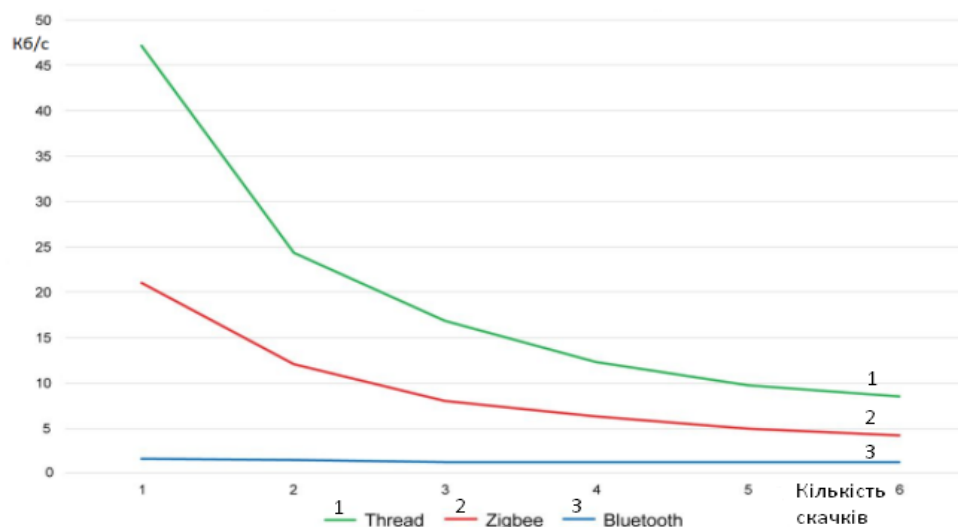


Рис.1. Пропускна здатність в залежності від кількості скачків (hop).

Виходячи з графіка, можна зробити висновок, що 6LowPAN показує швидкість 46 кбіт/с, а це 75% від символної швидкості радіопередавача (62,5 кбіт/с). Це означає, що висока ефективність протоколів маршрутизації. Порівнявши ZigBee з 6LowPAN можна зробити висновок, що перша в свою чергу поступається приблизно у 2 рази при рівних умовах. Bluetooth Low Energy майже не залежить від кількості вузлів і складає приблизно 2-3 кбіт/с.

Також порівняємо затримку в залежності від розмірів пакетів даних (рис.2).

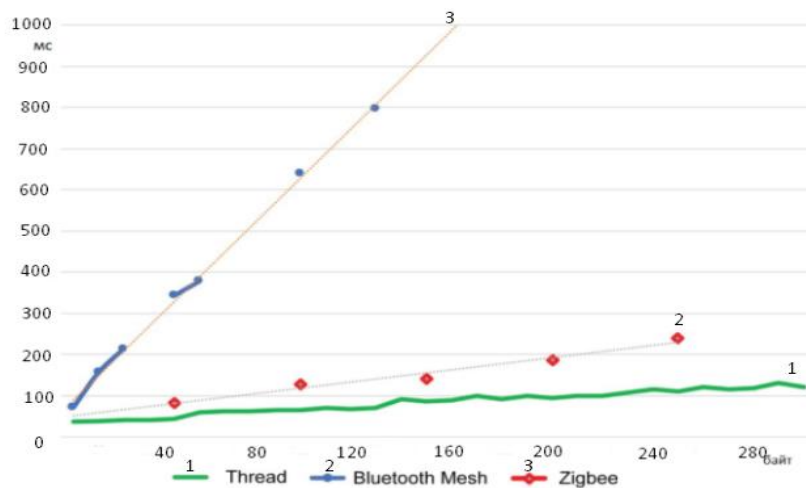


Рис.2. Затримка в залежності від розмірів пакетів даних.

Із графіка видно, що при невеликій кількості передачі даних всі протоколи забезпечують приблизно однаковий результат. Всі мережі забезпечують лінійну залежність затримок залежно від розмірів передачі даних. Найкраще себе показала технологія 6LowPAN. ZigBee показує гарну ефективність, але і велику фрагментацію на рівні додатків. Затримки в Bluetooth Low Energy виростають із збільшенням передачі даних. Це виникає із-за малих розмірів пакетів та сегментації [4].

Отже, можемо зробити наступний висновок, що на сьогоднішній день існує досить багато технологій, які роблять IoT все більш доступним. Одні з них вже працюють не один рік, інші лише розпочинають свій шлях, тому кожна з них має свої переваги, але в свою чергу і недоліки. Порівнявши параметри 6LowPAN, ZigBee та Bluetooth Low Energy, не можна однозначно вирішити який протокол використовувати сьогодні для IoT мережі. На нашу думку 6LowPAN є яскравим представником тієї технології, яка скрізь має «золоту середину». У неї не найкраща дальність роботи, але близька до лідера, пропускна здатність висока, отже і ефективність також, а затримка нижча в порівнянні з її конкурентами.

## Література

1. Wireless Protocols for Internet of Things [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://medium.com/blueeast/wireless-protocols-for-internet-of-things-7ed0bd860c66>.
2. Д. Денисов, К. Брагін “Введення в концепцію "інтернету речей" (IoT)” [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://nag.ru/articles/article/107810/vvedenie-v-kontseptsuyu-interneta-veschey-iot.html> – Дата публікації: 30.09.2020.
3. Mohammad Afaneh “Bluetooth Low Energy (BLE) and the Internet of Things (IoT)” [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.linkedin.com/pulse/bluetooth-low-energy-ble-internet-things-iot-mohammad-afaneh/> – Дата публікації: 26.04.2017.
4. Практическое сравнение ячеистых сетей (thread, zigbee, ble mesh) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://r-iot.org/2019/05/12/практическое-сравнение-ячеистых-сет/> – Дата публікації: 12.05.2019.