

ОСОБЛИВОСТІ ІОТ-ПРОТОКОЛУ THREAD НА ПРИКЛАДІ БАЗОВОЇ ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ

Токар Л.О., Муха Р.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського,
Україна

E-mail: liubov.tokar@nure.ua,
rostyslav.mukha@nure.ua

Abstract

The problems of using the Thread protocol in heterogeneous IoT networks are shown. It is proved that the main problem in IoT networks is the limited integration of communication protocols, in particular with networks based on Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth. The main advantages of the Thread protocol as a universal solution for the operation of IoT network components are presented. The Thread protocol stack is analyzed and it is proved that its structure is a combination of several standards. The architecture of the Thread network is reviewed from the point of view of designing for IoT applications.

Протокол Thread набув значної популярності як основа для створення надійних та енергоефективних ІоТ-мереж. Його початкова орієнтація на автоматизацію розумного будинку трансформувалася у більш універсальне рішення, яке активно впроваджується у комерційні системи та розподілені мережі дистанційного моніторингу, що забезпечується його архітектурними перевагами, це й визначає актуальність роботи.

Основними перевагами Thread, як універсального рішення для роботи компонентів ІоТ-мереж є децентралізоване управління, безшовна інтеграція з ІРv6 через 6LoWPAN, що сприяє сумісності з іншими ІоТ-протоколами та стабільним з'єднанням між пристроями.

Протокольний стек Thread є поєднанням кількох стандартів, включаючи стандарт Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.15.4, 6LoWPAN та інші стандарти [1, 2]. Він містить шість рівнів.

Фізичний рівень Physical Layer (PHY) стандарту IEEE 802.15.4 використовується для передачі та приймання пакетів у фізичному середовищі. Фізичний і канальний рівень Media Access Control (MAC) в протоколі Thread визначені згідно зі стандартом IEEE 802.15.4. На фізичному рівні протокол працює у вільному Industrial, Scientific, and Medical (ISM) діапазоні частотою 2,4 ГГц, поділеному на 16 каналів, які нумеруються від 11 до 26. Цей рівень забезпечує швидкість передачі даних 250 кбіт/с.

MAC-рівень стандарту IEEE 802.15.4 відповідає за обробку та управління повідомленнями, контролем перевантажень та корекцію помилок. Використовується механізм уникнення колізій – Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance (CSMA-CA), який дозволяє пристроям Thread ефективно використовувати смугу передачі. Серед функцій цього рівня є управління маячками – короткими контрольними повідомленнями, доступом до каналу, управлінням гарантованими часовими інтервалами (Guaranteed Time Slot, GTS) тощо [3].

На мережному рівні діє протокол IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN) та забезпечує роботу мережі Thread, здійснюючи адаптацію між ІР-рівнем й MAC-рівнем стандарту IEEE 802.15.4. На цьому рівні відбувається фрагментація пакетів, коли вони перетворюються у формат ІРv6 під час передачі між MAC-рівнем і ІР-рівнем, що дозволяє зменшити розмір кадрів. Це робить протокол 6LoWPAN ідеальним для пристроїв з низьким енергоспоживанням і обмеженою пропускну здатністю, при цьому протокол 6LoWPAN підтримує як комірчасту, так і зіркоподібну топологію мереж.

Оскільки протокол Thread підтримує архітектуру IPv6, то для призначення адрес маршрутизаторів використовується Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6). Кадри IPv6 мають розмір 40 байт і включають 128-бітове адресне поле, що забезпечує значно більшу кількість адрес у порівнянні з Інтернет-протоколом четвертої версії Internet Protocol version (4 IPv4). Локальні адреси маршрутизаторів зберігаються в таблиці маршрутизації, що забезпечує постійне підключення та доступність маршрутів. Протокол Thread використовує маршрутизацію з вектором відстані, яка спрямована на максимальне передавання інформації про маршрути в одному повідомленні. Вартість маршрутизації визначається за допомогою механізму Mesh Link Establishment (MLE) [4,2].

На транспортному рівні працює протокол дєйтаграм користувача User Datagram Protocol (UDP), що використовується в Thread для обміну повідомленнями між пристроями. Протокол також підтримує Transmission Control Protocol (TCP) для комунікації на рівні додатків. Протокол UDP дозволяє здійснювати обмін повідомленнями з мінімальними накладними витратами на з'єднання, забезпечуючи швидку та ефективну передачу даних. Для додатків, які потребують гарантії доставки даних, доступний протокол TCP, що забезпечує надійність шляхом виявлення перевантажень, підтвердження та повторної передачі пакетів [4].

Протокол Thread не залежить від конкретного прикладного рівня, що дозволяє використовувати різні прикладні протоколи для підключення пристроїв, такі як Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) або Constrained Application Protocol (CoAP). Водночас, Thread забезпечує підтримку багатоадресної передачі та обміну повідомленнями за допомогою UDP як основних сервісів прикладного рівня для комунікації через IP. Стек протоколу Thread показано на рис. 1 [4].

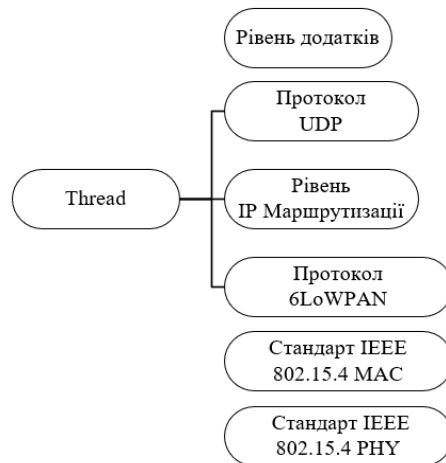


Рис. 1. Стек протоколу Thread

У мережах, заснованих на стандарті IEEE 802.15.4, використовуються загальноприйняті терміни: координатор, маршрутизатор та кінцевий пристрій. Проте архітектура мережі Thread впроваджує специфічні ролі та функціональні можливості, що сприяє підвищенню прозорості та спрощенню індивідуального проектування мережі для застосувань в IoT.

Мережа Thread підтримує модель з'єднання, де кінцеві пристрої підключаються виключно до проміжного вузла, тоді як всі маршрутизатори об'єднані між собою і формують комірчасту мережу. Різні пристрої в мережі Thread виконують різні ролі в залежності від їх функціональних можливостей, що показано на рис.2 [4].

Кінцевий пристрій є пристроєм з обмеженою функціональністю та низьким енергоспоживанням, подібно до аналогів в інших безпроводових протоколах, таких як ZigBee й Bluetooth. Протокол Thread надає спеціальні можливості для оптимізації енергоспоживання, наприклад, дозволяє кінцевим пристроям переходити в сплячий режим для збереження енергії. На відміну від деяких інших протоколів, кінцеві пристрої Thread завжди підключені до Thread маршрутизатора, який залишається постійно активним. Thread також запроваджує концепцію сумісності кінцевих пристроїв, що відповідають вимогам маршрутизатора Router Eligible End Devices (REEDs), які можуть бути підвищені до статусу маршрутизаторів для покращення продуктивності мережі.

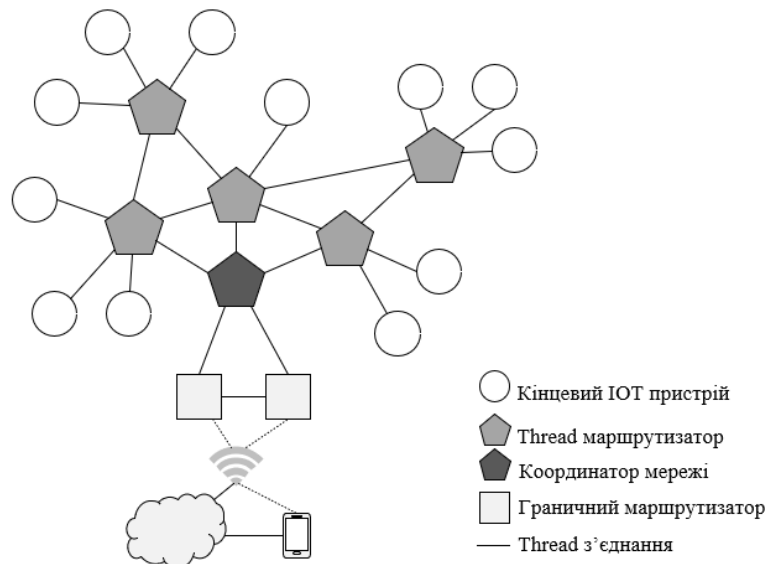


Рис. 2. Модель базової топології та типи пристроїв мережі Thread

Маршрутизатори Thread за своєю функціональністю подібні до маршрутизаторів інших протоколів, таких як ZigBee і Bluetooth, з точки зору маршрутизації. Ці пристрої потребують постійного джерела живлення та також відомі як повнопоточкові пристрої Full Thread Devices (FTD). Усі маршрутизатори в мережі з'єднані між собою, утворюючи mesh-мережу. Крім того, маршрутизатори Thread виконують функції підключення та введення в експлуатацію кінцевих вузлів. Ці маршрутизатори можуть також ставати граничними маршрутизаторами або координаторами мережі.

Координатором мережі є маршрутизатор або граничний маршрутизатор, який управляє мережею Thread. Він виконує всі функції звичайного маршрутизатора, а також додаткові завдання, такі як призначення IP-адрес, підвищення або пониження статусу маршрутизаторів для REED, і розповсюдження інформації про конфігурацію мережі серед інших маршрутизаторів. На відміну від інших безпроводових протоколів, таких як Bluetooth і ZigBee, які мають центральні пристрої або координатори, у разі виходу з ладу координатора Thread, новий автоматично обирається іншими маршрутизаторами мережі для виконання функцій управління мережею.

В свою чергу граничним маршрутизатором є пристрій, який з'єднує мережу Thread із зовнішніми мережами і забезпечує вхід та обмін даних в мережі. Такий маршрутизатор також можна розглядати як шлюз мережі Thread до глобального Інтернету або хмари. Він може підтримувати підключення до зовнішньої мережі з використанням технологій Wi-Fi або Ethernet. На відміну від інших мереж, де зазвичай існує один шлюз, у мережі Thread може бути кілька граничних маршрутизаторів, що усуває ризик виникнення єдиної точки відмови.

Таким чином, для стабільної роботи компонентів гетерогенних IoT-мереж важливим фактором є взаємодія між пристроями, які працюють на різних рівнях функціональності. Слід зазначити, що протокол Thread забезпечує безпечне та надійне з'єднання між пристроями й дозволяє масштабувати систему з мінімальними затратами.

Література

1. Rzepecki, W.; Ryba, P. IoTSP: Thread Mesh vs. Other Widely used Wireless Protocols Comparison and use Cases Study. In Proceedings of the 2019 7th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), Istanbul, Turkey, 26–28 August 2019. P. 291–295.
2. Herrera, T.; Núñez, F. Design and Prototyping of a Thread Border Router Based on a Non Network-Co-Processor Architecture. P. 60613–60625.
3. Kurunathan, H.; Severino, R.; Koubaa, A.; Tovar, E. IEEE 802.15.4e in a Nutshell: Survey and Performance Evaluation. IEEE Commun. Surv. Tutorials 2018, 20, 1989–2010.
4. Thread Network Fundamentals, White Paper. September [Електронний ресурс]. – 2024. URL: <https://www.threadgroup.org/support> (дата звернення 10.10.2024).