

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ BLUETOOTH MESH ТА ZIGBEE ДЛЯ ПОБУДОВИ МАСШТАБОВАНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Вінницький Національний Технічний Університет

## Анотація

У роботі проведено порівняльний аналіз бездротових протоколів Bluetooth Mesh та ZigBee у контексті побудови масштабованих сенсорних мереж. Розглянуто архітектурні відмінності, принципи маршрутизації та енергоефективність. Обґрунтовано доцільність використання Bluetooth Mesh для систем освітлення та взаємодії зі смартфонами, а ZigBee для мереж з автономним живленням сенсорів.

**Ключові слова:** IoT, ZigBee, Bluetooth Mesh, сенсорні мережі, енергоефективність.

## Abstract

The paper presents a comparative analysis of Bluetooth Mesh and ZigBee wireless protocols in the context of building scalable sensor networks. Architectural differences, routing principles, and energy efficiency are examined. The feasibility of using Bluetooth Mesh for lighting systems and smartphone interaction, and ZigBee for battery-powered sensor networks is substantiated.

**Keywords:** IoT, ZigBee, Bluetooth Mesh, sensor networks, energy efficiency.

## Вступ

Коли інженер проектує систему розумного будинку чи промислової сенсорної мережі, він стикається з вибором транспорту для даних. Традиційний Wi-Fi не підходить через високе споживання енергії, а топологія зірка не покриває великі площі. Залишається вибір між Mesh-мережами. На ринку є два лідери: ZigBee, який роками був стандартом де-факто, та Bluetooth Mesh, що активно набирає популярність. Помилка у виборі на старті може коштувати дорого, від постійної заміни батарейок у датчиках до повної непридатності мережі при збільшенні кількості пристроїв.

## Відмінності в архітектурі

Фундаментальна різниця між протоколами полягає у логіці доставки повідомлень. ZigBee, працюючи на базі стандарту IEEE 802.15.4, нагадує класичну поштову службу з чіткою адресацією. Мережа тут строго ієрархічна, є головний координатор, стаціонарні роутери та кінцеві пристрої, а дані передаються конкретним ланцюжком за алгоритмом AODV. Це забезпечує чистоту радіоефіру, проте має вразливість. Якщо проміжний роутер вийде з ладу або зависне, передача зупиниться на час пошуку нового маршруту. Натомість Bluetooth Mesh використовує принцип керованого лавиноподібного розсилання. Тут відсутні жорсткі маршрути, пристрій просто транслюється повідомлення в ефір, а всі сусіди його підхоплюють. Завдяки механізмам TTL та кешуванню дублікатів мережа не перевантажується, а повідомлення доходять до адресата всіма можливими шляхами одночасно, забезпечуючи високу надійність навіть при випадінні окремих вузлів, хоча це і створює більший рівень шуму в ефірі.

ZigBee обмежений швидкістю 250 кбіт/с, чого цілком достатньо для простих команд на кшталт увімкни світло чи телеметрії, але замало для складніших завдань. Bluetooth Mesh, використовуючи радіоканал BLE, має швидкості 1–2 Мбіт/с. Це дозволяє масове оновлення прошивок та передачі великих пакетів даних. Додатковою перевагою Bluetooth є використання трьох каналів оголошень (37, 38, 39) зі стрибкоподібною зміною частоти, що робить його значно стійкішим до перешкод від Wi-Fi порівняно зі статичним каналом ZigBee.

В аспекті енергонезалежності ZigBee залишається беззаперечним лідером завдяки архітектурі, що дозволяє кінцевим пристроям перебувати у глибокому сні 99,9% часу, прокидаючись лише для миттєвої передачі статусу батьківському роутеру. Bluetooth Mesh, який початково створювався для пристроїв з постійним живленням, використовує для автономної роботи функцію Friendship. Хоча це дозволяє

сплячому датчику отримувати повідомлення через сусідній вузол, така схема все одно споживає більше енергії через складнішу синхронізацію та вищі пікові струми, ніж режими сну ZigBee.

Зі сторони безпеки обидва стандарти використовують надійне шифрування AES-128, Bluetooth має архітектурну перевагу в розмежуванні ключів доступу: окремо для мережі та окремо для додатків. Це означає, що навіть при компрометації мережевого рівня злоумисник не отримає доступу до керування критичними вузлами, наприклад, дверним замком. Крім того, важливим козирем Bluetooth є нативна підтримка у смартфонах, що дозволяє керувати пристроями напряму, тоді як для ZigBee наявність шлюзу є безальтернативною умовою, і його поломка призводить до повної втрати віддаленого керування системою.

### Висновки

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що універсального протоколу не існує, а вибір технології має базуватися на технічних вимогах конкретного проекту. Протокол ZigBee є пріоритетним у мережах, що складаються переважно з автономних сенсорів з низьким трафіком, ключовими факторами виступають максимальна енергоефективність та раціональне використання радіочастотного спектру.

У свою чергу, технологія Bluetooth Mesh має значні переваги при реалізації систем розумного освітлення та автоматизації офісних просторів. Оскільки виконавчі пристрої в таких системах зазвичай підключені до стаціонарної електромережі, питання енергозбереження відходить на другий план, поступаючись місцем вимогам до високої надійності доставки команд та можливості прямої взаємодії з мобільними пристроями користувачів без додаткових шлюзів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. The Full-Stack Solution for All Smart Devices. URL: <https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/> (дата звернення: 14.01.2026).

2. Bluetooth Mesh Networking - MATLAB & Simulink URL: <https://www.mathworks.com/help/bluetooth/ug/bluetooth-mesh-networking.html> (дата звернення: 14.01.2026).

3. Bluetooth mesh networking. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth\\_mesh\\_networking](https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_mesh_networking) (дата звернення: 14.01.2026).

4. Benchmarking Bluetooth Mesh, Thread, and Zigbee Network Performance URL: <https://www.silabs.com/wireless/multiprotocol/mesh-performance> (дата звернення: 14.01.2026).

**Черневський Назар Олександрович** — студент групи 2КІ-25м, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький Національний Технічний Університет, Вінниця, e-mail: [chernevskijnazar@gmail.com](mailto:chernevskijnazar@gmail.com)

**Chernevskyi Nazar Oleksandrovich** — student of group 2KI-25m, faculty of information technologies and computer engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [chernevskijnazar@gmail.com](mailto:chernevskijnazar@gmail.com)