

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПРИСТРОЯХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Сербський Г.О.

Науковий керівник – к.т.н., асистент Волох А.В.

e-mail: hlib.serbskyi@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС,
студ. наук. гурток «Розробка вбудованих систем»,
м. Харків, Україна

This article analyzes the integration of wireless technologies within the Internet of Things (IoT) ecosystem, focusing on the synergy between ZigBee, LoRa, and NB-IoT. It evaluates their performance in complex indoor and urban environments, considering signal propagation challenges such as physical barriers and multipath fading. The study highlights the trade-offs between data rate, energy efficiency, and coverage. The research concludes that combining ZigBee, LoRa and NB-IoT protocols enables seamless connectivity transitions from smart home applications to large-scale smart city infrastructures.

Технологія Інтернету речей (IoT) використовує бездротові сенсорні мережі для забезпечення ефективної інфраструктури збору та передачі інформації. Зона покриття таких мереж визначається специфікаціями протоколів зв'язку та їх комбінацією. Серед найбільш поширених технологій малого радіуса виділяють Wi-Fi, Bluetooth (зокрема BLE) та ZigBee, тоді як LoRa, NB-IoT та LTE використовуються для побудови мереж великого радіуса. Технології Wi-Fi та класичний Bluetooth забезпечують високу швидкість передачі, проте суттєво поступаються по енергоефективності ZigBee та Bluetooth Low Energy (BLE). У свою чергу, LoRa та NB-IoT дозволяють масштабувати мережу до рівня міста, забезпечуючи зв'язок на відстані до кількох десятків кілометрів у зонах прямої видимості. Враховуючи наявність різних технологій бездротового зв'язку, інтерес представляє аналіз їх можливого спільного практичного використання як всередині «розумних» будинків та офісних середовищ, так і для можливості об'єднання декількох будинків в одну мережу, з урахуванням впливу на силу сигналу і стабільність каналу зв'язку наявності перегородок, стін, інших об'єктів та приладів всередині будівлі і ззовні, інших мереж бездротового зв'язку.

Технологія ZigBee використовується для мереж бездротових сенсорів з низькою швидкістю передачі даних, забезпечує високу енергоефективність та невеликий радіус дії. На практиці ZigBee здатна забезпечити стабільний зв'язок для бездротових сенсорів із високою концентрацією на одному поверсі багатоповерхової будівлі, або на сусідніх поверхах. Ефективна відстань такої технології обмежена в зв'язку зі значним впливом на рівень сигналу різних будівельних бар'єрів всередині

будівлі [1]. Для подолання цих обмежень та розширення зони покриття необхідно використовувати топологію комірчастої мережі (mesh), де кожен вузол може виконувати функцію ретранслятора.

Бездротові мережі LoRa та NB-IoT дозволяють організовувати мережі для бездротових сенсорів на більших відстанях, порівняно з ZigBee. Технологія LoRa підтримує функцію адаптивної швидкості передачі даних (ADR), яка динамічно змінює коефіцієнт розширення спектра та потужність передавача для оптимізації бюджету лінії зв'язку в умовах завад. Крім того, виробники бездротових сенсорів зазвичай передбачають окремі роз'єми (IPEX, SMA) для підключення антен з різним коефіцієнтом підсилення в залежності від умов передачі сигналу. Завдяки поєднанню таких можливостей, технологія LoRa забезпечує краще проникнення сигналу та надійність на більші відстані всередині будівель. Можливість регулювання коефіцієнту підсилення, завдяки заміні антени, має різний вплив на якість організації каналу всередині будівель. Більше підсилення забезпечує кращу проникну спроможність мережі між поверхами, але водночас може привести до погіршення стабільності роботи каналу через зсування діаграми спрямованості у вертикальній площині, що призводить до нерівномірного розподілу та виникнення затухання сигналу через його багатопроменеве поширення при відбитті хвиль від залізобетонних стін, металевих конструкцій, дзеркал у приміщенні. Найбільш оптимальними для організації мереж на базі LoRa всередині будівель є антени з коефіцієнтом підсилення 2-3 дБі [2]. Використання бездротових мереж NB-IoT забезпечує можливість організації мереж для бездротових сенсорів як всередині будівлі так і між будівлями. NB-IoT демонструє високу проникну здатність за рахунок великої щільності спектральної потужності та механізмів повторного надсилання пакетів, що робить її ефективною для підвальних приміщень та складних міських локацій [3]. Комбінація технологій ZigBee, LoRa та NB-IoT дозволяє забезпечити ефективне та надійне об'єднання мережі бездротових сенсорів для задач переходу від «розумного» будинку до «розумного» міста.

Список використаних джерел:

1. Liu Z., Li Y., Zhao L. et al. Comparative evaluation of the performance of ZigBee and LoRa wireless networks in building environment // *Electronics*. 2022. V. 11. P. 3560.
2. Veloso A., Silveira J. S., Junior J. et al. Performance analysis of LoRaWAN in an air quality monitoring applications for smart cities // *6th International Conference on Smart and Sustainable Technologies, SpliTech*. 2021. P. 1–6.
3. H. Malik et al. NB-IoT network field trial: indoor, outdoor and underground coverage campaign // *15th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*. 2019. P. 537–542.