

УДК 004.77, 681.1

Карнаух Д.М.¹, Тягунова М.Ю.²

¹ асп. каф. ІТЕЗ НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОКАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ПОБУДОВІ ЦИФРОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ «ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ»

У сучасних містах використовуються складні інфраструктурні рішення, що містять велику кількість електронних пристроїв, датчиків та інших елементів системи «Інтернет речей», об'єднаних в мережу. Так, актуальною є проблема оптимізації адаптивного регулювання дорожнього руху на перехрестях з використанням новітніх підходів, пов'язаних із застосуванням штучного інтелекту [1]. Її розв'язання потребує використання значної кількості камер, датчиків та інших пристроїв, що сприяє більшій точності оцінки ситуації, надійності, ефективному використанню міських транспортних систем. Використання провідних з'єднань стає все більш громіздким і збільшує вартість обслуговування у разі зміни конфігурації системи. Застосування бездротових мереж передачі даних знімає ці обмеження, але вимагає забезпечення високої швидкості, надійності, перешкодозахищеності у складних умовах великої кількості перешкод в щільних міських агломераціях, індустріальних парках, при мінливих погодних умовах. Ідеальна телекомунікаційна мережа повинна мати здатність адаптуватися до всіх можливих змін серед поширення.

Цікавими є рішення, запропоновані у новому стандарті IEEE 802.11be (Wi-Fi 7) для бездротових локальних мереж. Технологія Wi-Fi відіграє важливу роль у наданні послуг бездротової передачі даних між камерами, датчиками та пристроями, наприклад, у сфері Інтернету речей, промислової автоматизації. Реалізація надійних рішень інтелектуального регулювання руху на перехрестях за допомогою нейронних мереж вимагає обробки у режимі реального часу відео з камер з високою роздільною здатністю і високим бітрейтом. Це накладає вимоги щодо високої пропускної спроможності каналів зв'язку та забезпечення низької затримки передачі

даних. Стандарт IEEE802.11be визначає нові режими управління доступом до середовища (MAC) і фізичного рівня (PHY) для підтримки максимальної пропускної здатності не менше 30 Гбіт/с [2]. Згідно з графіком групи IEEE 802.11be Task Group - стандарт заплановано ратифікувати у 2024 році [3].

Функції, які привертають найбільшу увагу у IEEE 802.11be:

- смуга пропускання 320 МГц,
- новий діапазон 6 ГГц,
- множинний доступ з ортогональним частотним поділом (OFDMA) – декілька клієнтів можуть спільно використати каналні ресурси, що підвищує ефективність використання спектру [4],
- 4096-QAM модуляція (в порівнянні з 1024-QAM в попередньому стандарті) - дозволяє збільшити швидкість передачі даних до 20% [5],
- багатоканальна робота (MLO) - можливість надсилати та приймати один і той самий потік даних через декілька радіоінтерфейсів, використовуючи всі доступні частотні ресурси. Основна відмінність нового стандарту полягає у можливості поєднання частотних діапазонів: частоти 2,4 ГГц, 5 ГГц і 6 ГГц об'єднуються, що робить використання всього діапазону абсолютно безшовним, бездротова мережа стає швидшою. Це дозволяє уникати нестабільних з'єднань та затримок через зовнішні перешкоди [3-4], [6], [8]. На рис. 1 показано схему багатоканального підключення.

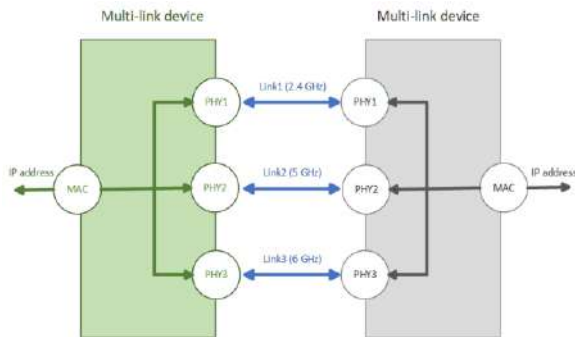


Рисунок 1 – Багатоканальна взаємодія.

- 16 потоків багатопроменевого поширення (MIMO) дозволить більш ефективно уникати колізій [6], [9-10];
- гібридний автоматичний запит (HARQ) – дозволяє об'єднувати пакети даних із кількох спроб передачі, змінювати схему модуляції, адаптуючись під якість каналу зв'язку [3], [6], [9];

- повнодіапазонний дуплекс (FD) дозволяє одночасно в одному і тому ж частотному каналі передавати та приймати дані [3].

У роботі [11] було проведено порівняння продуктивності системи в одноканальному та багатоканальних режимах. Тестові конфігурації наведено на рис. 2, результати тестування - на рис. 3.

Усі багатоканальні конфігурації показують значно вищі показники, ніж одноканальна (Case 1-1). А в поєднанні з шириною каналу 320 МГц та модуляцією 4096-QAM це дає можливість досягати пропускної здатності 30 Гб/с.

Cases	Aggregation	Link	CBW (MHz)	QAM
Case 1-1	1024 ✓	1	320 ✓	4K ✓
Case 1-2	256	2 (320 MHz for link 1 + 160 MHz for link 2) ✓	320 ✓	4K ✓
Case 1-3	256	2 (320 MHz for link 1 + 320 MHz for link 2) ✓	320 ✓	4K ✓
Case 1-4	1024 ✓	2 (160 MHz for link 1 + 160 MHz for link 2) ✓	160	4K ✓
Case 1-5	1024 ✓	2 (320 MHz for link 1 + 160 MHz for link 2) ✓	320 ✓	1K
Case 1-6	1024 ✓	2 (320 MHz for link 1 + 320 MHz for link 2) ✓	320 ✓	1K
Case 2-1	1024 ✓	2 (320 MHz for link 1 + 160 MHz for link 2) ✓	320 ✓	4K ✓
Case 2-2	1024 ✓	2 (320 MHz for link 1 + 320 MHz for link 2) ✓	320 ✓	4K ✓
Case 3	1024 ✓	3 (320 MHz for link 1 + 160 MHz for link 2 + 160 MHz for link 3) ✓	320 ✓	4K ✓

Рисунок 2 – Конфігураційні параметри

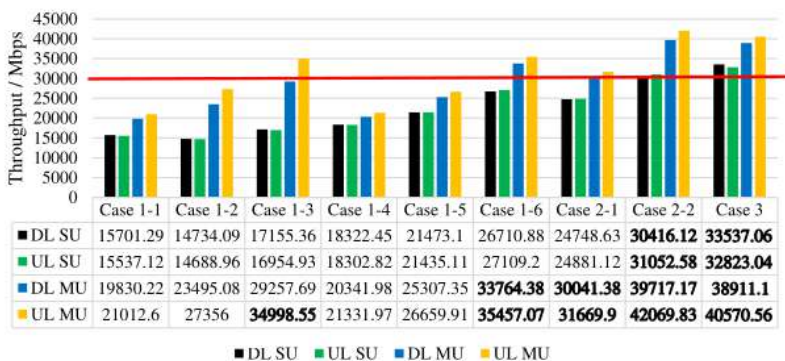


Рисунок 3 – Пропускна спроможність [11].

Збільшення кількості IoT-пристроїв, попит на високу пропускну спроможність, підвищення вимог до надійності бездротового зв'язку та необхідність цифрової трансформації промислової та соціальної інфраструктури є основними факторами зростання ринку обладнання бездротового зв'язку. Стандарт IEEE 802.11be значно підвищує стійкість, надійність, пропускну здатність бездротових каналів за рахунок

впровадження багатоканального режиму роботи, кількості просторових потоків та вдосконалених методів управління якістю обслуговування. Пристрої Wi-Fi 7 будуть використовуватися в таких областях, як «розумні міста», промисловий інтернет, медицина для підключення промислових датчиків, контролерів, роботів у рамках концепції Industry 4.0. Проте залишаються поточні проблеми:

- високі початкові витрати для обладнання;
- технічна сумісність: при розробці нових технологій необхідно буде вирішити питання сумісності з існуючими пристроями та мережами.

Загалом, майбутнє пристроїв Wi-Fi 7 є перспективним і готовим стати великим сегментом ринку бездротових мережевих технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. М.Ю. Тягунова, Д.М. Карнаух. Доцільність розробки інтелектуальних систем регулювання руху на перехрестях. Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». 2024. №1(38). DOI: 10.31474/1996-1588-2024-1-38-71-76.
2. D. Lopez-Perez, A. Garcia-Rodriguez, L. Galati-Giordano, M. Kasslin, K. Doppler. IEEE 802.11be Extremely High Throughput: The next generation of Wi-Fi technology beyond 802.11ax. IEEE Communications. 2019. Vol.57, №9, P.113-119. DOI: 10.1109/MCOM.001.1900338.
3. E. Khorov, I. Levitsky, I. F. Akyildiz. Current Status and Directions of IEEE 802.11be, the Future Wi-Fi 7. 2020. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9090146> (date access: 14.10.2024).
4. E. Avdotin, D. Bankov, E. Khorov, A. Lyakhov. Resource allocation strategies for real-time applications in Wi-Fi 7. 2020 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom). 2020. DOI: 10.1109/BlackSeaCom48709.2020.9234994.
5. A. Garcia-Rodriguez, D. López-Pérez, L. Galati-Giordano, G. Geraci. IEEE 802.11be: Wi-Fi 7 strikes back. IEEE Communications. 2021. Vol.59, №4, P.102-108.
6. A. Jeknic, E. Kocan. Development Steps that Brought to Wi-Fi 7. ETF Journal of Electrical Engineering. 2023. Vol.29, №1. DOI: <https://doi.org/10.59497/jee.v29i1.266>. URL: <https://jee.ucg.ac.me/index.php/files/article/download/266/99/311> (date access: 14.10.2024).
7. C. Chen et al. Overview and Performance Evaluation of Wi-Fi 7. IEEE Communications Standards Magazine. 2022. Vol.6, №2. DOI:10.1109/MCOMSTD.0001.2100082.
8. Á. López-Raventós, B. Bellalta. Multi-Link Operation in IEEE 802.11be WLANs. IEEE Wireless Communications. 2022. Vol.29, №4, P.94-100. DOI: 10.

1109/MWC.006.2100404. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10474403> (date access: 14.10.2024).

9. S. Chauhan, A. Sharma, S. Pandey, K. N. Rao, P. Kumar. IEEE 802.11be: A review on Wi-Fi 7 use cases. 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends Future Directions). 2021. DOI: 10.1109/ICRITO51393.2021.9596344.

10. T. Adame, M. Carrascosa-Zamacois, B. Bellalta. Time-Sensitive Networking in IEEE 802.11be: On the Way to Low-Latency WiFi 7. Sensors. 2021. №21(15). URL: <https://doi.org/10.3390/s21154954> (date access 14.10.2024).

11. X. Liu, Y. Dong, Y. Li, Y. Lin, X. Yang, M. Gan. IEEE 802.11be Wi-Fi 7: Feature Summary and Performance Evaluation. arXiv. 2023. September 27. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.15951>.