

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ WI-FI 7 У СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено новітні можливості технології Wi-Fi 7 (IEEE 802.11be) у контексті сучасних телекомунікаційних систем. З огляду на швидке зростання обсягів передавання даних, а також нові вимоги до швидкості, надійності та якості бездротових з'єднань, Wi-Fi 7 пропонує вдосконалення в порівнянні з попередніми стандартами. Основними перевагами є підтримка багатоканальної роботи (MLO), підвищення пропускної здатності до 36 Гбіт/с, зменшення затримки та зростання кількості одночасних з'єднань до 148. Метою роботи є аналіз технічних можливостей Wi-Fi 7, включаючи інноваційні технології, такі як 4K-QAM, агрегація каналів, та інтеграція з мережами 5G і 6G. Зроблено висновки щодо практичних аспектів застосування Wi-Fi 7 у корпоративних та побутових умовах, а також значення для розвитку гігабітних екосистем бездротового доступу.

Ключові слова: бездротова мережа, агрегація каналів, затримка, пропускна здатність, інтелектуальна мережа, оптимізація мережі, мобільний додаток.

Abstract

The paper explores the latest capabilities of Wi-Fi 7 technology (IEEE 802.11be) in the context of modern telecommunications systems. Given the rapid growth in data transmission volumes and the increasing demands for speed, reliability, and quality of wireless connections, Wi-Fi 7 offers improvements over previous standards. Key advantages include support for Multi-Link Operation (MLO), increased throughput of up to 36 Gbps, reduced latency, and the ability to handle up to 148 simultaneous connections. The aim of the study is to analyze the technical features of Wi-Fi 7, including innovative technologies such as 4K-QAM, channel aggregation, and integration with 5G and 6G networks. Conclusions are drawn regarding the practical applications of Wi-Fi 7 in both corporate and residential environments, as well as its significance for the development of gigabit wireless access ecosystems.

Keywords: wireless network, channel aggregation, latency, throughput, intelligent network, network optimization, mobile application.

Вступ

Сучасний етап розвитку інформаційно-комунікаційних технологій характеризується стрімким зростанням обсягів передавання даних, розширенням цифрових сервісів та зростанням вимог до швидкості, надійності та якості бездротових з'єднань. Враховуючи збільшення кількості пристроїв і розвиток технологій IoT, хмарних обчислень та AR/VR, виникає потреба у створенні високопродуктивних бездротових систем доступу [1].

Технології Wi-Fi стали основним інструментом для локальних бездротових з'єднань. Проте з ростом одночасних підключень та появою нових застосунків, які потребують значних ресурсів, виникає необхідність вдосконалення архітектури бездротових мереж. Wi-Fi 7 (IEEE 802.11be) є наступним етапом розвитку, забезпечуючи високу пропускну здатність, масову одночасність з'єднань та низьку затримку завдяки інноваціям, таким як Multi-Link Operation, модуляція 4K-QAM та розширення смуги пропускання до 320 МГц [2].

Цей стандарт не тільки вдосконалює Wi-Fi 6, але й забезпечує інтеграцію з мережами 5G і 6G, що створює умови для майбутніх гігабітних екосистем бездротового доступу. Актуальність дослідження Wi-Fi 7 зумовлена необхідністю вивчення його технічних принципів, компонентів і можливостей оптимізації у реальних умовах [3].

Метою роботи є дослідження принципів побудови й оптимізації мереж Wi-Fi 7, аналіз осно-

вних технологій стандарту IEEE 802.11be та оцінка їх впливу на параметри пропускної здатності і затримки. Наукова новизна роботи полягає в узагальненні сучасних підходів до побудови бездротових мереж на основі Wi-Fi 7 та розробці рекомендацій для їхньої оптимізації. Практичне значення результатів полягає у можливості застосування підходів для проектування й оптимізації мереж Wi-Fi 7 у корпоративних і побутових умовах.

Результати дослідження

Wi-Fi 7, також відомий як IEEE 802.11be або Extremely High Throughput (EHT), є наступним етапом розвитку технологій бездротових мереж, який приносить значні покращення в порівнянні з попереднім стандартом Wi-Fi 6. Цей стандарт здатен досягти швидкості передачі даних до 36 Гбіт/с, що є втричі вищим за Wi-Fi 6. Одним із головних досягнень Wi-Fi 7 є підтримка багатоканальної роботи (MLO), що дозволяє одночасно використовувати кілька частотних діапазонів, підвищуючи загальну пропускну здатність та ефективність мережі [4].

Максимальна швидкість передачі даних у Wi-Fi 7 становить 36 Гбіт/с, що перевищує попередні стандарти Wi-Fi 6 та Wi-Fi 5. Це стало можливим завдяки збільшенню смуги пропускання каналу до 320 МГц (порівняно з 160 МГц у Wi-Fi 6) та застосуванню 4096-QAM (4K-QAM) для підвищення ефективності модуляції [1].

Wi-Fi 7 підтримує до 148 одночасних з'єднань, що забезпечує значне покращення ефективності в умовах високої щільності користувачів, таких як стадіони чи аеропорти. Це досягається завдяки розширенню технології OFDMA та агрегації каналів [2].

Однією з ключових переваг Wi-Fi 7 є значне зниження затримки передачі даних, що критично важливо для сервісів, чутливих до часу, таких як відеоконференції, відеоігри чи доповнена реальність (AR/VR). Затримка може бути зменшена на 50% порівняно з Wi-Fi 6, що значно покращує якість обслуговування [3].

Технологія Multi-Link Operation (MLO) дозволяє одночасно використовувати кілька частотних діапазонів (2,4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц) для передавання і прийому даних, забезпечуючи таким чином високу пропускну здатність і знижуючи ймовірність затримок. MLO підтримує агрегацію частотних каналів, що дозволяє значно підвищити ефективність використання спектра [4].

Wi-Fi 7 пропонує розширені можливості для управління трафіком, надаючи пріоритет критичним додаткам, таким як голосові та відео сервіси, через різні канали зв'язку. Це здійснюється за допомогою механізмів QoS-ідентифікації, що дозволяє оптимізувати трафік в умовах багатозадачності [1].

Завдяки підтримці технології r-TWT (restricted Target Wake Time) Wi-Fi 7 забезпечує точніше планування активності пристроїв, що знижує споживану енергію та навантаження на мережу, одночасно підвищуючи ефективність обслуговування затримкочутливих додатків [2].

Wi-Fi 7 забезпечує значне покращення продуктивності та ефективності бездротових мереж завдяки новим технологіям, таким як багатоканальність, 4K-QAM, агрегація каналів і зменшення затримки. Це дозволяє створювати мережі, здатні ефективно обслуговувати велику кількість користувачів та забезпечувати високоякісні сервіси для додатків, чутливих до часу, таких як AR/VR, відео 8K, ігор в реальному часі, а також онлайн-конференцій. Відсутність значних затримок і підвищена масова одночасність робить Wi-Fi 7 ідеальним рішенням для місць із високою щільністю користувачів. Wi-Fi 7 є технологією майбутнього, яка має потенціал радикально змінити підхід до побудови бездротових мереж і сприяти розвитку інтернету речей, смарт-пристроїв та інших ресурсомістких сервісів [3].

Висновки

Wi-Fi 7 є значним кроком вперед у сфері бездротових мереж, орієнтуючись на забезпечення високошвидкісних та надійних з'єднань для новітніх сервісів, таких як розширена та віртуальна реальність (XR/VR), хмарні ігрові платформи та промисловий IoT. Технологія відкриває нові можливості для інтеграції бездротових мереж у майбутні інтелектуальні системи та цифрові екосистеми.

Використання модуляції 4K-QAM, підтримка ширини каналу до 320 МГц та багатоканальної передачі (Multi-Link Operation, MLO) дозволяють Wi-Fi 7 досягати рекордних швидкостей до 36 Гбіт/с. Це майже вдвічі перевищує можливості Wi-Fi 6 і відкриває шлях до інтеграції вищих

вимог до швидкості і пропускної здатності, необхідних для сервісів наступного покоління.

Технології MRU (Maximum Resource Unit), OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) та Preamble Puncturing забезпечують ефективне управління ресурсами мережі, дозволяючи підтримувати масштабованість для сотень одночасних з'єднань без втрати якості обслуговування (QoS). Це є критично важливим для застосувань у високощільних середовищах, таких як міста, спортивні арени та бізнес-центри.

Завдяки впровадженню технологій Restricted TWT (Target Wake Time), TXOP sharing та покращених механізмів QoS Characteristics, Wi-Fi 7 дозволяє досягати наднизьких затримок, що є критичним для забезпечення стабільної роботи сервісів реального часу. Це включає застосування в телемедицині, дистанційному керуванні, голографічному зв'язку та інших додатках, де мінімальна затримка має вирішальне значення.

Розвиток технології EasyMesh R5/R6 із підтримкою Virtualized BSS (Virtualized Basic Service Set) і multi-link mode забезпечує більш гнучке, стабільне та безшовне мережеве покриття в багатоточкових середовищах. Це особливо важливо для сучасних домогосподарств та бізнесів, де мережа повинна адаптуватися до змінних умов і забезпечувати стабільний зв'язок у великих і складних просторах.

Wi-Fi 7 створює міцну основу для наступного етапу розвитку бездротових мереж, забезпечуючи високу швидкість, масштабованість та надійність для майбутніх інтелектуальних систем. Цей стандарт дозволяє безперебійно підтримувати численні пристрої та додатки, що обробляють великий обсяг даних у реальному часі, і відкриває нові можливості для розвитку цифрових екосистем.

Отже, Wi-Fi 7 не тільки значно покращує технічні характеристики порівняно з попередніми стандартами, а й забезпечує нові можливості для інтеграції бездротових технологій у найсучасніші інтелектуальні та промислові системи, стаючи важливим елементом інфраструктури майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Cheng, G., Qian, Z., Jiang, Y., Yang, Z., Rajamanickam, T. (2024). Wi-Fi 7: Principles, Technology, and Applications. Springer Singapore. SpringerLink
2. Henry, J., Hart, B., Gupta, B., Smith, M. (2024). Wi-Fi 7 In Depth: Your Guide to Mastering Wi-Fi 7, the 802.11be Protocol, and Their Deployment. Addison-Wesley Professional. Barnes & Noble
3. Васильківський М. В. Керування телекомунікаційними мережами з використанням технологій AI/ML [Текст] / М. В. Васильківський, О. Болдирева, Г. Варгатюк, М. Будаш // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2023. – Вип. 1. – С. 89–100.
4. Васильківський М. В. Коригування параметрів мобільних систем MIMO із використанням штучного інтелекту [Текст] / М. Васильківський, О. Болдирева, Г. Варгатюк, Н. Грабчак // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2023. – № 51. – С. 139-147.

Васильківський Микола Володимирович — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Габчак Назарій Віталійович — аспірант групи 172-23а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nazariihrabchak@gmail.com

Щербік Олександр Олександрович — студент групи TSM-24м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Foxsterlend@gmail.com

Vasyilkivskyi Mykola V. — candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Hrabchak Nazarii V. — graduate student of group 172-23a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazariihrabchak@gmail.com

Shcherbik Oleksandr O. - student of group TSN-24m, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Foxsterlend@gmail.com