

ОСОБЛИВОСТІ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ WI-FI 7 ПОКОЛІННЯ

Чемісов А.Ф., Харченко Н.А.

e-mail: nataliia.kharchenko@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., доц. Харченко Н.А.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІМІ
м. Харків, Україна

Wi-Fi 7 integrates a number of key technologies that deliver significant performance improvements. These include: maximum transfer speeds of up to 46 Gbps, multi-link operation (MLO) for efficient spectrum utilisation, and restricted wake time (RTWT) for optimised power consumption. These innovations are critical to ensuring the smooth operation of demanding services such as augmented and virtual reality, high-definition video streaming, and mission-critical applications where latency is unacceptable. The long-term prospects for Wi-Fi 7 are extremely positive. Its capabilities will not only improve existing services, but also create entirely new ones.

Постійне зростання кількості бездротових пристроїв та додатків, що вимагають високої пропускної здатності, стимулює безперервну розробку нових стандартів бездротових мереж. У контексті Wi-Fi, це призвело до появи сімейства стандартів IEEE 802.11, а його остання ітерація, 802.11be, що лежить в основі Wi-Fi 7, покликана вирішити ці виклики.

Wi-Fi 7 інтегрує низку ключових технологій, що забезпечують значне підвищення продуктивності. Серед них: максимальна швидкість передачі до 46 Гбіт/с, багатоканальний режим передачі (MLO) для ефективного використання спектру, та обмежений час пробудження (RTWT) для оптимізації енергоспоживання. Ці інновації критично важливі для забезпечення безперебійної роботи таких вимогливих сервісів, як доповнена та віртуальна реальність, потокове відео високої роздільної здатності та критично важливі додатки, де затримки неприпустимі [1].

Центральною особливістю Wi-Fi 7 є радикальне збільшення максимальної швидкості передачі даних до 46 Гбіт/с, що є значним стрибком порівняно з 9,6 Гбіт/с у попередньому стандарті. Це досягається за рахунок синергії трьох основних технологічних покращень: використання розширених схем модуляції, збільшення смуги пропускання каналу та вдосконалення можливостей MU-MIMO.

Одним з ключових елементів є впровадження нового типу квадратурної модуляції – 4096-QAM [2]. Хоча ця модуляція забезпечує лише 20% номінального приросту швидкості порівняно з попередніми стандартами, її використання пов'язане зі значними технічними вимогами. Для ефективної роботи 4096-QAM необхідне відношення сигнал/шум порядку 40 дБ. Досягнення таких показників у багатьох реальних сценаріях можливе лише за умови використання направленої антени, коли точка доступу з великою кількістю антен обслуговує лише одну станцію з кількома антенами, що, в

свою чергу, обмежує можливості багатокористувацьких передач. Незважаючи на ці складнощі, застосування модуляцій високого порядку є стратегічно виправданим для досягнення заявлених пікових швидкостей у контрольованих умовах.

Оскільки поточні діапазони 2,4 та 5 ГГц вже не забезпечують достатньої пропускну здатності, Wi-Fi 7 розширює роботу на частоту 6 ГГц [3]. Для цього стандарт підтримує канали шириною до 320 МГц, що вдвічі більше, ніж 160 МГц у Wi-Fi 6. Це дозволяє збільшити швидкість передачі даних, якщо відстань між пристроями не перевищує допустимих меж.

Крім того, Wi-Fi 7 підтримує комбіновані канали 160+160 МГц, які складаються з двох несуміжних 160-мегагерцових каналів. Такий підхід полегшує співіснування мереж, забезпечуючи високу продуктивність навіть при обмеженому доступному спектрі. Стандарт також дозволяє використовувати канали 240/160+80 МГц.

Для покращення фізичного рівня технології вдосконалено просторове мультиплексування MU-MIMO, збільшивши кількість одночасних потоків до 16×16 . Це дозволяє підключати більше пристроїв без втрати стабільності.

Multi-Link Operation (MLO) – одна з ключових інновацій Wi-Fi 7. Вона дозволяє пристроям одночасно використовувати кілька частотних діапазонів або каналів, розподіляючи навантаження та зменшуючи затримку. Це особливо корисно для онлайн-ігор і VoIP, де низька затримка критично важлива. MLO забезпечує оптимальну продуктивність навіть у «густонаселених» мережах.

Обмежений цільовий час пробудження (RTWT) – ще одна важлива функція, спрямована на підвищення енергоефективності. На відміну від традиційного TWT, де точки доступу (AP) і пристрої узгоджують час пробудження, RTWT надає більше контролю, дозволяючи вказувати не лише час активності, але й її обмеження. Це дозволяє пристроям ефективніше зберігати енергію, перебуваючи в режимі низького споживання.

Починаючи зі стандарту 802.11ax, технологія OFDMA (множинний доступ з ортогональним розділенням за частотою) дозволила ефективніше використовувати радіоканал [4]. Вона розділяє канал на менші блоки, що називаються ресурсними одиницями (RU), які розподіляються як за часом, так і за частотою. Це нововведення дало змогу кільком користувачам одночасно обмінюватися даними в одному каналі. Кількість тонів (піднесучих), що містяться в одній RU, залежить від ширини смуги пропускання каналу. У стандарті 802.11be, RU може містити від 26 до 996, 2×996 або навіть 4×996 тонів. Чим більше RU доступно, тим вища пропускна здатність може бути досягнута в багатокористувацьких мережах.

Однак, у 802.11ax була одна суттєва обмеженість: точка доступу могла виділити лише одну RU для кожної станції. Це призводило до зниження ефективності використання каналу, особливо коли користувачів було небагато. Щоб вирішити цю проблему, новий стандарт 802.11be запровадив

підтримку призначення кількох RU одній станції (MRU), що значно покращує пропускну здатність.

Для подальшого збільшення швидкості передачі даних, починаючи зі стандарту 802.11n, була впроваджена агрегація кадрів A-MPDU. Ця технологія дозволяє передавачу об'єднувати кілька інкапсульованих MPDU (MAC Protocol Data Unit) в один великий кадр, додаючи лише один заголовок фізичного рівня. Це зменшує накладні витрати, оскільки не потрібно додавати окремий заголовок для кожного MPDU.

Кожне наступне покоління Wi-Fi збільшувало максимальну кількість MPDU, які можна було об'єднати в A-MPDU. У стандарті 802.11be ця кількість зросла до 1024, що є значним кроком до підвищення пропускну здатності.

Незважаючи на значні переваги, впровадження Wi-Fi 7 також стикається з певними викликами. До них можна віднести необхідність оновлення існуючого обладнання (точок доступу та клієнтських пристроїв) для підтримки нового стандарту, що може вимагати значних інвестицій. Крім того, для повного розкриття потенціалу Wi-Fi 7 може знадобитися оптимізація мережевої інфраструктури та програмного забезпечення.

Однак, довгострокові перспективи Wi-Fi 7 є надзвичайно позитивними. Його можливості дозволять не лише покращити існуючі сервіси, але й створити абсолютно нові, які сьогодні важко уявити. Це стосується не тільки споживчого сегменту, але й корпоративного, промислового та державного секторів, де потреба у високошвидкісних, надійних та безпечних бездротових мережах постійно зростає. Розвиток екосистеми пристроїв, що підтримують Wi-Fi 7, а також подальші дослідження та стандартизація, безумовно, сприятимуть його широкому поширенню.

Список використаних джерел:

1. Jim Palmer. Wi-Fi 7 Multi-link Operations (MLO) [Електронний ресурс] / Jim Palmer. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ruckusnetworks.com/blog/2023/wi-fi-7-multi-link-operations-mlo/>
2. Jaswanth R. Understanding Restricted Target Wake Time (RTWT) in Wi-Fi 7 (802.11be) [Електронний ресурс] / Rajigiri Jaswanth. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-restricted-target-wake-time-rtwt-wi-fi-7-rajigiri-vz3yc/>
3. Табор Д.І. Можливості нового покоління безпроводного зв'язку wi-fi 7/ Табор Д.І. // V Всеукраїнська науково-практична конференція «Telecommunication: problems and innovation». – 2023. – С. 4–6.
4. Lorenzo Fanari, Eneko Iradier, Iñigo Bilbao, Rufino Cabrera, Jon Montalban and Pablo Angueira / Comparison between Different Channel Coding Techniques for IEEE 802.11be within Factory Automation Scenarios // Sensors. – 2021. – 21(21).