

АНАЛІЗ РОЗРОБКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ СИСТЕМ 6G

Коляденко Ю.Ю., Лютий А.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського,
Україна.

E-mail: yuliia.koliadenko@nure.ua
artem.liutyi@nure.ua

Abstract

It is expected that the new 6G standard will reduce latency by approximately 10 times through the use of terahertz and sub-terahertz frequency bands. This will enable speeds from 100 Gbps to 1 Tbps and facilitate the construction of AI-driven networks. This paper provides an analysis of the development and implementation of the 6G standard.

Вступ

Сучасні системи нового радіо міліметрового діапазону 5G, а також майбутні технології радіодоступу (RAT) терагерцового діапазону (ТГц) 6G значною мірою покладатимуться на формування променю для боротьби з надмірними втратами на шляху проходження. Крім того, обидві технології радіодоступу націлені на подібний нееластичний трафік, що вимагає великої пропускної здатності, і на них впливають явища блокування. Для підвищення надійності обслуговування в цих системах можна використовувати мультиконнеktivність для динамічної передачі поточних сеансів між двома технологіями. [1,2]. На заході оголошено приблизну дату запуску нового стандарту 6G. Це відбудеться на початку 2030 року. Для впровадження нової технології 6G необхідно проведення порівняльного аналізу існуючих технологій безпроводового зв'язку та технології 6G.

1. Аналіз відмінностей між актуальними стандартами зв'язку

Сучасні технології мобільного інтернету базуються на стандарті безпроводового зв'язку 4G LTE. 4G LTE відзначився значним покращенням швидкості передачі даних на мобільних пристроях. Зараз цей стандарт використовується всіма українськими операторами. Він є основою для сучасної інфраструктури зв'язку. В Україні для 4G виділено частотний діапазон 1,8 ГГц. Цей стандарт підтримують всі мобільні гаджети, випущені після 2012 року. Максимально можлива швидкість передачі даних в 4G - 1000 Мбіт/сек. Проте на практиці, через втрати при передачі та завантаженість мережі, реальна швидкість зазвичай ближча до 100 Мбіт/сек. \

Поточні швидкості 5G коливаються від 40 Мбіт/с до 1100 Мбіт/с, в залежності від типу мережі 5G. За оцінками експертів, завдяки технологіям, таким як спектр міліметрових хвиль і формування променю, найвища швидкість 5G може досягти 10 000 Мбіт/с.

У табл.1 наведено основні відмінності між трьома поколіннями мереж: 4G, яке поступово виводиться з експлуатації; 5G, яке набуває все більшого значення; і 6G, яке з'явиться в найближчому майбутньому. Далі проаналізуємо ці відмінності більш детально і з'ясуємо, чим зумовлене кількісне зростання ключових параметрів. Характеристики сучасних стандартів зв'язку наведено в табл. 1.1.

Кількісне зростання основних параметрів у мережах зв'язку пов'язане з низкою технологічних та інфраструктурних рішень. Також з розвитком технологій у сфері безпроводового зв'язку відбувається вдосконалення антен, модуляційних схем, компресії даних та інших технічних аспектів, що дозволяють ефективніше використовувати радіохвилі.

Табл. 1. Характеристики сучасних стандартів зв'язку

Параметр	4G	5G	6G (прогнозовано)
Швидкість передачі даних	До 100 Мбіт/с	До 10 Гбіт/с	Перевищує 100 Гбіт/с
Затримка	30 - 50 мс	до 10 мс	Подальше зменшення
Кількість підключених пристроїв	до 100 тис. пристроїв на км ²	до 1 млн пристроїв на км ²	Значне збільшення
Пропускна здатність	До 1 Гбіт/с	До 20 Гбіт/с	Значне збільшення
Частотний діапазон	2 - 8 ГГц	24 - 100 ГГц	Розширення вище 100 ГГц
Енергоефективність	Добра	Покращена	Подальше покращення
Застосування	Мобільний зв'язок	Мобільний зв'язок, Інтернет речей, VR/AR	Розширене використання IoT, AI, розумних технологій тощо

З використанням високочастотних діапазонів та їх розширенням у 5G та планування для 6G, сприяє збільшенню пропускної здатності і швидкості передачі даних. Масштабне використання МІМО у 5G та подальше в 6G дозволяє одночасно передавати та отримувати багато сигналів, підвищення якості і швидкості передачі даних. Застосування розумних технологій, штучного інтелекту і алгоритмів машинного навчання допомагає оптимізувати роботу мережі, пристосовуючись до змін у завантаженості та обробці даних. Впровадженням все більшого обсягу підключених пристроїв в рамках Інтернет речей (IoT), виникає необхідність у більшій пропускній здатності та обробці даних. Ці фактори спільно сприяють кількісному зростанню ключових параметрів в еволюції мобільних мереж від 4G до 6G.

2. Переваги 6G над сучасними стандартами

Очікується, що новий стандарт 6G зменшить рівень затримок приблизно в 10 разів завдяки використанню терагерцового і субтерагерцового діапазонів частот. Це дозволить досягти швидкості від 100 Гбіт/с до 1 Тбіт/с і зробить більш доступною побудову мереж, керованих штучним інтелектом. Максимальна швидкість передачі даних для інтернет-пристроїв у 6G за прогнозами досягне 1 Тбіт/с. Реалізація цих швидкостей на практиці наразі є вкрай важливим завданням.

В контексті майбутніх можливостей, дослідники прогнозують [3-5], що технологія 6G стане надзвичайною як за пропускною здатністю, так і надійністю. 6G має зробити доступ до Інтернету миттєвим та постійним, роблячи Інтернет невід'ємною частиною повсякденного життя для багатьох з нас. Великою перевагою 6G у майбутньому буде також використання терагерцових хвиль, відомих як субміліметрові хвилі. Ці радіохвилі знаходяться у діапазоні від 3 ТГц до 95 ГГц. Терагерцові хвилі вважаються важливими для розв'язання проблем перевантаження мереж та обмежень пропускної здатності. Вдосконалені версії 6G будуть використовувати міліметровий діапазон хвиль для передачі великих обсягів даних з високою швидкістю та мінімальним часом відгуку.

Завдяки своїй високій частоті, міліметрові хвилі використовуються на коротких відстанях та вимагають прямої видимості між передавачем і користувачем. Хоча їх діапазон є коротшим, якщо їх правильно використовувати в нових мережевих підходах, можливості для виконання складних завдань у безпроводових мережах 6G стануть ще більшими.

6G також обіцяє революціонізувати мобільний зв'язок, пропонуючи безпрецедентну швидкість, сміливість та надійність. Одним із ключових факторів, що роблять це можливим, є поєднання радіофотонних цифрових антенних решіток (РФЦАР) та Massive MIMO. РФЦАР використовує оптичні волокна та фотонні компоненти для формування та керування радіочастотними сигналами. В робочому секторі розглядаються варіанти базових станцій з антенними системами, що формують 250 променів. В робочому секторі також розглядаються варіанти базових станцій з антенними системами, призначеними для використання у верхній півкулі. Це включає зв'язок з безпілотними літальними апаратами, передачу даних в пілотованих літальних апаратах та взаємодію з низькоорбітальними супутниками. У цих випадках кількість антенних елементів може збільшуватися для забезпечення покриття сектора "повітря-повітря".

Massive MIMO використовує великі масиви антен на базових станціях для одночасного обслуговування множини користувачів. Це значно збільшує ємність мережі та ефективність використання спектра.

З метою спрощення апаратної реалізації та зниження вартості використання багатоканальних цифрових антенних решіток, розглядається використання багатомодових волоконно-оптичних інтерфейсів як різновид радіофотоніки. Це може сприяти покращенню ефективності системи та розширенню її можливостей у майбутніх мережах мобільного зв'язку.

3. Нові області застосування 6G

Кожне нове покоління мобільного зв'язку визначається інноваційними додатками, і 6G не є винятком: 6G є результатом надзвичайного прояву захоплюючих нових додатків і технологічних тенденцій, які визначають цільові показники продуктивності і радикально змінюють стандартні послуги 5G. На рис. 1. представлено основне призначення, що мотивує впровадження 6G, а також технологічні тенденції розвитку та технології що забезпечують можливість розвитку.



Рис. 1. Програми, тенденції та технології 6G

Ключовими визначниками продуктивності системи 6G стануть чотири нові області застосувань:

1) Мультисенсорні застосування Extended Reality (XR): XR дасть багато додатків для 6G у спектрі AR/MR/VR (MR - Mixed Reality). Досвід AR/MR/VR вимагає спільного проектування, що інтегрує не тільки інженерні вимоги, але й вимоги до сприйняття, що впливають з людських відчуттів, пізнання і фізіології. Мінімальні та максимальні вимоги до сприйняття та обмеження повинні бути враховані в інженерному процесі. Для цього була розроблена нова концепція вимірювання якості фізичного досвіду (QoPE), яка необхідна для того, щоб об'єднати фізичні фактори від самого користувача з класичними показниками якості сервісу і якості досвіду. Деякі фактори, що впливають на QoPE, включають пізнання мозку, фізіологію тіла і жести. Наприклад, в [3] показано, що людський мозок може бути не в змозі розрізнити різні затримки в режимі Ultra-Reliable Low Latency Communication (URLLC). Тим часом, в [4] показали, що візуальне і тактильне сприйняття є ключовим для максимізації використання ресурсів. Коротко кажучи, вимоги до послуг XR - це поєднання традиційних URLLC і Enhanced mobile broadband (eMBB) з включеними факторами сприйняття, які 6G повинен підтримувати.

2) З'єднані робототехнічні та автономні системи (CRAS): Основною силою систем 6G є розгортання CRAS, включаючи системи доставки дронів, автономні автомобілі, рої автономних дронів, взводи транспортних засобів і автономну робототехніку. Впровадження CRAS в стільниковому зв'язку - це не просто "ще одна послуга IoE з передачею коротких пакетів по висхідній лінії зв'язку". CRAS передбачає вимоги до затримок, що визначаються системою

управління, а також потенційну потребу в передачі карт високої чіткості (HD) за допомогою eMBB. Поняття QoPE знову застосовується до CRAS; однак фізичне середовище тепер є системою управління, потенційно доповненою штучним інтелектом (AI). CRAS є, мабуть, основним варіантом використання, який вимагає суворих вимог по всьому спектру швидкості, надійності і затримок; баланс, який поки що недоступний в 5G.

3) Безпроводова взаємодія між мозком і комп'ютером (BCI): За межами XR адаптація безпроводових систем до їхніх користувачів є обов'язковою для підтримки послуг з прямою BCI. Традиційно застосування BCI обмежувалося медичними сценаріями, в яких люди можуть керувати протезами кінцівок або сусідніми обчислювальними пристроями за допомогою мозкових імплантатів. Однак нещодавня поява безпроводових інтерфейсів між мозком і комп'ютером та імплантатів зробить революцію в цій галузі і надасть нові сценарії використання, які вимагають підключення до мережі 6G. Такі сценарії варіюються від увімкнення керованого мозком введення фільмів до повноцінного мульти-мозкового кінотеатру [5]. Використовуючи безпроводові технології BCI, замість смартфонів люди будуть взаємодіяти з навколишнім середовищем та іншими людьми за допомогою дискретних пристроїв, деякі з яких носяться, деякі імплантуються, а деякі вбудовуються в навколишній світ. Це дозволить користувачам контролювати своє оточення за допомогою жестів і спілкуватися з близькими за допомогою тактильних повідомлень. Такі емпатичні і тактильні комунікації в поєднанні з суміжними ідеями, такими як афективні обчислення, в яких пристрої, керовані емоціями, можуть підлаштовувати свої функції під настрій, є важливими варіантами використання 6G. Безпроводові послуги BCI вимагають принципово інших показників продуктивності порівняно з тими, які забезпечує 5G. Подібно до XR, безпроводові послуги BCI потребують високої швидкості, наднизької затримки і високої надійності. Однак вони набагато чутливіші, ніж XR до фізичного сприйняття і потребують гарантій QoPE.

4) Блокчейн та технології розподіленого реєстру (DLT), які стануть одними з найбільш проривних технологій ІоЕ. Додатки Блокчейн і DLT можна розглядати як наступне покоління розподілених сенсорних сервісів, потреба в підключенні яких вимагатиме синергетичного поєднання URLLC і комунікацій масового машинного типу, щоб гарантувати низьку затримку, надійне з'єднання і масштабованість.

Висновки

Однією з ключових переваг 6G, окрім його вражаючої швидкості та низької затримки, є гнучкість. Завдяки здатності працювати в широкому діапазоні міліметрових та субміліметрових хвиль та динамічному розподілу ресурсів 6G може гнучко використовувати ці два діапазони, адаптуючись до конкретних потреб у будь-який момент та тим самим пропонуючи безпрецедентний рівень адаптивності до різних потреб та умов. Це дозволить 6G революціонізувати бездротовий зв'язок, відкриваючи двері для нових інновацій та послуг у найближчому майбутньому.

Література:

1. Коляденко Ю.Ю., Лютий А.О. Модель систем зв'язку 6G за умов спільного використання міліметрових та субміліметрових радіохвиль. Міжнародна науково-практична конференція "Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку" 14 березня 2024 року, м. Харків. С. 172-174.
2. Лютий А.О. Спільне використання міліметрових та субміліметрових хвиль. Матеріали 28-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка і молодь у ХХІ столітті». Конференція «Перспективи розвитку інфокомунікацій та інформаційно-вимірювальних технологій» 16-18 квітня 2024 р., м. Харків. С. 131-133. <https://doi.org/10.30837/IYF.PDICIMT.2024.131>
3. Taleb Zadeh Kasgari A., Saad W., Debbah M. Human-in-the-loop wireless communications: Machine learning and brain-aware resource management. IEEE Transactions on Communications 2019. №34. Р. 14-88.
4. Park J., Samarakoon S., Bennis M., Debbah M. Wireless network intelligence at the edge. URL: <https://arxiv.org/abs/1812.02858> (дата звернення: 24.05.24).
5. Zioga P., Pollick F., Ma M., Chapman P., Stefanov K.. Enheduanna a manifesto of falling live brain computer cinema performance: Performer and audience participation, cognition and emotional engagement using multi brain BCI interaction. New York: Publishing House Folio, 2014 vol. 12, 191 p.