

МОБІЛЬНІ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ 6G

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Здійснені дослідження в галузі мобільних мереж 6G з використанням високочастотних діапазонів, що зосереджені на розробці ефективних антенних систем, алгоритмів комунікації та управління сигналом для забезпечення надійного зв'язку та високої якості обслуговування у високочастотному діапазоні. Розглянуто технології, що дозволяють ефективно керувати підключенням та обробкою даних великого обсягу з багатьма пристроями в мережі з низьким споживанням енергії, зокрема спеціальних мереж, які дозволяють підключати та обслуговувати пристрої з низьким споживанням енергії.

Ключові слова: пропускна здатність, мобільна мережа 6G, спектральний діапазон радіосистем нового покоління, терагерцовий зв'язок, швидкість передачі даних.

Abstract

Research in the field of 6G mobile networks using high-frequency bands has been carried out, focusing on the development of efficient antenna systems, communication and signal management algorithms to ensure reliable communication and high quality of service in the high-frequency band. The technologies that allow efficiently managing the connection and processing of large amounts of data with many devices in a low-power network, including special networks that allow connecting and servicing low-power devices, are considered.

Keywords: bandwidth, 6G mobile network, spectral range of new generation radio systems, terahertz communication, data transmission speed.

Вступ

Пропускна здатність є ключовим параметром для застосунків, які передбачають обробку величезної кількості переданих даних, таких як HSD (High-Speed Data), ABF (Augmented and Virtual Reality, Big Data Analytics, and Smart Factories) і CSAI (Connected Vehicles, Smart Cities, Artificial Intelligence). У системах 6G, розробка та оптимізація пропускної здатності є однією з головних цілей. Мобільні мережі 6G прагнуть забезпечити надзвичайно високу швидкість передачі даних, щоб задовольнити зростаючі потреби у великому обсязі даних, які виникають в застосунках, які ви згадали. За допомогою нових технологій та підходів, таких як використання широкосмугових радіоінтерфейсів, багатоканальної передачі даних, розширення спектру та використання більш ефективних антенних систем, системи 6G мають потенціал значно підвищити пропускну здатність порівняно з попередніми поколіннями мобільних мереж. Висока пропускна здатність допоможе забезпечити швидку передачу даних, низькі затримки та високу якість обслуговування, що стане основою для ефективного функціонування і успіху застосунків, які потребують обробки великого обсягу даних [1].

Метою роботи є дослідження мобільних мереж доступу 6G, яка полягає в розробці та вдосконаленні технологій та стандартів, що лежать в основі наступного покоління бездротових мереж зв'язку.

Основна частина

Розширений спектральний діапазон радіосистем нового покоління, таких як мережа 6G, є одним з ключових аспектів для забезпечення високошвидкісного та потужного бездротового зв'язку. Основною метою розширення спектрального діапазону є забезпечення більшої пропускної здатності та зменшення затримки в передачі даних. Ось декілька технологій, що використовуються для розширення спектрального діапазону: Використання міліметрових хвиль: Мережа 6G може використовувати міліметрові хвилі (діапазон від 30 до 300 ГГц), які мають широкий смуговий проміжок доступу до частот. Цей діапазон може забезпечити значно більшу пропускну здатність, порівняно з традиційними діапазонами, що використовуються у мережі 4G та 5G. На рисунку 1 показані спектри робочих частот стільникових систем [1].

Технології роботи в терагерцовому діапазоні: Терагерцові хвилі (діапазон від 300 до 3000 ГГц) ви-

користуються як потенційний спектральний ресурс для мереж 6G. Вони дозволяють передавати дані на дуже високих швидкостях із мінімальною затримкою. Однак, технології роботи в цьому діапазоні ще знаходяться на стадії дослідження та розробки. Агрегація діапазонів частот: Мережа 6G може використовувати технологію агрегації діапазонів частот, де різні діапазони об'єднуються для забезпечення вищої пропускної здатності та швидкості передачі даних. Це може включати поєднання різних діапазонів.

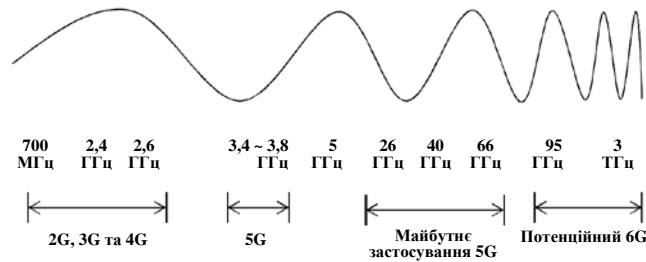


Рис. 1. Розширений спектральний діапазон радіосистем нового покоління

Мобільні мережі нового покоління складаються з мережі радіодоступу (RAN) та опорної мережі (CN). При цьому, мережа RAN з'єднує мобільні пристрої з основною мережею. Основним компонентом мережі RAN є базова станція, яка покриває певну територію з точки зору частотних діапазонів і планування стільникового зв'язку. Розроблено різновиди технології RAN для стільникових систем: GERAN (мережа радіодоступу GSM EDGE), UTRAN (універсальна система мобільного зв'язку RAN), E-UTRAN (розвинена універсальна наземна RAN) [2]. Базова мережа (ядро радіомережі) CN забезпечує контроль доступу, хендовер, маршрутизацію, комутацію, білінг та дозволяє мобільному користувачеві підключитися до Інтернету або встановити телефонний зв'язок. Традиційно, мобільні оператори мають одного постачальника для розгортання своєї основної мережі та декількох постачальників для розгортання мережі RAN. Оператори мобільного зв'язку прагнуть до гнучкого використання мобільного обладнання. Завдяки значному вдосконаленню технологій інтегрування (VLSI), таких як центральні процесори (CPU) і графічні процесори (GPU) стало можливим впроваджувати віртуальні мережеві компоненти, для збільшення гнучкості та масштабованості мережі. Такий підхід робить програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом більш привабливим варіантом для реалізації мереж радіодоступу наступного покоління. Переваги програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом зумовили створення відкритих та інтелектуальних мереж радіодоступу. Зокрема, Open RAN (O-RAN) дозволяє використовувати змішані компоненти з більшою гнучкістю. Основними перевагами Open RAN є знижена собівартість мережевого обладнання, розширена адаптація, підвищена продуктивність мережі, підвищена сумісність, покращена інформаційна безпека [3]. В результаті, постачальники можуть мати розширений доступ до мережі із збільшеною гнучкістю, а мобільні оператори можуть обирати мережеве обладнання та рішення, що найкраще підходять для них. Основною концепцією Open RAN є відкритість протоколу та можливість побудови інтерфейсів між багатьма різними блоками. Основними структурними елементами O-RAN є радіостанція (Radio Unit, RU), розподілений блок (Distributed Unit, DU) та централізований блок (Centralized Unit, CU). ШІ або МН можуть відігравати важливу роль інтелектуального контролера RAN для оптимізації мережі Open RAN. Архітектура мережі Open RAN використовує інтелектуальний контролер RAN з підтримкою ШІ (RIC) для надання послуг у режимі, близькому до реального часу, і в режимі, відмінному від реального часу.

Телекомунікаційні сигнали мають відповідати таким вимогам: висока спектральна ефективність, масштабоване розширення смуги пропускання, підтримка модуляції високого порядку, ефективна структура для MIMO. Отже, формат телекомунікаційних сигналів 6G має відповідати вимогам до сигналів 5G та можливістю забезпечення підтримки терагерцового діапазону, ускладненої схемотехніки приймачів та процесу аналогової обробки сигналів.

Технологія передавання даних (BackCom) використовує відбиті або розсіяні радіосигнали для передачі даних. При цьому, використовується пасивне відбиття та модуляція падаючого сигналу без застосування в телекомунікаційному обладнанні активних радіочастотних компонентів. Оскільки трансивери BackCom споживають дуже мало енергії в порівнянні зі звичайними трансиверами та мають спрощену архітектуру, яка підходить для забезпечення роботи пристроїв IoT, що не потребують додаткового електроживлення, можуть використовуватися в масовому підключенні 6G. Система

BackCom складається з пасивного вузла, який збирає енергію із вхідного радіосигналу та приймача. Пасивний вузол складається із детектора радіочастотної енергії, акумулятора, блоку модуляції та декодера інформації. Невідповідність між опором антени та навантаженням викликає перевідбиття радіосигналу. Зміна імпедансу навантаження дозволяє керувати коефіцієнтом відбиття та змінювати випадкову послідовність, модулюючи відбитий сигнал інформацією з пасивного вузла. На рис. 2. відображено три топології системи BackCom [4].

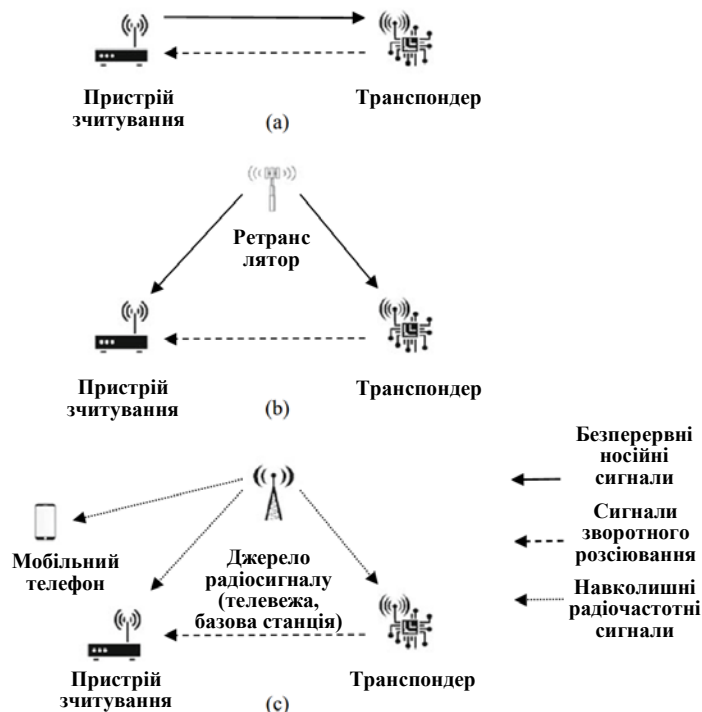


Рис. 2. Топології систем BackCom: традиційна (а); бістатична (б), (с)

На рис. 2 а, при традиційній топології системи передавання трансивер генерує радіочастотні сигнали для активації пасивного радіовузла, який модулює та відображає радіочастотні сигнали для передачі даних. Втрати сигналів через збільшення відстані між пасивним вузлом та зчитувальним пристроєм створює необхідність підвищення енергії споживання та формування спрощеного формату модуляції сигналу зворотного розсіювання. Таким чином, традиційний зв'язок із зворотним розсіюванням може використовуватися для додатків RFID малого радіусу дії. Для розширення зони покриття RFID мережі використовують додаткові ретранслятори, як показано на рис. 2 б, та 2 с, яка є узагальненою версією бістатичного зв'язку із зворотним розсіюванням. Ускладнення реалізації технології BackCom в стільниковій системі зумовлена необхідністю використання інформації про фазу та стан каналу стільникової системи. Тому, розглядається некогерентний зв'язок, який дозволяє краще використовувати ресурси і надавати послуги. У системах 6G звичайна радіочастотна ідентифікація може бути замінена технологією BackCom або обидві технології можуть співіснувати в мережах 6G. У таблиці 1 наведено порівняння традиційного зв'язку RFID та BackCom [5].

Таблиця 1. Порівняння зв'язку RFID і BackCom

Назва параметру	RFID	BackCom
Довжина тракту передавання	Менше ніж 1 м	Менше ніж 1 км
Швидкість передачі даних	Менше ніж 640 Кбіт/с	Менше ніж 10 Мбіт/с
Формат модуляції	BPSK	ASK, FSK, PSK, QAM Можливість модуляції високого порядку
Топологія мережі	Точка-точка	Множинний доступ

Розглянуто трансивер BackCom, який споживає дуже мало енергії порівняно зі звичайними трансиверами і має дуже низьку складність архітектури, що робить його ідеальним для зв'язку з Інтерне-

том речей (IoT). IoT вимагає використання великої кількості сенсорів та інших розумних пристроїв, які мають обмежену енергопотребу та обмежені ресурси. Трансивер BackCom може ефективно працювати з цими обмеженнями, забезпечуючи стабільний та надійний зв'язок з мінімальним споживанням енергії.

Висновки

Визначено, що діапазони частот систем 6G можуть починатись від 100 ГГц і вище, що є значно вище, ніж максимальні частоти, які використовуються в 5G (до 52,6 ГГц). Це дає можливість досягати високої пропускної здатності, низької затримки та підвищеної місткості мережі. Однак, використання таких високих частот може призвести до проблем зі зв'язком, оскільки вони відносно швидко затухають на відстані і зазнають значних втрат від перешкод, таких як стіни будівель та дерева. Тому для досягнення максимальної ефективності мережі 6G необхідно використовувати різноманітні технології, такі як масивні антени, розподілена обробка сигналів.

Розглянуто основні перевагами терагерцового зв'язку. Величезна пропускна здатність: Терагерцові хвилі мають високу частоту і коротку довжину хвилі, що дозволяє передавати велику кількість інформації за короткий час. Це робить терагерцовий зв'язок особливо привабливим для використання у високошвидкісних мережах передачі даних, таких як відео-стрімінг і мережі Інтернету речей. Мініатюрні антени: Терагерцовий зв'язок вимагає використання дуже малих антен, що дозволяє використовувати його в малих пристроях, таких як смартфони, ноутбуки та інші пристрої. Проникнення через непровідні матеріали: Терагерцові хвилі можуть проникати через непровідні матеріали, такі як одяг, дерево, пластик, кераміка і папір. Це дозволяє використовувати терагерцовий зв'язок для комунікації в середовищах, де інші технології не працюють. Мінімальний вплив на організм людини: Терагерцовий зв'язок має мінімальний вплив на організм людини. Це означає, що він безпечний для використання в будь-якому середовищі. Отже, терагерцовий зв'язок має численні переваги, які роблять його привабливим для використання в різних областях, включаючи телекомунікації, медицину, безпеку та інші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ITU-T, FG NET-2030 Technical Report on Network 2030. Additional Representative Use Cases and Key Network Requirements for Network 2030 (June 2020)
2. W. Tang, X. Li, J.Y. Dai, S. Jin, Y. Zeng, Q. Cheng, T.J. Cui, Wireless communications with programmable metasurface: transceiver design and experimental results. J. China Commun. 16(5), 46–61 (2019)
3. М. Васильківський, О. Болдирева, Г. Варгатюк, і М. Будащ, «Керування телекомунікаційними мережами з використанням технологій AI/ML», ВОТТП, вип. 1, с. 89–100, Бер 2023. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-73-1-13>
4. М. Васильківський, О. Городецька, Б. Климчук, і В. Говорун, «Стратегії технологічного розвитку апаратного забезпечення інфокомунікаційних радіомереж», ІТКІ, вип. 56, вип. 1, с. 83–91, Бер 2023. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2023-56-1-83-91>
5. М. Васильківський, О. Городецька, О. Стальченко, і Б. Климчук, «Підвищення ефективності інтелектуальних мереж МІМО на основі 6G», ІТКІ, вип. 56, вип. 1, с. 92–101, Бер 2023. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2023-56-1-92-101>

Якубівська Наталя Володимирівна — студентка групи ТКС-21мсз, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nakubivska@gmail.com

Буйницький Максим Васильович — студент групи ТКР-22мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Maxxim.byinytciu@gmail.com

Горовенко Дмитро Олександрович — студент групи ТКР-22мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: gorovdima@gmail.com

Науковий керівник: **Васильківський Микола Володимирович** — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Yakubivska Natalia V. - student of the group TKS-21msz, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nakubivska@gmail.com

Buynitskyi Maksym V. - student of the TKR-22ms group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Maxxim.byinytciu@gmail.com

Horovenko Dmytro O. - student of the TKR-22ms group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: gorovdima@gmail.com

Supervisor: **Vasyukivskiy Mykola V.** — candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia