

## ІНТЕГРОВАНІ МЕРЕЖНІ ТЕХНОЛОГІЇ 6G

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Досліджено технологію мережної інтеграції для підвищення пропускної здатності мережі за рахунок використання персоналізованої конструкції радіоінтерфейсу каналу доступу, включаючи різні можливості дуплексування та інваріантний напрямок каналу. Розглянуто ефективність використання гнучких технологій пересилання, таких як декодування та пересилання, стиснення та пересилання а також ретрансляція з підсиленням та пересиланням для роздільного або комбінованого використання в меш-мережі.

**Ключові слова:** технологія 6G, суперканал, інфокомунікаційна меш-мережа доступу, мережна інтеграція.

### Abstract

The network integration technology for increasing the network bandwidth through the use of a personalized radio interface design of the access channel, including various duplexing capabilities and invariant channel direction, is investigated. The effectiveness of using flexible forwarding technologies such as decoding and forwarding, compression and forwarding, and relay with amplification and forwarding for separate or combined use in a mesh network is considered.

**Keywords:** 6G technology, super channel, information communication mesh access network, network integration.

### Вступ

Суперканали мережі 6G повинні використовувати більш високочастотний спектр особливо для зв'язку на короткі відстані. Наприклад, вже пропонувалося використання надвисоких частот, таких як ТГц-діапазон та оптичний бездротовий зв'язок (OWC) [1, 2].

За останні кілька десятиліть терагерцовий зв'язок викликав великий дослідницький інтерес, особливо з погляду ТГц-модуляторів, антен та моделювання і оцінки ТГц-каналів [3]. ТГц діапазон, який знаходиться в діапазоні від 100 ГГц до 10 ТГц і знаходиться між міліметровим та оптичним діапазонами має унікальні характеристики. Наприклад, він пропонує у 100 разів більшу смугу пропускання, ніж звичайний радіочастотний спектр, що означає, що він може забезпечити надвисоку пропускну здатність. Однак компоненти зв'язку ТГц-діапазону (наприклад, підсилювачі потужності, змішувачі та антени) не позбавлені проблем з погляду енергоефективності та конструктивних обмежень. Отже, необхідні подальші дослідження підвищення характеристик пристроїв. Також важливо проводити розробку на рівні системи (наприклад, спільна розробка фізичного рівня та форми сигналів для компенсації обмежень пристрою).

За останні кілька років технології OWC досягли значного прогресу. Наприклад, зв'язок у видимому світлі (VLC) і точне відтворення світла (Li-Fi) вже стандартизовані, або продемонстровані [4, 5], а оптика у вільному просторі (FSO) використовувалася для дальнього зв'язку D2D [6], де джерела світла безпосередньо формують бездротові канали. Технологія VLC використовує світлодіод та фотодіод як джерело і приймач відповідно і при цьому світловий промінь модулюється, змінюючи інтенсивність для відображення нулів та одиниць безпосередньо в оптичну хвилю; ця модуляція повинна виконуватися досить швидко, щоб уникнути ефекту мерехтіння. Використання технології VLC у 5G попередньо протестовано у роботі [7]. Однак на технологію OWC суттєво впливають погодні умови та атмосферна турбулентність. Наприклад, туман послаблює оптичні сигнали, що зумовлює недоступність каналу OWC. На пом'якшення цієї проблеми спрямована гібридна технологія RF/OWC, яка поєднує переваги радіочастотного доступу (надійність) і OWC (ємність) і є прийнятним додатковим варіантом [8].

Метою роботи є дослідження ефективної мережної інтеграції з використанням уніфікованого ра-

діоінтерфейсу та меш-мережі із суперканалами.

## Результати дослідження

Суперканали 6G потребують дослідження уніфікованих процедур фізичного рівня, таких як широкомовна передача, механізми довільного доступу, а також вимірювання та вибір ресурсів. На початку інтеграції, можливо, доведеться знову розглянути складові радіоінтерфейсу, включаючи форми сигналів, модуляцію, мультиплексування, кодування і схеми MIMO. За останні кілька років у цьому напрямку було досягнуто обнадійливого прогресу. Вже розглянута інтеграція 5G та VLC, використовуючи VLC для зв'язку між світлофорами та транспортними засобами. А також проаналізовано показники систем VLC на основі схеми 5G OFDMA або NOMA-OFDMA.

До мереж 6G буде підключено безліч пристроїв. Однак через обмежену зону покриття суперканалів зв'язку та перешкод для сигналів (наприклад, стіни, меблі і навіть люди можуть перешкоджати проходженню сигналу) важливим фактором при розробці суперканалів зв'язку є багатоланкова меш-мережа D2D. З'ясування того, як об'єднати нову конструкцію радіоінтерфейсу та мережеві технології (такі як канали доступу та мережі прямих каналів), також є важливою областю досліджень.

Також слід враховувати розподіл та спільне використання спектра різними суперканалами та каналами доступу. Через вузький промінь і коротку відстань ТГц або ОWC передачі відносно легко розділити один і той же спектр або канал між різними суперканалами і каналами доступу. Тим не менш, це підвищує вимоги до придушення взаємних перешкод між суперканалами з використанням технології спрямованого променя. Інтегрована конструкція повинна максимізувати пропускну здатність мережі за рахунок використання персоналізованої конструкції радіоінтерфейсу каналу доступу, включаючи різні можливості дуплексування та інваріантний напрямок каналу. При проектуванні суперканалів 6G також може знадобитися використання неліцензійного спектра або вимірювання за допомогою ліцензованої частини спектра.

Визначено, що технологія суперканалів 6G підтримуватиме формування променів як для одноланкової, так і багатоланкової передачі. Оскільки на надвисокій частоті суперканалів промені можуть бути дуже вузькими, необхідні дослідження в галузі керування променем з низькими витратами та мінімальним впливом на мобільність. Дослідження також має враховувати той факт, що передача променю між передавачем і приймачем може бути асиметричною, особливо в ОWC, через обмеження потужності, розміру та складності пристроїв [2]. Також необхідні дослідження інтеграції суперканалу та каналу доступу з точки зору керування радіочастотним, терагерцовим та оптичним променем, щоб вирішити проблеми з асиметричною передачею променю та блокуванням траси для певних каналів. При цьому також необхідно враховувати інтеграцію кількох суперканалів та каналів доступу [9].

Проводяться дослідження з використання гнучких технологій пересилання, таких як декодування та пересилання (DF), стиснення та пересилання (CF), а також ретрансляція з підсиленням та пересиланням (AF), для роздільного або комбінованого використання в меш-мережі. Крім того, кодування мережі РНУ може використовуватися в комірковій мережі для підвищення ефективності та надійності, а також зниження затримки [10].

При ефективній реалізації радіоінтерфейсу та мережевих технологій інтеграція суперканалу та каналу доступу 6G призведе до зміни парадигми. З урахуванням гнучкої топології мережі та можливості зв'язку на швидкості порядку Тбіт/с, які також забезпечують меш-мережі із суперканалами 6G, перед нами відкривається потенційно новий простір застосувань різноманітних пристроїв [11].

## Висновки

Визначено, що при розробці мережі 6G необхідно передбачити допоміжні технології для інтеграції суперканалів та каналів доступу. Досліджено технології інтеграції суперканалів та каналів доступу з врахуванням необхідності використання екстремально широкої смуги спектру, що дозволяє досягти надвисокої пропускну здатності та швидкості передачі даних.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Y. Corre, G. Gougeon, J.-B. Doré, S. Bicaïs, B. Miscopain, E. Faussurier, M. Saad, J. Palicot, and F. Bader, Sub-THz spectrum as enabler for 6G wireless communications up to 1 Tbit/s, in Proc. 6G Wireless Summit, Mar. 2019, Levi Lapland, Finland.

2. M. Z. Chowdhury, M. Shahjalal, M. Hasan, Y. M. Jang et al., The role of optical wireless communication technologies in 5G/6G and IoT solutions: Prospects, directions, and challenges, *Applied Sciences*, vol. 9, no. 20, p. 4367, 2019.
3. Z. Chen, X. Ma, B. Zhang, Y. Zhang, Z. Niu, N. Kuang, W. Chen, L. Li, and S. Li, A survey on terahertz communications, *China Communications*, vol. 16, no. 2, pp. 1–35, 2019.
4. A. Bensky, *Short-range wireless communication*. Newnes, 2019.
5. D. Tsonev, S. Videv, and H. Haas, Light fidelity (Li-Fi): Towards all-optical networking, in *Proc. Conference on Broadband Access Communication Technologies VIII*, vol. 9007. International Society for Optics and Photonics, 2014, p. 900702.
6. A. K. Majumdar, *Advanced free space optics (FSO): A systems approach*. Springer, 2014.
7. F. Nizzi, T. Pecorella, S. Caputo, L. Mucchi, R. Fantacci, M. Bastianini, C. Cerboni, A. Buzzigoli, A. Fratini, T. Nawaz et al., Data dissemination to vehicles using 5G and VLC for smart cities, in *Proc. 2019 AEIT International Annual Conference (AEIT)*. IEEE, 2019, pp. 1–5.
8. M. Z. Chowdhury, M. T. Hossain, M. K. Hasan, and Y. M. Jang, Integrated RF/optical wireless networks for improving QoS in indoor and transportation applications, *Wireless Personal Communications*, vol. 107, no. 3, pp. 1401–1430, 2019.
9. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Челоян В.А. Спектральний метод оцінювання джитеру в телекомунікаційних системах. - Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2010, № 2, С. 109-114.
10. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Кичак В.М. Методи та засоби підвищення ефективності оцінювання фазового дрижання сигналів у телекомунікаційних системах: Монографія. - Вінниця: ВНТУ, 2015. - 140 с.
11. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Стальченко О.В. Пристрій аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів. - Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.– 2013, № 2.– С.82-85.

**Варгатюк Ганна Леонідівна** — аспірант групи 172-20а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: annaantonuik@gmail.com

**Болдырева Ольга Сергіївна** — аспірант групи 172-19а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rtt13bpoludenko@gmail.com

**Якубівська Наталія Володимирівна** — студент групи ТКС-21мз, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nakubivska@gmail.com

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

**Hanna Leonidivna Varhatiuk** — graduate student of group 172-20a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: annaantonuik@gmail.com

**Olha Serhiivna Boldyreva** — graduate student of group 172-19a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rtt13bpoludenko@gmail.com

**Natalia Volodymyrivna Yakubivska** — student of TKS-21m group, faculty of information electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nakubivska@gmail.com

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