

## ДОСЛІДЖЕННЯ СУПЕРКАНАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

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

### Анотація

Досліджено особливості ефективної інтеграції суперканалу та каналу доступу 6G. Розглянуто меш-мережу із суперканалами 6G, які забезпечують гнучкість топології інфокомунікаційної мережі та можливість зв'язку на швидкості порядку Тбіт/с, що дозволить сформувати потенційно новий простір застосувань різноманітних телекомунікаційних та радіотехнічних пристроїв.

**Ключові слова:** технологія 6G, суперканал, інфокомунікаційна мережа доступу, меш-мережа, канал передавання даних.

### Abstract

The features of the effective integration of the super channel and the 6G access channel have been studied. A mesh network with 6G superchannels is considered, which provide flexibility of the topology of the information communication network and the possibility of communication at speeds of the order of Tbit/s, which will allow to form a potentially new space of applications of various telecommunication and radio technical devices.

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

### Вступ

Радіодоступ у бездротових системах в основному побудований на архітектурі P2MP, в якій мобільні пристрої підключаються до однієї або кількох базових станцій. З моменту впровадження 4G бездротовий зв'язок підтримує використання однорангових прямих каналів. Зв'язок між транспортними засобами (V2V) як практичний приклад зв'язку D2D було визначено у системах 4G LTE, а покращений протокол V2V представлений у системах 5G NR [1].

У структурі радіоінтерфейсу прямі канали NR запозичують ключові функції каналів доступу NR (зв'язок між пристроями користувача і базовими станціями). Таким чином, прямі канали стали невід'ємною частиною NR. Зокрема, прямі канали NR успадковують ключові концепції та базову структуру від каналів доступу NR, хоч і з деякими спрощеннями, такими як смуга пропускання, гнучка структура кадру, кодування, модуляція та форми сигналів. Пристрої користувача можуть швидко встановлювати прямі канали один з одним, незалежно від того, підключені вони до спільного стільника NR чи ні.

Багато нових застосувань 6G вимагають високої пропускної здатності та низької затримки. Такі застосування, включаючи Ultimate XR, голографічний дисплей, тактильну передачу, високодинамічне керування рухом, позиціонування та візуалізацію, зазвичай забезпечують зв'язок на короткій відстані між двома пристроями. Отже, щоб відповідати вимогам до пропускної спроможності на рівні Тбіт/с та затримці менше кількох мілісекунд, в епоху 6G будуть потрібні нові технології ближнього радіусу дії, такі як прямий суперканал. Ідеальними варіантами на таку технологію є терагерцовий зв'язок та оптичний бездротовий зв'язок (OWC), які пропонують надзвичайно широку смугу пропускання. Таким чином, очікується, що прямі суперканали 6G матимуть надзвичайно високу пропускну здатність та надзвичайно низьку затримку завдяки використанню нового ТГц-діапазону або OWC та зможуть підтримувати локальні меш-мережі [2].

Метою роботи є дослідження інфокомунікаційних мереж на основі технологій 6G з використанням інтегрованих суперканалів для підвищення гнучкості, пропускної здатності та мобільності телекомунікаційного обладнання.

### Результати дослідження

Суперканали 6G та пов'язані з ними коміркові мережі повинні бути невід'ємною частиною загальної мобільної системи. Підхід D2D або V2V, представлений LTE або NR як зв'язок по прямому кана-

лу, розвантажує трафік базових станцій і полегшує зв'язок між пристроями на близьких відстанях. В 6G для каналів доступу широко використовуватимуться міліметрові хвилі, а для зв'язку на короткі відстані на більш високих частотах будуть застосовуватися ТГц-технології та OWC. З точки зору вимог до додатків, поточний спектр ІМТ стає надто переповненим. Оскільки, технологія 6G поєднає між собою безліч інтелектуальних пристроїв, які потребують гнучкі з'єднання для обміну контентом, орієнтованим на людину, а також інших типів міжмашинних комунікацій, таких як роевий інтелект та керування рухом на промисловому рівні, що вимагає величезної пропускної спроможності. Отже, щоб впоратися з попитом на бездротовий трафік, який стрімко зростає, терміново потрібен інтегрований суперканал, що використовує нові діапазони бездротового спектру.

Інтегровані суперканали мають кілька переваг перед виділеними каналами доступу та прямими каналами. Наприклад, динамічна локально організована суперканальна мережа, така як багатоланкова мережа, може відчутно розвантажити трафік каналу доступу, збільшити загальну ємність стільника, підвищити швидкість передачі даних користувача і, можливо, навіть зменшити затримку. Ця інтегральна архітектура також важлива у сценаріях застосування V2V. Зокрема, мережа може агрегувати всю інформацію датчиків з усіх сусідніх безпілотних транспортних засобів. У цій мережі пристрої можуть виявляти і підключатися один до одного через суперканали, навіть якщо вони не знаходяться в зоні покриття стільників. Інтегральна архітектура дозволить меш-мережі з суперканалами знайти баланс між гнучкістю, пропускною здатністю та мобільністю, тим самим досягнувши чудового поєднання показників [3].

На рис. 1 представлена меш-мережа із суперканалами 6G V2V, яка включає кілька каналів доступу і суперканали для обміну інформацією з датчиків та зображеннями з високою роздільною здатністю в реальному часі при автономному водінні. У сценарії V2V критично важливо використовувати меш-мережу з надзвичайно високою пропускною здатністю та малою затримкою. Завдяки інтеграції каналів доступу та суперканалів можна швидко створювати та налаштовувати меш-мережі.

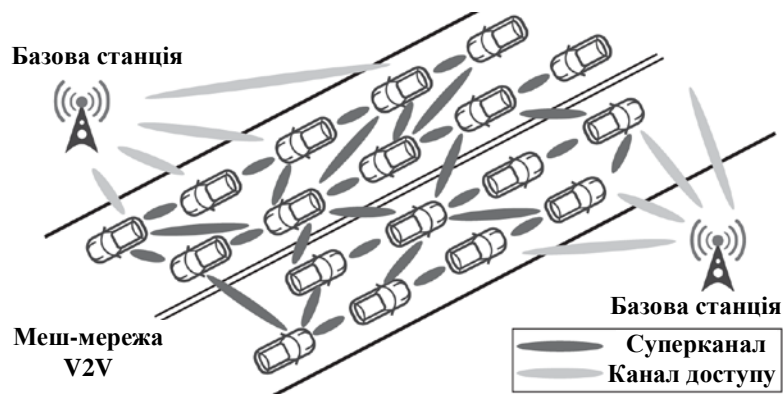


Рис. 1. Сегмент коміркової мережі із суперканалами 6G V2V

У 5G NR версії R16 прямі канали успадковують структуру каналів доступу (також відомих як  $U_c$  канали в 3GPP). Це означає аналогічне використання тієї ж форми сигналу, кодування, модуляції, структури кадру та MIMO. Отже, прямі канали NR і канали доступу  $U_c$  можуть бути інтегровані для спрощення реалізації обладнання та навіть повторного використання наборів мікросхем, що дозволяє значно скоротити витрати для постачальників обладнання.

Крім того, прямі канали 5G зв'язку також використовують деякі нові функції, включаючи синхронізацію, виділення ресурсів, HARQ і придушення взаємних завад. Ці функції можуть жорстко або гнучко контролюватись мобільною мережею. Розглянемо їх докладніше.

Для синхронізації по прямому каналу зв'язку різні типи джерел синхронізації, кожен з яких пов'язаний з пріоритетом синхронізації, вказуються для різних сценаріїв – у зоні покриття, поза зоною покриття та частковою зоною покриття, – щоб отримати один і той самий опорний час.

Для виділення ресурсів прямого каналу було визначено два режими. Режим 1 застосовується до сценаріїв у зоні покриття, коли ресурси прямого каналу виділяє мережа. У таких сценаріях канал  $U_c$  керує прямим каналом. Режим 2 застосовується як до сценаріїв у зоні покриття, так і поза зоною пок-

риття, коли абонентські пристрої автономно вибирають ресурси для зв'язку по прямому каналу. Ці ресурси можуть бути оперативно налаштовані мережею, коли передавальний пристрій знаходиться в зоні обслуговування, або попередньо налаштовані, коли він знаходиться поза зоною.

Повторна передача (HARQ) по прямому каналу підвищує надійність групової та одноадресної передачі. Показовим прикладом є розширення послуги NR V2X на всі автомобілі у безпілотній автоколоні. В даному випадку всі машини можуть отримувати інформацію від головної машини для керування автоколоною. Ця інформація дозволяє транспортним засобам скоординовано рухатися з меншим проміжком, ніж зазвичай, при цьому всі транспортні засоби рухаються разом та в одному напрямку. У цьому випадку ресурси зворотного зв'язку та повторної передачі HARQ можуть бути оперативно налаштовані мережею, коли автомобілі знаходяться в зоні обслуговування, або попередньо налаштовані, коли вони знаходяться поза зоною.

При боротьбі із взаємними перешкодами між внутрішньосмуговими прямими каналами використовується керування потужністю без зворотного зв'язку на основі втрат у тракці каналів  $U_u$  та прямих каналів. Наприклад, мінімальні втрати тракту каналу  $U_u$  і прямого каналу використовуються при визначенні потужності передавача. У режимі 2 виділення ресурсів для прямого каналу передавач пристрою може покладатися на декодування SCI і вимірювання потужності прийнятого опорного сигналу (RSRP) для визначення ресурсів-кандидатів, потенційно доступних для використання при автономному виборі, уникаючи при цьому конфліктів з ресурсами, зайнятими іншими кінцевими пристроями. Це допомагає пристрою боротися з перешкодами.

## Висновки

Досліджено суперканали, що працюють у діапазонах ТГц та оптичних частот, які мають кілька переваг у порівнянні з традиційними технологіями радіочастотного зв'язку. Зокрема, вони використовують широкий спектр і мають підвищену стійкість до завад. Визначено, що при організації суперканалів бажано використовувати уніфіковану конструкцію фізичного рівня для ТГц-, оптичного та радіочастотного зв'язку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. 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.
3. M. Z. Chowdhury, M. T. Hossan, 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.

**Будаш Михайло Володимирович** — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mika@budash.dp.ua

**Прикмета Андрій Володимирович** — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: botan.mua@gmail.com

**Олійник Андрій Олегович** — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: w0lfend00@gmail.com

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

**Mykhailo Volodymyrovych Budash** — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mika@budash.dp.ua

**Andrii Volodymyrovych Prykmeta** — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: botan.mua@gmail.com

**Andrii Olehovych Oliinyk** — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: w0lfend00@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