

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНОГО РІВНЯ МЕРЕЖ 6G

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Детально досліджено вимоги до фізичного рівня мережі 6G, що дозволяє визначити оптимальні шляхи впровадження нових телекомунікаційних технологій у галузі бездротових комунікацій, які задовольнятимуть майбутні потреби у зв'язку.

Ключові слова: фізичний рівень мережі, швидкість передавання даних, ширина смуги пропускання, носійна частота, щільність підключення, ключові технології систем 6G.

Abstract

The requirements for the physical layer of the 6G network are studied in detail, which allows to determine the best ways to introduce new telecommunication technologies in the field of wireless communications that will meet future communication needs.

Keywords: physical network layer, data transmission speed, bandwidth, carrier frequency, connection density, key technologies of 6G systems.

Вступ

Дослідження вимог до фізичного рівня мережі 6G включають аспекти, такі як: Високі швидкості передачі даних: Дослідження спрямовані на досягнення набагато вищих швидкостей передачі даних порівняно з мережею 5G, що може включати в себе швидкості в десятки або сотні Гігабіт на секунду. Низька латентність: Вимога до мережі 6G полягає в зменшенні латентності до мінімального рівня. Це дозволить забезпечити миттєву взаємодію та підтримку високопродуктивних додатків, таких як автономні автомобілі, віртуальна реальність, розширена реальність та інші. Висока надійність зв'язку: Дослідження також спрямовані на покращення надійності зв'язку у мережі 6G, зменшення втрат пакетів даних та забезпечення стабільного з'єднання навіть у вимогливих умовах, таких як великі навантаження або висока рухливість пристроїв. Масштабованість: З ростом Інтернету речей (IoT) та підключених пристроїв, дослідження вимог до фізичного рівня мережі 6G також орієнтовані на підтримку великої кількості підключених пристроїв. Це означає, що мережа 6G повинна бути здатною обробляти великі обсяги даних від мільярдів підключених пристроїв IoT та забезпечувати надійний зв'язок з ними. Дослідження спрямовані на вдосконалення каналів передачі даних та ресурсного управління для забезпечення оптимальної продуктивності і масштабованості [1].

Крім того, дослідження вимог до фізичного рівня мережі 6G також можуть охоплювати такі аспекти: Енергоефективність: Забезпечення ефективного використання енергії є важливим аспектом розробки мережі 6G. Дослідження спрямовані на розробку енергоефективних технологій та протоколів, що дозволять зберігати енергію та продовжувати термін роботи пристроїв, особливо для бездротових пристроїв з обмеженими джерелами живлення. Використання нових частотних діапазонів: Дослідники вивчають можливість використання нових частотних діапазонів, таких як міліметрові хвилі та терагерцові хвилі, для передачі даних у мережі 6G. Це може дозволити вищу пропускну здатність та швидкість передачі даних. Використання нових технологій передачі: Дослідження також спрямовані на використання нових технологій передачі, таких як багатоелементні антени та направлене радіоспрямування, для покращення продуктивності та ефективності передачі даних у мережі 6G [2].

Метою роботи є дослідження мереж 6G на фізичному рівні для забезпечення розробки та визначення нових технологій, протоколів та архітектури, які задовольняють майбутні потреби в бездротовому зв'язку.

Основна частина

Дослідження фізичного рівня мереж 6G є активним напрямом досліджень у галузі бездротових комунікацій. Основною метою цих досліджень є розробка нових технологій, протоколів та архітек-

тур, які забезпечать покращену продуктивність, надійність та швидкість передачі даних у мережі 6G. Деякі основні аспекти дослідження фізичного рівня мереж 6G включають: Використання нових частотних діапазонів: Дослідники вивчають можливість використання нових частотних діапазонів, включаючи міліметрові хвилі та терагерцові хвилі. Ці високочастотні діапазони мають широкі смуги доступу до частот, що дозволяє досягти великої пропускної здатності та високої швидкості передачі даних. Розширення антенних систем: Дослідження фокусуються на розробці нових антенних систем, таких як багатоелементні антени та активне радіоспрямування. Це дозволяє поліпшити якість зв'язку, збільшити покриття мережі та забезпечити більшу надійність зв'язку в умовах з тривалою затримкою та високими шумами. Масиви антен та MiMO (Multiple-Input Multiple-Output): Дослідження спрямовані на використання масивів антен та технології MiMO для покращення продуктивності та надійності передачі даних. Це включає використання багатьох антен для одночасного передавання та отримання сигналів, що дозволяє збільшити пропускну здатність та знизити затримку [3].

На основі поточних трендів та очікувань, можна сформулювати певні очікувані вимоги до технології 6G з точки зору фізичного рівня і мереж. Основні вимоги до фізичного рівня 6G можуть включати: Вищі частотні діапазони: Очікується, що 6G використовуватиме набагато вищі частотні діапазони, ніж попередні покоління мобільних технологій, включаючи міліметрові хвилі та пікосекундні хвилі. Це дозволить передавати більшу кількість даних та забезпечити вищу пропускну здатність. Величезна пропускна здатність: 6G буде міцно спрямовано на надання величезної пропускної здатності, що дозволить передавати і обробляти великі обсяги даних у реальному часі. Очікується значне зростання швидкості передачі даних порівняно з 5G. Низька затримка: Затримка (латенція) є ще однією важливою характеристикою 6G. Очікується зменшення значення затримки порівняно з 5G, що дозволить реалізувати застосунки з вимогами до низької латентності, такі як віртуальна реальність, розширена реальність, автономні автомобілі та інші. Більша енергоефективність: Важливою вимогою до 6G буде забезпечення більшої енергоефективності. Це допоможе знизити споживання енергії мережею та підвищити тривалість роботи пристроїв. Масивні MIMO: Вимоги до 6G можуть включати використання масивних систем введення-виведення (MIMO) з надзвичайно великою кількістю антен для покращення якості зв'язку та збільшення кількості одночасних з'єднань. Комбіновані технології: 6G може використовувати комбінацію різних технологій, таких як супутникові мережі, бездротові мережі, оптичні мережі та інші, для забезпечення більшої надійності, пропускної здатності та покриття. Основні комбіновані технології, які можуть використовуватися в рамках 6G, включають: Супутникові мережі: Використання супутників у поєднанні зі земними мережами дозволить забезпечити глобальне покриття та зв'язок навіть у віддалених та важкодоступних областях. Супутникові мережі можуть бути використані для передачі сигналів на великі відстані та підтримки мобільного зв'язку. Бездротові мережі: Бездротові технології, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee та інші, можуть бути поєднані з 6G для створення безшовних та розширених мережевих середовищ. Це дозволить підтримувати велику кількість підключених пристроїв та реалізувати розумний домашній, місто та інфраструктуру майбутнього. Оптичні мережі: Використання волоконно-оптичних мереж для передачі даних на великі відстані та високими швидкостями може бути поєднано з бездротовими технологіями для створення швидкісних та потужних комунікаційних інфраструктур. Інші технології: Крім того, можуть бути використані ШІ та машинне навчання, щоб забезпечити оптимальне управління мережами, розподіл ресурсів та прогнозування зміни обсягів даних [1].

У таблиці 1 узагальнено вимоги до технології 6G з точки зору фізичного рівня. Комбіновані технології у 6G мають потенціал створити супер-підключене та розширене середовище з новими можливостями та застосунками. Основні переваги комбінованих технологій у 6G включають: Величезна пропускна здатність: Комбінація різних технологій дозволить використовувати широкий спектр пропускної здатності та швидкості передачі даних. Це забезпечить потужність для передачі великих обсягів даних, високоякісного відео, віртуальної реальності, розширеної реальності та інших інтенсивних застосунків. Розширене покриття: Комбіновані технології дозволять поєднати різні мережеві інфраструктури, такі як супутникові мережі, бездротові мережі та оптичні мережі, що забезпечить широке та безшовне покриття в різних областях, включаючи віддалені та густонаселені райони. Низька затримка: Комбінація технологій дозволить досягнути низької затримки передачі даних, що є критичним для реалізації вимог до низької латентності. Це важливо для реактивних застосунків, таких як автономні автомобілі, інтерактивні ігри та розширена реальність. Висока надійність: Комбіновані технології можуть забезпечити високу надійність зв'язку шляхом резервування та комутації між різними мережевими інтерфейсами. Це забезпечить стійкість та неперервну доступність послуг, навіть у

випадку випадкових відмов або перешкод [2].

Таблиця 1. Вимоги до фізичного рівня

	Носійна частота	Ширина смуги пропускання	Швидкість передавання даних	Затримка	Щільність підключення	Мобільність
IMT2020	до 100 ГГц	до 1 ГГц	Пікове значення (DL/UL): 20/10 Гбіт/с Значення для одного користувача (DL/UL): 100/50 Мбіт/с	Значення при передачі даних на рівні одного користувача 1 мс Значення для групових сигналів керування 20 мс	1 пристрій/м ²	до 500 км/год
IMT2030	до 300 ГГц	до 10 ГГц	Пікове значення (DL/UL): 200/100 Гбіт/с Значення для одного користувача (DL/UL): 1 Гбіт/с / 500 Мбіт/с	Значення при передачі даних на рівні одного користувача 0.5 мс Значення для групових сигналів керування 5 мс	10 пристроїв/м ²	до 1000 км/год

Для забезпечення вказаних в таблиці 1 функціональних параметрів телекомунікаційних систем необхідно вирішити багато технічних проблем. Зокрема, розробники бездротових комунікацій і мереж стикаються з багатьма технічними і нетехнічними проблемами при створенні нових послуг і підвищенні їхньої продуктивності. Основне бачення та технічний тренд технології 6G можна підсумувати наступним чином: підтримка вертикалей, підтримка різних типів мережевих архітектур, широке розповсюдження віртуалізації, підтримка мільйонних підключень і зв'язок на основі даних і мережі з ШІ та МН. Підтримка вертикальних (промислових) додатків є одним з ключових напрямків зростання бездротового зв'язку та мереж. Співпраця між різними галузями стане основним рушієм розвитку бездротових систем [3].

Гетерогенні мережі досліджувались в системах 4G і 5G, але їх розгортання було обмеженим. Для задоволення різноманітних вимог у мережах 6G необхідно впроваджувати різні типи мережевої архітектури. Наприклад, розподілена підтримка MIMO, зовнішня підтримка малих стільників, внутрішні і зовнішні розподілені антенні системи (DAS) [1]. Системи 5G побудовані з використанням концепції віртуалізації дозволяють надавати індивідуальні мережеві послуги з використанням технологій нарізки. Системи 6G збережуть цю технологію і розширять концепції віртуалізації, такі як O-RAN. Крім того, штучний інтелект і машинний інтелект вже використовуються в багатьох додатках, оскільки алгоритми штучного інтелекту розвинені, а великі обсяги даних доступні в стільникових мережах. Таким чином, архітектура бездротових систем, заснована на рішеннях ШІ та МН змінить дизайн комунікаційних та мережевих компонентів. В результаті, з'являться нові функції базової станції, периферійних обчислень та мобільного комутаційного центру. Для вирішення технічних проблем при реалізації систем 6G першим кроком є оцінювання технічних умов, які можна підсумувати наступним чином: висока пропускна здатність в надщільних мережах (UDN), низька затримка зв'язку E2E, різноманітне розгортання мережі, гнучкість з використанням розподілених систем по всій мережі від краю до ядра, ефективні комунікації та мережі на основі AL- або ML-технологій, економічно ефективні мережеві рішення для сталого розвитку суспільства, безперешкодне підключення наземних, супутникових мереж і мереж на базі БПЛА, керування мобільністю в периферійних мережах, віртуалізація мереж і хмарні технології, нова стратегія використання спектру між неліцензованими та ліцензованими діапазонами, нові технології фізичного рівня, такі як терагерцовий зв'язок, розподілений масивний MIMO [2].

Ключові технології систем 6G можуть відповідати ключовим технологіям систем 5G, оскільки більшість ключових технологій 5G потребують подальшого розвитку і при цьому можуть бути адаптовані до систем 6G. Крім того, впровадження технології 6G покращить фундаментальні стільникові мережі, додавши нові функції, такі як надширокий спектр, віртуалізована концепція, розподілені системи, інтегровані послуги, мережеві компоненти зі штучним інтелектом. На основі нових можливостей очікуємо зміну парадигми на економічно ефективні та сервіс-орієнтовані мережі [3].

Висновки

Обґрунтовано необхідність досліджень радіомереж 6G: Забезпечення набагато вищих швидкостей передачі даних: Головною метою розробки мережі 6G є досягнення набагато вищих швидкостей передачі даних порівняно з попередніми поколіннями мобільних мереж. Це означає розробку нових технологій і протоколів, які дозволяють передавати дані з вражаючими швидкостями, включаючи десятки або сотні Гігабіт на секунду. Зменшення латентності: Іншою важливою метою є зменшення латентності мережі 6G. Це означає, що передача даних повинна бути практично миттєвою, з дуже низькою затримкою. Це є критичним для додатків в реальному часі, таких як автономні автомобілі, віртуальна реальність та розширена реальність. Висока надійність зв'язку: Дослідження мереж 6G також спрямовані на покращення надійності зв'язку. Це означає розробку нових методів і протоколів, які забезпечують стабільний зв'язок навіть в умовах з тривалою затримкою, високими шумами або високою рухливістю пристроїв. Масштабованість: Дослідження також зосереджені на розробці мереж 6G з високою масштабованістю.

Отже, впровадження мереж 6G матиме свої особливості порівняно з попередніми поколіннями мобільних мереж. Ось кілька особливостей, які можуть відзначитися впровадженням мережі 6G: Використання нових частотних діапазонів: Мережа 6G може використовувати нові частотні діапазони, такі як міліметрові хвилі та терагерцові хвилі, для передачі даних. Це вимагатиме розробки нових антенних систем та радіоінтерфейсів, здатних працювати на високих частотах та забезпечувати стабільний зв'язок. Розширене використання штучного інтелекту та машинного навчання: Мережа 6G може активно використовувати штучний інтелект та машинне навчання для оптимізації роботи мережі. Це може включати автоматичне управління ресурсами, передбачування мережевих навантажень та аналіз великих обсягів даних для покращення продуктивності та якості обслуговування. Розширення інтернету речей (IoT) та підключення критичних пристроїв: Мережа 6G буде спрямована на підтримку значно більшої кількості підключених пристроїв IoT та критичних пристроїв. Це вимагатиме розробки нових протоколів та механізмів для ефективного керування великими масштабами підключених пристроїв та забезпечення надійного зв'язку. Використання технологій розподіленого обчислення: Мережа 6G може використовувати технології розподіленого обчислення, такі як обчислення на краю мережі (edge computing) та обчислення у хмарі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Strategic Research and Innovation Agenda 2021–2027, European Technology Platform Net World 2020, Smart Networks in the context of NGI (September 2020). <https://5g-ia.eu/sns-horizon-europe/>.
2. Васильківський, М., Коломієць, А., & Грабчак, Н. (2022). Дослідження функціональних параметрів інфокомунікаційних мереж 6G. Вісник Хмельницького національного університету, (6), 46–52. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-46-52>
3. Васильківський, М., Коломієць, А., & Будащ, М. (2022). Оцінювання параметрів радіотрактів інфокомунікаційних систем 5G/6G. Вісник Хмельницького національного університету, (6), 53–60. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-53-60>

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

Андрущак Сергій Сергійович — студент групи ТКР-22мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: richmudak305@gmail.com

Буданевич Олексій Вячеславович — студент групи ТКР-22мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: budanevc@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

Andrushchak Serhii S. - student of the TKR-22ms group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: richmudak305@gmail.com

Budanevych Olexsii V. - student of the TKR-22ms group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: budanevc@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