

5G/6G МЕРЕЖІ: ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ВИКЛИКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто технічні особливості сучасних мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G) та перспективних мереж шостого покоління (6G). Проаналізовано ключові технології, на яких базуються ці стандарти, їхнє практичне застосування, а також основні виклики, що супроводжують їхнє впровадження.

Ключові слова: 5G, 6G, бездротові мережі, міліметрові хвилі, масивні MIMO, ультранизька затримка, мережевий зріз, цифрові близнюки.

Annotation

The paper examines the technical features of modern fifth-generation (5G) mobile communication networks and upcoming sixth-generation (6G) systems. Key technologies, practical implementation areas, and major deployment challenges are analyzed.

Keywords: 5G, 6G, wireless networks, millimeter waves, massive MIMO, ultra-low latency, network slicing, digital twins.

Вступ

Стрімкий розвиток мобільних технологій зумовив перехід до мереж 5G, які забезпечують значно вищу швидкість передачі даних, низьку затримку та підтримку мільярдів під'єднаних пристроїв. У перспективі очікується впровадження мереж 6G, які стануть основою для нових сервісів штучного інтелекту, голографічного зв'язку, квантово-стійких систем безпеки та повної інтеграції фізичного й цифрового середовищ. Розвиток 5G/6G створює фундамент для майбутніх цифрових екосистем, проте водночас ставить перед дослідниками та операторами низку технічних і організаційних завдань.

Результат розробки

Мережі 5G побудовані на низці передових технологій, серед яких ключову роль відіграють міліметрові хвилі, масивні MIMO та мережевий зріз. Використання частот у діапазоні 24–100 ГГц дає змогу досягати надвисоких швидкостей передачі даних, проте такі хвилі мають властивість швидко поглинатися перешкодами. Саме тому мережі 5G потребують більш щільного розміщення базових станцій. Це дозволяє забезпечити стабільний зв'язок навіть у густонаселених районах, але водночас вимагає суттєвих інвестицій у інфраструктуру.

Мережі 5G побудовані на низці передових технологій, серед яких ключову роль відіграють міліметрові хвилі, масивні MIMO та мережевий зріз. Використання частот у діапазоні 24–100 ГГц дає змогу досягати надвисоких швидкостей передачі даних, проте такі хвилі мають властивість швидко поглинатися перешкодами. Саме тому мережі 5G потребують більш щільного розміщення базових станцій. Це дозволяє забезпечити стабільний зв'язок навіть у густонаселених районах, але водночас вимагає суттєвих інвестицій у інфраструктуру.

Однією з особливостей 5G є наднизька затримка URLLC, що відкриває нові можливості у сфері автоматизації, зокрема у дистанційному керуванні роботизованими системами, автономному транспорті та промислових застосуваннях. Ця характеристика перетворює 5G на платформу для критично важливих застосувань, де швидкість реакції відіграє ключову роль.

У перспективі очікується впровадження мереж 6G, які використовуватимуть терагерцовий спектр та забезпечуватимуть швидкість понад 1 Тбіт/с. Вони також стануть основою для голографічного зв'язку, повної інтеграції інтернету речей, масового впровадження цифрових близнюків та автоматизованого управління інфраструктурою. На відміну від 5G, де штучний інтелект

використовується як додатковий інструмент, у 6G AI стане невід'ємною частиною мережевої архітектури, автоматично оптимізуючи маршрутизацію, безпеку та використання ресурсів.

Незважаючи на перспективи, впровадження 5G і підготовка до 6G пов'язані з низкою суттєвих викликів. Технічні виклики охоплюють проблему енергоспоживання, складність роботи в терагерцовому діапазоні, значні теплові втрати та високу чутливість сигналу до атмосферних умов. Важливою проблемою є забезпечення кібербезпеки, оскільки збільшення кількості підключених пристроїв створює нові можливості для атак.

Виклики впровадження

У 5G/6G кількість під'єднаних пристроїв збільшується у десятки разів, що створює широке поле для атак. Критичним стає питання захисту каналів зв'язку та стійкості систем до кібератак, особливо з урахуванням майбутньої появи квантових обчислень, які можуть зламувати сучасні криптографічні методи.

Шляхи подолання викликів

- розробка енергоефективних алгоритмів для масивних MIMO та mmWave-систем;
- впровадження квантово-стійких криптографічних методів;
- перехід до гібридних мереж із поєднанням наземних і супутникових рішень;
- використання AI-керування мережею для автоматичної оптимізації ресурсів.

Висновки

Розвиток мереж 5G та майбутніх 6G відкриває нові можливості для цифрової економіки, автономних систем, промислових інновацій і повного переходу до "розумної" інфраструктури. Незважаючи на технічні та організаційні виклики, ці технології вже формують основу майбутніх комунікаційних стандартів та забезпечують фундамент для розвитку інтелектуальних сервісів наступного покоління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Dahlman E., Parkvall S., Skold J. *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*. — Academic Press, 2020.
2. Saad W., Bennis M., Chen M. "A Vision of 6G Wireless Systems: Applications, Trends, Technologies, and Open Research Problems." *IEEE Network*, 2020.
3. Zhang Z., Xiao Y., Ma Z. *6G Wireless Networks: Vision, Requirements, Architecture, and Key Technologies*. IEEE Communications, 2021.

Кисюк Дмитро Васильович — старший викладач кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця, Україна, kneimad@gmail.com

Токарчук Матвій Олександрович — студент групи ІСП-25б, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця, Україна, matthewtokarchuk@gmail.com

Kysiuk Dmytro V. - Senior Lecturer at the Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shose St., Vinnytsia, Ukraine, kneimad@gmail.com

Tokarchuk Matviei.O. - Student of the Department of Computer Engineering, ISP-25b group, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shose St., Vinnytsia, Ukraine, matthewtokarchuk@gmail.com