

УДК 621.396:004.7

ТЕХНОЛОГІЇ 5G ТА МАЙБУТНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ 6G

Глущенко І.О.

e-mail: illia.hlushchenko@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., доцент Шаповалов С.В.

Студентський науково-технічний гурток «Радіотехнічні пристрої»
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС
м. Харків, Україна

The paper examines the key technological features of fifth-generation (5G) mobile networks and the prospects for the development of 6G systems. 5G architectural solutions are analyzed, in particular, the use of millimeter-wave, Massive MIMO, and beamforming. 6G development directions are outlined, including terahertz spectrum, integration of artificial intelligence, and support for new services - holographic communication and tactile Internet.

Мобільні мережі п'ятого та шостого поколінь є фундаментом сучасної цифрової інфраструктури. Вони забезпечують не лише зростання швидкості передачі даних, але й створюють нові можливості для промисловості, транспорту, медицини, автономних систем та віртуальних середовищ.

Архітектурні особливості та можливості 5G.

Технологія 5G забезпечує пікові швидкості передачі даних до 10 Гбіт/с, що у 20–50 разів перевищує можливості мережі 4G LTE. Досягнення таких показників стало можливим завдяки використанню міліметрових хвиль у діапазоні 20–100 ГГц, застосуванню технології Massive MIMO, яка передбачає використання десятків або сотень антен для одночасного обслуговування великої кількості користувачів, впровадженню технології формування вузьких спрямованих променів (beamforming), а також спектральній агрегації частотних діапазонів.

Однією з ключових характеристик 5G є наднизька затримка передачі сигналу до 1 мс. Це відкриває можливості для застосування мереж у системах реального часу.

Застосування 5G.

Віртуальна та доповнена реальність (VR/AR).

5G дозволяє реалізувати хмарний рендеринг складних VR-сцен із мінімальною затримкою, забезпечуючи повне занурення без використання високопродуктивних локальних пристроїв.

Автономний транспорт (V2X).

Мережі 5G забезпечують обмін даними між транспортними засобами та інфраструктурою з затримкою менше 10 мс, що є критично важливим для автономного керування та запобігання зіткненням.

Дистанційна медицина.

Можливість керування роботизованими системами в режимі реального часу дозволяє проводити телехірургічні операції з високою точністю.

Таким чином, 5G формує основу для розвитку кіберфізичних систем і концепції «розумного середовища».

Перспективи розвитку 6G.

Очікується, що комерційне впровадження 6G відбудеться у 2030–2035 роках. Основні дослідження вже активно проводяться у провідних технологічних центрах світу.

Технічні характеристики 6G.

Передбачається досягнення таких параметрів:

- швидкість передачі до 1 Тбіт/с;
- використання терагерцового спектра (0,1-10 ТГц);
- затримка близько 0,1 мс;
- інтеграція наземних і супутникових мереж.

Перехід до терагерцового діапазону дозволить значно розширити пропускну здатність мереж.

Інтеграція штучного інтелекту.

Однією з ключових відмінностей технології 6G буде інтеграція штучного інтелекту безпосередньо в архітектуру мережі (AI-Native Networks). Очікується, що це забезпечить інтелектуальне управління радіоресурсами, адаптивну маршрутизацію трафіку, автоматичне виявлення збоїв мережі та самовідновлення, а також можливість прогнозування навантаження з метою оптимізації роботи всієї системи.

Нові сервіси 6G.

6G створить умови для реалізації принципово нових сервісів:

- голографічного зв'язку;
- тактильного інтернету;
- цифрових двійників об'єктів у реальному часі;
- повної інтеграції дронів і автономних систем;
- глобального супутниково-наземного покриття.

Мережі 5G стали важливим етапом розвитку телекомунікацій, забезпечивши високу пропускну здатність та мінімальні затримки, що дозволило реалізувати нові цифрові сервіси у сфері VR/AR, автономного транспорту та телемедицини.

Майбутня технологія 6G стане основою глобальної цифрової екосистеми з інтегрованим штучним інтелектом, терагерцовими каналами зв'язку та ультранизькими затримками. Це забезпечить перехід від мереж передачі даних до інтелектуальних комунікаційних середовищ нового покоління.

Проблеми та виклики впровадження 6G.

Водночас впровадження 6G супроводжується низкою технічних та організаційних викликів, зокрема значним загасанням сигналу в терагерцовому діапазоні та необхідністю забезпеченням кібербезпеки мереж, орієнтованих на штучний інтелект, а також підвищеним енергоспоживанням, що може призвести до збільшення вуглецевого сліду телекомунікаційних систем.

Порівняльний аналіз 5G та 6G.

Для наочності ключові відмінності між мережами п'ятого та шостого поколінь зведені на рисунку 1. Порівняння охоплює швидкісні характеристики, діапазон частот, рівень затримки та архітектурні особливості.

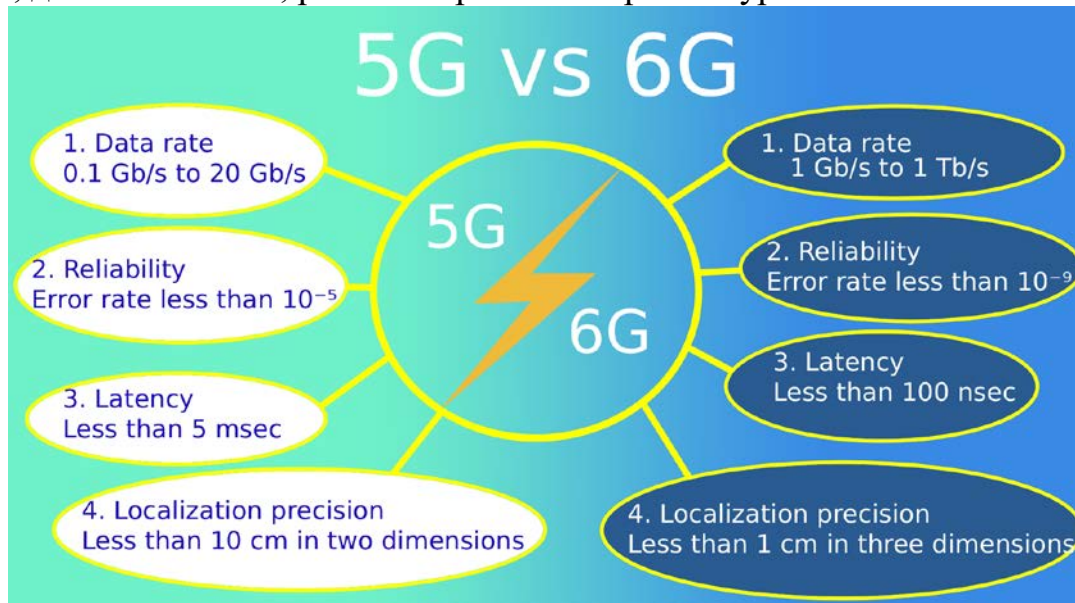


Рисунок 1 – Порівняльна характеристика 5G та 6G

Як видно з рисунка, технологія 6G забезпечує значне збільшення швидкості до 1 Тбіт/с, зменшення затримки до наносекундного рівня, підвищення надійності передачі даних та покращення точності позиціонування до сантиметрового рівня в тривимірному просторі порівняно з мережами 5G.

Список використаних джерел: 1. ITU-R, Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2030 and Beyond, Recommendation ITU-R M.2160-0, Nov. 2023. 2. H. Viswanathan and P. E. Mogensen, "Communications in the 6G Era," IEEE Access, vol. 11, pp. 101–123, 2023. 3. M. Latva-aho and K. Leppänen (eds.), Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence, 6G Flagship, University of Oulu, 2023. 4. W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "AI-Native 6G Networks: Vision, Architecture, and Open Problems," IEEE Communications Magazine, vol. 61, no. 1, pp. 28–34, Jan. 2024. 5. Samsung Research, 6G White Paper: AI-Native & Sustainable Communications, 2025.