



УДК 621.396.1

WIRELESS GENERATIONS OF ELECTRONIC COMMUNICATIONS: TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES БЕЗДРОТОВІ ПОКОЛІННЯ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙ: ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ

Kuzmin A.V. / Кузьмін А.В.

ORCID: 0009-0007-9504-3626

master/ магiстр

Ivko S.O. / Івко С.О.

ORCID: 0000-0002-8723-9035

c.t.s. / к.т.н.

Tsybulov R.A. / Цибульов Р.А.

ORCID: 0009-0006-7376-8581

master/ магiстр

Smoliar V.G. / Смоляр В.Г.

ORCID: 0000-0001-9465-5806

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

*Non-commissioned Officers College of Military Institute of Telecommunication and Informatization,
Poltava, Zinkivska, 44, 36009*

Військовий коледж сержантського складу ВІТІ, Полтава, Зінківська, 44, 36009

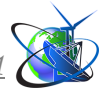
Анотація. Стаття розглядає еволюцію мобільних мереж від 1G до сучасних систем п'ятого та шостого покоління, висвітлює важливі аспекти концепції «великих даних». Автори аналізують зростаючу потребу у обробці великих обсягів даних в майбутньому мобільному середовищі 6G, яке характеризується високою швидкістю передачі даних, низькою затримкою та іншими ключовими характеристиками. Зазначається, що розвиток Інтернету речей, M2M, хмарних обчислень та штучного інтелекту є суттєвими компонентами цього процесу. Стаття також вказує на значущі виклики, які постають перед впровадженням 6G, зокрема в області безпеки, продуктивності та енергоефективності. Автори підкреслюють важливість подальших досліджень і інновацій для вирішення цих питань та досягнення довгострокового успіху мереж 6G.

Ключові слова: 6G, мобільні мережі, «великі дані», Інтернет речей, M2M, хмарні обчислення, безпека мереж, продуктивність, енергоефективність.

Вступ.

Мобільні технології пройшли значний шлях від суто аналогових систем без можливостей передачі даних (1G) до сучасних мереж п'ятого покоління (5G). Ця еволюція призвела до суттєвих змін у швидкості передачі даних, починаючи від низьких показників, приблизно 10 кбіт/с, із подальшими зростаннями, які теоретично досягають надзвичайно високих швидкостей до 1 Тбіт/с. Вірогідно, за допомогою технології 5G можливо досягти швидкості передачі даних на рівні 20 Гбіт/с і вище, що представляє собою значний технологічний прорив.

За останні 15 років мобільні пристрої стали все більш розповсюдженими, стаючи незамінними як у особистому, так і в професійному житті, значною мірою завдяки їхній здатності давати доступ до Інтернету практично з будь-якого місця та в будь-який час. В більшості випадків мобільні пристрої підключаються до Інтернету через Wi-Fi або через послуги 4G/5G. Понад 40% світового трафіку припадає на мобільні пристрої. Більш ніж у 80 країнах



більшість трафіку надходить із мобільних пристроїв [1].

За інформацією Національної комісії, яка відповідає за державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку, більш ніж 90% населення України вже мають доступ до мереж четвертого покоління (4G) [2] і натомість цей показник продовжує зростати. У той же час провідні оператори електронних комунікацій інтенсивно працюють над впровадженням мереж п'ятого покоління (5G), щоб покращити якість та доступність мобільного зв'язку для населення. На початку 2023 року розблокували частоти у діапазоні 3400-3600 МГц. Також віцепрем'єр-міністр цифрової трансформації Михайло Федоров анонсував появу в Україні 5G на 2024 рік. Розгортання 5G стане основою для подальшого переходу до 6G, що відкриє нові перспективи для технологічного прогресу та економічного зростання в Україні.

Розвиток бездротових мереж в наступних роках буде сприяти масштабному запровадженню технологій 5G і 5G-Advanced, що суттєво зменшить витрати на їхнє розгортання та експлуатацію. Крім того, цей процес принесе нові та інноваційні рішення, орієнтовані на різноманітні сценарії використання, що матимуть високу економічну та суспільну цінність.

Ці технологічні досягнення формують цифрове майбутнє, в якому швидкість, надійність та доступність залишаються ключовими аспектами для розвитку суспільства. Інновації в 6G сприяють розвитку нових форм взаємодії, підвищенню ефективності бізнес-процесів і покращенню якості життя. Завдяки інтеграції з розумними системами управління, адаптивними технологіями та розширеною і віртуальною реальністю, 6G відкриває нові горизонти для досліджень і реалізації складних задач. У свою чергу, ці технології можуть забезпечити більш ефективне вирішення соціальних і економічних викликів, а також стимулювати інновації в різних сферах життя.

Основний текст.

Кожне покоління мобільних мереж характеризується власними наборами стандартів, функцій, можливостей та методів, які відрізняють їх одне від одного. Сучасне наукове співтовариство активно обговорює концепцію «Великих Даних». «Великі Дані» вказують на величезні обсяги структурованої та неструктурованої інформації, що надходить з різноманітних джерел і потребує ефективного аналізу для видобутку корисної інформації. В свою чергу зростаючі потреби в обробці та аналізі великих обсягів даних, які будуть генеруватися в майбутньому мобільному середовищі 6G будуть включати в себе високошвидкісні мережі, велику пропускну здатність, низьку затримку та інші характеристики, які зроблять можливим використання концепції збільшення обсягів генерації та обробки даних. Водночас Інтернет перетворився не лише на платформу, а й на майже всепроникну інфраструктуру. В епоху постмодернізму спостерігається широке розповсюдження «розумних» ресурсів і систем завдяки таким інноваціям, як «машина-машина» (M2M), Інтернет речей (IoT) та хмарні обчислення (Cloud Computing). З'єднання M2M, які потребують великої пропускну здатності, набувають все більшої популярності. Прогнозується, що до 2030 року кількість



підключень M2M по всьому світі перевищить 25 мільярдів [3]. Зростуть і вимоги до мереж IoT, які повинні обслуговувати мільярди пристроїв. Захоплюючий розвиток «розумних» пристроїв для кінцевих користувачів і з'єднань M2M є чітким сигналом зростання значення IoT, який збирає і обробляє дані, забезпечуючи більшу актуальність та цінність мережевих зв'язків. Іншим важливим стимулом для впровадження IoT є поява носимих пристроїв, що мають високий потенціал для подальшого зростання. Поява 5G, а в перспективі 6G породжує численні технічні, комерційні та управлінські виклики для досягнення довгострокової реалізації того, що відоме як «мережеве суспільство» для постачальників послуг та споживачів.

З економічної перспективи, бездротові технології вже давно розглядаються як важливий каталізатор глобального економічного зростання. Згідно прогнозів [4], до 2035 року мережеві технології, включаючи 5G та їх подальший розвиток, мають потенціал викликати глобальні продажі в галузі інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) що становитиме 5% світового реального ВВП. Крім того, ланцюжок створення вартості в сфері 6G може створити 22 мільйони робочих місць у всьому світі до 2035 року [5]. Важливо зауважити, що ця оцінка не враховує можливий вплив на галузі, які не пов'язані з ІКТ.

Бездротові технології виступають і надалі виступатимуть критичною цифровою інфраструктурою для різних галузей, таких як автомобільна промисловість, транспорт, сільське господарство, освіта, охорона здоров'я та розваги. Ці технології сприяють підвищенню ефективності, безпеки та інновацій у кожній з цих сфер, дозволяючи впроваджувати передові рішення для покращення якості послуг і продуктивності.

Дискусії щодо майбутніх можливостей 6G, виходять за межі щойно впровадженого 5G та стають дедалі більш популярними.

Варіанти можливого майбутнього використання 5G/6G та інтелектуальна структура технологічних механізмів, що об'єднують людський (соціальний), фізичний (матеріальний) і віртуальний (цифровий) світи є пілотним проектом 6G Європейської комісії уповноважену на розробку ролі 6G в еволюції суспільства [6]. Проект пропонує шість основних дослідницьких проблем, закладаючи основу для прогнозування відповідних варіантів використання 6G, враховуючи також суспільні та економічні тенденції. Проект передбачає початковий, невичерпний набір варіантів використання як першу базову лінію для спрямування майбутніх напрямків досліджень 6G, ґрунтуючись на погляді на поточну європейську дослідницьку діяльність щодо 6G. Варіанти застосування 6G охоплюють широкий спектр можливостей, від еволюційних, що розширюють і збагачують використання 5G новими можливостями, до більш проривних, відкриваючи нові напрямки, де новітня технологія може принести користь і змінити суспільство. Серед цих варіантів можна виділити удосконалення в сфері інтелектуальних систем управління, адаптивних технологій, гіперзв'язаних інфраструктур, а також інноваційні рішення в області розширеної та віртуальної реальності. Крім того, 6G пропонує нові можливості для інтеграції з IoT, прогнозування і моделювання, що підвищує рівень адаптивності та гнучкості технологічних рішень. (рисунок 1).

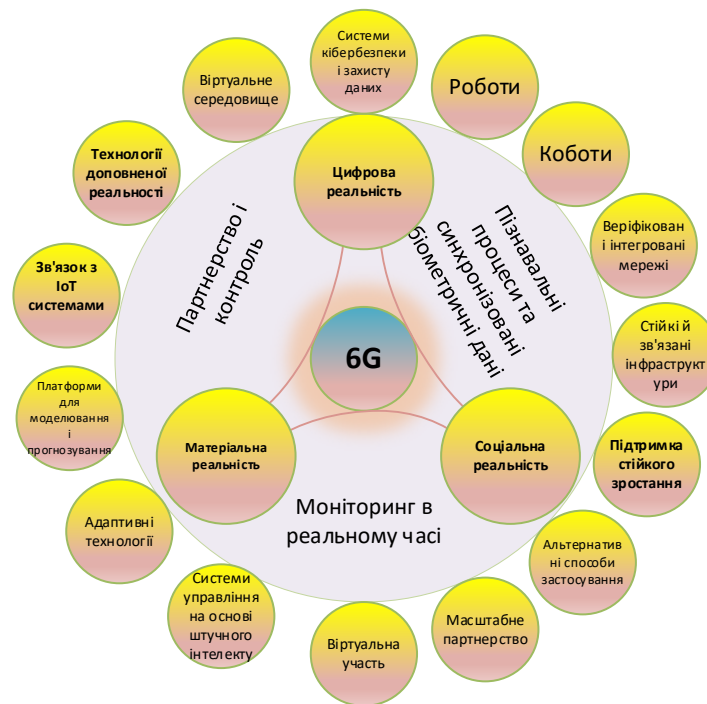


Рисунок 1 – Варіанти застосування 6G

Авторська розробка

Однак виникають значні труднощі в контексті 6G та його обладнання, особливо коли мова йде про впровадження надширококутних мереж. Служби IoT, що сьогодні базуються на інфраструктурі 5G, стикаються з критичними вимогами до продуктивності, безпеці, надійності, зоні радіопокриття, високої пропускну здатності, низьких затримок та вимогами щодо енергоефективності в контексті бездротових технологій. Що передбачає розгортання універсальної мережі радіодоступу. Недоліком мереж 4G/5G є збільшення числа базових станцій на одиницю площі за для ущільнення мережі та поліпшення спектральної ємності в стільникових мережах. Таке рішення збільшує витрати на обладнання та майданчик, а також генерує потенційно вищі перешкоди, що негативно впливає на продуктивність користувачів на периферії стільникового зв'язку. Мережам 6G доведеться мати справу з ще більшою щільністю інфраструктури, щоб забезпечити очікувану продуктивність. Це вимагає переосмислення базової архітектури для усунення слабких місць. Наприклад, у [7] розроблена масивна мережа Multiple Input, Multiple Output (MIMO) без стільників, яка відноситься до мережі з щільно розгорнутими виносними блоками (ВБ), які спільно обслуговують блоки абонентського обладнання за допомогою когерентної спільної передачі та прийому з використанням одних і тих же часово-частотних ресурсів. За такою схемою, виключається поняття стільників. Що стосується мережевої архітектури, намір полягає в тому, щоб розібрати традиційний центральний управляючий блок на кілька розподілених блоків (РБ), відповідно до архітектури 3GPP 5G і запропонувати нові рішення, засновані на повністю розподіленій обробці на основі даних і локальній координації. Дезагрегація має важливе значення для створення масштабованих версій безстільникової архітектури які розкриють потенціал розгортання безстільникових мереж в майбутніх мережах 6G з масовим розгортанням ВБ.



Далі ще одним важливим питанням є формування кластерів. На відміну від наявних спрощених рішень на основі відстані, важливо динамічне розподілення підмножини (або кластера) виносного обладнання для кожного обладнання користувача на основі:

- середовища поширення радіосигналу;
- якісної оцінки інформації про статус каналу;
- обмеження, що вводяться вимогами до обчислень;
- пропускної здатності з'єднання клієнт-сервер;
- мобільності користувача.

Використання інноваційних алгоритмів машинного навчання (МН) можуть бути прийнятні для оптимального формування кластерів, орієнтованих на роботу в реальному часі шляхом використання статистичних даних, що надходять з мережі, а також для вдосконалених схем модуляції та вирівнювання навантаження каналів. Крім того, кластеризація виносного обладнання, що обслуговуються декількома розподіленими пристроями, може забезпечити алгоритм координації між виносним обладнанням для декодування фактичного сигналу. Крім того, вивчення вимог до координації між РБ та їх впливу на показники спектральної ефективності, а також динамічної адаптивності координаційних рівнів, які спільно вирішують координацію ВБ-РБ та РБ-РБ, є одними з основних тенденцій досліджень у безстільниковому домені МІМО. У деяких дуже високопродуктивних додатках, які очікуються в 6G, потребуватимуться канали зв'язку з надзвичайно високою швидкістю передачі даних. В основному вони асоціюються з високорозвинутою онлайн-візуалізацією, включаючи голографічний зв'язок, а також з обробкою великих обсягів даних [8].

Перехід до 6G в ранній фазі передбачає розширення та поглиблення 5G з використанням штучного інтелекту (ШІ), хмарних обчислень та IoT для досягнення більш глибокої інтеграції інтелектуальних програм у мережу. Ця еволюція дозволить впроваджувати функції, такі як віртуальна реальність, віртуальні користувачі та інтелектуальні мережі, і забезпечить нові можливості завдяки застосуванню штучного інтелекту, нових матеріалів та інтегрованих технологій.

Різноманітні системи, які базуються на штучному інтелекті, будуть розгортатися на периферійних пристроях, що працюють на хмарних і віртуальних платформах, і це призведе до генерації великого обсягу нових даних.

У цьому контексті, потрібно уважно розглядати можливі проблеми в пошуку інноваційних рішень для 6G, особливо з фокусом на подолання технічних обмежень 5G.

Для мереж 6G слід розглянути широкий спектр перспективних технологій. Вивчення цих потенційних елементів 6G стане ключовою темою досліджень у найближчі роки. Щоб забезпечити постійний розвиток мобільних мереж, взаємодія різних технологій є обов'язковою, для підтримки та реалізації постійного розвитку мобільних мереж, серед яких можна вказати:



1. Визначення місцезнаходження та зондування. Однією з головних викликів є використання сигналів із ширшою смугою пропускання в поєднанні зі смугою частот вище 100 ГГц. Важливою задачею є також реалізація технології Simultaneous Localization and Mapping – одночасного визначення місця розташування в незнайомій або змінній обстановці, відомої як локалізація, та створення карт об'єктів навколишнього середовища.

2. Мережевий інтелект. ШІ/МН суттєво змінить майбутні мережі, впливаючи на проектування радіо-інтерфейсу, обробку даних, архітектуру та управління мережею в напрямку обчислень для досягнення виняткової продуктивності. Система буде оптимізована для автономної роботи та управління доступом до ядра без участі людини завдяки досягненням у галузях штучного інтелекту та машинного навчання.

3. Цифровий двійник (ЦД). Цифрова копія об'єкта реального світу. Віртуальне представлення відображає всю відповідну динаміку, характеристики, критичні компоненти та важливі властивості оригінального фізичного об'єкта протягом усього його життєвого циклу. Використання ЦД дозволяє взаємодіяти з реальним об'єктом, збирати дані, прогнозувати та моделювати його роботу для оптимізації функціонування, аналізу і управління. Цей підхід широко застосовується в різних галузях, включаючи виробництво, транспорт, медицину та інші. А для цього необхідно забезпечити широкий масштаб надійної та безперервної взаємодії в режимі реального часу між машинами, людьми та навколишнім середовищем.

4. Переосмислення архітектури мережі, передбачає вдосконалення та модернізацію структури мережі для відповіді на сучасні виклики і вимоги. Цей принцип включає в себе перегляд та переосмислення ключових елементів, таких як архітектура передачі даних, обробка інформації, управління та взаємодія між пристроями. Реінжиніринг архітектури мережі може охоплювати впровадження нових технологій, оптимізацію шляхів передачі даних, вдосконалення механізмів безпеки та підвищення загальної ефективності мережі. Головною метою є створення більш гнучкої, потужної та інтелектуальної мережевої інфраструктури, яка може ефективно взаємодіяти з сучасними технологічними викликами і вимогами користувачів.

5. Нові пристрої та інтерфейси. Майбутні мережі будуть інтегровані з множиною пристроїв та інтерфейсів, що забезпечить нові можливості для комунікацій між людьми та машинами, а також між самими машинами. Широка доступність та довготривала функціональність пристроїв IoT буде в подальшому посилено завдяки пристроям з нульовою вартістю та нульовим споживанням енергії, зважаючи, що гібридні пристрої для збору енергії можливо розгорнути будь-де.

6. Глобальна мережа. 6G мережа буде охоплювати фізичні та віртуальні масштаби, враховуючи місцеві та спеціалізовані потреби мереж і підмереж, зокрема для приватних мереж і мереж, недоступних для загального користування, підтримуючи високі вимоги до якості обслуговування завдяки різним ресурсам, таким як комунікація, обробка даних і штучний інтелект.



Висновки.

Означені завдання потребують поєднання роботи з як низькочастотними, так і високочастотними сигналами. Вирішення цих завдань вимагає розробки і впровадження нових підходів та алгоритмів для оптимізації процесу комунікації, зондування та локалізації. Сценарій застосування 6G включає нові характеристики мережі, такі як комбінація та взаємодія в режимі реального часу між віртуальним та фізичним середовищем. Ця інновація сильно навантажить існуючі мережі 5G у частині передачі даних і потребує розширення їх можливостей. Тому існує нагальна необхідність у науковому вивченні фундаментальних теорій і ключових технологій, які підтримають еволюцію 6G і забезпечать ефективну інтеграцію нових функцій.

Література:

[1] Cloudflare Radar, «Year in Review 2023 Explore worldwide trends that shaped our Internet this year», 2023, Available: <https://radar.cloudflare.com/year-in-review/2023>

[2] Як розвивається 4G в Україні: статистика Київстар за останні п'ять років, 2023, Available: <https://mediasat.info/uk/2023/03/07/yak-rozvyvayetsya-4g-v-ukrayini-statystyka-kyivstar-za-ostanni-pyat-rokiv/>

[3] Романов Р. Звіт: обсяг з'єднань підключених пристроїв IoT перевищує звичайні підключення до Інтернету, 2022, Available: <https://internetua.com/zvit-obsyag-z-yednan-pidkluacsenih-pristroyiv-iot-perevisxuye-zvicsaini-pidkluacsennya-do-internetu>

[4] Кузьмін А.В., Цибульов Р.А., Захарчук В.Т., Смоляр В.Г., Тишко С.О., Івко С.О. Бездротові покоління електронних комунікацій: огляд технологічних особливостей, еволюційна мотивація та перспективи розвитку // Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку: збірник матеріалів III Міжнародної науково-технічної конференції. - Київ: Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, 2023, С.181

[5] 5G Americas says next generation network technology will also support 22 million jobs globally by 2036, 2017, [Online]. Available: <https://www.rcrwireless.com/20170526/business/5g-global-economic-output-tag23>

[6] Hexa-X Deliverable D1.2, “Expanded 6G vision, use cases and societal values – including aspects of sustainability, security and spectrum”, Apr. 2021, [Online]. Available: https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2022/04/HexaX_D1.2_Edited.pdf

[7] N. Rajatheva, et al., “Broadband Connectivity in 6G”, White Paper, arXiv: Signal Processing, 2020. Available: <https://arxiv.org/pdf/2004.14247.pdf>.

[8] The 6G Architecture Landscape, 2022, Available: URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7313232>

Abstract. The article examines the evolution of mobile networks from 1G to modern fifth-generation systems and highlights important aspects of the "big data" concept. The authors analyse the growing need for processing large volumes of data in the future 6G mobile environment, characterized by high data transmission speed, low latency, and other key features. It is noted that



the development of the Internet of Things, M2M, and cloud computing are significant components of this process. The article also points out significant challenges facing the implementation of 6G, particularly in the areas of security, productivity, and energy efficiency. The authors emphasize the importance of further research and innovation to address these issues and achieve long-term success for 6G networks.

Key words: 6G, mobile networks, big data, Internet of Things (IoT), Machine-to-Machine (M2M), cloud computing, network security, productivity, energy efficiency.

Стаття надіслана: 10.08.2024 р.

© Кузьмін А.В., Івко С.О., Цибульов Р.А., Смоляр В.Г.