

ТЕНДЕНЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МЕРЕЖАХ 6G

Астраханцев А.А.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: andrii.astrakhantsev@nure.ua

TRENDS OF IMPLEMENTING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN 6G NETWORKS

6G networks should be deployed by 2030. This paper describes the main vectors of 5G to 6G network development. The purpose of the paper is to analyze the main scenarios of 6G networks and to assess the capabilities of artificial intelligence to achieve the declared characteristics and scenarios in 6G networks.

Розквіт штучного інтелекту (ШІ) в таких сферах як охорона здоров'я, фінанси, промисловість вже призвів до істотних результатів [1,3]. Певні застосування ШІ вже набули поширення і в мобільних мережах 5G: він вдосконалює процес хендвера, оптимізує процедури планування мереж, зменшує енергоспоживання та передбачає аномалії в трафіку чи роботі мережі. Враховуючи, що системи мобільного зв'язку розвиваються від покоління до покоління приблизно кожні 10 років у напрямку підвищення продуктивності (наприклад, збільшення швидкості передачі даних і зменшення затримок) і кожне покоління пропонує нові інноваційні сервіси, то згідно [1] провідну роль в 6G мережах має зіграти саме штучний інтелект.

Дана робота ставить за мету аналіз сервісів, які мають привнести мережі 6G і оцінити тенденції застосування штучного інтелекту при застосуванні цих сервісів.

1. Основні сценарії застосування та атрибути мереж 6G.

Для оцінювання впливу ШІ розглянемо основні очікувані сценарії застосування мереж 6G. Згідно [2], мережі 6G передбачають продовження розвитку МІМО, надання можливостей повнодуплексного зв'язку без розподілу по частоті та часу, впровадження штучного інтелекту та машинного навчання для повітряного інтерфейсу та радіомереж

наступного покоління. Основними сценаріями для 6G при цьому вважаються [3]:

Змішана реальність (XR) з повним зануренням (Truly Immersive XR) поєднує в собі сценарії віртуальної і доповненої реальності. На сьогодні застосування технології обмежують апаратні можливості пристроїв та вимоги до пропускної здатності мережі, але очікується капіталізація цієї послуги на рівні \$87 млрд до 2030 р.

Мобільні голограми високої точності (High-Fidelity Mobile Hologram) є медіа-технологією наступного покоління, яка дозволяє реалізовувати голограми з ефектом присутності, передачею жестів і емоцій на спеціальних дисплеях. На сьогодні застосування технології обмежено екстремально високими вимогами до пропускної здатності, яка на порядок перевищує можливості 5G.

Третім сценарієм є *цифрова реплікація (Digital Replication)*, яку ще називають технологією створення цифрових двійників (digital twin). Ця технологія дозволяє працювати віддалено з будь-якими об'єктами і є наступним кроком в моделюванні. Саме за допомогою штучного інтелекту та цифрової реплікації, виявлення та пом'якшення проблем можна ефективно здійснювати без присутності або навіть без детального нагляду з боку людини.

Наведені вище сценарії дозволяють виділити 4 ключові атрибути мереж 6G (рис.1):

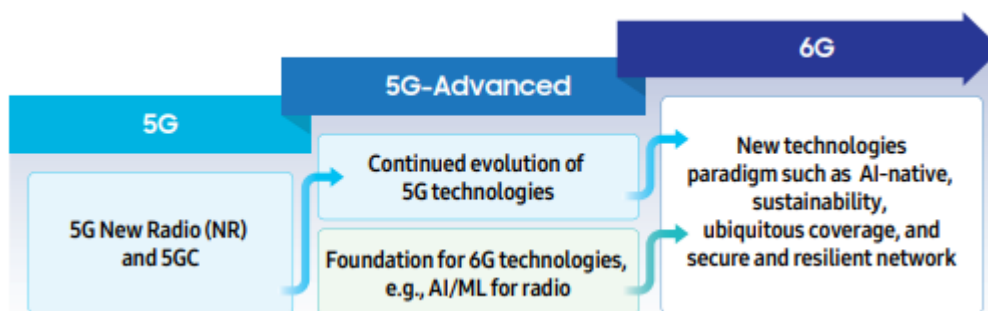


Рис.1. Еволюція мереж від 5G до 6G [1].

Нативний III (AI-Native) передбачає використання та впровадження III в комунікаційні функції (можливі приклади: стиснення та прогнозування інформації про стан каналу (CSI), алгоритми TX/ RX, а також експлуатація та обслуговування мережі) від початку проектування системи до розробки, управління та експлуатації систем, щоб досягти бажаного підвищення продуктивності.

Стала мережа (Sustainable Network) шляхом застосування ШІ має зменшити операційні витрати і вплинути на задоволеність користувачів за рахунок підвищення енергоефективності як мереж, так і терміналів.

Повсюдне покриття (Ubiquitous Coverage) застосовує ШІ для зменшення капітальних витрат на мережі та покращення якості послуг, що надаються користувачам, за рахунок розширення зони обслуговування зв'язку.

Безпечна та стійка мережа (Secure and Resilient Network) залежить від застосування ШІ, оскільки саме на ШІ покладаються задачі передбачення аномальної поведінки мережі, виявлення шкідливого трафіка та застосування підходів до нейтралізації загроз.

2. Аналіз впливу ШІ на 6G мережі.

Базуючись на описаних вище атрибутах, розглянемо вплив ШІ (рис.2) і запропоновані методи, застосування яких дасть вигравш в певних показниках (KPIs) під час побудови і експлуатації мережі [2]. Розглянемо їх більш детально.

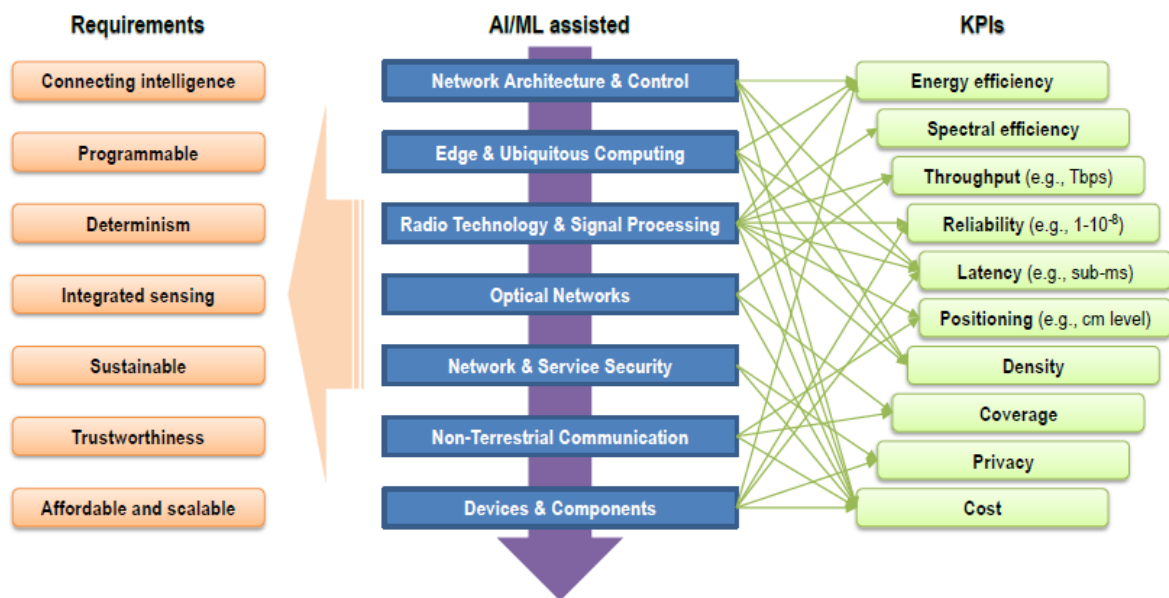


Рис.2. Вплив ШІ на різні технологічні процеси в 6G мережі [2].

2.1 ШІ в системній мережевій архітектурі та управлінні.

ШІ привертає багато уваги як інструмент для вирішення проблем, які раніше вважалися нерозв'язними через їхню величезну складність або відсутність необхідної моделі та алгоритму [3]. 6G передбачає комплексну систему штучного інтелекту для оптимізації загальної продуктивності

системи та роботи мережі. Загалом, загальна архітектура мережі складається з чотирьох рівнів об'єктів: обладнання користувача (UE), базові станції (BS), ядро мережі та сервер додатків. Застосування ШІ можна розділити на 3 рівні (рис.3): 1) локальний ШІ, 2) спільний ШІ і 3) E2E ШІ.

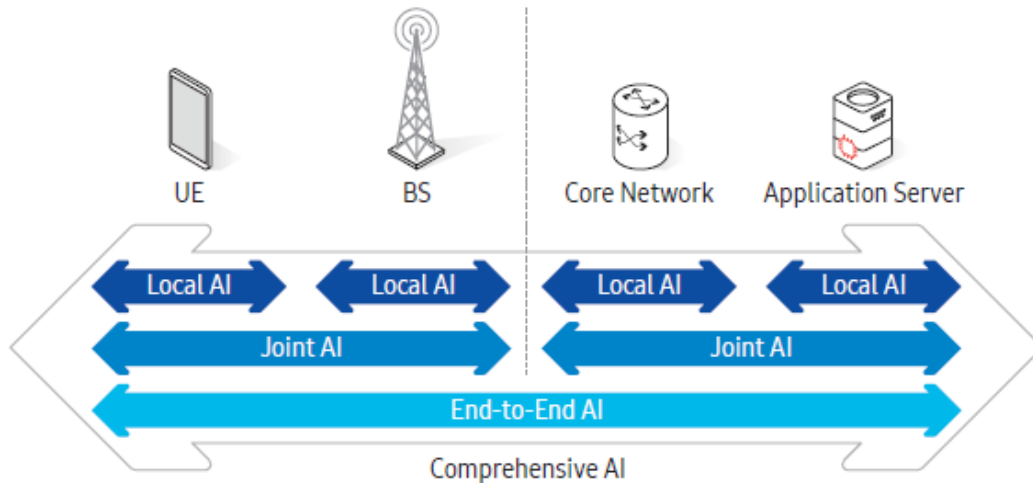


Рис.3. Колективний ШІ 6G мережі [3].

Локальний ШІ впроваджується в кожному елементі мережі. Прикладом є використання ШІ для оптимізації модуляції, кодування джерела та кодування каналу [3,5]. Спільний ШІ може оптимізувати спільну роботу UE і BS або спільну роботу магістральних мереж і серверів додатків. Прикладом можливості спільної оптимізації є оптимізація хендвера на основі прогнозування майбутніх мережевих умов у складних бездротових середовищах. E2E ШІ оптимізує всю систему зв'язку. За допомогою E2E AI стає можливим виявляти або прогнозувати аномалії в роботі мережі та пропонувати коригувальні дії.

Також ML буде необхідний для підтримки рентабельності експлуатації передбачуваних складних послуг 6G, таких як взаємодія у сферах «людина-цифровий світ-фізичний світ» та «Інтернет почуттів» [2]. Крім того, поширення численних технологій віртуалізації, включаючи віртуальні прилади, мікросервіси, контейнери, безсерверні функції та їхню інтероперабельність, збільшить складність мережевих операцій. Таким чином, механізми AI/ML стануть вирішальними для автоматизації процесів прийняття рішень. AI/ML також дозволить реалізувати предиктивну оркестровку в 6G, наприклад, для досягнення майже

оптимальних рішень щодо розміщення базових станцій і конфігурації сервісів.

2.2 ШІ в граничних та повсюдних обчисленнях

Основними цілями периферійних і повсюдних обчислень є зменшення затримок і підвищення швидкості реагування, а також зменшення обсягу потоків даних між користувацькими IoT-пристроями і централізованими хмарними обчислювальними ресурсами. Впровадження методів ML/NN дозволяє оптимізувати потоки обчислень і забезпечити зменшення затримок. Прикладом таких процесів є динамічний розподіл спектру на основі ШІ (рис.4).

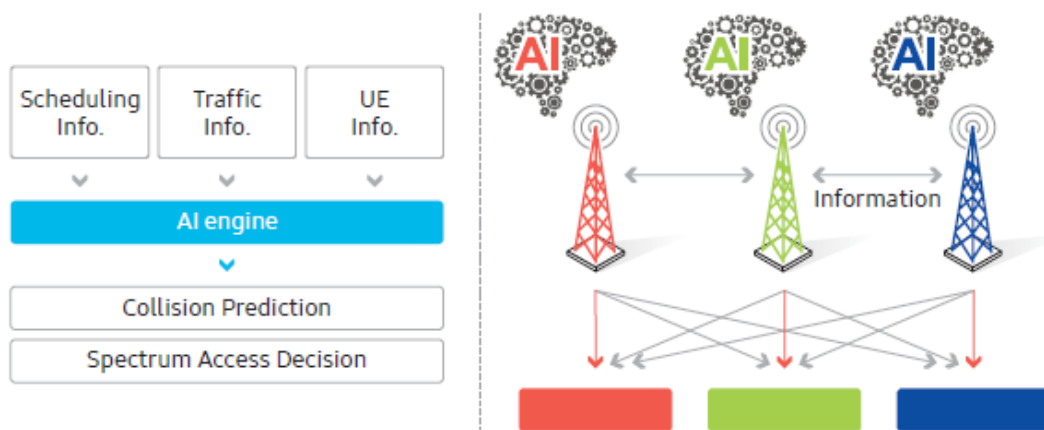


Рис.4. Розподіл спектру на основі ШІ [3].

Основним викликом динамічного розподілу спектру є уникнення (або мінімізації) колізій у використанні спектру між різними суб'єктами, при цьому надання їм доступу до спектру в динамічному режимі. Теоретично, щоб запобігти таким колізіям, мережеві оператори могли б обмінюватися всією необхідною інформацією про доступ до спектру. На практиці, однак, це неможливо оскільки отримання всієї необхідної інформації для кожного суб'єкта в режимі реального часу призвело б до величезних накладних витрат на зв'язок. ШІ міг би уникнути колізій прогнозуючи використання спектру іншими суб'єктами обмінюючись обмеженим обсягом інформації.

2.3 ШІ для забезпечення безпеки мережі і сервісів.

Подання 6G як високорозподіленої архітектури обчислень і зв'язку, з віртуалізацією і автоматизацією критично важливих функцій управління призводить до створення набагато ширшої і складнішої поверхні атак, ніж

в нинішньому домені 5G [4]. Система не лише вразлива до прямих кібератак, але й потребує виявлення збоїв у роботі автоматизованих функцій та мінімізації їхнього впливу. Гарантування надійності та достовірності системи буде одним з головних викликів. Такі рішення, як мікросегментація і нарізка без дотику, повинні бути гарантовані, а розподілені функції і моделі ШІ та ML повинні бути посилені, щоб уникнути збоїв і кібератак і гарантувати їх достовірність і безпеку (наприклад, щоб уникнути отруєння моделей і атак на виведення належності в розподілених архітектурах з федеративним навчанням).

2.4 ШІ для підвищення енергоефективності мережі

Енергозбереження в мережі є складною проблемою [5], що включає в себе кілька рівнів мережі та необхідність балансування з іншими ключовими показниками ефективності та вимогами до якості обслуговування (QoS). Традиційні механізми енергозбереження в мережі покладаються на конфігурацію на основі правил, наприклад, вмикання/вимикання осередків на основі різних порогових значень навантаження на осередок. Такі методи, засновані на правилах, є реактивними, негнучкими і складними для досягнення глобально оптимізованої продуктивності та енергоефективності системи. Алгоритми ШІ можуть використовувати дані RAN для оптимізації енергозбереження мережі, наприклад, прогнозування енергоефективності та навантаження в майбутніх станах, щоб уможливити проактивні, адаптивні дії з розвантаження трафіку, модифікації покриття та активації/деактивації стільників.

2.5 ШІ на MAC рівні.

Методи ML можуть ще більше вдосконалити нативний повітряний інтерфейс штучного інтелекту (AI-AI), передбачений для 6G [6]. Розглянемо декілька підходів.

Адаптивна модуляція та кодування є важливою функцією MAC рівня. Вона обирає найкращу схему модуляції та кодування (MCS), враховуючи часові характеристики каналу, розмір даних та системні обмеження. Базова евристика Inner Loop Link Adaptation (ILLA) використовує таблиці пошуку для вибору MCS, в той час як Outer Loop Link Adaptation (OLLA) коригує її, зміщуючи прогнози SINR для мінімізації BLER.

У мережах 4G і 5G управління потужністю передачі висхідної лінії зв'язку включає розімкнутий і замкнутий компоненти, які забезпечують спектральну рівномірність, максимізацію SINR і мінімальний розряд

акумулятора UE. Управління потужністю в розімкнутому контурі (OLPC) регулює потужність передачі за допомогою двох параметрів, специфічних для конкретної стільниці: P_0 , який визначає очікувану потужність на PRB, і α , який позначає коефіцієнт компенсації втрат у тракті. Ці параметри зазвичай встановлюються оператором мобільного зв'язку методом проб і помилок. Хоча історично ці показники є надійними, вони часто неоптимальні. Дослідження нових значень (P_0 , α) несе ризики для зв'язку, а відсутність виразів у закритій формі для продуктивності мережі не дозволяє операторам відхилятися від встановлених значень. Для вирішення цих проблем останнім часом зусилля були зосереджені на методах оптимізації «чорної скриньки», таких як байєсівська оптимізація з гаусовими процесами (BOGP).

Згідно [6] впровадження ШІ на MAC-рівні дозволяє більше ніж на 15% підвищити медіанну швидкість передачі, на 65% зменшити використання CPU. Також застосування ШІ дозволяє зменшити рівень блокових помилок з 10^{-3} до 10^{-7} і зменшити кількість колізій.

Отже, в якості висновків можна зазначити, що фактично всі елементи мережі 6G мають застосовувати ті чи інші алгоритми ШІ. Більш того, штучний інтелект є об'єднуючим елементом для багатьох процесів і дозволяє підвищувати найрізноманітніші властивості мережі і забезпечувати очікувані від неї сервіси.

Література

1. Samsung's 6G AI-Native & Sustainable Communication 2025. Available: <https://research.samsung.com/next-generation-communications>
2. Carlos J. Bernardos, Mikko Uusitalo, Carles Anton. European Vision for the 6G Network Ecosystem, June 2021, DOI:10.13140/RG.2.2.19993.95849.
3. Samsung, 6G The Next Hyper-Connected Experience for All., Jul. 2020. Available: https://cdn.codeground.org/nsr/downloads/researchareas/20201201_6G_Vision_web.pdf.
4. Y. Siriwardhana, P. Porambage, M. Liyanage and M. Ylianttila, "AI and 6G Security: Opportunities and Challenges," *2021 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit)*, Porto, Portugal, 2021, pp. 616-621, doi: 10.1109/EuCNC/6GSummit51104.2021.9482503.
5. X. Lin, L. Kundu, C. Dick and S. Velayutham, "Embracing AI in 5G-Advanced Toward 6G: A Joint 3GPP and O-RAN Perspective," in *IEEE Communications Standards Magazine*, vol. 7, no. 4, pp. 76-83, December 2023, doi: 10.1109/MCOMSTD.0005.2200070.
6. Alvaro Valcarce Rial, Petteri Kela. The Role of AI on 6G MAC, Nokia Bell Labs, Murray Hill, NJ, July 2023, DOI:10.36227/techrxiv.23708310.