

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-7>

УДК 621.391

Микола ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6586-2563>

e-mail: [mvasylkivskyi@gmail.com](mailto:mvasylkivskyi@gmail.com)

Ганна ВАРГАТЮК

Вінницький національний технічний університет

e-mail: [annaantonuik@gmail.com](mailto:annaantonuik@gmail.com)

Ольга БОЛДИРЕВА

Вінницький національний технічний університет

e-mail: [rt13bpoldudenko@gmail.com](mailto:rt13bpoldudenko@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ 6G

*Досліджено технології побудови мережної архітектури штучного інтелекту для телекомунікаційних мереж доступу із врахуванням великої кількості даних, пов'язаних з роботою та керуванням мережі, діяльності користувачів, процесу сканування довкілля та роботи кінцевих пристроїв. Розглянуто особливості проектування нової системи 6G, зокрема ефективну організацію даних, що надходять з абсолютно різних областей та керування ними з урахуванням захисту конфіденційності.*

*Визначено, що фундаментальною архітектурною відмінністю між мережами 5G та мережами 6G, є вбудована підтримка штучного інтелекту в мережі 6G. Досліджено архітектуру сегменту інфокомунікаційної мережі з вбудованим ШІ, яка знаходить втілення у трьох бізнес-моделях: інфраструктура як послуга; платформа як послуга; штучний інтелект як послуга. Сервіси штучного інтелекту, що працюють у цій інноваційній інфраструктурі, принесуть безліч переваг, а саме: перехід від глобального ШІ до локального, оскільки з точки зору загальнонаціональної мережі централізоване навчання характеризується високою собівартістю, через те, що воно включає збирання та відправлення даних по всій мережі до центрального об'єкта.*

*Сплановано розробку орієнтованого на завдання комунікаційного рішення, яке охоплює чотири основні аспекти: керування завданнями, керування ресурсами/планування під час роботи, керування даними та керування з'єднаннями. При цьому, з точки зору архітектури, для керування завданнями можуть доцільно вводити нові мережеві служби та API, що реалізують визначення, виконання та керування завданнями протягом усього їхнього життєвого циклу. Запропоновано модель сканування в реальному часі з високоточною локалізацією та відстеженням переміщень користувачів мережними сервісами.*

*Виконано дослідження глибоких граничних обчислень із використанням можливості штучного інтелекту на рівні RAN. Розглянуто можливості оптимізації планування ресурсів та зменшення завад і водночас підтримку ШІ на основі мобільних мереж 6G. Досліджені моделі для підтримки структури ШІ та обумовлені ними потенційні вимоги до системи мобільного зв'язку є ключовим активом промисловості штучного інтелекту. Оскільки перша хвиля послуг з ШІ більше орієнтована на застосування у категорії «бізнес для споживача» (B2C), тому прямими джерелами даних служать кінцеві користувачі. Визначено залежність реалізації глибокого навчання (такого як федеративне навчання) від основних функціональних параметрів системи зв'язку, тобто пропускну спроможності та затримки. При цьому, мережева системна архітектура може впливати на навчання ШІ та його логічні результати.*

*Ключові слова: мережна архітектура штучного інтелекту, система 6G, архітектура сегменту інфокомунікаційної мережі з вбудованим штучним інтелектом, модель сканування в реальному часі з високоточною локалізацією та відстеженням переміщень користувачів, бізнес для споживача, федеративне навчання.*

Mikola VASYLKIVSKYI, Anna ANTONUIK, Olha BOLDYREVA

Vinnitsia National Technical University

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE ARCHITECTURE RESEARCH FOR 6G COMMUNICATION INFORMATION NETWORKS

*Technologies for building an artificial intelligence network architecture for telecommunication access networks, taking into account a large amount of data related to the operation and management of the network, user activity, the process of scanning the environment and the operation of end devices, have been studied. Features of the design of the new 6G system are considered, in particular, the effective organization of data coming from completely different areas and their management, taking into account privacy protection. It was determined that the fundamental architectural difference between 5G networks and 6G networks is the built-in support for artificial intelligence in the 6G network. The architecture of the segment of the information communication network with built-in AI was studied, which is embodied in three business models: infrastructure as a service; platform as a service; artificial intelligence as a service. AI services running on this innovative infrastructure will bring many benefits, namely: a shift from global AI to local AI, as from a nationwide network perspective, centralized training is characterized by high cost, due to the fact that it involves collecting and sending data across the network to the central object.*

*It is planned to develop a task-oriented communication solution that covers four main aspects: task management, resource management/scheduling during work, data management and connection management. At the same time, from an architectural point of view, it may make sense to introduce new network services and APIs for task management that implement the definition, execution, and management of tasks throughout their lifecycle. A real-time scanning model with high-precision localization and tracking of user movements by network services is proposed.*

*A study of deep edge computing using the capability of artificial intelligence at the RAN level was performed. Opportunities to optimize resource planning and reduce interference while supporting AI based on 6G mobile networks are considered. Researched models to support the structure of AI and the resulting potential requirements for the mobile communication system are a key asset of the artificial intelligence industry. As the first wave of AI services are more focused on business-to-consumer (B2C) applications, end users are the direct data sources. The dependence of the implementation of deep learning (such as federated learning) on the main functional parameters of the communication system, i.e. throughput and delay, is determined. At the same time, the network system architecture can influence AI training and its logical results.*

*Keywords: artificial intelligence network architecture, 6G system, information communication network segment architecture with embedded artificial intelligence, real-time scanning model with high-precision localization and tracking of user movements, business to consumer, federated learning.*

### **Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

Нова системна архітектура, що націлена на поширення інтелекту шляхом вбудованої підтримки, повинна враховувати всі конструктивні вимоги [1]. В результаті хмарний штучний інтелект (ШІ) буде перетворено на мережевий.

Телекомунікаційна система 6G в силу самої своєї природи генеруватиме величезну кількість даних, пов'язаних з роботою інфокомунікаційної мережі та керуванням мережею, з діяльністю користувачів, скануванням навколишнього середовища та роботою кінцевих пристроїв. Оскільки ці дані надходитимуть з різних областей, актуальні завдання проектування нової системи 6G включають ефективну організацію даних та керування ними з урахуванням захисту конфіденційності.

Технології даних, інформації та зв'язку на основі 6G будуть повністю переплетені, утворюючи передову інфокомунікаційну інфраструктуру. Тому, щоб поширення ШІ стало реальністю, необхідно забезпечити навчання у реальному часі та доступ до інформації на основі практично загальної підключеності та розподілених обчислювальних ресурсів. Отже, система мобільного зв'язку повинна володіти надзвичайно високими характеристиками (наприклад, наднизькою затримкою та надвисокою швидкістю передачі даних), особливо під час збирання та обробки даних. До того ж для досягнення оптимальних характеристик за умови дотримання обмежень конфіденційності та безпеки потрібна глибока конвергенція всіх типів обчислювальних ресурсів від усіх типів зацікавлених сторін. Сервіси ШІ можуть використовувати цю передову інфраструктуру, щоб повністю розкрити потенціал трьох основ (тобто даних, обчислювальних ресурсів та алгоритмів).

Проста процедура розгортання важлива для залучення послуг від зовнішніх партнерів, особливо коли це потребує певного рівня навичок мережі та знань у галузі ІТ. Ця вимога в основному стосується розробки на рівні платформи. Іншими словами, власні та партнерські служби ШІ повинні легко розгортатися у мережі 6G (на периферії чи централізовано), і платформа не повинна обмежувати міграцію служб.

Надаючи вбудовану підтримку штучного інтелекту, мережа 6G охопить набагато ширшу екосистему, ніж системи зв'язку попереднього покоління. Крім традиційних користувачів у сфері електрозв'язку (наприклад, постачальників, операторів, абонентів тощо) корпоративних клієнтів будуть залучати нові типи послуг ШІ, що надаються системою мобільного зв'язку. Оскільки, мережа 6G буде використовувати багатокористувацьку екосистему, яка є основою основ нової мобільної мережі, тому відкритість телекомунікаційної системи (з точки зору співпраці як на рівні бізнесу, так і на технічному рівні) повинна бути простою, гнучкою і заслуговувати на довіру. Незважаючи на те, що мережа 5G вже стоїть на початку шляху до широкої відкритості екосистеми (наприклад, за рахунок розкриття мережевих можливостей [1] та інтерфейсів прикладних програм (API) [2]), вона, як і раніше, покладається на традиційні підходи до телекомунікацій, що засновані на стандартизованих мережевих функціях, процедурах та інтерфейсах. У мережі 6G ці міркування необхідно розглядати як внутрішню причину архітектурної революції.

### **Аналіз досліджень та публікацій**

В мережі 5G передбачена певна підтримка ШІ, особливо на рівні ядра мережі. Для цього призначена функція аналізу мережевих даних (NWDAF) [1], яка забезпечує полегшення збору даних та аналітику в 5G. Мережна функція 5G спеціально розроблена для збору даних та надання аналітичної інформації та надає аналітичну інформацію для інших мережевих функцій і цим сприяє наданню мережевих послуг. Функція NWDAF підтримує збір даних від мережевих функцій 5G та від OА&М, а також надає послугу реєстрації та надання метаданих відповідним мережевим функціям [3].

Однак наявність функції NWDAF не може забезпечувати вбудовану підтримку ШІ в 5G з таких причин: обмежене джерело даних, оскільки NWDAF в основному підтримує збір даних та аналітику на основі даних, отриманих від функцій мережі 5G. Однак вона не враховує дані інфраструктури, навколишнього середовища, кінцевих пристроїв, датчиків тощо; відсутність захисту конфіденційності даних, оскільки дані, задіяні в роботі мережі 5G, в основному належать до самої мережі, тому захист конфіденційності даних не розглядається на фундаментальному рівні; відсутність підтримки зовнішніх

служб ШІ, оскільки NWDAF є функцією ядра мережі 5G, а зовнішні служби ШІ не можуть підключатися безпосередньо до ядра мережі 5G або RAN; відсутність рішень на рівні інфраструктури, оскільки ключові особливості архітектури 5G (наприклад, розподіл мережі, URLLC та mMTC) призначені для задоволення вертикальних вимог з точки зору продуктивності, функціональності та експлуатації. Забезпеченню підтримки ШІ для 5G (наприклад, з погляду керування даними та розподіленої архітектури) не приділялося особливої уваги; відсутність керування даними, оскільки ШІ являє собою щось більше, ніж просто збір та аналіз даних. Для забезпечення вбудованої підтримки ШІ, необхідно передбачити окрему функцію керування даними, що виходить за межі функціоналу мереж 5G.

Отже, вбудована підтримка ШІ є одною з фундаментальних архітектурних відмінностей між мережами 5G та мережами 6G.

### Формулювання цілей статті

Метою роботи є: оптимізація багатофункціональних інфокомунікаційних мереж за рахунок використання обчислювального потенціалу ШІ та сформульовано обумовлені ним потенційні вимоги до мережі мобільного зв'язку 6G.

### Виклад основного матеріалу

Мобільний зв'язок вступив у новий захоплюючий етап розвитку, коли персональні пристрої, такі як смартфони та планшети, стають основною обчислювальною платформою для багатьох програм. Оскільки ці пристрої активно використовуються в нашому повсякденному житті (від професійної діяльності до дозвілля та від навчання до розваг) вони мають доступ до безпрецедентного обсягу персональних та інших даних. Тому компанії, що спеціалізуються на штучному інтелекті, ведуть активні дослідження та розробки в цій галузі, щоб надавати кінцевим користувачам зручніші та корисніші послуги.

ШІ приносить користь не тільки бізнесу в споживчому секторі, але також торкнеться всіх секторів економіки та торкнеться всіх аспектів життя суспільства. Незалежно від типу програми або служби, штучний інтелект збирає та аналізує різні типи даних, а потім застосовує відповідні результати для виконання певної дії або набору дій. Більшість поточних реалізацій ШІ засновані на централізованому навчанні, при якому дані збираються з усієї системи, але навчання виконується в одному місці, зазвичай, в енергоємному центрі обробки даних, призначеному для цього типу обчислень (наприклад, зі спеціальним обладнанням). В даний час ШІ не включений в архітектуру мережі і в основному є хмарним ШІ, тобто базова мережа просто використовується для передачі даних у хмару, де розміщується основний інтелект, що виконує обробку та виведення даних. В подальшому передбачається злиття мережі та штучного інтелекту. Наприклад, коли мережа 6G надає широкому колу користувачів штучний інтелект та сканування як нові послуги, виникає проблема із розгортанням безпечної та надійної мережевої інфраструктури для передачі даних із джерел інформації з метою подальшого застосування методу навчання, розміщеного у хмарі, або інших типів доступних ресурсів. Тому дуже важливо дійти єдиного розуміння мережевої архітектури, здатної забезпечити підтримку вбудованого ШІ.

Найважливіша роль технологій 6G полягає у створенні інфраструктури із надвисокою продуктивністю, в якій обчислювальні ресурси дуже близькі до кінцевих користувачів. Ця інфраструктура має відповідати високим галузевим стандартам стійкості. Інфокомунікаційна система 6G вільно керує всіма типами ресурсів, надаючи підключення, достатні для повної конвергенції обчислень та зв'язку. Узагальнену схему архітектури інфокомунікаційної мережі показано на рис. 1.

Мережа 6G забезпечує підтримку функцій вбудованого ШІ, які знаходять втілення у трьох бізнес-моделях, як показано на рис. 1: інфраструктура як послуга, платформа як послуга та ШІ як послуга, які фактично запозичені у хмарних сервісів. В моделі інфраструктури як послуги (IaaS) система мобільного зв'язку керує обчислювальними можливостями та ресурсами зв'язку (наприклад, ресурсами хмарних та граничних обчислень, а також обчислювальними ресурсами базових станцій та пристроїв), необхідних для роботи служб ШІ. Основна метою даної моделі є забезпечення досягнення функціональних параметрів високопродуктивної інфраструктури, що відповідають вимогам служб штучного інтелекту. При цьому, крім швидкої передачі великої кількості даних, наявність такої високопродуктивної інфраструктури має на увазі глибоку інтеграцію служб ШІ в телекомунікаційну систему та забезпечення їхньої безперебійної роботи.

В моделі платформи як послуги (PaaS) інфраструктура мережі 6G сама по собі служить платформою штучного інтелекту і може керувати робочими процесами штучного інтелекту, керувати даними та виконувати інші завдання. При цьому, для реалізації послуги ШІ будуть потрібні дані з різних джерел, а агрегування даних з різних технічних областей може виявитися основною складністю для постачальників послуг ШІ. У цьому випадку модель PaaS може використовувати досвід користувачів інформаційно-комунікаційної галузі в галузі експлуатації та керування інфраструктурою (зокрема досвіду, отриманого в традиційних сценаріях за участю кількох постачальників та операторів). В моделі штучного інтелекту як послуги (AIaaS) інфраструктура мережі 6G надає послуги штучного інтелекту для зовнішніх клієнтів.

Приклади таких послуг можуть включати високоточну локалізацію з використанням ШІ, передбачення поведінки користувачів і т.д.

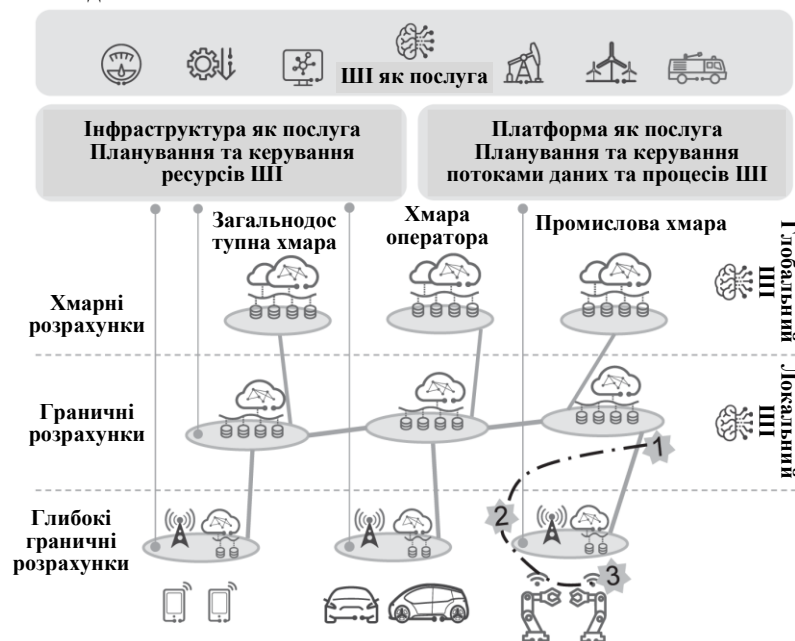


Рис. 1. Архітектура сегменту інфокомунікаційної мережі з підтримкою ШІ

Ці три моделі цілком можуть співіснувати, оскільки вони охоплюють різноманітні вимоги до послуг ШІ від різних клієнтів. Сервіси штучного інтелекту, що працюють у цій просунутій інфраструктурі, принесуть безліч переваг, а саме: перехід від глобального ШІ до локального, оскільки з точки зору загальнонаціональної мережі централізоване навчання обходиться надто дорого, через те, що воно включає збирання та відправлення даних по всій мережі до центрального об'єкта. Проте локальний ШІ або комбінація локального та глобального ШІ здатні знизити енергоспоживання, тим самим знизивши витрати. В результаті, традиційний метод збору даних та централізоване навчання швидко призведуть до виникнення вузьких місць та єдиних точок відмови в центральному місці або навколо нього (наприклад, доступність центру обробки даних, що використовується для навчання, застосування критичних шляхів обміну даними з дата-центром і доступність вузлів на цих критичних шляхах). При цьому, використання особистих даних за допомогою централізованого методу навчання може виявитися неможливим через відсутність дозволу власника даних; перехід від автономного ШІ до працюючого в реальному часі, оскільки, традиційні рішення машинного навчання значною мірою покладаються на автономне навчання, яке включає доступ до навчальних даних або моделювання та симуляцію абстрактної версії середовища. Однак недоліком цього процесу є те, що він спрощує багато деталей, а також ігнорує безліч важливих показників, що, у свою чергу, знижує якість моделі. У підсумку, швидкісна розподілена інфраструктура відкриває нові можливості для створення ШІ реального часу (включаючи навчання та виведення), особливо для сценаріїв використання із суворими вимогами до затримки (наприклад, керування із зворотним зв'язком у промисловості).

Один із ключових показників ефективності мереж 6G пов'язаний з орієнтованою на завдання моделлю зв'язку, яка призначена для підтримки нових послуг, таких як штучний інтелект та сканування. Усі традиційні послуги мобільного зв'язку (наприклад, телефонія та передача даних) орієнтовані на надання з'єднання, тобто ресурси зв'язку розподіляються на основі попередньо поданих запитів від кінцевих користувачів та очікуваних послуг, незалежно від того, чи мають наміри користувачі розмовляти з іншими користувачами, чи вони хочуть підключитися до серверу у хмарі. В результаті з'єднання встановлюються на основі намірів користувачів.

Зв'язок, орієнтований на завдання, заснований на зовсім іншій філософії, коли встановлене з'єднання залежить від того, яке завдання в цей момент вирішує користувач. Наприклад, завдання ШІ полягатиме у збиранні та обробці даних по певній географічній області відповідно до мобільності користувачів, розподілу населення в реальному часі або інтенсивності використання кінцевих пристроїв. Компанії громадського транспорту можуть використовувати цю інформацію для відстеження мобільності мешканців, особливо в часи пік. Тому бізнес компанії зможуть використовувати службу ШІ у мережах 6G, не беручи до уваги те, як дані збираються від конкретних користувачів для отримання певної інформації.

Завдання сканування може полягати в отриманні тривимірної картини навколишнього середовища на різних частотах. Завдяки наявності такої картини стають можливими нові варіанти використання, наприклад, сканування в реальному часі з високоточною локалізацією та відстеженням переміщень, а також

розпізнавання жестів та дій. Такі завдання виконуються шляхом координації кількох базових станцій, підключених клієнтських пристроїв та обчислювальних ресурсів, як показано на рис. 2.

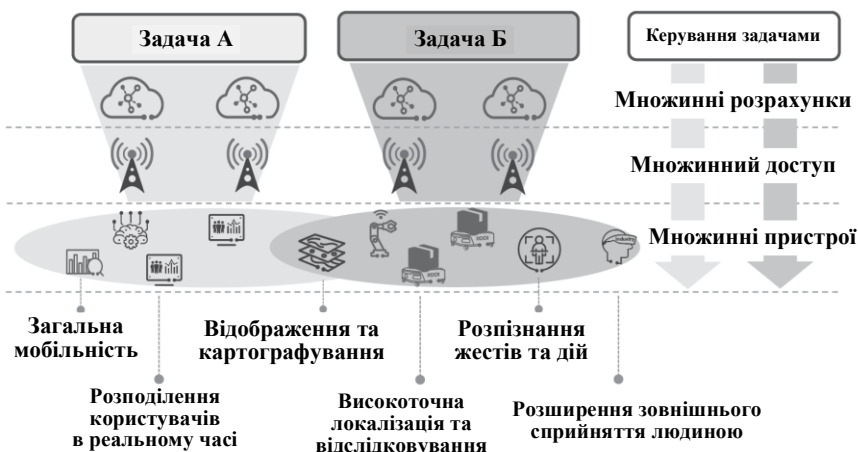


Рис. 2. Модель сканування в реальному часі з високоточною локалізацією та відстеженням переміщень

Розробка орієнтованого на завдання комунікаційного рішення охоплює чотири основні аспекти: керування завданнями, керування ресурсами/планування під час роботи, керування даними та керування з'єднаннями. З точки зору архітектури, для керування завданнями можуть бути введені нові мережеві служби та API, що реалізують визначення, виконання та керування завданнями протягом усього їхнього життєвого циклу. Функціональний модуль керування завданнями може розбити завдання на функціональні підзадачі, які необхідно вирішити різними методами через різномірний тип доступу та формати кінцевих пристроїв. Завдяки наявності глибоко конвергентної обчислювальної та комунікаційної платформи деякі підзавдання можуть виконуватися локально.

У традиційній системі мобільного зв'язку керування ресурсами (особливо на стороні радіодоступу) відбувається на основі запобіжних запитів на встановлення з'єднання та ресурси плануються на основі інформації про підписку пристрою та типи доступних йому послуг.

Для виконання завдання цій системі необхідно мати можливість доступу та координації обчислювальних ресурсів різного обладнання зв'язку у різних географічних точках. З погляду ресурсів, певна задача може бути розбита на обчислювальне завдання та комунікаційне завдання. Завдання першого типу можуть бути розподілені у різних хмарах, граничних хмарах, базових станціях та пристроях, тоді як завдання другого типу можуть бути розподілені серед різних пристроїв у кількох стільниках. Таким чином, концепція нової системи 6G значно відрізняється від концепції традиційної системи зв'язку, оскільки керування ресурсами або планування ґрунтується на поставлених перед системою завданнях, а не на запитах кінцевих користувачів. Замість резервування радіоресурсів для встановлення сеансу зв'язку двох сторін один з одним обчислювальні та комунікаційні ресурси плануються з прицілом на виконання завдання в регіоні X.

Орієнтоване на задачу керування ресурсами або планування повинні забезпечувати цілісне уявлення про ресурси залежно від географічного розташування та робочого обсягу завдання. Якщо завдання виконується в рамках однієї технічної або бізнес-області, можна використовувати існуючий досвід керування мережею. Згідно розрахованих на багато користувачів сценаріїв або систем, які поширюються у великому масштабі, керування ресурсами E2E і планування під час роботи стануть занадто складними (наприклад, з точки зору встановлення довіри, механізмів нарахування плати та аудиту), і тому, з'являться нові методи [4].

У контексті виконання завдань необхідно вивчити деякі нові області, такі як збирання даних, захист конфіденційності, зберігання інформації, можливості мережі та розкриття знань. Спеціальну технологію у складі архітектури для керування даними у ширшому контексті можна використовувати для підтримки вбудованого ШІ. При цьому, для виконання завдання можуть бути встановлені численні з'єднання, наприклад, між пристроями та датчиками навколишнього середовища, а також комунікаційним та обчислювальним обладнанням. Критерії ефективності виконання завдань включають гнучку та ефективну взаємодію між користувачами та кінцевими пристроями, множинний доступ та множинні обчислення. Фактично, традиційні механізми (такі як керування сеансом і перемиканнями) можуть потребувати фундаментальних змін.

Для більш ефективного виконання завдань доцільно здійснювати поділ функцій керування завданнями та функцій роботи з користувачами на рівні мережевих служб, щоб керування завданнями могло виконуватися на більшій території. Таким чином, базова станція 6G може бути логічно розділена на дві частини: вузол керування (позначений як cNB) та кілька вузлів обслуговування (позначені як sNB). Вузол

sNB забезпечує функцію керування завданнями через кілька sNB, що розташовані на великій території. Така структура може знизити накладні витрати на загальну керуючу інформацію. Вузол sNB забезпечує зв'язок між різними кінцевими пристроями та мережевим обладнанням. Вузли sNB та sNB є логічними об'єктами, що виходять за межі формату фізичного обладнання. Використовуючи цей підхід, ресурси RAN можна легко згрупувати у віртуальні кластери, кожним з яких можна керувати, наприклад, при виконанні певних завдань. Перевага такого кластера полягає в тому, що він контролює всі відповідні ресурси на керованому наборі вузлів для кращого керування ресурсами. При цьому, розмір області кластера має бути достатнім для виконання поточних завдань.

Система 6G обслуговуватиме галузеві сценарії, що вимагають оптимальної продуктивності та обробки даних на локальному рівні. Отже, граничні вузли стануть інноваційною платформою для майбутніх мереж мобільного зв'язку. Мобільні граничні обчислення (edge computing), або так звані граничні обчислення з множинним доступом (MEC) є відомим поняттям, яке набуває все більшого значення в галузі мобільного зв'язку. Воно зміщує обчислювальні ресурси від централізованого розташування у бік меж системи мобільного зв'язку, забезпечуючи гнучкість з погляду розгортання та експлуатації мережевих послуг, і навіть поліпшені характеристики мережі (наприклад, затримку). Однак численні практичні труднощі обмежують розгортання граничних вузлів. Наприклад, коли встановлено шлюз безпеки, розгортання граничного вузла між RAN та шлюзом пов'язане з великими труднощами, що зумовлені тим, що сеанси IPsec неможливо перервати, як показано на рис. 3. До того ж ми не можемо зрушити границю обчислень глибоко у RAN через обмеження в архітектурі радіодоступу та відповідній логіці зв'язку.

У мережах 6G глибока конвергенція між обчисленнями та зв'язком на рівні RAN є фундаментальним фактором «глибокі граничні обчислення», який обов'язково слід враховувати, оскільки глибокі граничні обчислення розташовані близько до джерел даних, тобто в глибині мережі, завдяки чому служби ШІ можуть бути спочатку інтегровані в архітектуру RAN. Звичайно, глибокі граничні обчислення не обмежуються лише запуском хмарного сервера на межі мобільної мережі. Тому, також необхідно подумати про реконструкцію архітектури RAN, щоб змістити граничну область ще глибше, мінімізувати вплив на стеки протоколів та покращити загальну масштабованість системи. Дослідження глибоких граничних обчислень має включати наведені нижче напрями. В даний час можна використовувати можливості штучного інтелекту на рівні RAN. Основним завданням, для якого сьогоднішні мобільні мережі використовують ШІ це оптимізація планування ресурсів та зменшення завад, і водночас підтримувати ШІ (тобто ШІ для мереж та мережі для ШІ).

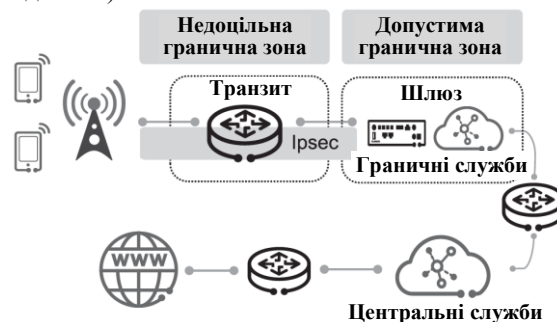


Рис. 3. Визначення граничної області при зміщенні у бік RAN

Для глибокої інтеграції граничних обчислень у RAN може знадобитися новий тип радіобладнання, яке називають радіообчислювальним вузлом (RCN), щоб відрізнити його від вузла радіодоступу, як показано на рис. 4. В середині RCN може бути введений незалежний обчислювальний рівень для різних завдань хоста (наприклад, ШІ та сканування) або для рівня керування (CP), рівнів користувача (UP) і т. д. Цей тип обчислювальних ресурсів не тільки зміщує граничну область у вузол радіодоступу, але також вимагає перегляду загальної архітектури RAN, що, своєю чергою, дозволить безперешкодно поєднати обчислювальні ресурси з можливостями зв'язку в RAN. В результаті, на цьому рівні доведеться впровадити локальний контролер для керування ресурсами бездротового зв'язку, функціями та конвеєрами ШІ.

Отже, для підтримки динамічного розгортання та ефективного зв'язку між службами, розгорнутими на глибоких межах, у стандарті повинні бути зазначені відповідні інтерфейси, процедури та задіяні протоколи. Такі служби можуть скористатися перевагами зменшення затримки, транспортних витрат, потенційних ризиків безпеки та проблем конфіденційності.

Зсув меж обчислень може призвести до перегляду стека протоколів, який, можна спростити з допомогою вироблення високопродуктивних рішень, підтримують орієнтовані на завдання сервіси (наприклад, робочі процеси ШІ). У системі 5G з'єднання для передачі даних встановлюються між обладнанням користувача і серверами у хмарі через базові станції та UPF в базовій мережі. При використанні глибокої конвергенції обчислювальних та комунікаційних ресурсів на рівні RAN з'єднання

встановлюються безпосередньо між обладнанням користувача Pod-модулями або контейнерами, розміщеними на обчислювальному рівні глибокої границі, що дозволяє значно спростити механізм зв'язку. Таким чином, можна забезпечити високоефективний зв'язок, який підтримує критично важливі служби в реальному часі.

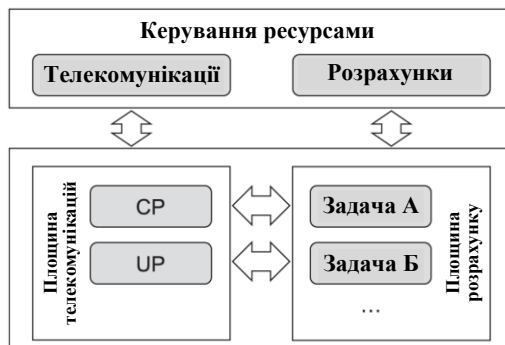


Рис. 4. Глибока конвергенція комунікаційних та обчислювальних можливостей у RCN

Системи мобільного зв'язку використовуються як для загальнонаціонального покриття (наприклад, послуги типу В2С), так для покриття місцевого масштабу (наприклад, послуги типу В2В). Отже, кількість вузлів з підтримкою глибоких граничних обчислень може обчислюватися мільйонами і всі вони не повинні бути ізольованими ресурсами. В результаті, передбачається можливість створити великомасштабну мережу, засновану на величезній кількості незалежних, але керованих вузлів з глибокими граничними обчисленнями, які потенційно можуть бути точками дотику різних технічних та бізнес-рішень для поширення інтелекту. З одного боку, це буде високопродуктивна мережа, з іншого – масштабована, відкрита та прозора. Ефективна синхронізація даних та послуг, планування часу виконання, вибір відповідних ресурсів та визначення локальних (наприклад, промислових) програм є важливими аспектами проектування архітектури телекомунікаційної системи.

Формуючи великомасштабну мережу за допомогою вузлів із глибокими границями можна буде використовувати комбінований локально-глобальний ШІ, на відміну від суто глобального ШІ. При цьому, цифрова трансформація галузі інтелектуальних телекомунікацій може відбуватися з більшим розмахом і охопленням.

Важливим аспектом, який необхідно враховувати при розробці архітектури за допомогою вбудованого ШІ є експлуатація та керування службами ШІ. В результаті, виконується спрощення інтеграції та розгортання служб ШІ (особливо від зовнішніх постачальників). Мережа 6G базується на багатокористувацькій екосистемі, яка за своєю суттю спирається на кілька технічних та економічних аспектів. При експлуатації служби ШІ, ця екосистема повинна працювати безперебійно та ефективно, особливо у сценаріях з кількома операторами та постачальниками. Для встановлення робочих відносин навіть у ситуаціях нульової довіри при експлуатації ШІ можна використовувати технології блокчейну. Керування службами ШІ включає керування робочими процесами ШІ та даними, а також керування обчислювальними та комунікаційними ресурсами. При керуванні службами ШІ у різних галузях, як показано на рис. 5 важливо розрізнити ключові інтерфейси, що використовуються в одній області керування та в різних областях.

Традиційний метод побудови інтерфейсів у системі мобільного зв'язку, ймовірно, буде стандартизовано. Проте створення нової структури, повністю заснованої на цій стандартизації, не рекомендується. Натомість можна було б використовувати передові підходи в цій галузі, наприклад сам ШІ на сучасних компонентах з відкритим вихідним кодом [5, 6].

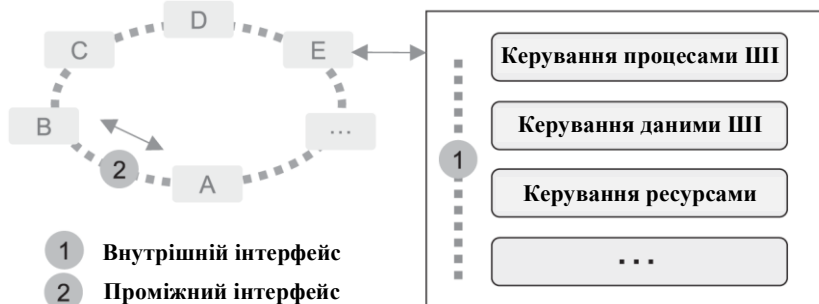


Рис. 5. Структура керування ШІ у різних галузях

Модуль експлуатації та керування послугами ШІ є новим компонентом поверх традиційної архітектури системи мобільного зв'язку. По суті, він є характерним прикладом нового типу мережеских функцій та принципів розробки, зокрема: взаємодія ШІ з іншими службами, оскільки з метою захисту конфіденційності даних модулі безпеки у складі архітектури можуть перешкоджати доступу до інформації з боку ШІ, що неминуче позначиться на його роботі. Проте в архітектурі буде передбачено підтримку роботи служби ШІ для пом'якшення цих обмежень; керування ресурсами, оскільки послуги ШІ потребують значних обчислювальних та комунікаційних ресурсів. Отже, керування ресурсами включає правильну координацію як обчислювальних, так і мережеских ресурсів для пристроїв, серверів (або точок обслуговування, наприклад центрів обробки даних) і мережі. Помилкове керування може призвести до високого енергоспоживання, а також зниження характеристик мережі та якості послуг (наприклад, збільшення затримки); розгортання служб ШІ, оскільки нова архітектура полегшить розгортання служб ШІ, включаючи визначення місць розгортання та відповідних проміжних з'єднань відповідно до опису рівня обслуговування.

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Досліджено моделі для підтримки структури ШІ та сформульовано обумовлені ними потенційні вимоги до системи мобільного зв'язку. Визначено, що інформаційні дані є ключовим активом промисловості штучного інтелекту. Оскільки перша хвиля послуг з ШІ більше орієнтована на застосування у категорії «бізнес для споживача» (B2C), тому прямими джерелами даних служать кінцеві користувачі. В подальшому, інформаційні дані додатково монетизуються за допомогою спеціалізованих застосунків у категорії «бізнес для бізнесу» (B2B) у промислових галузях, які спричиняють різні варіанти використання, бізнес-моделі та технічні вимоги. Виходячи з обмежень пропускної спроможності, а також міркувань безпеки та конфіденційності, визначено, що галузеві дані будуть оброблятися на межі системи, яка зазвичай знаходиться у приміщеннях підприємства. Таким чином, послуги ШІ, орієнтовані на промисловість, надаватимуться більш розподіленим чином, з урахуванням фактору локальності. Розглянуто суперечливу вимогу до керування даними, їх обробки, належності права власності на дані та отримання результатів. Визначено структуру системи мобільного зв'язку, яка зможе задовольнити заданим вимогам, а також повністю відповідає політиці керування даними, що передбачає високу оцінку користувачів.

Враховуючи, що основою промисловості штучного інтелекту є обчислювальні ресурси, визначено залежність потужності додатку ШІ від задіяних обчислювальних ресурсів. Отже, навіть потужному обчислювальному пулу, розташованому в хмарі, може не вистачати масштабування задоволення запитів користувачів. При використанні тільки традиційної вертикальної моделі обробки даних, то запуск додатків ШІ лише в центральній хмарі у певних сценаріях може не працювати. Тому, доцільно переміщувати ШІ з хмари вглиб системи мобільного зв'язку, що є надвисокопродуктивною інфраструктурою, яка може ефективно керувати різнорідними ресурсами з масштабованістю та еластичністю. Від інфраструктури не залежить, як визначаються алгоритми ШІ, але вона може забезпечити якісну підтримку запуску цих алгоритмів, що визначають тип інтелекту, який надається програмами ШІ, а також тип даних та обсяг обчислювальної потужності, які програми ШІ використовують і споживають відповідно. Визначено залежність реалізації глибокого навчання (такого як федеративне навчання) від основних функціональних параметрів системи зв'язку, тобто пропускної спроможності та затримки. При цьому, мережева системна архітектура може впливати на навчання ШІ та його логічні результати.

### Література

1. 3GPP, System architecture for the 5G system, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 23.501, Aug. 2020, version 16.5.1. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144>.
2. 3GPP, «Common API Framework for 3GPP northbound APIs», 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 23.222, July 2020, version 17.1.0. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3337>.
3. 3GPP, Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support network data analytics services, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 23.288, July 2020, version 16.4.0. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3579>.
4. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Челюян В.А. Спектральний метод оцінювання джитеру в телекомунікаційних системах. - Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2010, № 2, С. 109-114.
5. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Кичак В.М. Методи та засоби підвищення ефективності оцінювання фазового дрижання сигналів у телекомунікаційних системах: Монографія. - Вінниця: ВНТУ, 2015. - 140 с.
6. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Стальченко О.В. Пристрій аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів. - Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.—2013, № 2.— С.82-85.



---

**References**

1. 3GPP, System architecture for the 5G system, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 23.501, Aug. 2020, version 16.5.1. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144>.
2. 3GPP, «Common API Framework for 3GPP northbound APIs», 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 23.222, July 2020, version 17.1.0. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3337>.
3. 3GPP, Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support network data analytics services, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 23.288, July 2020, version 16.4.0. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3579>.
4. Bortnyk G.G., Vasykivskiy M.V., Cheloyan V.A. Spektral'nyy metod otsinyuvannya dzhyteru v telekomunikatsiynykh systemakh. - Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu, 2010, № 2, S. 109-114.
5. Bortnyk G.G., Vasykivskiy M.V., Kychak V.M. Metody ta zasoby pidvyshchennya efektyvnosti otsinyuvannya fazovoho dryzhannya syhnaliv u telekomunikatsiynykh systemakh: Monohrafiya. - Vinnytsya: VNTU, 2015. - 140 s.
6. Bortnyk G.G., Vasykivskiy M.V., Stalchenko O.V. Device for analog-digital conversion of high-frequency signals. - Measuring and computing equipment in technological processes.–2013, No. 2.– P.82-85.