

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗВИТОК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ 6G

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено особливості використання штучного інтелекту та машинного навчання для розширення можливостей і покращення ефективності мобільних систем 6G та інформаційних послуг.

Ключові слова: інтелектуальна система, пропускна здатність, штучний інтелект, машинне навчання, якість обслуговування, гнучкість та адаптивність транспортної мережі.

Abstract

The features of using artificial intelligence and machine learning to expand the capabilities and improve the efficiency of 6G mobile systems and information services are investigated.

Keywords: intelligent system, throughput, artificial intelligence, machine learning, quality of service, flexibility and adaptability of the transportation network.

Вступ

Значна кількість нових програм та послуг у системах 6G зумовлює зростання взаємодії між людиною та машиною. Нові програми та послуги вимагатимуть вищих вимог до функціональних параметрів телекомунікаційного обладнання у порівнянні із системами 5G. Зокрема, можна охарактеризувати п'ять ключових випадків використання систем 6G: величезні прикладні програми для наукових даних, пакетне пересилання даних з урахуванням додатків, порятунок у надзвичайних ситуаціях і катастрофах, соціалізований Інтернет речей, а також зв'язок і спільний доступ до широко розповсюджених даних AI, моделей і знання. При цьому, величезні програми для наукових даних охоплюють масштабні наукові програми, такі як астрономічні телескопи [1]. Технологічний розвиток інтелектуальних радіосистем є активним предметом досліджень і розвитку у сфері зв'язку та мобільних технологій.

Метою роботи є дослідження можливостей та вимог до інтелектуальних систем у контексті мобільних технологій 6G за рахунок розуміння того, як інтелектуальні системи можуть сприяти розвитку та вдосконаленню мобільних мереж 6G із використанням можливостей машинного навчання, штучного інтелекту, аналітики даних та інших інноваційних технологій.

Основна частина

В процесі зміни технологій побудови систем від 1G до 5G значно збільшились трафік інформаційних даних та пропускна здатність телекомунікаційних мереж. Оскільки багато прикладних програм наукових даних потребують величезного трафіку даних, пропускна здатність мережі 6G може досягати 1 Тбіт/с, що дозволяє забезпечити оброблення величезної кількості даних. Наприклад, інтерферометрія з дуже довгою базовою лінією складається з кількох розподілених телескопів для спостереження за небом. При цьому, кожен телескоп створює величезну кількість даних та передає їх на шлюз для комплексного аналізу даних. Тому висока пропускна здатність є однією з ключових вимог. Поточний попит на пропускну здатність становить 100 Гбіт/с, а найближчим часом буде потрібно 1 Тбіт/с. Оскільки, розподілені телекомунікаційні мережі засновані на аналізі даних в реальному часі, тому також важливими вимогами є низька затримка та висока надійність. Оскільки, для аналізу даних необхідний збір даних з усіх вузлів, тому якщо отримання даних з одного вузла затримується, і при цьому відсутня можливість їх синхронізувати, тоді інтегрований аналіз також буде відкладено. Низькі втрати пакетів і висока надійність також мають вирішальне значення при отриманні високоточних результатів оброблення наукових даних [2].

Для мінімізації затримки наскрізної передачі та покращення продуктивності мережі буде корисним пакетне пересилання даних з урахуванням задіяного програмного забезпечення, що дозволить

скоротити час передачі даних. Інформаційні пакети передаються послідовно та приймаються на вузлах призначення з низькою затримкою. Наприклад, під час потокової передачі відео пакет включає відео кілька зображень та звукового супроводу. Для усунення будь-яких перевантажень в телекомунікаційній мережі створюються віртуальні канали. При цьому, вузли призначення обробляють інформаційні пакети одразу по черзі. Такий підхід дозволяє прискорити наскрізну передачу, а також оптимізувати мережеві ресурси. Отже, для підтримання пакетного пересилання даних у мережі потрібна передача з низькою затримкою, віртуальний канал, що підтримує пакетне пересилання, а також керування ресурсами та планування пакетної передачі.

Вимоги до мережі повинні враховувати два типи даних: добре структуровану і невелику за обсягом контрольну інформацію та великий обсяг інформації від експертного об'єкта. Обсяг інформаційного трафіку в телекомунікаційній мережі повинен бути невеликим, а пакети даних мають бути пріоритетними. Таким чином, забезпечується зменшення затримки і тривалості реакції на аварійні ситуації в будь-який час і в будь-якому місці. При передачі великого обсягу даних, таких як високоякісне відео, необхідно забезпечити достатній резерв пропускну здатності із врахуванням пріоритетної передачі даних. Надійність і точність передачі є одними з ключових вимог у звичайних стільникових системах. У випадках аварійно-рятувальних робіт вони є особливо важливими, оскільки деякі попереджувальні повідомлення повинні передаватися в райони аварійно-рятувальних робіт з високою точністю та низькою затримкою. Крім того, системи дистанційного керування, включаючи дистанційну хірургію та дистанційне ультразвукове обстеження вимагають наднизької затримки та низького джитеру. За допомогою технологій 5G було реалізовано мережеву інфраструктуру і частково задоволено системні вимоги телекомунікаційних радіомереж спеціального призначення. Вища продуктивність мереж нового покоління призводить до більшого відсотку врятованих людей. Таким чином, системи 6G мають покращити ефективність використання телекомунікаційних радіозасобів в надзвичайних ситуаціях і катастрофах при наданні допомоги будь-де, будь-коли і будь-кому [3].

Кількість пристроїв Інтернету речей швидко зростає та наближається до 10 мільярдів [4]. Необхідність керування величезною кількістю даних від пристроїв IoT в одній централізованій системі зумовлює перевантаження мережевого трафіку. На відміну від цього підходу, соціалізований Інтернет речей (SIoT) є децентралізованим, що забезпечує взаємозв'язок між об'єктами. SIoT дозволяє просто встановлювати з'єднання між об'єктами з різними рівнями безпеки, а також робить можливим виявлення послуг на різних платформах. Наприклад, логістичні компанії розглядають цей варіант використання для мінімізації витрат і підвищення стійкості. Мережа встановлює функції та API для реалізації віртуальних об'єктів і дозволяє їм взаємодіяти з іншими віртуальними об'єктами.

Таким чином, можна контролювати логістичні активи, збирати дані з навколишнього середовища та оптимізувати процес. SIoT відіграватиме важливу роль в контексті мережевої інфраструктури. Ключові мережеві вимоги SIoT подібні до традиційних вимог IoT, таких як енергоефективність, безпека, обчислювальна потужність і зберігання даних на периферійних мережах. На додаток до цього, вони вимагають відкритих мережевих сервісних інтерфейсів і віртуалізації об'єктів для підтримки соціальних зв'язків між пристроями SIoT. При використанні інтелектуальних та рухомих об'єктів, таких як БПЛА необхідно підтримувати низьку затримку і високу мобільність.

Зв'язок та спільне використання широко розподілених даних штучного інтелекту забезпечує нове рішення для IoT. У системах Інтернету речей 6G інтелектуальні об'єкти можуть приймати рішення автономно та інтерактивно з людиною, використовуючи алгоритми ШІ. Широке поширення алгоритмів штучного інтелекту стане радикальною зміною системи Інтернету речей. Робочі навантаження і дані ШІ будуть розподілені по глобальній системі ШІ з точки зору конкретних додатків і системних вимог. Багато компонентів ШІ всередині пристроїв Інтернету речей можуть бути об'єднані в пул. Така децентралізована і кооперативна система зможе ділитися ресурсами ШІ з іншими системами. Для цього мережі повинні підтримувати зв'язок між пристроями, самоорганізацію, гнучку автентифікацію, розширення мережі [5].

Ключові вимоги до телекомунікаційної мережі можна підсумувати наступним чином: 1. Віртуалізація. При цьому, рішення на основі штучного інтелекту вписуються в концепцію віртуалізації, що дозволить легко знизити витрати на розгортання. 2. Мережева оркестрація. Для забезпечення синергії обчислювальних, кешувальних і комунікаційних ресурсів концепція мережевої оркестрації буде корисною для роботи систем ШІ. 3. Оптимізація пропускну здатності мережі. Масивні інтелектуальні об'єкти генеруватимуть великі обсяги даних, а система ШІ використовуватиме їх для навчання. Таким чином, необхідна велика пропускну здатність мережі із обов'язковою оптимізацією. 4. Низька

затримка. При необхідності здійснення рішення в реальному часі, передача даних між об'єктами повинна бути максимально швидкою та підтримувати прийняття рішень в реальному часі. 5. Інтероперабельність. Для підтримки телекомунікаційних рішень зі штучним інтелектом необхідні уніфіковані мережеві інтерфейси для їх обслуговування і повторного використання ШІ та мережевих ресурсів. 6. Програмованість мережі. Застосування мережевої програмованості зумовлена необхідністю динамічного обміну даними змінного розміру та компонентами ШІ. Таким чином, можна розпізнавати телекомунікаційні об'єкти і перенаправляти їх до різних мереж. 7. Безпека. Необхідність забезпечення різних рівнів безпеки зумовлена тим, що більшість даних в мережі пов'язані з приватними або захищеними пристроями. Таблиця 1 представляє відповідні вимоги до мережі з точки зору п'яти варіантів використання [2].

У таблиці 1 визначено п'ять критеріїв оцінювання параметрів телекомунікаційних систем за шкалою від 1 до 10. Чим більше значення, тим важливіше. Пропускна здатність (BW) включає декілька аспектів, таких як пропускна здатність, якість обслуговування, гнучкість та адаптивність транспортної мережі.

Таблиця 1. Оцінювання абстрактних вимог до систем 6G із врахуванням п'яти варіантів застосування

Випадки використання	BW	Час	Безпека	AI	MN
Застосування великих наукових даних (HSD)	10	9	6	6	9
Пакетна пересилка даних з урахуванням програмного додатку (ABF)	8	5	2	2	2
Екстрена допомога та рятування при стихійних лихах (EDR)	5	6	9	8	5
Соціалізований Інтернет речей (SIoT)	7	9	9	7	8
Зв'язок і спільний доступ до розповсюджених даних, моделей і знань штучного інтелекту (CSAI)	8	9	8	8	8

Нове покоління стільникових мереж з'являється кожні 10 років. Багато груп зі стандартизації, великих постачальників і мобільних операторів здійснюють розробку мереж 6G. У таблиці 2 наведено графік розвитку технологій 6G. У 15-й версії рекомендацій 3GPP визначено першу фазу 5G, що включає новий радіоінтерфейс (NR), мережу радіодоступу наступного покоління (NG-RAN), ядро 5-го покоління (5GC), розбивку мережі на сегменти та периферійні обчислення. Перша фаза 5G була зосереджена на технологіях і додатках eMBB. У 16-й версії 3GPP визначено другу фазу 5G, що включає вдосконалену технологію "транспортний засіб до всього" (eV2X), URLLC, промисловий IoT, інтегрований доступ та транзитний зв'язок (IAB) і рівень архітектури, що забезпечує надання послуг (SEAL) для вертикальних мереж. Друга фаза 5G була розширена до технологій і додатків URLLC і V2X. Зокрема, технології IAB дозволяють здійснювати економічно ефективно розгортання мережі, спрощуючи підключення до радіоядра та зменшуючи складність і час розгортання мережі. Технологія IAB дозволяє розподіляти спектр між мережами доступу і транзитними мережами. Ключові особливості технології IAB можна підсумувати наступним чином: внутрішньосмуговий (дозволяється перекриття між каналом доступу і транзитним каналом) та позасмуговий (перекриття не дозволяється) транзит; підтримка неавтономного (NSA) і автономного (SA) режимів функціонування NR, автономна реконфігурація транзитних мереж. Впровадження технології NR для мереж URLLC передбачає підвищення надійності, зменшення затримок і жорстку синхронізацію. Для підвищення швидкодії оброблення даних на каналному рівні у фізичному каналі керування низхідним каналом передавання (PDCCH) підтримується компактна інформація керування низхідним лінійним трактом передавання (DCI). Технологія NR передбачає скасування UL, пріоритезацію, покращений контроль потужності та передачу без грантів. Крім того, рівень SEAL підтримує різні вертикалі і забезпечує керування групами, керування конфігурацією, керування розташуванням, керування ідентифікацією та керування мережевими ресурсами [4]. Підтримка прикладного рівня SEAL передбачає використання мережевої та позамережевої моделі. Мережева модель дозволяє підключити абонентське обладнання (UE) до радіомережі через інтерфейс Uu. Позамережева модель використовується, коли користувачеві потрібен інтерфейс PC5. Інтерфейс Uu призначений для реалізації зв'язку V2X, а інтерфейс PC5 - для прямого зв'язку між транспортними засобами. Потенційними можливостями 17-ї версії 3GPP (таблиця 2) є неземні мережі, нові частотні діапазони, NR sidelink і NR light [5]. Технологія 5G NR light (раніше - 5G NR RedCap (новий пристрій зі знизеним радіопоглинанням)) є однією з ключових функцій у 17-й версії стандарту. В результаті,

пристрої NR мають можливість компромісу між традиційними послугами eMBB та NB-IoT (або LTE-M) [1].

Релізи 3GPP, що охоплюють 6G будуть розроблятися до 2030 року, а нові функції будуть постійно обговорюватися і прийматися з 17 по 23 реліз. Отже, вимоги, оцінка та методологія для мереж 6G будуть розроблені до 2030 року. Європейська комісія (ЄК) ухвалила стратегічне партнерство щодо інтелектуальних мереж і послуг (SNS) на шляху до впровадження мереж 6G. При цьому, SNS має дві мети: ЄК сприяє суверенітету технології 6G, впровадженню дослідницької програми та підготовці до якнайшвидшого впровадження систем 6G на ринку; ЄК прискорює розгортання 5G в Європі і сприяє цифровому та зеленому переобладнанню економіки. Стандарт IEEE 802.11 (WiFi) був вперше випущений в 1997 році. Швидкість передачі даних WiFi зростає з декількох Мбіт/с до декількох Гбіт/с. Швидкість і покриття покращувалися, додавалися нові функції. Ревізії WiFi можна підсумувати наступним чином: 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11n (WiFi4), 802.11ac (WiFi5), 802.11ax (WiFi6), 802.11be (WiFi7).

Таблиця 2. Етапи розвитку 6G

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
3GPP	Реліз 17 та 18 (5G Розширений)			Реліз 19 та 20 (5G Професійний та розширений)			Реліз 21, 22 та 23 (6G)			
ITU-R	IMT2030 Стратегії та технологічні тенденції			IMT2030 Вимоги			Перспективи IMT2030 (оцінювання та методологія)			
ITU-T	Прогнозування FG-ML5G та Net2030									
EU projects	Розумні мережі та послуги (SNS): Дослідження			Розумні мережі та послуги (SNS): Попередні стандарти та перевірка концепцій			Розумні мережі та послуги (SNS): Випробування			
IEEE	WiFi7, THz			WiFi8 та 9, Розвиток терагерцового діапазону						

Телекомунікаційне обладнання WiFi, що відповідає стандарту 802.11b підтримує максимальну швидкість передачі даних 11 Мбіт/с та працює на частоті 2,4 ГГц. Обладнання стандарту 802.11a працює на частоті 5 ГГц та використовує технологію OFDM і підтримує максимальну швидкість передачі даних 54 Мбіт/с. Найпопулярніша версія обладнання WiFi на ринку відповідає стандарту 802.11g, яка сумісна зі стандартом 802.11b та підтримує максимальну швидкість передачі даних 54 Мбіт/с на частоті 2,4 ГГц. Необхідність забезпечення підвищеної швидкості передачі даних у малих стільникових мережах зумовила впровадження телекомунікаційного обладнання стандарту 802.11n (WiFi4), яке підтримує швидкість до 450 Мбіт/с за допомогою технології MIMO. Такі маршрутизатори працюють в діапазонах 2,4 і 5 ГГц. 802.11ac (WiFi5) та використовуючи технологію MIMO можуть створювати кілька потоків на кілька пристроїв і покращувати загальну пропускну здатність мережі [2].

Телекомунікаційне обладнання стандарту 802.11ax (WiFi6) має багато нових функцій: підтримка до 8×8 MIMO, забезпечення швидкості передавання даних до 9,6 Гбіт/с та уникнення заторів трафіку в громадських місцях. Телекомунікаційне обладнання стандарту 802.11be (WiFi7) має смугу пропускання 320 МГц, багатосмугову багатоканальну агрегацію, 16 потоків MIMO, 4096 QAM [3]. Тому, технологія WiFi буде продовжувати розвиватися і може відігравати важливу роль у системах 6G. Крім того, стандарт 3GPP визначає різні методи взаємодії технологій WiFi та LTE. Агрегація обладнання LTE-WLAN (LWA) визначається стандартом 3GPP. Більшість мобільних телефонів оснащені як LTE так і WiFi. Технологія LWA дозволяє використовувати обидва канали для єдиного трафіку шляхом координації на нижчих рівнях протоколу. В результаті, мобільний користувач може користуватися безперебійними послугами передачі даних з вищою пропускну здатністю мережі, а мобільний оператор може покращити використання системи та зменшити операційні витрати. При цьому, очікується синергія між системами WiFi і 6G та підвищення пропускну здатності на невеликих територіях.

Висновки

Здійснено оцінювання впливу штучного інтелекту та машинного навчання на технологічний розвиток інтелектуальних радіосистем, включаючи системи зв'язку, передачі даних та мобільних мереж. Основні впливи включають: Оптимізація ресурсів: ШІ та МН можуть допомогти в оптимізації використання радіоресурсів у мережах зв'язку, забезпечуючи ефективніше розподіл і управління спект-

ром, пропускною здатністю та енергією. Це дозволяє покращити продуктивність та потужність системи. Автоматизоване управління мережами: Застосування ШІ та МН дозволяє автоматизувати управління мережами, включаючи налаштування, моніторинг та оптимізацію роботи. Це допомагає знизити витрати на управління та забезпечує більш ефективне функціонування мереж. Вдосконалення передачі та прийому сигналів: ШІ та МН можуть допомогти вдосконалити алгоритми обробки сигналів, що використовуються в радіосистемах. Це включає фільтрацію шуму, розпізнавання та корекцію помилок, покращення якості сигналу та забезпечення кращого прийому. Покращена безпека та прогнозування: ШІ та МН можуть допомогти виявляти та запобігати кібератакам, виявляти аномалії в мережі та забезпечувати безпеку передачі даних. Вони також можуть використовуватися для прогнозування навантаження, трафіку та інших параметрів мережі, що дозволяє більш ефективно розподіляти ресурси.

Визначено, що застосування ШІ та машинного навчання в 6G включають: Управління ресурсами: ШІ може бути використаний для ефективного управління ресурсами мережі, такими як пропускна здатність, затримка та енергія. Алгоритми машинного навчання можуть навчитися прогнозувати трафік та використання ресурсів, що допоможе покращити якість обслуговування та забезпечити оптимальне розподілення ресурсів. Оптимізація мережевих архітектур: ШІ може допомогти удосконалити архітектури мережі, щоб забезпечити ефективну комунікацію та підтримку нових послуг. Застосування машинного навчання може допомогти виявити оптимальні шляхи маршрутизації, управляти вузлами мережі та покращити безпеку. Автономні мережі та системи: ШІ може допомогти реалізувати автономне управління мережею та системами. Самоорганізація, самоуправління та самоналаштування можуть бути досягнуті за допомогою алгоритмів машинного навчання, що дозволить мережі адаптуватися до змінних умов та оптимізувати свою роботу. Покращена аналітика даних: ШІ та машинне навчання можуть бути використані для аналізу великих обсягів даних, що генеруються в 6G мережах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ITU-T, FG NET-2030 Technical Report on Network 2030. Additional Representative Use Cases and Key Network Requirements for Network 2030 (June 2020)
2. T. Nakamura, 5G evolution and 6G. in International Symposium on VLSI Design, Automation and Test (VLSI-DAT) (2020), pp. 1–1. <https://doi.org/10.1109/VLSI-DAT49148.2020.9196309>
3. Strategic Research and Innovation Agenda 2021–2027, European Technology Platform Net World 2020, Smart Networks in the context of NGI (September 2020). <https://5g-ia.eu/sns-horizon-europe/>.
4. Васильківський, М., Варгатюк, Г., & Болдирева, О. (2022). Дослідження архітектури штучного інтелекту для інфокомунікаційних мереж 6G. Measuring and computing devices in technological processes, (4), 62–70. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-7>
5. Васильківський, М., Варгатюк, Г., & Болдирева, О. (2022). Інтелектуальна оптимізація інфокомунікаційних мереж множинного доступу. Вісник Хмельницького національного університету, (6), 32–39. [https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6\(2\)-32-39](https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6(2)-32-39)

Якубівська Наталія Володимирівна — студентка групи ТКС-21мсз, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nakubivska@gmail.com

Андрущак Сергій Сергійович — студент групи ТКР-22мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: richmudak305@gmail.com

Буданевич Олексій Вячеславович — студент групи ТКР-22мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: budanevc@gmail.com

Науковий керівник: **Васильківський Микола Володимирович** — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Yakubivska Natalia V. - student of the group TKS-21msz, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nakubivska@gmail.com

Andrushchak Serhii S. - student of the TKR-22ms group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: richmudak305@gmail.com

Budanevych Oleksii V. - student of the TKR-22ms group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: budanevc@gmail.com

Supervisor: **Vasykivskiyi Mykola V.** — candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia