

ЗАСТОСУВАННЯ ШІ ТА МН В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено використання алгоритмів ШІ та МН для оптимізації мережі 6G та покращення її продуктивності, зокрема для автоматичного управління мережею та оптимізації її ресурсів, в той час як алгоритми МН для покращення швидкості передачі даних та зменшення затримок в мережі.

Ключові слова: алгоритм ШІ та МН, мобільна мережа 6G, оптимізації мережі 6G, каналний рівень мережі, мережний рівень системи.

Abstract

The use of AI and ML algorithms to optimize the 6G network and improve its performance, in particular for automatic network management and optimization of its resources, while ML algorithms to improve data transmission speed and reduce network latency, is investigated.

Keywords: AI and ML algorithm, 6G mobile network, 6G network optimization, network link layer, system network layer.

Вступ

Використання ШІ може допомогти вирішувати проблеми з підвищенням продуктивності, покращенням безпеки та управлінням ресурсами мережі. У системах 6G передбачається використання алгоритмів ШІ для автоматизації та покращення управління різними аспектами мережі, такими як адаптація до змінних умов, оптимізація використання ресурсів та виявлення і запобігання відмовах в мережі. Прикладами застосування алгоритмів ШІ в системах 6G є визначення оптимальних маршрутів, планування використання ресурсів мережі та автоматичне управління мережевим обладнанням [1].

Метою роботи є дослідження мобільних мереж 6G, яка полягає в розробці та вдосконаленні технологій та стандартів, що лежать в основі наступного покоління бездротових мереж зв'язку із використанням алгоритмів ШІ та МН для оптимізації.

Основна частина

Мережі, орієнтовані на користувача, дозволяють користувачам безперешкодно переходити з однієї мережі в іншу. Мережі, які можуть надати користувачу найкращий сервіс, вибираються автоматично, використовуючи наявні лінії зв'язку. В основному, часті хендовери в щільних мережах можуть призвести до втрати даних, затримок хендоверу, ефекту пінг-понгу [2].

Неземні мережі, такі як зв'язок за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), супутниковий зв'язок (Satcom) і морський зв'язок, найкраще підходять для ускладнених випадків використання, таких як арктичні райони, високі гори. У цих місцях важко впроваджувати стільникові мережі через нестабільне середовище і високу вартість розгортання мережі. Таким чином, супутниковий зв'язок є розумним рішенням для цих районів. У системах 6G розглядається використання геостационарних супутників (GEO), низькоорбітальних супутників (LEO) і висотних псевдосупутників (HAPS).

Крім того, взаємодія між стільниковими системами і супутниковим зв'язком розглянута в стандартах 5G. Один наземний шлюз приймає пакети даних із супутників, виконує функцію пакетного маршрутизатора з підключенням до Інтернету. Супутниковий зв'язок надає багато переваг, таких як розширена площа покриття, краща адаптивність до катастрофічних подій і гнучкість. Таким чином, інтегровані мережі між супутниковим і стільниковим зв'язком покращать покриття на периферії стільникового зв'язку. Однак, однією з ключових проблем впровадження інтегрованої технології є взаємна інтерференція між супутниками і стільниковими мережами, оскільки міліметрові діапазони хвиль зараз використовуються в супутниковому зв'язку, а також ці діапазони були прийняті в стільникових мережах малих розмірів [3]. На рис. 1 показано порівняння традиційних стільникових мереж і мереж, орієнтованих на користувача.

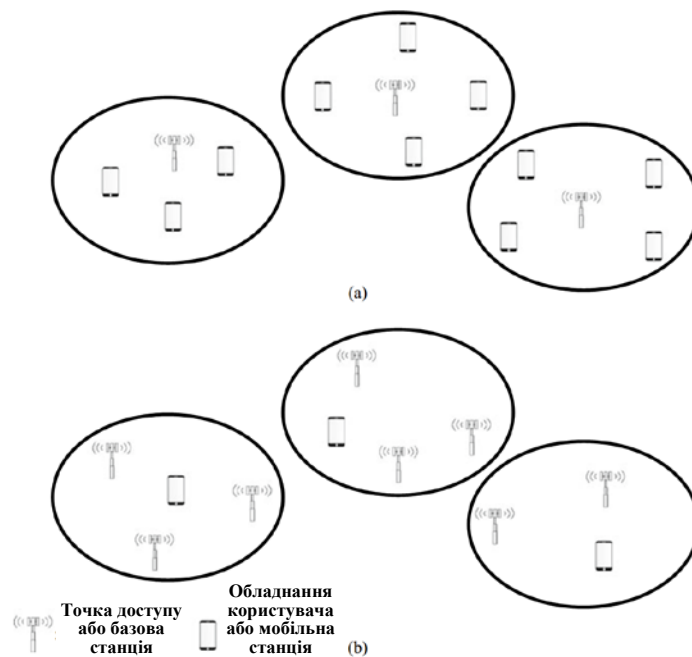


Рис. 1. Стільникові мережі (а) та мережі, орієнтовані на користувача (б)

В результаті, відбувається перекривання діапазонів частот 24 - 29 ГГц, що виділені для міліметрового діапазону в мережах 5G та Ка-діапазону (26,5 - 40 ГГц), що використовується для супутникового зв'язку. Основними варіантами інтегрального використання супутникових та стільникових мереж є: використання трафіку стільникових мереж для передачі даних, не чутливих до часу, підтримка рухомих платформ, таких як кораблі, поїзди, автомобілі, послуги Інтернету речей у сільській місцевості. Оскільки інвестування в наземні мережі може бути економічно неефективним, наприклад, "розумне" сільське господарство, "розумні" заводи та вітрові електростанції, які можуть бути розташовані в сільській місцевості, таким чином, супутникова мережа може бути доцільною для цих випадків використання. Підтримка магістрального з'єднання за допомогою супутникового транзитного зв'язку необхідна коли базова станція 5G у сільській місцевості, високогір'ї або арктичній зоні не може підключитися до магістральної мережі 5G через нестабільне середовище або відсутність транзитного зв'язку. БПЛА може зависати на невеликій висоті і забезпечувати зв'язок на короткий час (зазвичай до 1 години) на обмеженій території. Граничні обчислення з множинним доступом (MEC) дозволяють мобільним станціям переносити свої обчислювальні завдання на границю мережі та покращувати обчислювальні можливості мереж [4].

У сучасних бездротових комунікаціях важливо отримувати точну інформацію про стан каналу (CSI), оскільки CSI безпосередньо пов'язана з продуктивністю MIMO та інших систем. Оцінювання каналу за допомогою пілотів вимагає використання деякої кількості пілотних символів для оцінки каналу зв'язку. Зазвичай, більша кількість пілотних символів дозволяє отримати більш точну оцінку каналу. Однак, довгі послідовності пілотів можуть знизити спектральну ефективність, що означає, що частотний діапазон, доступний для передачі даних, буде меншим. Отже, важливим завданням є знаходження оптимальної довжини та конструкції пілотної послідовності, що дозволяє отримати достатньо точну оцінку каналу, але при цьому не знижує спектральну ефективність. Це може бути досягнуто за допомогою оптимального розташування пілотів у часово-частотному просторі та використання складніших методів інтерполяції та екстраполяції для оцінки каналу між пілотними символами [5]. Для досягнення цієї мети можуть бути використані різноманітні методи оптимізації та машинного навчання, такі як еволюційні алгоритми, нейронні мережі тощо, що можуть знайти оптимальні пілотні послідовності та методи їхньої обробки. Крім того, процес оцінювання каналу наосліп, який використовує статистичні методи, не вимагає використання пілотних символів для оцінки каналу. Він базується на статистичних властивостях отриманих сигналів та моделюванні каналу зв'язку. Проте, для отримання точної оцінки каналу наосліп, потрібні високоточні методи статистичного аналізу та моделювання каналу, що можуть бути досить складними та витратними з точки зору обчислювальних ресурсів. Також, оцінка каналу наосліп може бути менш ефективною в умовах шуму та інших спо-

творень сигналу, тому що статистичні методи можуть виявитися недостатньо точними в цих умовах [1].

Таким чином, вибір методу оцінки каналу залежить від конкретних умов передачі даних та вимог щодо точності оцінки каналу. Іноді використання пілотних символів може бути ефективнішим, особливо якщо точність оцінки каналу є критичною. А іноді можуть бути використані методи оцінки каналу наосліп для зменшення кількості пілотних символів та покращення спектральної ефективності. Методи ML можуть сприяти вирішенню цих дослідницьких завдань. Рекурентна нейронна мережа (RNN) може бути корисною для оцінки каналу наосліп в системах 6G, особливо якщо ми маємо справу зі складними динамічними змінами в каналі. RNN здатна зберігати попередні стани, що дозволяє їй моделювати залежності в часі між сигналами і використовувати ці знання для передбачення майбутніх значень. В контексті оцінки каналу наосліп RNN може використовуватися для прогнозування властивостей каналу на основі отриманих даних, що дозволить уникнути необхідності використовувати пілотні символи. Крім того, RNN може бути корисна для оцінки каналу на основі ШІ, оскільки вона може аналізувати складні динамічні зміни в каналі та передбачати їх вплив на сигнал [2].

Канальний рівень складається з двох ключових підрівнів: управління доступом до середовища (MAC) і управління логічним з'єднанням (LLC). Канальний рівень відповідає за доступ до середовища передачі даних, виявлення помилок і мультиплексування потоків даних, а також забезпечує надійне з'єднання. Основне призначення мережевого рівня полягає у з'єднанні різних мереж, визначенні найкращих маршрутів для передачі пакетів даних та управлінні мережевим трафіком. Алгоритми ШІ, засновані на даних, можуть бути дуже корисними для поліпшення продуктивності на MAC і мережевому рівні. Наприклад, за допомогою машинного навчання можна покращити алгоритми хендовера шляхом збору та аналізу даних про географічне середовище, такі як інформація про зони покриття, канали мовлення та шум, що допоможе визначити оптимальний момент переходу між базовими станціями і забезпечити плавний перехід без втрати якості зв'язку. Крім того, аналіз даних може допомогти виявити аномальну поведінку мережі та проблеми зі зв'язком, що дозволяє операторам рано виявляти та вирішувати проблеми з мережею. Отже, збір великої кількості даних, пов'язаних з масово підключеними пристроями, є ключовим для розробки і вдосконалення систем 6G. Ці дані можна використовувати для підвищення ефективності і продуктивності мережі на MAC і мережевому рівні, зниження загальних витрат на експлуатацію мережі і створення нових послуг в системах 6G, включаючи покращення хендовера за рахунок аналізу географічних даних. Однак, необхідно забезпечити адекватний захист даних і забезпечити конфіденційність даних, зібраних в мережах 6G. Також, вони можуть допомогти планувальникам мереж оптимізувати розгортання мережі. З точки зору роботи мережі, вони можуть допомогти підвищити відмовостійкість мережі, прогнозуючи мережевий трафік і виявляючи потенційні несправності.

Визначення методів доступу до каналу є однією з основних функцій MAC-рівня. Існує багато методів доступу, таких як TDMA, FDMA, CDMA та інші, які використовуються в різних мережевих технологіях. Крім того, MAC-рівень відповідає за керування взаємодією з протоколом фізичного рівня і забезпечення передачі даних від одного пристрою до іншого з використанням відповідних каналів. Щодо безпеки, MAC-рівень зазвичай використовує різні методи шифрування та автентифікації, щоб забезпечити захист від несанкціонованого доступу до мережі та збереження конфіденційності переданих даних. У випадку, якщо отриманий пакет даних не є безпечним, MAC-рівень може ініціювати процес повторної передачі пакету, щоб забезпечити його доставку. Однак, це може призвести до затримок у передачі даних, що може впливати на продуктивність мережі. Алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання можуть підвищити продуктивність MAC-рівня. Найбільш підходящими функціями для застосування алгоритмів ШІ та МН є розподіл ресурсів, планування, агрегація несучих, хендовер [3]. Крім того, це може зменшити накладні витрати на пакет MAC-даних і підвищити надійність передачі за допомогою технології HARQ, яка дозволяє вирішувати проблему передачі даних на далекій відстані, де канали можуть бути шумними або мають інші проблеми. HARQ використовується в бездротових мережах для покращення надійності передачі даних і зменшення кількості повторних передач. Технологія HARQ поєднує в собі ARQ та FEC, що дозволяє забезпечити високу якість передачі даних. Під час передачі даних HARQ пересилає лише ті пакети, які були пошкоджені в процесі передачі, зменшуючи накладні витрати на передачу даних. Для забезпечення подальшого підвищення надійності передачі, можна використовувати ШІ в HARQ. Методи ШІ можуть використовуватися для оптимізації параметрів передачі даних, що забезпечить вищу ефективність і надійність передачі. Наприклад, можна використовувати методи машинного навчання для передбачення

оптимальної кількості повторів пакета або оптимальної схеми кодування для передачі даних [4]. Таким чином, використання HARQ, оснащеного ШП, дозволить знизити накладні витрати на пакет MAC-даних та підвищити надійність передачі даних в системах 6G.

Ключова роль мережевого рівня полягає забезпеченні передачі пакетів даних від джерела до приймача через кілька вузлів, що можуть бути розташовані на різних мережевих сегментах. Це може включати маршрутизацію пакетів даних, розподіл навантаження між різними шляхами, забезпечення доставки даних у правильному порядку, а також контроль і керування потоком даних. Отже, мережевий рівень відповідає за маршрутизацію пакетів даних з одного вузла до іншого через кілька проміжних вузлів. При цьому, одним з основних завдань мережевого рівня є знаходження найкращого маршруту для передачі пакету даних від джерела до призначення. Це зазвичай здійснюється за допомогою алгоритмів маршрутизації, які оцінюють кілька критеріїв, таких як швидкість передачі, стійкість до помилок і витрати на мережу [5]. Крім того, мережевий рівень також відповідає за функції збирання та повторного збирання пакетів даних. Це важливо для забезпечення надійної передачі даних в мережі, особливо при наявності помилок передачі або втрати пакетів. У цьому випадку мережевий рівень може повторно відправляти пакети або збирати розірвані пакети для забезпечення повної передачі даних до призначення.

Висновки

Визначено, що мережі, орієнтовані на стільники, мають певні обмеження в забезпеченні якісного зв'язку у рухомому транспорті або в зоні перепадів між макро- та мікросередовищами. Однак, мережі, орієнтовані на користувача, зазвичай працюють в діапазоні частот, які є менш залежними від відстані між користувачем і базовою станцією, і можуть забезпечувати кращий зв'язок у зоні переходів між макро- та мікросередовищами. Крім того, такі мережі здатні автоматично вибирати найкращу доступну лінію зв'язку для користувача, що дозволяє підтримувати якість зв'язку на високому рівні навіть в умовах руху.

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. W. Tang, X. Li, J.Y. Dai, S. Jin, Y. Zeng, Q. Cheng, T.J. Cui, Wireless communications with programmable metasurface: transceiver design and experimental results. J. China Commun. 16(5), 46–61 (2019)
3. М. Васильківський, О. Болдирева, Г. Варгатюк, і М. Будащ, «Керування телекомунікаційними мережами з використанням технологій AI/ML», ВОТТП, вип. 1, с. 89–100, Бер 2023. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-73-1-13>
4. М. Васильківський, О. Городецька, Б. Климчук, і В. Говорун, «Стратегії технологічного розвитку апаратного забезпечення інфокомунікаційних радіомереж», ІТКІ, вип. 56, вип. 1, с. 83–91, Бер 2023. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2023-56-1-83-91>
5. Васильківський, М., Болдирева, О., Онишук, Д., & Гнатенко, Ю. (2023). Динамічна інформаційна мережа з вбудованим штучним інтелектом. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, (50), 36-45. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-05>

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

Дудич Олег Андрійович — студент групи ТКР-22мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olegdudic14@gmail.com

Кирилюк Микола Сергійович — студент групи ТКР-22мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 1mkolakurulyk@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

Dudych Oleg A. - student of the TKR-22ms group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olegdudic14@gmail.com

Kirilyuk Mykola S. - student of the TKR-22ms group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 1mkolakurulyk@gmail.com

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