

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ МІМО

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено значний потенціал методів штучного інтелекту при оптимальному проектуванні та управлінні МІМО мережами для поліпшення їх продуктивності, надійності та ефективності. Розглянуто можливості інтелектуальних алгоритмів аналізувати динамічні зміни каналу та умови експлуатації для прийняття рішення щодо оптимального розподілу ресурсів, адаптації та керування мережею.

Ключові слова: алгоритм штучного інтелекту, штучна нейронна мережа, ефективне використання доступної пропускну здатності.

Abstract

The significant potential of artificial intelligence methods in the optimal design and management of MIMO networks to improve their performance, reliability, and efficiency is investigated. The capabilities of intelligent algorithms to analyze dynamic changes in the channel and operating conditions to make decisions on optimal resource allocation, adaptation, and network management are considered.

Keywords: artificial intelligence algorithm, artificial neural network, efficient use of available bandwidth.

Вступ

З використанням алгоритмів штучного інтелекту, таких як генетичні алгоритми або алгоритми навчання з підкріпленням, можна провести оптимізацію розташування антен. ШІ може враховувати різноманітні фактори, такі як топологія мережі, затухання сигналу, інтерференція, шумове середовище та інші обмеження. В результаті можна знайти оптимальне розташування антен, що максимізує пропускну здатність та забезпечує кращу якість зв'язку. Наприклад, штучний інтелект може використовуватись для генерації великої кількості випадкових розташувань антен, а потім оцінювати ефективність кожного розташування на основі метрик, таких як міжсимвольний перехресний вплив (ISI), спектральна ефективність або отримана потужність сигналу. Застосовуючи алгоритми оптимізації, ШІ може шукати оптимальне розташування, яке максимізує ці метрики. Отримане оптимальне розташування антен може допомогти покращити якість зв'язку та забезпечити кращу продуктивність бездротових мобільних мереж. Застосування штучного інтелекту у моделюванні мобільних систем МІМО може допомогти виявити оптимальні рішення та зменшити потребу в складних та витратних експериментах у реальних умовах [1].

Використання нейронних мереж для прогнозування параметрів каналу дозволяє зосередитися на взаємозв'язку між входом і виходом каналу, не потребуючи точної моделі каналу та швидко адаптувати алгоритми фізичного рівня до різних умов каналу. Замість того, щоб розробляти окремі моделі для кожного типу каналу або сценарію, нейронні мережі можуть бути навчені на широкому спектрі даних, що охоплюють різні умови каналу. Це дозволяє системі 6G швидко адаптуватися до нових умов каналу, коли вони змінюються. Нейронні мережі можуть використовувати свою навчену модель для прогнозування параметрів каналу на основі вхідних сигналів, що надходять, і відповідно адаптувати алгоритми фізичного рівня для оптимальної роботи в нових умовах.

Метою роботи є дослідження оптимального проектування та управління МІМО мережами із використанням методів штучного інтелекту (ШІ) для досягнення найвищої продуктивності, ефективності та якості зв'язку в мобільних мережах 6G.

Основна частина

Технологія множинних входів і множинних виходів (МІМО) широко використовується в стільникових системах і має кілька переваг з точки зору продуктивності системи. Однією з переваг МІМО є вигравш завдяки використанню багатьох антен на передавачі та приймачі, оскільки МІМО здатна ком-

пенсувати ефекти багатопроменевого затухання, що призводить до різних типів багатопроменевих замирань. Різні шляхи сигналу можуть мати різні каналні умови, і MIMO використовує цю різноманітність для поліпшення якості зв'язку. Крім того, MIMO дозволяє отримати вигоду від коефіцієнта підсилення решітки. Завдяки використанню багатьох антен, MIMO може створювати просторову радіохвилю, яка концентрує енергію сигналу у бажаному напрямку та підвищує покриття передачі та якість обслуговування.

Крім того, MIMO дозволяє досягти вигоди від коефіцієнта мультиплексування. Завдяки використанню багатьох антен, MIMO може одночасно передавати незалежні сигнали через різні антени, що забезпечує підвищену спектральну ефективність і дозволяє передавати більше інформації в одиницю часу. Проте, існує компроміс між цими способами використання. Залежно від каналних умов, трафіку та ресурсів системи, оптимальне використання MIMO може змінюватись. Наприклад, в деяких випадках, коли канал має високий рівень багатопроменевого затухання та низький рівень шуму, вигода може бути більш суттєвою, і тому варто використовувати MIMO для покращення надійності зв'язку.

З іншого боку, якщо канал має менш виражене багатопроменеве затухання, але велику шумову складову, вигода від коефіцієнта підсилення мультиплексування може бути більш важливою. У такому випадку, MIMO може бути використано для підвищення спектральної ефективності та передачі більшої кількості незалежних сигналів через різні антени. Крім того, доступні ресурси, такі як кількість антен, ширина смуги та потужність передавача, також можуть впливати на оптимальне використання MIMO. Наприклад, при обмежених ресурсах може виникнути необхідність зменшення кількості задіяних антен або коригування інших параметрів MIMO для досягнення балансу між продуктивністю і доступними ресурсами [2]. Отже, оптимальне використання технології MIMO в стільникових системах вимагає урахування різноманітних факторів, таких як каналні умови, трафік та ресурси системи, для досягнення найкращої продуктивності і покращення різних аспектів системи передачі даних.

Розглянемо два основні аспекти використання MIMO: просторове рознесення і просторове мультиплексування. Просторове рознесення використовується для підвищення надійності передачі даних при використанні одного потоку даних. Це досягається за допомогою розміщення багатьох антен на передавачі та приймачі, що дозволяє компенсувати ефекти багатопроменевого затухання та мінімізувати його вплив на якість сигналу. Просторово-часове кодування використовується для генерації різних просторових шляхів сигналу, що покращує надійність зв'язку навіть при низькому відношенні сигнал-шум (SNR). З іншого боку, просторове мультиплексування дозволяє підвищити швидкість передачі даних шляхом одночасної передачі декількох незалежних потоків даних через різні антени. Це досягається за допомогою розміщення багатьох антен на передавачі та приймачі, що створює багатоканальну систему, де різні сигнали можуть бути передані та отримані паралельно. Для досягнення цього використовуються методи, такі як вертикальне просторово-часове кодування (V-BLAST) та попереднє кодування MIMO [3].

Загалом, просторово-часове кодування зазвичай показує хорошу продуктивність при низькому відношенні сигнал-шум, оскільки воно покращує надійність зв'язку, зменшуючи вплив шуму та затухання каналу. З іншого боку, просторове мультиплексування зазвичай показує кращу продуктивність при високому відношенні сигнал-шум, оскільки воно дозволяє передавати більше незалежних потоків даних через різні антени. Враховуючи це, для ефективного використання MIMO в системах передачі даних, можна використовувати просторово-часове кодування при низькому SNR, коли надійність є пріоритетом, а просторове мультиплексування - при високому SNR, коли швидкість передачі даних є пріоритетом.

Важливо також зазначити, що в реальних стільникових системах зазвичай використовуються комбінації цих методів для досягнення оптимальної продуктивності. Наприклад, можуть використовуватися техніки просторового рознесення для поліпшення надійності зв'язку в умовах затухання каналу, а потім використовуватися просторове мультиплексування для підвищення швидкості передачі даних у вільних каналах з високим SNR. Отже, просторове рознесення та просторове мультиплексування є двома важливими аспектами технології MIMO, і їх використання залежить від конкретних вимог до системи, каналних умов та доступних ресурсів [2].

В стільникових системах використовуються різні типи MIMO, такі як масивне MIMO, багатокористувацьке MIMO і формування променя, для отримання переваг просторової обробки сигналу. Основна ідея методів MIMO полягає в ефективному використанні просторових кореляційних властивостей

бездротових каналів і отриманні множинних некорельованих реплік сигналу. Шляхи поширення сигналу в каналі можуть мати різні просторові характеристики через різні ефекти, такі як відбиття, розсіювання і перешкоди. Використання множинних передавальних і приймальних антен дозволяє зробити ці просторові характеристики незалежними, тобто отримати некорельовані сигнали з різних шляхів. Просторове рознесення в системах МІМО може бути досягнуте шляхом використання декількох передавальних і приймальних антен. Кількість передавальних антен визначає рознесення передавача, тобто кількість незалежних каналів, які використовуються передавачем. Кількість приймальних антен визначає рознесення приймача, тобто кількість незалежних каналів, які використовуються приймачем. Це дозволяє отримати незалежні сигнали з різних просторових напрямків і забезпечує покращену продуктивність і надійність зв'язку. Продуктивність методів МІМО суттєво залежить від кореляції каналів. Якщо канали є малокорельованими або некорельованими, то можна досягти більшої просторової роздільної здатності і покращеної продуктивності. Однак, якщо канали мають високу кореляцію, наприклад, через сильне відбиття сигналу від оточуючих перешкод, то ефективність МІМО може бути обмеженою. Кореляція між каналами призводить до зменшення ступеня свободи просторової роздільної здатності і може знизити переваги від використання багатьох антен. Для досягнення оптимальної продуктивності МІМО в умовах високої кореляції каналів, можуть застосовуватися різні методи і технології, такі як формування променя, розташування антен і алгоритми обробки сигналу. Наприклад, формування променя дозволяє концентрувати енергію сигналу в напрямку корисного сигналу, знижуючи вплив кореляції з несприятливими шляхами поширення [4].

Враховуючи кореляцію каналів, важливо ретельно проектувати систему МІМО, включаючи вибір кількості антен, їх розташування і розподіл ресурсів між антенами. Оптимальне розташування антен може залежати від характеристик місцевості та розподілу перешкод. Крім того, розробка ефективних алгоритмів обробки сигналу, які враховують кореляцію каналів, також є важливим аспектом для покращення продуктивності МІМО в умовах високої кореляції. Таким чином, кореляція каналів є фактором, який потрібно враховувати при розробці та експлуатації систем МІМО, і існують різні підходи для подолання обмежень, пов'язаних з високою кореляцією.

У системах 6G масивні системи МІМО будуть продовжувати розглядатися через свої переваги в покращенні продуктивності та спектральної ефективності. Застосування методів штучного інтелекту (АІ) в системах МІМО може бути одним із підходів до вирішення проблем, з якими стикаються ці системи. АІ може допомогти у виконанні складних обчислень і оптимізації в системах МІМО наступними способами. Оцінка каналу. АІ може використовуватись для покращення точності оцінки каналу в системах МІМО. Він може використовувати алгоритми машинного навчання для аналізу отриманих сигналів і визначення каналних параметрів з більшою точністю. Це може допомогти зменшити вплив каналних спотворень і покращити продуктивність системи. Оптимізація ресурсів. АІ може використовуватись для оптимізації розподілу ресурсів у системах МІМО. Він може аналізувати різноманітні параметри, такі як каналні умови, навантаження мережі та вимоги користувачів, і робити розумні рішення щодо розподілу пропускну здатності, потужності та інших ресурсів. Це дозволяє досягти ефективного використання ресурсів і покращити загальну продуктивність системи. Управління зовнішнім впливом. АІ може допомогти вирішити проблему впливу руху мобільних пристроїв або коливань антенної решітки на вузький промінь, що генерується масивною МІМО. Він може аналізувати дані про рух та коливання і використовувати цю інформацію для вирішення проблеми збурень. Наприклад, штучна нейронна мережа може використовуватись для прогнозування руху пристроїв і адаптації променя під час руху, що дозволяє зберегти стабільність зв'язку [5].

Застосування АІ в системах МІМО може сприяти покращенню продуктивності, ефективності використання ресурсів та зниженню витрат. Автоматична оптимізація параметрів. АІ може аналізувати великі обсяги даних та використовувати алгоритми машинного навчання для автоматичного оптимізування параметрів системи МІМО. Наприклад, він може налаштувати вагові коефіцієнти антен, визначити оптимальну кількість пілотних сигналів або вирішити проблему коливань антенної решітки. Це дозволяє досягти оптимальної продуктивності системи МІМО без необхідності ручного налаштування. Покращення передбачуваності каналу. АІ може використовувати аналіз даних про канал для передбачення змін у каналних умовах. Він може враховувати фактори, такі як рух користувачів або зміна оточення, і прогнозувати зміни у каналі. Це дозволяє системі адаптуватися заздалегідь і підготуватися до змін, забезпечуючи більш стабільний зв'язок та кращу продуктивність. Розпізнавання сигналів. АІ може використовуватись для розпізнавання різних типів сигналів у системах МІМО. Він може навчитися виявляти та класифікувати сигнали з різних користувачів або інтерферуючих дже-

рел, що допомагає забезпечити кращу інтерференційну міжкористувацьку потужність та знизити вплив нежаданих сигналів. Управління ресурсами. AI може допомогти вирішити проблему оптимального розподілу ресурсів у багатокористувацьких системах MIMO наступними способами. AI може використовуватися для динамічного розподілу пропускну здатності між різними користувачами або групами користувачів у системі MIMO. Він може аналізувати канальні умови, навантаження мережі та вимоги користувачів для прийняття рішень щодо розподілу ресурсів, забезпечуючи кращу якість обслуговування та ефективну використання доступної пропускну здатності. AI може допомогти визначити оптимальний рівень потужності для кожного користувача або антени у системі MIMO. Використовуючи дані про канальні умови та вимоги користувачів, він може налаштовувати потужність передачі для досягнення оптимального балансу між продуктивністю та споживанням енергії. Це може допомогти знизити перекриття сигналів та вплив інтерференції, покращити якість зв'язку та ефективність використання ресурсів [2].

Висновки

Практична значимість результатів моделювання мобільних систем MIMO з використанням штучного інтелекту (ШІ) полягає у вдосконаленні та оптимізації функціональності та продуктивності таких систем. Моделювання систем MIMO з використанням ШІ дозволяє виявляти оптимальні конфігурації антен, стратегії передачі сигналу та параметри системи для максимізації продуктивності. Це може призводити до збільшення пропускну здатності, покращення якості зв'язку та збільшення діапазону покриття. Моделювання з використанням ШІ дозволяє розробити адаптивні алгоритми управління каналом. Це дозволяє системам MIMO автоматично адаптуватись до змінних умов зв'язку, оптимізувати розподіл потужності, керувати інтерференцією та забезпечувати стабільну та якісну передачу сигналів. Моделювання MIMO з використанням ШІ може покращити якість обслуговування користувачів, забезпечуючи стабільний зв'язок, високу швидкість передачі даних і меншу ймовірність втрати пакетів. Це особливо важливо в забезпеченні надійного і швидкого зв'язку в мобільних мережах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. H. He, C.-K. Wen, S. Jin, G.Y. Li, Deep learning-based channel estimation for beamspace mmWave massive MIMO systems. *IEEE Wirel. Commun. Lett.* 7(5), 852–855 (2018)
2. H. Tang, J. Wang, L. He, Off-grid sparse Bayesian learning based channel estimation for mmWave massive MIMO uplink. *IEEE Wireless Commun. Lett.* 8(1), 45–48 (2019)
3. Васильківський, М., Прикмета, А., Олійник, А., & Нікітович, Д. (2023). Оптимізація інтелектуальних телекомунікаційних мереж. *Вісник Хмельницького національного університету*, (1), 33–41. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-317-1-33-41>
4. Васильківський, М., Болдирева, О., Варгатюк, Г., & Будащ, М. (2023). Керування телекомунікаційними мережами з використанням технологій AI/ML. *Measuring and computing devices in technological processes*, (1), 89–100. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-73-1-13>
5. Васильківський, М., Болдирева, О., Онишук, Д., & Гнатенко, Ю. (2023). Динамічна інформаційна мережа із вбудованим штучним інтелектом. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*, (50), 36-45. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-05>

Васильківський Микола Володимирович — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Стальченко Олександр Володимирович — кандидат технічних наук, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: magicphenix@gmail.com

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

Vasykivskyi Mykola V. - D. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Infocommunication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Stalchenko Oleksandr V. - D. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Infocommunication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: magicphenix@gmail.com

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