

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ MIMO

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто метод MIMO, який є однією з технологій, що використовуються для покращення продуктивності та якості передачі даних в бездротових мережах, зокрема в мобільних мережах. Зокрема, досліджено інтелектуальну оптимізацію MIMO на основі різних алгоритмів та технік для максимізації продуктивності MIMO-системи та забезпечення оптимального використання доступних ресурсів. Визначено розумні стратегії передачі даних в масштабних системах MIMO для ефективного використання великої кількості антен та оптимального передавання даних в таких системах.

Ключові слова: інтелектуальна оптимізація MIMO систем, розумна стратегія передачі даних в масштабній мобільній системі, оптимальне передавання інформаційних даних, просторово-часове кодування.

Abstract

The article considers the MIMO method, which is one of the technologies used to improve the performance and quality of data transmission in wireless networks, in particular in mobile networks. In particular, the intelligent optimization of MIMO based on various algorithms and techniques to maximize the performance of the MIMO system and ensure optimal use of available resources is investigated. Smart strategies for data transmission in large-scale MIMO systems are identified for efficient use of a large number of antennas and optimal data transmission in such systems.

Keywords: intelligent optimization of MIMO systems, smart data transmission strategy in a large-scale mobile system, optimal transmission of information data, space-time coding.

Вступ

Інформація про стан каналу дозволяє оптимізувати передачу сигналів, наприклад, шляхом адаптації потужності, модуляції, частоти або інших параметрів передачі. Вона також може бути використана для покращення ефективності передачі, наприклад, шляхом використання технологій, таких як просторове мультиплексування (MIMO) [1]. Отримання точної інформації про стан каналу може здійснюватися за допомогою різних методів і алгоритмів. Розглянемо основні підходи до отримання CSI. Пілотний сигнал: передача спеціальних пілотних сигналів від передавача до отримувача. Ці пілотні сигнали використовуються для оцінки параметрів каналу, таких як коефіцієнти передачі та затримка. З отриманої інформації отримують оцінку CSI. Оцінювання на основі спектра: використання спектрального аналізу для визначення параметрів каналу. Цей підхід зазвичай використовується у контексті гаусівських каналів, де статистичні властивості шуму можуть бути використані для оцінки CSI. Методи кластеризації: використання алгоритмів кластеризації для групування сигналів, отриманих від різних шляхів, і визначення їх характеристик. Такий підхід корисний у випадках, коли канал має множинну шляхів (множинне затінення) і кожен шлях може мати власні параметри передачі. Використання алгоритмів машинного навчання: застосування методів машинного навчання для оцінки CSI на основі вхідних сигналів та вихідних даних про передачу. Вказаний підхід може забезпечити більш точну оцінку CSI, особливо в складних каналах з багатьма залежностями і шумами [2].

Метою роботи є використання методів штучного інтелекту (ШІ) для покращення ефективності, продуктивності та якості зв'язку в мобільних мережах MIMO.

Основна частина

Розглянемо основні цілі інтелектуальної оптимізації мобільних мереж MIMO. Інтелектуальна оптимізація дозволяє вирішувати задачі розподілу та управління ресурсами, такими як пропускна здат-

ність, потужність та частотні ресурси, з метою максимізації продуктивності системи МІМО. ШІ-алгоритми можуть адаптивно налаштовувати параметри системи в реальному часі, враховуючи змінні умови зв'язку та потреби користувачів. Інтелектуальна оптимізація може допомогти вирішити проблему інтерференції в системах МІМО. ШІ може використовувати алгоритми інтерференційного керування, які аналізують стан каналу та розподіляють ресурси між користувачами таким чином, щоб мінімізувати вплив інтерференції та покращити якість зв'язку. Інтелектуальна оптимізація може використовуватись для автоматичного планування та оптимізації топології мобільної мережі МІМО. ШІ може аналізувати географічні дані, трафік та вимоги користувачів для побудови оптимальної розстановки антен, визначення оптимальних параметрів мережі та маршрутизації сигналів. Інтелектуальна оптимізація може покращити самоорганізацію мобільної мережі МІМО. ШІ може використовувати алгоритми машинного навчання та аналізу даних для виявлення аномалій, прогнозування навантаження та автоматичного налаштування параметрів мережі. Це дозволяє мережі адаптуватись до змінних умов, забезпечувати оптимальний розподіл ресурсів та зменшувати витрати на управління та обслуговування мережі [3].

Для прогнозування каналів, що змінюються в часі при експлуатації, широко застосовуються методи, які базуються на фізичних принципах та аналізі реальних умов. Розглянемо кілька прикладів таких підходів. Моделювання каналу на основі розповсюдження сигналу. Використовуючи фізичні властивості середовища, можна побудувати модель каналу, яка враховує параметри розповсюдження сигналу, наприклад, втрату сигналу, розсіювання, відбиття та інші ефекти. Цей підхід передбачає моделювання зміни каналу відповідно до фізичних законів та параметрів середовища. Використання методів машинного навчання. Методи машинного навчання, такі як нейронні мережі, можуть бути застосовані для прогнозування зміни каналу на основі аналізу великої кількості вхідних даних. Це може включати дані, отримані з вимірювань каналу, інформацію про умови середовища, параметри передавача та приймача. Моделі машинного навчання можуть виявляти складні залежності та здатні навчатися на основі історичних даних для передбачення майбутніх змін каналу. Деякі сценарії зміни каналу можуть бути аналізовані та передбачені за допомогою аналітичних моделей. Наприклад, для бездротових мереж можуть бути використані моделі на основі статистичних характеристик каналу, такі як модель Релея або модель Райса. Ці моделі описують статистичні властивості затухання та фазової модифікації сигналу і дозволяють аналізувати й передбачати зміни каналу на основі цих статистичних характеристик. Важливо відзначити, що прогнозування каналів, що змінюються в часі, є складною задачею, оскільки реальні умови можуть дуже варіюватися, а канали можуть мати складну динаміку. Тому комбінація різних методів, включаючи фізичні моделі, машинне навчання та аналітичні підходи, може допомогти отримати більш точні прогнози змін каналу [4].

Крім того, треба враховувати, що прогнозування каналу завжди пов'язане з певною ступенем невизначеності та помилок. Реальні умови можуть відрізнятися від передбачуваних моделлю, і тому прогнози не завжди будуть абсолютно точними. Однак, використання різних методів прогнозування може допомогти знизити ризик та покращити надійність систем, що працюють у змінних каналах [5].

Системи 6G використовують методи штучного інтелекту (AI) для отримання знань про канал і прогнозування змінних в часі каналів. Це дозволить в бездротових системах використовувати інтелектуальні моделі каналів, що забезпечить можливість адаптуватися до нових умов зв'язку.

За допомогою AI-алгоритмів, таких як нейронні мережі, можна аналізувати велику кількість даних про поширення радіохвиль у певному середовищі і виокремлювати детерміновані компоненти. Однак, передбачення випадкових компонентів може бути важким завданням, оскільки вони непередбачувані за своєю природою. Проте, за допомогою AI-методів можна навчити систему розпізнавати та моделювати ці випадкові компоненти. Штучні нейронні мережі можуть використовуватись для аналізу і виявлення кореляцій між різними параметрами каналу і випадковими компонентами. Це дозволить системі прогнозувати зміни випадкових компонентів на основі історичних даних та адаптуватися до них. Отримання знань про канал і прогнозування змінних в часі каналів є важливими аспектами для оптимізації бездротового зв'язку в системах 6G. Вони дозволять системам ефективно використовувати доступний спектр і адаптуватися до змін у каналах зв'язку, що дозволить досягти вищої пропускної здатності та якості зв'язку [6].

Масштабні системи МІМО дійсно очікуються як одна з ключових технологій у майбутніх системах 6G. Застосування сотень антен на базових станціях дозволить знизити багатокористувацькі перешкоди та значно підвищити пропускну здатність системи. Проте, для ефективного впровадження масштабних систем МІМО на базових станціях, точна інформація про стан каналу (CSI) є критично

важливою. У системах LTE MIMO для отримання CSI використовується низхідний канал зв'язку, а для зниження накладних витрат на зворотний зв'язок застосовується векторне квантування або кодові книги. Проте, при збільшенні кількості антен в масштабних системах MIMO, навантаження на канал зворотного зв'язку стає дуже великим, що робить такий підхід непрактичним.

Отже, одним з важливих дослідницьких завдань є зменшення накладних витрат на канал зворотного зв'язку в масштабних системах MIMO. У системах 5G розглядаються методи компресії зондування. Ідея полягає в переході від корельованого CSI до некорельованих розріджених векторів. Метод стиснутого зондування дозволяє отримати точну оцінку розрідженого вектора CSI. Проте, цей підхід також має свої виклики, включаючи припущення про розрідженість каналу, випадкову проекцію та повільний час відновлення сигналу.

Для масштабних систем MIMO у майбутніх системах 6G будуть проводитися дослідження і розробка нових методів зменшення накладних витрат на канал зворотного зв'язку, щоб забезпечити ефективну передачу даних. Оскільки масштабні системи MIMO вимагають значного обсягу CSI для кожної антени базової станції, дослідження спрямовані на знаходження способів зниження цього обсягу і покращення ефективності передачі даних.

Один з напрямків досліджень полягає у використанні розумних алгоритмів зондування, які дозволяють вибирати оптимальні моменти та антени для отримання CSI. Замість традиційного підходу, де всі антени в базовій станції здійснюють зондування одночасно, ці нові методи адаптивно вибирають підмножину антен для зондування, що дозволяє знизити накладні витрати на канал зворотного зв'язку. Крім того, розробляються методи компресії та передачі CSI, які дозволяють передавати лише необхідну інформацію про канал з високою точністю, зменшуючи кількість переданих бітів. Це може включати використання компресійних алгоритмів, які витягують важливу інформацію з CSI та використовують її для відновлення повної інформації в приймачі. Крім цього, розробка нових алгоритмів та протоколів передачі даних, які враховують специфіку масштабних систем MIMO, також є важливим напрямком досліджень [7].

Розумні стратегії передачі даних в масштабних системах MIMO можуть враховувати просторову структуру каналу та специфіку системи. Один з таких підходів - це використання просторово-часових кодів, які впроваджують мультиплексування сигналів по часу та простору. Це означає, що різні антени базової станції можуть передавати різні символи в різні моменти часу, використовуючи просторову розбивку каналу. Такий підхід дозволяє досягти високої пропускної здатності та кращої якості сигналу. Крім того, розумні алгоритми передачі даних можуть враховувати інформацію про канал, яку отримують з CSI. Наприклад, алгоритми можуть використовувати більш потужні модуляційні схеми або використовувати більше антен для передачі даних в тих частинах каналу, де якість зв'язку краща, тим самим забезпечуючи ефективну передачу даних.

Додатково, технології розумного антенного формування можуть використовуватись для направленої передачі сигналу в конкретному напрямку, зменшуючи розсіювання сигналу та підвищуючи якість зв'язку. Це дає змогу знизити взаємний вплив між різними користувачами та підвищити пропускну здатність системи.

Взагалі, масштабні системи MIMO в системах 6G використовуватимуть розумні алгоритми та стратегії передачі даних, які враховують просторову структуру каналу, специфіку системи та інформацію про канал, щоб забезпечити ефективну та надійну передачу даних у масштабних системах MIMO. Ці алгоритми та стратегії будуть спрямовані на зменшення накладних витрат на канал зворотного зв'язку, покращення пропускної здатності та забезпечення стабільного зв'язку.

При розробці масштабних систем MIMO для 6G будуть проводитися дослідження з використанням розумних методів зондування, компресії та передачі CSI, які дозволять ефективно збирати та передавати інформацію про стан каналу. Це дозволить знизити накладні витрати на канал зворотного зв'язку шляхом обмеження кількості переданих даних та оптимального вибору моментів та антен для зондування. Крім того, розумні алгоритми передачі даних будуть враховувати просторову структуру каналу, що дозволить використовувати просторово-часові коди та стратегії, що підвищують ефективність передачі даних. Також можуть використовуватись технології розумного антенного формування для забезпечення направленої передачі та зменшення взаємного впливу між користувачами [8].

Загалом, масштабні системи MIMO в 6G будуть використовувати розумні алгоритми та стратегії, що поєднують компресію та передачу CSI, аналіз просторової структури каналу та використання просторово-часових кодів для забезпечення ефективної та надійної передачі даних. Ці технології допоможуть досягти високої пропускної здатності та покращити продуктивність системи 6G.

Висновки

Впровадження інтелектуальної оптимізації в системи МІМО дозволяє досягти значних переваг, таких як підвищена продуктивність, збільшення пропускної здатності, покращення якості зв'язку та зниження витрат на управління мережею. ШІ допомагає мобільним операторам реалізувати ефективні та оптимізовані мережі МІМО, що задовольняють вимоги сучасних мобільних комунікацій та забезпечують задоволення потреб користувачів.

Отримані результати досліджень систем МІМО для просторово-часового кодування підтверджують його великий потенціал у поліпшенні продуктивності бездротових комунікаційних систем. Використання просторово-часового кодування в системах МІМО може призвести до значного збільшення пропускної здатності мережі. Дослідження показали, що збільшення кількості антен у системі МІМО сприяє підвищенню пропускної здатності та швидкості передачі даних. Використання просторово-часового кодування дозволяє знизити вплив каналних збурень, таких як відбиття та інтерференція. Це може покращити якість зв'язку та забезпечити більш стійку та надійну передачу сигналу. Системи МІМО для просторово-часового кодування дозволяють забезпечити кращу множинну доступність, тобто здатність обслуговувати одночасно більше користувачів на одному частотному ресурсі. Це може підвищити продуктивність та ефективність бездротових мобільних мереж. Використання просторово-часового кодування може зменшити вимоги до спектральних ресурсів, оскільки дозволяє досягати більшої пропускної здатності без потреби в додаткових частотних діапазонах. Просторово-часове кодування в системах МІМО дозволяє підвищити стійкість передачі сигналу в умовах шуму та спотворень каналу.

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. H. Kim, *Design and Optimization for 5G Wireless Communications* (Wiley, 2020). ISBN 9781119494553
4. H. Kim, Y.H. Jiang, R. Rana, Communication algorithms via deep learning. <https://arxiv.org/abs/1805.09317> (2018)
5. 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>
6. 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)
7. Васильківський, М., Варгатюк, Г., & Болдирева, О. (2023). Інтелектуальний радіоінтерфейс з підтримкою штучного інтелекту. *Вісник Хмельницького національного університету*, (1), 26–32. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-317-1-26-32>
8. 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>

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

Vasylkivskyi 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