

ТЕХНОЛОГІЇ МІМО У БЕЗДРотовИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Акулін В.В.

e-mail: vladyslav.akulin1@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н., проф. Зубков О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС
м. Харків, Україна

Wireless systems require high data rates and reliable connections. MIMO technology uses multiple antennas to increase capacity and reduce interference and is used in LTE, 5G, and Wi-Fi 6. Techniques such as Spatial Multiplexing, Spatial Diversity, and Beamforming, along with algorithms like ZF, MMSE, and SVD, improve system performance and enable high-speed future networks, including 6G.

Сучасні бездротові системи передачі даних стикаються зі зростаючими вимогами до швидкості, надійності та ефективності використання радіочастотного спектру. Технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output) дозволяє одночасно використовувати кілька передаючих та приймаючих антен, що забезпечує збільшення пропускної спроможності каналу та підвищення стійкості до шумів та багатопроменевих перешкод. MIMO є ключовою технологією сучасних стандартів зв'язку, включаючи LTE, 5G та Wi-Fi 6.

Метою даної є аналіз можливостей технології MIMO для підвищення продуктивності бездротових систем передачі даних, дослідження її переваг і обмежень, а також розгляд сучасних методів реалізації MIMO в мережах зв'язку нового покоління.

У роботі застосовуються такі методи:

- аналіз наукових публікацій та стандартів бездротового зв'язку;
- порівняльний аналіз методів просторового мультиплексування, просторового розмаїття та комбінованих MIMO-технік;
- моделювання продуктивності MIMO-систем із використанням симуляторів радіоканалів.

Особлива увага приділяється алгоритмам просторового кодування (Spatial Coding), просторового мультиплексування (Spatial Multiplexing) та методам узгодженої приймально-передачі (Beamforming).

Основними методами MIMO є:

- просторове мультиплексування (Spatial Multiplexing) дозволяє передавати кілька потоків даних одночасно;
- просторова різноманітність (Spatial Diversity) – підвищує надійність передачі;
- Beamforming – спрямована передача сигналу зниження інтерференції.

Для реалізації MIMO використовуються алгоритми:

- Zero-Forcing (ZF) – пригнічення інтерференції між потоками;
- Minimum Mean Square Error (MMSE) – оптимізація прийомного сигналу з урахуванням шуму;
- Singular Value Decomposition (SVD) – розкладання каналу для ефективного просторового мультиплексування.

Передача даних у MIMO-системі описується матричною моделлю:

$$y = Hx + n$$

де:

y – вектор прийнятих сигналів;

H – матриця каналу;

x – вектор сигналів, що передаються;

n – шум.

Матриця каналу відображає характеристики середовища передачі та вплив багатопроменевого поширення.

Кількість незалежних потоків даних визначається рангом матриці каналу.

MIMO використовується у більшості сучасних бездротових технологій, що демонструють дані таблиці 1

Таблиця 1 – Використання технології MIMO у різних стандартах

Технологія	Тип MIMO
Wi-Fi	2×2, 4×4, 8×8
LTE	до 8×8
5G	Massive MIMO

Наприклад, стандарт IEEE 802.11ac використовує технологію MU-MIMO, що дозволяє одночасно обслуговувати кількох користувачів.

Застосування цих алгоритмів у сучасних бездротових мережах демонструє значне підвищення швидкості передачі та надійності зв'язку. MIMO відкриває перспективи для мереж наступного покоління, включаючи 6G, забезпечуючи високу пропускну здатність та ефективне використання радіочастотного спектру.

Аналіз показав, що MIMO дозволяє суттєво підвищити пропускну здатність та надійність бездротових каналів, знижує вплив багатопроменевих ефектів та інтерференції. Просторове мультиплексування збільшує швидкість передачі, а методи Beamforming забезпечують спрямовану передачу сигналу підвищення стійкості зв'язку.

Реалізація MIMO-технологій у сучасних мережах, таких як 5G та Wi-Fi 6, підтверджує їх ефективність та необхідність для задоволення зростаючих вимог користувачів до мобільного та бездротового зв'язку.

Таким чином, MIMO є фундаментальною технологією для сучасних та майбутніх бездротових систем зв'язку, забезпечуючи ефективне використання спектра та підвищення якості послуг.

Список використаних джерел:

1. Larsson E. G., Edfors O., Tufvesson F., Marzetta T. L. Massive MIMO for next generation wireless systems // IEEE Communications Magazine. – 2014. – Vol. 52, No. 2. – P. 186–195.

2. Heath R. W., González-Coma J. Foundations of MIMO Communication. – Cambridge: Cambridge University Press, 2018.3. Li S., Deng W. Deep Facial Expression Recognition: A Survey // IEEE Transactions on Affective Computing. – 2020.

3. Larsson E., Björnson E., Edfors O., Tufvesson F. Massive MIMO: Ten myths and one critical question // IEEE Communications Magazine. – 2016. – Vol. 54, No. 2. – P. 114–123.

4. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. – 2nd ed. – Springer, 2022.