

АЛГОРИТМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НЕОРТОГОНАЛЬНОГО МНОЖИННОГО ДОСТУПУ ДЛЯ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто процес підвищення ефективності неортогонального множинного доступу (NOMA) для безпроводних мереж. Проведено аналіз сучасних технологій зв'язку, зокрема NOMA, яка дозволяє ефективніше використовувати спектральні ресурси за рахунок спільного використання каналу кількома користувачами без розділення за частотою або часом. Визначено основні виклики, пов'язані з NOMA, такі як підвищена обчислювальна складність приймача через необхідність послідовного інтерференційного скасування (SIC).

Ключові слова: неортогональний множинний доступ, інтернет речей, машинне навчання, безпроводна мережа.

Abstract

The paper considers the process of improving the efficiency of non-orthogonal multiple access (NOMA) for wireless networks. The analysis of modern communication technologies, in particular NOMA, which allows more efficient use of spectral resources by sharing the channel by several users without separation by frequency or time, is carried out. The main challenges associated with NOMA are identified, such as the increased computational complexity of the receiver due to the need for sequential interference cancellation (SIC).

Keywords: non-orthogonal multiple access, Internet of Things, machine learning, wireless network.

Вступ

Бездротовий зв'язок почав розвиватися наприкінці XIX століття, коли були закладені теоретичні основи електромагнітних хвиль. Відтоді ця технологія зазнала значних змін, еволюціонувавши від першого покоління (1G) до сучасних стандартів 4G і 5G, що суттєво вплинули на різні сфери життя. Однак мережі 3G і 4G мають низку технічних обмежень, серед яких проблеми безпеки, обмежена пропускна здатність, затримки в передачі сигналу та високе енергоспоживання. Новітні технології відкривають нові можливості для оптимізації обчислювальних процесів і підвищення ефективності зв'язку, проте водночас загострюють питання безпеки та конфіденційності даних [1].

Метою роботи є дослідження ефективних алгоритмів підвищення загальної продуктивності технології NOMA з урахуванням ключових аспектів її реалізації, що дозволить забезпечити оптимальний баланс між продуктивністю, ефективністю використання ресурсів і безпекою системи зв'язку.

Результати дослідження

Неортогональний множинний доступ (NOMA) є однією з інноваційних технологій, здатних забезпечити ефективну роботу бездротового зв'язку п'ятого та наступних поколінь (5G і B5G). У сучасних системах зв'язку використовується поділ доступного спектра, що призвело до його значного виснаження. На відміну від традиційних методів, NOMA не потребує жорсткого розподілу спектра між користувачами, що дає змогу ефективно використовувати спектральні ресурси для задоволення вимог сучасних технологій, зокрема Інтернету речей (IoT), Big Data та тактильного Інтернету. Ця технологія застосовує різноманітні механізми подолання обмежень спектрального поділу, що сприяє підвищенню якості зв'язку. Основні переваги використання NOMA: покращена секретність і конфіденційність зв'язку; висока швидкість передавання даних; підвищена пропускна спроможність і спектральна ефективність; покращена енергоефективність; рівний доступ до мережевих ресурсів (системна справедливність); зниження затримок і ймовірності простою; зменшення рівня бітових помилок

(BER). NOMA може бути інтегрований із будь-якими сучасними алгоритмами управління ресурсами. Водночас ця технологія має певні обмеження, які потребують вирішення. Зокрема, висока кількість перешкод у системі призводить до ускладнення її реалізації, створює труднощі із забезпеченням безпеки та конфіденційності даних [2].

Перед передачею NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) здійснює розподіл сигналів користувачів за частотою та часом, використовуючи FDMA (Frequency Division Multiple Access — множинний доступ із розділенням каналів за частотою) та TDMA (Time Division Multiple Access — багаторазовий доступ із часовим розділенням). Для диференціації користувачів NOMA застосовує різний рівень потужності сигналу, що, хоча і підвищує спектральну ефективність, водночас спричиняє проблеми з інтерференцією та безпекою сигналів.

Кожен користувач отримує комбінований сигнал, що містить завади від сигналів інших користувачів. Для їх усунення необхідно виконувати процедуру SIC (Successive Interference Cancellation — послідовне придушення перешкод), що є обчислювально складним завданням. Із зростанням кількості користувачів зростає і кількість завд, що пропорційно збільшує обчислювальні витрати на виконання SIC [3].

У сфері Інтернету речей (IoT) та технології неортогонального множинного доступу (NOMA) проведено значну кількість досліджень, присвячених мережам зв'язку п'ятого (5G) та наступних поколінь. Вагомий внесок у цю галузь зробили науковці, серед яких: T. Rappoport, D.C. Liang, H.S. Ali, Z. Ding, M. Dohler, C. Toker, F. Baccelli, S. Singh, S. Rangan та інші [4, 5].

Зазначені наукові роботи сприяли розвитку концепції NOMA та дослідженню її ефективності в мережах наступних поколінь. Однак технічні характеристики NOMA можуть бути покращені шляхом застосування методів системного аналізу, зокрема використання математичних та інтелектуальних інструментів, таких як оптимізація Лагранжа та методи машинного навчання (ML). Впровадження оптимізаційних алгоритмів дозволяє не лише покращити продуктивність бездротових мереж, а й сприяти розвитку IoT та інших сучасних технологій зв'язку.

На основі проведеного літературного огляду виявлено два основні недоліки технології NOMA:

1. Висока обчислювальна складність — збільшення кількості користувачів у мережі значно ускладнює виконання SIC.
2. Інтерференція між сигналами — через наявність перешкод у комбінованих сигналах якість прийому даних може суттєво знижуватися.

Одним із можливих шляхів оптимізації є часткове введення елементів ортогональності у NOMA-системи, що дозволяє покращити характеристики зв'язку. Основною метою дослідження є розробка підходів до оптимізації швидкості та якості зв'язку шляхом визначення оптимального співвідношення між ортогональною та неортогональною складовими телекомунікаційних сигналів [6].

Висновки

Проведено аналіз сучасних 5G технологій та інших підходів для задоволення зростаючих вимог систем зв'язку. Виявлено, що традиційне використання електромагнітного спектра вже обмежене, і нові технології (наприклад, мікрохвильова передача, IBFD і NOMA) обіцяють краще використання спектральних ресурсів. Технології NOMA вирізняються високою спектральною ефективністю завдяки усуненню ортогональності (яка застосовується в OFDMA), що дозволяє уникнути розділення сигналів за частотою чи часом. Однак усунення ортогональності призводить до виникнення завд, які вирішуються за допомогою SIC, що збільшує обчислювальну складність приймача.

Таким чином, робота демонструє, що технологія M-NOMA може забезпечити більш ефективну передачу даних за рахунок зниження завд і обчислювальної складності, а також покращення показника SER як у каналі AWGN, так і в умовах загасання Релея. Метод M-NOMA покращує ефективність системи шляхом введення ортогональності на стадії підготовки сигналу, що дозволяє знизити рівень завд і обчислювальні витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Khan, R., Kumar, P., Jayakody, D. N. K., & Liyanage, M., "A Survey on Security and Privacy of 5G Technologies: Potential Solutions, Recent Advancements, and Future Directions," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 01, pp. 196-248, Firstquarter 2020.

2. Ata, S. Ö., & Erdogan, E., “Secrecy outage probability of inter-vehicular cognitive radio networks,” *International Journal of Communication Systems*, vol. 33, no. 4, p. e4244, 2020}.
3. Nguyen, B. C., Thang, N. N., & Hoang, T. M., “Analysis of Outage Probability and Throughput for Energy Harvesting Full-Duplex Decode-and-Forward Vehicle-to-Vehicle Relay System,” *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2020, 2020.
4. Do, D. T., Nguyen, T. T. T., Nguyen, T. N., Li, X., & Voznak, M., “Uplink and Downlink NOMA Transmission Using Full-Duplex UAV,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 164347--164364, 2020.
5. Gupta, A., Singh, K., & Sellathurai, M., “Transmission Strategy for Simultaneous Wireless Information and Power Transfer with a Non-Linear Rectifier Model,” *Electronics*, vol. 9, no. 7, p. 1082, 2020.
6. Li, S., Wan, Z., Jin, L., & Du, J., “Energy Harvesting Maximizing for Millimeter-Wave Massive MIMO-NOMA,” *Electronics*, vol. 9, no. 1, p. 31, 2020.

Олійник Андрій Олегович — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: w0lfend00@gmail.com

Будаш Михайло Володимирович — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mika@budash.dp.ua

Андрійчук Максим Юрійович — студент групи ПЗТ-23мс, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rt23.andriichuk.maksym@vtc.vn.ua

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

Oliinyk Andrii O. — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: w0lfend00@gmail.com

Budash Mykhailo V. — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mika@budash.dp.ua

Andriichuk Maksym V. - student of group TSS-23mc, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rt23.andriichuk.maksym@vtc.vn.ua

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