

ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРИНЦИП ФОРМУВАННЯ СИГНАЛУ НЕОРТОГОНАЛЬНОГО МНОЖИННОГО ДОСТУПУ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G

Токар Л.О., Соловійов П.В.

Кафедра інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
Україна.

E-mail: pavlo.soloviov@nure.ua,
liubov.tokar@nure.ua

Abstract

With the evolution of 5G mobile systems, innovative techniques are essential to meet growing spectral efficiency demands. This paper explores Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA), a key technology in 5G advancements. Unlike traditional Orthogonal Multiple Access (OMA), where distinct resources prevent interference, NOMA lets multiple users share the same resources. Central to NOMA is "superposition coding," which allows user signal superimposition in the power domain. This approach, emphasizing non-orthogonality, promises to boost spectral efficiency. Through a detailed examination of NOMA's principles and examples, this study offers insights into its potential impact on next-gen mobile communications.

У сучасних системах мобільного зв'язку виникає потреба в оптимізації використання часових та частотних ресурсів, зокрема, для забезпечення вищої спектральної ефективності. Традиційний підхід, яким є ортогональний множинний доступ (OMA), не завжди може задовольнити ці потреби через обмеженості в ресурсах та можливі інтерференції. Неортогональний множинний доступ (NOMA) пропонує новий спосіб подолання цих викликів, дозволяючи ефективніше розподіляти ресурси між користувачами та збільшуючи спектральну ефективність, що й обумовлює актуальність даної публікації.

Аналіз методів доступу в системах 5G спрямований на подолання обмеження поточних технологій та застосування нових підходів до управління радіочастотним спектром та розподілом ресурсів. Поряд з використанням таких технологій, як Multiple User Multiple Input Multiple Output (MU-MIMO), Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) та Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA), застосування NOMA дозволить значно підвищити ефективність використання спектра та пропускну здатність мережі. Метою роботи є визначення особливостей та основних принципів роботи NOMA.

Сімейство схем NOMA можна в основному розділити на дві категорії: з доменом потужності Power-domain NOMA та кодовим доменом Code-domain NOMA. У NOMA з доменом потужності різним користувачам призначаються різні рівні потужності відповідно до якості їх каналу, тоді як ті самі ж ресурси частотно-часового коду спільно використовуються кількома користувачами. На стороні одержувача - експлуатувати NOMA у домені потужності розрізняються для різних користувачів на основі послідовного придушення завад Successive Interference Cancellation (SIC).

Кодовий домен NOMA схожий на сигнал CDMA або на сигнал з кількома носіями CDMA (MC-CDMA), за винятком його переваги щодо використання послідовностей низької щільності або неортогональних послідовностей з низьким значенням крос-кореляції.

Перший принцип роботи NOMA – це «суперпозиційне кодування». Завдяки цьому принципу NOMA відрізняється від свого традиційного аналога OMA. В OMA користувачам виділяються різні ресурси, щоб уникнути інтерференції, що забезпечує ортогональність. Однак NOMA поглиблює цю концепцію, використовуючи одні й ті ж ресурси для різних користувачів, створюючи таким чином накладання в області потужності. Наприклад, два користувача А і В можуть передавати свої дані в

одній і тій же смузі частот, при цьому їхні сигнали накладаються перед передачею по каналу. Це підкреслює неортогональність сигналів користувачів і демонструє унікальний підхід NOMA до множинного доступу [1].

В роботі наведено найпростіший приклад формування сигналу NOMA для двох користувачів за умови, що перший користувач має комбінацію біт-інформації 1100, а другий користувач має комбінацію 0110 (рис. 1).

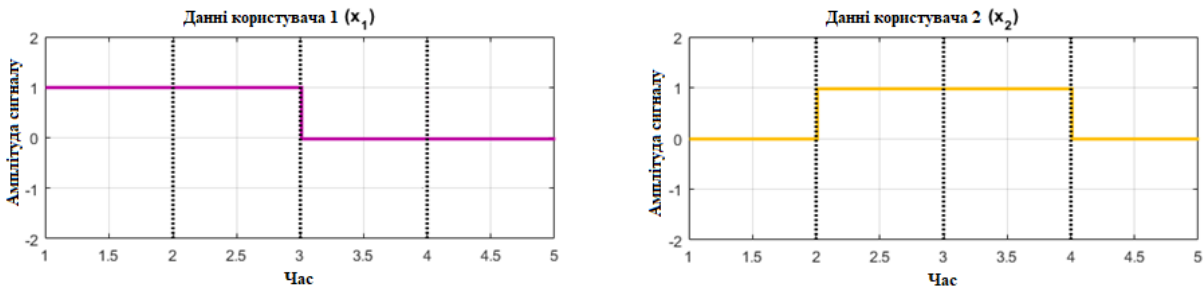


Рис. 1. Комбінація біт-інформації для двох користувачів

Сигнали x_1 та x_2 повинні пройти цифрову модуляцію перед передачею. Для простоти використано двійкову фазову маніпуляцію – Binary Phase Shift Keying (BPSK). BPSK перетворює значення нуль в мінус один. Після BPSK-модуляції спостерігається зміна сигналу для двох користувачів (рис. 2).

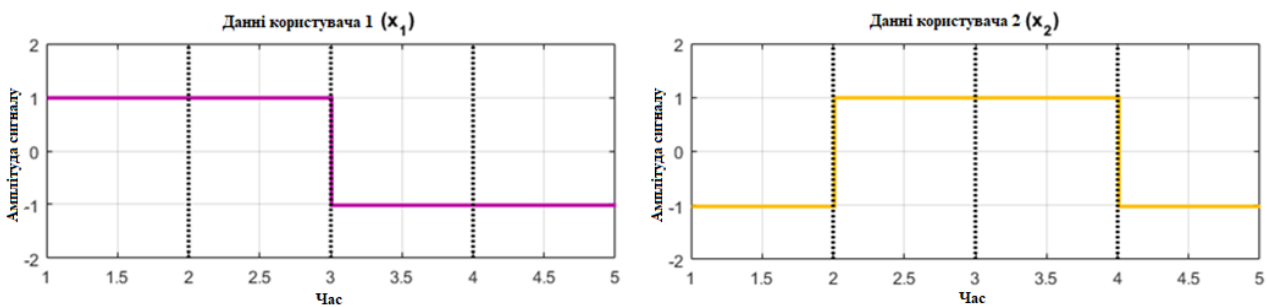


Рис. 2. Комбінація біт-інформації для двох користувачів після BPSK-модуляції

NOMA вимагає суперпозиційного кодування на стороні передавача. Суперпозиційне кодування – це термін для мультиплексування в енергетичній області. Наступним кроком є сума значень сигналів x_1 та x_2 , але при цьому сигнали помножуються на різні рівні потужності [1].

Рис. 2 відображає, що і сигнал x_1 , і сигнал x_2 мають пікову амплітуду ± 1 . Це означає, що вони обидва мають одиничну потужність або потужність зі значенням в 1 Ват.

Наступним кроком є надання ваги потужності для користувачів: першому - $a_1=0,75$, другому - $a_2=0,25$. У цьому випадку необхідно дотримуватися правила, яке полягає в тому, що a_1 та a_2 повинні в сумі дорівнювати одиниці. При цьому використано фіксований розподіл повноважень, тобто фіксовані значення a_1 і a_2 .

Далі проводиться масштабування сигналів користувачів x_1 та x_2 за допомогою $\sqrt{a_1}$ та $\sqrt{a_2}$ відповідно, де a_1 і a_2 – це коефіцієнти масштабування потужності. Щоб перетворити їх на амплітуду, необхідно взяти квадратний корінь. Після масштабування сигнали мають вигляд, як показано на рис. 3.

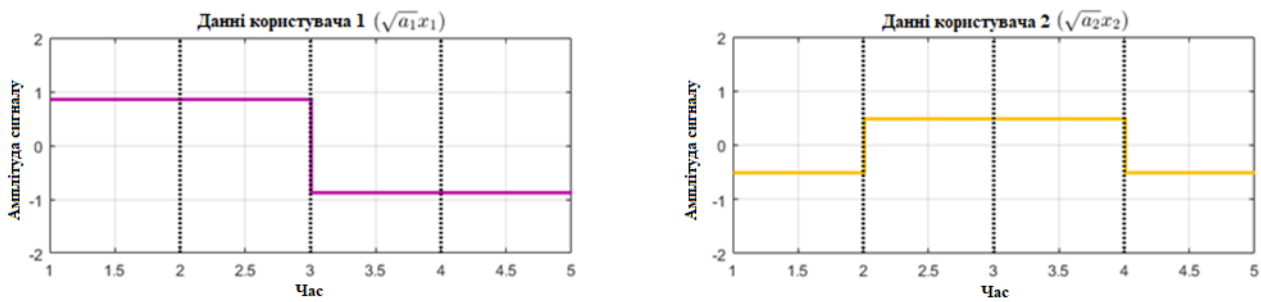


Рис. 3. Комбінація біт-інформації для двох користувачів після множення

Наступним етапом є суперпозиція кодованого сигналу, що позначається як x та показано формулою:

$$x = \sqrt{a_1} \cdot x_1 + \sqrt{a_2} \cdot x_2, \quad (1)$$

де a_i – вага потужності;

x_i – число відмов.

Графічне представлення x зображено на рис. 4.

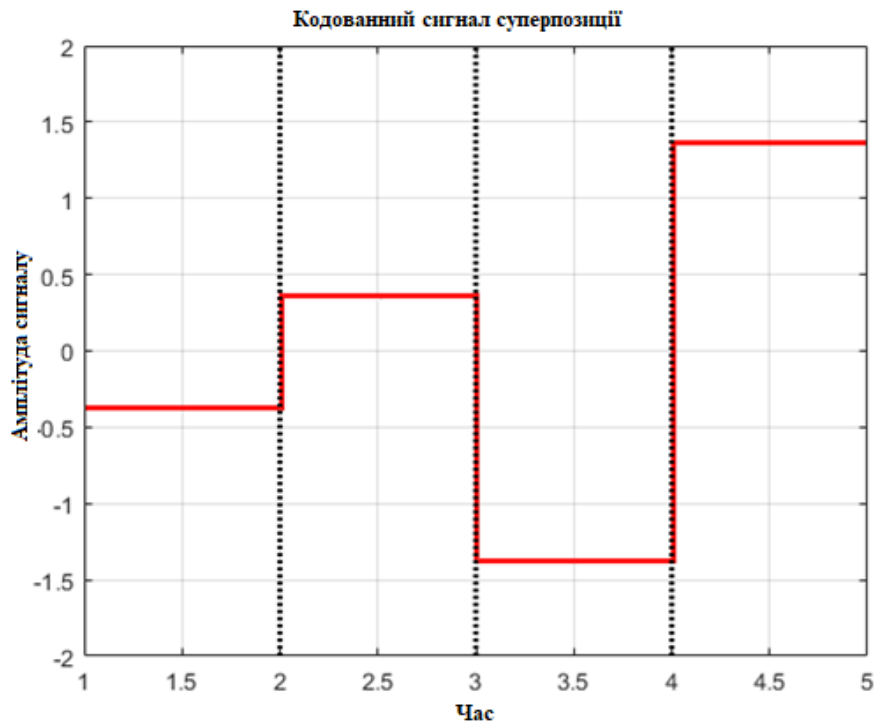


Рис. 4. Кодований сигнал суперпозиції

Другим принципом, який характеризує NOMA, є розподіл потужності. Рівні потужності призначаються різним користувачам на основі певних критеріїв, які можуть бути умовами каналу або індивідуальними вимогами до якості обслуговування. Прикладом цього може слугувати реальний сценарій. Наприклад, користувачеві А з кращими умовами каналу може бути призначено нижчий рівень потужності, ніж користувачеві В, який має гірші умови каналу. Такий розподіл стратегічно призначений для забезпечення ефективного використання ресурсів, а також для підтримки справедливого розподілу послуг між користувачами.

Диференціація користувачів є третім принципом, який регулює роботу NOMA. Користувачі диференціюються на основі різних умов каналу, а система використовує стратегії об'єднання користувачів для оптимізації продуктивності. На практиці користувачі зі значно різним коефіцієнтом підсилення каналу часто об'єднуються в пари. Наприклад, у сценарії, коли користувач А має вищий

коефіцієнт підсилення каналу, ніж користувач В, їх об'єднання дозволить ефективно застосувати SIC [2,3].

Четвертий принцип SIC є невід'ємною частиною роботи NOMA. Приймаючи накладений сигнал, приймач використовує SIC для послідовного декодування сигналів. Процес починається з користувача з найвищою потужністю (зазвичай це користувач з найгіршим станом каналу). Після успішного декодування сигнал цього користувача віднімається від об'єданого сигналу. Ця процедура повторюється для сигналів усіх користувачів, таким чином усуваючи міжкористувацькі перешкоди. Наприклад, у сценарії з трьома користувачами (користувачі А, В і С), якщо користувачеві С було виділено найбільшу потужність, його сигнал буде декодовано першим, а потім декодуються сигнали користувачів В і А відповідно [2,4].

Останній принцип, який характеризує роботу NOMA – це її адаптивний характер. Система NOMA може адаптувати розподіл потужності та стратегії з'єднання користувачів на основі інформації про канал у реальному часі та навантаження на мережу. Наприклад, якщо стан каналу користувача А раптово покращується, система може динамічно скоригувати розподіл потужності або навіть стратегію з'єднання користувачів для оптимізації загальної продуктивності мережі.

Принципи суперпозиційного кодування, розподілу потужності, дискримінації користувачів, послідовного усунення завад і адаптивної поведінки визначають роботу NOMA в технології мобільного зв'язку 5G. Використовуючи ці принципи, NOMA забезпечує високоефективне використання спектральних ресурсів, обслуговуючи величезну кількість користувачів з різними вимогами до послуг [5].

В роботі розглянуто особливості та принцип формування сигналу неортогонального множинного доступу NOMA. Показано, що особливістю даного підходу є можливість одночасного обслуговування кількох користувачів на одному радіоканалі, що збільшує загальну пропускну здатність та ефективність використання спектра. Проведено суперпозиційне кодування сигналу для формування сигналу NOMA на прикладі двох користувачів. Наведено принципи, що характеризують та регулюють роботу NOMA: розподіл потужності, диференціація користувачів, використання SIC, адаптування розподілу потужності. Проведено огляд наданих принципів роботи NOMA й доведено, що їх підтримка забезпечує високоефективне використання спектральних ресурсів, обслуговуючи велику кількість користувачів з різними вимогами до наданих послуг.

Література

1. NOMA – How superposition coding works? URL: <https://ecewireless.blogspot.com/2020/03/noma-graphical-example-of-superposition.html> (дата звернення: 02.06.2023).
2. Linglong Dai, Bichai Wang, Zhiguo Ding, Zhaocheng Wang, Sheng Chen, Lajos Hanzo. A Survey of Non-Orthogonal Multiple Access for 5G. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2018. Vol. 20. No 3. P. 2294 – 2323.
3. Salifou Mounchili, Soumaya Hamouda. Pairing Distance Resolution and Power Control for Massive Connectivity Improvement in NOMA Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2020. Vol. 69. No 4. P. 4093 – 4103.
4. Shita Herfiah, Iskandar. Effect of Imperfect SIC in Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) over Rayleigh Fading Channels. *2021 7th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*. 2021. P.1-4.
5. Неортогональний множинний доступ (NOMA) для мереж 5G. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/52822> (дата звернення: 10.05.2023).