

## **ТЕХНОЛОГІЯ NOMA ТА ПЕРЕВАГИ НЕОРТОГОНАЛЬНОГО РОЗДІЛЕННЯ АБОНЕНТІВ**

Фесенко А.В.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Іванова О.О.  
Харківський національний університет радіоелектроніки,  
каф. КРiСТЗi, м. Харків, Україна  
e-mail: anton.fesenko@nure.ua.

This work is devoted the Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) technology is aimed at increasing the spectral efficiency of wireless communication systems and enabling the operation of a large number of subscriber devices, as well as flexible resource utilization. For decades, radio communication systems with orthogonal signal separation have been used, where each subscriber is allocated their own resource in the frequency or time domain. However, orthogonal multiple access does not meet the requirements of future wireless networks (beyond 5G), especially for the mMTC scenario, where mass device connectivity with high connection density per square kilometer needs to be ensured.

Принципи множинного доступу з часовим (TDMA) та частотним поділом (FDMA), а також неортогонального доступу з розділенням по потужності (Power Domain NOMA, PD-NOMA), ілюструються на рис. 1.

Неортогональний розподіл ресурсів дозволяє значно підвищити ємність мереж бездротового зв'язку порівняно з ортогональним доступом з фіксованим набором ресурсів, що виділяється конкретним абонентам. При використанні технології NOMA система зв'язку працює з підвищеною завантаженістю - одні й ті ж частотно-часові ресурси призначаються різним абонентам. В результаті спектральна ефективність такої системи виявляється набагато вищою, ніж у системі з ортогональним розподілом ресурсів, а завадостійкість погіршується незначно.

В літературі визначені дві основні категорії NOMA: NOMA в області потужності (Power domain NOMA – PD-NOMA) та NOMA в області кодування (Code domain NOMA – CD-NOMA). У першому випадку сигнал кожного користувача розділяється в області потужності; чим гірші умови каналу, тим більше потужності виділяється, і навпаки. У другому - використовуються специфічні розподільчі коди для відмінності мультиплексованих сигналів.

Принцип NOMA полягає в виборі користувача з великою різницею в умовах їхніх каналів і мультиплексуванні їх в одних і тих самих часових/частотних ресурсах, але з різними рівнями потужності передачі. Це дозволяє користувачу з ліпшими умовами каналу отримувати доступ до ресурсів, призначених користувачу з поганими умовами каналу, тим самим збільшуючи спектральну ефективність та пропускну здатність системи. На передавачі сигнали від мультиплексованих сигналів користувачів наклада-

ються, і для цього використовуються методи адаптивного розподілу потужності. Виділена потужність залежить від умов каналу, чим вище посилення каналу, тим вище потужність, і навпаки.

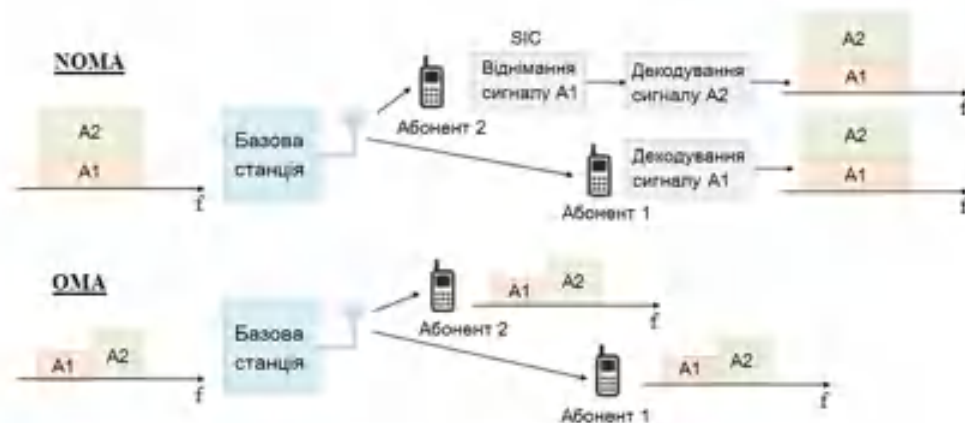


Рисунок 1 Порівняння технологій OMA і NOMA

Хоча спільне використання потужності зменшує призначену потужність для кожного мультиплексованого користувача, вони користуються тим, що їх регулярно призначають та мають доступ до більшої ширини смуги.

На рис. 2 наведена проста класифікація існуючих методів NOMA. На відміну від PD-NOMA, яка забезпечує мультиплексування в енергетичній області, CD-NOMA забезпечує мультиплексування в кодовій області. Подібно базовим системам множинного доступу з кодовим розподілом каналів (CDMA), CD-NOMA одночасно використовує всі доступні ресурси (час/частота). CD-NOMA використовує специфічні для користувача розширювальні послідовності, які представляють собою або розрізнені послідовності, або неортогональні послідовності взаємної кореляції з низьким коефіцієнтом кореляції. CD-NOMA можна далі розділити на кілька різних класів, таких як CDMA з розширенням низької щільності (LDS-CDMA), OFDM на основі розширення з низькою щільністю (LDS-OFDM), і множинний доступ з розрізненим кодом (SCMA). Використання послідовності розширення низької щільності допомагає LDS-CDMA обмежити вплив завад на кожен чіп базової системи CDMA. LDS-OFDM можна розглядати як об'єднання LDS-CDMA і OFDM, де наступні інформаційні символи спочатку розподіляються за послідовними розширеннями з низькою щільністю, а результуючі блоки передаються на набір піднесущих. SCMA – це новітня технологія NOMA кодової області, заснована на LDS-CDMA. На відміну від LDS-CDMA, інформаційні біти можуть відображатися напряму в різних розрізнених кодових словах, оскільки комбінуються як відображення бітів, так і розширені біти.

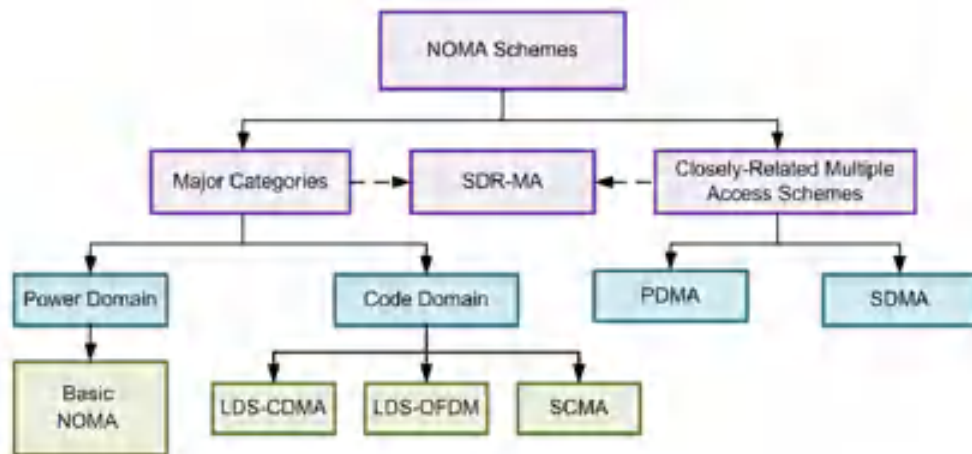


Рисунок 2 Спрощена класифікація NOMA

Розглянемо принцип неортогонального розподілу ресурсів на прикладі системи PD-NOMA, що полягає у використанні різних рівнів потужності для передачі сигналів  $K$  абонентів по зворотній лінії зв'язку (від базової станції до абонентських станцій). Структурна схема такої системи наведена на рис. 3.

Цей підхід дозволяє ефективно використовувати ресурси радіоканалу, забезпечуючи передачу даних різним абонентам в одному та тому ж часовому та частотному інтервалах.



Рисунок 3 Структурна схема передачі PD-NOMA

У розглянутій системі PD-NOMA всі абоненти використовують один і той же часово-частотний ресурс. Базова станція (БС) передає суму сигналів всіх абонентів з різною потужністю, і кожен абонент отримує загальний груповий сигнал. Математично сигнал на вході демодулятора першого абонента можна записати у наступному вигляді:

$$y_1 = (\sqrt{P_1}s_1 + \sqrt{P_2}s_2)h_1 + n_1,$$

де  $s_1$  і  $s_2$  - інформаційні символи двох абонентів,  $n_1$  - шум у радіоканалі для першого абонента,  $h_1$  - комплексний коефіцієнт передачі по радіоканалу для першого абонента. Для розглянутого випадку двох абонентів потужності переданих ними сигналів позначені як  $P_1$  і  $P_2$ . Слід зазначити, що для кожного абонента умови передачі по радіоканалу будуть відрізнятися. Наприклад, якщо другий абонент знаходиться далі від базової

станції, то для нього виконується нерівність  $|h_2|^2 < |h_1|^2$ .

Тепер розглянемо передачу у зворотному напрямку, коли два абоненти передають сигнали одній БС. Тоді сигнал на вході демодулятора БС можна записати у наступному вигляді:

$$y_{BC} = \sqrt{P_1}s_1h_1 + \sqrt{P_2}s_2h_2 + n,$$

де  $n$  - шум у радіоканалі для БС,  $s_1$  і  $s_2$  - інформаційні символи двох абонентів,  $h_1$  і  $h_2$  - комплексні коефіцієнти передачі по радіоканалу для першого та другого абонента відповідно. Оскільки використовуються одні й ті самі часово-частотні ресурси, коефіцієнти будуть такі ж, як і для лінії БС  $\rightarrow$  абоненти (принцип взаємності). Припускаючи, що  $|h_2|^2 < |h_1|^2$ , здійснюється розподіл сигналів абонентів за рахунок властивостей радіоканалу. Додатково, потужність сигналів абонентів можна регулювати за допомогою коефіцієнтів  $P_1$  і  $P_2$ . В результаті дана система PD-NOMA дозволяє абонентам використовувати один ресурсний блок, що дозволяє підвищити сумарну швидкість передачі системі у два рази.

Різноманітність існуючих схем NOMA і їх характеристик говорить про те, що поки не має універсальної схеми NOMA для різних сценаріїв 5G з прийнятною складністю обробки та гнучким розподілом ресурсів. Саме складність обробки групових сигналів є головною перешкодою до впровадження технології NOMA. Для рішення цієї задачі необхідна пошук і оптимізація алгоритмів формування групових сигналів, а також алгоритмів прийому-передачі, таких як MMSE, PIC і SIC.

#### Список використаних джерел:

1. FBMC-based air interface for 5G mobile: Challenges and proposed solutions. [Електронний ресурс]: FBMC-based air interface for 5G mobile: Challenges and proposed solutions | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore Дата звернення: 20.03.2023.

2. 5G Communication Networks and Modulation Schemes for Next-Generation Smart Grids. [Електронний ресурс]: 5G Communication Networks and Modulation Schemes for Next-Generation Smart Grids | SpringerLink. Дата звернення: 25.03.2023.

3. S. Islam, N. Avazov, O. Dobre, and K. Kwak, "Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 2, pp. 721-742, Second Quarter, 2017.

4. Токар Л. О. Особливості та принцип формування сигналу неортогонального множинного доступу в системах мобільного зв'язку 5G / Л. О. Токар, П. В. Соловйов // Інформаційно-комунікаційні технології та кібербезпека (ІКТК-2023) : матеріали дев'ятої Міжнародної науково-технічної конференції, 7 грудня 2023 р. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – С. 65-68.