

## БЕЗГРАНТОВИЙ МНОЖИННИЙ ДОСТУП ДО ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОСЛУГ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Досліджено технологію GF з підтримкою NOMA, яка здатна зменшити затримку доступу, обсяг службових даних керування сигнальним механізмом і споживання енергії пристроями, особливо при передачі малих пакетів і чутливих до затримки передач для економічних та енергоефективних пристроїв.*

**Ключові слова:** енергоефективний пристрій, базова станція, бездротова мережа, безгрантовий доступ.

### *Abstract*

*NOMA-enabled GF technology is investigated, which is able to reduce the access delay, signal control service data volume, and device power consumption, especially for small packet and delay-sensitive transmissions for cost-effective and energy-efficient devices.*

**Keywords:** energy-efficient device, base station, wireless network, grant-free access.

### **Вступ**

Базові станції виконують передачу службової інформації (grant broadcast, GB) через ресурси, що динамічно плануються. На відміну від GB-передачі, GF-передача виконується через попередньо налаштовані або напівстатично налаштовані ресурси для користувачів висхідного або низхідного каналу передавання даних. Налаштовані таким чином ресурси можуть спільно використовуватися більш ніж одним користувачем GF, що може призвести до конфліктів передачі між користувачами GF, і тому GF-передача також називається конкурентною передачею. Завдяки напівстатичному механізму конфігурації схема GF-передачі, яку можна охарактеризувати фразою «прийшов і пішов», підходить для послуг та застосувань, які потребують малої затримки, таких як трафік URLLC. Більш того, схема GF-передачі має особливе значення для підтримки аперіодичного та чутливого до затримки трафіку, час прибуття якого непередбачуваний, але при цьому трафік має бути переданий відразу після його прибуття.

Схема GF-передачі також може значно заощадити потужність і знизити накладні витрати на сигналізацію передачі по висхідній лінії передавання завдяки тому факту, що їй не потрібно відправляти запит планування на базову станцію після прибуття трафіку і що вона може уникнути процесу детектування при отриманні контрольної інформації. Економія енергії внаслідок запобігання контролю запитів планування та детектування керуючих сигналів має першорядне значення для чутливих до потужності пристроїв, таких як інтелектуальні датчики (які потребують тривалого терміну служби батареї).

Однак через те, що схема базується на конкуренції, коли кілька користувачів можуть спільно використовувати часові та частотні ресурси, безгрантова передача по висхідному каналу може викликати певні конфлікти. Це, у свою чергу, може призвести до неминучих повторних передач та побоювань щодо надійності. На щастя, колізійний характер GF передачі можна подолати за допомогою переваг NOMA. За допомогою комбінації GF-передачі (висхідний канал зв'язку) і NOMA кожному користувачеві GF може бути напівстатично призначена ретельно розроблена або випадково обрана сигнатура NOMA попередньо сконфігурованого пулу сигнатур. Завади між користувачами, що викликані колізіями передачі, потім можуть бути усунені вдосконаленим приймачем NOMA, який має можливість з високою надійністю розділяти сигнали, що перекриваються. В результаті схема GF плюс NOMA є ключовою технологією, що забезпечує надійну, швидку та ефективну (висхідну) передачу даних у бездротовій мережі.

Схема GF з підтримкою NOMA здатна зменшити затримку доступу, обсяг службових даних керування сигнальним механізмом і споживання енергії пристроями, особливо при передачі малих пакетів і чутливих до затримки передач для економічних та енергоефективних пристроїв. Однак у цієї схеми все ще є деякі проблеми, які необхідно вирішити, такі як пошук оптимальної форми пілот-сигналу і дозвіл колізій в NOMA, оптимальний формат зворотного зв'язку GF HARQ, компроміси між зворотним зв'язком GF і повторною передачею, а також компроміси між досягнутими швидкостями, довжиною пакета та надійністю (з точки зору теорії інформації). Останнім часом вивчення цих тем є надзвичайно актуальним завданням. Огляд [1] охоплює ранню роботу з вирішення проблеми доставки коротких пакетів з погляду теорії інформації, а також недавню роботу з оцінки характеристик GF схеми з NOMA.

Метою роботи є дослідження ефективної технології GF плюс NOMA, яка забезпечує надійну, швидку та ефективну (висхідну) передачу даних у бездротовій мережі.

### Результати дослідження

GF-передача, як перспективна схема передачі для зменшення обсягу службових сигналів і скорочення затримки передачі, обговорювалася і була представлена в першому випуску стандарту NR (R15) для передач як по висхідному, так і по низхідному каналу. При GF-передачі по висхідному каналу ресурси користувача напівстатично конфігуруються базовою станцією в межах одного періоду, що конфігурується, при цьому передбачається, що такі сконфігуровані ресурси є періодичними в часі. Після налаштування такі ресурси можуть бути негайно використані користувачем, що гарантує передачу малої затримки. При передачі через низхідний канал ресурси користувача можуть використовуватися тільки після того, як вони активовані динамічним сигналом від базової станції, що допомагає уникнути непотрібного детектування передачі по низхідному каналу на стороні користувача і знизити його споживання енергії.

Крім того, користувач може мати кілька GF конфігурацій одночасно для обслуговування різних типів трафіку з різноманітними вимогами до послуг, що може додатково покращити як затримку, так і надійність. Для зменшення енергоспоживання та затримки, стандарти NR R16 і R17 додатково охоплюють передачу по прямому каналу (від пристрою до пристрою), особливо в сценаріях V2X, і передачу в неактивному стані (проміжний стан між очікуванням та активним), щоб зменшити енергоспоживання та час очікування.

Через те, що трафік бездротової мережі за своєю природою спорадичний, виявлення активного користувача є проблемою при GF-передачі для множинного доступу. При GF-передачі висхідним каналом зв'язку базова станція повинна виявляти активних користувачів перед декодуванням і відновленням сигналів. Зазвичай процес виявлення ґрунтується на пілотних сигналах або сигнатурах передачі даних. Отже, форма пілотних сигналів або сигнатур та відповідні алгоритми детектування мають вирішальне значення для передачі GF. В багатьох роботах [2, 3] було доведено, що завдання детектування сигналу може бути змодельована як завдання стиснутої вибірки (compressed sensing, CS), коли існуючі результати теорії стиснутої вибірки можуть бути використані для полегшення проектування схем безгрантового доступу.

У 2009 р. для вирішення задачі CS-детектування було запропоновано алгоритм наближеної передачі повідомлень (approximate message passing, AMP) [4]. З того часу AMP використовувався як стандартний алгоритм детектування в задачі стиснутої вибірки, і для різних сценаріїв застосування було запропоновано безліч алгоритмів AMP. У 2011 році в [4] було запропоновано алгоритм узагальненої наближеної передачі повідомлень (generalized approximate messaging passing, GAMP) для роботи з більш складними моделями з нелінійними відношеннями між входами та виходами. У 2017 р. [2] було запропоновано покращений алгоритм AMP на основі шумоподавлювача з пороговим значенням MMSE для виявлення активних користувачів у сценаріях GF-передачі з масовим підключенням. Крім того, цей покращений алгоритм AMP може використовуватись для безгрантового доступу у поєднанні з конфігураціями масивного MIMO [3]. Знову ж таки, у 2017 році в [4] було запропоновано алгоритм ортогональної наближеної передачі повідомлень (orthogonal approximate message passing, OAMP), який, як стверджувалося, забезпечує досягнення оптимальних за Байєсом результатів з більш високою швидкістю збіжності, ніж традиційний алгоритм AMP.

Хоча безгрантовий доступ у поєднанні з NOMA може пом'якшити проблему колізії сигналів даних, більшість схем NOMA, як і раніше, потрібна хороша оцінка каналу. Тому для GF на основі

NOMA потрібна розробка ортогонального або майже ортогонального пілот-сигналу. Це спричинить великі накладні витрати на пілот-сигнал у сценаріях масового підключення, особливо при передачі пакетів невеликого розміру. В академічних та промислових установах дослідники запропонували можливі вирішення цієї проблеми. Наприклад, у 2017 році в [3] для вирішення вищезазначеної проблеми було запропоновано структуру некогерентної передачі із загальною кодовою книгою. Там було дано деяке теоретичне обґрунтування цього підходу. Даний підхід отримав назву довільного доступу без джерела (unsourced random access) - рішення без будь-якого планування або пілотних сигналів і, таким чином, що дозволяє уникнути проблеми колізії пілотних сигналів, - і націлений на масове підключення з невеликою довжиною блоку. Пізніше було запропоновано деякі поліпшені схеми у межах цієї структури, наприклад [4]. За допомогою таких схем, як поділ субблоків та міжблочне кодування, або тензорна модуляція [2], концепція довільного доступу без джерела призводить до реалізованих рішень безгрантового доступу. Крім того, довільний доступ без джерела у поєднанні з алгоритмами на основі стиснутої вибірки на стороні приймача може стати одним із кандидатів на рішення для великомасштабного доступу в майбутньому.

### Висновки

Досліджено метод довільного доступу без джерела як рішення без будь-якого планування або пілотних сигналів і, таким чином, що дозволяє уникнути проблеми колізії пілотних сигналів, - і націлений на масове підключення з невеликою довжиною блоку. Також було запропоновано деякі поліпшені схеми у межах дослідженою структури. Визначено, що за допомогою таких схем, як поділ субблоків та міжблочне кодування, або тензорна модуляція, концепція довільного доступу без джерела призводить до реалізованих рішень безгрантового доступу. Розглянуто довільний доступ без джерела у поєднанні з алгоритмами на основі стиснутої вибірки на стороні приймача, який може стати одним із кандидатів на рішення для великомасштабного доступу в майбутньому.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Y. Liu, Z. Qin, and Z. Ding, Non-orthogonal multiple access for massive connectivity. Springer, 2020.
2. X. Meng, L. Zhang, C. Wang, L. Wang, Y. Wu, Y. Chen, and W. Wang, Advanced NOMA receivers from a unified variational inference perspective, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2020.
3. R. Calderbank and A. Thompson, Chirrup: A practical algorithm for unsourced multiple access, Information and Inference: A Journal of the IMA, vol. 9, no. 4, pp. 875–897, Dec. 2020.
4. A. Decurninge, I. Land, and M. Guillaud, Tensor-based modulation for unsourced massive random access, IEEE Wireless Communications Letters, 2021.

**Варгатюк Ганна Леонідівна** — аспірант групи 172-20а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: annaantonuik@gmail.com

**Болдырева Ольга Сергіївна** — аспірант групи 172-19а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rtt13bpoludenko@gmail.com

**Якубівська Наталія Володимирівна** — студент групи ТКС-21мз, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nakubivska@gmail.com

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

**Hanna Leonidivna Varhatiuk** — graduate student of group 172-20a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: annaantonuik@gmail.com

**Olha Serhiivna Boldyreva** — graduate student of group 172-19a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rtt13bpoludenko@gmail.com

**Natalia Volodymyrivna Yakubivska** — student of TKS-21m group, faculty of information electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nakubivska@gmail.com

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