

УДК 621.396.662.072.078

В. Г. САЙКО, доктор техн. наук;

В. А. БРЕСЛАВСЬКИЙ, аспірант;

Д. О. ЛИСЕНКО, здобувач,

Державний університет телекомунікацій, Київ;

О. Г. ОКСІЮК, доктор техн. наук, доцент,

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ КАНАЛІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Подано порівняльний аналіз ефективності каналів радіозв'язку мобільних мереж із *OCDM*- і *OFDM*-сигналами, а також розкрито технічну сутність розробленого на основі гібридних сигнально-кодових конструкцій нового способу підвищення завадостійкості каналів у адаптивних системах мобільного зв'язку.

### Вступ

Постійно зростаюча суспільна потреба стосовно високошвидкісного доступу до інформаційних ресурсів стимулює появу та розвиток нових систем широкосмугового доступу. Для підвищення ефективності зазначених систем на базі сучасних технологій, таких як багатоантенна техніка *MIMO* (*Multiple Input–Multiple Output*), багатокористувальницький доступ *OFDMA*, *IP*-орієнтовані архітектурні вирішення, кооперативна ретрансляція, забезпечення *QoS*, доводиться розв'язувати чимало першочергових завдань. До найважливіших із них належать ті, що визначають інноваційну складову сучасних телекомунікаційних безпроводових систем. Ідеться передусім про вдосконалення відомих і створення нових ефективних методів підвищення пропускної здатності систем широкосмугового доступу зі збереженням необхідної завадостійкості в умовах багатопромених завмирань [1].

Зауважимо, що одна з головних проблем розвитку сучасних безпроводових систем зв'язку полягає у відсутності сумісності між різними типами радіопристроїв передавання повідомлень і мережної інфраструктури. Окрім того, через обмеженість частотного ресурсу розробка нових систем безпроводового доступу призводить до збільшення навантаження на цей природний ресурс, а отже, до ускладнення процедури виділення частот. Тому сьогодні з огляду на швидкий розвиток систем мобільного зв'язку актуалізується проблема ефективності використання частотного спектра [2].

Варто наголосити, що стандартизовані нині системи мобільного зв'язку 4-го покоління, побудовані на базі когнітивних технологій, мають забезпечити ефективну організацію міжмережної взаємодії з налагодженням інтегративної служби стосовно проводової та безпроводової мереж зв'язку на додаток до простої служби безпроводового зв'язку, яку підтримують системи мобільного зв'язку попереднього покоління. Відповідно, для передавання великого обсягу даних на рівні, характерному для проводової мережі зв'язку,

потрібна розробка відповідної технології для мережі безпроводового зв'язку. У цьому плані є сенс дослідити можливості каналів зв'язку на основі *OCDM* і *OFDM* щодо побудови систем цифрового радіозв'язку нового покоління.

### Імітаційне моделювання широкосмугових систем цифрового радіозв'язку на базі *OCDM* і *OFDM*

Технологія *OCDM* (*Orthogonal codedivision multiplexing* — ортогональне кодове розділення каналів із мультиплексуванням) менш відома, ніж *OFDM* [3–5], хоча перші патенти й публікації щодо головних принципів *OCDM* з'явилися ще в середині 1990-х років. Суть цієї технології, як і технології розширення спектра за допомогою прямої послідовності (*CDMA* або *MC-CDMA*), полягає в тому, що кожний біт (група бітів) інформаційного потоку замінюється однією з ортогональних кодових послідовностей (наприклад, послідовність Уолша–Адамара). У результаті один інформаційний біт подається за допомогою  $N$  кодових бітів — так званих *чипів*, і цим самим формується кодова надмірність.

Кодове посилення і визначає низку важливих властивостей *CDMA*-сигналів. Що ж до технології *OCDM*, то тут після перетворення біта в потік з  $N$  чипів відбувається розпаралелювання  $N$  чіпових каналів. При цьому кожний канал додатково кодується за допомогою ортогональної циклічної кодової послідовності (наприклад,  $M$ -послідовності), як це відбувається в технології *OFDM*. Проте принцип поділу тут не частотний, а кодовий. Далі кодовані послідовності чіпів мультиплекуються в один загальний потік (на відміну від *OFDM* — методом простого підсумовування), який після аналогового перетворення і видається в ефір. У приймачі все відбувається у зворотному порядку: поділ вхідного сигналу на паралельні чіпові канали, відновлення чіпового потоку, а зрештою — вихідного інформаційного потоку.

Схему програми, що реалізує технологію *OCDM* у середовищі *Matlab*, наведено на рис. 1. У цій програмі було використано модуляцію *16-QAM*.

Основні можливості моделі, розробленої в середовищі Matlab:

- генерування випадкових інформаційних послідовностей із заданою частотою дискретизації;
- реалізація алгоритмів OCDM-кодування/декодування в базисі Уолша;
- генерування адитивного білого гауссового шуму (АБГШ) для оцінювання впливу шуму на детектування сигналу;
- імітація аналогової модуляції/демодуляції (із різними значеннями: амплітуди, частоти, фази);
- статистична обробка результатів моделювання (кількість помилок, відносна помилка, візуальне подання на вбудованому осцилографі).

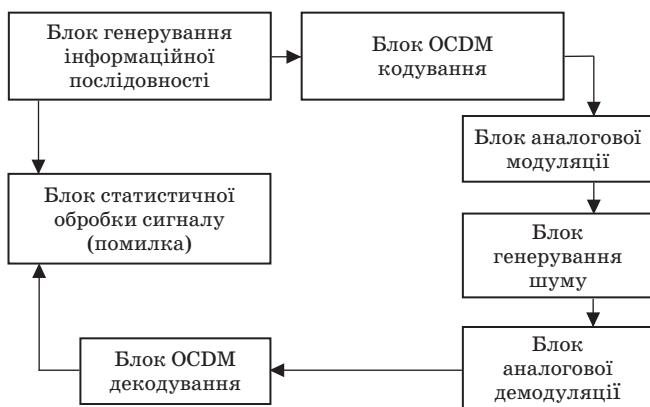


Рис. 1. Блок-схема програми, що реалізує технологію OCDM

Результати імітаційного моделювання ймовірності помилки для радіосистем на базі технології OCDM і OFDM з використанням модуляції 16-QAM подано відповідно на рис. 2, а, б.

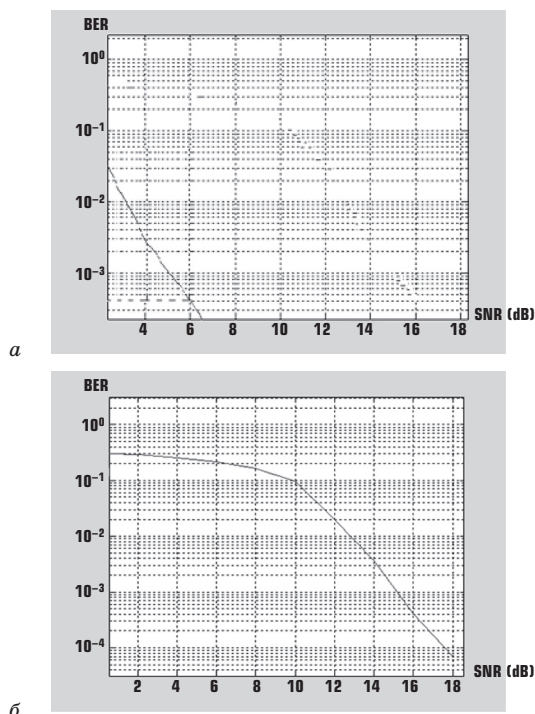


Рис. 2. Результат імітаційного моделювання ймовірності помилки на базі технології OCDM (а) і OFDM (б) із використанням модуляції 16-QAM

Імітаційне моделювання за технологією OCDM із використанням модуляції 16-QAM показує, що при  $BER = 10^{-4}$  відношення сигнал/шум становить 6,5 дБ (рис. 2, а). Це на 7,5 дБ менше за результат імітаційного моделювання на базі OFDM у разі 16-QAM (рис. 2, б).

Значний інтерес становлять результати аналогічного порівняльного моделювання на основі OCDM із використанням модуляції 32-, 64-, 128-QAM (рис. 3, а, б, в).

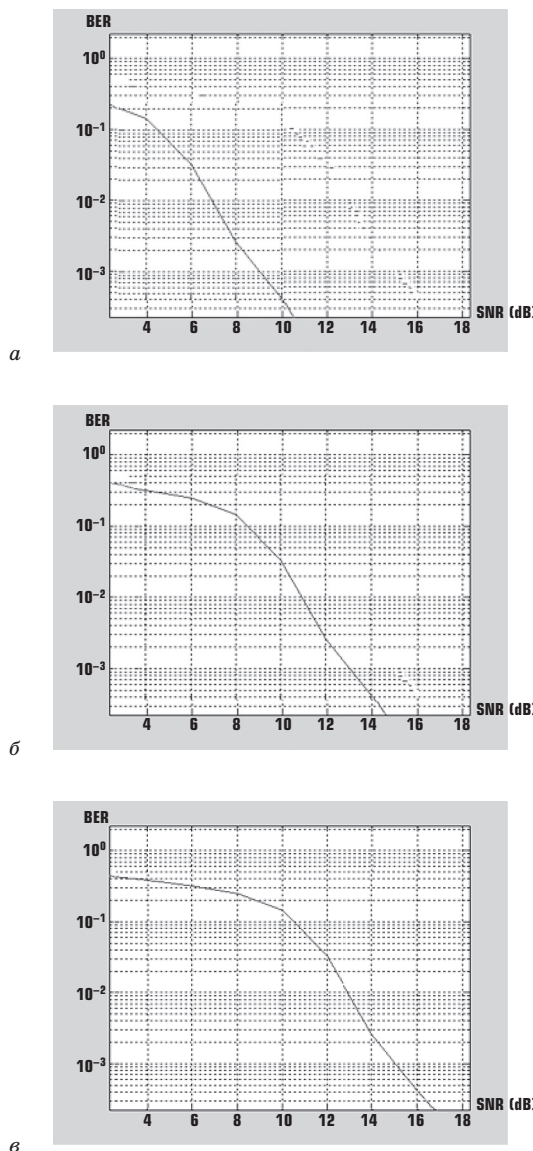


Рис. 3. Результат моделювання ймовірності помилки на базі OCDM із використанням 32-QAM (а), 64-QAM (б), 128-QAM (в)

Як випливає з рис. 3, а, б, в, при  $BER = 0,0001$  усі отримані характеристики нелінійні, що відповідає вимогам систем мобільного зв'язку 4-го покоління. При цьому відношення сигнал/шум (SNR) не перевищує відповідно 10,5, 14,5 і 16,5 дБ.

Узагальнені дані імітаційного моделювання наведено в таблиці.

Результати імітаційного моделювання

Модуляція	SNR, дБ	
	OFDM	OCDM
16-QAM	17	6,5
32-QAM	19	10,5
64-QAM	22,5	14,5
128-QAM	25	16,5

### Алгоритм багатопараметричної частотної адаптації

Із погляду вдосконалення методів приймання та передавання для когнітивних мереж значний інтерес становить так звана схема FH стрибкоподібної зміни частоти. Ідеться про схему зміни підносійних, виділених конкретному терміналу абонента. При цьому схема FH-OCDM являє собою комбінацію схем FH і OCDM. Система, побудована за схемою FH-OCDM, має ту саму назву, що й ця схема [7; 8].

Пропонований алгоритм адаптації в системі безпроводового зв'язку з багатьма носійними включає в себе такі етапи:

- ◆ *поділ* підносійних ліній зв'язку на окремі групи;
- ◆ *виділення* хоча б одного частотного блоку (кожний такий блок містить інтервал між стрибками частоти та деяку групу);
- ◆ *присвоєння* різних наборів ортогональних кодів кожному користувачеві;
- ◆ *розподіл* символів кожного користувача по виділеному хоча б одному частотному блоку, причому ці символи розподіляють із використанням різних наборів ортогональних кодів, присвоєних кожному користувачеві.

У такій системі зв'язку з розширенням спектра завдяки стрибкоподібній перебудові частоти дані передаються на різних частотних піддіапазонах або підносійних у різні інтервали часу (періоди стрибків). Ці стрибки забезпечують розкид частоти, дозволяючи краще протистояти чинникам, що заважають передаванню даних (вузькосмугові завади, глушіння, завмирання і т. ін).

Для реалізації алгоритму багатопараметричної частотної адаптації, який мінімізує ймовірність помилкового приймання даних у багатопроменевих каналах із завмираннями за законом Накагамі [9; 10], необхідно задати інтервал дискретизації, визначити середні часові витрати на зміну параметрів, а також ймовірність роботи радіолінії без порушення зв'язку на інтервалі  $T_0$  при різних значеннях параметрів сигналів. Вибір інтервалу  $T_0$  має здійснюватись з урахуванням інтервалу квазістаціонарності процесів зміни в часі параметрів сигналів і завад у багатопроменевому каналі та часу, необхідного для оцінювання рівнів сигналів і завад та ухвалення рішення. Часові витрати на зміну параметрів неважко визначити за відомими

значеннями тривалості команд управління, часом перебудови та синхронізації для конкретного типу апаратури.

*Робота радіолінії з описаним алгоритмом багатопараметричної адаптації протягом сеансу зв'язку відбувається в такий спосіб.*

Система багатостанційного доступу з кодово-ортогональним поділом і мультиплексуванням (FH-OCDM) здатна працювати з багатьма користувачами одночасно. У такій системі зі стрибкоподібною перебудовою частоти дані кожного користувача передаються з використанням особливої послідовності стрибкоподібних перебудов частоти, встановленої для цього користувача. Послідовність стрибкоподібних перебудов частоти вказує на особливий піддіапазон, використовуваний для передавання даних протягом кожного періоду стрибка. Із залученням різних послідовностей зазначену перебудову може бути здійснено одночасно для багатьох передач даних і багатьох користувачів. Такі послідовності мають бути ортогональні одна до одної, аби тільки одна передача даних використовувала кожний піддіапазон у кожний момент стрибка. За допомогою ортогональних послідовностей стрибкоподібних перебудов частоти уникають завад від суміжних стільників, тоді як кілька одночасних передач даних не заважають одна одній, тим самим дозволяючи використовувати переваги частотної поділу.

На кожному інтервалі  $T_0$  проводяться вимірювання миттєвих значень амплітуди прийнятого сигналу і визначаються параметри розподілу Накагамі. Водночас оцінюється значення SNR на вході приймача і розраховується значення BER. Наприкінці поточного інтервалу  $T_0$ , використовуючи розраховані виграші, вибирають оптимальне керування, що забезпечує мінімізацію ймовірності помилкового приймання даних у каналах із завмираннями на наступному кроці. Таким чином, залежно від обраного параметра адаптації вдається без втрат часу заздалегідь здійснити перехід до аналізу каналу, що відмовив.

Для передавання даних із підвищеною швидкістю необхідно попередньо записати їх у буферну пам'ять. Тоді сигнал буде прийматись не лише в періоди, коли миттєве значення SNR перевищує деякий рівень  $n$ , а й у періоди глибоких завмирань, коли істотно знижується завадостійкість, а отже, підвищується ймовірність помилки.

### Висновок

Завдяки вибору значення  $n$  з урахуванням глибини  $m$  завмирань сигналу, кількості  $N$  джерел внутрішньосистемних завад знайденої ймовірності помилки можна здійснити передавання даних із низькою ймовірністю помилки за незначного розширення смуги сигналу.



### Література

1. **Ільченко, М. Ю.** Сучасні телекомунікаційні системи / М. Ю. Ільченко, С. О. Кравчук.— К.: Наук. думка, 2008.— 328 с.
2. **Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу: навч. посібник** / [П. В. Слободянюк, В. Г. Сайко, Т. М. Наритник, В. Г. Благодарний].— К.: ДУКТ, 2012.— 596 с.
3. **Fazel, K.** Multi-carrier and spread spectrum systems: from OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX / K. Fazel, S. Kaiser.— 2nd ed., 2008.
4. **Беркман, Л. Н.** Багатоканальні модеми: монографія / [Л. Н. Беркман, І. С. Щербина, О. І. Чумак, Л. В. Рудик]; за наук. ред. С. Є. Захаренка.— К.: Зв'язок, 2006.— 149 с.
5. **Сайко, В. Г.** Спосіб адаптивного вибору режимів роботи засобів радіозв'язку нового покоління / В. Г. Сайко // Наук. записки УНДІЗ.— 2012.— № 2(22).— С. 16–20.

6. **Николаев, В.** Системы широкополосного радиодоступа 4-го поколения: выбор сигнально-кодовых конструкций / В. Николаев, А. Гармонов, Ю. Лебедев// Первая мила.— 2010.— № 5-6.— С. 56–59.

7. **Широкополосные беспроводные сети передачи информации** / [В. М. Вишневецкий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович].— М.: Техносфера, 2005.

8. **Мазурков, М. И.** Системы широкополосной радиосвязи: учеб. пособие для студ. вузов / М. И. Мазурков.— О.: Наука и техника, 2009.— 344 с.

9. **Сайко, В. Г.** Системы бездротового цифрового радіозв'язку нового покоління: монографія / В. Г. Сайко.— К.: ПП «Золоті ворота», 2011.— 300 с.

10. **Фокин, Г. А.** Пути адаптации сигнала к условиям многолучевого распространения в канале широкополосного беспроводного доступа / Г. А. Фокин.— СПб.: Санкт-Петербург. ун-т телекоммуникаций, 2007 (Тр. учеб. заведений; №176).

В. Г. Сайко, В. А. Бреславский, Д. А. Лысенко, А. Г. Оксийук

### СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛОВ РАДИОСВЯЗИ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Представлен сравнительный анализ эффективности каналов радиосвязи мобильных сетей с OQDM- и OFDM-сигналами, а также раскрыта техническая сущность разработанного на основе гибридных сигнально-кодовых конструкций нового способа повышения помехоустойчивости каналов в адаптивных системах мобильной связи.

V Sayko, V. Breslavskyy, D. Lysenko, A. Oksiyuk

### A METHOD FOR IMPROVING NOISE IMMUNITY OF RADIO COMMUNICATION CHANNELS MOBILE NEXT-GENERATION NETWORKS

The comparative analysis of the efficiency of radio channels to mobile networks OQDM- and OFDM-signals and technical subject developed based on hybrid signal-code constructions of a new method which can improve the noise immunity of the channels in adaptive mobile communication systems.

УДК 656.8.001

Л. О. ЯЩУК, доктор техн. наук, професор,  
Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

## Наукове обґрунтування Нормативів і нормативних строків пересилання поштових відправлень та поштових переказів

**Установлено неадекватність чинних Нормативів і нормативних строків пересилання поштових відправлень та поштових переказів, виконано наукове їх обґрунтування й доведено можливість скорочення нормативних строків пересилання письмової кореспонденції.**

**Ключові слова:** нормативні строки пересилання письмової кореспонденції; показники цілей пересилання письмової кореспонденції; нормативи виймання листів із поштових скриньок; нормативи доставляння письмової кореспонденції в населених пунктах України.

### Вступ

Нормативи і нормативні строки пересилання поштових відправлень та поштових переказів [1] (далі — **Нормативи**) визначають один із головних показників якості універсальних послуг поштового зв'язку (УППЗ) та виступають як узагальнена характеристика якості пошти тієї чи іншої країни в цілому.

Всесвітній поштовий союз та Директива 97/67/ЄС Європейського Парламенту та Ради про спільні правила розвитку внутрішнього ринку поштових послуг Співдружності та покращення якості обслуговування (далі — **Директива**) пов'язують показники нормативних строків (НС) пересилання поштових відправлень із показниками цілей (ПЦ), які визначають відсоток поштових відправлень, що пересилаються

в установлені НС. Іноді зазначається більш як одна пара взаємозв'язаних показників НС і ПЦ. Так, **Директивою** встановлено показники якості пересилання міжнародної пошти в країнах ЄС Д + 3 із ПЦ 85% і Д + 5 із ПЦ 97%.

В Україні показники НС і ПЦ встановлено лише для пересилання письмової кореспонденції (ПК), тому далі пересиланням ПК приділяється найбільша увага.

### Недоліки чинних Нормативів

1. У **Нормативах** застосовано неадекватну термінологію.

Відсутні визначення термінів:

♦ **універсальні послуги поштового зв'язку;**