

УДК 621.391

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ МС-CDMA ПРИ ВИКОРИСТАННІ НЕПОВНИХ АНСАМБЛІВ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ



[П.М. МИХАЙЛЕНИЧ](#)

Національний університет
«Львівська політехніка»

В роботі розглянуто методики формування, прийому групового сигналу систем МС-CDMA та моделювання передавання інформації через канали зв'язку типу AWGN, Raleigh. Проведено дослідження ймовірності появи бітових помилок в процесі передавання інформації.

The methods of MS-CDMA signals generation, receiving and signal transmission simulation over AWGN, Raleigh channels considered in this paper. The research of bit error rate performance during data transmission conducted.

В работе рассмотрены методики формирования, приема группового сигнала систем МС-CDMA и моделирования передачи информации через каналы связи типа AWGN, Raleigh. Проведено исследование вероятности появления битовых ошибок в процессе передачи информации.

Вступ

Перші досягнення в галузі радіозв'язку були зроблені ще на початку 19 ст. З цього моменту починається активний розвиток різних технологій передавання інформації за допомогою радіосигналів та галузі безпроводного зв'язку загалом. Цифрові систем мобільного зв'язку прийшли на зміну аналоговим (перше покоління). В липні 1991 року було здійснено перший дзвінок в системі GSM (друге покоління). Успіх її розробки був настільки значним, що в процесі подальшого розвитку систем мобільного зв'язку використовувалися ідеї, закладені в основі її функціонування. Досягнення в розробці GSM, розвиток ринку мобільних послуг сприяли появі систем мобільного зв'язку наступного покоління, за якими закріпилися назви 3G, UMTS. В системах типу UMTS запропоновано використовувати нову технологію радіодоступу – CDMA. Система UMTS повинна стати глобальною платформою для надання мобільних послуг з пакетною комутацією.

В рамках концепції 3G в Америці запроваджено систему CDMA2000, що базується на сім'ї стандартів мобільного зв'язку IS-95. Після узгодження планів щодо стандартизації системи UMTS була створена організація 3GPP. Її призначення полягає у забезпеченні гармонійного розвитку та стандартизації системи 3G за підтримки різних країн світу. З 2005 р. організацією 3GPP розпочато роботу над створенням двох нових типів радіоінтерфейсів: LTE та HSPA [1, 2]. Вони представляють собою подальший розвиток мережі радіодоступу систем мобільного зв'язку для задоволення потреб сьогодення. Концепція LTE передбачає створення високошвидкісного радіоінтерфейсу з малими затримками передавання інформації та використанням модуляції OFDM. Метою розробки HSPA є поступове запровадження нових розробок для

радіоінтерфейсів систем мобільного зв'язку з метою досягнення рівня продуктивності LTE та одночасного забезпечення сумісності з системами WCDMA.

Завдяки стрімкому розвитку цифрової техніки та появі потужних мікропроцесорів для здійснення цифрової обробки сигналів на початку 90-х років 20 століття у розробників з'явилася можливість застосування новітніх технологій передавання інформації таких як кодове розділення каналів (CDMA) та ортогонального мультиплексування (OFDM). Особливістю схеми ортогонального частотного мультиплексування є те, що вона дозволяє передавати інформацію в каналах із завмираннями, де використання звичайних видів модуляції не дає позитивних результатів. Розподіл одного високошвидкісного потоку на велику кількість потоків низької швидкості дозволяє уникнути появи частотно-селективних завмирань та міжсимвольної інтерференції в процесі передавання.

З огляду на те, що в технології OFDM може використовуватися значно більша кількість переносників, ніж в WCDMA, її застосування є більш привабливим для роботи в каналах із завмираннями. Крім цього, поєднання технології OFDM, що гарантує високу завадозахищеність, та схеми множинного доступу DS-CDMA дозволяє організувати високошвидкісні радіоінтерфейси для передавання інформації. Проводяться дослідження поєднання цих технологій для нових систем радіозв'язку [3]. В цих системах OFDM використовується для передавання сформованого на основі DS-CDMA потоку інформації. Поєднання цих технологій покликане підвищити спектральну ефективність та надійність функціонування систем зв'язку.

I. Модель передавання інформації на основі технології MC-CDMA

Поєднання технологій OFDM та CDMA здійснюється двома основними методами, що утворюють нові схеми передавання інформації MC-CDMA та MC-DS-CDMA [4]. Схема MC-CDMA (OFDM-CDMA) – кодове розділення каналів з багатьма гармонічними переносниками. Вона базується на використанні псевдовипадкових послідовностей та модуляції з багатьма гармонічними переносниками. Унікальна псевдовипадкова послідовність $pn^{(k)} = \{pn_0^{(k)}, pn_1^{(k)}, \dots, pn_{N_c-1}^{(k)}\}$ кодує один біт інформації. Чіпи утвореної послідовності представлятимуть собою спектральні складові сигналу OFDM $\{d_0^{(k)}, d_1^{(k)}, \dots, d_{N_c-1}^{(k)}\}$ (рис. 1).

$$d^{(k)} = b_k \cdot pn^{(k)}.$$

Оскільки кодування псевдовипадковою послідовністю здійснюється в частотній області, така схема забезпечує високу спектральну ефективність групового сигналу. Подальша модуляція виконується за допомогою операції IFFT. Для передавання даних інших користувачів використовуються послідовності із ансамблю $\{pn^{(0)}, pn^{(1)}, \dots, pn^{(K-1)}\}$. Далі отримана сукупність з K синхронних сигналів передаються через канал зв'язку.

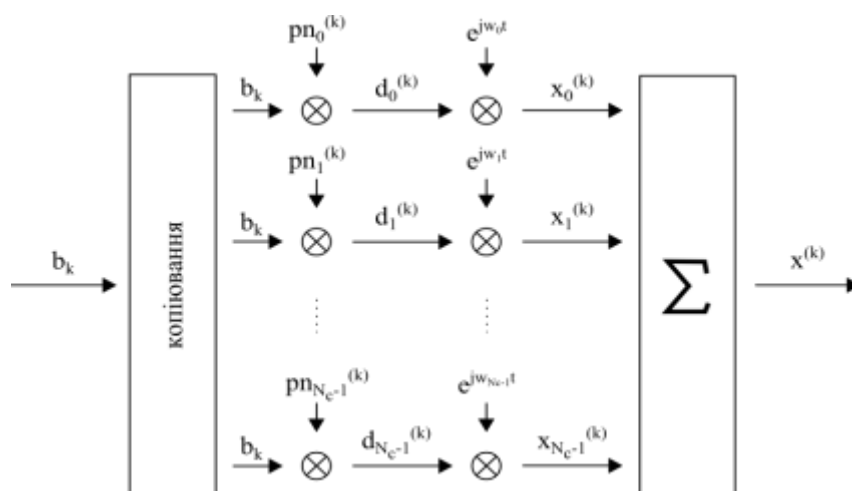


Рис. 1. Схема формування сигналу MC-CDMA (OFDM-CDMA) одного користувача

Сигнал MC-CDMA в комплексній формі для одного користувача матиме вигляд:

$$\dot{x}^{(k)}(m \cdot \Delta t) = \frac{1}{N_c} \cdot \sum_{n=0}^{N_c-1} \dot{d}_n^{(k)} \cdot e^{j \cdot n \cdot m \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N_c}},$$

де N_c – кількість гармонічних переносників; $d^{(k)}$ – k -та послідовність із ансамблю.

В процесі кодування псевдовипадковою послідовністю тривалість біта інформації T_b та символу T_s залишаються однаковими. Для підвищення завадозахищеності отриманий сигнал доповнюється захисним інтервалом. В результаті цього загальний час передавання символу зростає на величину тривалості захисного інтервалу T_g .

Груповий сигнал MC-CDMA утворюється шляхом додавання сигналів всіх K користувачів, які є синхронізованими між собою, і передається через канал зв'язку.

Під час прийому доповнена частина відкидається, і здійснюються демодуляція OFDM, вирівнювання та детектування.

В загальному випадку прийом сигналів здійснюється у наступні етапи (рис. 2):

- демодуляція прийнятого сигналу;
- детектування інформації.



Рис. 2. Етапи прийому сигналу MC-CDMA

Оскільки в процесі передавання сигналу виникають спотворення, викликані каналом зв'язку із завмираннями, для їхньої компенсації виконується вирівнювання. В реальних системах зв'язку вирівнювання реалізується спеціальним фільтром (еквалайзером), імпульсна характеристика якого підібрана таким чином, щоб компенсувати спотворення, викликані в процесі передавання через канал зв'язку. Для виконання цієї операції під час моделювання використовується вектор коефіцієнтів G , що визначається на основі вибраного методу вирівнювання.

II. Метод моделювання каналу зв'язку із завмираннями

Моделювання процесу передавання групового сигналу здійснюється згідно з блок-схемою, представленою на рис. 3. Перша частина схеми використовується для моделювання багатопроменевого поширення сигналів, а друга - для врахування дії адитивного білого гаусового шуму $n(t)$ – AWGN.



Рис. 3. Схема моделювання каналу зв'язку

Лінійна система (радіотехнічний пристрій) з математичної точки зору може бути описана за допомогою імпульсної характеристики $h(t)$, яка представляє собою відгук системи на одиночний імпульс $\delta(t)$. Сигнал на виході цієї системи визначається за допомогою операції згортки вхідного сигналу $x(t)$ та імпульсної характеристики цієї системи [5, 6].

Виконання операції згортки радіосигналу $x(t)$ та імпульсної характеристики каналу зв'язку $h(t)$, що визначається за допомогою моделі FIR-фільтру із лініями затримки, дозволяє отримати сигнал на вході приймача та провести подальші дослідження процесу передавання інформації в системах з використанням технологій MC-CDMA. Кожна із ліній затримок фільтру використовується для того, щоб змодельовувати ефект багатопроменевого поширення сигналів. Вони характеризуються різними величинами часу проходження сигналу та коефіцієнтами передачі. Ці коефіцієнти розраховуються за допомогою релеевського закону розподілу.

III. Дослідження завадостійкості систем MC-CDMA

В теорії інформації існує велика кількість дискретних послідовностей. Проте, лише невелика частина із них може використовуватися для розширення спектру сигналів та організації кодового розділення каналів [7, 8]. За останні десятиліття було запропоновано різні методики формування послідовностей для CDMA, що призвело до появи різних типів нових послідовностей: WBE, GMW, Лежандра тощо. Запропонована Велчем фундаментальна границя, яка визначає мінімально можливий рівень взаємної кореляції між послідовностями, дозволяє дати оцінку різним типам послідовностей. Послідовності Уолша та Голда відповідають цій границі. Інші типи послідовностей, маючи гірші кореляційні властивості, лише «наближаються» до неї. Внаслідок цього, застосування методик формування послідовностей, відмінних від таких, що використовуються для отримання послідовностей Уолша та Голда, є недоцільним.

Для отримання послідовностей з хорошими кореляційними властивостями можна проводити їхній добір з початкового ансамблю. У роботах Pursley M.B. та

Sarwate D.V. [9, 10] для оцінки кореляційного впливу між псевдовипадковими послідовностями обґрунтовується використання середнього інтерференційного параметра (AIP – average interference parameter). Повний середній інтерференційний параметр визначається так:

$$TAIP_j = \frac{1}{6 \cdot N^3} \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^K r_{i,j},$$

де $r_{i,j}$ – середній інтерференційний параметр послідовностей i та j з ансамблю; N – довжина послідовностей; K – кількість послідовностей в ансамблі.

Проведені дослідження показують [11], що значення повного середнього інтерференційного параметра істотно залежать від структури послідовностей та їхньої кількості в ансамблі. На основі параметра ТАІР автором запропоновано методику добору послідовностей з початкового ансамблю [12]. Застосування параметра ТАІР дозволило сформувані послідовності з покращеними взаємними кореляційними властивостями та оптимізувані їхні ансамблі (рис. 4).

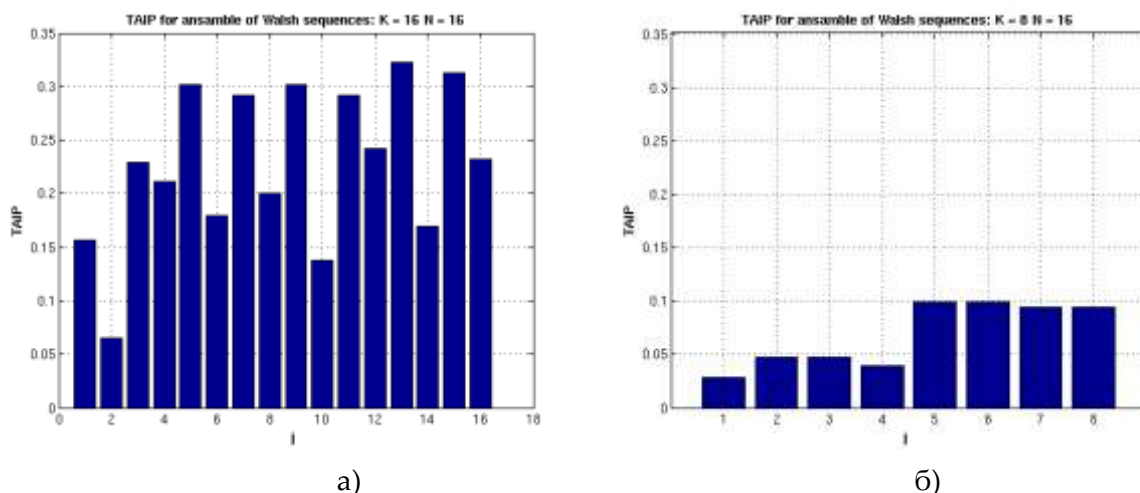


Рис. 4. Значення ТАІР для ансамблів послідовностей Уолша довжиною 16 чіп:
а) початковий ансамбль ($K = N = 16$); б) оптимізований ансамбль ($K = 8, N = 16$)

В процесі оптимізації було встановлено, що середні значення та дисперсія параметра ТАІР ансамблів послідовностей різних типів відрізняються між собою (рис. 5). Середні значення параметра ТАІР для послідовностей Голда є у 1,3...3,5 разів більшим, ніж для послідовностей Уолша, а дисперсія меншою в 10...30 раз.

Операція ортогоналізації послідовностей Голда призводить до зменшення середнього значення параметра ТАІР на 2...3%, а дисперсії — на 5...10%. Слід зазначити, що розкид значень статистичних показників зумовлюється зміною кількості послідовностей в ансамблі: більше значення відповідає випадку повного ансамблю, менше – ансамблю після оптимізації.

На основі розглянутих в частинах 1 та 2 статті методів формування та прийому сигналів та моделювання каналу зв'язку із завмираннями засобами математичного

пакету MATLAB розроблено комп'ютерну імітаційну модель процесу передавання сигналів MC-CDMA через канали радіозв'язку типу Raleigh.

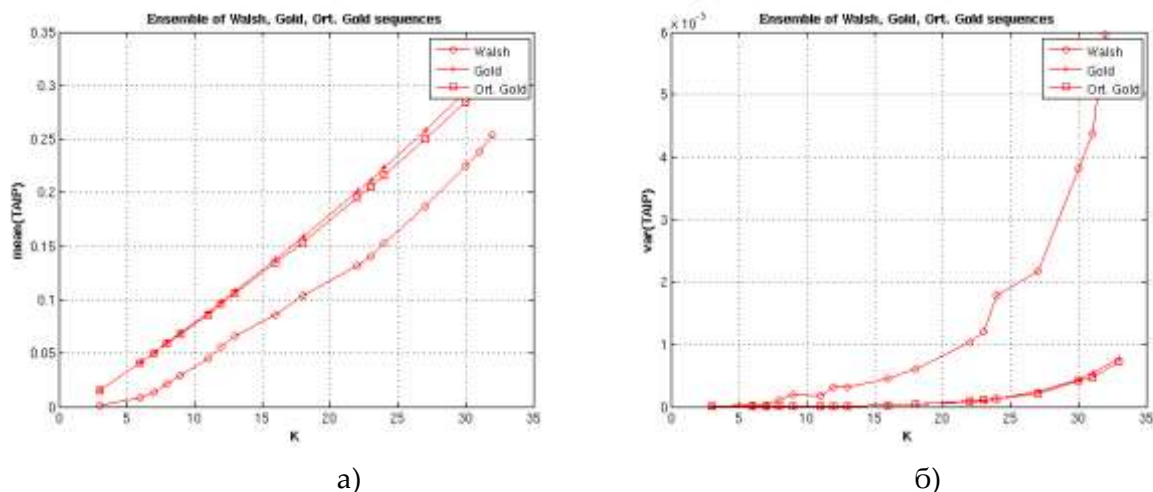


Рис. 5. Статистичні показники значення ТАІР для ансамблів послідовностей Уолша, Голда (породжуючий поліном $f(x) = 1 + x^2 + x^5$, крок децимації 3) в процесі їхньої оптимізації, а) середнє значення; б) дисперсія

Ця модель передбачає формування сигналів MC-CDMA, моделювання впливу каналу зв'язку із релеевськими завмираннями та здійснення прийому сигналів. Кількість етапів моделювання визначено з використанням довірчого інтервалу для дисперсії. За допомогою розробленої моделі досліджено ймовірність появи бітових помилок при використанні ансамблів послідовностей Уолша для організації кодового розділення з ортогональним частотним мультиплексуванням та різними відношеннями E_b/N_0 (рис. 6).

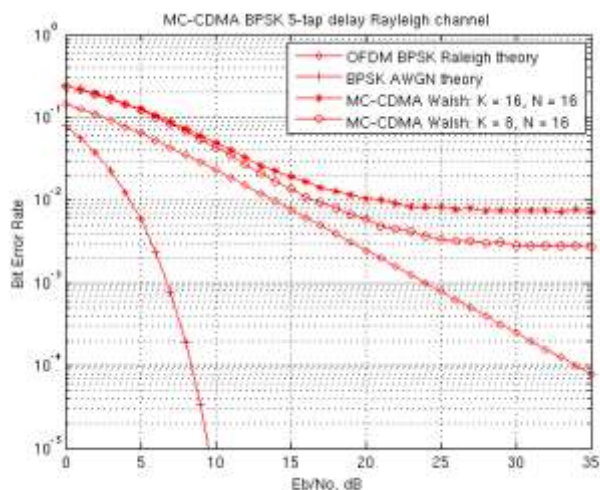


Рис. 6. Ймовірність появи бітових помилок при використанні початкового ($K = N = 16$) та оптимізованого ($K = 8, N = 16$) ансамблів послідовностей Уолша

Отримані результати показують, що при використанні початкового ансамблю послідовностей Уолша з ТАІР $\approx 0,14$ ймовірність появи бітових помилок є найвищою за рахунок високої взаємної кореляції між послідовностями. Використання оптимізованого ансамблю послідовностей з ТАІР $\approx 0,06$ для формування сигналів MC-

CDMA показує, що ймовірність появи бітових помилок зменшується у 4 рази. Цей факт свідчить про доцільність використання ансамблів послідовностей з покращеними взаємними кореляційними властивостями.

Висновок

Проведені дослідження показали, що застосування параметра TAIP дозволяє виконати добір послідовностей з покращеними взаємними кореляційними властивостями, оптимізуючи ансамблі послідовностей. В процесі оптимізації ансамблів послідовностей було встановлено, що середнє значення параметра TAIP для послідовностей Голда є більшим, ніж для послідовностей Голда у 1,3...3,5 разів, а дисперсія меншою в 10...30 раз. Даний факт має важливе значення в процесі вибору ансамблів послідовностей для формування каналів радіозв'язку.

Проведений аналіз методів формування та прийому сигналів MC-CDMA, моделювання каналу зв'язку із релеєвськими замираннями дозволив розробити засоби математичного пакету MATLAB комп'ютерну імітаційну модель. З використанням розробленої моделі показано, що застосування оптимізованих ансамблів послідовностей дозволяє зменшити ймовірність появи бітових помилок за рахунок використання оптимізованих ансамблів послідовностей.

Список літератури:

1. Berndt H. Towards 4G technologies – Chichester : John Wiley & Sons, 2008. — 295 p.
2. Dahlman E, Parkvall S., Skold J. 3G evolution: HSPA and – LTE for mobile broadband. — New York : Elsevier, 2007. – 448 p.
3. Balog T., Balazs F., Imre S., Pap L. Analysis of extended OFDM-CDMA system // 6-th International OFDM-Workshop, 18 – 19 September 2001, Hamburg, Germany. – P. 1 – 4.
4. Hanzo L., Munster M., Choi B.J., Keller T. OFDM and MC-CDMA for broadband multi-user communications, WLANs and broadcasting. – Chichester : John Wiley & Sons, 2003. – 979 p.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: «Питер», 2002. – 608 с.
6. Скляр Б. Цифровая связь [пер. з англ. Е.Е Гроза, В.В. Марченко, А.В. Назаренко, О.М. Ядренко]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1104 с.
7. Chen H. Next Generation CDMA Technologies. – Chichester: John Wiley & Sons, 2007. – 463 p.
8. Torrieri D. Principles of spread-spectrum communication systems. – Boston: Springer, 2005. – 444 p.
9. Pursley M.B., Sarwate D.V., Stark W. Error probability for direct-sequence spread-spectrum multiple-access communications – Part I: Upper and lower bounds // IEEE Transactions on communications. – 1982. – № 30(5). – P. 975 – 984.
10. Pursley M.B., Sarwate D.V. Evaluation of correlation parameters for periodic sequences // IEEE Transactions on information theory. – 1977. – № 23(4). – P. 508 – 513.
11. Михайленіч П.М. Дослідження відношення сигнал/шум в радіоканалі при використанні послідовностей Уолша // Наук.-практ. конф. «Сучас. пробл. телекомунікацій – 2010» : матеріали конф., 28 – 31 жовт. 2010 р., Львів. – 2010. – С. 85 – 87.
12. Михайленіч П.М. Методика вибору псевдовипадкових послідовностей в межах ансамблю з використанням середнього інтерференційного параметра // Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв'язок». – 2011. – Вип. 96(4). – С. 66 – 68.