

## ПРОБЛЕМА СИНХРОНІЗАЦІЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КОДОВОГО РОЗДІЛЕННЯ КАНАЛІВ З ПРЯМИМ РОЗШИРЕННЯМ СПЕКТРА

© Михайленч П.М., Мохаммад Хасан Алі Самур, 2008

**Коротко розглянуто принципи та особливості кодового розділення каналів з прямим розширенням спектра сигналів. Наведено результати моделювання приймання інформації cdma-приймачем за наявності синхронізації.**

**The principles and features of code division multiple access with direct sequence spread spectrum are considered in this article. The results of modelling synchronous data receiving are shown in this article.**

### Вступ

Ефективне використання, організація каналів зв'язку є особливо актуальними питаннями для безпроводних систем. Існує кілька методів розділення каналів зв'язку. Останім часом великої популярності набули системи зв'язку, які використовують кодове розділення каналів.

Кодове розділення каналів (CDMA) здійснюється за допомогою прямого розширення спектра сигналів (DSSS), швидкої зміни частоти (FHSS), передавання інформації у випадкові моменти часу (TBSS) та комбінації вищезгаданих способів. У цій статті проаналізовано роботу та досліджено проблеми синхронізації кодового розділення каналів з прямим розширенням спектра.

### Кодове розділення каналів з прямим розширенням спектра

На відміну від частотного розділення каналів, в системах зв'язку з CDMA інформація користувачів передається у спільній смузі частот. Така можливість забезпечується завдяки використанню псевдовипадкових послідовностей. Ці послідовності відіграють роль унікальних ознак, за допомогою яких можна прийняти передану корисну інформацію. На рис. 1 зображено спрощену структурну схему системи зв'язку CDMA DSSS.

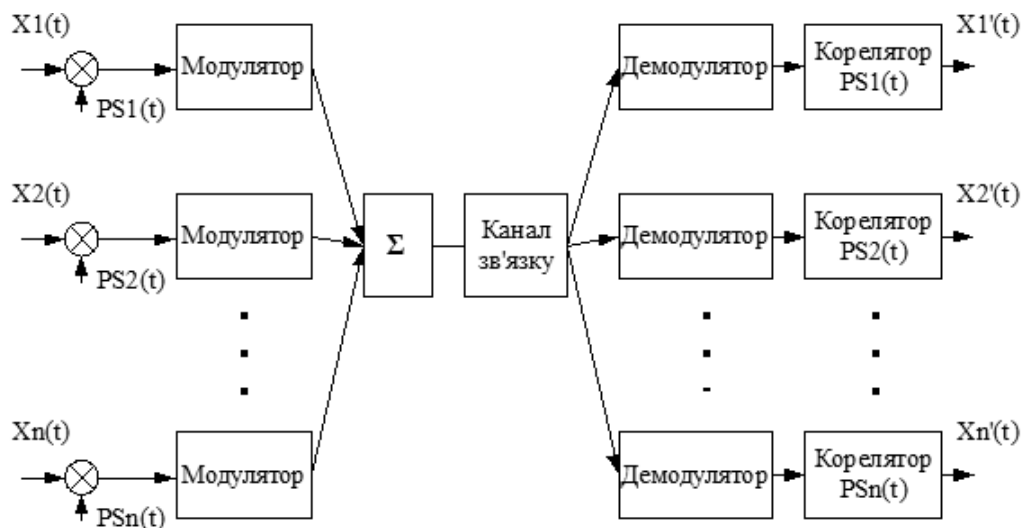


Рис. 1. Спрощена структурна схема системи зв'язку CDMA DSSS

Сигнал  $X_3(t)$ , який надходить від джерела інформації, множиться на одну із псевдо-випадкових послідовностей. В результаті спектр цього сигналу розширюється в  $N$  разів ( $N$  – довжина або кількість чіпів послідовності).

Псевдовипадкові послідовності, які використовуються в передавачі та приймачі, повинні бути однаковими, оскільки в протилежному випадку прийняти передану інформацію неможливо. Ця особливість систем CDMA забезпечує певний рівень захисту від виявлення передавання інформації. Тільки у разі використання двох однакових послідовностей інформацію можна буде прийняти.

Після операції розширення спектра інформаційного сигналу здійснюється фазова маніпуляція. Сигнал на виході BPSK модулятора має такий математичний запис:

$$S_3(t) = X_3(t) \cdot W_3(t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (1)$$

Фазова маніпуляція може бути двійковою (BPSK), або квадратурною (QPSK). На рис. 2 наведено спрощену структурну схему передавача та приймача системи зв'язку CDMA у разі використання BPSK.

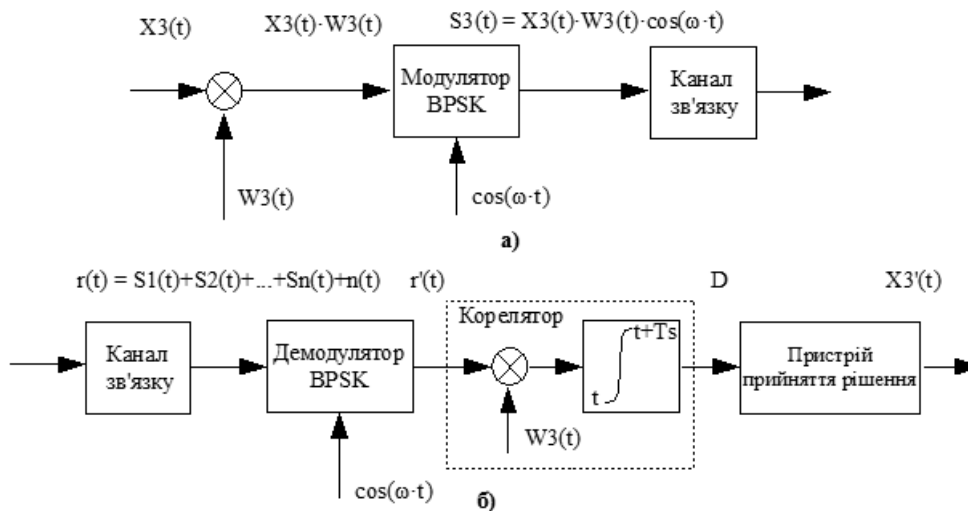


Рис. 2. Спрощена структурна схема системи CDMA:  
а – передавач; б – приймач

Суматор об'єднує отримані сигнали в один “потік”, які передаються у спільній смузі частот через канал зв'язку. Приймач здійснює демодуляцію прийнятого сумарного сигналу  $r(t)$  (2), далі визначається кореляція між демодульованим сигналом та однією із псевдовипадкових послідовностей. Детектування прийнятого сигналу здійснює пристрій прийняття рішення.

$$r(t) = S_1(t) + S_2(t) + \dots + S_n(t) + n(t) = \sum_{i=1}^N S_i(t) + n(t) \quad (2)$$

Рівняння, які описують приймання інформації при використанні кодового розділення каналів, наведено нижче.

$$r'(t) = \left\{ \sum_{i=1}^N S_i(t) + n(t) \right\} \cdot \cos(\omega \cdot t) = \left\{ \sum_{i=1}^N X_i(t) \cdot W_i(t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \right\} \cdot \cos(\omega \cdot t) + n'(t) \quad (3.1)$$

$$r'(t) = \sum_{i=1}^N X_i(t) \cdot W_i(t) + \sum_{i=1}^N X_i(t) \cdot W_i(t) \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t) + n'(t) \quad (3.2)$$

Фільтр нижніх частот усуває складову з подвоєною частотою (3.2). Значення, отримане після кореляції, передається пристрою прийняття рішення для детектування прийнятого сигналу.

$$D = \int_t^{t+T_s} \left\{ \sum_{i=1}^N X_i(t) \cdot W_i(t) + n''(t) \right\} \cdot W_j(t) dt = X_i \cdot T_s + n''' \quad (4)$$

### Проблема синхронізації

Проблема синхронізації в системах CDMA є важливою. Згідно з (5), визначається кореляція між різними послідовностями за умови, що часовий зсув між ними дорівнює нулю ( $\tau = 0$ ).

$$\int_0^{T_s} W_i(t) \cdot W_j(t - \tau) dt = \int_0^{T_s} W_i(t) \cdot W_j(t) dt = \begin{cases} T_s, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (5)$$

Кореляція між однаковими послідовностями є максимальною та дорівнює нулю між різними. На цій властивості ґрунтується можливість кодового розділення каналів, а саме приймання інформації для конкретного користувача (приймач якого “налаштований” на задану послідовність). Випадок, коли  $\tau = 0$ , є характерним для синхронізованих послідовностей. Якщо ця умова виконується, CDMA системи називають синхронними. У разі тимчасової відсутності або неточної синхронізації, коли  $\tau \neq 0$ , важливе значення будуть мати кореляційні характеристики послідовностей.

Розглянемо випадок, коли опорна послідовність для N-го каналу cdma-приймача є синхронізованою із послідовністю, яка використовується для передавання інформації. Вплив шуму проігноруюємо. Оскільки послідовності є синхронізованими, значення, отримане на виході корелятора (4), дорівнює  $T_s$ , а якщо моделювання здійснювати відносно чіпів послідовності — довжині послідовності. На рис. 3, а зображено 10-ту послідовність Уолша, інформаційний сигнал після розширення спектра, результат кореляції вхідного групового сигналу та опорної послідовності (рис. 3, в). Передається така інформація: 1 0 0 0.

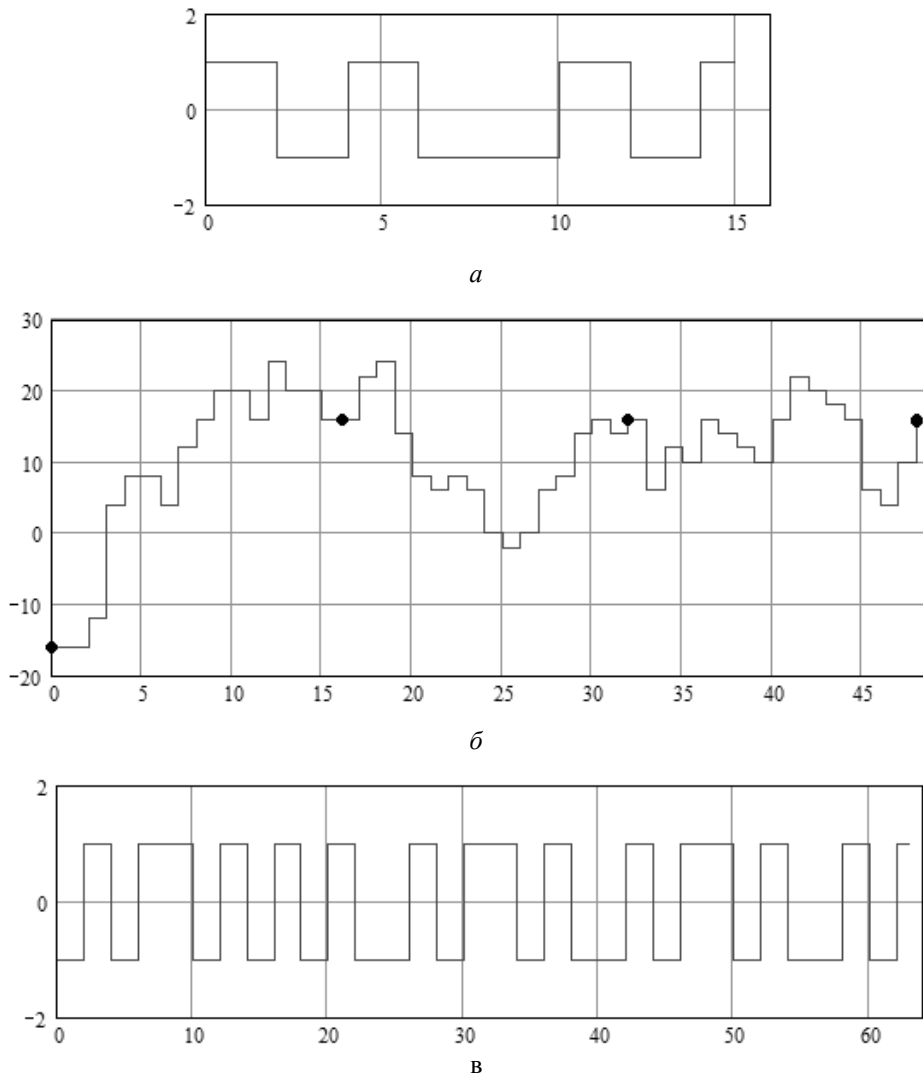


Рис. 3. Сигнали у передавачі та приймачі при використанні CDMA DSSS:  
 а – 10-та послідовність Уолша довжиною 16 чіпів; б – інформаційний сигнал після розширення;  
 в – результат кореляції прийнятого групового сигналу та 10-ї послідовності в приймачі

Згідно з (4) кореляція визначається за період в 16 чіпів. Оскільки послідовності синхронізовані, результат кореляції за період інформаційного сигналу буде дорівнювати  $\{16, -16\}$ . На рис. 3, в чорних точках позначено значення, які передаються пристрою прийняття рішення:

- перша точка (значення  $-16$ ) відповідає передачі “1”;
- друга точка (значення  $16$ ) відповідає передачі “0”;
- третя точка (значення  $16$ ) відповідає передачі “0”;
- четверта точка (значення  $16$ ) відповідає передачі “0”.

В результаті порушення синхронізації між послідовностями (значення кореляції подано на рис. 3, в між чорними точками) пристрій прийняття рішення може неправильно детектувати прийнятий сигнал.

Зауважимо, що приклад, розглянутий вище, є ідеалізованим. Під час дослідження були зроблені такі припущення:

- передавання інформації всіх користувачів розпочинається одночасно в певний “нульовий” момент часу;
- опорна послідовність синхронізована з послідовністю, яка використовується для передавання інформації;
- потужності сигналів усіх користувачів на вході приймача є однаковими.

Для коміркових систем зв'язку затримка поширення сигналів може набувати різні значення. В напрямку базової станції, для поширення сигналу користувача, розташованого біля неї, необхідно менше часу ніж для сигналу користувача, розташованого на межі комірки. У приймачах синхронізація послідовностей забезпечується додатковими пристроями, які працюють згідно із складними алгоритмами та мають певну похибку. Отже, на помилковий результат детектування прийнятої інформації, крім завад та шуму, впливатиме передавання інформації іншими користувачами – завади множинного доступу (які виникають через кореляційні характеристики послідовностей). Наприклад, послідовності Уолша є ортогональними лише у випадку, коли  $\tau = 0$ . В результаті досліджень кореляційних характеристик послідовностей Уолша [4] встановлено, що ряд послідовностей містять бокові пелюстки АКХ та ВКХ. Наявність цих бокових пелюсток, неточна синхронізація та зміна потужності сигналів можуть призвести до помилкового детектування прийнятого сигналу навіть за відсутності завад та шумів.

1. Lee Jhong S., Miller Leonard E. *CDMA system engineering handbook*. Artech House mobile communication library, 1998. 2. Ипатов В. *Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения*. – М.: Техносфера, 2007. – 488 с. 3. Скляр Б. *Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, исп.: Пер. с англ.* – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 1104 с. 4. Михайленіч П.М., Пелішок В.О., Мохаммад Хасан Алі Самур *Особливості використання кодів Уолша для систем зв'язку з кодовим розділенням каналів // Вісник Хмельницького національного університету. Т. 2. Технічні науки. Хмельницьк 2007.*