

УДК 621.391

А.О. Ивасюк, Ю.Л. Поночовный, Л.М. Погребняк

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ «КПИ», Полтава*

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВНЫХ CDMA-КОДОВ, ПОСТРОЕННЫХ ПО ПРАВИЛУ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ДВУХ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ОДИНАКОВОЙ ДЛИНЫ**

*В статье проанализированы существующие методы формирования составных последовательностей расширения спектра, построенных по правилу присоединения. Предложен усовершенствованный метод построения составных CDMA-кодов, основанный на использовании двух характеристических последовательностей одинаковой длины, сформированных в простом поле Галуа.*

**Ключевые слова:** характеристические последовательности, составные CDMA-коды.

### **Введение**

**Постановка проблемы.** Анализ военных конфликтов последнего десятилетия свидетельствует о качественно новом витке развития военного искусства. Вопрос информационного преимущества, как никогда раньше, влияет на успешный исход боевых операций.

Одним из путей своевременного и правильного доведения информации в любую точку дислокации является использование системы радиосвязи, отвечающей современным требованиям. Для обеспечения передачи большого объема различных типов данных, постоянно увеличивающемуся количеству корреспондентов, целесообразно использовать множественный доступ с кодовым разделением абонентов (CDMA) и прямым расширением спектра (DS).

Такие характеристики DS-CDMA систем связи, как количество одновременно работающих абонентов, качество предоставляемых услуг и безопасность передаваемой информации во многом определяются свойствами псевдослучайных кодовых последовательностей (ПСП), непосредственно формирующих сложный сигнал.

Составные ПСП формируются по правилу присоединения кодовых последовательностей разных по длине или принципу построения. Основными критериями качества кодов есть:

- 1) размер ансамбля;
- 2) структурная скрытность;
- 3) длина кодовых последовательностей;
- 4) уровень пиков автокорреляционной (АКФ) и взаимокорреляционной (ВКФ) функций.

Задача разработки метода кодирования, позволяющего получить большие размеры ансамблей ПСП с удовлетворительными корреляционными свойствами, является актуальной. Одним из ряда возможных ее решений есть синтез новых и усовершенствование существующих методов формирования составных ПСП. Данный тип последователь-

ностей обладает улучшенными ансамблевыми и структурными свойствами по сравнению с CDMA-кодами которые наиболее полно описаны теоретически и достаточно часто применяются на практике (M-последовательности, последовательности де Брейна, ортогональные коды Уолша, характеристические последовательности) [1, 2].

**Анализ литературных источников.** Долгое время составные коды синтезировались с помощью алгоритмов, основанных на переборе полученного ансамбля, с целью выбора последовательностей, обладающих необходимыми характеристиками [2 – 4]. В [4] описаны теоретические положения, устанавливающие взаимную связь между уровнями корреляционных функций составного CDMA-кода и значениями соответствующих функций кодов ее формирующих. Таким образом, оговоренные положения помогают сократить время, затрачиваемое для построения составных кодов расширения спектра, а также они помогают ограничить круг требований к ПСП, формирующих ансамбль составных кодов по правилу присоединения, с целью минимизации уровней боковых лепестков синтезированных последовательностей.

**Целью данной статьи** является усовершенствование правила построения составных CDMA-кодов, основанное на использовании двух характеристических последовательностей одинаковой длины, сформированных в простом поле Галуа.

### **1. Усовершенствованный метод построения составных CDMA-кодов**

Усовершенствованный метод построения составных CDMA-кодов основан на анализе свойств ПСП [1, 4, 6, 7]; условий работы асинхронных широкополосных радиосетей [1, 2] и существующих методов формирования составных последовательностей по правилу присоединения [2 – 4]. Суть метода заключается в использовании только двух характеристических последовательностей одинаковой дли-

ны, построенных с помощью разных первообразных элементов простого поля Гауа GF (p).

Предложенный метод расширяет возможности построения ансамбля составных сигналов {G} по правилу присоединения, которое можно представить с помощью графической структуры, приведенной на рис. 1 (J, G, Y – кодовые последовательности, используемые для построения составной ПСП, l<sub>J</sub>, l<sub>G</sub>, l<sub>Y</sub> – соответствующая длина каждого из сегментов, L = l<sub>J</sub> + l<sub>G</sub> + l<sub>Y</sub> – длина составной последовательности).



Рис. 1. Структура составной последовательности, построенной по правилу присоединения

Аналитическое выражение, описывающее правило построения составных кодов по правилу присоединения, в соответствии с [2, 4], имеет следующий вид:

$$\mu = \{\mu_i : i \in 0, 1, \dots, L-1\}, \text{ при } L = \sum_{j=1}^n l_j; \quad (1)$$

$$\mu_i = \mu_{k=\overline{1:l_j}}^{j=\overline{1:n}}, \text{ при } i \leq \overline{1:l_j},$$

где  $\mu_i$  – элемент составной последовательности по правилу присоединения;  $\mu_k^j$  – k-й элемент j-го сегмента составной последовательности; n – количество сегментов, формирующих составную последовательность; l<sub>j</sub> – длина j-сегмента составной последовательности; L – длина составной последовательности, построенной по правилу присоединения.

Метод, основанный на правиле присоединения, в упрощенном виде представлен на рис. 2, где G<sup>(1)</sup><sub>c</sub> – ансамбль составных последовательностей, построенных по правилу присоединения.

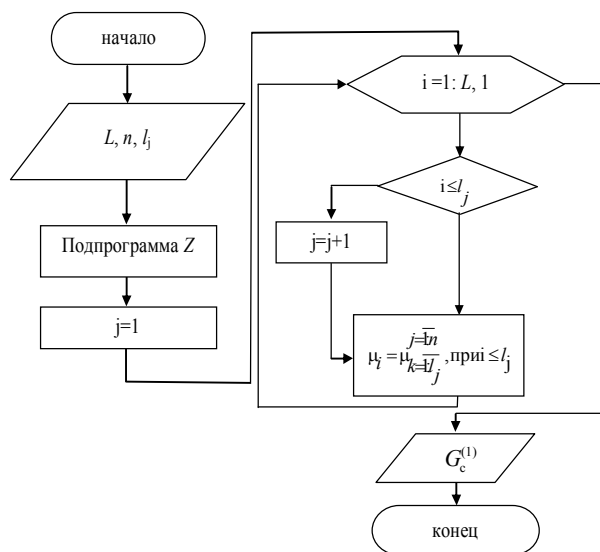


Рис. 2. Алгоритм формирования составной последовательности по правилу присоединения

Для последовательности длиной L определяется количество n сегментов, из которых она формируется, а также их длина l<sub>j</sub>. Подпрограмма Z, реализующая алгоритмы формирования сегментов, строит заданные кодовые сегменты.

На сегодняшний день в качестве кодовых сегментов чаще всего используются M-последовательности и коды Голда [2].

В усовершенствованном методе предлагается использовать характеристические последовательности, длина которых l = 4x = p – 1 кратна четырем [4]. Аналитический вариант записи усовершенствованного метода представлен формулой (2):

$$\mu_i = \begin{cases} \mu_i^1 & \text{при } i \leq \frac{L}{2}, i = \overline{1:l}; \\ \mu_{i-\frac{L}{2}}^2 & \text{при } i \geq \frac{L}{2}, i = \overline{1:l}. \end{cases} \quad (2)$$

где  $\mu_i$  – элемент составной последовательности по правилу присоединения;  $\theta_0$  – минимальный первичный элемент мультипликативной группы поля Гауа GF (p);  $\mu_i^1$  – элемент характеристической последовательности, построенной при использовании  $\theta_0^k$ ;  $\mu_i^2$  – элемент характеристической последовательности, построенной при использовании  $\theta_0^k$ ; l = 4x = p – 1 – длина характеристической последовательности; L = 2l = 2(p-1) – длина составной последовательности.

Алгоритм формирования последовательности в соответствии с усовершенствованным методом изображен на рис. 3.

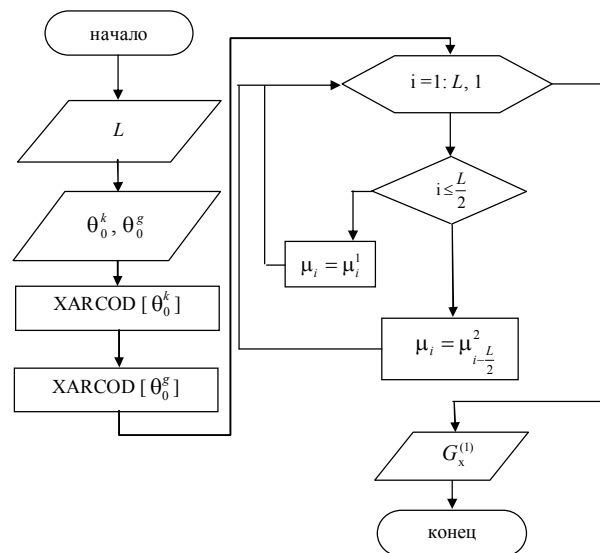


Рис. 3. Алгоритм формирования составной последовательности с использованием усовершенствованного метода

На рис. 3 обозначены: XARCOD [θ<sup>k</sup><sub>0</sub>] – процедура формирования характеристической последовательности длиной L на основании первообразного элемента θ<sup>k</sup><sub>0</sub>; XARCOD [θ<sup>g</sup><sub>0</sub>] – процедура формиро-

вания характеристической последовательности длиной  $L$  на основании первообразного элемента  $\theta_0^g$ ;  $\theta_0^k$  та  $\theta_0^e$  – определяются функцией шифрования;  $G$  – ансамбль составных сигналов длиной  $l$ , построенный путем присоединения двух характеристических последовательностей с учетом циклического сдвига одной из них.

## 2. Оценка характеристик сформированных CDMA-кодов

На основе усовершенствованного метода были созданы программы в среде MATLAB, позволившие синтезировать составные сигналы длительностью  $L = \{72, 120, 272\}$ , примеры которых приведены ниже.

$L=72$

```
1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0
1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0
```

$L=120$

```
1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0
1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0
1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1
1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0
```

$L=272$

```
0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 1 0 1 0 0
0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1
0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0
1 0 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0
0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0
1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 1
1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1
1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1
0 1
```

Проведенная оценка максимального значения боковых пиков периодической АКФ синтезированных ПСП показала, что  $|R_{\text{пфак}}(m)|_{\text{max}} = \{16, 24, 44\}$ .

## Выводы

В статье рассмотрен усовершенствованный метод формирования составных последовательностей по правилу присоединения. Было предложено использовать в качестве сегментов только две характеристические последовательности длины  $l = 4x = p - 1$ . Для усовершенствованного метода представлен алгоритм, позволяющий осуществить его реализацию в программном виде. С помощью программ, написанных в среде MATLAB, получены составные ПСП различной длины. Выполнена оценка максимального значения боковых пиков периодической автокорреляционной функции синтезированных ПСП. Полученные результаты показали, что значения боковых пиков АКФ у синтезированных ПСП меньше, чем у ПСП, сформированных с помощью известных методов [6]. Это позволяет повысить достоверность приема сигналов в CDMA-системах.

## Список литературы

1. Гепко И.А. Многопользовательский прием в СМА теория и методы / И.А. Гепко // Зв'язок – 2000. – № 4. – С. 17 – 21.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с
3. Горбенко И.Д. Теория дискретных сигналов. Ч.1. Ортогональные дискретные сигналы / И.Д. Горбенко, Ю.В. Стасев, А.А. Замула – Х.: МО СССР, 1988. – 118 с.
4. Стасев Ю.В. Основи теорії побудови сигналів / Ю.В.Стасев – Х.: ХВУ, 1999г. – 88 с.
5. Свердлик М.Б. Оптимальные дискретные сигналы / М.Б.Свердлик – М.: Сов. радио, 1975. – 200 с
6. Архипкин В.Я. В-CDMA синтез и анализ систем фиксированной радиосвязи / В.Я. Архипкин, И.А. Голяницкий – М.: Эко-Трендз, 2002. – 195 с.

Надійшла до редколегії 1.04.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Харьковский национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ВДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ФОРМУВАННЯ СКЛАДНИХ CDMA-КОДІВ, ПОБУДОВАНИХ ЗА ПРАВИЛОМ ПРИЄДНАННЯ ДВОХ ХАРАКТЕРИСТИЧНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ОДНАКОВОЇ ДОВЖИНИ

О.О. Івасюк, Ю.Л. Поночовний, Л.М. Погребняк

*В статті проаналізовані існуючі методи формування складених послідовностей розширення спектра за правилом приєднання. Запропоновано вдосконалений метод побудови складних CDMA-кодів, що базується на використанні двох характеристичних послідовностей однакової довжини, сформованих в простому полі Гаула.*

**Ключові слова:** характеристичні послідовності, складені CDMA-коди.

## ADVANCED METHOD OF FORMATION OF THE COMPOUND CDMA-CODES BUILT BY A RULE OF JOINING OF TWO CHARACTERISTIC SEQUENCES OF EQUAL LENGTH

A.O. Ivasjuk, Y.L. Ponochovnyi, L.M. Pogrebnyak

*In article existing compound sequences formation methods of a spectrum expansion which are built by a joining rule analysed. The advanced compound CDMA-codes construction method which it is based on use of two characteristic sequences equal is offered are long. Galua generated in simple field.*

**Keywords:** characteristic sequences, component CDMA-codes.