

УДК 621.396.253

А.А. Смирнов

Кировоградский национальный технический университет, Кировоград

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ

Исследуются известные методы синтеза дискретных сигналов. Определено, что перспективными являются методы синтеза дискретных сигналов с особыми корреляционными свойствами, величины боковых выбросов функции корреляции которых определяются строгими аналитическими соотношениями и непосредственно связаны со структурными свойствами ансамблей дискретных последовательностей.

Ключевые слова: цифровая связь, кодовое разделение каналов, дискретные сигналы.

Введение

Постановка проблемы в общем виде и анализ литературы. Эффективное функционирование цифровых систем связи с обеспечением множественного доступа по технологии кодового разделения каналов непосредственно зависит от ансамблевых, корреляционных и структурных свойств формируемых дискретных сигналов [1 – 12].

Перспективным направлением дальнейших исследований в этом смысле является разработка методов синтеза дискретных сигналов у которых величины боковых выбросов функции корреляции определяются строгими аналитическими соотношениями и непосредственно связаны со структурными и групповыми свойствами ансамблей дискретных последовательностей.

Целью данной статьи является исследования известных методов синтеза дискретных сигналов, обоснование путей их дальнейшего развития.

Основной раздел

Анализ известных методов синтеза дискретных сигналов

Проанализируем известные методы синтеза дискретных сигналов, которые могут быть использованы в цифровых системах связи с обеспечением множественного доступа по технологии кодового разделения каналов, проведем сравнительные исследования ансамблевых и корреляционных свойств формируемых последовательностей.

Обзор известных методов синтеза дискретных сигналов представлен на рис. 1 [1 – 9].

Наибольшее развитие на сегодняшний день получили методы синтеза дискретных сигналов, основанные на использовании рекуррентных преобразований и соответствующих линейных и нелинейных рекуррентных последовательностей.

Процедуры формирования таких последовательностей легко реализуются с использованием простейших переключаемых схем с регистрами сдвига.

Линейные рекуррентные последовательности формируются с использованием регистров сдвига с линейной обратной связью и при соответствующем выборе функции обратной связи позволяют обеспечить максимальный период формируемых последовательностей. В литературе такие сигналы получили название линейных рекуррентных последовательностей максимального периода (МЛРП) или m -последовательностей [1 – 9]. На их основе формируются многие другие классы сигналов: последовательности Лежандра, Пели-Плоткина, сигналы Баркера и многие другие.

В работах [1 – 7] исследованы методы синтеза дискретных сигналов с действительными компонентами на основе решения основной системы уравнений по корреляционным свойствам сигналов. Многофазные сигналы, в том числе многофазные сигналы Френка исследованы в работе [8].

Решению задач синтеза производных ортогональных сигналов и составных последовательностей посвящены работы [1, 2, 5, 7, 9]. Показано, что по ансамблевым, корреляционным и структурным характеристикам синтезируемые последовательности обладают улучшенными свойствами. В тоже время, величины боковых выбросов функции корреляции для синтезируемых классов сигналов определяются статистическими методами, строгого доказательства и аналитических соотношений, описывающих корреляционные свойства, для таких сигналов отсутствуют.

Перспективным направлением исследований являются методы синтеза дискретных сигналов с особыми корреляционными свойствами [4, 8, 10 – 12].

Величины боковых выбросов функции корреляции для таких сигналов определяются строгими аналитическими соотношениями и непосредственно связаны со структурными и групповыми свойствами ансамблей последовательностей. Другими словами, корреляционные свойства синтезируемых сигналов определяются заранее заданными величинами боковых выбросов функции корреляции и постулируются строгими математическими соотношениями [4, 8, 10 – 12].



Рис. 1. Известные методы синтеза дискретных сигналов

Рассмотрим основные методы синтеза дискретных сигналов с особыми корреляционными свойствами, проанализируем основные аналитические соотношения для оценки уровней боковых выбросов функции корреляции, обоснуем перспективные направления дальнейших исследований.

Сравнительные исследования методов синтеза дискретных сигналов с особыми свойствами

Проведенный выше анализ показал, что к дискретным сигналам с особыми корреляционными свойствами относятся: ортогональные, биортогональные, субортогональные, симплексные сигналы, последовательности, формируемые с использованием теории конечных полей, в частности теории колец многочленов: m-последовательности, сигналы Лежандра, Пэли-Плоткина, Баркера, последовательности Голда, большое и малое множество Касами и др. [1 – 9].

Результаты сравнительного анализа некоторых методов синтеза сигналов с особыми корреляционными свойствами приведены в табл. 1. Сравнение выполнялось по следующим показателям: длина n периода формируемых последовательностей, мощ-

ность M формируемых ансамблей дискретных сигналов, максимальное значение модуля боковых лепестков функции корреляции ρ .

Проведенный анализ показал (табл. 1), что дискретные сигналы с особыми корреляционными свойствами позволяют обеспечить заданный уровень помехоустойчивости связи.

Боковые выбросы функции корреляции таких сигналов принимают конечные заранее известные значения, что позволяет использовать их на различных этапах организации цифровой связи, в том числе для синхронизации каналов и в радиолокации.

Основным недостатком известных методов синтеза дискретных сигналов с особыми свойствами является небольшая мощность ансамблей формируемых последовательностей. Так, например, число МЛРП, последовательностей Лежандра, Пэли-Плоткина и др. определяется числом неприводимых полиномов (функцией Эйлера), задающих правило формирования последовательностей.

Рассмотренные классы дискретных сигналов (МЛРП, Лежандра, Пэли-Плоткина и др.) обладают улучшенными корреляционными свойствами, однако из-за малой мощности ансамблей их использова-

ние в современных системах радиосвязи мало перспективно. Этот вывод применим в такой же степени и к системам стеганографической защиты информации, построенным по технологии прямого расширения спектра.

Результаты сравнительного анализа показывают, что улучшенными ансамблевыми свойствами обладают последовательности Голда, малое и большое множество последовательностей Касами (табл. 1).

Таблица 1

Ансамблевые и корреляционные характеристики некоторых дискретных сигналов с особыми свойствами

Класс сигналов	n	M	ρ
m-последовательности	$2^m - 1$, $m \in Z^+$	$\varphi(2^m - 1) / 2m$	$\rho = -\frac{1}{2^m - 1}$
Последовательности Лежандра	$n \leq (p^m - 1)$, $p, m \in Z^+$	$M \leq \varphi(p^m - 1) / 2m$	$\rho = \frac{p^{m-1}}{n}$
Последовательности Лежандра с $m = 2$, сигналы Баркера	$p + 1$, $p = 3, 5, 7, 11, 13$	$\frac{p+1}{8} \frac{\varphi(p^2 - 1)}{\varphi(p - 1)}$	$\rho = 1/p$
Последовательности Лежандра, $m = 2$	$p + 1$, $p \in Z^+$, $p \neq 3, 5, 7, 11, 13$	$\frac{p+1}{8} \frac{\varphi(p^2 - 1)}{\varphi(p - 1)}$	$\rho = 1/\sqrt{p}$
Сигналы Пэли-Плоткина	p , $p \in Z^+$	p	$\rho = 1/p$
Сигналы Голда	$2^m - 1$, $m = 2p + 1$, $p \in Z^+$	$2^m + 1$	$\rho = \frac{1 + 2^{(m+1)/2}}{2^m - 1}$
Сигналы Голда	$2^m - 1$, $m = 2p$, $p \in Z^+$	$2^m + 1$	$\rho = \frac{1 + 2^{(m+2)/2}}{2^m - 1}$
Малое множество Касами	$2^m - 1$, $m = 2p$, $p \in Z^+$	$2^{m/2}$	$\rho = \frac{1 + 2^{m/2}}{2^m - 1}$
Большое множество Касами	$2^m - 1$, $m = 2p$, $p \in Z^+$	$2^{m/2}(2^{m/2} + 1)$	$\rho = \frac{1 + 2^{(m+2)/2}}{2^m - 1}$

Мощность ансамблей таких сигналов значительно увеличена.

Величина боковых лепестков функции корреляции ρ для этих последовательностей также повышена, однако с увеличением длины последовательностей n проигрыш в корреляционных свойствах незначителен $\left(\rho \rightarrow \frac{-1}{n}\right)$.

Следовательно, построение больших ансамблей дискретных сигналов с использованием развитого математического аппарата конечных полей и, в частности, теории колец многочленов является перспективным направлением дальнейших исследований.

Наиболее важными, в этом смысле, являются методы, основанные на использовании алгебраических и структурных свойств групповых кодов. Так, в работах [10 – 12] показано, что субортогональные дискретные сигналы, трехуровневые сигналы Голда являются частным случаем n -уровневых дискретных последовательностей, образованных сечением циклических орбит группового двоичного кода и могут быть аналитически формализованы с использованием математического аппарата теории конечных полей и, в частности, теории колец многочленов.

Таким образом, перспективным направлением в развитии методов формирования дискретных сигналов является подход, который основан на исполь-

зовани алгебраїчних і структурних властивостей циклічних орбіт групових кодів, який дозволяє синтезувати нові класи дискретних сигналів з багаторівневою функцією кореляції [10 – 12].

Выводы

Ефективність функціонування цифрових системах зв'язу з забезпеченням багатоканального доступу за технології кодового розділення каналів безпосередньо залежить від ансамблевих, кореляційних і структурних властивостей використовуваних дискретних сигналів.

Перспективними в цьому сенсі є методи синтезу дискретних сигналів з особливими кореляційними властивостями, величини бокових викидів функції кореляції яких визначаються строгими аналітичними співвідношеннями і безпосередньо пов'язані з структурними властивостями ансамблів дискретних послідовностей.

Найбільш перспективними в цьому сенсі є методи синтезу на основі сечення циклічних орбіт групового коду, які дозволяють сформувати багаторівневу послідовність з заданими дистанційними властивостями і алгебраїчно будувати великі ансамблі дискретних сигналів з багаторівневою функцією авто- і взаємної кореляції.

Список литературы

1. Горбенко И.Д. Анализ производных ортогональных систем сигналов / И.Д. Горбенко, Ю.В. Стасев // Радиотехника. – 1989. – № 9. – С. 16-18.
2. Стасев Ю.В. Основы теории побудови сигналів / Ю.В. Стасев. – Х.: ХВУ, 1999. – 87 с.
3. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов / Л.Е. Варакин. – М.: Сов. радио, 1978. – 304 с.

4. Цифровые методы в космической связи / под ред. С. Голомба. – М.: Связь, 1969. – 272 с.
5. Горбенко И.Д. Теория дискретных сигналов. Ортогональные сигналы / И.Д. Горбенко, Ю.В. Стасев, А.А. Замула. – МО СССР, 1988. – 119 с.
6. Гряник М.В. Технология CDMA – будущее сотовых систем в Украине / М.В. Гряник, В.И. Фролов // Мир связи. – 1998 – № 3. – С. 40-43.
7. Свердлик М.Б. Оптимальные дискретные сигналы / М.Б. Свердлик. – М.: Сов. радио, 1975. – 200 с.
8. Амиантов И.Н. Избранные вопросы статистической теории связи / И.Н. Амиантов. – М.: Советское радио, 1971. – 416 с.
9. Теорія сигнально-кодових конструкцій / Н.І. Науменко, Ю.В. Стасев, О.О. Кузнецов, С.П. Євсєєв. – Х.: ХУПС, 2008. – 489 с.
10. Кузнецов А.А. Формирование дискретных сигналов с багаторівневою функцією кореляції / А.А. Кузнецов, А.А. Смирнов, В.Н. Сай // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2011 – Вып. 5(95). – С. 50-60.
11. Discrete Signals with Multi-Level Correlation Function / Y. Stasev, A. Kuznetsov, V. Sai, O. Karpenko // Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010): Proceedings. – К.: National Aviation University “NAU-Druk” Publishing House – 2010. – Pp. 176-179.
12. Stasev Y. The Derivative Orthogonal Signals Systems / Y. Stasev, N. Naumenko, A. Kuznetsov // International Journal of Engineering Practical Education. IJEPE Volume 1, Issue 1, August 2012. – Pp. 15-20.

Поступила в редколлегию 7.08.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Кузнецов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДОМИХ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ДИСКРЕТНИХ СИГНАЛІВ

О.А. Смирнов

Досліджуються відомі методи синтезу дискретних сигналів. Визначено, що перспективними є методи синтезу дискретних сигналів з особливими кореляційними властивостями, величини бічних викидів функції кореляції яких визначаються строгими аналітичними співвідношеннями і безпосередньо пов'язані з структурними властивостями ансамблів дискретних послідовностей.

Ключові слова: цифровий зв'язок, кодовий поділ каналів, дискретні сигнали.

RESEARCH KNOWN METHODS OF SYNTHESIS OF DISCRETE SIGNALS

A.A. Smirnov

Explores the known methods of synthesis of discrete signals. Defined that are promising methods for the synthesis of digital signals with special correlation properties of the side emission correlation function are determined by strict analytical ratios and directly related to the structural properties of ensembles of discrete sequences.

Keywords: digital communication, code division multiple access, digital signals.