

УДК 621.3.052.63

Семенко А. И., докт. техн. наук, профессор (Тел.: +038 (50) 385 20 36. E-mail: setel@ukr.net)

Бокла Н. И., канд. техн. наук

(Государственный университет телекоммуникаций, г.Киев)

СОЗДАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ГОЛДА ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Семенко А. И., Бокла Н. И. Створення модифікованих псевдовипадкових послідовностей Голда для телекомунікаційних систем з кодовим розподілом каналів. Запропонований метод утворення модифікованих псевдовипадкових послідовностей (ПВП) Голда для побудови телекомунікаційних систем з кодовим розподілом каналів, що дозволяє використовувати в системах М-позиційні сигнали. Показано, що застосування модифікованих ПВП Голда дозволяє зменшити необхідну смугу пропускання радіоканалу при даній кількості кодованих каналів або збільшити кількість кодованих каналів при даній смузі пропускання радіоканалу. Розроблений графічний інтерфейс користувача дозволяє автоматично відбирати і відкидати реалізації модифікованих ПВП Голда по заданому рівню бічних пелюсток взаємкореляційних функцій.

Ключові слова: модифіковані ПВП Голда, автокореляційна функція, взаємкореляційні функції, фазоманіпульований сигнал, система MATLAB, широкосмугові системи

Семенко А. И., Бокла Н. И. Создание модифицированных псевдослучайных последовательностей Голда для телекоммуникационных систем с кодовым разделением каналов. Предложен метод образования модифицированных псевдослучайных последовательностей (ПСП) Голда для построения телекоммуникационных систем с кодовым разделением каналов, позволяющий использовать в системах М-позиционные сигналы. Показано, что применение модифицированных ПСП Голда позволяет уменьшить необходимую полосу пропускания радиоканала при данном количестве кодированных каналов или увеличить количество кодированных каналов при данной полосе пропускания радиоканала. Разработанный графический интерфейс пользователя позволяет автоматически отбирать и отбрасывать реализации модифицированных ПСП Голда по заданному уровню боковых лепестков взаимокорреляционных функций.

Ключевые слова: модифицированные ПСП Голда, автокорреляционная функция, взаимокорреляционные функции, фазоманипулированный сигнал, система MATLAB, широкополосные системы

Semenko A. I., Bokla N. I. Creation of the modified pseudorandom Gold sequences for telecommunication systems with CDMA. Modified Gold pseudo-random sequences (PRS) generation method for building telecommunication systems with CDMA is proposed. The method make possible to use M-position signals in the telecommunication systems. It has been shown that the use of modified Gold PRS reduces the required bandwidth of the radio channel for a given quantity of coded channels or increase the number of coded channels for a given radio channel bandwidth. Designed graphical user interface allows to automatically select and reject the realizations of modified Gold PSP by the predetermined sidelobes level of cross-correlation functions.

Keywords: modified Gold PRS, autocorrelation function, the inter-correlation functions, phase-shifted signal, system MATLAB, broadband systems

Введение. В настоящее время значительное внимание уделяется широкополосным системам с кодовым разделением каналов. Такие системы отличаются уникальной конфиденциальностью, а также повышенной помехозащищенностью, электромагнитной совместимостью и улучшенной энергетикой.

Для манипуляции сигнала используются различные псевдослучайные последовательности (ПСП): m-последовательность, Касами, Голда, Уолша [1...5]. Главное требование при выборе вида манипулирующей последовательности – получение ансамбля кодированных сигналов, имеющих взаимокорреляционные функции (ВКФ) попарных сигналов с минимальными боковыми лепестками, т.е. созданные сигналы должны быть взаимно ортогональные или квазиортогональные. Именно по корреляционным свойствам автокорреляционных функций (АКФ) и ВКФ ПСП, которые зависят от типа, длины, частоты поступления символов, даже от их посимвольной структуры, выбирают более эффективные виды последовательностей.

При этом также важно получить максимальное количество кодированных каналов при данной ширине полосы пропускания канала. В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяет применение ПСП Голда.

Создание и применение модифицированных ПСП Голда. Для повышения эффективности систем широко используются многопозиционные ФМ- сигналы. ПСП Голда всегда имеют непарное количество элементарных импульсов, что в большинстве случаев не позволяет непосредственно их использовать для образования многопозиционных ФМ- сигналов. В связи с этим предлагается к классической ПСП Голда добавлять (или отнимать) определенное количество импульсов, чтобы новые ПСП, которые названы нами модифицированными ПСП Голда, имели количество импульсов, кратное количеству разрядов многопозиционного сигнала [6...9].

В Табл.1 показан метод образования модифицированных ПСП Голда. При этом указаны дополнительные импульсы, которые добавляются (+1) или отнимаются (-1) от классической ПСП Голда. Ряд ПСП Голда не требуют модификации (в Табл.1 они обозначены «#»).

Метод образования модифицированных ПСП Голда

Табл. 1

k, M	N					
	31	63	127	255	511	1023
2, 4	+1; -1	+1; -1	+1; -1	+1;-1	+1; -1	+1; -1
3, 8	+1, +1; -1	#	+1, +1; -1	#	+1,+1;-1;	#
4, 16	+1; -1,-1,-1	+1; -1,-1,-1	+1;	+1; -1,-1,-1	+1; -1,-1,-1,-1	+1; -1,-1,-1
5, 32	+1,+1,+1 +1; -1	+1, +1; -1, -1, -1	+1,+1,+1; -1, -1	#	+1,+1,+1,+1; -1	+1,+1; -1,-1,-1

k – количество разрядов двоичного сигнала; M – количество позиций ФМ-сигнала.

Естественно, изменение количества импульсов в структуре ПСП Голда приведет к изменению ее корреляционных свойств. Поэтому весьма важно оценить корреляционные характеристики модифицированных ПСП Голда. Понятно, что исследование АКФ и ВКФ большого количества комбинаций сигналов является достаточно трудоемкой процедурой. Для этого в системе MATLAB разработан графический интерфейс пользователя (ГИП), что позволяет автоматически формировать виды ПСП разных длин, осуществлять расчет и сравнительный анализ боковых лепестков, статистических характеристик АКФ и ВКФ разных ПСП, а также графически строить их корреляционные функции [8].

Разработанный ГИП является достаточно простым в использовании (Рис. 1). Для начала исследований необходимо ввести исходные данные для классической ПСП, избрать тип и длину последовательностей, которые необходимо сравнивать.

Поскольку ПСП в большинстве случаев формируются на основе использования примитивных полиномов, в панели "Выбор полиномов" следует указать величину n , которое показывает количество ячеек памяти регистра сдвига для формирования ПСП заданной длины N :

$$N = 2^n - 1. \tag{1}$$

Кнопка "Полиноми" показывает все примитивные полиномы для заданного n . Для формирования ПСП следует избрать необходимые для исследования полиномы.

В панели "КФ класичних ПВП" есть 4 кнопки, с помощью которых можно увидеть соответствующие графические изображения для аperiodической и периодической АКФ,

апериодической и периодической ВКФ и автоматически будут рассчитаны статистические характеристики ПСП [8]:

– величина математического ожидания (среднее значение) уровня боковых лепестков корреляционных функций $m(|R_b|)$

$$m(|R_b|) = \left(\frac{1}{N} \right) \sum_{i=0}^N |R_{bi}|; \quad (2)$$

– среднее квадратическое отклонение модуля выбросов боковых лепестков корреляционных функций

$$D^{1/2}(|R_b|) = \sqrt{\frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N [|R_{bi}| - m(|R_b|)]^2}; \quad (3)$$

– средняя мощность

$$P_{cp} = (D^{1/2})^2 + m(R_b)^2. \quad (4)$$

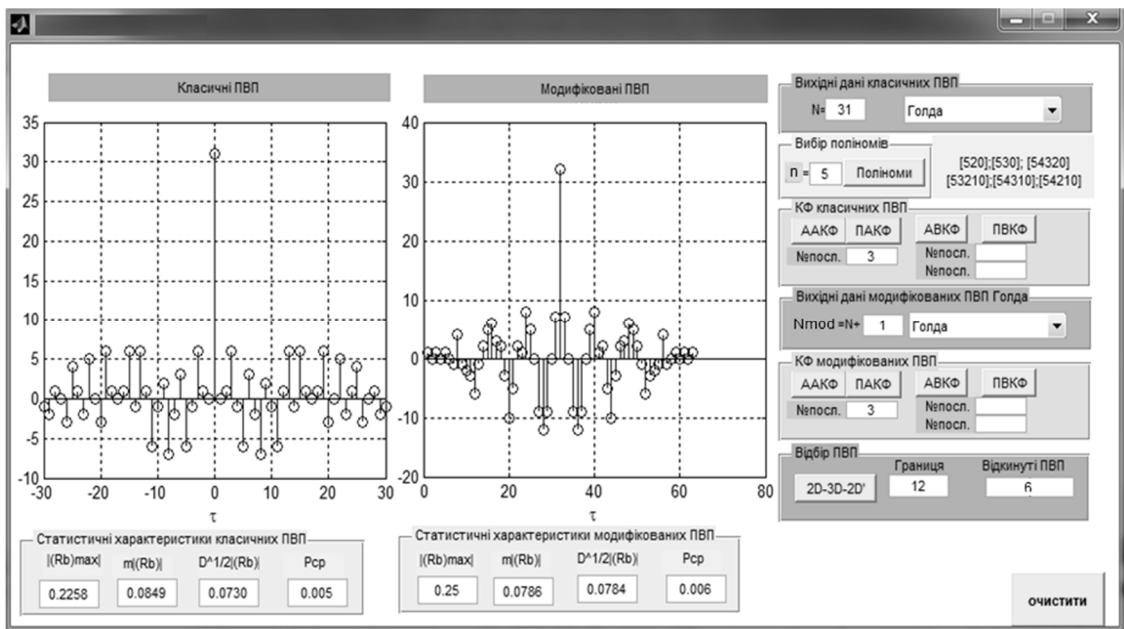


Рис.1. ГИП для сравнительного анализа разных ПСП

Также следует указать порядковый номер последовательности для исследования АКФ и две последовательности, между которыми будет рассчитана ВКФ.

Дальше в панели "Вихідні дані модифікованих ПВП Голда" следует указать дополнительные импульсы (0 или 1). Все следующие заполнения необходимо осуществить как для классических ПСП.

Кнопка "Очистити" очищает введенные и рассчитанные данные, а также графические изображения для следующих сравнительных исследований.

В панели "Відбір ПВП" запрограммирован метод отбора модифицированных ПСП в соответствии с установленной границей бокового лепестка с указанием количества отброшенных ПСП, которые превышают данную границу.

На Рис. 2 показан пример в трехмерном пространстве 3D ВКФ ансамбля последовательностей длиной $N=31+1$, которые исследуются, и проведена граница на заданом уровне боковых лепестков классических последовательностей.

Суть предложенного метода заключается в следующем:

1) Первичными являются двумерные (2D) зависимости корреляционных функций, которые представлены совместно. Для этого сначала данные зависимости представляются в виде трехмерных зависимостей (3D), где они разнесены по оси z (Рис. 2).

2) Далее на данном 3D графике определены вспомогательные границы на избранном уровне, который отвечает необходимому максимальному значению боковых лепестков.

3) Проекция полученных 3D зависимостей на плоскость z , y обеспечивает совместное представление на плоскости (2D') данных зависимостей (Рис. 3).

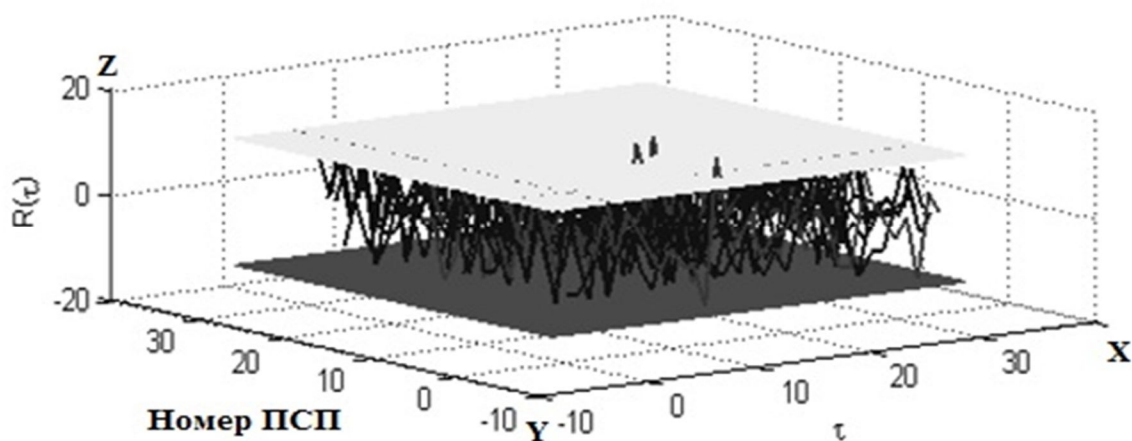


Рис. 2. Ансамбль последовательностей в формате 3D

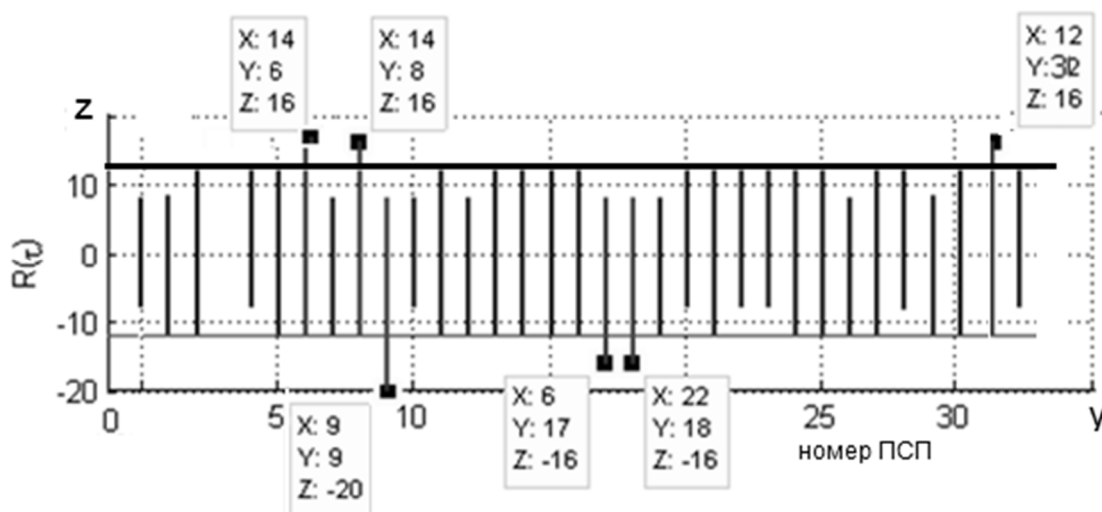


Рис. 3. Ансамбль последовательностей в формате 2D'

Таким образом, на одном рисунке (Рис. 2) можно обеспечить совместное представление многих последовательностей при сохранении наглядной информации о каждой из них и предоставление возможности их удобного взаимосравнения.

На Рис. 2 на уровне 12 (верхняя и нижняя плоскости) проведены две границы, которые "отрезают" реализации, боковые лепестки которых превышают установленный уровень.

Проекция на плоскость U, Z (Рис. 3) наглядно показывает коды (6 реализаций), которые будут отброшены. Данные плоскости можно провести и на других определенных уровнях.

Очевидно, что для данного примера надо отбросить 20% реализаций. Данный метод можно применять также для исследования АКФ различных видов ПСП.

Выводы:

1. Наиболее используемые при создании телекоммуникационных систем с кодовым разделением каналов ПСП Голда непосредственно не позволяют реализовать многопозиционные сигналы для повышения эффективности систем.

2. Предложенные модифицированные ПСП Голда, получаемые добавлением или отниманием импульсов от классической ПСП, позволяют создавать телекоммуникационные системы с многопозиционными сигналами, имеющие увеличенное количество кодированных каналов при данной полосе пропускания канала либо уменьшенную полосу пропускания канала при данном количестве кодированных каналов.

3. Модифицированные ПСП Голда имеют худшие корреляционные характеристики по сравнению с классическими ПСП. С помощью разработанного графического интерфейса пользователя можно автоматически отбирать и отбрасывать реализации, имеющие боковые лепестки взаимокорреляционных функций, превышающие заданные граничные значения.

Литература

1. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации / под ред. проф. В. Б. Пестрякова. – Москва : «Сов.радио», 1973г. – 424 с.
2. Вильмс Столлингс. Беспроводные линии связи и сети. – Москва, Санкт-Петербург : Киев : Вильямс, 2003. – 639 с.
3. Скляр Б. Цифровая связь / Б. Скляр. – Москва, Санкт-Петербург, Киев : Вильямс, 2004. – 1104 с.
4. Волков Л. Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики : учеб. пособие / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. – Москва : Эко -Трендз, 2005. – 392 с.
5. Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В. П. Ипатов. – Москва : Техносфера, 2007. – 488 с.
6. Патент України на корисну модель №64776 МПК H04 J 13/00. Телекомунікаційна широкосмугова радіосистема з кодовим розподілом каналів / Семенко А. І., Бокла Н. І. Заявник і патентовласник Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій. Заявл. 31.12. 2010; опубл. 25.11.2011, бюл. № 22.
7. Семенко А. І., Бокла Н. І. Метод двократного зменшення необхідної смуги пропускання каналу зв'язку в телекомунікаційній системі з кодовим розподілом каналів / А. І. Семенко, Н. І. Бокла // Зв'язок. – 2011. – №4. – С.23-25.
8. Бокла Н. І. Дослідження кореляційних властивостей ПВП за кодом Голда з використанням системи MATLAB / Н. І. Бокла // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій». – 2011. – Т.9, №4. – С. 386-391.
9. Семенко А. И. Эффективность телекоммуникационных систем с использованием модифицированных псевдослучайных последовательностей Голда / А. И. Семенко, Н. И. Бокла. – Электросвязь. – 2014. – №3. – С. 37-40.

Дата надходження в редакцію: 18.07.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Г. М. Розорінов