

Кодовые последовательности для системы связи на основе технологии UWB-CDMA

77-30569/291354

01, январь 2012

Калмыков В. В., Юдачев С. С.

УДК 621.396.4

МГТУ им. Н.Э. Баумана

judachev@gmail.com

Особенности технологии UWB (UltraWideBand). Проблема повышения скорости передачи информации по радиоканалу - одна из важнейших в настоящее время. Её решение позволяет реализовать телекоммуникационные системы с ограниченным покрытием, с пропускной способностью, необходимой для компьютерных сетей, и передачу больших потоков мультимедийной информации для персональных или корпоративных целей.

Продвижение в этом направлении связывают с применением систем со сверхширокополосными сигналами (UWB).

Назначение UWB можно определить так:

UWB – это беспроводная технология, предназначенная для передачи высококачественного мультимедийного контента на короткие (до 10 м) расстояния, с высокой пропускной способностью (до $480 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}}$) и низкой потребляемой мощностью [1].

Одно из основных преимуществ UWB заключается в том, что поскольку сигнал UWB занимает широкую полосу, то при малой мощности передатчика эта аппаратура не создает помех для других используемых беспроводных технологий.

Существует целый ряд различных подходов к реализации UWB. Один из них состоит в использовании в качестве сигнала-переносчика информации последовательности ультракоротких двухполярных импульсов длительностью порядка 0,5...2,0 нс, излучаемых без несущей. Основным недостатком такого метода является негибкость управления спектром излучаемого сигнала (положение границ занимаемой частотной полосы определяется только одним параметром – длительностью импульса), а так же необходимость подавления на входе приёмника узкополосных сигналов, являющихся помехами для систем UWB.

Возможный путь усовершенствования систем UWB связан с переходом к многополосной системе, предполагающей разбиение всего разрешенного диапазона на поддиапазоны шириной порядка 500 МГц, модуляцию сигнала внутри поддиапазона и переключение между поддиапазонами по некоторому закону.

Разделение на поддиапазоны позволяет динамически управлять спектром сигнала UWB, исключая те поддиапазоны, которые поражены мощными узкополосными помехами, а так же удовлетворять ограничениям, накладываемым на излучаемый спектр сигнала правилами, действующими в определенной стране или регионе.

В [1] описан вариант системы UWB, построенной с использованием сигнала с ортогональным частотным разделением (OFDM). В этом случае OFDM модуляция осуществляется в полосе порядка 500 МГц, а затем с помощью гетеродина сигнал переносится на центральную частоту того диапазона, в котором в данный момент ведется передача.

Однако вариант UWB-OFDM не свободен от целого ряда недостатков. Поскольку результирующий сигнал при OFDM представляет собой сигнал с амплитудной модуляцией (АМ), то его пик-фактор плохой. Это снижает эффективность использования мощности передатчика. Тракт передачи-приема такого сигнала должен быть линейным, т.к. амплитудные искажения сигнала АМ приводят к разрушению межканальной ортогональности и к возникновению внутрисистемных помех при OFDM. Необходимость минимизации искажений приводит также к требованию большого отношения сигнал/шум на входе демодулятора и использованию методов когерентной обработки сигнала OFDM. При весьма широкой полосе (до 500 МГц) возникает проблема сохранения частотно-фазовой структуры сигнала в реальном радиоканале, что так же может быть источником межканальных помех.

В [2] рассмотрен метод формирования UWB сигнала, менее чувствительного к действию помех и искажений в тракте передачи-приема. Он основан на применении широкополосных шумоподобных сигналов (ШПС), получаемых на основе псевдослучайных кодовых последовательностей (ПСП). Системы с такими сигналами назовем UWB-CDMA.

В такой системе двоичный групповой сигнал, получаемый методом мажоритарного уплотнения канальных ПСП, промодулированных информацией, осуществляет модуляцию на $0, \pi$ -сигнала одной из набора несущих частот, переключаемых по заданному закону (рис. 1). Полученный фазоманипулированный сигнал несущей частоты имеет пик-фактор значительно лучший, чем у сигнала OFDM, и не требует линейности тракта приема-передачи. Кроме того, поскольку канальные сигналы являются широкополосными шумоподобными, то множественный доступ в системе может реализоваться путем использования в качестве адресных сигналов ПСП из ортогонального ансамбля.

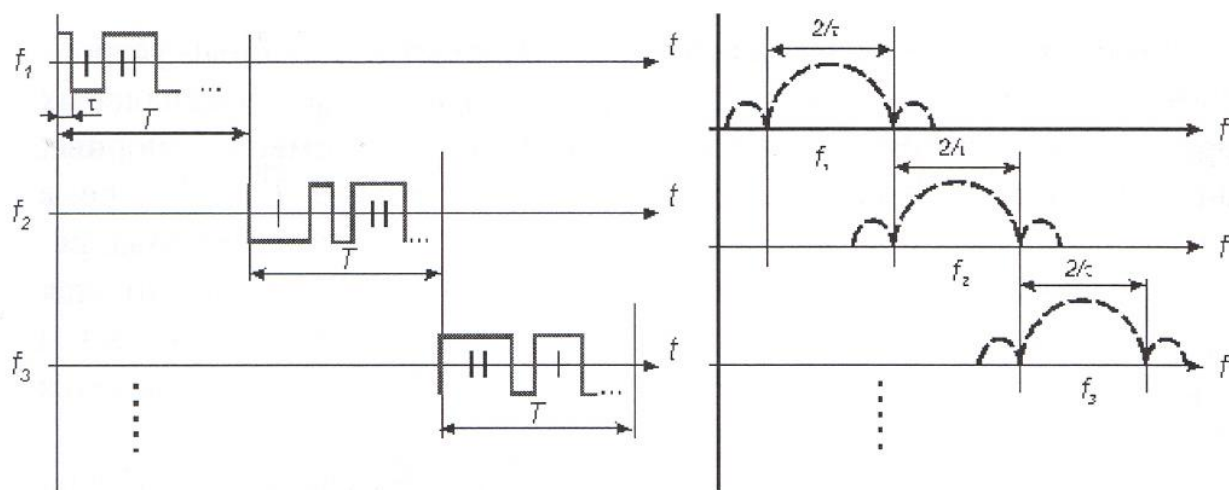


Рис. 1. Форма и спектр сигнала UWB-CDMA.

В связи с вышесказанным, важной становится проблема формирования ансамблей ортогональных или квазиортогональных сигналов значительного объема при заданном достаточно широком диапазоне длин ПСП.

Квазиортогональные ансамбли на основе последовательностей Лежандра.

Широкое применение в современных системах радиосвязи с кодовым разделением каналов получили сигналы, формируемые на основе бинарных M -последовательностей [3]. Эти последовательности служат базисом для формирования других важных семейств сигналов (например, кодов Голда, Касами). Однако, номенклатура длин M -последовательностей сравнительно невелика ($L=2^n-1$, где n - любое целое число), что в определенных ситуациях может ограничить диапазон возможностей их применения. По этой и ряду других причин представляет интерес формирование последовательностей, не уступающих по своим характеристикам перечисленным кодам, но имеющих больший набор длин.

Значительный интерес в этом плане представляют последовательности Лежандра, длины которых $L=4h+3$, где h – натуральное число, что позволяет по сравнению с M -последовательностями существенно расширить набор длин ПСП, получаемых на их основе. Так в диапазоне от 50 до 1500 имеется только 5 длин, для которых существуют M -последовательности, тогда как для последовательностей Лежандра их количество равно 114.

Последовательности Лежандра являются минимаксными, т.е. обладают оптимальными корреляционными свойствами среди бинарных последовательностей нечетных длин и периодическая автокорреляционная функция (ПАКФ) имеет вид [4]:

$$R_p(m) = \begin{cases} L, & m=0, \text{ mod } L \\ -1, & m \neq 0, \text{ mod } L. \end{cases}$$

Использование таких кодовых последовательностей существенно расширяет исходную базу для формирования значительных по объему подмножеств ПСП с приемлемым уровнем взаимной корреляции, что позволяет в одних случаях увеличивать число пользователей при заданной помехоустойчивости, а в других случаях снижать уровень взаимных помех при фиксированном числе одновременно работающих абонентов.

Формирование ансамбля ПСП на основе последовательностей Лежандра сводится к суммированию по модулю два исходной последовательности со сдвигаемой каждый раз на один элемент той же последовательностью (число сдвигов $L-1$).

Производя исследование корреляционных свойств, полученных таким образом ПСП, можно выполнить отбор «хороших» последовательностей для разных длин ПСП, получив, таким образом, квазиортогональные ансамбли для разных L .

В таблице 1 приведены нормированные значения максимальных боковых пиков периодических АКФ последовательностей в ансамблях для длин от 3 до 311. На рис. 2 те же результаты даны в виде графика, при этом основой для сравнения брались нормированные значения боковых пиков случайных последовательностей той же длины [3].

Таблица 1.

ПАКФ для длин от 3 до 311.

Длина исходной последовательности L	Мах боковой пик ПАКФ	Длина исходной последовательности L	Мах боковой пик ПАКФ
1	2	3	4
3	0.333	151	0.1656
7	0.1429	163	0.1288
11	0.4545	167	0.1497
19	0.2632	179	0.1173
23	0.3913	191	0.1309
31	0.2903	199	0.1256
43	0.3023	211	0.1374

47	0.1915	223	0.1121
59	0.2203	227	0.1278
67	0.1940	239	0.1046
71	0.2394	251	0.1155
79	0.2152	263	0.1255
83	0.1566	271	0.1218
103	0.1650	283	0.1025
107	0.1963	307	0.0945
127	0.1339	311	0.1061
131	0.1603	-	-
139	0.1511	-	-

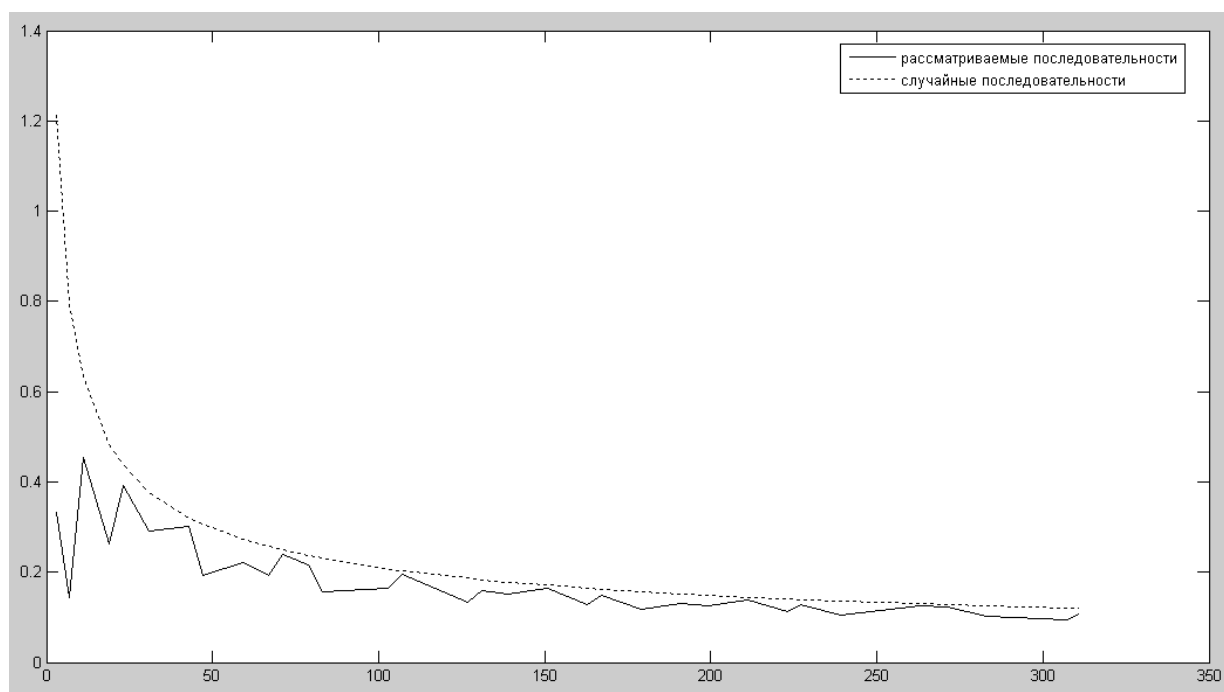


Рис. 2. Зависимость нормированной ПАКФ от длины исходной последовательности Лежандра.

Однако «хорошего» значения АКФ недостаточно. Необходимо, чтобы полученный ансамбль был хотя бы квазиортогональным. При этом объем ансамбля будет определять количество одновременно обслуживаемых абонентов. Поэтому были рассчитаны нормированные периодические взаимокорреляционные функции (ПВКФ). Пороговыми значениями при отборе последовательностей в ансамбли так же брались значения боковых пиков для случайных последовательностей.

Для длин от $L=23$ до $L=283$ были получены удовлетворительные результаты (табл. 2). При этом, если длина исходной последовательности Лежандра L (рассматриваемый ансамбль имеет объем $L-1$), то ровно для половины последовательностей $V=\frac{L-1}{2}$ боковые пики ПАКФ не превышают порогового значения.

Таблица 2

ПВКФ для длин от 23 до 283.

Длина исходной последовательности	Нормированный максимальный боковой пик ПВКФ рассматриваемого ансамбля	Нормированный максимальный боковой пик для случайных последовательностей	Объем ансамбля
1	2	3	4
23	0.3913	0.4379-0.7298	11
31	0.2903	0.3772-0.6286	15
43	0.3023	0.3202-0.5337	21
47	0.3617	0.3063-0.5105	23
59	0.2203	0.2734-0.4557	29
67	0.3134	0.2566-0.4276	33
71	0.2394	0.2492-0.4154	35
79	0.2152	0.2363-0.3938	39
83	0.2530	0.2305-0.3842	41

103	0.2427	0.2069-0.3449	51
107	0.1963	0.2030-0.3384	53
127	0.1969	0.1863-0.3106	63
131	0.1603	0.1835-0.3058	65
139	0.1511	0.1781-0.2969	69
151	0.1656	0.1709-0.2848	75
163	0.1779	0.1645-0.2741	81
167	0.1497	0.1625-0.2708	83
179	0.1620	0.1570-0.2616	89
191	0.1309	0.1520-0.2533	95
199	0.1658	0.1489-0.2481	99
211	0.1374	0.1440-0.2409	105
223	0.1480	0.1406-0.2344	111
227	0.1278	0.1394-0.2323	113
239	0.1381	0.1358-0.2264	119
251	0.1155	0.1326-0.2209	125
263	0.1255	0.1195-0.2158	131
271	0.1218	0.1276-0.2126	135
283	0.1307	0.1248-0.2081	141

Полученные результаты иллюстрируются графиками, показанными на рис. 3. Из рисунка видно, что все исследованные ансамбли по уровню ПВКФ не хуже случайных последовательностей.

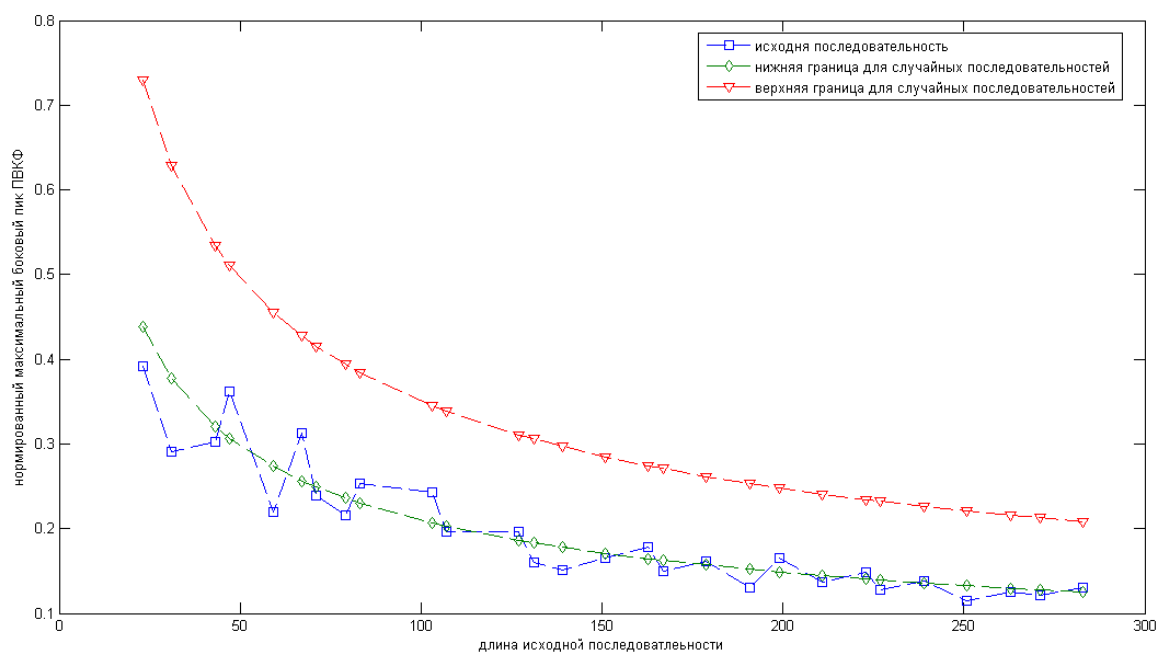


Рис. 3. Зависимость нормированного максимального бокового пика ПВКФ от длины последовательности.

Полученные таким образом ансамбли имеют объемы $V = \frac{L-1}{2}$, где L – длина исходных последовательностей Лежандра. При этом последовательности для квазиортогонального ансамбля могут браться как с начала, так и с конца рассматриваемого исходного ансамбля объемом $(L-1)$.

В заключение было произведено сравнение полученных ансамблей с известными ансамблями Голда, Касами, Камалетдинова. Результаты сравнения приведены в таблице 3, в которой представлены: длина, объем и максимальная величина бокового корреляционного пика для значений L от 15 до 283.

Сравнение характеристик ансамблей.

Ансамбль	Длина	Объем	Максимум корреляции $\rho_{\max}$
Голда	$2^n - 1, n \neq 0 \bmod 4;$ 31,63,127	$L + 2 = 2^n + 1$	$\frac{(\sqrt{2(L+1)} + 1)}{L}$ n нечетное $\frac{(2\sqrt{L+1} + 1)}{L},$ n четное
Касами	$2^n - 1, n$ четное; 15,63,255	$\sqrt{L+1}$	$\frac{(\sqrt{L+1} + 1)}{L}$
Камалетдинова	$p(p-1), p$ простое; 42,110	$p+1 = \frac{\sqrt{4L+1} + 3}{2} \rightarrow \sqrt{L}$	$\frac{(p+3)}{L}$
Рассматриваемый ансамбль	Любая простая длина $N = 4h + 3$, где h - натуральное число; 23,31,43,47,59,67, 71,79,83,103,107, 127,131,139,151,163,1 67,179, 191,199, 211,223,227, 239, 251,263,271,283	$\frac{L-1}{2}$	не больше $\frac{2.6}{\sqrt{L}}$

Заключение.

Исследованные ансамбли, формируемые на основе последовательностей Ле-жандра, соизмеримы по объемам и значениям максимального бокового корреляционного пика с базовыми, но значительно превосходят их по набору длин, что дает больше возможностей при проектировании системы радиосвязи, основанной на технологии UWB и использующей кодовые несущие (UWB-CDMA) для обеспечения требуемых высоких (до $500 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}}$) скоростей передачи.

Список литературы

1. Шахнович И. Современные технологии беспроводной связи. Сер. Мир связи. М.: Техносфера, 2004.
2. Калмыков В.В. Передача информации с высокой точностью на основе технологии UWB // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2009. Спецвыпуск «Радиолокация, спутниковая навигация и связь, радиоастрономия». С. 166-175.
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
4. Калмыков В.В., Юдачев С.С. Ансамбли составных кодовых последовательностей // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 1994. №4. С. 101-106.

**Code sequences for communication system
based on UWB-CDMA technology**

77-30569/291354

01, January 2012

Kalmykov V.V., Yudachev S.S.

Bauman Moscow State Technical University

judachev@gmail.com

The authors consider a method of creating ensembles of code sequences obtained on the basis of Legendre sequences, for use in communication systems with ultra wideband signals (UWB).

Publications with keywords: [code sequences](#), [ultra wideband signals](#), [correlation properties](#)

Publications with words: [code sequences](#), [ultra wideband signals](#), [correlation properties](#)

Reference

1. Shakhnovich I., Modern technologies of wireless communication, Ser. The world of communication, Moscow, Tekhnosfera, 2004.
2. Kalmykov V.V., The transfer of information with high accuracy on the basis of technology UWB, Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie - Bulletin of BMSTU. Ser. Instrument making Special issue (2009) 166-175.
3. Varakin L.E., The communication system with the noise-like signals, Moscow, Radio i svyaz', 1985, 384 p.
4. Kalmykov V.V., Iudachev S.S., Ensembles of compound coding sequences, Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie - Bulletin of BMSTU. Ser. Instrument making 4 (1994) 101-106.