

УДК 004.728.4(045)

И.А. ЖУКОВ, Ю.Ю. ИСКРЕНКО, В.В. ЛУКАШЕНКО

Национальный авиационный университет, Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С БЕСПРОВОДНЫМИ ШИРОПОЛОСНЫМИ СЕТЯМИ

Передавая трафик кодовыми последовательностями, возможно расширить спектр модулированного сигнала с целью увеличения ширины полосы частот. При передаче сигнала кодовыми последовательностями известной является частота следования символов. В системе синхронизации рассчитывается эффективная частота передачи компонент мультимедийного трафика с минимальным количеством потерь. С использованием вычисленной частоты следования символов рассчитывается оптимизированная общая спектральная эффективность системы. Продемонстрирован принцип алгоритма и метода формирования сигнала с модуляцией кодовых последовательностей, передачи и обработки сложных сигналов.

Ключевые слова: спектральная эффективность, трафик, полоса частот.

Введение

Широкополосные системы перспективны в применении благодаря следующим потенциальным преимуществам:

- повышенная помехоустойчивость;
- Поддержка обеспечения кодового разделения каналов, используя стандарт IEEE 802.16e, технологии Wimax систем многостанционного доступа (MIMO).
- высокая скорость передачи при работе на больших расстояниях;
- защищенность связи;
- способность противостоять воздействию преднамеренных помех;
- повышенная пропускная способность и спектральная эффективность при коллегиальном управлении на большом расстоянии соответствующим количеством пользователей.

В соответствии с применением разработанной системы синхронизации и архитектурой широкополосных систем, используемыми видами модуляции, системы с расширенным спектром могут быть разделены на следующие потенциально перспективные группы [1]:

- системы с прямым расширением спектра на основе кодовых последовательностей (КП), включая системы MIMO.
- системы с частотным дуплексным разносом (FDD);
- системы с временным дуплексным разносом (TDD);
- системы множественного доступа с расширенным спектром и контролем несущей (CSMA);

- системы с линейной частотной модуляцией сигналов;
- системы со смешанными методами расширения спектра;

В подвижных системах радиосвязи и беспроводных локальных сетях находят широкое применение методы прямого расширения спектра, перестройки рабочей частоты и расширения спектра с контролем несущей.

Целью работы является определение оптимального метода расширения спектра, на базе технологии стандарта IEEE 802.16e, Wimax и кодовых последовательностей шумоподобными сигналами с заданной синхронизацией.

1. Расширение спектра

Расширение спектра представляет собой метод формирования сигнала с расширенным спектром с помощью дополнительной ступени модуляции, обеспечивающей не только расширение спектра, но и ослабление его влияния на другие сигналы.

Системы MIMO технологии Wimax на основе кодового разделения каналов представляют собой развитие систем с прямым расширением спектра с помощью кодовых последовательностей Баркера и систем с расширением спектра путем перестройки рабочей частоты.

Кодовой последовательностью называются последовательности символов (амплитуд импульсов) [2]:

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4, \dots, a_n).$$

Оптимальная частота поступления символов последовательности, определяется системой син-

хронизации трафика, выталкивания неприоритетных компонент приоритетными.

Кодовые последовательности должны передаваться фазоманипулированными сигналами (ФМ), представляющими собой последовательность радиоимпульсов, начальные фазы которых изменяются по заданному закону.

В большинстве случаев ФМ сигнал состоит из радиоимпульсов с двумя значениями начальных фаз: 0 и π . На рис. 1 изображён ФМ сигнал, состоящий из кодовой последовательности Баркера, с числом импульсов, $N = 11$. В табл. 1 приведены наиболее эффективные кодовые последовательности Баркера [2]. Так как кодовая последовательность Баркера с числом импульсов $N = 11$ имеет вид (1 1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 -1), импульсы, поступаая на вход преобразуются из положительных в отрицательные, тем самым осуществляя изменение фазы на π . Далее импульс поступает на модулятор, одновременно на который подаётся радиочастотное колебание на несущей частоте, после чего осуществляется фазовая манипуляция радиочастотного колебания в соответствии с кодовой последовательностью Баркера. Импульсу с амплитудой 1 соответствует радиоимпульс с фазой 0, а импульсу с амплитудой -1 – радиоимпульс с фазой π .

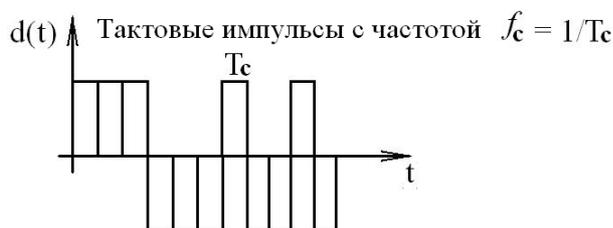


Рис. 1. Фазоманипулированный сигнал с $N = 11$

Длительность одного импульса равна:

$$T_c = T/N,$$

где T – общее время передачи сигнала. При этом ширина спектра сигнала равна:

$$F_0 = 1/T_c = N/T.$$

Таблица 1

Кодовые последовательности Баркера

№	A_n при n													R_{21}	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
3	1	1	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1/3
4	1	1	-1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+1/4
5	1	1	1	-1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/5
7	1	1	1	-1	-1	1	-1	-	-	-	-	-	-	-	-1/7
11	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-	-	-	1/11
13	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1/13

Сигнал, передаваемый кодовой последовательностью, выполняет функцию «ключа» для каждого пользователя и позволяет при приёме сигнала по коду выделить предназначенный ему сигнал. При правильной организации работы такой передачи взаимная корреляция между любой парой последовательностей будет минимальна. Данное условие позволяет снизить уровень помехи соседних каналов (АСИ).

В цифровых или персональных системах радиосвязи, использующих схему ММО и расширение спектра с помощью кодовых последовательностей Баркера, решаются следующие основные задачи:

1. Расширение спектра модулированного сигнала с целью увеличения ширины полосы частот при передаче.

2. Разделение сигналов различных пользователей, использующих при передаче одну и ту же полосу в режиме многостанционного доступа.

Для решения указанных задач последовательности должны обладать специальными корреляционными свойствами.

Спектр передаваемого сигнала не имеет четких границ, поэтому часть энергии сигнала будет излучаться в соседние каналы, как показано на рис. 2 [3]. Если S_D – мощность полезного сигнала, то заштрихованная площадь представляет собой мощность АСИ, попадающую в заданную полосу частот. Здесь считается, что только два соседних канала создают помехи в основном канале. Разнос между центральными частотами каналов равен:

$$\Delta f = f_{c2} - f_{c1},$$

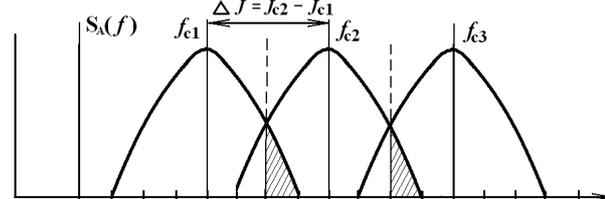


Рис. 2. Помехи по соседним каналам (АСИ), создаваемые двумя близлежащими каналами

Помеха соседних каналов является не единственной, также существует помеха по основному каналу приема (СЦИ). Помеха по основному каналу приема образуется тогда, когда два или более независимых сигналов (модулированных или немодулированных) передаются одновременно в одной и той же полосе частот. В предложенной системе одни и те же частоты могут использоваться многократно. Повторное использование частоты различными секторами одной базовой станции или соседними секторами близко расположенных станций может существенно увеличить производительность системы

благодаря использованию одинаковых или перекрывающихся частотных каналов. Данный подход организации станций применяется в крупных городах и центральных районах областных центров с высокой плотностью населения.

Повторное использование частот приводит к проектированию систем с ограничением уровня CCI. На рис. 3 изображены частотные полосы с f_1 до f_7 , повторно использующиеся в соответствии с семиэлементной структурой размещения сот ($k = 7$) [3]. Если подвижная станция находится в точке M_7 , то она принимает полезный сигнал на частоте f_7 от ближайшей базовой станции B_7 .

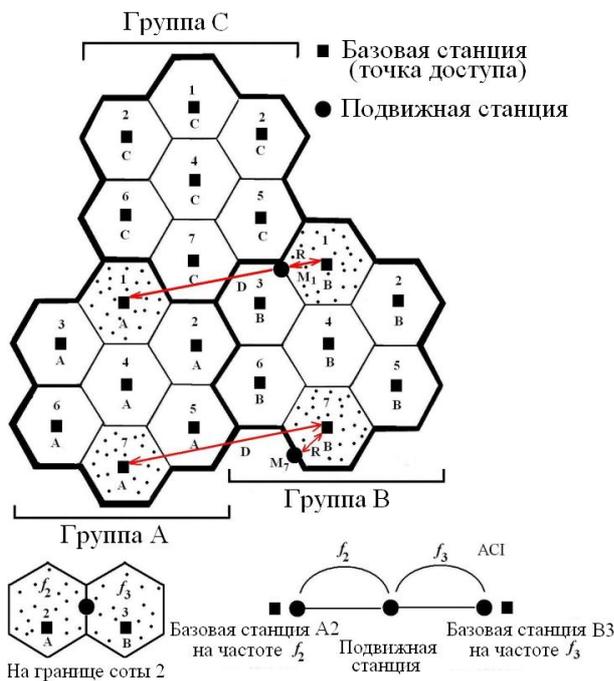


Рис. 3. Сотовая система с семиэлементной структурой групп и повторным использованием частоты ($k = 7$). Влияние помехи по соседнему каналу (ACI) на помеху по основному каналу приема (CCI) от первой соседней соты

Одновременно подвижная станция в точке M_7 принимает также в той же самой полосе частот независимый сигнал помехи от базовой станции A_7 . Отношение полезной средней мощности несущей C от ближайшей базовой станции B_7 к средней мощности помехи I от удаленной базовой станции A_7 определяет среднее отношение C/I или CCI. В данных условиях можно определить коэффициент ослабления CCI a :

$$a = D/R,$$

где D – расстояние между базовыми станциями, передающими на одних и тех же частотах, например расстояние между A_7 и B_7 на рис. 4; R – радиус зоны покрытия одной соты передатчиком базовой станции.

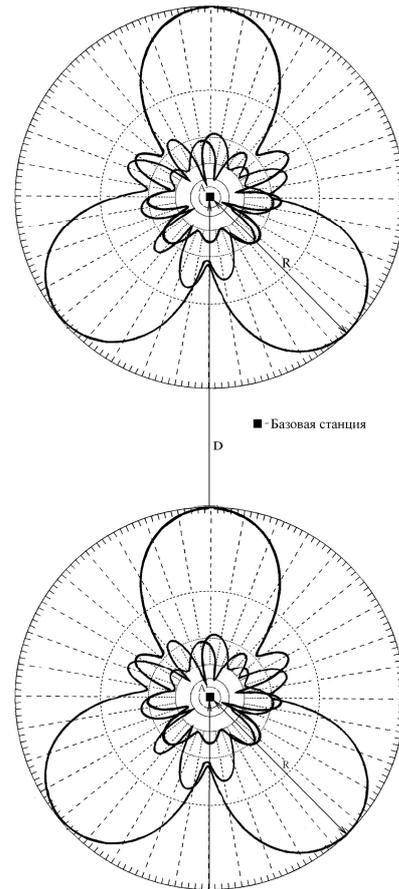


Рис. 4. Расстояние между станциями, радиус покрытия станции

Изменение коэффициента в определённых условиях может дать существенный прирост спектральной эффективности. Более высокое значение увеличивает полосу, которая используется сверх теоретического минимума:

- для $a = 0$ физически нереализуемый фильтр с минимальной полосой $f = 1/2T_c$;
- для $a = 0,5$ – фильтр с 50% расширением полосы;
- для $a = 1$ – фильтр с удвоенной полосой пропускания.

Выбирая тип модуляции и скорость кодирования, можно менять эффективность использования спектра в зависимости от коэффициента ослабления. В зависимости от использования типа модуляции, 16 или 32 QAM соответственно. При этом надо учитывать характеристики используемого оборудования. Wimax может иметь несколько значений коэффициента ослабления, которые устанавливают разную степень эффективности использования спектра: 1; 0,5; 0,20 и т.д. Более низкие значения коэффициента обеспечивают большую крутизну фронтов несущей, что позволяет размещать соседние несущие плотнее друг к другу и, соответственно, эффективнее использовать спектр.

Спектральная и энергетическая эффективности являются одними из наиболее важных показателей для цифровых систем связи и особенно важными для сотовых и других беспроводных систем. Для разработанной системы, базовая спектральная эффективность выглядит следующим образом [1]:

$$\eta_s = \frac{R}{B_w} = \frac{\text{скорость передачи}}{\text{необходимая полоса частот}},$$

где η_s – спектральная эффективность или эффективность использования полосы, бит/(с·Гц); R – скорость передачи, стандартизированная для системы WIMAX, бит/с; B_w – ширина полосы частот, включая необходимые защитные полосы (термин ширина полосы частот относится как к полосе модулирующих частот, так и к полосе частот модулированного сигнала).

2. Прямое расширение спектра с помощью кодовых последовательностей

На рис. 5 изображена схема системы с прямым расширением спектра на основе кодовых последовательностей.

В первую очередь осуществляется фазовая манипуляция (PSK) сигнала промежуточной частоты двоичным цифровым сигналом передаваемого сообщения $d(t)$ в формате без возвращения к нулю (NRZ) с частотой следования символов $f_b = 1/T_b$. Оптимальная частота следования символов рассчитывается системой синхронизации, с выталкиванием неприоритетных компонент трафика приоритетными [4].

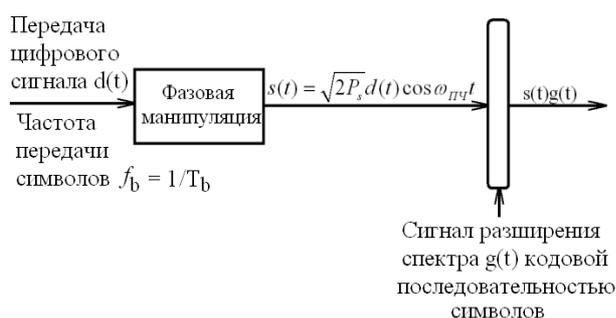


Рис. 5. Система с прямым расширением спектра

Сигнал определяется следующим выражением:

$$s(t) = \sqrt{2P_s} d(t) \cos \omega_{пч} t,$$

где $d(t)$ – полезный сигнал; $\omega_{пч}$ – промежуточная частота, P_s – мощность сигнала.

В качестве сигнала расширения спектра $g(t)$ используется сигнал кодовой последовательности (КД) с частотой следования символов $f_0 = 1/T_c$.

В результате повторной модуляции формируется сигнал с расширенным спектром:

$$v(t) = g(t)s(t)\sqrt{2P_s}g(t)d(t)\cos \omega_0 t,$$

здесь ω_0 обозначает либо промежуточную $\omega_{пч}$, либо радиочастоту $\omega_{рч}$.

Процесс формирования сигналов с расширенным спектром в системах типа множественных входов/выходов (MIMO) происходит в два этапа [5]: модуляция, а затем расширение спектра. Вторичная модуляция осуществляется с помощью операции перемножения $g(t)s(t)$.

Выводы

Применение кодовых последовательностей для передачи информации в широкополосных системах связи может на порядок увеличить надёжность и качество передачи информации.

Продемонстрирован принцип алгоритма и метода формирования сигнала с модуляцией кодовых последовательностей, передачи и обработки сложных сигналов.

Надёжность передачи информации обеспечивается благодаря использованию кодовых последовательностей.

Дальнейшее развитие и внедрение данного сочетания технологий может существенно повысить эффективность использования ресурса сети. Высокая эффективность использования частотного ресурса, высокая помехозащищённость, скрытность и конфиденциальность являются главными преимуществами внедрения и развития данного способа передачи.

Дальнейшим этапом развития является разработка и реализация алгоритма работы, данного принципа передачи информации.

В результате работа с мультимедийной информацией станет полноценной, обмен информацией между пользователями надёжной и качественной.

Литература

1. Широкополосные беспроводные сети передачи информации [Текст] / В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Варакин, Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами [Текст] / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Kamilo, F. Wireless digital communication [Text] / F. Kamilo. – NJ.: Prentice-Hall PTR, 2000. – 518 p.
4. Ластовченко, М.М. Математические аспекты проектирования интеллектуальных коммутационных систем передачи ММТ [Текст] /

М.М. Ластовченко, В.Н. Ярошенко, В.И. Биляк // *Математ. машины и системы.* – 2001. – № 6. – С. 56 – 69.

5. Скляр, Б. *Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение [Текст] / Б. Скляр.* – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.

Поступила в редакцию 5.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.А. Виноградов, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

ОПТИМІЗАЦІЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ РОБОТІ З БЕЗДРОТОВИМИ ШИРОКОСМУГОВИМИ МЕРЕЖАМИ

І.А. Жуков, Ю.Ю. Іскренко, В.В. Лукашенко

Передаючи трафік кодовими послідовностями, можливо розширити спектр модульованого сигналу з метою збільшення ширини смуги частот. При передачі сигналу кодовими послідовностями відомою є частота слідування символів. У системі синхронізації розраховується ефективна частота передачі компонент мультимедійного трафіку з мінімальною кількістю втрат. З використанням обчисленої частоти слідування символів розраховується оптимізована загальна спектральна ефективність системи. Продемонстровано принцип алгоритму і методу формування сигналу з модуляцією кодових послідовностей, передачі та обробки складних сигналів.

Ключові слова: спектральна ефективність, трафік, смуга частот.

OPTIMIZATION OF SPECTRAL EFFICIENCY AT WORK WITH WIRELESS BROADBAND NETWORKS

I.A. Zhukov, Y.Y. Iskrenko, V.V. Lukashenko

Transmitting a traffic by code sequences, it is possible to broaden a spectrum of the modulated signal to increase a bandwidth. At the transmission of signal code sequences, frequency of the following characters is known. In the system of synchronization calculate effective frequency component transmission of multimedia traffic with least losses. Using the calculated frequency of the following characters the optimized general spectral efficiency can be found. The principle of the algorithm and the method of a signal formation with modulation of code sequences, transmissions and processing's of complex signals is shown.

Key words: spectral efficiency, traffic, frequency band.

Жуков Игорь Анатольевич – д-р техн. наук, профессор кафедры компьютерных систем и сетей Национального авиационного университета, Киев, Украина.

Іскренко Юрій Юрьевич – аспірант кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного авіаційного університету, Київ, Україна.

Лукашенко Виктория Викторовна – канд. техн. наук, кафедра компьютерных систем и сетей Национального авиационного университета, Киев, Украина.