

УДК 004.624:004.722.45

БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ С УЧЕТОМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ К РАСПРОСТРАНЕНИЮ РАДИОВОЛН



В.Ф. Алексеев

Доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем БГУИР, кандидат технических наук, доцент



Г.А. Пискун

Доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем БГУИР, кандидат технических наук, доцент



С.А. Грудковский

Магистрант БГУИР



А.А. Стрельцова

Магистрант БГУИР

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь
E-mail: alexvikt.minsk@gmail.com, piskunbsuir@gmail.com, grudkovsky@yandex.ru, nastja1995strelcova@gmail.com*

Аннотация. Рассмотрена технология OFDM для автоматической адаптации к распространению радиоволн при беспроводной передаче данных. Выполнен анализ возможности использования высокоскоростных и низкоскоростных модемов технологии OFDM для передачи данных. Описаны проблемы адаптации беспроводной передачи данных и показаны возможные методы их решения.

Ключевые слова: беспроводная передача данных, технология OFDM, модемы некогерентного типа, помехоустойчивость, частотно-селективное замирание, аддитивная импульсная помеха, помеха со сосредоточенным спектром, многолучевое искажение.

Дальняя и сверхдальняя беспроводная передача данных. Передачу больших объемов данных на большие расстояния позволяют осуществить только системы спутниковой связи и связи на коротких волнах (КВ). Уникальность данного типа передачи предоставляет возможность охватить значительную территорию, в том числе с гористым рельефом, а это абсолютно невозможно для традиционных решений в диапазонах УКВ и СВЧ. Распространенное использование спутниковых сетей связи для передачи больших объемов данных во многом объясняется следующими отличительными свойствами [1, 2]:

–обеспечение области обслуживания значительных размеров, вплоть до глобальной, полностью охватывающей поверхность Земли;

–возможность обслуживания отдаленных, малонаселенных и труднодоступных территорий, где развертывание наземных сетей связи экономически неоправданно, либо просто невозможно;

–простота обеспечения многоадресного режима передачи;

–возможность гибкой поддержки различных информационных услуг и приложений, независимость технологии передачи и коммутации от технологии предоставления услуг.

Вместе с тем при передаче данных необходимо учитывать:

–зависимость от состояния ионосферы Земли;

–ограниченность скорости передачи информации, обусловленной частотным и временным рассеянием, наблюдаемым в канале связи;

- низкую скорость передачи данных в полярных областях, вызванную большим затуханием и худшими условиями распространения сигнала;
- наличие в канале связи большого количества помех от посторонних радиостанций;
- влияние солнечной интерференции. При приближении Солнца к оси спутник – наземная станция радиосигнал, принимаемый со спутника наземной станцией, пропадает, потому что значительно увеличивается уровень шумов, принимаемых от Солнца;
- невозможность организации непрерывной, надежной связи с арктическими районами, вызванная отсутствием в настоящее время отечественной низкоорбитальной спутниковой группировки;
- другие факторы.

Наличие таких недостатков объясняет необходимость внедрения высокоинтеллектуального оборудования с развитыми функциями самодиагностики, интуитивно понятными интерфейсами и более высокой гибкостью обслуживания. Для реализации таких средств связи разработчикам требуется более широкое использование современной элементной базы и цифровой микропроцессорной техники.

Модемы некогерентного типа, реализующиеся по *OFDM* технологии, могут отвечать требованиям, приведенным выше при условии их модернизации и последующего анализа.

Анализ возможности использования высокоскоростных и низкоскоростных модемов технологии OFDM для передачи данных. В системах коротковолновой связи высокоскоростными считаются радиолинии, скорость передачи данных в которых больше чем 2400 бит/с [3]. Одним из известных способов повышения быстродействия радиолиний является использование параллельных модемов [3–5]. Известно, что модемы параллельного строения передают данные на многих узкополосных поднесущих, разнесенных по частоте внутри полосы канала связи, используемой для передачи сообщений в отличие от последовательных. При этом стоит отметить, что рассматриваемая *OFDM*-модуляция есть частный случай мультиплексной передачи с частотным разделением каналов с *FDM*-модуляцией. Данные модемы устойчивы к аддитивным стационарным и импульсным помехам, а также слабой чувствительности к многолучевости. Это объясняется более длительной передачей символом и тем, что импульсная помеха поражает лишь малую часть от всего сигнала, а стационарные помехи и селективные замирания поражают только часть из общего числа поднесущих сигнала.

Востребованность применения *OFDM* для передачи данных по каналам связи обусловлена следующими особенностями:

- высокая помехоустойчивость к частотно-селективным замираниям и влиянию аддитивных импульсных помех и помех с сосредоточенным спектром;
- эффективность использования частотного спектра;
- простота цифровой обработки сигнала, т.к. вычислительные затраты при использовании преобразования Фурье для выделения информации на каждой поднесущей относительно невелики;
- высокая скорость передачи данных.

Преимущества *OFDM*-модемов сделали эту область техники востребованной и бурно развивающейся в последние годы. Важным фактором является то, что ортогональная природа *OFDM* позволяет частичное перекрытие подканалов, сохраняя при этом спектральную эффективность (рисунок 1). Тем не менее, несмотря на очевидные преимущества данного метода модуляции, возникают проблемы в организации связи с использованием *OFDM*-сигналов [6–8].

OFDM иногда называют модуляцией с множеством несущих или дискретной мульти-тоновой модуляцией, использующей множество поднесущих для передачи информации от одного пользователя к другому. Системы, основанные на технологии *OFDM*, разделяют высокоскоростной информационный сигнал на множество низкоскоростных подсигналов, которые одновременно передаются системой на разных частотах [9].

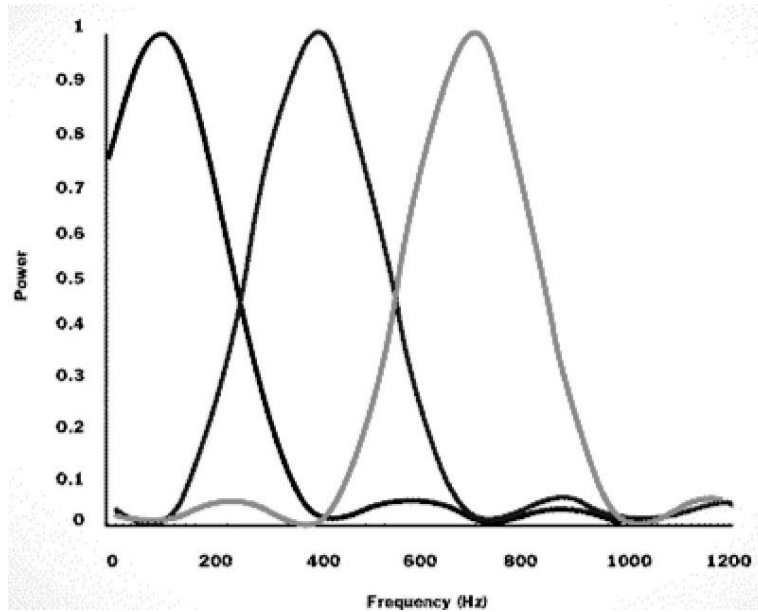


Рисунок 1. Ортогональная природа OFDM для эффективного использования ширины полосы

Эта параллельная форма передачи с использованием множества поднесущих позволяет беспроводным сетям, использующим технологию OFDM, функционировать на более высоких скоростях передачи данных, например до 54 Мбит/с для стандарта IEEE 802.11a. Кроме этого, интерференция радиочастотных сигналов исказит лишь часть передаваемого OFDM сигнала, связанного с интерферирующими частотами.

OFDM вызывает более низкую задержку распространения, из-за того, что высокоскоростные композитные подсигналы передают низкоскоростные данные. Из-за более низкой скорости передачи данных, задержки в многолучевых системах не влияют так, как в одноканальных высокоскоростных системах. Для примера, узкополосный сигнал, передаваемый на высокой скорости через однолучевой канал, скорее всего, испытает более негативный эффект, чем сигнал в системах с расширением спектра, потому что передаваемые символы находятся ближе друг к другу.

Фактически, информация, содержащаяся в узкополосном сигнале, может быть полностью утеряна на приёмной стороне, если многолучевое искажение будет максимальным на передаваемой частоте. Использование OFDM сигнала с множеством поднесущих значительно уменьшает эту проблему.

Многолучевое искажение может стать причиной межсимвольной интерференции, которая происходит вследствие частичного перекрытия смежных сигналов. OFDM сигналы обычно имеют защитный интервал в 800 нс, тем не менее, обеспечивая при этом допустимую задержку распространения сигнала до 250 нс. Исследования показывают, что задержка распространения для многолучевого сигнала должна соответствовать 50 нс в жилых помещениях, 100 нс в офисах и 300 нс в промышленной среде [10].

Идеальное применение для OFDM – это создание беспроводных сетей конфигурации точка-точка и точка-многоточие. Фактически, большинство зарождающихся продуктов, основанных на OFDM, предоставляют такую возможность. Множество беспроводных MAN сетей, основанных на OFDM, начали появляться на рынке в начале 2001 года. WLAN системы, основанные на OFDM, тем не менее, ограничены в своём количестве, в виду использования комбинаций множества частот с относительно низкой мощностью.

Проблема адаптации беспроводной передачи данных. В сетях связи следующего поколения будут широко применяться системы адаптации радиопередачи по условиям распространения. Для этих сетей характерно высокое качество связи и высокая скорость передачи данных. Это

возможно при правильном выборе канала на передачу с минимальными помехами. Системы адаптации могут максимально оптимизировать использование радиочастот.

Для более высокой эффективности адаптация должна происходить не только на стороне передатчика, но и на стороне приемника. Это обязывает учитывать параметры радиолинии на обеих сторонах связи и, по итогу, останавливать выбор на тех параметрах, которые совпадают или максимально приближены друг к другу [11].

Адаптация приемника происходит по факту измерения одного из трех параметров:

–отношение сигнала к уровню шума и интерференции;

–количество ошибок при передаче;

–уровень входного сигнала.

После выбора параметров, необходимых для проверки качества работы приемника, происходит отправка значений на базовую станцию (противоположную) для изменения параметров. Логично, что для более высокого качества связи уровень отношения сигнала к уровню шума и интерференции должен быть как можно выше, а количество ошибок при передаче – минимальным [11].

Методы решения проблемы адаптации. Известен способ адаптации системы радиосвязи по частоте, основанный на оценке качества канала на нескольких разрешенных частотах и выборе для передачи информации частоты с минимальным уровнем помех. Недостатком этого способа является использование для адаптации только одного параметра (частоты), что требует использования большого количества рабочих частот для обеспечения надежного доведения информации до потребителя. Это не всегда возможно ввиду дефицитности частотного ресурса.

Специалисты США полагают, что для обеспечения надежности во время круглосуточной работы линий КВ радиосвязи при условии наличия случайных помех необходима непрерывная перестройка передатчика и приемника на наиболее оптимальную рабочую частоту для данного момента времени [12].

На сегодняшний день осуществляется не только выбор оптимальной частоты, но и в совокупности учитываются такие параметры как координаты приемника и передатчика, мощность передатчика, чувствительность приемника, тип антенны, время года, суток и так далее [13].

Известен способ адаптации системы радиосвязи по скорости передачи данных, который может реализовываться изменением длительности посылки, изменением избыточности кода, изменением вида модуляции. Недостатком способа адаптации по скорости передачи сообщения является необходимость снижения скорости передачи при ухудшении качества канала, что приводит к низкой средней скорости передачи информации. То же будет происходить и в случае многопараметрической адаптации (по рабочей частоте и скорости) в условиях ограниченного частотного ресурса.

Тенденция развития современных адаптивных систем КВ радиосвязи направлена в сторону увеличения скорости передачи информации. Примерами построения адаптивной системы КВ радиосвязи с использованием технологии *OFDM* являются комплексы «ПИРС», «Сердолик» и ряд других [14].

Исследования в области передачи информации на дальние и сверхдальние расстояния требует более детального изучения, потому как повышения качества передачи и защиты такой информации позволит обеспечить прогресс в военной промышленности.

Список литературы

[1]. Аболиц, А. И. Системы спутниковой связи. Основы структурно- параметрической теории и эффективность / А. И. Аболиц – Москва : ИТИС, 2004. – 426 с.

[1]. Высоцкий, Г. Спутниковая связь: дорого или дешево? // Теле-Спутник. – 2013. – № №4(210). – С.10–15.

[2]. MIL-STD-188-110 Serial is a US Department of Defense standard for HF Communications, Serial

PSK mode // Радиосканер. 2017: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.radioscanner.ru/files/download/file13718/mil-std-188_110c.pdf.

[3]. Землянов И.С. Модемы с ортогональными поднесущими мобильных систем коротковолновой связи с адаптацией к условиям распространения радиоволн: Автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.12.04 – Омск, 2016. – 23 с.

[4]. Бочков, И. Г. Исследование влияния характеристик декаметрового канала радиосвязи на скорость передачи данных / И. Г. Бочков, А. В. Доброхотов, И. В. Дулькейт, И. С. Землянов, О. В. Мотин, В. Л. Хазан // Труды 4-го ЦНИИ МО РФ (Научно-исследовательский центр авиационной техники и вооружения, 6 НИУ) 2014 г., вып. 110, ч. 1, «Эффективность автоматизированных систем управления авиацией, систем связи и РТО». – Ногинск, 2014. – С.26-33.

[5]. Дошанов, Е.Х. Влияние переходной характеристики передающего устройства на помехоустойчивость OFDM модема / Е. Х. Дошанов, И. С. Землянов // XX Международная научно-техническая конференция «Радиолокация навигация связь». – Воронеж, 2014. – С.737-746.

[6]. Корсукова, А. А. Оценка эффективности метода предсказаний сигнала для увеличения динамического диапазона передающего устройства / А. А. Корсукова, И. С. Землянов, В. Л. Хазан // «Техника радиосвязи». – 2013. – №1 (19). – С.25-30.

[7]. Santella G. A frequency and symbol synchronization system for OFDM signals: Architecture and simulation results // IEEE Trans. Commun. vol.49, Jan. 2000.-pp. 254-275.

[8]. Jim Geie. Enabling Fast Wireless Networks with OFDM // EE Times: [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1277252.

[9]. Лебедев, В. Модуляция OFDM в радиосвязи / Владимир Лебедев // «Радиолюбитель». – 2008. – №8. – С.51–55.

[10]. Романюк, В. А. Основы радиосвязи : учебник для вузов / В. А. Романюк. — М. : Издательство Юрайт, 2017. – 288 с.

[11]. Васильков, А. Перспективная американская радиостанция КВ-диапазона «Сентри-Н» / А. Васильков // Зарубежное военное обозрение. – 2016 – №12. – С.51-52.

[12]. Ступницкий, М. М. КВ-радиосвязь: ренессанс на цифровой основе / М. М. Ступницкий // «ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ». – 2014. – №10. – С.37–38.

[13]. Способ и устройство для адаптивной радиосвязи: пат. №2284659 РФ / Балыбин В.М., Рыжов П.П. // заявлен 28.04.2004 г., опубликован 27.09.2006 г. в Бюл. №27.

WIRELESS TRANSFER OF DATA ACCORDING TO AUTOMATIC ADAPTATION TO RADIO-WAVE DISTRIBUTION

V. ALEXSEEV, PhD

Associate professor of department of Design of Information and Computer Systems, Associate professor

G. PISKUN, PhD

Associate professor of department of Design of Information and Computer Systems, Associate professor

S. GRUDKOVSKY

Master student of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

A. STRELTSOVA

Master student of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

E-mail: alexvikt.minsk@gmail.com, piskunbsuir@gmail.com, grudkovsky@yandex.ru, nastja1995streltsova@gmail.com

Abstract. OFDM technology for automatic adaptation to the propagation of radio waves during wireless data transmission is considered. The analysis of the possibility of using high-speed and low-speed modems of OFDM technology for data transmission is carried out. The problems of adaptation of wireless data transmission are described and possible methods for their solution are shown.

Key words: wireless data transmission, OFDM technology, incoherent type modems, noise immunity, frequency selective fading, additive pulse interference, interference with a concentrated spectrum, multipath distortion.