

Ғылымның, білімнің және бизнестің интеграциясы
Интеграция науки, образования и бизнеса
Integration of science, education and business

DOI 10.53364/24138614_2021_22_3_54
УДК 621.391.82.016.35

¹Дараев А.М., ²Файзрахман Ә.Қ., ³Жәдігер Т.Ә.
^{1,2}КазНУ им.аль-Фараби, г. Алматы, РК
³КазНУ им. К.И.Сатпаева, г. Алматы, РК.

¹E-mail: Majit_2006@mail.ru*

²E-mail: faizrakhman98@gmail.com

³E-mail: toreshka31@gmail.com

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЦИФРОВЫХ
СИГНАЛОВ

САНДЫҚ СИГНАЛДАРДЫҢ ШУЫЛҒА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІ

METHODS OF INCREASING THE NOISE IMMUNITY OF DIGITAL SIGNALS

Аннотация. Задача борьбы с МСИ (межсимвольная интерференция) и МКИ (межканальной интерференцией) в беспроводных системах является очень актуальной, и во многих случаях пока не находит приемлемого решения. В статье рассмотрены причины искажений цифровых сигналов. Приведены методы борьбы с искажениями: разнесенный прием, разделение отдельных сигналов в точке приема с помощью использования широкополосных сигналов, прием с применением выравнивания частотных характеристик канала.

В основу современных систем беспроводного доступа положены алгоритмы формирования и обработки сигналов с технологией OFDM (ортогональное мультиплексирование с частотным разделением). Поскольку принятый стандарт изменить нельзя, у разработчиков остался только один выход - соревноваться между собой в совершенствовании приемной аппаратуры, применяя более сложные методы обработки сигналов и оптимизируя вычислительные и аппаратные затраты на их реализацию.

Ключевые слова: межсимвольная интерференция, искажения сигналов, многолучевая интерференция, компенсация межсимвольных искажений, OFDM.

Abstract. The problem of combating ISI (intersymbol interference) and ICI (interchannel interference) in wireless systems is very relevant, and in many cases it does not yet find an acceptable solution. The article discusses the causes of digital signal distortion. The methods of combating distortion are presented: spaced reception, separation of individual signals at the receiving point using broadband signals, reception using the alignment of the frequency characteristics of the channel.

Modern wireless access systems are based on algorithms for generating and processing signals with OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) technology, Since the accepted

standard cannot be changed, the developers have only one way out-to compete with each other in improving the receiving equipment, using more complex signal processing methods and optimizing the computing and hardware costs for their implementation.

Keywords: intersymbol interference, signal distortion, multipath interference, intersymbol distortion compensation, OFDM.

Аңдатпа. Сымсыз жүйелердегі ісі (таңбааралық кедергі) және МКІ (арнааралық Кедергі) - мен күресу міндеті өте өзекті және көптеген жағдайларда әлі де қолайлы шешім таба алмайды. Мақалада сандық сигналдардың бұрмалану себептері қарастырылады. Бұрмаланулармен күресу әдістері келтірілген: кеңейтілген қабылдау, кең жолақты сигналдарды қолдану арқылы қабылдау нүктесінде жеке сигналдарды бөлу, арнаның жиілік сипаттамаларын теңестіру арқылы қабылдау.

Заманауи сымсыз қатынау жүйелерінің негізіне OFDM технологиясы бар сигналдарды қалыптастыру және өңдеу алгоритмдері (жиіліктерді бөлумен ортогональды мультиплекстеу) салынған. Қабылданған стандартты өзгерту мүмкін болмағандықтан, әзірлеушілердің бір ғана жолы бар-сигналдарды өңдеудің күрделі әдістерін қолдана отырып және оларды іске асырудың есептеу және аппараттық шығындарын оңтайландыра отырып, қабылдау жабдықтарын жетілдіруде өзара бәсекелесу.

Түйінді сөздер: символдар арасындағы кедергі, сигналдардың бұрмалануы, көп жолды кедергі, символдар арасындағы бұрмаланулардың орнын толтыру, OFDM.

Введение

Как известно радиоволны определенных диапазонов не редко распространяются не прямой, а отражаясь от окружающих среды (стены зданий, мостов, деревьев, от метеорных осадков и т.п.) В результате на входе приемника будет несколько вариантов исходного сигнала с переменными амплитудами фазами и азимутами направлений. Результирующий входной сигнал меняется как по амплитуде, фазе, так и по частоте (в случаях мобильного приема) за счет доплеровского сдвига частоты. Их действие на приемник ведет к межсимвольной (МСИ) и межканальной (МКИ) интерференциям. Таким образом, можно констатировать, что реальный канал беспроводной связи обладает частотно-временным рассеянием. Само по себе это явление не ведет к большим проблемам, т.к. существуют достаточно много эффективных методов борьбы [1, 3].

Хорошо известен метод обработки сигналов в многолучевых каналах с использованием нескольких копий сигнала на приемной стороне - разнесенный прием. Разнесение может быть как по времени (повторение фрагментов сообщения), так и по частоте (дублирование сообщения на другой частоте). Применяют и пространственное разнесение (прием на несколько антенн), причем антенны могут разнесены как по горизонтали, так и по вертикали.

На тех же принципах построен метод разделение отдельных сигналов в точке приема с помощью использования широкополосных сигналов. Разделение возможно как в временной плоскости, так и в частотной, применяют комбинированные методы [1, 3, 7].

Методы исследования

На современном этапе для каналов с частотно-временным рассеянием лучшей считается мультиплексирование (уплотнение) с ортогональным частотным разделением (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Особенностью OFDM является уникальная методика мультиплексирования, которая разделяет полосу канала на множество поднесущих частот. Сообщение, подлежащее переносу, разделяется на части, которые переносятся каждая на своей поднесущей как параллельно, так и последовательно, затем мультиплексируются (объединяются) в полное

сообщение. Это позволяет подавить межсимвольную интерференцию и осуществлять защищенную передачу. Ортогональные поднесущие хороши тем, что их взаимная энергия равна нулю. Поскольку поднесущие располагаются вплотную друг к другу и спектральная эффективность сигнала получается высокой согласно работе Кусайкина Д. (Рис. 1).

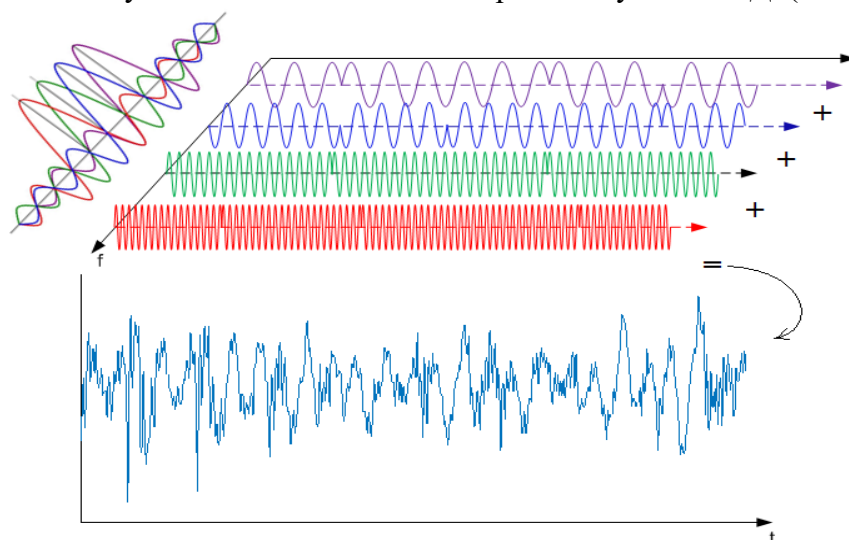


Рисунок 1. Спектр OFDM-сигнала

Параметры поднесущих сигналов подбираются с помощью вычислительных устройств, используют алгоритм обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ).

То есть значения сигнала перед блоком ОБПФ относятся к частотной области. Тогда на выходе блока ОБПФ получаем значения сигнала на временной оси. Объединяя все значения, получаем сложный составной OFDM сигнал. В виду того, что ОБПФ работает эффективно с массивами размерности 2^k , количество поднесущих выбирается аналогичной кратности. На приемном конце сигналы инвертируются (вместо ЦАП ставится АЦП, вместо обратного БПФ – прямое БПФ) и ставятся в обратном порядке.

Как известно, свойства любого цифрового сигнала однозначно определяются ее конечномерным базисом, из которого он формируется, как некоторая линейная комбинация базисных функций. В соответствии с теоремой Найквиста базис выбирается ортогональным, чтобы в случае гауссовского канала обеспечить отсутствие межсимвольной интерференции. Но в каналах с частотно-временным рассеянием, кроме аддитивного белого шума действует сложная мультипликативная помеха. Именно под воздействием данной помехи базис меняется (плывет), что приводит к потере ортогональности базисных функций.

Прием становится не оптимальным, с каждого подканала *просачивается* помеха на соседние каналы. Так возникает межсимвольная (МСИ) и межканальная (МКИ) интерференции [4, 7].

Основная причина потери ортогональности базисных функций – сбой синхронизации за счет мультипликативных помех в канале. Для уменьшения МСИ и МКИ вводятся защитные интервалы (циклические префиксы) для каждого пакета. В результате подавление МСИ очень высокое, но с МКИ не так все просто. Дело в том, что разработка стандартов беспроводного доступа опережала разработку оборудования производителями. На практике оказалось, что оборудование прекрасно работает в условиях стационарности или не большой скорости передвижения абонентов (не более 40 км/ч), но стоит увеличить мобильность идут сплошные отказы (за счет доплеровского эффекта) и некоторые положения стандартов трудновыполнимы. Производители начали немного *подправлять* стандарты.

Одним из таких поправок является введение дополнительных (нулевых) поднесущих, как бы дополнительный защитный интервал. Также пытаются уменьшить длительность передаваемых базисных функций. Оба этих поправок приводят к ухудшению спектральной эффективности и возрастанию энергетических характеристик сигнала (пик-фактора). В последнее время начались исследования в области подбора базисных функций не обязательно ортогональных, но с помощью оконных преобразований Фурье [5, 7], вейвлет-преобразований [4, 6, 8], приводящих к хорошей локализации в частотной области.

Как было указано выше, именно под воздействием помех базис меняется (плывет), что приводит к потере ортогональности базисных функций.

Для борьбы с неопределенностью фазы Петрович Н.Т. предложил вводить в передаваемый сигнал относительность и данный способ известен как OFM (относительная фазовая модуляция) [10]. В дальнейшем Окунев Ю.Б. для борьбы с неопределенностями в каналах предложил вводить в сигнал относительности более высокого порядка [9].

Например, в каналах фиксированной связи с фазовой модуляцией неопределенность фазы устраняется введением относительности. При мобильной связи если один абонент движется, а другой неподвижен за счет эффекта Доплера возникает дополнительная неопределенность по частоте. Для устранения неопределенности по фазе вводится относительность, получившее название OFM первого порядка. В данный сигнал вновь вводится относительность, получившее название OFM второго порядка, тем самым устраняя неопределенность по частоте. При мобильной связи, если оба абонента движутся по отношению друг друга, возникает дополнительно неопределенность по амплитуде и ее можно устранить введением в сигнал OFM третьего порядка и т.д. В последнее время начались исследования в области использования разработанные алгоритмы и соответствующее устройства цифровой демодуляции сигналов с двоичной OFM [14]. Долгое время было мнение, что OFM можно использовать только с двоичными сигналами, поэтому OFM считали частным случаем ФМ. Однако, в начале 80-х годов 20 века Петрович Н.Т. и Сухоруков А.С. предложили уже универсальный модем OFM, который может работать со всеми сигналами [11,12,13]. Применение чисто двоичной фазовой модуляции снижает удельную скорость передачи информации по каналу и, соответственно, эффективность использования полосы частот канала. повышение удельной скорости возможно при использовании в канале многопозиционных сигналов (в данном случае сигналов многопозиционной относительной фазовой модуляции OFM-M ($M > 2$ – объем алфавита сигнального ансамбля)). В литературе подобного рода системы с недвоичными сигналами OFM-M не рассматривались.

Выводы

1. Задача борьбы с МСИ и МКМ в беспроводных OFDM системах является очень актуальной, и во многих случаях пока не находит приемлемого решения.
2. Утвержденные стандарты в беспроводных OFDM системах не удовлетворяют современным требованиям, особенно при движении на скоростях свыше 40 км/ч.
3. Для борьбы с помехами, которые приводят к потере ортогональности базисных функций желательно вводить в передаваемый сигнал относительность и данный способ известен как OFM (относительная фазовая модуляция).

Заключение

В основу современных систем беспроводного доступа положены алгоритмы формирования и обработки сигналов с технологией OFDM (ортогонального частотного мультиплексирования). Поскольку принятый стандарт изменить нельзя, у разработчиков остался только один выход - соревноваться между собой в совершенствовании приемной

аппаратуры, применяя более сложные методы обработки сигналов и оптимизируя вычислительные и аппаратные затраты на их реализацию.

Для борьбы с помехами, которые приводят к потере ортогональности базисных функций желательно вводить в передаваемый сигнал относительность и данный способ известен как OFM (относительная фазовая модуляция). В литературе подобного рода системы с недвоичными сигналами OFM-M не рассматривались.

Список использованной литературы

1. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. - М.: Радио и связь, 2000.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам: пер. с англ. / Под ред. А.П. Петухова. - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
3. Кравченко В. Ф. Цифровая обработка сигналов и изображений [Текст]/Под ред. В. Ф. Кравченко. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
4. Волчков В.П., Казаков Д.Ю. Синтез оптимальных сигнальных базисов Вейля-Гейзенберга для OFDM систем // Научные ведомости БелГУ. Серия «Информатика и прикладная математика», №1(21), Вып. 2. - Белгород: Изд-во БелГУ, 2006. - С.107-118.
5. Волчков В.П. Сигнальные базисы с хорошей частотно-временной локализацией // Электросвязь, №2. - Москва, 2007. - С. 21-25.
6. Волчков В.П., Петров Д.А. Оптимизация ортогонального базиса Вейля-Гейзенберга для цифровых систем связи, использующих принцип OFDM/OQAM передачи [Текст]// Научные ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика», №1(56), Вып. 9/1. - Белгород: Изд-во БелГУ, 2009. - С.102-110.
7. Волчков В.П., Петров Д.А. Обобщенная теорема Найквиста для OFTDM сигналов // Сборник докладов. Всероссийский научно-технический семинар «Системы синхронизации формирования и обработки сигналов для связи и вещания» - Воронеж, 2009. - С. 28-32.
8. Volchkov V.P., Petrov D.A. Orthogonal Well-Localized Weyl-Heisenberg Basis Construction and Optimization for Multicarrier Digital Communication Systems [Электронный ресурс] // International Conference on Ultra Modern Telecommunications (ICUMT 2009), St. Petersburg, Russia, Oct 12-14, 2009, ISBN: 978-1-4244-3941-6, IEEE Catalog Number: CFP0963G-CDR (<http://ieeexplore.ieee.org>)
9. Окунев Ю.Б. Теория фазоразностной модуляции / Ю.Б. Окунев. – М.: Связь, 1979. – 216
10. Петрович Н.Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией – М.: Сов радио, 1965. – 263 с.
11. Сухоруков А.С. Система связи с аналоговой OFM. Электросвязь №12, 1983 г.
12. Сухоруков А.С., Дараев И.М. Формирователь сигналов относительной фазовой модуляции А.С. 1305890 от 12.12.1985.
13. Сухоруков А.С., Дараев И.М. Формирователь сигналов относительной фазовой модуляции А.С. 1406815 от 20.11.1988.
14. Банкет В.Л., Тотмина Ю.Н. Развитие теории дифференциальных методов модуляции для современных цифровых телекоммуникационных систем/Цифровые технологии №10, 2011.–С.43-54.

References

1. Prokis J. Sifrovaia sváz: per. s angl. / Pod red. D. D. Klovsckogo. - M.: Radio i sváz, 2000.
2. Dobeši Ī. Desät leksi po veivletam: per. s angl. / Pod red. A.P. Petuhova. - Ījevsk: NĪS «Regulārnaia i haoticheskaia dinamika», 2001.

3. Kravchenko V. F. Sifrovaia obrabotka signalov i izobrajeni [Tekst]/Pod red. V. F. Kravchenko. - M.: FİZMATLIT, 2007.
4. Volchkov V.P., Kazakov D.İ. Sintez optimälnyh signälnyh bazisov Veilä- Geizenberga dlä OFDM sistem // Nauchnye vedomosti BelGU. Seria «İnformatika i prikladnaia matematika», №1(21), Vyp. 2. - Belgorod: İzd-vo BelGU, 2006. - S.107-118.
5. Volchkov V.P. Signälnye bazisy s horoşei chastotno-vremennoi lokalizatsiei / / Elektrosvüz, №2. - Moskva, 2007. - S. 21-25.
6. Volchkov V.P., Petrov D.A. Optimizatsia ortogonälno bazisa Veilä-Geizenberga dlä sifrovyyh sistem sväzi, ispolzuiuşih prinsip OFDM/OQAM peredachi [Tekst]// Nauchnye vedomosti BelGU. Seria «İstoria. Politologia. Ekonomika. İnformatika», №1(56), Vyp. 9/1. - Belgorod: İzd-vo BelGU, 2009. - S.102-110.
7. Volchkov V.P., Petrov D.A. Obobşennaia teorema Naikvista dlä OFTDM signalov // Sbornik dokladov. Vserossiski nauchno-tehnicheski seminar «Sistemy sinhronizatsii formirovaniia i obrabotki signalov dlä sväzi i veşania» - Voronej, 2009. - S. 28-32.
8. Volchkov V.P., Petrov D.A. Orthogonal Well-Localized Weyl-Heisenberg Basis Construction and Optimization for Multicarrier Digital Communication Systems [Elektronnyiresurs] / / International Conference on Ultra Modern Telecommunications (ICUMT 2009), St. Petersburg, Russia, Oct 12-14, 2009, ISBN: 978-1-4244-3941-6, IEEE Catalog Number: CFP0963G-CDR (<http://ieeexplore.ieee.org>)
9. Okunev İ.B. Teoria fazoraznostnoi moduläsii / İ.B. Okunev. – M.: Svüz, 1979. – 216
10. Petrovich N.T. Peredacha diskretnoi informatsii v kanalah s fazovoi manipuläsiei – M.: Sov radio, 1965. – 263 s.
11. Suhorukov A.S. Sistema sväzi s analogovoi OFM. Elektrosvüz №12, 1983 g.
12. Suhorukov A.S., Daraev İ.M. Formirovatel signalov otnositelnoi fazovoi moduläsii A.S. 1305890 ot 12.12.1985
13. Suhorukov A.S., Daraev İ.M. Formirovatel signalov otnositelnoi fazovoi moduläsii A.S. 1406815 ot 20.11.1988
14. Banket V.L., Totmina İ.N. Razvitie teorii differentsiälnyh metodov moduläsii dlä covremennyh sifrovyyh telekommunikatsionnyh sistem/Sifrovyye tehnologii №10, 2011.–S.43-54