

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ОРТОГОНАЛЬНОГО ЧАСТОТНОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ

Дёмко А.И., Ганиев М.И., Семенов О.Ю., Шафикова А.Ф.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

Ключевые слова: мультиплексирование, частотное разделение, OFDM, преобразования Фурье, QAM-модуляция, технология SISO, MIMO, MatLab, коэффициент ошибок, BER.

Аннотация. В статье описана технология ортогонального частотного мультиплексирования - OFDM, основанная на формировании многочастотного сигнала. Представлено использование графической и интерактивной среды Simulink и пакета прикладных программ MatLab соответственно, с целью реализации радиоканала с применением технологий SISO и MIMO. Получены параметры BER при выбранном уровне сигнала для каналов с системами SISO и MIMO. Материалы статьи применяются в образовательном процессе при подготовке специалистов по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

DATA TRANSFER MODELING WITH THE APPLICATION OF TECHNOLOGY OF ORTHOGONAL FREQUENCY MULTIPLEXING

Dyomko A.I., Ganiev M.I., Semenov O.Yu., Shafikova A.F.

Surgut State University, Surgut

Keywords: multiplexing, frequency division, OFDM, Fourier transforms, QAM modulation, SISO technology, MIMO, MatLab, error rate, BER.

Abstract. The article describes the technology of orthogonal frequency multiplexing - OFDM, based on the formation of a multi-frequency signal. The use of the Simulink graphical and interactive environment and the MatLab application package, respectively, are presented to implement the radio channel using SISO and MIMO technologies. BER parameters at selected signal level for channels with SISO and MIMO systems are received. The materials of the article in the educational process in the training of specialists in the direction of "Infocommunication technologies and communication systems" are used.

Применение метода модуляции цифровых сигналов с частотным разделением ортогональных несущих способствует более качественной работе радиоустройств в выбранной полосе частот, что позволяет устранять влияние помех в канале связи на основной сигнал [1-7].

За счёт использования мультиплексирования с перекрывающимися спектрами поднесущих частот освобождается почти половина спектрального диапазона в сравнении с системами без OFDM - мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов. Передача на частотных подканалах ведется параллельно, а суммарная ширина спектра многочастотного сигнала сравнима с шириной спектра заданного последовательного сигнала. Так, период передачи одного символа увеличивается, а последовательность блоков имеет в N раз меньшую скорость передачи символов, что положительно влияет на помехоустойчивость.

Основной особенностью OFDM является ортогональность соседних поднесущих колебаний, то есть совпадение отдельных пиков с нулями других поднесущих. Таким образом устраняется межканальная интерференция при частичном перекрытии спектров поднесущих, а для борьбы с многолучевостью к OFDM-символу добавляется так называемый циклический префикс.

Для простоты реализации обработка сигнала происходит в цифровом виде, а для дальнейшей его передачи сигнал преобразуют в аналоговую форму с помощью цифро-аналогового преобразователя. В полосе основного канала связи передается множество несущих частот, каждая из которых модулируется с применением QAM - модуляция методом квадратичных амплитуд – это технология передачи цифрового информационного потока в виде аналогового сигнала модуляции [2]. На рисунках 1 и 2 представлены схемы модуляции и демодуляции OFDM сигнала.

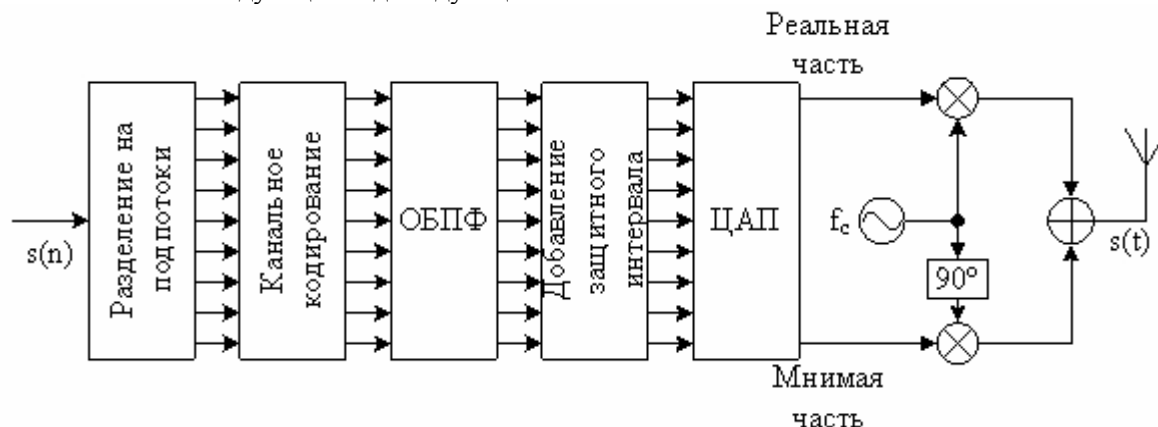


Рис. 1. Структурная схема OFDM-модулятора

С использованием систем MIMO - метода пространственного кодирования сигнала, позволяющий увеличить полосу пропускания канала, в котором передача данных и прием данных осуществляются системами из нескольких антенн, вероятность замирания сигнала и последующее взаимоподавление сигналов сразу на всех антеннах намного меньше. Скорость передачи информации увеличивается в зависимости от числа приёмопередающих антенн.

Преимуществом технологии MIMO перед SISO (устройство с одним входом и одним выходом) является повышение спектральной эффективности, так за счёт использования дополнительного избыточного кода можно уменьшить вероятность битовых ошибок, что позволяет обеспечить более высокую производительность устройств кодирования и декодирования [3].

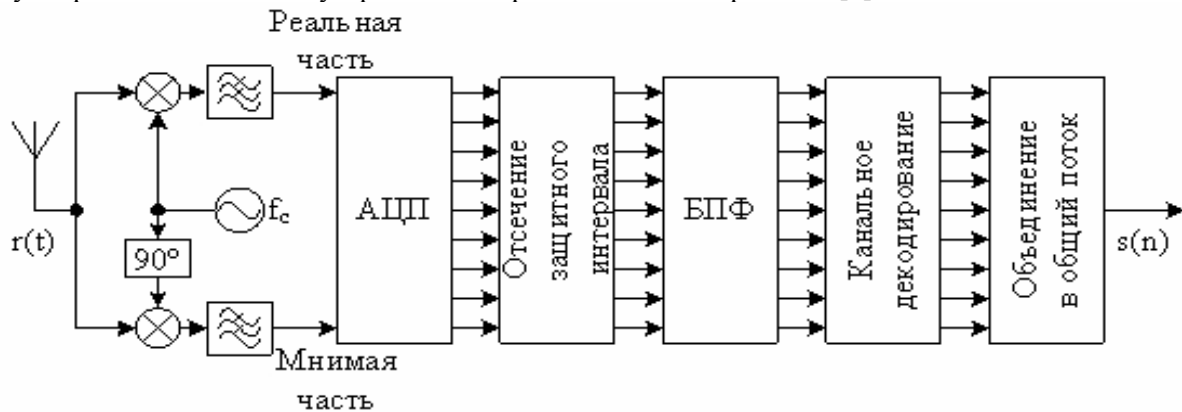


Рис. 2. Структурная схема OFDM-демодулятора

При реализации радиоканала необходимо определиться с основными параметрами, такими как число применяемых в системе поднесущих частот, частота дискретизации F_s , количество точек ОБПФ N и длительности сигнала T . Они учитываются при построении аппаратуры формирования сигналов с OFDM [4-6].

Стандарт IEEE 802.16e-2005 (для режима городских беспроводных сетей Wireless MAN) рекомендует к использованию следующие значения параметров: $N = 256$, 200 поднесущих (192 информационных и 8 для пилот-сигналов) и параметры на выбор из таблицы 1.

Табл. 1. Параметры OFDM сигнала в соответствии со стандартом IEEE 802.16e-2005 в зависимости от занимаемой полосы частот (ΔF_3)

(ΔF_3) , МГц	1.75	3.5	7	14	28
F_s , МГц	2	4	8	16	32
$T=N/F_s$, мкс	128	64	32	16	8

Рассмотрим влияние на помехоустойчивость увеличения числа передающих и принимающих антенн наглядно из результатов построения графика в среде MatLab. MatLab - это интерактивная среда программирования и самостоятельный высокоуровневый язык.

При моделировании ортогонального частотного мультиплексирования применение программы MatLab позволяет производить расчёты, разрабатывать алгоритмы, анализировать данные и визуализировать результаты. В MatLab можно также применять множество встроенных функций для инженерных и научных операций и использовать расширенные библиотеки, которые предназначены для ускорения векторных и матричных вычислений, операции интерполяции, регрессии, численные решения дифференциальных уравнений, системы линейных уравнений, Фурье-анализ, матрицы различных типов данных и многое другое. Таким образом, расширения MatLab предоставляют особый функционал в области обработки сигналов, поэтому применение данной среды является оптимальным для решения задачи.

В результате анализа зависимостей, представленных на рисунке 3 возможно определить по формуле закономерности влияния схемы передачи данных на помехоустойчивость сигналов в зависимости от числа антенн: $D = N_T N_R$, где N_T – количество передающих, N_R - число принимающих антенн, значение SNR - безразмерная величина, равная отношению мощности полезного сигнала к мощности шума [7].

В данной статье была описана модель передачи OFDM сигнала, рассмотрены преимущества использования MIMO систем, определены необходимые для моделирования параметры, получен график зависимости BER - достоверность передачи данных от отношения сигнал/шум для различных схем передачи данных посредством использования среды программирования MatLab.

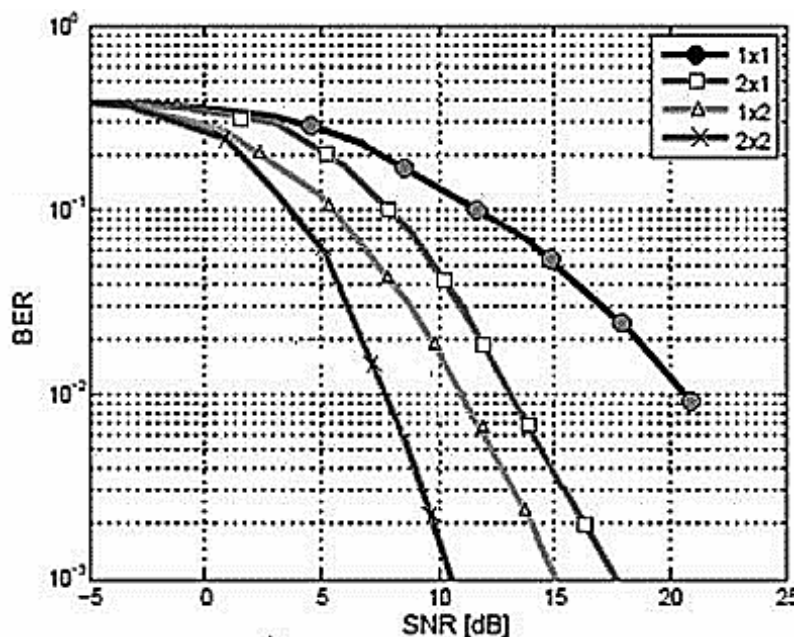


Рис. 3. Зависимость помехоустойчивости от количества антенн

Список литературы

1. Дворкович В.П. Цифровые видеоинформационные системы. – М.: Техносфера, 2012. – 1008 с.
2. Рашич А.В. Сети беспроводного доступа WiMAX: учеб. пособие. – СПб: Изд-во Политехнического университета, 2011. – 179 с.
3. Семенов О.Ю. Исследование эффективности когерентной оптической OFDM и WDM систем / Трофимова М.А., Семенов О.Ю., Шаркова Н.А. // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. ст. по матер. XIX междунар. науч.-практ. конф. № 10 (19). – Новосибирск: СибАК, 2018. – С. 55-62.
4. Семенов О.Ю. OFDM-сигналы в телекоммуникационных системах беспроводной передачи данных / Семенов О. Ю., Чаппаров Ф. Х., Трофимова М. А., Шаркова Н. А., Гамидов Ф. М., Сафроненко С. А. // Техника. Технологии. Инженерия. – 2018. – №3. – С. 6-8.
5. Семенов О.Ю. Взаимодействие систем сигнализации R1.5 и R2 в сетях связи / XXII Международная научно-практическая конференция «Вопросы современных научных исследований». – Вестник современных исследований. – 2018. – № 4–2 (19). – С. 299–304.
6. Семенов О.Ю. Организация связи передачи данных в SCADA-системе с нижним уровнем в автоматизированной системе управления технологического процесса / Давлетов Р.Р., Семенов О.Ю. // Роль физико-математического и инженерного образования в современном обществе: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Сургут, 7 ноября 2017 г.). – Сургут. гос. ун-т. – Сургут: ИЦ СурГУ, 2017. – С. 22-26.
7. Шелухин О.И. Результаты имитационного моделирования системы широкополосного доступа WiMAX в среде MATLAB Simulink / Иванов Ю.А., Ненахов К.А., Арсеньев А.В. – Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. № 4, т.6. – С. 28-34.

Сведения об авторах:

Дёмко Анатолий Ильич – к.т.н., доцент, доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, СурГУ;

Ганиев Марс Ильгизович – аспирант, СурГУ;

Семенов Олег Юрьевич – к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики, СурГУ;

Шафикова Альбина Фазировна – магистр, СурГУ.