



DOI: <https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2023.3.4>

УДК 004.021

ББК 32.973.3

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО КАНАЛУ СВЯЗИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ МАТЛАВ

Людмила Константиновна Гомазкова

Старший преподаватель, кафедра телекоммуникационных систем,
Волгоградский государственный университет
gomazkova.lk@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Нина Дмитриевна Керенцева

Студент, кафедра телекоммуникационных систем,
Волгоградский государственный университет
ninochka1904@gmail.com
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Евгений Сергеевич Семенов

Кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой телекоммуникационных систем,
Волгоградский государственный университет
semenov.evgeniy@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В статье исследуется передача данных по каналу связи при использовании технологии ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM). Рассмотрены особенности технологии мультиплексирования с ортогональным частотным разделением. Разработан программный алгоритм процесса передачи данных по каналу связи в программной среде Matlab. Проведена оценка точности переданных с помощью разработанного алгоритма данных.

Ключевые слова: OFDM, программный алгоритм, передача данных, среда Matlab, ортогональное частотное мультиплексирование.

В системе связи с одной несущей длительность символа должен быть намного больше, чем время задержки, чтобы избежать межсимвольной интерференции. Однако достичь этого можно только за счет снижения скорости передачи данных, так как скорость передачи обратно пропорциональна периоду символа. В системе связи с несколькими

несущими (например, FDM) общая доступная полоса пропускания разделяется на поддиапазоны для параллельной передачи нескольких несущих (поднесущих). Однако при высокой скорости передачи может возникнуть интерференция между поднесущими, так как высокая скорость достигается за счет их близкого расположения в спектре. Для того

чтобы избежать интерференции и между символами, и между поднесущими, в системах связи распространено использование мультиплексирования с ортогональным частотным разделением – OFDM [1].

Во-первых, ортогональность позволяет поднесущим быть близко расположенными, и даже накладываться друг на друга, без помех между ними, так как передача информации на каждой из них не влияет на передачу информации на соседних (рис. 1) [2]. Это следует из математического определения ортогональности, означающего нулевое скалярное произведение сигналов разных поднесущих. Таким образом, в случае смещения одной из поднесущих по частоте при передаче, она займет место другой поднесущей, сигнал которой при демодуляции будет равен нулю, что показывает отсутствие интерференции между поднесущими. Физически ортогональность обеспечивается в случае, когда за время длительности одного символа несущий сигнал будет совершать целое число колебаний.

Помимо этого, такое размещение позволяет более эффективно использовать доступную полосу частот.

Во-вторых, низкая скорость передачи данных каждой поднесущей подразумевает боль-

шую длительность символов, что значительно уменьшает межсимвольные помехи [3; 4].

Для борьбы с межсимвольной интерференцией в OFDM используется защитный или охранный интервал (Guard Interval, GI), как показано на рис. 2. Обычно в качестве защитного интервала используют так называемый циклический префикс. Префикс представляет собой циклическое повторение окончания OFDM-символа. Он добавляется перед передаваемым OFDM-символом в передатчике и удаляется при приеме символа в приемнике. Наличие защитного интервала создает временные паузы между отдельными символами, и если его длительность превышает максимальное время задержки сигнала в результате многолучевого распространения, то межсимвольной интерференции не возникает.

Разработка программного алгоритма велась с помощью среды программирования Matlab, так как в Matlab предусмотрено большое количество различных математических операций, что позволяет не писать развернутый код этих операций, тем самым позволяя выделить основные физические процессы в алгоритме, что упрощает его разработку.

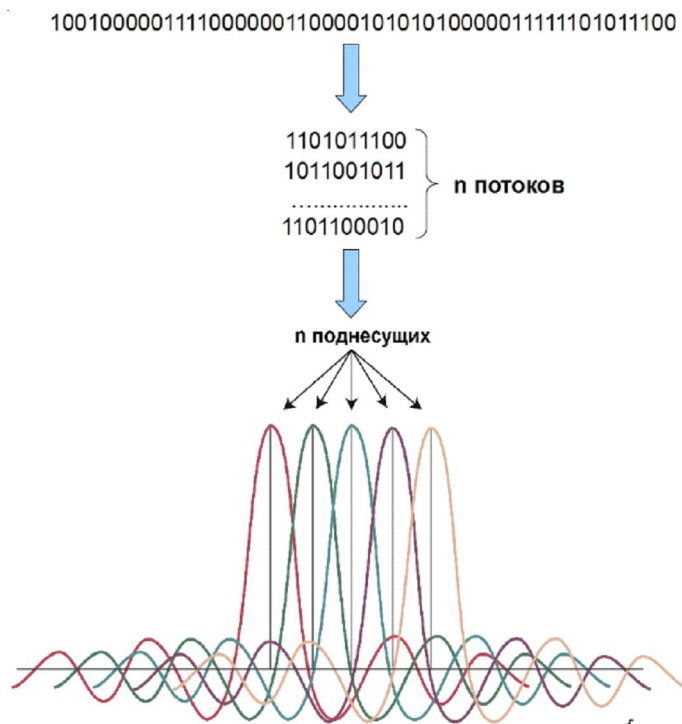


Рис. 1. Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением

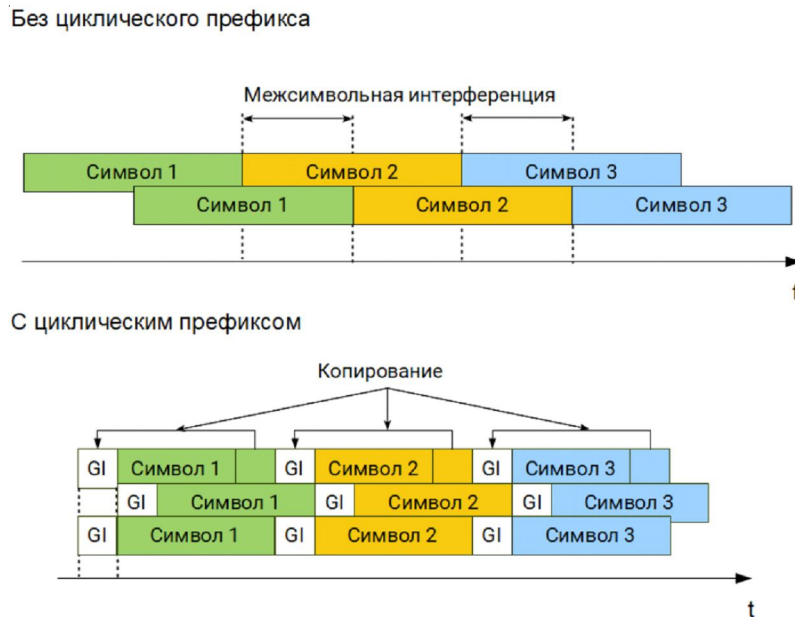


Рис. 2. Защитный интервал и межсимвольная интерференция

Первым этапом в работе алгоритма является ввод параметров для последующего моделирования, таких как, например, размер циклического префикса, значение отношения сигнал/шум и др. Затем происходит обработка изображения, при которой данные из трехмерного массива преобразуются в двоичный код (поток данных), после чего полученный поток битов (0 и 1) разделяется на битовые символы.

Далее необходимо модулировать сигнал в соответствии с выбранным методом модуляции (при разработке алгоритма использовалась квадратурная фазовая манипуляция), и после этого с помощью обратного быстрого преобразования Фурье произвести перенос данных из частотной области во временную.

Затем к данным добавляется циклический префикс и происходит преобразование *parallel-to-serial*, то есть из параллельных данных в последовательные. Далее к полученному сигналу добавляется белый гауссовский шум, сигнал передается по каналу связи и попадает на приемную сторону, где с данными происходят обратные операции преобразования.

На завершающем этапе работы алгоритма из полученного после демодуляции двоичного потока данных формируется матрица изображения и происходит вывод результатов: на экран выводятся изначальное (оригинальное) и восстановленное после передачи изображения, строится график сигнального созвездия, вычисляется

показатель BER – это количество ошибочных битов, деленное на общее количество переданных битов за исследуемый интервал времени.

После запуска и успешной работы разработанного программного алгоритма были получены следующие результаты, представленные на рис. 3.

Стоит отметить, что по рисунку 3 видно, что восстановленное из переданного сигнала изображение, почти не отличается от оригинала, так как показатель BER составляет всего 0,11, что говорит о высокой точности передачи данных.

В завершении была проведена оценка работы алгоритма. Для этого изменялось значение отношения сигнал/шум (SNR) и записывалось результирующее значение BER. На основе серии проведенных экспериментов был построен график зависимости значения показателя BER от значения SNR, представленный на рис. 4.

Таким образом, можно видеть, что при увеличении параметра SNR, задававшегося на начальном этапе работы алгоритма, в результате уменьшается показатель BER, то есть количество ошибок становится меньше.

Соответственно, можно сделать вывод об адекватной работе разработанного алгоритма, а также на основе полученных данных можно судить о довольно высокой точности передачи графической информации с помощью разработанного алгоритма.

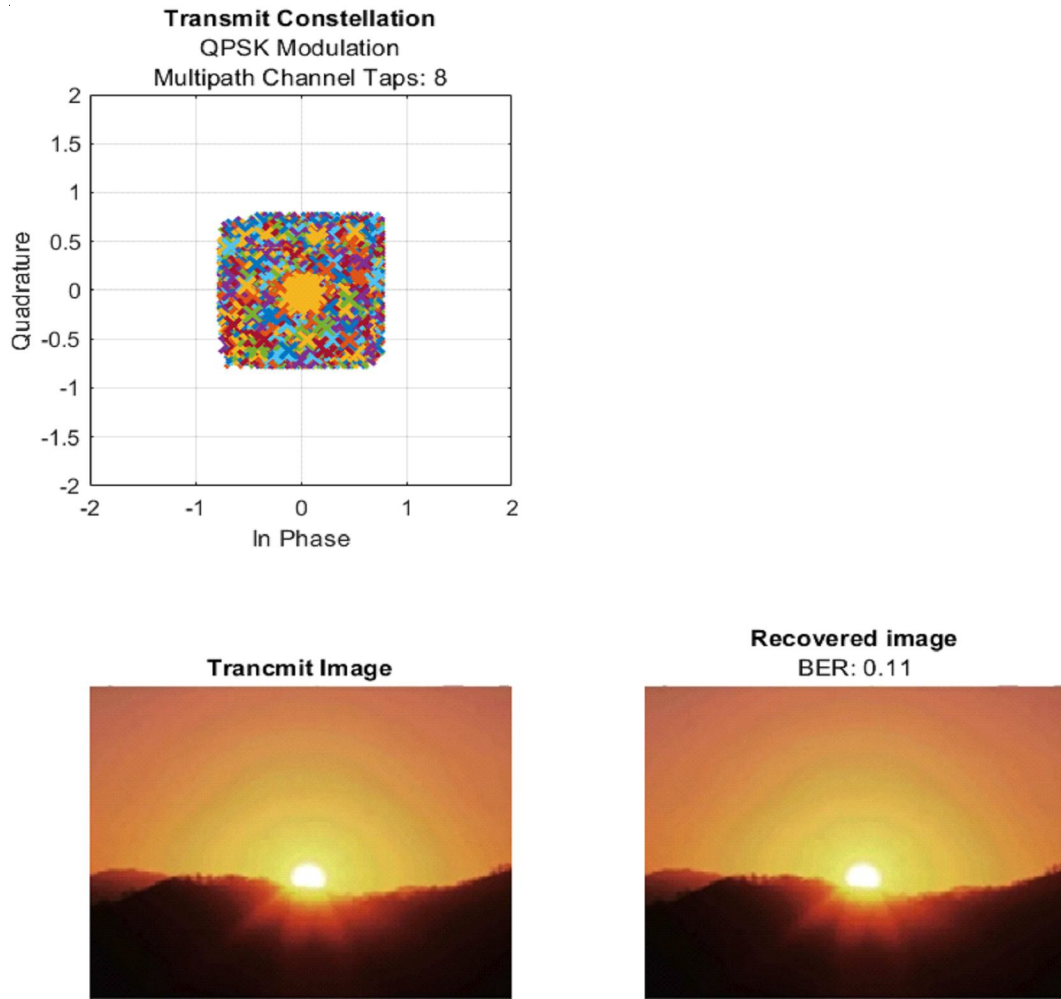


Рис. 3. Результаты работы алгоритма

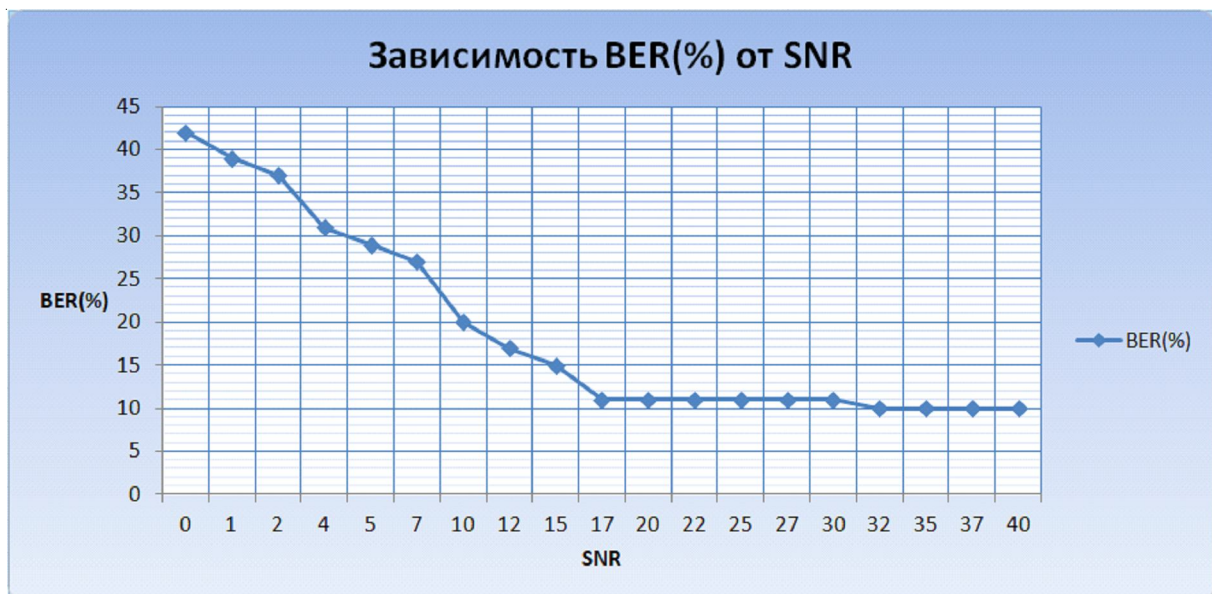


Рис. 4. График зависимости BER от SNR

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галустов, Г. Г. Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением сигналов / Г. Г. Галустов, С. Н. Мелешкин. – Таганрог : Южн. федер. ун-т, 2012. – 80 с.
2. Мелихов, С. В. Технология OFDM : учеб.-метод. пособие для лекцион. и практ. занятий, курсов. проектирования, самостоят. работы студентов радиотехн. специальностей. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2019. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9126/download>. – Загл. с экрана.
3. Просто о сложном: OFDM-модуляция. Материалы сервера // Nag.ru. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://nag.ru/material/30600>. – Загл. с экрана.
4. Hanzo, L. OFDM and MC-CDMA: A Primer / L. Hanzo, T. Keller. New Jersey : Wiley, 2006. – 396 с.

REFERENCES

1. Galustov G.G. *Multipleksirovanie s ortogonalnym chastotnym razdeleniem signalov* [Multiplexing with Orthogonal Frequency Division of Signals]. Taganrog, Yuzhn. feder. un-t, 2012. 80 p.
2. Melikhov S.V. *Tehnologija OFDM: ucheb.-metod. posobie dlja lekcion. i prakt. zanjatij, kursov. proektirovanija, samostojat. raboty studentov radiotehn. specialnostej* [OFDM Technology: Textbook for Lecture and Practical Classes, Course Design, Independent Work of Students of Radio Engineering Specialties]. Tomsk, Tomsk. gos. un-t sistem upr. i radioelektroniki, 2019. URL: <https://edu.tusur.ru/publications/9126/download>
3. Prosto o slozhnom: OFDM-moduljacija. Materialy servera [Simply About Complicated: OFDM-Modulation. Materials of the Server]. *Nag.ru*. URL: <https://nag.ru/material/30600>
4. Hanzo L., Keller T. *OFDM and MC-CDMA: A Primer*. New Jersey, Wiley, 2006. 396 p.

**DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR DATA TRANSMISSION
OVER A COMMUNICATION CHANNEL
IN THE MATLAB PROGRAM ENVIRONMENT**

Lyudmila K. Gomazkova

Postgraduate Student, Department of Telecommunications Systems,
Volgograd State University
gomazkova.lk@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Nina D. Kerentseva

Student, Department of Telecommunications Systems,
Volgograd State University
ninotchka1904@gmail.com
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Evgeniy S. Semenov

Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor,
Head of the Department of Telecommunications Systems,
Volgograd State University
semenov.evgeniy@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. In order to avoid interference both between symbols and between subcarriers, the use of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) is common in communication systems, so the article investigates data transmission over a communication channel using

orthogonal frequency multiplexing (OFDM) technology. The features of the orthogonal frequency division multiplexing technology are considered in this work. Also, the algorithm for the process of data transmission over a communication channel has been developed. The development of the software algorithm was carried out using the Matlab programming environment, since Matlab provides for a large number of different mathematical operations, which makes it possible not to write the detailed code of these operations, thereby allowing to highlight the main physical processes in the algorithm, which simplifies its development. And finally, the assessment of the accuracy of the data transmitted using the developed algorithm was carried out because the final stage of the developed algorithm is the image matrix forming from the binary data stream obtained after the demodulation and the results displaying, which are the restored and original images, the signal constellation graph and the BER parameter. In conclusion, a graph of the dependence of the BER parameter on the value of SNR is given.

Key words: OFDM, software algorithm, data transmission, Matlab environment, orthogonal frequency multiplexing.