

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций
Кафедра «Радиотехника и телекоммуникации»

Работа допущена к защите

Зав. кафедрой

«_____» _____ 2015г.

ВЫПУСКНАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема: Моделирование эквалайзера приемника сигналов Wi-Fi

Направление: 110302 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Выполнил студент гр. 43422/3

(подпись)

А.С. Марков

Руководитель, ст. преп.

(подпись)

В.Т. Венедиктов

Санкт - Петербург

2015

Реферат

Работа содержит 22 страницы, 10 рисунков, 4 библиографических названия.

Ключевые слова: WIFI, ЭКВАЛАЙЗЕР, ЭКВАЛАЙЗИРОВАНИЕ, MATLAB, OFDM

Описание содержания работы и полученных результатов: в работе была разработана модель эквалайзера приемника сигналов WiFi; было произведено сравнение разработанной модели с предшествующей ей версией по критерию минимума разброса обработанных значений принятого сигнала, в результате сравнения разработанная модель была признана наиболее оптимальной.

Объектом исследования является сигнал, соответствующий стандарту IEEE 802.11. Цель работы состоит в разработке модели эквалайзера приемника данного сигнала в среде MATLAB.

В результате исследования разработана модель эквалайзера приемника сигналов WiFi.

Задание на выпускную квалификационную работу выполнено в полном объёме.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Принципы модуляции WiFi сигнала	5
1.1. Передача сигналов по беспроводному каналу	5
1.2. OFDM модуляция.....	7
1.3. Пилотные поднесущие.....	11
1.4. Эквалайзирование	12
2. Моделирование эквалайзера	13
2.1. Эквалайзирование без использования пилотных поднесущих	13
2.2. Эквалайзирование с учетом пилотных поднесущих	14
2.3. Программная реализация модели эквалайзера.....	15
2.4. Результат работы модели эквалайзера	16
Заключение	18
Приложение 1	19
Приложение 2	20
Приложение 3	21
Список использованной литературы.....	22

Введение

Одним из самых распространенных стандартов беспроводной передачи информации является стандарт IEEE 802.11n, более известный под названием WiFi. В данном стандарте используются частоты 2.4ГГц, а также 5ГГц. Для передачи информации между устройствами в стандарте IEEE 802.11n используется OFDM модуляция, подразумевающая частотное кодирование, позволяющее избежать потерь информации, связанных с амплитудными искажениями и наложением переотраженных сигналов.

Недостатком OFDM модуляции является то, что при передаче сигнала через беспроводной канал связи он подвергается искажениям связанным с неравномерной передаточной характеристикой канала в частотной области. Для устранения таких искажений необходим эквалайзер.

Целью данной работы является создание в среде MATLAB модели эквалайзера приемника сигналов стандарта IEEE 802.11n, использующего пилотные сигналы, и исследование его эффективности.

1. Принципы модуляции WiFi сигнала

1.1 Передача сигналов по беспроводному каналу

В стандарте IEEE 802.11b используются частоты от 2,4 ГГц до 2,4835 ГГц. Для удобства передачи данных частотная полоса поделена на так называемые каналы. На рисунке 1 представлено частотное распределение каналов WiFi.

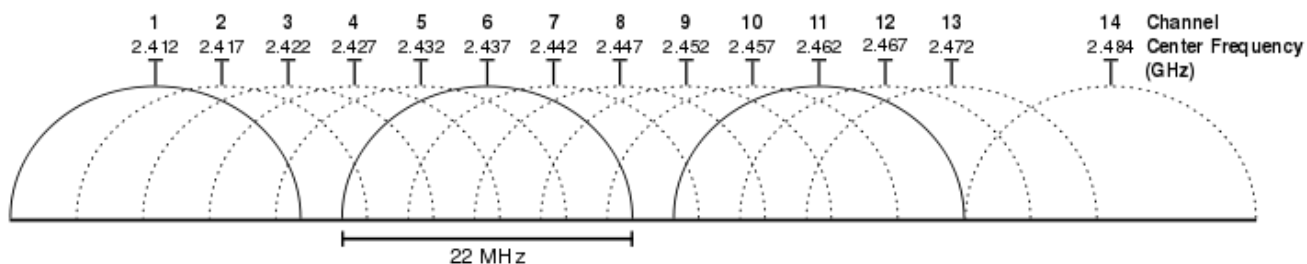


Рисунок 1

Как видно из приведенного выше рисунка, всего существует 14 каналов, но в зависимости от страны разрешенными к использованию могут быть только некоторые из них. Например в России запрещено использовать 14 канал, в Испании разрешено использовать лишь 4 канала, а в Японии разрешено использование всех 14 каналов. Стандарт IEEE 802.11n подразумевает использование двух частотных диапазонов, 2,4-2,5 ГГц и 5 ГГц. На частотах в 5 ГГц доступно 24 непересекающихся канала.



Рисунок 2

На рисунке 2 изображена схема передачи сигнала по беспроводному каналу. Как видно из рисунка, в процессе передачи сигнал подвергается действию помех.

Чаще всего WiFi применяется в портативных устройствах, таких как ноутбуки и мобильные телефоны, которые, в силу специфики своего использования, перемещаются в пространстве, а значит, в процессе передачи характеристики беспроводного канала постоянно меняются, а значит, передаваемый сигнал непрерывно подвергается воздействию различных помех. Таким образом, для обеспечения эффективной работы приемной и передающей техники необходимо бороться с влиянием помех на передаваемый сигнал.

1.2 OFDM модуляция

В стандарте IEEE 802.11 используется OFDM модуляция, подразумевающая частотное кодирование передаваемой информации. На рисунках 3 и 4 представлены схемы передатчика и приемника OFDM сигнала.

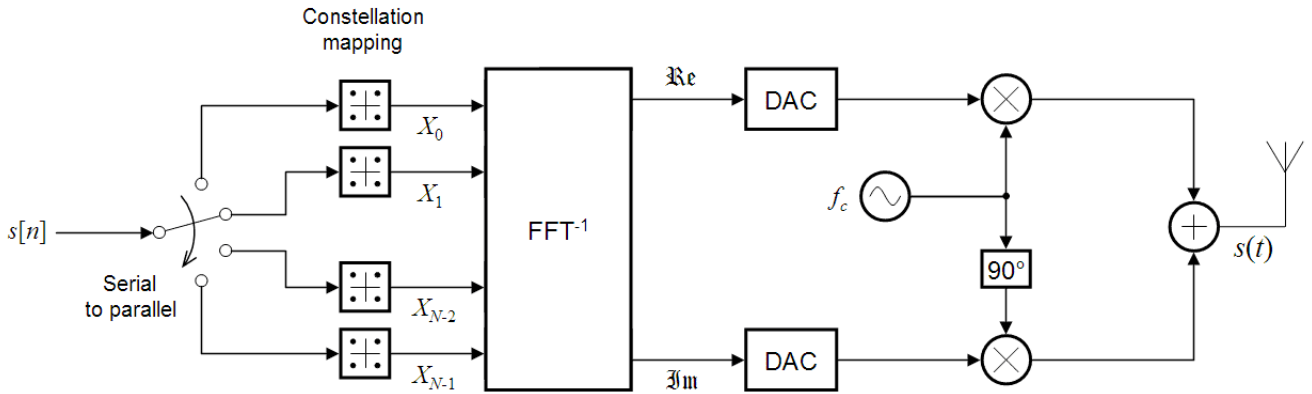


Рисунок 3

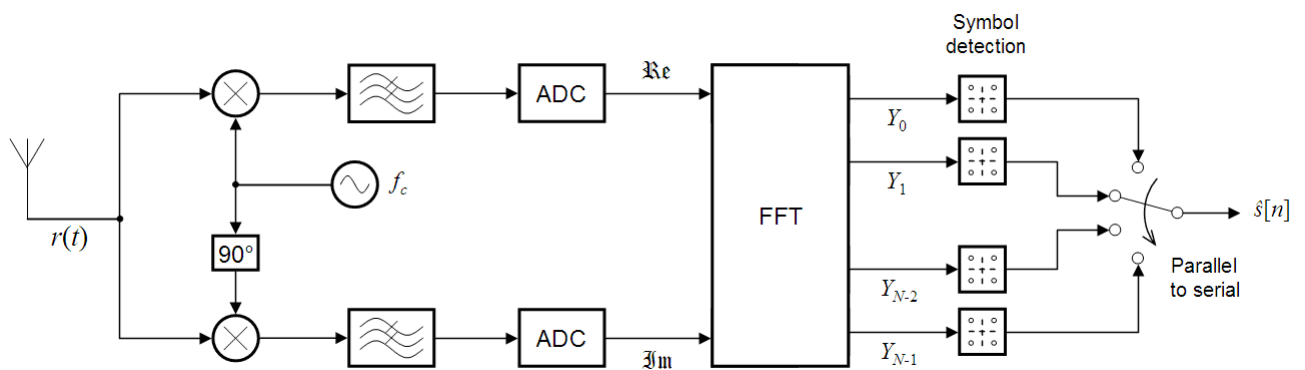


Рисунок 4

Для передачи OFDM модулированного сигнала используется не одна, а несколько поднесущих частот, в стандарте IEEE 802.11n их число равно 64. Передаваемое сообщение состоит из OFDM символов, каждый из которых включает в себя 48 поднесущих соответствующих информационным битам передаваемого сообщения, 12 поднесущих составляют специальный защитный интервал, а 4 поднесущие являются пилотными. Благодаря пилотным поднесущим становится возможным оценить передаточную характеристику канала и избавиться от искажений, которым подвергся принятый сигнал. На

рисунке 5 изображено расположение 4 пилотных среди 48 информационных поднесущих.

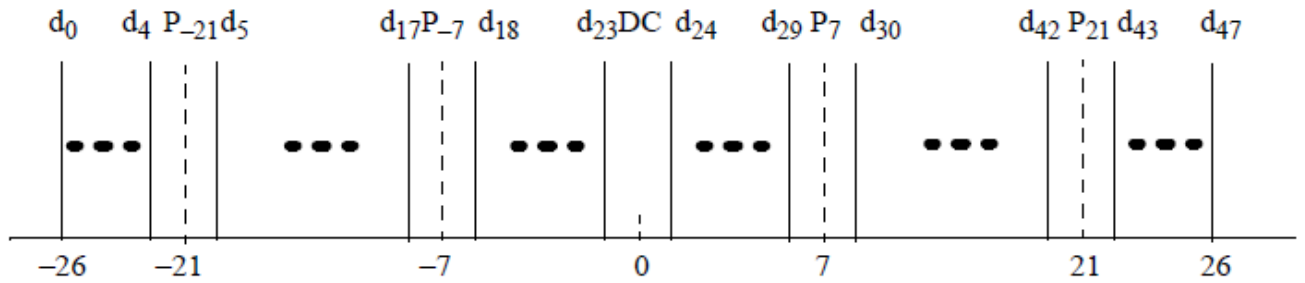


Рисунок 5

Значение каждого элемента OFDM символа, в свою очередь, кодируется с использованием BPSK, QPSK, QAM-16 или QAM-64 модуляции. На рисунке 6 представлены созвездия для данных видов модуляции.

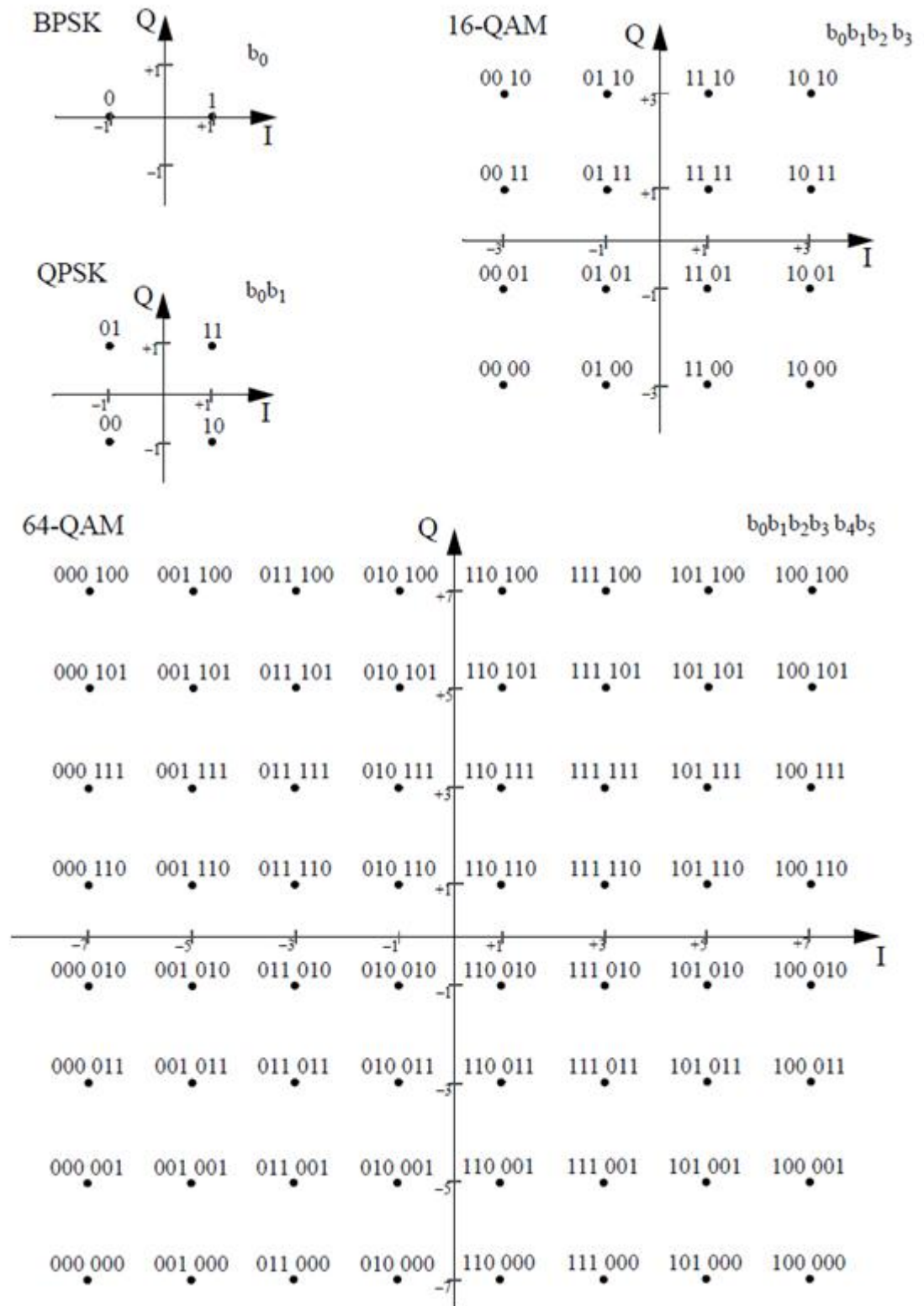


Рисунок 6

Благодаря этому каждой поднесущей может соответствовать 1, 2, 4 или 6 бит в зависимости от типа модуляции. При этом значения пилотных поднесущих всегда кодируются с использованием BPSK модуляции.

Кодирование передаваемой информации в частотной области осуществляется за счет выполнения обратного преобразования Фурье по отношению к сформированному OFDM символу. Результатом такого преобразования является сигнал, значения частотных составляющих которого соответствуют значениям элементов преобразованного OFDM символа.

1.3 Пилотные поднесущие

Пилотные поднесущие присутствуют в каждом OFDM символе и используются для оценки передаточной характеристики беспроводного канала и для устранения искажений полученного сигнала.

Значения пилотных элементов OFDM символа фиксированы и являются членами циклической последовательности, представленной на рисунке 7.

$$P_{0..126v} = \{1,1,1,1, -1,-1,-1,1, -1,-1,-1,-1, 1,1,-1,1, -1,-1,1,1, -1,1,1,-1, 1,1,1,1, 1,1,-1,1, 1,1,-1,1, 1,-1,-1,1, 1,1,-1,1, -1,-1,-1,1, -1,1,-1,-1, 1,-1,-1,1, 1,1,1,1, -1,-1,1,1, -1,-1,1,-1, 1,-1,1,1, -1,-1,-1,1, 1,-1,-1,-1, -1,1,-1,-1, 1,-1,1,1, 1,1,-1,1, -1,1,-1,1, -1,-1,-1,-1, -1,1,-1,1, 1,-1,1,-1, 1,1,1,-1, -1,1,-1,-1, -1,1,1,1, -1,-1,-1,-1, -1,-1,-1\}$$

Рисунок 7

Благодаря этому имеется возможность оценить амплитудные и фазовые искажения полученных значений пилотных элементов OFDM символа, а значит и получить передаточную характеристику беспроводного канала для пилотных поднесущих частот. Учитывая, что пилотные поднесущие частоты равномерно распределены по всему используемому диапазону частот, передаточную функцию беспроводного канала для всего диапазона можно получить путем экстраполяции значений полученных для пилотных частот.

1.4 Эквалайзирование

При передаче сигнала по беспроводному каналу каждая поднесущая подвергается амплитудному и фазовому искажению, которые возникают из-за того, что передаточная характеристика беспроводного канала индивидуальна для каждой из частот. Кроме того, передаточная характеристика беспроводного канала не постоянна во времени, а значит, необходимо все время производить ее оценку.

Для начальной оценки передаточной характеристики беспроводного канала в стандарте IEEE 802.11n предусмотрена передача специальной заранее известной обучающей последовательности в начале каждого пакета OFDM символов. Благодаря тому, что каждый элемент обучающей последовательности известен, возможно оценить начальную передаточную характеристику беспроводного канала для каждой поднесущей. Таким образом, при последующей обработке OFDM символов данного пакета необходимо только корректировать уже известную передаточную характеристику беспроводного канала.

2. Моделирование эквалайзера

2.1 Эквалайзирование без использования пилотных поднесущих

На момент начала написания данной работы в среде MATLAB уже был реализован эквалайзер для приемника сигналов Wi-Fi. Реализован данный эквалайзер был без использования пилотных поднесущих. Передаточная характеристика беспроводного канала оценивалась для каждой поднесущей частоты отдельно, исходя из смещения принятых значений относительно ближайшей точки соответствующего созвездия модуляции. Таким образом, корректировка оценки передаточной характеристики беспроводного канала осуществлялась верно только в случае небольшой величины искажений. В случае, когда изначально передаваемое значение элемента OFDM символа не является ближайшей точкой созвездия модуляции оценка изменения передаточной характеристики беспроводного канала будет получена неверно, в следствии чего возникнет накапливающаяся ошибка в ее оценке и все последующие OFDM символы данного пакета в процессе эквалайзирования будут искажаться сильнее предыдущих.

Таким образом, применение эквалайзера не использующего пилотные поднесущие возможно только в случае отсутствия значительных изменений передаточной характеристики беспроводного канала во времени.

2.2 Эквалайзирование с учетом пилотных поднесущих

Благодаря тому, что значения передаваемых пилотных элементов OFDM символа фиксированы и известны заранее, получить верную оценку изменения передаточной характеристики беспроводного канала возможно при любом искажении принятых значений соответствующих элементов OFDM символа.

Учитывая, что пилотные поднесущие равномерно распределены в полосе используемых частот, оценку изменения передаточной характеристики беспроводного канала для поднесущих не являющихся пилотными можно принять равной оценке изменения передаточной характеристики для ближайшей пилотной поднесущей.

Такой метод эквалайзирования позволяет избежать появления накапливающихся ошибок при обработке пакетов состоящих из большого числа OFDM символом.

В итоге формирование оценки передаточной характеристики беспроводного канала осуществляется следующим образом. В начале обработки принятого пакета на основе обучающей последовательности формируется первичное представление о передаточной характеристике для каждой из поднесущих частот. При последующей обработке OFDM символов данного пакета производится оценка изменения передаточной характеристики беспроводного канала для пилотных поднесущих частот, для каждой поднесущей частоты не являющейся пилотной оценка передаточной характеристики принимается равной соответствующей оценке для ближайшей поднесущей частоте. Такой метод позволяет учитывать изменение передаточной характеристики беспроводного канала во времени, а также избавляться от искажений сигнала, вызванных этими изменениями.

2.3 Программная реализация модели эквалайзера

Алгоритм обработки пакетов принимаемого сигнала Wi-Fi состоит в том, что при приеме нового пакета на основе обучающей последовательности формируется представление о передаточной характеристике канала для каждой из поднесущих. После этого происходит последовательная обработка следующих OFDM символов. Вначале все элементы обрабатываемого символа масштабируются и смещаются по фазе в соответствии с существующим на данный момент представлением о передаточной характеристике канала. После этого полученные значения демодулируются, полученные информационные биты добавляются к общей по последовательности информационных бит пакета, а на основе значений пилотных поднесущих корректируется представление о передаточной характеристике канала. Для того чтобы выполнить эту корректировку полученные значения пилотных поднесущих сравниваются с заранее известными, разница между ними является величиной, на которую изменилась передаточная характеристика канала за время обработки предыдущего символа.

На рисунке 8 приведена схема, иллюстрирующая принцип работы описанного алгоритма.

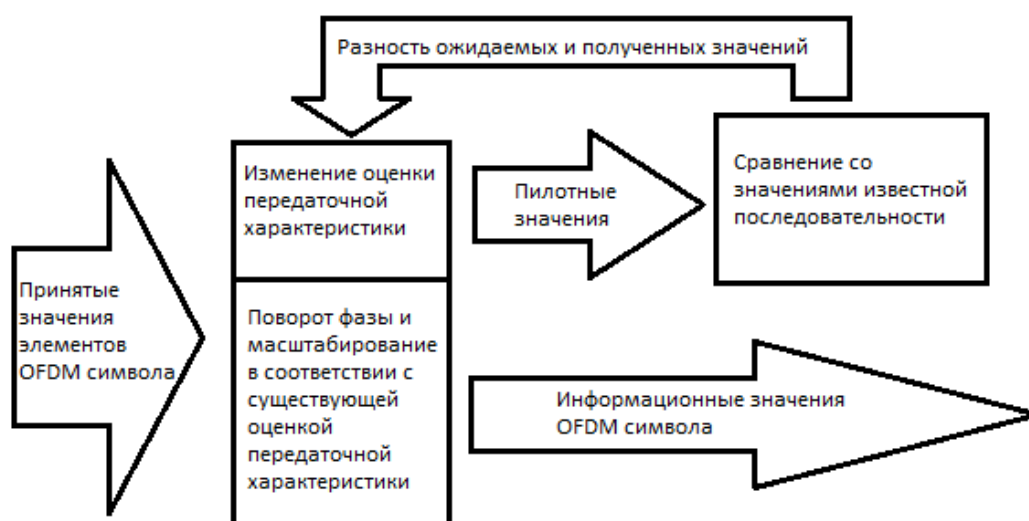


Рисунок 8

2.4 Результат работы модели эквалайзера

На рисунке 9 представлен результат обработки пакета, состоящего из 317 OFDM символов, значения элементов которых кодированы при помощи QPSK модуляции, при помощи эквалайзера не использующего пилотные поднесущие.

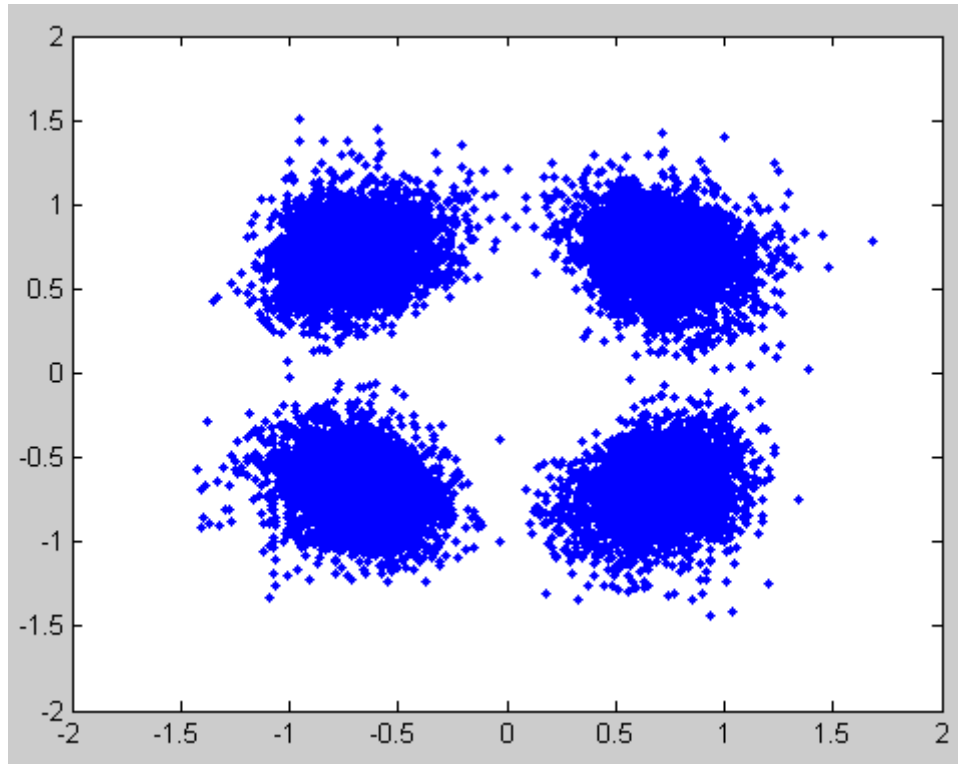


Рисунок 9

На рисунке 10 представлен результат обработки того же сигнала эквалайзером, использующим пилотные поднесущие.

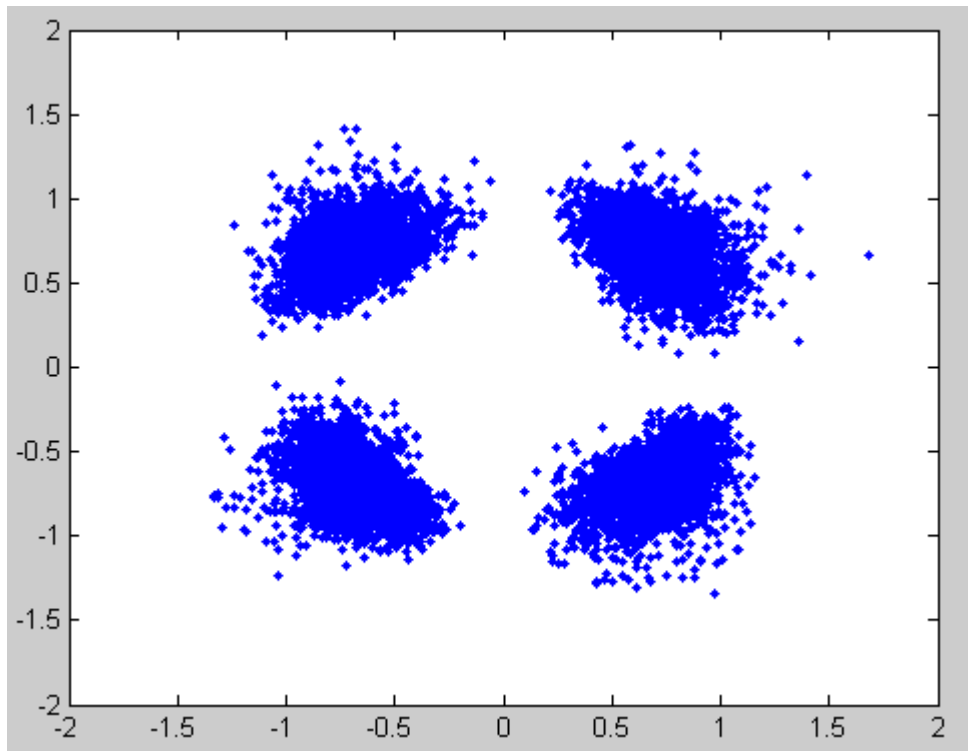


Рисунок 10

Как видно из представленных рисунков, эквалайзер реализованный в данной работе обеспечивает меньший разброс значений элементов OFDM символа.

Среднее значение отклонения от ближайших точек созвездия QPSK модуляции для результата полученного при работе эквалайзера не учитывающего пилотных поднесущих составляет 28%. Среднее значение отклонения от ближайших точек созвездия QPSK модуляции для результата полученного при работе эквалайзера учитывающего пилотные поднесущие составляет 4%.

Заключение

В ходе произведенной работы в среде MATLAB была разработана модель эквалайзера приемника сигналов стандарта IEEE 802.11n, использующего пилотные сигналы. Разработанная модель обеспечивает уменьшение разброса обработанных значений по сравнению с моделью имевшейся ранее с 28% до 4%, что позволяет уменьшить число ошибок декодирования данных.

Приложение 1

Основной цикл обработки информационных символов пакета

```

for s = 1:nSTS:dataBurst.GetNumSymbols()
    for part = 1:nParts
        posPart = currPos;
        symbol = zeros(nSTS,nFFT);
        for i = 1:nSTS
            symbol(i,:) = dataSamples(part, posPart:posPart + nFFT - 1);
            symbol(i,:) = fftshift(fft(symbol(i,:),nFFT));
            posPart = posPart + nFFT + sizeGI(gi);
        end
        dataPhy(1:nSTS, (part-1)*nFFT + 1:(part)*nFFT) =
equalizer(part).EstimateAFC(symbol);
    end

    for i = 1:nSTS
        dataDeltaPhy = zeros(1, nParts * nFFT);
        dataClearAll = zeros(1, nParts * nFFT);
        for part = 1:nParts
            idxs = (part-1)*nFFT + 1:(part)*nFFT;
            tmpDeltaPhy = equalizer(part).EstimateOverallPFC(dataPhy(i,idxs));
            dataDeltaPhy(1,idxs) = tmpDeltaPhy;
            tmpClearAll = equalizer(part).EstimateAveragePFC(dataDeltaPhy(1,idxs));
            dataClearAll(1,idxs) = tmpClearAll;
        end

        [dataBurst, tableIdx, tableRotate] =
dataBurst.CommitSymbol(dataClearAll(1,:));
        dataDelta = dataDeltaPhy(dataBurst.Subcarriers());
        lenPart = length(dataDelta) / nParts;
        for part = 1:nParts
            tmpTableRotate = tableRotate(tableIdx((part-1)*lenPart + 1:(part)*lenPart));
            tmpData = dataDelta((part-1)*lenPart + 1:(part)*lenPart);
            deltaVect = sum(tmpData .* tmpTableRotate);
            deltaVect = deltaVect ./ abs(deltaVect);
            equalizer(part) = equalizer(part).UpdateDeltaVector(deltaVect);
            figure((idxFig - 1) + i + (part - 1) * nSTS); subplot(2,2,1); plot(dataPhy(i,
(part-1)*lenPart + 1:(part)*lenPart), '.');grid;
            axis([-4, 4, -4, 4]);
            figure((idxFig - 1) + i + (part - 1) * nSTS); subplot(2,2,2);
plot(deltaVect, '.');grid;
            axis([-4, 4, -4, 4]);
            figure((idxFig - 1) + i + (part - 1) * nSTS); subplot(2,2,3);
plot(dataDeltaPhy((part-1)*nFFT + 1:(part)*nFFT), '.');grid;
            axis([-4, 4, -4, 4]);
            figure((idxFig - 1) + i + (part - 1) * nSTS); subplot(2,2,4);
plot(dataClearAll((part-1)*nFFT + 1:(part)*nFFT), '.');grid;
            axis([-4, 4, -4, 4]);
        end
    end
    currPos = currPos + nSTS * (nFFT + sizeGI(gi));
end

```

Приложение 2

Конструктор класса Equalizer:

```
function obj = Equalizer(cbw,nSTS, part)
obj.nSTS = nSTS;
obj.cbw = cbw;
obj.deltaVector.overall = 1;
obj.deltaVector.average = 1;
obj.deltaVector.sum = 0;
obj.deltaVector.countSymbols = 0;

switch cbw
case 0
obj.ltf(1,:) = [0,0,0,0,0,0,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,1,1,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-
1,1,-1,1,1,1,1,0,...
1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,-1,-1,-1,-1,-1,1,1,-1,-1,1,-
1,1,-1,1,1,1,1,0,0,0,0,0].';
case 1
obj.ltf(1,:) = [0,0,0,0,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,1,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-
1,1,-1,1,1,1,1,0,...
1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,-1,-1,-1,-1,-1,1,1,-1,-1,1,-
1,1,-1,1,1,1,1,-1,-1,0,0,0].';
case 3
if (part == 1)
obj.ltf(1,:) = [ 0,0,0,0,0,0,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,1,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-
1,1,-1,1,1,1,1,1,...
1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,-1,-1,-1,-1,-1,1,1,-1,-
1,1,-1,1,-1,1,1,1,1,-1,-1,-1,1,0 ].';
elseif (part == 2)
obj.ltf(1,:) = [ 0,0,-1,1,1,-1,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,1,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-
1,1,-1,1,1,1,1,1,...
1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,-1,-1,-1,-1,-1,1,1,-1,-1,1,-
1,1,1,1,1,0,0,0,0,0 ].';
end
end
end
```

Приложение 3

Методы вычисления и последующей оценки передаточной характеристики канала

```

function obj = CalculateAFC(obj,dataSamples)
obj.AFC = [];
if (obj.nSTS == 1)
    P_LTF = 1;
    obj.AFC(1,:) = obj.ltf(1,:).*dataSamples(1,:).*P_LTF;
elseif (obj.nSTS == 2)
    P_LTF(1,:) = 0.5.*[1 1];
    P_LTF(2,:) = 0.5.*[-1 1];
    obj.AFC(1,:) = obj.ltf(1,:).*((dataSamples(1,:).*P_LTF(1,1)) +
    (dataSamples(2,:).*P_LTF(2,1)));
    obj.AFC(2,:) = obj.ltf(1,:).*((dataSamples(1,:).*P_LTF(1,2)) +
    (dataSamples(2,:).*P_LTF(2,2)));
end

function sDeltaPhy = EstimateAFC(obj, dataSamples)
if (obj.nSTS == 1)
    sDeltaPhy = dataSamples .* conj(obj.AFC) ./ (abs(obj.AFC).^2);
elseif (obj.nSTS == 2)
    modAFC = abs(obj.AFC(1,:)).^2 + abs(obj.AFC(2,:)).^2;
    sDeltaPhy(1,:) = ((dataSamples(1,:) .* conj(obj.AFC(1,:)) +
    conj(dataSamples(2,:)) .* obj.AFC(2,:)) ./ modAFC);
    sDeltaPhy(2,:) = ((dataSamples(2,:) .* conj(obj.AFC(1,:)) -
    conj(dataSamples(1,:)) .* obj.AFC(2,:)) ./ modAFC);
end
end

function obj = UpdateDeltaVector(obj, deltaVector)
obj.deltaVector.sum = obj.deltaVector.sum + deltaVector;
obj.deltaVector.countSymbols = obj.deltaVector.countSymbols + 1;
obj.deltaVector.average = obj.deltaVector.sum / obj.deltaVector.countSymbols;
obj.deltaVector.overall = obj.deltaVector.overall .* obj.deltaVector.average;
obj.deltaVector.overall = obj.deltaVector.overall ./
abs(obj.deltaVector.overall);
end

function obj = NextSymbol(obj)
obj.deltaVector.sum = obj.deltaVector.sum + obj.deltaVector.average;
obj.deltaVector.countSymbols = obj.deltaVector.countSymbols + 1;
obj.deltaVector.overall = obj.deltaVector.overall .* obj.deltaVector.average;
end;

```

Список литературы

- 1 Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.: ил. – (Учебная литература для вузов).
- 2 Стандарт IEEE 802.11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>.
- 3 Основы передачи QAM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://telcogroup.ru/files/materials-pdf/cab/QAM.pdf>
- 4 Gilley J. Digital Phase Modulation: A Review of Basic Concepts, 2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.photonteck.com/upfile/2014/05/27/20140527165836_983.pdf