

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ И КАНАЛА СВЯЗИ НА РАСПОЗНАВАЕМОСТЬ КАМ-СИГНАЛОВ В СЕТЯХ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

© 2019 В. В. Жилин, Д. В. Жилин

Воронежский государственный технический университет (г. Воронеж, Россия)

В работе предложена методика исследования распознаваемости КАМ-сигналов при различных состояниях канала связи и параметрах приемного оборудования. Предлагаемая методика актуальна при изучении в рамках вузовской дисциплины процессов приема и обработки символов в сетях беспроводного доступа различного масштаба.

Ключевые слова: технологии беспроводного доступа, методика исследования, Simulink MATLAB, КАМ-сигналы, символьное созвездие, глазковая диаграмма.

Бурное внедрение и развитие сетей абонентского беспроводного доступа обусловлено, с одной стороны – высоким спросом на услуги беспроводного доступа, с другой стороны – технологическим прорывом в сфере обработки сигналов. Одним из таких технологических решений обработки сигнала является многоуровневая квадратурная модуляция (КАМ). Нельзя не отметить и такие технологии сетей доступа, как [1]:

- ортогональное частотное мультиплексирование OFDM (англ. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием), обеспечивающее гораздо большую устойчивость сигнала к межсимвольной интерференции;

- канальное кодирование, традиционно обеспечивающее восстановление информации после неизбежного искажения сигнала в атмосфере;

- пространственное мультиплексирование сигналов ММО (англ., Multiple-Input, Multiple-Output – множественный вход, множественный выход), позволяющее использовать на территории те же наборы частотных каналов, разделяемые лишь траекторией распространения;

- частотно-селективная диспетчеризация, позволяющая всем базовым станциям сети доступа использовать те же частотные каналы (в середине соты), тем самым увеличивая

эффективность использования частотного ресурса;

- кодовое разделение каналов CDMA, (англ. Code Division Multiple Access – множественный доступ с кодовым разделением), позволяющее принимать информационный поток в сильно «зашумленных» каналах.

С точки зрения повышения пропускной способности канала связи, КАМ-сигналы имеют лидирующую роль. Ни одна из ранее перечисленных технологий не дает увеличения пропускной способности в 8-10 раз. Технология (4×4) ММО требует значительного усложнения оборудования (в том числе, абонентского), при этом скорость доступа увеличивает в не более чем в 4 раза. Безусловно, скорость доступа в 1 Гб/с в LTE – это результат всей совокупности перечисленных (и не названных) технологий [2].

Вторым фактором, подтверждающим актуальность КАМ-сигналов, является широкое использование их в самых разных системах связи, в том числе и в цифровом телевидении, и в кабельных сетях.

Подготовка специалистов в области разработки и сопровождения сетей беспроводного доступа предполагает знание принципов работы сетей доступа. Высокая пропускная способность сетей беспроводного доступа обусловлена технологиями именно канального уровня. Поэтому исследование влияния параметров оборудования и канала связи на распознаваемость КАМ-сигналов в сетях беспроводного доступа видится актуальной учебной целью.

Современные средства моделирования работы технических систем облегчают процесс изучения тех или иных технологических явлений: зачастую не

Жилин Владимир Васильевич – Воронежский государственный технический университет, ст. преподаватель, G_Zhilina@list.ru.

Жилин Дмитрий Владимирович – Воронежский институт высоких технологий, аспирант, G_Zhilina@list.ru.

требуется длительного изучения теорий (формализованных представлений) процессов, поскольку их формализация реализована в программных средствах моделирования.

Предлагаемая методика исследования распознаваемости КАМ-сигналов при различных состояниях канала связи и параметрах приемного оборудования апробирована в ходе преподавания дисциплин «Технологии беспроводного доступа в телекоммуникационных системах» и «Технологии телекоммуникационных систем», и может найти применение при изучении других дисциплин.

Исследование осуществляется моделированием структурных единиц системы передачи информации в сети беспроводного доступа. Моделирование осуществляется в среде блочного имитационного моделирования Simulink MATLAB. Лабораторный цикл включает следующие логически завершённые исследования [3]:

- 1) Построение модели приемопередатчика КАМ-сигналов.
- 2) Исследование влияния параметров оборудования на распознаваемость КАМ-сигнала.
- 3) Исследование влияния параметров канала на распознаваемость КАМ-сигнала.
- 4) Роль системы синхронизации несущей частоты при приеме КАМ-сигналов.
- 5) Символьная синхронизация при приеме КАМ-сигналов.

Квадратурная амплитудная модуляция – разновидность амплитудной модуляции сигнала, обладает следующими важными свойствами:

- ширина спектра КАМ-сигнала равна ширине спектра модулирующего сигнала;
- спектр КАМ-сигнала расположен на несущей частоте.

Квадратурная амплитудная модуляция представляет собой сумму двух несущих колебаний одной частоты, фазы которых отличаются на 90° . Каждое колебание промодулировано по амплитуде информационным потоком:

$$Z(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) + Q(t) \sin(2\pi f_0 t),$$

где $I(t)$ и $Q(t)$ – модулирующие сигналы, f_0 – несущая частота.

Модуляционные символы в виде комплексных чисел представляют в виде точек на комплексной плоскости. Действительная и мнимая оси называют

in phase (синфазной) или I-осью и quadrature (квадратурной) или Q-осью. КАМ-сигналы изображаются вектором в соответствии со значениями комплексных чисел. На комплексной плоскости концы векторов отображаются в виде точек, называемых сигнальными точками. Совокупность точек называют сигнальным созвездием. Формирование входного созвездия имитируется блоками:

- Random Integer Generator – генератор случайных целых чисел;
- 1-D Lookup Table – таблица соответствий (истинности) – указывает соответствие между вектором входных символов и точками сигнального созвездия.

Ограничение спектра сигнала выполняется при помощи формирующего фильтра с характеристикой корень из приподнятого косинуса – блок Raised Cosine Transmit Filter. Блок учитывает несовершенство радиоаппаратуры посредством параметра коэффициент скругления. Нормировка комплексного сигнала осуществляется усилителем (блок Gain).

Сигнал при прохождении по каналу связи подвергается искажениям: воздействию шума, замиранию, затуханию, частотной и фазовой дисперсии вследствие Доплеровского эффекта, т.п. Для имитации канала в Simulink использованы блоки:

- AWGN Channel – задает отношение сигнал/шум;
- Phase/Frequency Offset – определяет фазовый и частотный сдвиг;
- Variable Fractional Delay – задает величину дробной задержки.

Оценка принятого символа осуществляется методом максимального правдоподобия: демодулятор выбирает ближайшую к переданному сигналу точку сигнального созвездия.

Исследование влияния параметров оборудования и канала связи на распознаваемость КАМ-сигналов осуществляется посредством блоков отображения глазковых диаграмм, блоков отображения траектории вектора комплексной огибающей и блоков отображения диаграммы рассеяния (рис. 1).

Частотный сдвиг сигнала можно наблюдать на анализаторе спектра. Глазковая диаграмма представляет собой “осциллограмму” демодулированного сигнала, с разверткой в длительность символа.

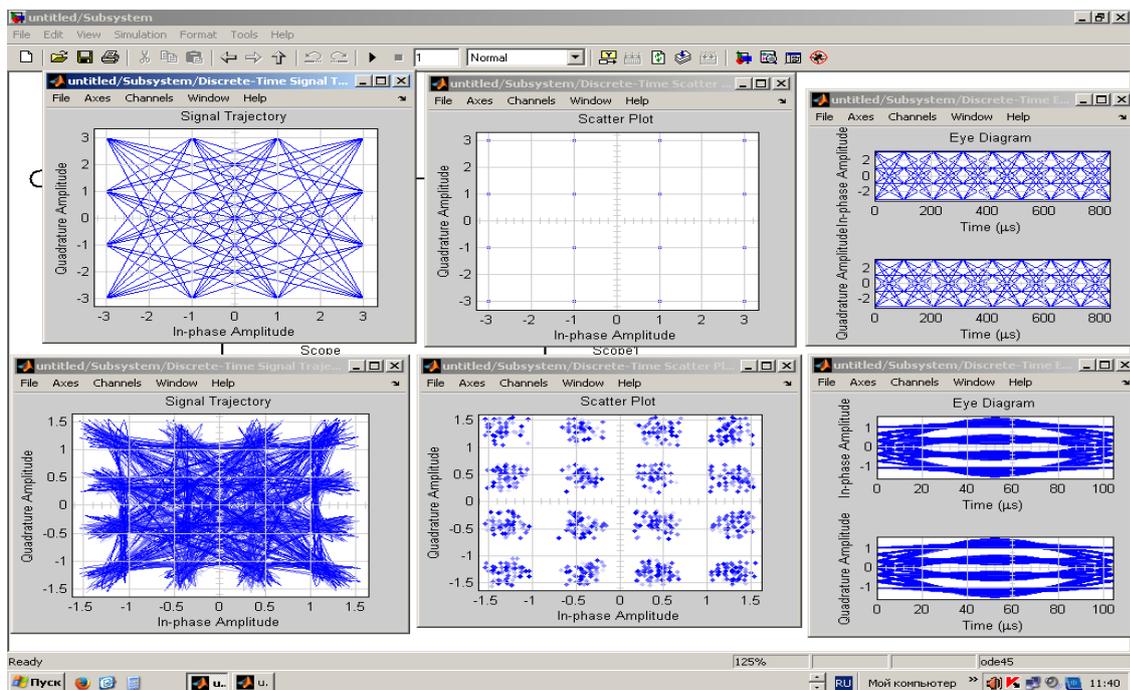


Рисунок 1. Блоки отображения исследуемых сигналов.

При оптимальном приеме линии глазковой диаграммы образуют узкие пучки, формируемая фигура напоминает раскрытый глаз (рис. 1). При искажении сигнала линии искажаются, закрывая свободное пространство, т. е. формируется закрытый глаз, т. е. сигнал не распознан. Глазковая диаграмма позволяет наблюдать дробную задержку. Отображение траектории вектора комплексной огибающей характеризует качество передающего и приемного оборудования (рис. 1). Наиболее наглядной является диаграмма рассеяния, отображающая изменение положения точек созвездия на комплексной плоскости (рис. 1). На ней хорошо видны результаты воздействия процессов в канале: доплеровский сдвиг, шум, затухание. При выходе точки созвездия за круг с диаметром, равным расстоянию между точками созвездия, сигнал становится не распознаваемым.

В процессе исследования студенты выявляют следующие влияния процессов в канале на сигнал:

- фазовые искажения приводят к повороту созвездия на соответствующий угол;
- частотная интерференция приводит к вращению всего созвездия;
- шум (Гауссовский) приводит к дисперсии точек созвездия;
- затухание сигнала приводит к

смещению точек созвездия ближе к центру на комплексной плоскости.

Исследование свойств КАМ-сигналов различного уровня позволяет понимать, что распознаваемость символа зависит от уровня модуляции: чем выше уровень модуляции, тем меньше расстояние между точками созвездия, тем больше вероятность ошибочного распознавания символа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилин, В. В. Технологии беспроводного доступа в телекоммуникационных системах: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. данные (1,98 Мб) / В. В. Жилин. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017.
2. Жилин, В. В. Аспекты технологий беспроводного абонентского доступа. Вестник Воронежского института высоких технологий, №2(15), 2015, с.56-58.
3. Методические указания к выполнению цикла лабораторных работ по дисциплине «Технологии беспроводного доступа в телекоммуникационных системах» и дисциплине «Технологии телекоммуникационных систем» / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» сост. В. В. Жилин. – Воронеж, 2017. – 50 с.

**RESEARCH OF THE EFFECT OF PARAMETERS OF EQUIPMENT AND
COMMUNICATION CHANNEL ON THE RECOGNITION OF QAM SIGNALS
IN THE WIRELESS ACCESS NETWORK**

© 2019 V. Zhilin, D. Zhilin

Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia)

The paper proposes a technique for studying the recognition of QAM signals for various states of a communication channel and parameters of receiving equipment. The proposed method is relevant when studying within the framework of the university discipline the processes of receiving and processing symbols in wireless access networks of various sizes.

Key words: wireless access technology, research methodology, MATLAB Simulink, QAM-strong, character constellation, eye diagram.