

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра Телекоммуникационных систем

«ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ»

Зав.кафедрой

к.т.н., профессор

Байкенов А. С.

« ____ » _____ 2015 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка

на тему: Исследование помехоустойчивости 4G

Специальность 5B071900 Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил магистрант гр. МТСП–13–1


(подпись)

Саменов А.А.

(Ф.И.О.)

Научный руководитель к.т.н., старший преподаватель

(учебная степень, звание)


(подпись)

Ефремова Ю.И.

(Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.т.н., старший преподаватель

(учебная степень, звание)


(подпись)

Ефремова Ю.И.

(Ф.И.О.)

Нормоконтролер магистр, ассистент

(учебная степень, звание)


(подпись)

Зайцев Е.О.

(Ф.И.О.)

Рецензент к.т.н., доцент

(учебная степень, звание)

(подпись)

Липская М.А.

(Ф.И.О.)

Алматы, 2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет «Радиотехники, электроники и связи»

Кафедра «Телекоммуникационных систем»

Специальность 6М071900 «Радиотехники, электроники и телекоммуникации»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Саменову Абылаю Алмазулы.

Тема диссертации Исследование помехоустойчивости 4G

Утверждена приказом по университету № от « » сентября 2013 г.

Срок сдачи законченного диссертации « ____ » _____ 201 ____ г.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в магистерской диссертации, или краткое содержание магистерской диссертации: предложена имитационная модель в среде Matlab с использованием технологий OFDM и ОСDM.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1 Блок схема программы технологии OFDM;

2 Блок схема программы технологии ОСDM;

3 Результат моделирования вероятности ошибки для OFDM;

4 Результат моделирования вероятности ошибки для ОСDM.

Основная рекомендуемая литература:

1 Лебедев Ю. И. Системы широкополосного доступа 4 и 5-го поколений// ОАО «Концерн «Созвездие»,-2013,

2 Гельгор А. Л., Попов Е.А., Технология LTE мобильной передачи данных, учебное пособие, 2011

График
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Стандарт 4G LTE-Advanced	30.09.13 г.	
2 Технология OFDM	15.10.13 г.	
3 Технология OCDM	07.01.14 г.	
4 Создание имитационной модели в среде Matlab для технологии OFDM	15.10.14 г.	
5 Создание имитационной модели в среде Matlab для технологии OCDM	06.11.14 г.	

Дата выдачи задания «__» _____ 201__ г.

Заведующий кафедрой _____ Байкенов А. С.
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации  _____ Ефремова Ю.И.
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант  _____ Саменов А.А.
(подпись) (Ф.И.О.)

Аннотация

Данная работа посвящена исследованию систем 4-го поколения мобильной связи. Выводы, предложенные в работе, основываются на имитационном моделировании канала связи в среде Matlab по 2 технологиям OFDM и OCDM с различными типами модуляций. Результаты могут быть использованы для дальнейших исследований с целью увеличения помехозащищенности для современных мобильных телекоммуникаций.

Аңдатпа

Осы жұмыс 4 ұрпақ жүйелерінің жылжымалы байланысын зерттеуге арналған. Жұмыста ұсынған қорытындылар Матлаб программасында байланыс каналын түрлі модуляция әдістерімен 2 технология OFDM және OCDM бойынша имитациялық үлгілеуде негізделген. Нәтижелер қазіргі жылжымалы телекоммуникациялар үшін богеуілдің қорғалғандықтың көбейту мақсатымен одан әрі зерттеулері үшін жұмсала алады.

Abstract

This work is devoted to the study of systems of the 4th generation mobile communication. The conclusions proposed in the work, based on the simulation of the communication channel in Matlab 2 OFDM technology and OCDM with different types of modulations. The results can be used for further research in order to increase immunity to advanced mobile telecommunications.

Содержание

Введение.....	Ошибка! Закладка не определена.
1 4-ое поколение мобильной связи.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Стандарт 4G LTE-Advanced	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE	8
1.3 Краткое рассмотрение основных параметров технологии LTE	9
1.4 Помехоустойчивость.....	Ошибка! Закладка не определена. 10
1.5 Модуляция OFDM.....	Ошибка! Закладка не определена. 13
1.6 Технология MIMO	17
1.7 OFDM и SC-FDMA	21
1.8 Помехоустойчивое кодирование	22
1.9 Технология OCDM.....	24
1.10 Связь и различие OFDM и OCDM..	Ошибка! Закладка не определена.
1.11 Коды Уолша-Адамара.....	31
2 Расчеты OFDM и OCDM	33
2.1 Структуры кадров в сети LTE.....	33
2.2 Расчет с помощью Кодов Уолша-Адамара.....	34
3 Исследование каналов связи технологии OFDM и OCDM для систем 4-го поколения	38
3.1 Имитационное моделирование технологии OFDM.....	39
3.2 Имитационное моделирование технологии OCDM	43
Заключение	48
Список литературы	49
Приложение А	50
Приложение Б.....	54

Введение

Современный рынок мобильной передачи данных нуждается в широкополосном доступе. Это: on-line телетрансляции, on-line видеоконференции, использование игровых приложений в режиме on-line и другое, требующие высокой скорости передачи. Этим требованиям на данный момент удовлетворяют системы 4 поколения мобильной связи, в частности технология LTE и LTE Advanced, позволяющие осуществлять передачу данных со скоростью 326,4 Мбит/с, вплоть до 1 Гбит/с (LTE-A).

Данные технические преимущества возможны благодаря применению модуляции сигнала OFDM в нисходящем канале и технологии множественного приема - передачи (MIMO). Наряду с этим, актуальным по-прежнему является вопрос повышения помехоустойчивости мобильных систем 4G. Вопросы анализа помехоустойчивости, выбор оптимальных методов обработки сложных сигналов, построенных на основе использования помехоустойчивых кодов, в условиях действия непреднамеренных помех, далеки от своего полного разрешения. Поэтому представляло интерес выяснить влияние различных факторов на помехозащищенность LTE-систем, провести количественный анализ и дать оценку их использования для построения данных систем мобильной связи.

В ходе диссертационного исследования предлагается рассмотреть модели обработки сигнала с использованием OCDM и OFDM. Ортогонально-кодированное разделение каналов (OCDM) - это сигнально-кодовые конструкции для систем связи с максимально возможной помехоустойчивостью и пропускной способностью в условиях внутрисистемных и внешних помех [1]. Данный тип модуляции известен, но для систем 4 поколения пока не применяется. Задачей является создание имитационной модели с применением модуляции OFDM и OCDM, количественная оценка (в децибелах) помехозащищенности данных систем. Из результатов имитационного моделирования планируется, что помехозащищенность систем с OCDM должна быть выше, чем у OFDM.

В исследовании также ставится задача оптимизации методов передачи сигнала с использованием эффективных схем временной синхронизации по формуле Задова-Чу. Таким образом, предлагается внести эффективные схемы обнаружения символов временной синхронизации на мобильных станциях.

1 Четвертое поколение мобильной связи

1.1 Стандарт 4G LTE-Advanced

4G (от англ. fourth generation — четвертое поколение) — поколение мобильной связи с повышенными требованиями. К четвертому поколению принято относить перспективные технологии, позволяющие осуществлять передачу данных со скоростью, превышающей 100 Мбит/с подвижным и 1 Гбит/с — стационарным абонентам.

Технологии LTE Advanced (LTE-A) и WiMAX 2 (WMAN-Advanced, IEEE 802.16m) были официально признаны беспроводными стандартами связи четвертого поколения 4G (IMT-Advanced) Международным союзом электросвязи на конференции в Женеве в 2012 году.

Технология LTE (Long -Term Evolution) – это логическое продолжение развития сетей 3G. В среднесрочной перспективе она будет определять развитие систем сотовой связи в мире. Эта технология способна обеспечить скачкообразное (теоретически, в десятки раз) увеличение скорости передачи данных по сравнению с действующими мобильными сетями.

Внедрение LTE теоретически позволило обеспечить скорость передачи данных до 346 Мбит/с в полосе частот 20 МГц, а при использовании технологии LTE-Advanced – примерно до 1 Гбит/сек. в полосе 100 МГц. LTE полностью совместима с существующими сетями: звонок или сеанс передачи данных, инициированный в зоне покрытия LTE, технически может быть передан без разрыва в сети GSM/GPRS/EDGE, WCDMA, CDMA2000. Эволюция и преемственность технологий мобильного доступа представлена на рисунке 1.1.

LTE становится главной перспективой развития телекома в мире, бизнес приоритетом и ключевым элементом стратегий развития операторов связи. Сегодня в мире превалирует мнение, что, если оператор не задумывается об LTE, он ограничивает свою жизнь на рынке.

В январе 2008 г. международное партнерское объединение Third Generation Partnership Project (3GPP), разрабатывающее перспективные стандарты мобильной связи (GSM, GPRS, EDGE, UMTS (WCDMA) и др.), утвердило LTE в качестве следующего после UMTS стандарта широкополосной сети мобильной связи.

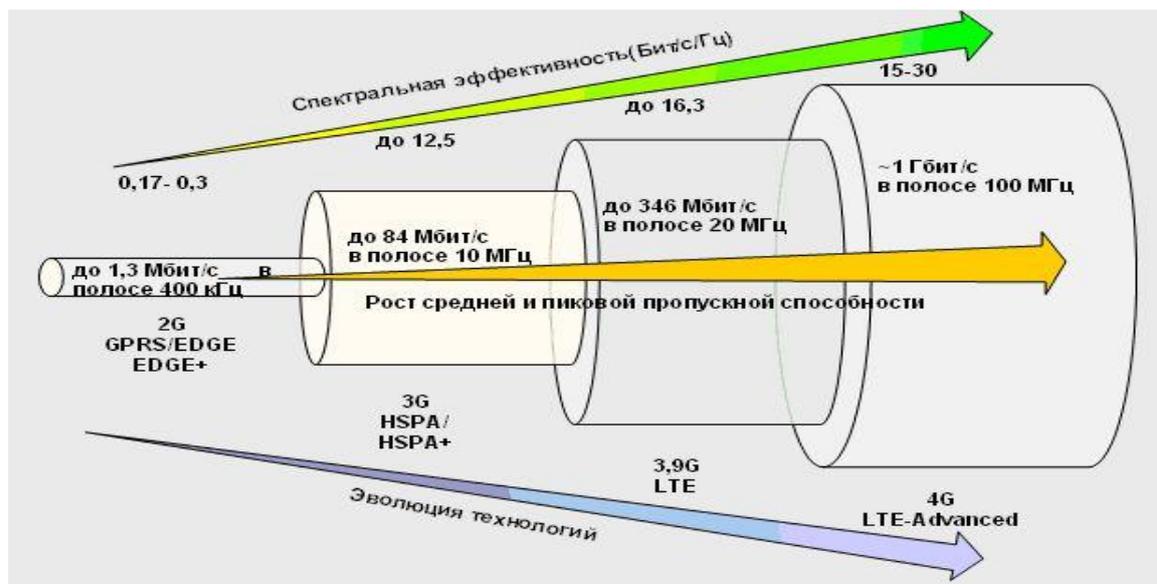


Рисунок 1.1 - Эволюция и преимественность технологий мобильного доступа

Главное преимущество LTE – высокая скорость. Но скорость есть и у UMTS, и у WIMAX. Очень важным преимуществом LTE является то, что эту технологию можно внедрять на довольно широком диапазоне частот. В Украине существует несколько частотных диапазонов, на которых можно запускать LTE. Прежде всего, это 1800 МГц и 2,6 ГГц. Можно использовать и диапазон 900 МГц, но в настоящее время мало кто из операторов рассматривает его сегодня для LTE. Изначально под развитие этой технологии предполагались частоты 2,6 ГГц, но из-за ряда трудностей (в основном связанными с занятостью диапазона специальными пользователями) этот диапазон практически не используется. В Европе чаще говорят о диапазоне 800 МГц, особенно в связи с так называемым цифровым дивидендом или освобождением частот этого диапазона после перевода телевизионного вещания в цифровой формат. В настоящее время там проходят тендеры и аукционы на частоты 800 МГц [5].

1.2 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE

Услуги, предоставляемые сетями LTE, имеют более широкий спектр по сравнению с сетями 2G/3G. В первую очередь это связано с высокой пропускной способностью сети и повышенной скоростью передачи данных, а так же с переходом на концепцию «все через IP». Основными услугами, предоставляемых сетью LTE являются следующие:

- пакетная передача речи;
- передача Интернет-файлов;
- доставка электронной почты;
- передача мультимедийных сообщений;

- мультимедийное вещание, включающее в себя потоковые услуги, услуги по загрузке файлов, телевизионные услуги;
- потоковое видео;
- VoIP и высококачественные видеоконференции;
- онлайн-игры через мобильные и фиксированные терминалы различных типов;
- мобильные платежи с высокой передачей реквизитов и идентификационной информации.

Задержки при передаче данных (ping) в LTE-сетях не превышают 5 мс. Сети LTE полностью построены на технологии IP. LTE обратно совместима с такими технологиями передачи данных, как GPRS, EDGE, UMTS, HSPA и HSPA+.

Прежде всего, LTE способна работать в полосе частот различной ширины, начиная от значений заметно ниже 5 МГц (1.5 МГц) и вплоть до полосы 20 МГц. LTE также может быть реализована на основе различных принципов разделения сигналов, частотного и временного - FDD (FrequencyDivisionDuplex) и TDD (TimeDivisionDuplex). До настоящего времени, 3GPP предусмотрела для работы систем LTE десять парных и четыре непарных частотных диапазона [7]. Планируется выделение и других диапазонов. Это означает, что оператор может первоначально запускать LTE в "новых" диапазонах, где обычно проще получить полосы в 10 МГц или даже 20 МГц, а затем постепенно внедрять LTE во всех доступных диапазонах. Кроме того, продукты радиосистемы LTE будут обладать набором свойств, которые упростят строительство и управление сетей следующего поколения. Например, такие функции, как "включил и работай", автоконфигурация и автооптимизация упростят и снизят затраты на запуск и управление сетями. В третьих, сети LTE будут строиться в параллель с упрощенными, основанными на IP-протоколе опорными и транспортными сетями, что позволит упростить строительство, эксплуатацию систем LTE и ввод новых услуг.

1.3 Краткое рассмотрение основных параметров технологии LTE

Ниже приведены основные параметры технологии LTE:

Технология множественного доступа:

-прямой канал (Downlink – DL) – OFDM (англ. Orthogonalfrequency-divisionmultiplexing — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов;

-обратный канал (Uplink – UL) – SC-FDMA;

Рабочий диапазон частот: 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц; 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4 - 2,5 ГГц; 2,6 - 2,7 ГГц.

Битовая скорость:

-прямой канал (DL) MIMO 2TX×2RX: 100 - 300 Мбит/с;

-обратный канал (UL): 50 - 172,8 Мбит/с.

Ширина полосы радиоканала: 1,4 - 20 МГц.

Радиус ячейки: 5 – 30 км.

Емкость ячейки (количество одновременно обслуживаемых абонентов):

-более 200 пользователей при полосе 5 МГц;

-более 400 пользователей при полосе больше 5 МГц.

Мобильность: скорость перемещения при приемлемом качестве обслуживания - до 250 км/ч.

Параметры MIMO (англ. MultipleInputMultipleOutput) — метод пространственного кодирования сигнала:

-прямой канал (DL): 2TX×2RX, 4TX×4RX;

-обратный канал (UL): 2TX×2RX.

Значение задержки (latency): 5мс.

Спектральная эффективность: 5 бит/с/Гц.

Поддерживаемые типы модуляции:

-прямой канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM.

-обратный канал (UL): QPSK, 16 QAM.

Дуплексное разделение каналов: FDD (дуплексная связь с частотным разделением каналов), TDD (дуплексная связь с временным разделением каналов). Главным отличием между FDD и TDD является то, как они разделяют единый канал, чтобы обеспечить пути для загружаемых и выгружаемых данных [12].

1.4 Помехоустойчивость

Помехоустойчивость технического устройства (системы) - способность устройства (системы) выполнять свои функции при наличии помех. Её оценивают интенсивностью помех, при которых нарушение функций устройства ещё не превышает допустимых пределов.

Эта общая формулировка должна быть уточнена применительно к различным условиям передачи, то есть должна быть установлена количественная мера помехоустойчивости.

Действие помехи проявляется в том, что принятый сигнал (а следовательно, и сообщение) отличается от переданного. Поэтому помехоустойчивость можно характеризовать как степень соответствия принятого сигнала (или сообщения) переданному при заданной помехе. Таким образом, при сравнении нескольких систем та из них будет более помехоустойчивой, в которой при одинаковой помехе различие между принятым и переданным сигналами (или сообщениями) будет меньше.

Более широким понятием, чем помехоустойчивость, является помехозащищённость. Это способность системы связи противостоять воздействию мощных помех. Помехозащищённость включает в себя скрытность системы связи и её помехоустойчивость, так как для создания мощных помех надо сначала обнаружить систему связи и измерить основные параметры её сигналов, а затем организовать мощную, наиболее

сильнодействующую помеху. Чем выше скрытность и помехоустойчивость, тем выше помехозащищённость системы связи.

Важнейшей характеристикой канала с аддитивной помехой является отношение средних мощностей сигнала E_s и помехи E_n

$$\frac{E_s}{E_n} \quad (1.1)$$

Это отношение, кратко называемое отношением «сигнал/помеха», играет большую роль в теории помехоустойчивости.

На практике отношение «сигнал/помеха» выражают в логарифмических безразмерных единицах — децибелах (dB, дБ):

$$dB = 10 \lg \frac{E_s}{E_n} \quad (1.2)$$

Случайные процессы характеризуются определённым набором показателей.

Момент первого порядка (первый момент)

$$M\xi = \int_{-\infty}^{+\infty} xw(x)dx \quad (1.3)$$

выражает математическое ожидание, или постоянную составляющую процесса.

Центральный момент второго порядка (второй момент) называется дисперсией и равен:

$$D\xi = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M\xi)^2 w(x)dx = M(\xi^2) - (M\xi)^2 = \sigma^2 \quad (1.4)$$

Дисперсия выражает мощность переменной составляющей, а средний квадрат $M(\xi^2)$ — общую мощность. В большинстве случаев $M\xi = 0$, так что дисперсия совпадает со средним квадратом.

$$M[\xi(t)\xi(t + \tau)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x_1 x_2 w(x_1, x_2) dx_1 dx_2 = R(\tau) \quad (1.5)$$

называется функцией автокорреляции процесса $\xi(t)$. Величина $R(0)$ есть мощность процесса. Действительно

$$R(0) = M(\xi^2) = E \quad (1.6)$$

Многие случайные процессы, встречающиеся в практике, обладают свойством эргодичности. Это свойство состоит в том, что средние по множеству (то есть математические ожидания, вычисляемые по распределениям) с вероятностью единица совпадают со средними по времени, найденными по одной реализации процесса. Тогда для эргодических процессов имеем

$$\{a = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \xi(t) dt \quad (1.7)$$

$$\{P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \xi^2(t) dt \quad (1.8)$$

$$\{R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \xi(t) \xi(t + \tau) dt \quad (1.9)$$

Спектральная плотность мощности $G(\omega)$ (или просто спектр) связана с функцией автокорреляции парой преобразований Фурье:

$$\{G(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{+\infty} R(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad (1.10)$$

$$R(\tau) = \int_0^{+\infty} G(\omega) d\omega \cos \omega \tau \quad (1.11)$$

Положив во второй формуле $\tau = 0$, получим соотношение, поясняющее смысл функции :

$$R(0) = \int_0^{+\infty} G(\omega) d\omega = E \quad (1.12)$$

Наряду с $G(\omega)$ часто пользуются функцией $A(f) = 2\pi G(\omega)$ - мощность, приходящаяся на полосу 1 Гц. Поэтому удобнее записать (12) в виде

$$\{A(f) = 4 \int_0^{+\infty} R(\tau) \cos 2\pi f \tau d\tau \quad (1.13)$$

$$\{R(\tau) = \int_0^{+\infty} A(f) \cos 2\pi f \tau df \quad (1.14)$$

Задание $G(\omega)$ исчерпывающим образом характеризует любой случайный процесс.

Тему канального кодирования можно условно разделить на два раздела: кодирование (или обработка) сигнала и структурированные последовательности (или структурированная избыточность). Кодирование сигнала означает преобразование сигнала в некий «улучшенный сигнал», позволяющий сделать процесс детектирования менее подверженным ошибкам. Метод структурированных последовательностей — это преобразование последовательности данных в новую, «улучшенную последовательность», обладающую структурной избыточностью (которая вмещает избыточные биты). Эти избыточные разряды служат для определения и исправления ошибок. На выходе процедуры кодирования получается закодированный (формой сигнала или структурированной последовательностью) сигнал, имеющий лучшие пространственные характеристики, чем некодированный.

Для оценки целесообразности применения кодирования вводится понятие эффективности кодирования. При данной вероятности битовой ошибки эффективность кодирования определяется как уменьшение нормированного отношения «сигнал/шум» E_b/N_0 , которое достигается при использовании кодирования. Эффективность кодирования G выражается в децибелах:

$$G(dB) = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_s (dB) - \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_c (dB) \quad (1.15)$$

где $(E_b/N_0)_s$ и $(E_b/N_0)_c$ — значения для исходного и кодированного сигнала соответственно.

Нормированное отношение «сигнал/шум» E_b/N_0 определяется как

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{E_s T_b}{E_n / B} = \frac{E_s}{E_b} \left(\frac{B}{R_b}\right) \quad (1.16)$$

где E_b — энергия бита;

N_0 — спектральная плотность мощности шума;

T_b — время передачи одного бита;

$R_b = 1/T_b$ — скорость передачи битов;

B — ширина полосы.

1.5 Модуляция OFDM

В отличие от систем с одним носителем, системы связи OFDM не полагаются на увеличение скорости передачи символов для того, чтобы достичь более высоких скоростей передачи данных. Это делает задачу управления ISI гораздо проще. OFDM системы разорвать доступную полосу пропускания на множество более узких поднесущих и передают данные в параллельные потоки. Каждая поднесущая модулируется с помощью

различных уровней QAM модуляции, например QPSK, QAM, 64QAM или, возможно, более высоких порядков в зависимости от качества сигнала. Каждый символ OFDM - линейная комбинация мгновенных сигналов на каждой из поднесущих в канале. Поскольку данные передаются параллельно, а не последовательно, символы OFDM, как правило, значительно больше, чем символы на отдельных систем-носителях эквивалентной скорости передачи данных [11].

Есть два действительно замечательных аспекта OFDM. Во-первых, каждый символ OFDM предшествует циклическому префиксу (CP), который используется, чтобы эффективно устранить ISI. Во-вторых, поднесущие очень плотно расположены для эффективного использования доступной пропускной способности, и нет практически никаких помех между соседними поднесущими (МСИ, или ICI). Эти две уникальные особенности действительно тесно связаны. Для того, чтобы понять, как OFDM работает с искажением многолучевого распространения, полезно рассмотреть сигнал во временной и частотной областях. Чтобы понять, как OFDM имеет дело с ISI, индуцированный многолучевого распространения, рассмотреть представление во временной области символа OFDM. Символ OFDM состоит из двух основных компонентов: CP и периода БПФ (T_{FFT}). Продолжительность CP определяется высшей степени ожидаемого разброса задержек для целевого применения. При передаче передаваемые сигналы поступают на приемник по двум путям различной длины, они располагаются в шахматном порядке по времени, как показано на рисунке 1.2.

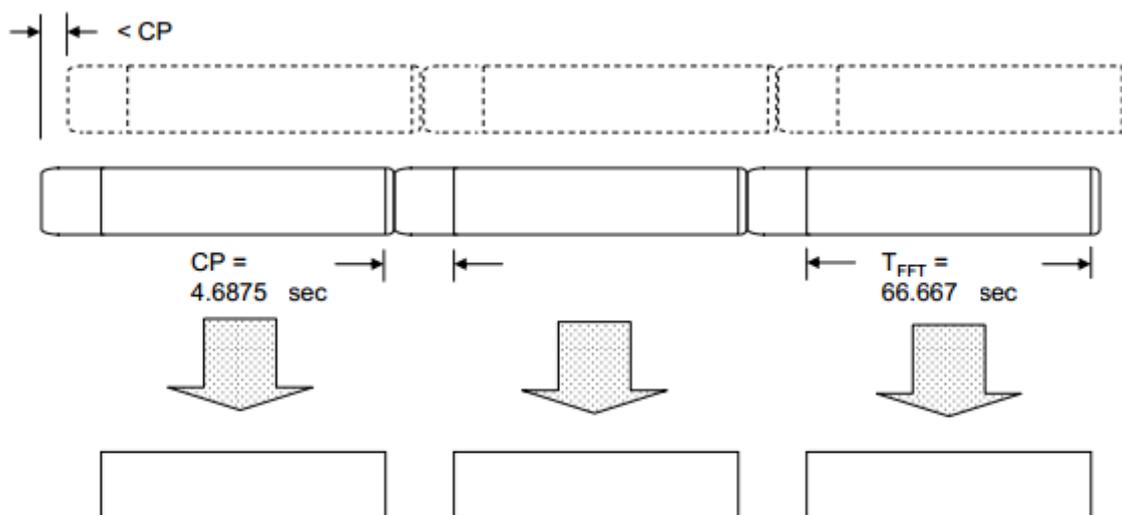


Рисунок 1.2 – Схема символа OFDM

В CP, можно иметь искажения из предыдущего символа. Тем не менее, с CP достаточной продолжительности, предшествующие символы не перекинутся на период БПФ; есть только помехи, вызванные временными, текущими символами. После того, как импульсная характеристика канала

определяется (с периодической передачей известных опорных сигналов), искажение может быть исправлено путем нанесения амплитудного и фазового сдвига на основе поднесущих-на-поднесущей. Обратите внимание, что вся информация, имеющая отношение к приемнику содержится в период БПФ. После того, как получен сигнал и оцифровыван, приемник просто отбрасывает СР. Результат представляет собой прямоугольный импульс, который, в каждой поднесущей, является постоянной амплитуды в течение периода БПФ. Единый прямоугольный импульс (функция Rect) во временных результатов домена в зависимости $\text{SINC } \sin(x) / x$ в частотной области, как показано на рисунке 1.3. LTE FFT период является 67,77 мкс. Следует отметить, что это просто инверсия расстояния несущей ($1 / F$). Это приводит к шаблону SINC в частотной области с равномерно расположенными нулевыми пересечениями на частоте 15 кГц с интервалом-точно в центре смежной поднесущей. Таким образом, можно попробовать на центральной частоте каждой поднесущей, а не встречая помех от соседних поднесущих (с нулевой ISI) [15].

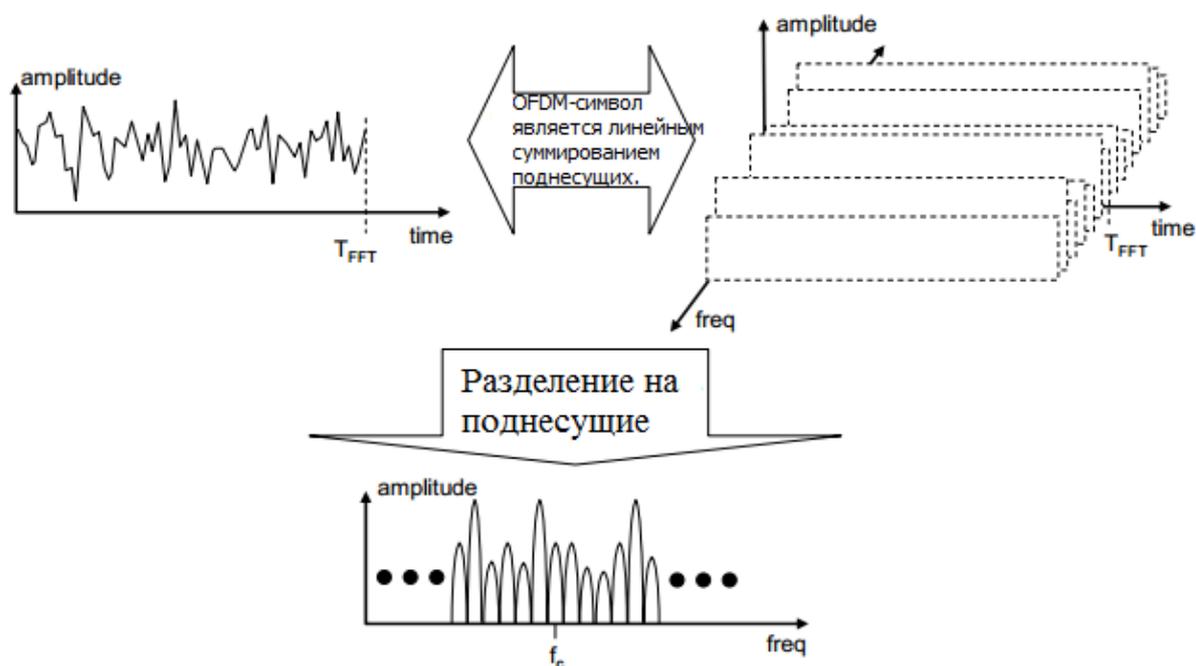


Рисунок 1.3 – Разделение на поднесущих

Недостатки OFDM Как мы видели, OFDM имеет некоторые замечательные свойства. Однако, как и всех схем модуляции, она страдает от некоторых недостатков. OFDM имеет два принципиальных недостатков по сравнению с единых систем носителей: восприимчивость к несущей частоты ошибок (из-за каких-либо локальных сдвигов осцилляторов или доплеровских замираний) и пик среднего коэффициента мощности большого сигнала (PAPR). Как обсуждалось выше, система OFDM может достичь нулевого-ISI, если каждая поднесущая пробь точно на ее центральной частоте. Временной дискретизацией сигнала OFDM, преобразуется в частотную область с помощью быстрого преобразования Фурье (FFT) -Какой является

высокоэффективным средством реализации дискретного преобразования Фурье (ДПФ). ДПФ оказывает конечным дискретным последовательность комплексных коэффициентов, БПФ происходит на частоте базовой полосы, после принимаемый сигнал был понижением от частоты ВЧ несущей. Понижающее преобразование, как правило, осуществляется с помощью прямого преобразования. Принимаемый сигнал смешивается с сигналом, полученного путем локального генератора приемника (LO). В идеале, сигнал несущей и гетеродина приемника находятся в одинаковой частотой. К сожалению, это не всегда так. Передатчик и приемник местные генераторы неизменно плыть по течению, так активные меры должны быть приняты, чтобы держать их синхронизировать. Каждая базовая станция периодически посылает сигналы синхронизации, используемые в UE для этой цели, среди прочего (сигналы синхронизации также используются для первоначального приема и передачи). Тем не менее, другие источники 6 Общая информация о 3GPP Long Term Evolution физического уровня Freescale Semiconductor, такие как доплеровских сдвигов и фазы генератора шума может еще привести в частотных ошибок. Некорректируемые ошибки частоты приведет к ICI, как показано на рисунке 2.2.1-1. По этим причинам, частота сигнала должна быть отслежены непрерывно. Любые сдвиги должны быть исправлены в процессоре основной полосы частот, чтобы избежать чрезмерного ICI, которые могут привести к потере пакетов [20].

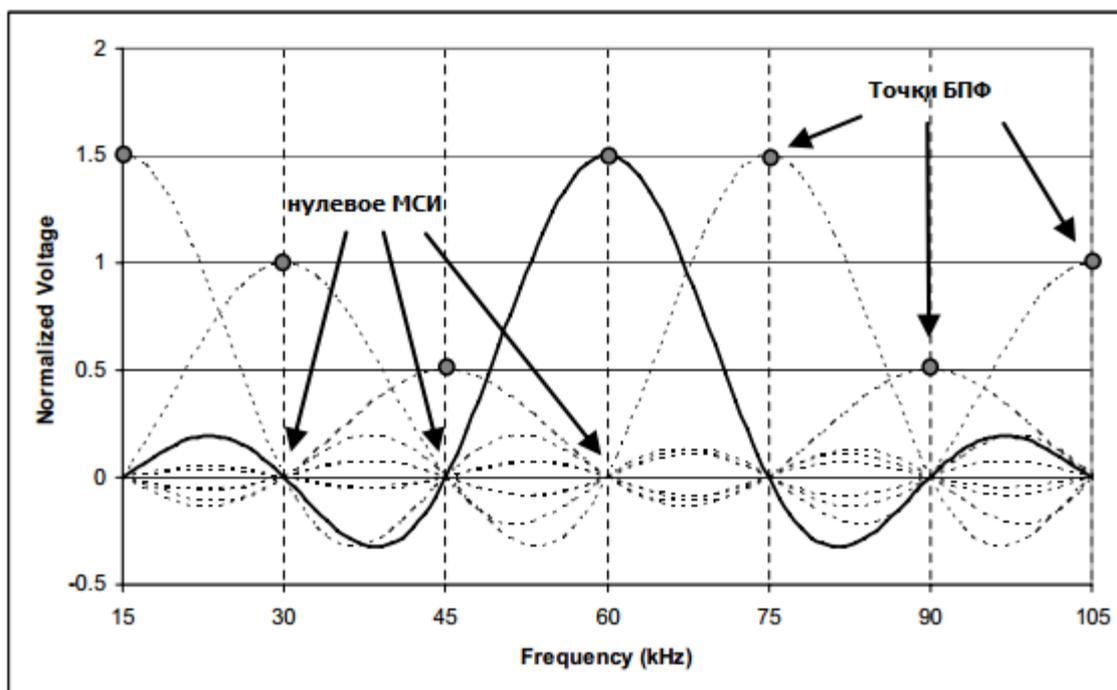


Рисунок 1.4 – Демодуляция сигнала без смещения частоты

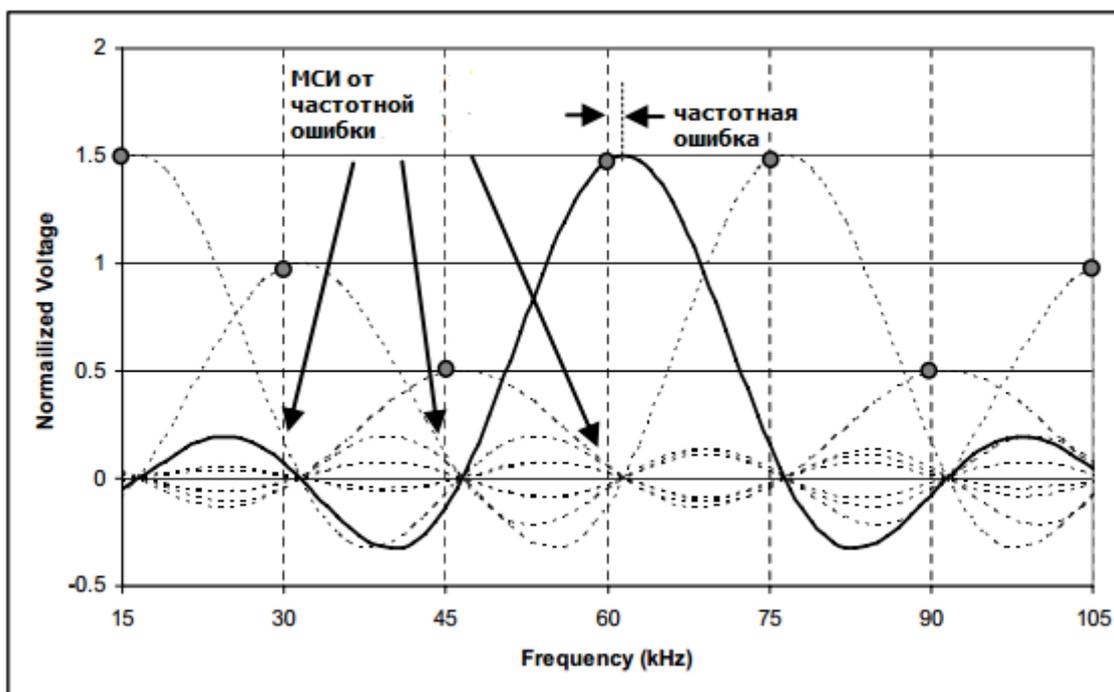


Рисунок 1.5 – Демодуляция сигнала со смещением частоты

1.6 Технология MIMO

MIMO (multiple input – multiple output)? многими входами и многими выходами, является использование нескольких антенн как на передатчике и приемнике, чтобы повысить производительность связи. Несколько антенн могут быть использованы для выполнения интеллектуальной антенной функции, такие как распространение общей мощности передачи в течение антенн для достижения усиления массива, что постепенно повышает эффективность использования спектра (более битов в секунду на герц полосы пропускания,) или достижения выигрыша от разнесения, что улучшает надежность связи (уменьшает выцветание,) или оба. Тем не менее, сегодня термин "MIMO" обычно относится к способу умножения потенциала радиолинии, используя распространение многолучевого распространения. Этот современный MIMO является важным элементом беспроводных стандартов связи, таких как IEEE 802.11n (Wi-Fi), IEEE 802.11ac (Wi-Fi), 4G, 3GPP Long Term Evolution, WiMAX и HSPA + [16].

MIMO антенны могут привести к ряду потенциальных выгод для систем мобильной радиосвязи, в том числе более надежной работы в условиях плохой сигнал, больше спектральной эффективности (и, следовательно, общую пропускную способность системы) и увеличение скоростей передачи данных для отдельных пользователей. Тем не менее, MIMO является сложной технологии, с рядом вариаций на его основной принцип. Стандарт LTE поддерживает широкий диапазон MIMO режимах, которые подходят для различных условий распространения радиоволн, и это позволяет реализовать динамическое переключение между этими режимами в соответствии с

преобладающие обстоятельства. Структура MIMO приведена на рисунке 1.6

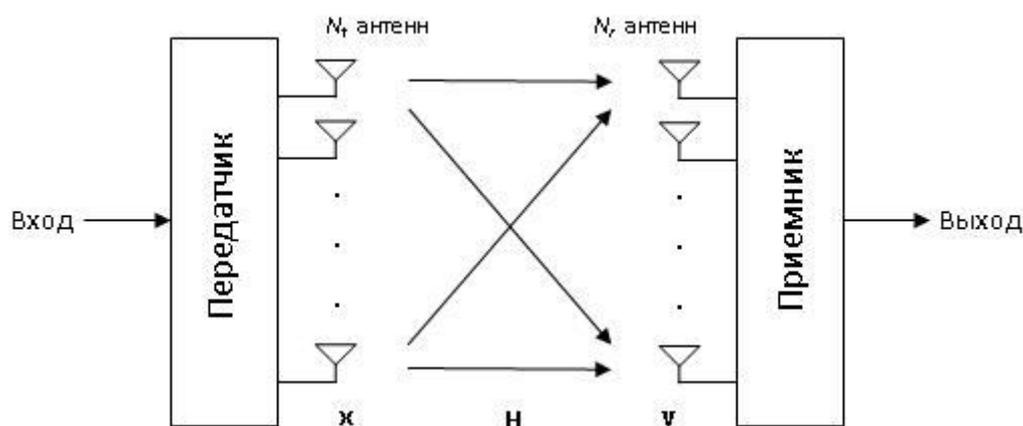


Рисунок 1.6 - MIMO структура

Эффективность MIMO в реальной сети, зависит от ряда факторов, в том числе разделения антенны на передающих и принимающих устройств, уровень рассеяния и многолучевого распространения в радиоканале, отношение сигнал-шум принимаемого сигнала, и скорость мобильного терминала. MIMO находится в его наиболее эффективным, когда существует значительный многолучевого распространения, таких как городской среде, где сигналы рассеиваются на зданиях и других объектах. В открытом, сельской местности, где есть сильная линия визирования путь передачи между передатчиком и приемником, MIMO менее полезен.

MIMO является основополагающим элементом конструкции системы LTE и первая версия стандарта LTE (3GPP Release 8) поддерживает 2×2 MIMO в нисходящей и восходящей линии связи. Последующие события расширили эту возможность и самые последние технологии LTE-Advanced стандарта 3GPP (Release 11) поддерживает 8×8 MIMO в нисходящем канале и 4×4 MIMO в восходящем канале. Стандарт использует гибкость MIMO, включив ряд различных режимов, в том числе пространственного разнесения, открытые и закрытые петли пространственного мультиплексирования с обратной связью и многопользовательского MIMO, и система может переключаться между режимами с учетом различных эксплуатационных условий. Алгоритмы для изготовления такой выбор не стандартизированы, что дает возможность для производителей оборудования и операторов сетей, чтобы дифференцировать свои реализации.

На рисунке ниже показан пример работы MIMO с использованием четырех передающих антенн и двух приемных антенн, которые, как правило, упоминается как 4×2 MIMO. В ситуации, когда радиоволны проходят значительное рассеяние и многолучевое распространение между передатчиком и приемником, система MIMO может достигать значительно более высокой производительности, чем было бы возможно при отдельных

антеннах с использованием такой же суммарной мощности. Например, с соответствующим размещенных антенн, расположение показано на рисунке может удвоить пропускную способность данных между передатчиком и приемником.

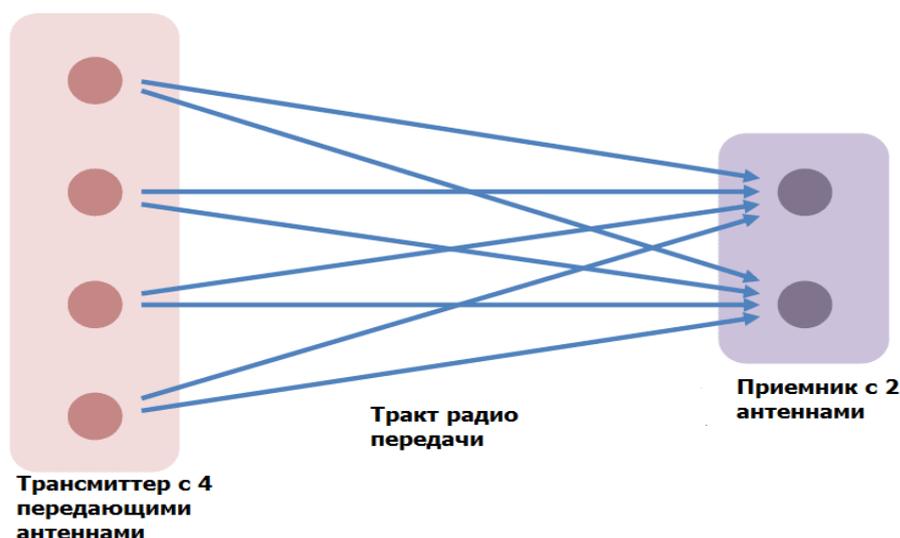


Рисунок 1.7 - Система MIMO с двумя передающими и двумя принимающими антеннами.

MIMO может быть разделена на три основные категории, предварительного кодирования, пространственного мультиплексирования или SM, и разнообразия кодирования .

Предварительное кодирование является мульти-поток, формирование луча, в самом узком определении. В более общем плане, то, как полагают, все пространственную обработку, которая происходит в передатчике. В одной (потока) формирования диаграммы направленности, и тот же сигнал, излучаемый каждой из передающих антенн с соответствующей фазой и усиления таким образом, что взвешивание мощность сигнала максимальна на входе приемника. Преимущества формирования диаграммы направленности могут увеличить коэффициент усиления сигнала, полученной - путем сигналы, испускаемые из различных антенн складываются конструктивно - и уменьшить эффект многолучевого замирания. В линии прямой видимости распространения, результаты формирования диаграммы направленности в четко определенной диаграммой направленности. Однако, обычные лучи не хорошая аналогия в сотовых сетях, которые в основном характеризуются многолучевого распространения . Когда приемник имеет множество антенн, передающих формирования луча не могут одновременно увеличить уровень сигнала на всех приемных антенн, а предварительное кодирование с несколькими потоками зачастую выгодно. Следует отметить, что предварительное кодирование требуется знание информации о состоянии канала (CSI) в передатчике и приемнике.

Пространственное мультиплексирование требует настройки антенны ММО. В пространственного мультиплексирования, сигнал с высокой скоростью разделяется на несколько потоков с более низкой скоростью, и каждый поток передается от другой передающей антенны в том же частотном канале. Если эти сигналы поступают на антенны приемников с достаточно различных пространственных подписей и приемник имеет точное CSI, он может разделить эти потоки в (почти) параллельных каналах. Пространственное мультиплексирование очень мощная техника для увеличения пропускной способности канала при более высоких сигнал-шум (SNR). Максимальное количество пространственных потоков ограничено меньшее из количества антенн в передатчике или приемнике. Пространственное мультиплексирование может быть использована без CSI в передатчике, но могут быть объединены с предварительного кодирования, если доступна CSI. Пространственное мультиплексирование также можно использовать для одновременной передачи на несколько приемников, известных как пространственно-Division Multiple Access или многопользовательского ММО, и в этом случае требуется CSI в передатчике. Планирование приемников с различных пространственных сигнатур обеспечивает хорошую сепарабельность,

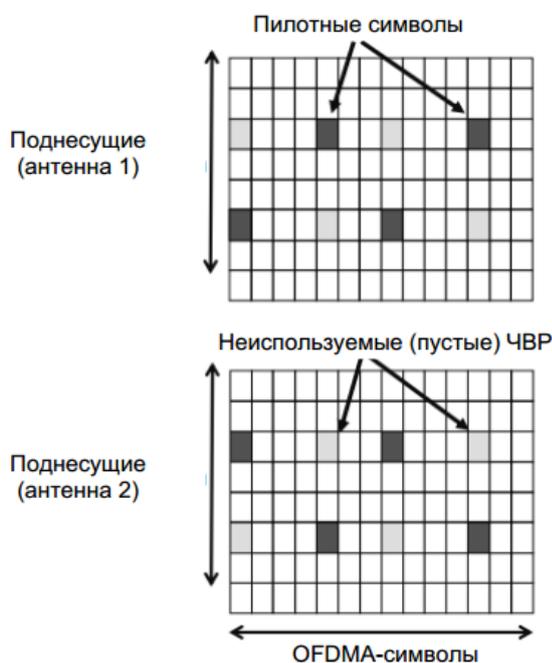


Рисунок 1.8 - Пример размещения пилотных символов по поднесущим для системы с двумя передающими антеннами.

Кадры типа 2 используются при временном разнесении каналов. При этом каждый кадр (рисунок 1.9) разделён на два полукадра (не путать с подкадром), каждый из которых имеет длительность (hf — halfframe)

$$T_{hf} = 153600 \times T_s = 5 \text{ мс}, \quad (1.17)$$

а каждый полукадр состоит из пяти последовательных подкадров длительностью (sf — sub-frame)

$$T_{sf} = 30720 \times T_s = 1 \text{ мс} \quad (1.18)$$

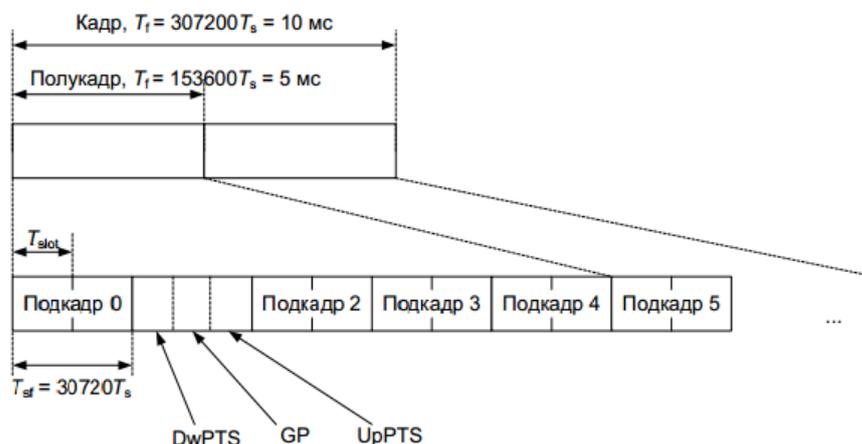


Рисунок 1.9 - Структура кадра Типа 2.

Необходимость перехода от одного направления к другому означает наличие в кадрах специальных подкадров, содержащих пилотное поле, называемое точкой переключения, обозначаемое в табл. 2.1 символом «S». В этом поле выделяют специальные пилотные слоты нисходящего направления DwPTS (Downlink Pilot Time Slot) и пилотные слоты восходящего направления UpPTS (Uplink Pilot Time slot), которые располагаются последовательно, вместе с защитным полем GP (Guard Period) [17].

1.7 OFDM и SC-FDMA

Сигнальным технологиям, на базе которых реализован физический уровень сетей LTE являются: мультиплексирование с ортогональным частотным разнесением и мультиплексирование с частотным разнесением с передачей на одной несущей SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access). Обе технологии обеспечивают высокоскоростную передачу данных, однако применяются для разных целей.

Основной целью использования технологии OFDM является устранение влияния помех, вызванных многолучевым распространением сигнала, последствием которого является межсимвольная интерференция (МСИ). Способом борьбы с МСИ является отказ от использования сигналов с одной ярко выраженной несущей и использование конструкций на основе многочастотных сигналов. Именно на этом принципе построена технология OFDM. Применяются следующие виды: QAM-16, QAM-64 и др.

Для формирования группового сигнала восходящих каналов в сетях LTE используется схема мультиплексирования с частотным разнесением с передачей на одной несущей SC-FDMA. Эта схема может работать в системах, функционирующих как в режиме TDD с временным дуплексированием, так и в режиме FDD с частотным дуплексированием. Такие сигналы можно рассматривать как одночастотные с модуляцией QAM или ФМ-2 и временным мультиплексированием, подобные тем сигналам, которые формируются в системе GSM.

Формирование сигнала в частотной области согласно схеме, представленной на рисунке 1.10, в отличие от классической схемы формирования одночастотного сигнала с модуляцией КФМ (ФМ-2), позволяет использовать преимущество схемы с ортогональным частотным разнесением, которое заключается в эффективном использовании частотного ресурса. При этом защитный интервал в частотной области между сигналами разных абонентов может быть опущен. Как и в системах с OFDM, во временной области периодически добавляется циклический префикс (ЦП), но такая процедура проводится над блоком элементарных символов. Введение такого ЦП позволяет избежать МСИ между SC-FDMA символами или между блоками элементарных символов [2].

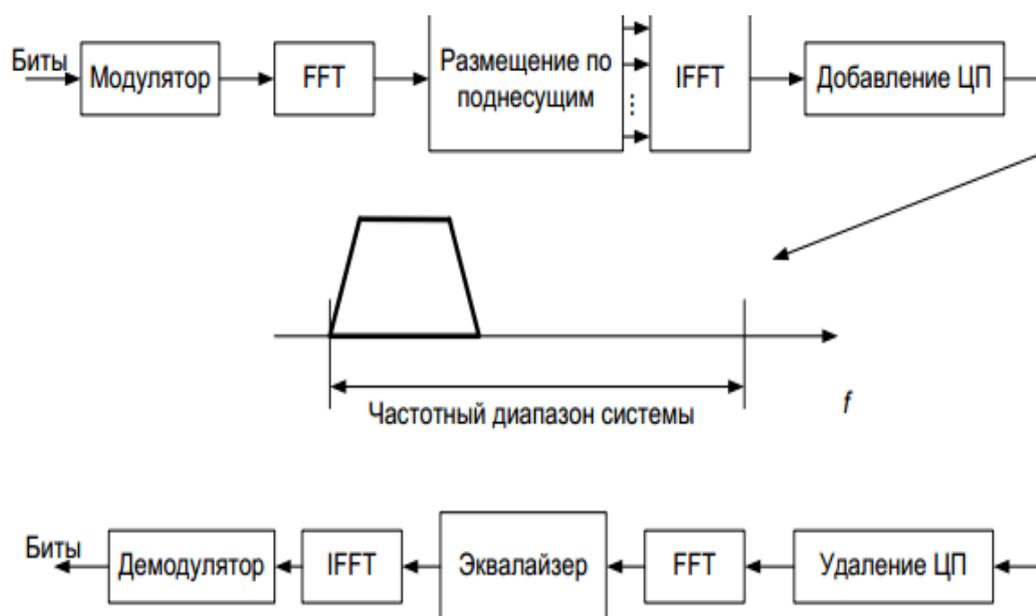


Рисунок 1.10 - Передача данных с использованием технологии SC-FDMA.

1.8 Помехоустойчивое кодирование

Спецификация TS 36.212 предполагает два способа помехоустойчивого кодирования, используемых при формировании сигналов. Основным способом помехоустойчивого кодирования является турбокодирование со скоростью 1/3. Также приводится схема сверточного кодера со скоростью

кодирования $1/3$, которая используется при формировании сигнала широковещательного канала ВСН. Рассмотрим данные схемы.

В качестве кодера турбокода используется схема двух параллельно связанных сверточных кодеров с внутренним перемежителем (рисунок 1.11).

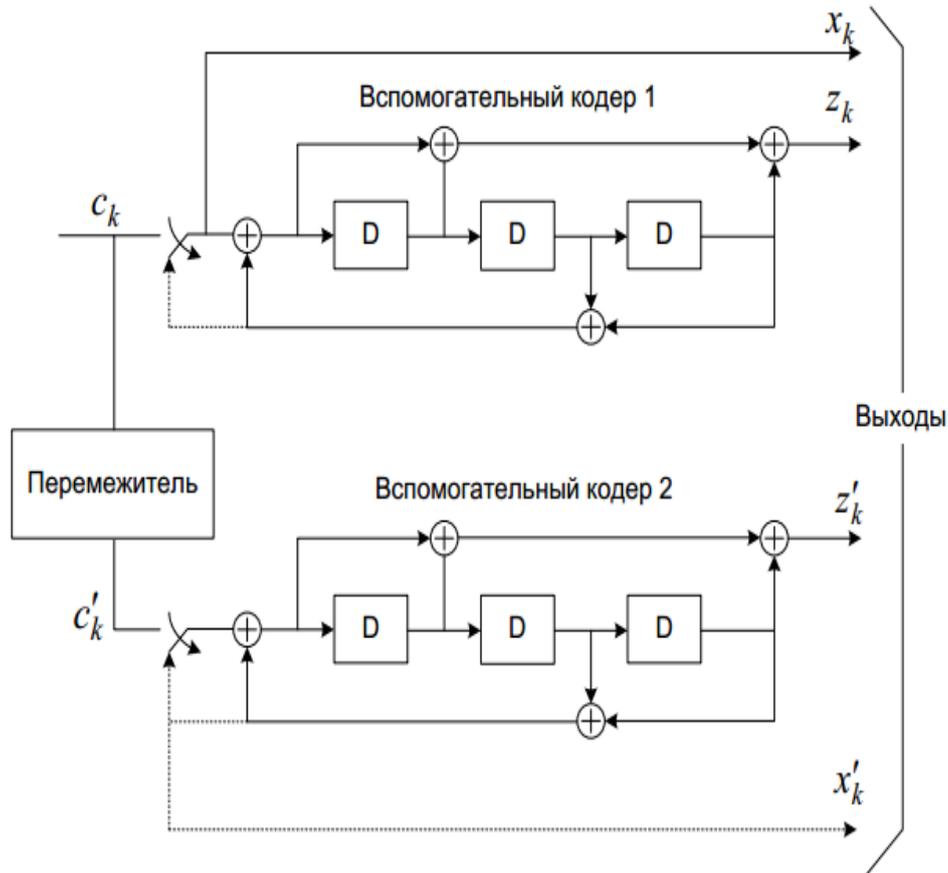


Рисунок 1.11 - Кодер турбокода со скоростью кодирования $1/3$.

Структурная схема сверточного кодера показана на рисунке 1.12.

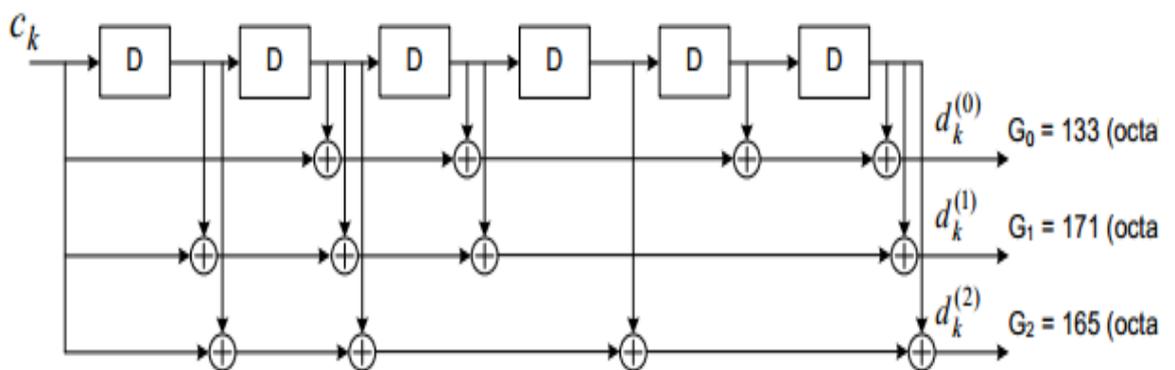


Рисунок 1.12 - Сверточный кодер со скоростью кодирования $1/3$.

Перед началом процедуры кодирования в ячейки регистра сдвига должны быть записаны последние 6 бит информационной последовательности

c_k . Результат кодирования считывается последовательно с трех выходов кодера $d_0^{(0)}, d_0^{(1)}, d_0^{(2)}, d_1^{(0)}, d_1^{(1)}, d_1^{(2)}$ и т. д.

1.9 Технология OCDM

OCDM (англ. Orthogonal code-division multiplexing — ортогональное кодовое разделение каналов с мультиплексированием).

Технология ортогонального кодового разделения каналов (OCDM) сравнительно малоизвестна, хотя первые патенты и публикации, описывающие принципы OCDM, появились еще в середине конце 1990-х годов. Суть технологии в следующем. Как и в технологии расширения спектра посредством прямой последовательности (CDMA или DS-CDMA) каждый бит (группа битов) информационного потока заменяется одной из ортогональных кодовых последовательностей (например, Уолша-Адамара). В результате один информационный бит оказывается представленным N кодовыми битами – так называемыми чипами, что формирует избыточность.

Кодовое усиление и определяет ряд важных свойств CDMA-сигналов. В технологии OCDM после преобразования бита в поток из N чипов происходит распараллеливание в N чиповых каналах. Каждый канал дополнительно кодируется посредством ортогональной циклической кодовой последовательности (например, M -последовательности) аналогично тому, как это происходит в технологии OFDM – только принцип разделения не частотный, а кодовый. Затем закодированные последовательности чипов мультиплексируются в один общий поток (в отличие от OFDM – методом простого суммирования), который после аналогового преобразования и выдается в эфир. В приемнике все происходит в обратном порядке: распределение входного сигнала на параллельные чиповые каналы, восстановление чипового потока, восстановление исходного информационного потока [1].

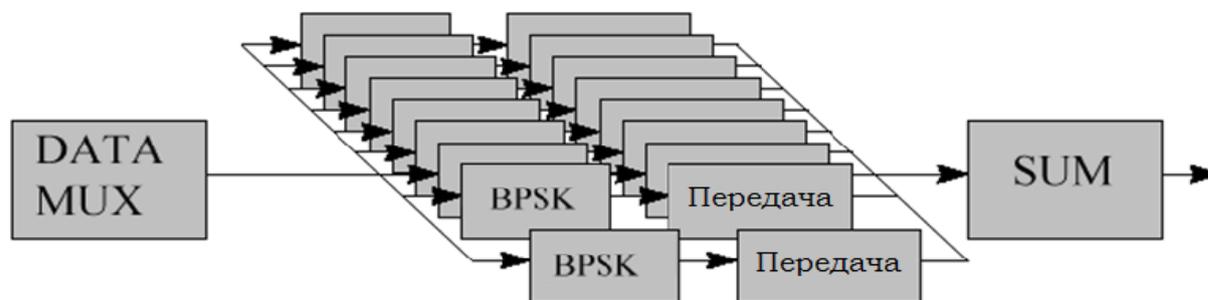


Рисунок 1.13 - Схема OCDM модуляции

Значительное улучшение по сравнению с обычными OFDM является введение несущих мультиплексирования с кодовым разделением (MC-CDM)

Кайзер в [6]. В MC-CDM, вместо передачи одного символа на каждой поднесущей, как в обычном OFDM, символы кодовым разделением каналов с помощью ортогональных кодов расширения спектра и одновременно передаются на доступных поднесущих. Поскольку каждый символ проходит более чем на одной поднесущей, что обеспечивает частотное разнесение, MC-CDM обеспечивает повышенную устойчивость к выцветанию поднесущей. Эта техника очень напоминает принцип, лежащий в множественного доступа с несколькими несущими с кодовым разделением каналов (MC-CDMA), где каждый пользователь присваивается определенный код расширения поделиться группу поднесущих с другими пользователями [7]. Следует отметить, что MC-CDMA и MC-CDM отличаются использованием изготовленного из поднесущих: если в MC-CDMA поднесущих используются для мультиплексирования различных пользователей, в поднесущих MC-MЧР используются для мультиплексирования символов из заданного пользователем. В MC-CDM, пользователь мультиплексирования обычно реализуется с помощью множественного доступа с временным разделением каналов (TDMA) или множественного доступа с ортогональным частотным разделением каналов (OFDMA). Группа ортогональных MC-CDMA (GO-MC-CDMA), недавно был введен в качестве конкретного аромата MC-CDMA которой пользователи расщепляются в группах, и каждой группе использует исключительно (небольшой) подмножество всех доступных поднесущих. В поднесущих, формирующих группу выбирают так, чтобы быть как можно отдельно в доступной пропускной способности для того, чтобы максимизировать выигрыш от частотного разнесения [8]. Установка GO-MC-CDMA, можно видеть, как много независимых MC-CDMA системы меньшей размерности, работающих параллельно. Это привело к снижению размера позволяет использовать оптимальных приемников для каждой группы на основе максимального правдоподобия обнаружения по разумной стоимости вычислений. Группа тогональность также была предложена для (кодированными) систем MC-CDM в, где результаты для группы размеров и распространения выбранного кода. Идея состоит в том, чтобы разделить соответственно перемеженные символы из заданного пользователем в ортогональных групп, а затем нанести матрицы расширения для каждой группы с целью дальнейшего использования частотного канала разнообразия. Поддерживая размер группы относительно небольшим, оптимальное определение может быть реализован в полной мере использовать имеющиеся разнообразие [9].

1.10 Связь и различие OFDM и OFCDM

Комбинированные OFDM и CDMA методы можно назвать переменной коэффициентом расширения-кода с ортогональным частотным разделением каналов (VSF OFCDM). Переменная растекания очень привлекательной особенностью. Коэффициент расширения может быть установлен в двух измерениях, чтобы получить переданные данные более устойчивы к выцветанию в канале передачи. Данные расширения в системе VSF-OFCDM может быть сделано в двух измерениях - в частотной области и во временной области. Это главное отличие между OFDM и подхода CDMA.

$$SF = SF_{time} \times SF_{freq} \quad (1.19)$$

SF время коэффициент расширения во временной области и SFfreq распространяется фактор в частотной области. Переменная распространения означает, что мы можем изменить коэффициент расширения в соответствии фактическим условиям в канале передачи, чтобы получить более низкую BER. Выигрыш от разнесения частот может быть достигнуто путем затухания частотной области из-за различных замираний, с которыми сталкивается поднесущие в широкополосном канале. Кроме того, с введением временной области распространения, система может обеспечить гибкую скорость передачи. В временной и частотной области распространения факторы SFtime и SFfreq можно менять, чтобы обеспечить переменную коэффициентом расширения (VSF) для того, чтобы система работала в различных средах и условиях канала. Это обеспечивает устойчивость к частотно-избирательным замиранием. Он обеспечивает высокую скорость передачи данных. Он обеспечивает усиление частотного разнесения. Она обеспечивает различные скорости передачи. Различные показатели услуг, присваивая различные числа кодовых каналов для одного пользователя. OFCDM охватывает не только все преимущества OFDM, но и дополнительные преимущества с помощью 2D распространения [21].

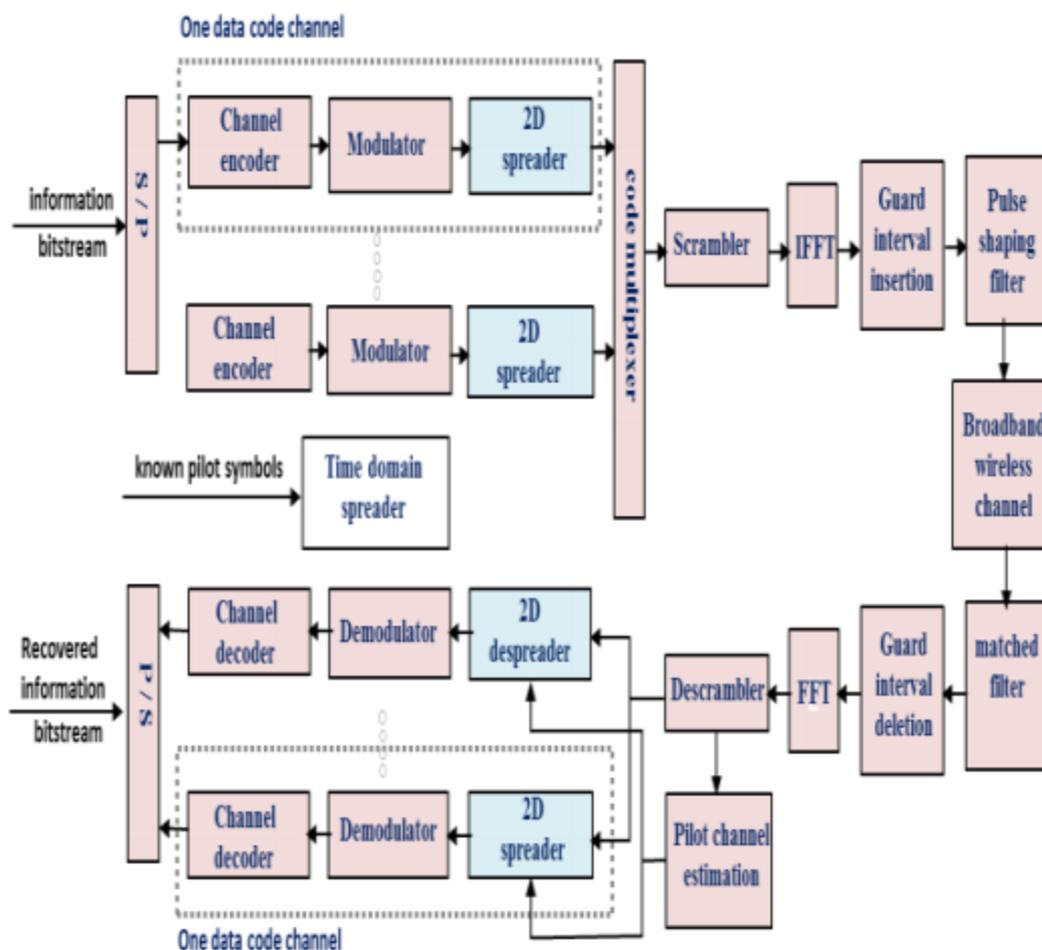


Рисунок 1.14- Блок схема системы OFCDM

Таким образом на блок схеме показан принцип работы технологии ортогонального кодового разделения каналов. Также в литературе встречается название OFCDM (Orthogonal frequency and code division multiplexing), которое означает ортогональное частотное и кодовое разделение каналов. По сути это одна и та же технология, называемая в различных источниках по-разному.

Согласно блок схеме сигнал на выходе передатчика разделяется по принципу 2 распространения, затем также как и в технологии ортогонального частотного разделения каналов, проходит скремблирование, обратное быстрое преобразование Фурье, добавление защитного интервала, передача сигнала, удаление защитного интервала, прямое преобразование Фурье, дескремблирование, демодуляция и сигнал попадает на приемник.

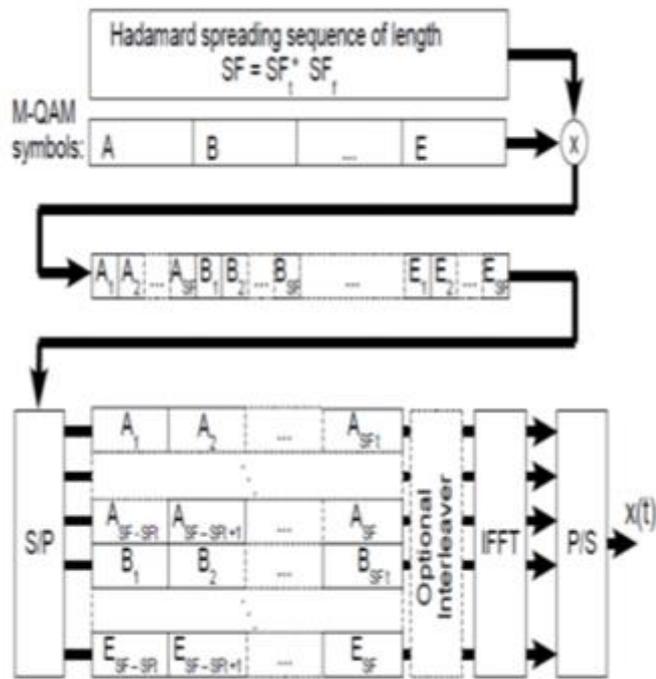


Рисунок 1.15 – Схема распространения в OVS OFCDM

Сочетание OFDM с двумерного расширения (временной и частотной области распространения), ортогональным и частота с кодовым разделением каналов (OFDM) система была предложена для передачи по нисходящей линии в будущих сетях 4G. Рисунок 1.15 показывает схему 2D распространения в OVS OFDM. На основании OFDM, OFCDM обеспечивает не только все преимущества OFDM, но и дополнительные преимущества с помощью 2D распространения. В временной и частотной области распространения факторы NT и NF можно менять, чтобы обеспечить переменную коэффициента расширения (VSF) для того, чтобы система работала в различных средах и условиях канала.

Затем процессор канала модулирует перемежает и осуществляет 2D распространения на бит данных. Как показано на рисунке 1.16, первый символ передает через временную область код расширения с коэффициентом расширения (SF) = N (здесь NT = 4). Сначала распространение сигнала, затем дублируются на частоты чередующихся поднесущих, чтобы предотвратить пакеты ошибок. Число дубликатов является такой же, как в частотной области SF = NF (здесь NF = 2). Сигнал, полученный после дублирования затем умножается на код расширения в частотной области.

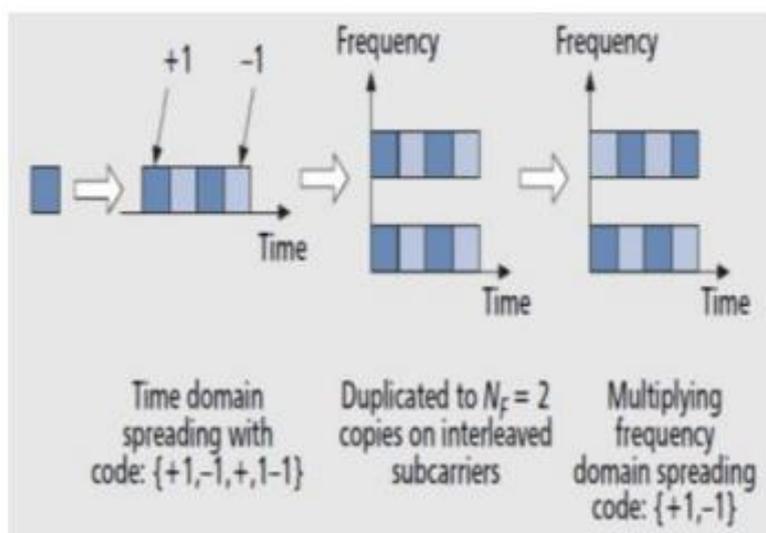


Рисунок 1.16 –2D распространения на бит данных

Кроме того, 2D с расширением спектра выполняется для каждого символа. Если есть какие-NC поднесущих используется, то в любой момент времени, $K = NC / NF$ символы могут передаваться в то время, на один код канала. Эта схема репликации для всех кодовых каналов, в которых назначены отдельные временные и частотные коды расширения, чтобы сохранить ортогональность друг с другом. Обработанные данные затем мультиплексируют в мультиплексоре кода. В дополнение к информационным битам, символы пилот-сигнала также мультиплексируют для оценки канала. Символами пилот-сигнала могут быть время, частоты или мультиплексированный код. Схема мультиплексного кода обеспечивает большую гибкость в работе.

Код мультиплексирования и 2D распространения в системе OFCDM достигается за счет использования 1D OVSF коды. Рисунок 1.17 и 1.18 показывает коды дерево 1D и 2D OVSF кодов. Конструкция 2D кодов OVSF на основе рекурсивного алгоритма 2D коды OVSF использующую матрицу, которая представляет первый слой. Кроме того, он использует два 2×2 ортогональные матрицы, чтобы получить второй слой. Этот процесс повторяется рекурсивно, чтобы получить код требуемой длины.

Слоя 2D-кодов OVSF состоят из 2^i кодов $2^i \times 2^i$ размер каждого из них. Сравнивает производительность системы OFCDM с использованием 1D кодов OVSF против системы OFDM, используя 2D-коды OVSF для достижения 2D распространение. Результаты получены путем поддержания фиксированного $SF = NT \times NF$, где $NT = 8$, $NF = 4$. Один кодовый канал, назначенный для пилотных данных, а остальные $(NT - 1) \times NF$ каналов полностью загружены информационными битами. OFCDM - 2D - схема OVSF имеет более высокую пропускную способность по сравнению с схемой OFCDM -1D OVSF. Система обеспечивает улучшенные результаты в отношении к OFCDM системы, использующей 1D кодов OVSF. Предпочтительно, чтобы назначить коды с

большими расстояниями между смежными кодовыми код каналами. Непоследовательная схема назначения кода и 2D коды OVSF на основе 2D-распространяющихся значительно сократили МСИ в системах, использующих схемы модуляции BPSK и QPSK. Тем не менее, следует отметить, в более высоких схем модуляции, таких как QAM, что методы не являются достаточными. Следовательно, очень важно для дальнейшего снижения МСИ.

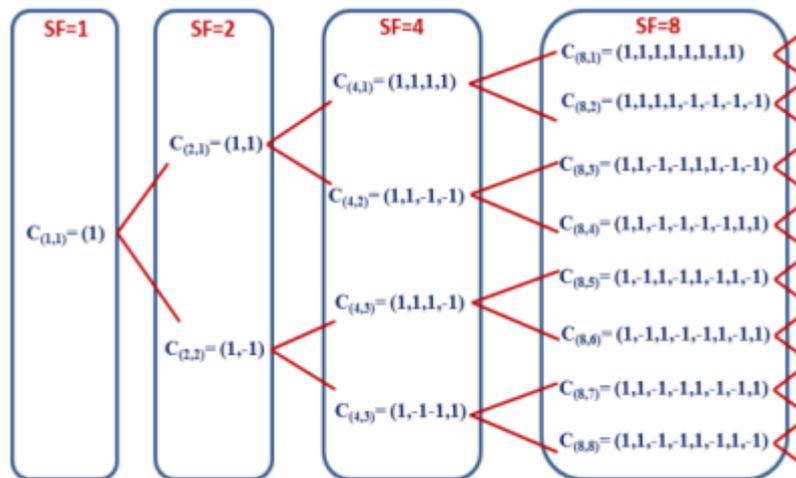


Рисунок 1.17 – Коды дерева 1D OVSF кодов

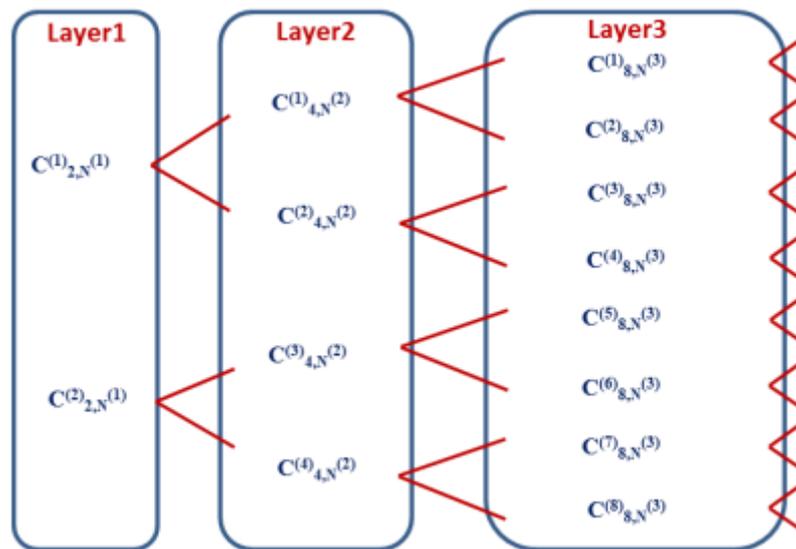


Рисунок 1.18 – Коды дерева 2D OVSF кодов

1.11 Коды Уолша-Адамара

Функциями Уолша называется семейство функций, образующих ортогональную систему, принимающих значения только 1 и -1 на всей области определения.

В принципе, функции Уолша могут быть представлены в непрерывной форме, но чаще их определяют как дискретные последовательности из 2^n элементов. Группа из 2^n функций Уолша образует матрицу Адамара.

Функции Уолша получили широкое распространение в радиосвязи, где с их помощью осуществляется кодовое разделение каналов (CDMA), например, в таких стандартах сотовой связи, как IS-95, CDMA2000 или UMTS.

Система функций Уолша является ортонормированным базисом и, как следствие, позволяет раскладывать сигналы произвольной формы в обобщённый ряд Фурье.

Существует несколько способов формирования. Рассмотрим один из них, наиболее наглядный: Матрица Адамара может быть сформирована рекурсивным методом с помощью построения блочных матриц по следующей общей формуле:

$$H_{2^n} = \begin{bmatrix} H_{2^{n-1}} & H_{2^{n-1}} \\ H_{2^{n-1}} & -H_{2^{n-1}} \end{bmatrix} \quad (1.20)$$

Так может быть сформирована матрица Адамара длины 2^n :

$$H_1 = [1] \quad (1.21)$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (1.22)$$

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.23)$$

Каждая строка Матрицы Адамара и является функцией Уолша.

В данном случае функции упорядочены по Адамару. Номер функции по Уолшу вычисляется из номера функции по Адамару путём перестановки бит в двоичной записи номера в обратном порядке с последующим преобразованием результата из кода Грея.

Таблица 1.1 - Пример кодов

Номер по Адамару	Двоичная форма	Перестановка бит	Преобразование из кода Грея	Номер по Уолшу
0	00	00	00	0
1	01	10	11	3
2	10	01	01	1
3	11	11	10	2

В итоге получается матрица Уолша, в которой функции упорядочены по Уолшу:

$$W_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (1.23)$$

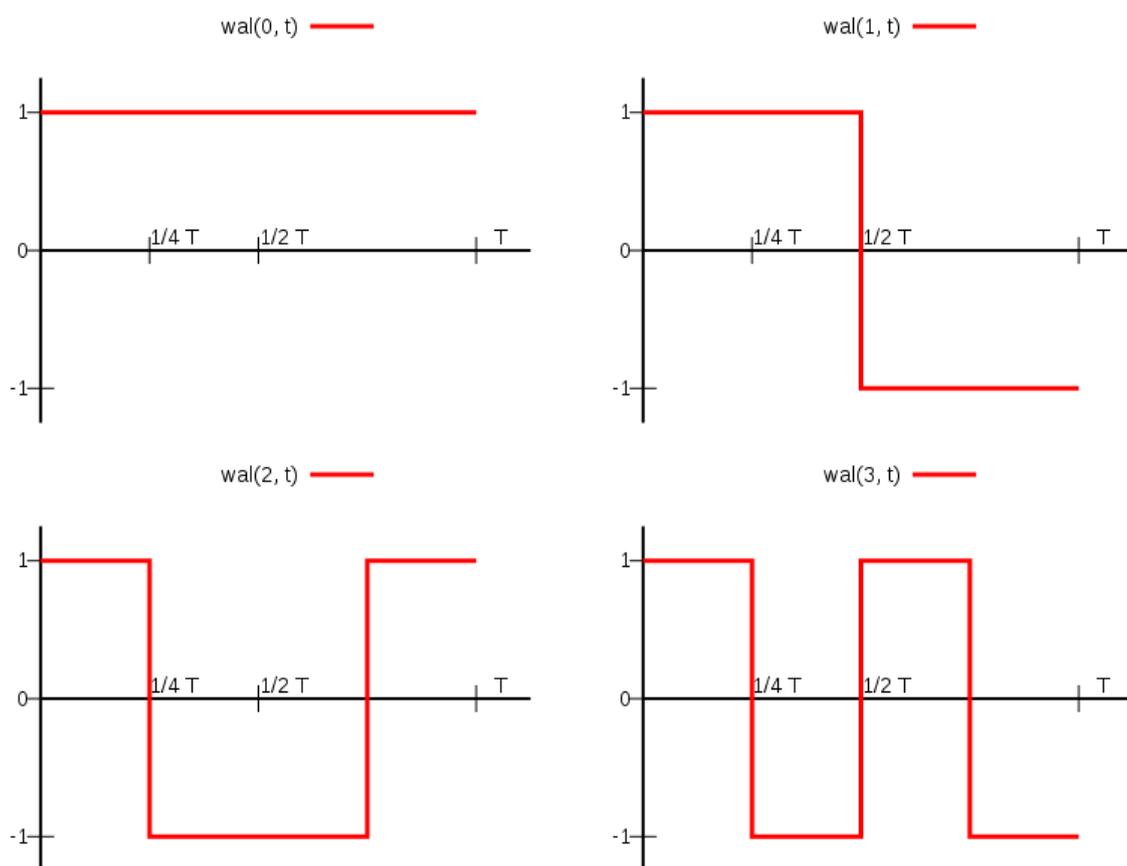


Рисунок 1.19 - Графики первых 4 функций Адамара

2 Расчеты OFDM и OCDM

2.1 Структуры кадров в сети LTE

Функционирование сетей LTE может осуществляться в частотных диапазонах с различной шириной. Сигналы нисходящего или восходящего направления могут занимать полосы от 1,4 до 20 МГц в зависимости от количества активных ресурсных блоков, понятие которого будет дано ниже. Границы частотного диапазона, занимаемого сигналом, всегда определяются симметрично относительно несущей частоты f_c :

$$f_{min} = f_c + \frac{BW_{ch}}{2} \quad (2.1)$$

$$f_{max} = f_c - \frac{BW_{ch}}{2} \quad (2.2)$$

Для любого частотного диапазона вводится частотная сетка с шагом 100 кГц, называемым канальным растром; это означает, что центральные (несущие) частоты каналов должны быть кратны 100 кГц.

Все временные значения выражаются в единицах элементарного временного интервала, равного

$$T_s = \frac{1}{15000 \times 2048} \text{ секунд} \quad (2.3)$$

Передача информации в восходящем и нисходящем направлениях организована в кадрах (radio frames) длительностью

$$T_f = 307200 \times T_s = 10 \text{ секунд} \quad (2.4)$$

которые, в свою очередь, подразделяются на более мелкие временные структуры—слоты. При этом возможны два типа структур кадра:

Тип 1, применяемый в режиме FDD с частотным дуплексом и Тип 2, применяемый в режиме TDD с временным дуплексом.

Структура кадра Типа 1 (рисунок 2.1), применяемого как в (полно)дуплексном, так и полудуплексном FDD-режимах, предполагает деление кадра на 20 слотов, нумеруемых от нулевого до 19-го, каждый из которых имеет длительность

$$T_{slot} = 15360 \times T_s = 0,5 \text{ мс} \quad (2.5)$$

В пределах кадра различают подкадры, представляющие собой пару из двух смежных слотов; i -й подкадр содержит слоты с номерами $2i$ и $2i + 1$.

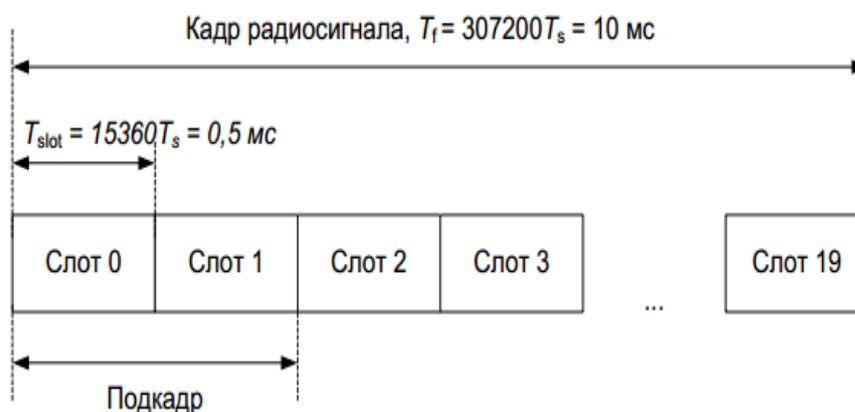


Рисунок 2.1 - Структура кадра Типа 1.

2.2 Расчет с помощью Кодов Уолша-Адамара

Разработка сотовых систем следующих поколений связана с созданием универсальных мобильных мультимедийных сетей при существенном увеличении скорости передачи информации, по сравнению с сетями 3G [1]. Так, в сетях 3,9G (стандарт Long Term Evolution (LTE) комитета по стандартизации 3GPP) предполагается увеличение скорости передачи информации до $R_B = 50 \text{ Мбит/с}$ в восходящем потоке и до $R_H = 100 \text{ Мбит/с}$ нисходящем канале в полосах частот шириной по $\Delta F = 20 \text{ МГц}$. При этом ставится задача обеспечения поддержки абонентов, движущихся со скоростями до 350 км/ч . Зона покрытия одной базовой станции в штатном режиме достигает 30 км . Для широковещательных сервисов (MBMS), таких как мобильное ТВ-вещание, радиусы сот увеличиваются до 120 км . Кроме того, должна быть обеспечена поддержка более 200 независимых абонентов одной базовой станцией (БС) в каждой полосе частот с шириной 5 МГц с переключением между сотами без разрыва соединения, а также работа только в пакетном режиме, без коммутации каналов. Причем голос должен передаваться по сети IP (VoIP), а задержки по времени на начальном участке доступа к сети существенно снижены, по сравнению с 3G. Все это делает возможным включение в сети с улучшенными характеристиками, построенными на базе существующих IP-сетей, качество которых определяется характеристиками сервиса QoS.

Вышеперечисленные параметры в LTE реализуются с использованием технологии OFDM (ортогональное частотное разделение каналов). Она хорошо зарекомендовала себя в системах DVB, Wi-Fi, WiMAX.

Суммарную скорость передачи информации в случае использования всех ресурсов системы при OFDMA (то есть без учета циклических префиксов, пилотсигналов, опорных поднесущих и т.п.) легко рассчитать по формуле

$$R_H = n_{\text{инф}} N_{\text{OFDM}} / T_{\text{OFDM}} \quad (2.6)$$

где $n_{\text{инф}}$ – число информационных импульсов в OFDM-символе длительностью T_{OFDM} (в LTE $T_{\text{OFDM}} = 66,7$ мкс), а N_{OFDM} – число поднесущих в полосе частот шириной $\Delta F = 20$ МГц. Учитывая, что $n_{\text{инф}} = 2$ при QPSK и $n_{\text{инф}} = 6$ при 64-QAM,

$$N_{\text{OFDM}} = \Delta F / \Delta f \quad (2.7)$$

(в LTE $\Delta f = 15$ кГц – расстояние между поднесущими), получаем $R_H = 33,6$ Мбит/с при QPSK и $R_H = 100,8$ Мбит/с в случае 64-QAM.

В CDMA-системах максимальная скорость передачи информации в нисходящем потоке обеспечивается при передаче в синфазном и квадратурном каналах независимых информационных сигналов. На физическом уровне они соответствуют двоичным противоположным сигналам, модулирующим коды Уолша. При таких же значениях параметров системы, как и в LTE, минимальная длительность двоичного информационного импульса в случае CDMA составит $66,7/6 \sim 11,2$ мкс. Тогда скорость информационного потока, передаваемого с использованием одного кода Уолша, составит приблизительно 90 кбит/с.

Число кодов Уолша в полосе частот с шириной по $\Delta F = 20$ МГц в синфазном или квадратурном канале будет

$$(20 \times 10^6) \text{ Гц} \times (11,2 \times 10^{-6}) \text{ с} = 224 \quad (2.8)$$

В результате полная максимальная скорость передачи информации при использовании CDMA в полосе частот с шириной составит $2 \times 224 \times 90 \times 10^3 \approx 40,3$ Мбит/с. Отметим, что данный расчет сделан с целью сравнения двух систем и является условным. Таким образом, максимальная возможная пропускная способность канала связи при OFDM более чем в два раза больше, по сравнению с CDMA. При этом обе системы имеют одинаковые возможности гибкого управления перераспределением скоростного ресурса общего канала связи между абонентскими устройствами.

В CDMA-системах совместная оценка частоты с точностью до фазы, задержки по времени, мощности сигналов может производиться с минимальными погрешностями, существенно меньшими, по сравнению с OFDM. Вместе с тем, OFDM-системы весьма чувствительны к погрешностям оценки этих параметров. Но при OFDM эффективно используется улучшенная антенная технология MIMO, в то время как в CDMA-системах процедура инверсии матрицы передачи, которая выполняется в системах с MIMO, весьма сложна, поскольку содержит большое число временных элементов. В то же время соответствующие расчеты для CDMA хорошо известны и пригодны для практического применения [11].

С целью сопоставления двух технологий перечислим основные недостатки OFDM-систем, не характерные в случае применения CDMA.

- При использовании OFDM в сотовых сетях необходимо частотно-территориальное планирование, либо радиальное распределение частот [2]. Первое приводит к уменьшению в (7...9) раз ширины полосы частот, используемой абонентским устройством независимо от его местоположения, по сравнению с шириной выделенной полосы частот, то есть к существенному ее недоиспользованию. Во втором случае, когда все частоты выделенной полосы используются внутри сот, а ближе к их краям в каждой соте используется лишь часть частот, не совпадающих с частотами соседних сот, необходимо непрерывно зондировать каналы связи абонентских устройств или определять их местоположения.

- Функция определения местоположения полезна во всех современных сотовых сетях с целью обеспечения мягкого хендовера. Она просто и органично реализуется в CDMA-системах на физическом уровне. Но в системах с частотным разделением гораздо сложнее и менее эффективно.

- В OFDM-системах модель канала представляет собой простую модификацию исходного излучения всегда с неизвестным образом измененной амплитудой и фазой из-за многолучевого распространения сигналов, доплеровского сдвига частоты и т.п. Поэтому для приема информации необходимы опорные поднесущие, на которых информация не передается. На приемной стороне непрерывно отслеживаются искажения опорных сигналов с использованием эквалайзеров. Для передачи опорных поднесущих и пилот-сигналов в OFDM-системах может использоваться до 30% всего частотно-временного ресурса системы [19].

- Недостатком является необходимость использования после каждого OFDM-символа циклического префикса (CP – Cyclic Prefix) для борьбы с многолучевым распространением сигналов. Так, при длительности OFDM-символа 66,7 мкс требуется CP длительностью 4,7 мкс, если отраженный сигнал прошел путь на 1,4 км больший, чем прямо распространяющийся сигнал [14]. При увеличении размеров сот до 100 км с целью борьбы с межсимвольной интерференцией увеличивают длительность как OFDM-символа, так и CP, что не приводит к снижению скорости передачи информации, поскольку одновременно увеличивают число поднесущих до нескольких тысяч, уменьшая Δf . При этом существенно повышается сложность алгоритмов и устройств формирования и обработки OFDM-сигналов.

-В обратном канале применяется технология SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) для формирования группового сигнала при сниженных требованиях к точности частотных параметров передатчиков и характеристикам обратного канала. При этом поднесущие модулируются одновременно и одинаково, но модуляционные символы укорачиваются, а разделение сигналов абонентских устройств на приемной стороне является временным. Борьба с многолучевым распространением сигналов реализуется так же, как и в прямом канале с использованием CP. Для выбора оптимальной

длительности CP требуется постоянное сканирование частотных характеристик всех абонентских устройств, поскольку их области замираний различны. Вместе с тем, уменьшение длительности OFDM-символов снижает стойкость к эффектам многолучевого распространения и межсимвольной интерференции, поскольку вопрос о том, может ли в данном случае для борьбы с ней быть использован эффект расширения спектра каждого символа, остается открытым.

-Технология SC-FDMA позволяет снизить пик-фактор группового сигнала в обратном канале на несколько дБ, по сравнению с OFDMA. Но пик-фактор остается высоким (порядка 12...15дБ), поэтому энергетическая эффективность передатчиков абонентских устройств низка. В соответствии с вышесказанным целью данной работы является разработка технологии многостанционного доступа, объединяющей достоинства OFDM и CDMA. При OFDM и CDMA канальные сигналы формируются с использованием дискретных сигналов одного и того же типа – системы дискретных экспоненциальных функций (ДЭФ) (OFDM) и строк матрицы Адамара (CDMA), являющихся функциями Уолша. Обе эти системы являются частными случаями более общей системы ортогональных дискретных сигналов, образованной функциями Виленкина-Крестенсона (ФВК). Причем все три системы функций могут иметь одинаковые размерности и занимать в этом случае полосы частот с одной и той же шириной, во всех трех системах определено быстрое преобразование Фурье (БПФ).

В результате сравнения свойств систем вышеперечисленных функций для нисходящего канала связи выбраны ФВК, скремблированные многопозиционной M последовательностью с таким же числом уровней квантования синфазной и квадратурной составляющей, что и у ФВК. Разделение сигналов на приемной стороне будет кодовым.

Достоинства такого построения нисходящего канала, по сравнению с OFDM-сетями, следующие:

- не требуется использование многочисленных пилот-сигналов, опорных сигналов, эквалайзеров и циклических префиксов после каждого информационного символа, поскольку все функции этих сигналов и устройств реализуются с использованием единственного непрерывного периодического пилот-сигнала, мощность которого может быть снижена на порядок и более, по сравнению с мощностью информационных сигналов;

- возможность более точной одновременной оценки задержки по времени, частоты с точностью до фазы и мощности принимаемых многолучевых сигналов, по сравнению с OFDM-сетями, с использованием инерционных следящих устройств с перекрестными связями;

- определение местоположений абонентских устройств и обеспечение мягкого перехода из одной зоны обслуживания в другую;

- отсутствие необходимости частотно-территориального или радиального планирования и повышение эффективности использования спектра частот;

- высокая пропускная способность нисходящего канала связи до 100 Мбит/с в полосе частот с шириной 20 МГц (при OFDM пропускная способность будет ниже приблизительно на 30% из-за использования опорных сигналов, пилот-сигналов и циклических префиксов);

- снижение вычислительной сложности алгоритма обработки сигналов в абонентском устройстве на порядок и более, поскольку алгоритм БПФ в базисе ФВК может быть проще в 9,25 раз, по сравнению с базисом ДЭФ; кроме того, могут использоваться модифицированные БПФ в усеченных базисах ФВК, поскольку каждому абонентскому устройству назначается лишь несколько функций.

Преимущества, по сравнению с CDMA-сетями:

- повышение пропускной способности канала связи в 2,5 раза;
- повышение эффективности использования спектра частот из-за уменьшения уровня взаимных помех, поскольку использование многопозиционных последовательностей позволяет обеспечить выигрыш в уменьшении пиков взаимно корреляционных функций сигналов приблизительно на порядок, по сравнению с двоичными последовательностями [18].

3 Исследование каналов связи технологии OFDM и OCDM для систем 4-го поколения

Современный рынок мобильной передачи данных нуждается в широкополосном доступе. Это: on-line телетрансляции, on-line видеоконференции, использование игровых приложений в режиме on-line и другое, требующие высокой скорости передачи. В городских условиях очень большое количество абонентов, использующих перечисленные выше предоставляемые услуги систем 4-го поколения мобильной связи. В связи с тем, что в условиях загруженности абонентских приемных станций появляется проблема помехозащищенного, помехоустойчивого и уверенного приема абонентами сигнала. Но в условиях неравномерной застройки в городе появляется проблема многолучевости распространения сигнала и подверженность к межсимвольной интерференции [22].

Со всем этим рядом проблем на современном этапе справляется технология OFDM, но все же далеко от своего совершенства.

В ходе исследования предлагается рассмотреть модели обработки сигнала с использованием технологий OCDM и OFDM. Ортогонально-кодированное разделение каналов (OCDM) - это сигнально-кодированные конструкции для систем связи с максимально возможной помехоустойчивостью и пропускной способностью в условиях внутрисистемных и внешних помех. Данный тип модуляции известен, но для систем 4 поколения связи не применяется [1]. Известно, что в стандарте CDMA была хорошая помехоустойчивость, а технология OCDM имеет родственные связи с CDMA. В основу

преобразования бита, кодирования и передачи в поток в технологии OCDM используются коды Уолша-Адамара, так же как и в стандарте CDMA.

В связи с перспективой использования данной технологии целесообразно ее возможное применение в системах 4-го поколения мобильной связи и проведения экспериментального доказательства.

Современные сети мобильной связи довольно дорогостоящая инфраструктура. В современных условиях для проектирования сетей зачастую пользуются имитационным моделированием. Пакетов прикладных программ достаточно много на рынке информационных коммуникаций. Наш выбор остановился на программе Matlab. Это очень универсальная среда моделирования с расширенной базой и хорошей сходимостью результатов моделирования с реальными результатами.

3.1 Имитационное моделирование технологии OFDM

На рисунке представлен отрывок из программы имитационного моделирования технологии OFDM для систем 4-го поколения мобильной связи, а именно для стандарта LTE-A. В связи с тем, что OFDM уже практически реализуется в LTE, используется в проектировании современных систем 4G, предлагается взять в основу программы статистические данные, используемые на данный момент в системе 4-го поколения мобильной связи.

```
%%  
%16-QAM Modulation  
M=16;  
y = qammod(dec,M);  
% scatterplot(y);  
%%  
% Pilot insertion  
lendata=length(y);  
pilt=3+3j;  
nofpits=4;  
k=1;  
]for i=(1:13:52)  
    pilt_data1(i)=pilt;  
]    for j=(i+1:i+12);  
        pilt_data1(j)=y(k);  
        k=k+1;  
-    end
```

Рисунок 3.1 - Отрывок программы в среде Matlab для OFDM.

Полная версия программы имитационного моделирования технологии OFDM в среде Matlab указана в приложении А.

На рисунке 3.2 представлена блок схема программы имитационного моделирования технологии OFDM в среде Matlab. В программе была использована модуляция 16-QAM.

Сигнал от БС к абоненту:

а) Сигнал на приемнике подвергается модуляции OFDM:

б) Происходит M точечное обратное дискретное преобразование Фурье.

Оно автоматически обеспечивает точное соблюдение условий ортогональности для формируемого OFDM сигнала.

в) После прохождения последовательности битов обратного дискретного преобразования Фурье происходит распределение на поднесущие. Т.е. последовательность разбивается на параллельные поднесущие.

г) Затем параллельные поднесущие проходят обратное быстрое преобразование Фурье для получения OFDM сигнала.

д) Происходит добавление охранного интервала для избежания межсимвольной интерференции.

После происходит передача данных.

На приемнике:

а) Сигнал попадает на демодулятор

б) Происходит удаление охранного интервала

в) Прямое быстрое преобразование Фурье

г) Перераспределение поднесущих, т.е. с параллельной в последовательность.

д) M точечное прямое дискретное преобразование Фурье для восстановления целостности данных.

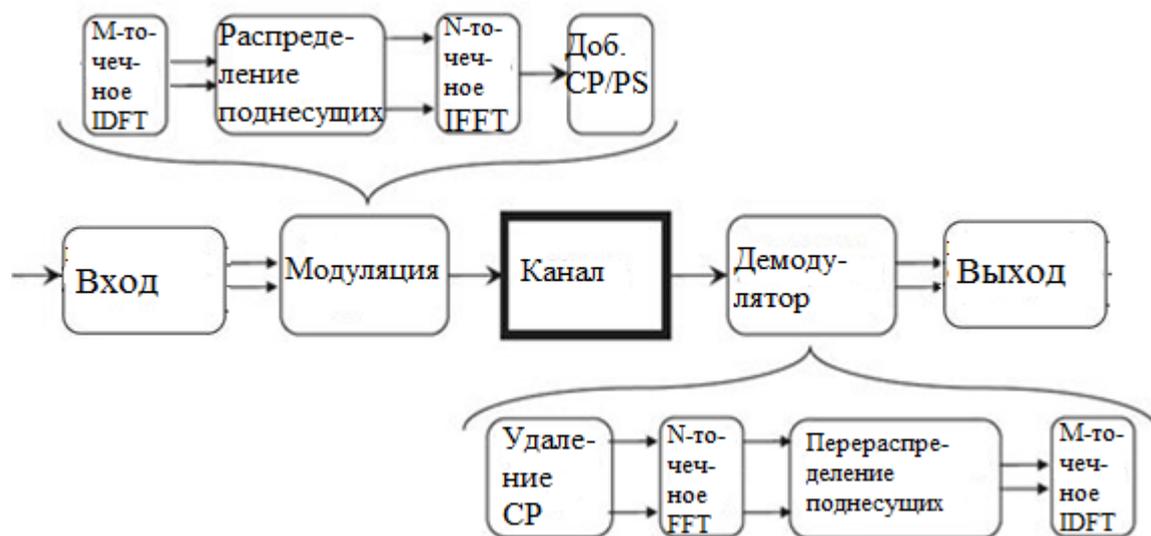


Рисунок 3.2 – Блок схема программы технологии OFDM

На рисунке 3.3 представлен результат эксперимента имитационного моделирования технологии OFDM с использованием модуляции 16-QAM.

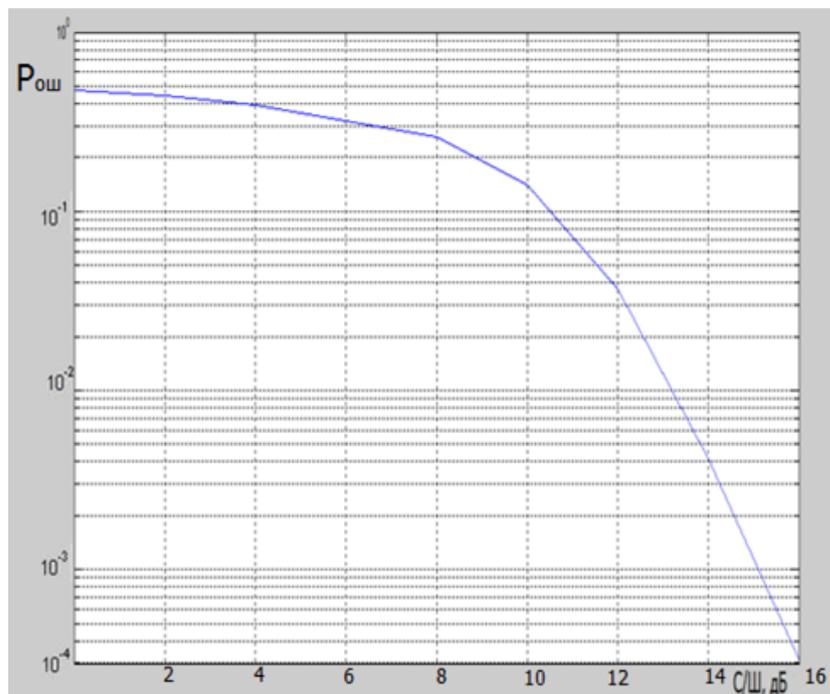


Рисунок 3.3 – Результат моделирования вероятности ошибки для OFDM

Из рисунка 3.3 видно, что характеристика нелинейна при $P_{ош}=0,0001$, соответствующая требованиям системы 4 поколения мобильной связи отношения сигнал шум не превышает 16 Дб. Таким образом, при повышении качества связи BER уменьшается.

Далее также представляло интерес провести аналогичное имитационное моделирование технологии OFDM с использованием QPSK-модуляции, и модуляции 64-QAM. В виду различий BER для каждого и вида модуляции на определенной границе соты проведем имитационное моделирование QPSK и 64-QAM на основе тех же статистических данных, что и для 16-QAM[11].

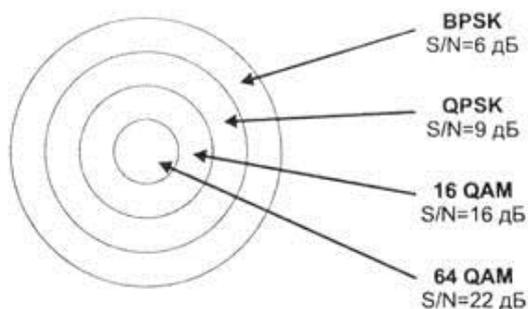


Рисунок 3.4 – Отношение сигнал шум на границах соты для различных видов модуляции

Далее проведем имитационное моделирование для OFDM с использованием QPSK модуляции на основе той же программы и тех же статистических данных. На рисунке 3 представлен результат имитационного моделирования для OFDM технологии с использованием QPSK модуляции.

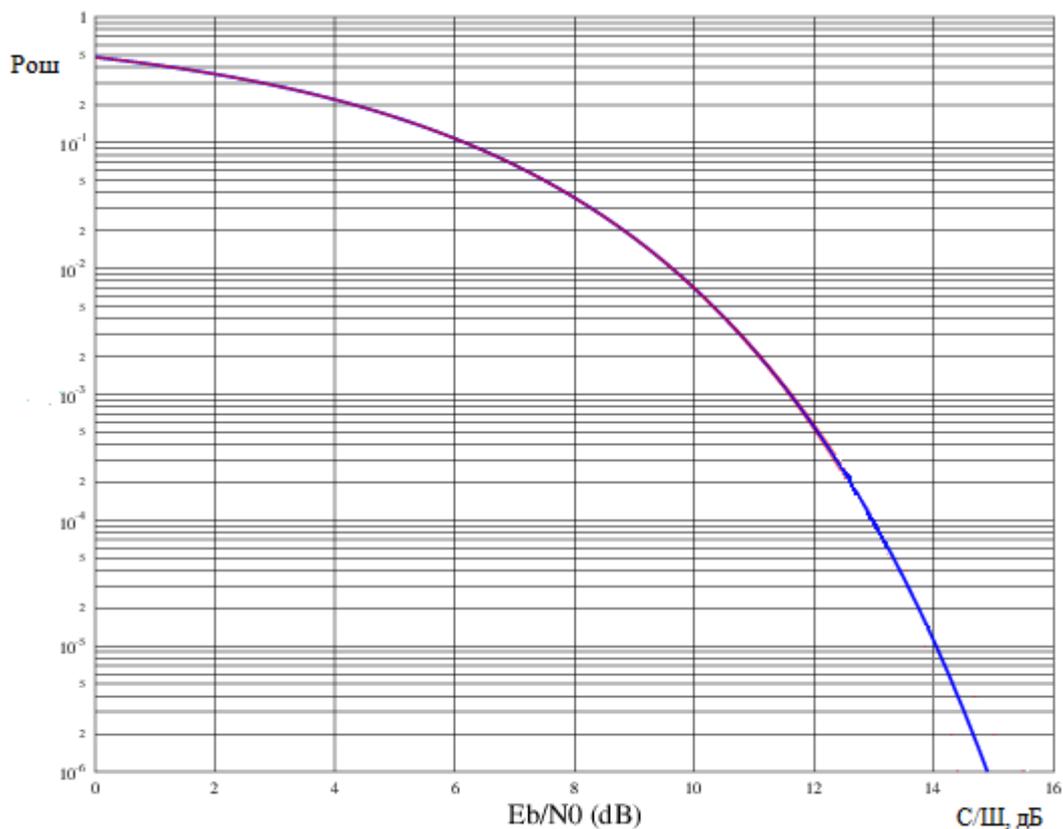


Рисунок 3.5 – Результат моделирования вероятности ошибки для OFDM QPSK модуляции

Из рисунка 3.5 видно, что характеристика нелинейна при $P_{ош}=0,0001$, отношения сигнал шум не превышает 15 Дб. После 2 проведенных имитационных моделирований получили очень похожие результаты по BER.

Далее проведем аналогичное имитационное моделирование для OFDM при использовании модуляции 64-QAM. В основе взяли ту же программу, что и при имитационном моделировании для 16-QAM и те же статистические данные.

На рисунке 3.6 представлен результат имитационного моделирования для OFDM технологии с использованием 64-QAM модуляции.

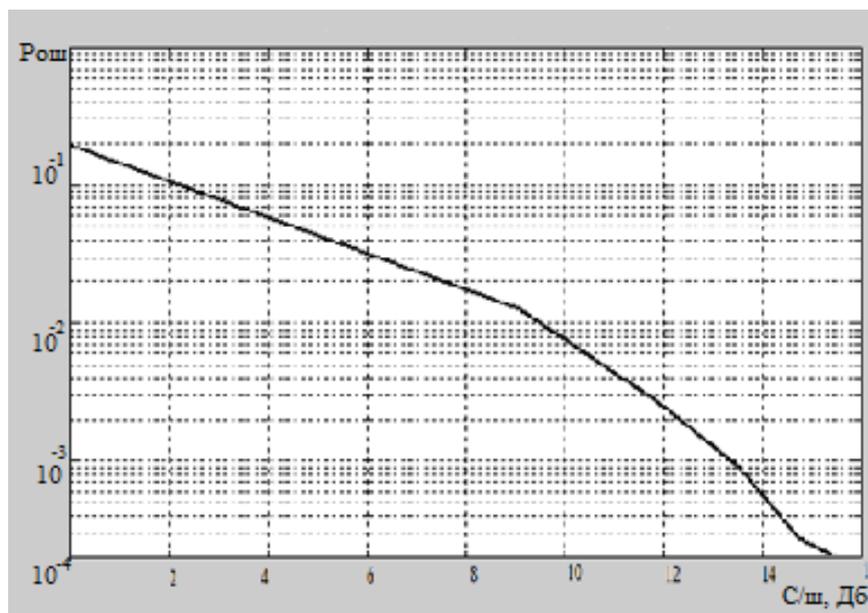


Рисунок 3.6 – Результат моделирования вероятности ошибки для OFDM 64 QAM

Из рисунка 3.6 видно, что характеристика нелинейна при $P_{ош}=0,0001$, соответствующая требованиям системы 4 поколения мобильной связи отношения сигнал шум не превышает 15 Дб.

3.2 Имитационное моделирование технологии OCDM

На рисунке представлен отрывок из программы имитационного моделирования технологии OCDM для систем 4-го поколения мобильной связи, а именно для стандарта LTE-A. В связи с тем, что OCDM не используется в проектировании современных систем 4G, предлагается взять в основу программы статистические данные, используемые для составления программы имитационного моделирования OFDM.

Полная версия программы имитационного моделирования технологии OFDM в среде Matlab указана в приложении Б .

```

%% BER PARAMETERS
EbNo=0:1:15;
BER = zeros(1,length(EbNo));
numPackets=15;
frmLen = 1000;
for idx = 1: length(EbNo)
for packetidx = 1 : numPackets


---


%% Convolution Encoder
conv_in=[];
for index =1:11
conv_in=[conv_in real(Data_IN(index,:))-48];
end
conv_in=[conv_in 0 0 0 0 0 0 0 0]; %%8 bits padding
DIN=conv_in;
trel = poly2trellis(7, [171 133]); % Define trellis.
code= convenc(conv_in,trel);
inter_out=code;
clear inter out;

```

Рисунок 3.7 - Отрывок программы в среде Matlab для OCDM .

На рисунке 3.8 представлена блок схема программы технологии OCDM в среде Matlab. [3] В программе была использована также модуляция 16-QAM.

Но в отличие от технологии OFDM каждый бит (группа битов) информационного потока заменяется одной из ортогональных кодовых последовательностей Уолша-Адамара. В результате один информационный бит оказывается представленным N кодовыми битами - так называемыми чипами. В технологии OCDM после преобразования бита в поток из N чипов происходит распараллеливание в N чиповых каналах. Каждый канал дополнительно кодируется посредством ортогональной циклической кодовой последовательности аналогично тому, как это происходит в технологии OFDM – только принцип разделения не частотный, а кодовый. Затем закодированные последовательности чипов мультиплексируются в один общий поток (в отличие от OFDM – методом простого суммирования).



Рисунок 3.8 – Блок схема программы технологии OCSDM

На рисунке 3.9 представлен результат эксперимента имитационного моделирования технологии OCSDM с использованием модуляции 16-QAM.

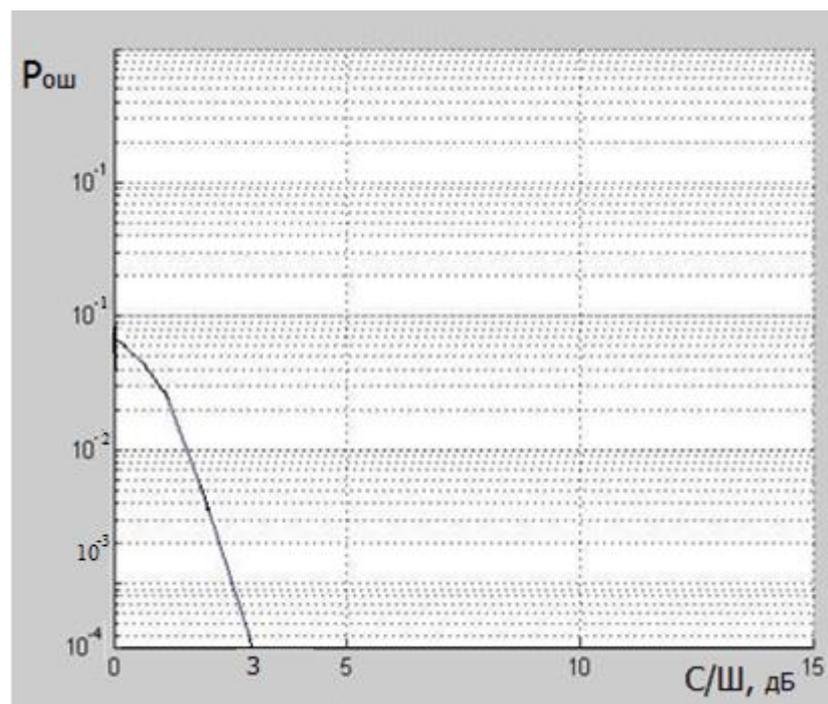


Рисунок 3.9 – Результат моделирования вероятности ошибки для OFDM

Таким образом, в результате имитационного моделирования для технологии OCSDM видно, что при $BER=10^{-4}$ отношение сигнал/шум 3 дБ. Это на 13 дБ меньше чем результат имитационного для технологии OFDM с использованием модуляции 16-QAM.

Далее также представляло интерес провести аналогичное имитационное моделирование технологии ОСДМ с использованием QPSK-модуляции, и модуляции 64-QAM.

В виду различий BER для каждого и вида модуляции на определенной границе соты проведем имитационное моделирование QPSK и 64-QAM на основе тех же статистических данных, что и для 16-QAM.

На рисунке 3.10 представлен результат эксперимента имитационного моделирования технологии ОСДМ с использованием модуляции QPSK.

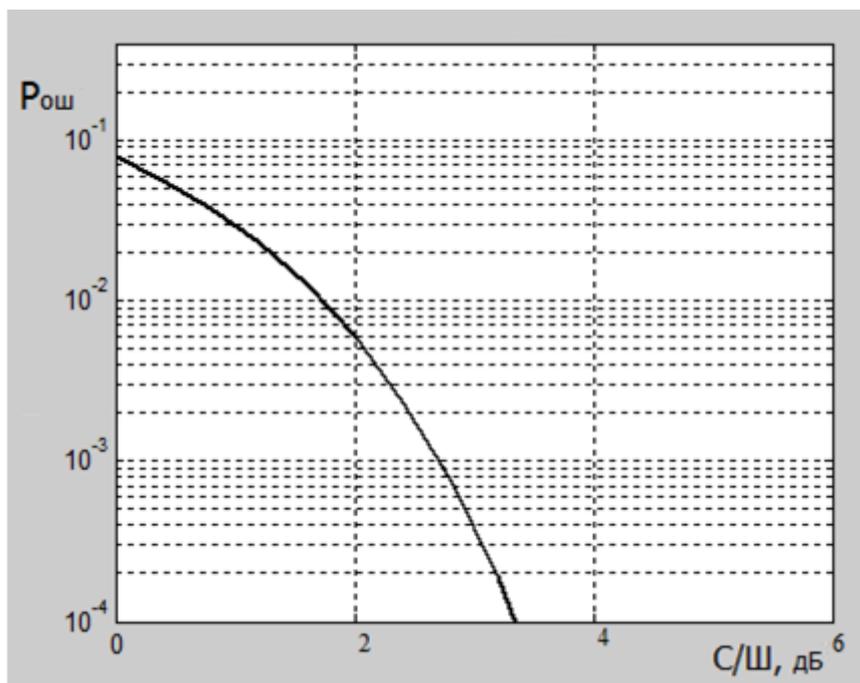


Рисунок 3.10 – Результат моделирования вероятности ошибки для OFDM QPSK

Из рисунка 3.10 видно, что характеристика нелинейна при $P_{ош}=0,0001$, соответствующая требованиям системы 4 поколения мобильной связи отношения сигнал шум не превышает 3,5 Дб.

Далее аналогичным образом проводим имитационное моделирование технологии ОСДМ с использованием модуляции 64-QAM. На рисунке 3.11 представлен результат эксперимента имитационного моделирования технологии ОСДМ с использованием модуляции 64-QAM.

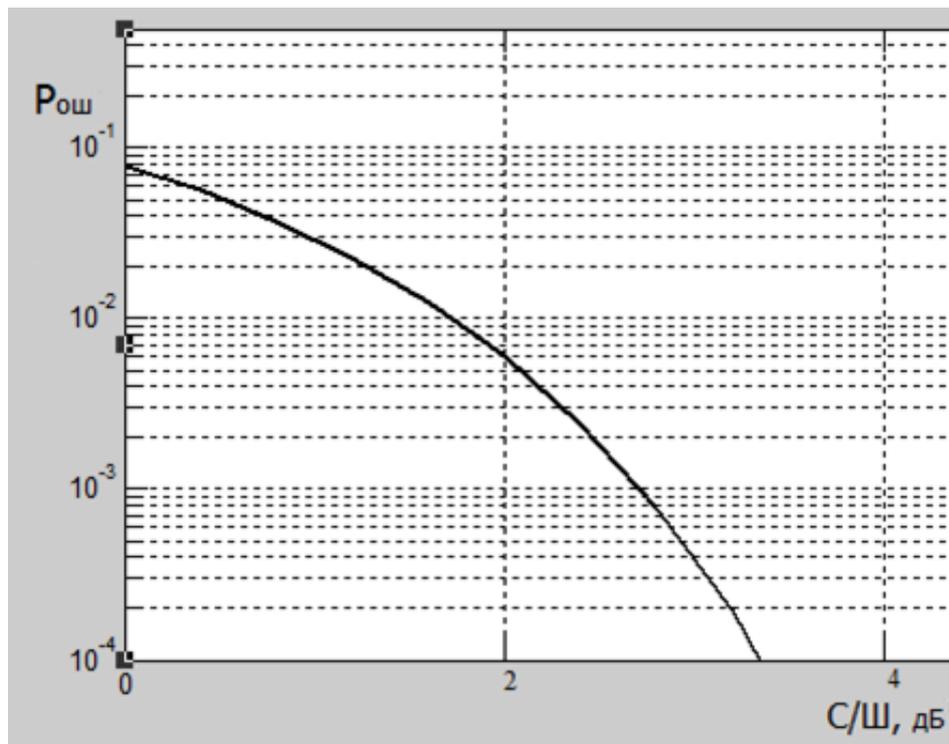


Рисунок 3.11 – Результат моделирования вероятности ошибки для OFDM 64-QAM

Из рисунка 3.11 видно, что характеристика нелинейна при $P_{ош}=0,0001$, соответствующая требованиям системы 4 поколения мобильной связи отношения сигнал шум не превышает 3,5 Дб.

Таблица 3.1- Анализ результатов имитационного моделирования

Модуляция	BER	
	OFDM	OSDM
16-QAM	16 дБ	3 дБ
QPSK	15 дБ	3,5 дБ
64-QAM	15 дБ	3,7 дБ

Заключение

Современный рынок телекоммуникаций и новое поколение абонентов нуждается в высокой скорости передачи и ШПД в интернет для реализации online-видеотрансляций, online-конференций, online-игр. Это повышает требования к качеству передачи сигнала на всей территории радио покрытия, требования к помехозащищенности канала связи, передачи. Прежние стандарты пользовались только голосовой передачей и CDMA-7000 начал предоставлять ШПД в интернет. Стандарт CDMA всегда был известен хорошей помехоустойчивостью. Поэтому в данной диссертации рассматривался лучший способ кодирования с помощью кодов Уолша-Адамара, используемые в CDMA, приводящие к повышению помехозащищенности канала.

В основу диссертационного исследования был положен модельный эксперимент с имитацией канала связи технологии OFDM и OCDM. OFDM традиционно используется в сетях LTE в нисходящем канале, т.к. наиболее устойчиво к многолучевому распространению в условиях крупного мегаполиса. Нам представляло интерес применить сигнально-кодовые конструкции с кодовым разделением каналов для нисходящего канала в системах 4-го поколения беспроводной связи.

Результаты имитационного моделирования канала связи с OFDM показали, что для требуемого качества передачи ($BER- 10^{-4}$), необходимо отношение сигнал шум 16 дБ. Изменение типа модуляции приводит к незначительным отклонениям от требуемого соотношения. Однако, использование OCDM для имитации канала приводит к значительному улучшению помехозащищенности системы при тех же требованиях стандарта LTE ($BER- 10^{-4}$). Применение ранее приведенных типов модуляции также приводит к незначительным отклонениям соотношения сигнал шум 3,5 дБ.

Таким образом, проведенные исследования показали что, для увеличения помехоустойчивости в сетях 4 поколения мобильной связи следует применить технологию OCDM. Данная технология позволит увеличить помехоустойчивость канала на 13 дБ при использовании кодовой последовательности Уолша-Адамара.

Данные полученные в имитационном моделировании OCDM требуют дальнейшей доработки в реальных условиях. В канале технология OCDM имеет отличную помехозащищенность. Но в условиях неравномерной городской постройки, загруженности абонентских линий уступает технологии OFDM в плане успешного приема сигнала.

Таким образом, OCDM для современных систем связи не подходит по критериям многофункциональности требований: пропускная способность, скорость передачи, мультисервисность.

Список литературы

- 1 Лебедев Ю. И. Системы широкополосного доступа 4 и 5-го поколений// ОАО «Концерн «Созвездие»,-2013,.
- 2 Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие / Гельгор А.Л., Попов Е.А. - СПб.:Изд-во Политехн. ун-а, 2011. -204 с.
- 3 Медведев П.А., Разработка методов обработки сигналов мобильных систем связи малого радиуса действий, 2012- 36 с.
- 4 Абдукадыров А.Х., Курс лекций для магистров 1-курса на тему «Мобильные системы связи 4-го поколения», Ташкентский университет информационных технологий, 2011
- 5 <http://www.osp.ru/telecom/2011/02/13007425/>
- 6 Есентураева Л.Б., Особенности технологии LTE и сравнительный анализ помехоустойчивости системы OFDM в каналах с использованием видов модуляции, КазНТУ им.Сатпаева, 2012 г
- 7 Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
8. Agilent technologies: Книга LTE И LTE-ADVANCED, 2013.
- 9 Скрынников В.Г., Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика., 2012 г.,
- 10 Андреевская Т.М., Чекунова Т.О., Применение технологии многочастотной модуляции типа OFDM в сверхширокополосных системах связи, 2012с.
- 11 [http://ru.scribd.com/doc/97568106/OFDM в двух пальцах](http://ru.scribd.com/doc/97568106/OFDM%20в%20двух%20пальцах)
- 12 <http://habrahabr.ru/post/129101/>.
- 13 Слюсар В. Системы MIMO. Принципы построения и обработка сигналов. Электроника: Наука, Технология, Бизнес 8/2005
- 14 Ликонцев Д.Н. Специальные вопросы курса распространение радиоволн. Ташкент - 2008
- 15 Бабков В.Ю. Общие подходы к задачам планирования и оптимизации 2G - 4G сетей подвижной связи. Санкт-Петербург 2 011 г.
- 16 Б. Б. Агатаева, Л. И. Сарженко. Мобильные телекоммуникации и цифровые системы передачи. Конспект лекций – Алматы: АУЭС, 2013. – 60 с.
- 17 <http://jwcn.eurasipjournals.com/content/2010/1/483758#sec3?16>
- 18 <http://conf.mirea.ru/CD2011/pdf/p3/13.pdf18>
- 19 <http://works.doklad.ru/view/DSpPvn2p9UQ>
- 19 Jim Zyren, Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer, Freescale Semiconductor, Inc. 2007.
- 20 Supriya D. Kubade, Dr.Mr. Santosh Chede ,Pravin R.Lakhe, Efficient OFCDM Techniques In 4G, International Conference on Industrial Automation and Computing (ICIAC-12-13th April 2014)
- 21 Вовк А.С., Горгадзе С.Ф., Сравнительный анализ эффективности каналов связи мобильных сетей с OFDM и CDMA сигналами, Московский технический университет связи и информатики, 2011

Приложение А

Программа технологии OFDM в Matlab

```
% OFDM Code
% No.of Carriers: 64
% coding used: Convolutional coding
% Single frame size: 96 bits
% Total no. of Frames: 100
% Modulation: 16-QAM
% No. of Pilots: 4
% Cyclic Extension: 25%(16)
close all
clear all
clc
%%
% Generating and coding data
t_data=randint(9600,1)';
x=1;
si=1; %for BER rows
%%
for d=1:100;
data=t_data(x:x+95);
x=x+96;
k=3;
n=6;
s1=size(data,2); % Size of input matrix
j=s1/k;
%%
% Convolutionally encoding data
constlen=7;
codegen = [171 133]; % Polynomial
trellis = poly2trellis(constlen, codegen);
codedata = convenc(data, trellis);
%%
% Interleaving coded data
s2=size(codedata,2);
j=s2/4;
matrix=reshape(codedata,j,4);
intlvddata = matintrlv(matrix',2,2)'; % Interleave.
intlvddata=intlvddata';
%%
% Binary to decimal conversion
dec=bi2de(intlvddata','left-msb');
%%
```

Продолжение приложения А

```
% 16-QAM Modulation
M=16;
y = qammod(dec,M);
% scatterplot(y);
%%
% Pilot insertion
lendata=length(y);
pilt=3+3j;
nofpits=4;
k=1;
for i=(1:13:52)

    pilt_data1(i)=pilt;
    for j=(i+1:i+12);
        pilt_data1(j)=y(k);
        k=k+1;
    end
end
pilt_data1=pilt_data1'; % size of pilt_data =52
pilt_data(1:52)=pilt_data1(1:52); % upsizing to 64
pilt_data(13:64)=pilt_data1(1:52); % upsizing to 64
for i=1:52
    pilt_data(i+6)=pilt_data1(i);
end
%%
% IFFT
ifft_sig=ifft(pilt_data',64);
%%
% Adding Cyclic Extension
cext_data=zeros(80,1);
cext_data(1:16)=ifft_sig(49:64);
for i=1:64
    cext_data(i+16)=ifft_sig(i);
end
%%
% Channel
% SNR
o=1;
for snr=0:2:50
ofdm_sig=awgn(cext_data,snr,'measured'); % Adding white Gaussian Noise
% figure;
% index=1:80;
```

Продолжение приложения А

```
% plot(index,cext_data,'b',index,ofdm_sig,'r'); %plot both signals
% legend('Original Signal to be Transmitted','Signal with AWGN');
%           RECEIVER
%%
% Removing Cyclic Extension
for i=1:64
    rxed_sig(i)=ofdm_sig(i+16);
end
% FFT
ff_sig=fft(rxed_sig,64);
%%
% Pilot
Synch%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:52
    synched_sig1(i)=ff_sig(i+6);
end
k=1;
for i=(1:13:52)
    for j=(i+1:i+12);
        synched_sig(k)=synched_sig1(j);
        k=k+1;
    end
end
% scatterplot(synched_sig)
%%
% Demodulation
dem_data= qamdemod(synched_sig,16);
%%
% Decimal to binary conversion
bin=de2bi(dem_data,'left-msb');
bin=bin';
%%
% De-Interleaving
deintlvddata = matdeintrlv(bin,2,2); % De-Interleave
deintlvddata=deintlvddata';

deintlvddata=deintlvddata(:)';
%%
% Decoding data
n=6;
k=3;
```

Продолжение приложения А

```
decodedata =vitdec(deintlvddata,trellis,5,'trunc','hard'); % decoding
datausing veterbi decoder
rxed_data=decodedata;
%%
% Calculating BER
rxed_data=rxed_data(:)';
errors=0;
c=xor(data,rxed_data);
errors=nnz(c);
% for i=1:length(data)
%   if rxed_data(i)~=data(i);
%     errors=errors+1;
%   end
% end
BER(si,o)=errors/length(data);
o=o+1;
end % SNR loop ends here
si=si+1;
end % main data loop
%%
% Time averaging for optimum results
for col=1:25;    %%%change if SNR loop Changed
    ber(1,col)=0;
    for row=1:100;
        ber(1,col)=ber(1,col)+BER(row,col);
    end
end
ber=ber./100;
%%
figure
i=0:2:48;
semilogy(i,ber);
title('BER vs SNR');
ylabel('BER');
xlabel('SNR (dB)');
grid on
```

Приложение Б

Программа технологии ОСДМ в Matlab

```
close all;
clear all;
clc;
n1=1;
n2=14;
FFT_SIZE=256;
%CP=16;
conv_in=[];
%% Data Generator
Data_gen = randint(1,11,255)
Data_IN=dec2bin(Data_gen);
s=0;
%% BER PARAMETERS
EbNo=0:1:15;
BER = zeros(1,length(EbNo));
numPackets=15;
frmLen = 1000;
for idx = 1: length(EbNo)
for packetidx = 1 : numPackets
%% Convolution Encoder
conv_in=[];
for index =1:11
conv_in=[conv_in double(Data_IN(index,:))-48];
end
conv_in=[conv_in 0 0 0 0 0 0 0 0]; %%8 bits padding
DIN=conv_in;
trell = poly2trellis(7, [171 133]); % Define trellis.
code = convenc(conv_in,trell);
inter_out=code;
%%
mapper_out=mapping(inter_out',1,1);
clear inter_out;
D=mapper_out;
%% CDMA TRANSMITTER
% encode bits and transmit
% CDMA specific parameters
C = [-1 1 -1 1 ]; % code for the user which will be multiplied %with data
stream of the user#1 i.e.mapper_out
M = length(C); % length (number of bits) of code
Y = size(mapper_out);
N = Y(1); % number of unique senders / bit streams
I = Y(2); % number of bits per stream
```

Продолжение приложения А

```
T = []; % sum of all transmitted and encoded data on channel
RECON = []; % vector of reconstructed bits at receiver
G = zeros(I,M);
for n = 1:N
Z = zeros(I,M);
for i = 1:I
for m = 1:M
Z(i,m) = [D(n,i)*C(n,m)];
end
end
G = G + Z; %G is the data to be transmitted after IFFT
end
ifft_in=zeros(256,4);
for i=1:4
ifft_in(:,i)=[0;G(1:96,i);zeros(32,1);zeros(31,1);G(97:192,i)];
end
for i=1:4
tx_data(:,i)=ifft(ifft_in(:,i));
end
clear ifft_in;
%% Passing the data through AWGN channel
rx_data=zeros(256,4);
rx_data1=zeros(192,4);
for i=1:4
rx_data(:,i)=awgn(tx_data(:,i)/sqrt(16),EbNo(idx),'measured');
end
for i=1:4
rx_data(:,i)=awgn(rx_data(:,i)/sqrt(16),EbNo(idx),'measured');
end
for i=1:4
rx_data(:,i)=awgn(rx_data(:,i)/sqrt(16),EbNo(idx),'measured');
end
%% OCDM RECEIVER PART:
%% Taking FFT of the noisy data after reception
clear tx_data;
for i=1:4
rx_data(:,i)=fft(rx_data(:,i));
end
for i=1:4
rx_data1(:,i)=[rx_data(2:97,i); rx_data(161:256,i)]; % taking out user#1
symbols for despreading
end
```

Продолжение приложения А

```
G=rx_data1;
%% CDMA RECEIVER
for n = 1:N
TOT = zeros(1,I);
R = zeros(I,M);
for i = 1:I
for m = 1:M
R(i,m) = G(i,m) * C (n,m);
TOT(i) = TOT(i) + R (i,m);
end
end
REON = [RECON ; TOT / M];
end
RECON
rx_data1=RECON;
Demap_out=demapper(rx_data1,1,1);
%% viterbi decoder
vit_out=vitdec(Demap_out,trel,7,'trunc','hard');
DOUT=vit_out
[number,ratio] = biterr(DIN,vit_out);
error(packetidx) = biterr(DIN,vit_out);
end % End of for loop for numPackets
BER21(idx) = sum(error)/(log2(4)*numPackets*frmLen);
end
h=gcf;clf(h); grid on; hold on;
set(gca,'yscale','log','xlim',[EbNo(1), EbNo(end)],'ylim',[0 1]);
xlabel('Eb/No (dB)'); ylabel('BER'); set(h,'NumberTitle','off');
set(h,'Name','BER Results');
set(h, 'renderer', 'zbuffer'); title('OFCDM BER PLOTS');
semilogy(EbNo(1:end),BER21(1:end),'b-*');
```