

На правах рукописи

Коржихин Евгений Олегович

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ФОРМИРОВАНИЯ И
КОРРЕКЦИИ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В
СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Специальность 05.12.04 - Радиотехника, в том числе
системы и устройства телевидения

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования Московском техническом университете связи и информатики (ФГОБУ ВПО МТУСИ) на кафедре Телевидения и звукового вещания им. С.И. Катаева.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Безруков Вадим Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Стыцько Виталий Петрович
(ФГУП «РТРС»), заместитель генерального директора)
кандидат технических наук
Смирнов Александр Витальевич
(ФГОБУ ВПО «Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики» (МГТУ МИРЭА), профессор)

Ведущее предприятие: ЗАО "Московский научно-исследовательский телевизионный институт (МНИТИ)"

Защита состоится 04 июня 2013 г. в 13-00 ч. на заседании диссертационного совета Д219.001.01 в Московском техническом университете связи и информатики (ФГОБУ ВПО МТУСИ) по адресу: 111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а, ауд. А-448.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского технического университета связи и информатики.

Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации.

Автореферат разослан «__» апреля 2013 г.

Учёный секретарь совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д219.001.01,

к.т.н., доцент _____ Иванюшкин Р.Ю.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основным преимуществом последнего варианта системы наземного цифрового телевизионного (ТВ) вещания DVB-T2 является высокая степень адаптивности к условиям функционирования. Данная система обеспечивает необходимые требования к качеству передачи сигналов, имеет высокую помехозащищённость. Однако и здесь в неполной мере решены вопросы в отношении искажений, обусловленных влиянием высокого пик-фактора, эффективной компенсации искажений видеоинформационного сигнала, повышенных требований к характеристикам как радиопередающего, так и радиоприёмного оборудования и т.д. В то же время стандарт DVB-T2 объявлен единственным для сетей цифрового эфирного ТВ вещания в России, и в настоящее время актуальным является вопрос об использовании ТВЧ контента во втором и третьем мультиплексах. В связи с этим актуальными направлениями работ по совершенствованию характеристик систем стандарта DVB-T2 является создание адаптивных алгоритмов формирования и коррекции сигналов данного стандарта, которые обеспечат уменьшение степени воздействия пик-фактора, снижение искажений сжатия и передачи соответствующих радиосигналов в условиях реального функционирования.

Следует отметить, что значительный вклад в разработку методов сжатия спектра ТВ сигналов и в совершенствование систем цифрового вещательного телевидения внесён российскими учёными: Катаевым С.И., Кривошеевым М.И., Зубаревым Ю.Б., Кукком К.И., Хромым Б.П., Стыцко В.П., и зарубежными специалистами: Г. Салливаном, Я. Ричардсоном, Дж. Вудсом, Р. Калманом и др.

Наиболее перспективным, в частности, для применения в системе DVB-T2, является стандарт сжатия H.264/AVC (MPEG-4 Часть 10). Это связано, в первую очередь, с более высокой степенью сжатия спектра ТВ сигнала при фиксированном качестве передаваемого изображения, а также с возможностью работать с различными платформами доставки контента (IP, мобильные устройства и т.д.). В то же время, основным недостатком современных вариантов сжатия является относительно высокая степень обогащения многомерного пространственно-временного спектра сигналов воспроизводимых изображений мешающими пространственно-временными компонентами. Последнее может существенно снижать качественные характеристики сигнала изображения при повышении степени сжатия спектра и усложнять видеоконтроль ТВ изображений. Поэтому актуальной является разработка эффективных, адаптивного типа, алгоритмов предсказания, с использованием сигналов вектора движения, текущих изменений пространственно-временной структуры изображений, обеспечивающих снижение уровня возникающих побочных составляющих спектра. Другим актуальным направлением является разработка алгоритмов, обеспечивающих подавление остаточных искажений сигнала изображения

при приёме. Решению указанных актуальных задач и посвящена представленная диссертационная работа.

Диссертационная работа в основном ориентирована на вещательное цифровое телевидение, хотя полученные в ней результаты могут быть использованы при решении задач в области прикладного телевидения, систем машинного зрения, при реализации алгоритмов сжатия и др.

Цель и задачи работы.

Целью диссертационной работы является разработка адаптивных методов, алгоритмов и устройств, позволяющих эффективно снижать уровень пространственно-временных и нелинейных искажений, возникающих в цифровых системах вещательного наземного и прикладного телевидения, с учётом специфики их функционирования при сжатии спектра, кодировании и формировании соответствующего радиосигнала. Для достижения поставленной цели в работе решены следующие научно-практические задачи:

1. Проведён анализ специфики возникновения высокоградиентных изменений амплитуды сигнала OFDM и других характеристик процесса формирования радиосигнала в системе цифрового телевидения стандарта DVB-T2.
2. Проведён анализ используемых алгоритмов предсказания составляющих сигнала изображения при межкадровом сжатии цифрового телевизионного сигнала по стандарту H.264/ MPEG-4.
3. Разработан адаптивный метод восстановления структуры информационных символов в системе цифрового ТВ вещания по стандарту DVB-T2.
4. Разработан метод, обеспечивающий уменьшение уровня пик-фактора сигнала OFDM в системах цифрового телевидения.
5. Разработан адаптивный алгоритм эффективной оценки сигнала вектора движения в стандарте H.264/ MPEG-4.
6. Создано программное обеспечение и приведены полученные в работе результаты моделирования разработанного метода уменьшения пик-фактора в системах цифрового телевидения.
7. Создано необходимое программное обеспечение, осуществлено моделирование разработанного алгоритма адаптивного поиска вектора движения для стандарта H.264/ MPEG-4, получены результаты моделирования, разработано устройство для эффективной оценки сигнала вектора движения.

Методы исследования. При решении поставленных задач в работе использованы современные методы анализа из теории радиотехники, элементы теории функций и функционального анализа, формирования ТВ сигналов, теории численного интегрирования и дифференцирования, линейной алгебры и геометрии, методы спектрального анализа Фурье, численного анализа, программирования и др.

Объектом исследования является система наземного цифрового вещательного телевидения стандарта DVB-T2.

Предмет исследования: теоретические и практические задачи повышения энергетических характеристик функционирования системы DVB-T2 и увеличения эффективности сжатия видеосигнала за счёт применения алгоритмов адаптивной коррекции и обработки соответствующих сигналов.

Научная новизна настоящей работы заключается в следующем:

1. Осуществлён анализ специфики искажений формирования сигналов телевизионных изображений в системах цифрового вещательного телевидения, обусловленных сжатием спектра ТВ сигнала, проведён анализ искажений, обусловленных действием пик-фактора в системе цифрового ТВ вещания стандарта DVB-T2.

2. Предложен новый вариант распределения элементов структуры символов сигнала OFDM, обеспечивающий осуществление адаптивной коррекции и восстановления структуры информационных символов в системах наземного цифрового ТВ вещания по стандарту DVB-T2.

3. Конкретизирован алгоритм восстановления структуры информационных символов в системах наземного цифрового ТВ вещания по стандарту DVB-T2.

4. Разработан селективный метод, обеспечивающий снижение действия пик-фактора в системах цифрового телевидения стандарта DVB-T2.

5. Разработан адаптивный алгоритм оценки сигнала вектора движения для стандарта H.264.

Практическая ценность:

1. Результаты экспериментальных исследований вариантов введения сигналов стандарта DVB-T/T2 в групповой сигнал сетей кабельного телевидения могут быть использованы при построении современных сетей цифрового кабельного телевидения.

2. Разработано устройство адаптивного уменьшения пик-фактора в системе цифрового телевидения стандарта DVB-T2.

3. Разработано устройство повышения эффективности алгоритма поиска вектора движения для стандарта H.264.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы при выполнении НИР «Разработка методов обработки, преобразования и реставрации сигналов изображений для цифровых систем телевидения высокой чёткости» в лаборатории «Цифрового телевидения и видеoinформатики» МТУСИ (шифр НИР «Пиксель» (2010-2011 гг.), при выполнении работ по гранту РФФИ №10-07-00641-а «Разработка адаптивных систем цифрового телевидения с распределением и компенсационным преобразованием информационных цифровых сигналов», при проведении учебного процесса на кафедре телевидения им. С.И. Катаева МТУСИ, при реализации систем видеоконтроля объектов ЗАО «Спецвидеопроект» и при совместных работах по внедрению нового метода снижения пик-фактора в оборотование ООО «ЦТВ СИГМА».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа основных принципов и методов сжатия цифрового ТВ сигнала и разработанный с учётом указанных результатов метод адаптивной оценки сигнала вектора движения позволяет увеличить эффективность сжатия видеосигнала.

2. Разработанный метод адаптивной коррекции и восстановления структуры информационных символов в системах цифрового ТВ вещания по стандарту DVB-T2 обеспечивает увеличение качественных характеристик приёмного оборудования.

3. Разработанный метод и экспериментальные результаты работы алгоритма выделения и снижения действия пик-фактора в системе цифрового телевидения стандарта DVB-T2 позволяют повысить энергетические характеристики и снизить искажения при функционировании всей системы.

4. Разработанное устройство адаптивного уменьшения пик-фактора в системах цифрового телевидения стандарта DVB-T2 целесообразно использовать при разработке передающего оборудования для сетей цифрового наземного вещательного телевидения.

5. Разработанное устройство повышения эффективности алгоритма оценки сигнала вектора движения может найти практическое применение при разработке кодирующих устройств стандарта H.264/AVC.

Достоверность и обоснованность научных результатов работы подтверждается адекватностью применяемых при исследовании математических методов, соответствием выдвинутым положениям и результатам моделирования, апробацией созданного программного обеспечения. Достоверность экспериментальных результатов обеспечена большим объёмом экспериментального материала, использованием современных средств компьютерного моделирования, статистическими методами обработки данных.

Работа соответствует паспорту специальности: 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» в областях: «4. Разработка и исследование методов и алгоритмов обработки радиосигналов в радиосистемах телевидения и связи при наличии помех. Разработка методов разрушения и защиты информации» и «5. Исследование и разработка новых телевизионных систем и устройств с целью повышения качества изображения и помехоустойчивости работы».

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, МТУСИ, 2007-2012 г.г., международной научно-технической школе-конференции «Молодые учёные – науке, технологиям и профессиональному образованию», 2008 г., международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения», 9-й международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах

передачи информации», 2011 г., 20-й международной научно-технической конференции «Современное телевидение и радиоэлектроника», 2012 г., отраслевой научной конференции «Технологии информационного общества», 2013 г.

Личный вклад заключается в непосредственном участии во всех этапах исследования, таких как математическое моделирование работы системы DVB-T2 с использованием предложенных алгоритмов коррекции и восстановления информационных символов и алгоритма снижения действия пик-фактора. Кроме того, создано программное обеспечение и осуществлено моделирование работы алгоритма адаптивного поиска вектора движения для стандарта H.264. Все основные положения, теоретические выводы и рекомендации, представленные в материалах данной диссертационной работы, получены автором самостоятельно.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 10 научных работ, в том числе 3 работы – в журналах, соответствующих перечню ВАК.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 210 страницах машинописного текста. Список литературы включает 115 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы настоящей диссертационной работы, показано состояние исследуемых вопросов, определены цель, задачи и методы исследований. Сформулированы научная новизна, практическая значимость результатов работы и положения, выносимые на защиту. Представлены состав и краткое описание работы, приведены сведения об апробации работы и публикациях автора.

В первой главе «Стандарт цифрового телевизионного вещания DVB-T2» осуществлён анализ особенностей функционирования системы наземного цифрового вещания стандарта DVB-T2. Рассмотрены особенности формирования сигнала посредством многочастотной модуляции OFDM, конкретизированы варианты распределения пилот-сигналов и уточнена кадровая структура этой системы. Выявлены основные недостатки и проблемы, возникающие при функционировании подобных систем, конкретизированы основные направления устранения последних.

В стандарте DVB-T2 изменена методика канального кодирования, что обеспечивает лучшую помехоустойчивость, в сравнении с предыдущей версией стандарта, в многолучевых каналах, характерных для городской застройки. В стандарте определены 8 новых режимов распределения пилот-сигналов для различных комбинаций длительности защитного интервала и видов первичной модуляции поднесущих, что позволило адаптивно пере-

страивать режимы вещания под специфику канала связи и гибко решать проблемы частотного планирования сети. В части борьбы с пик-фактором используются 2 новые методики – расширение активного созвездия и резервирование пилот-тона, позволяющие снизить пик-фактор без увеличения ошибок и внеполосного излучения.

Характерными проблемами для модуляции OFDM являются высокий пик-фактор, эффект Доплера, возникающий при мобильном приёме и увеличивающий своё влияние с ростом числа поднесущих в сигнале, повышенные требования к линейности АЧХ и ФЧХ передающего тракта и к стабильности частот на передающей и приёмной стороне.

При разработке методов и алгоритмов, направленных на улучшение качества передачи и приёма сигналов системы DVB-T2, следует прецизионно, с учётом условий радиодоступа, учитывать специфику кадровой структуры сигнала OFDM (символы, кадры, супер-кадры). Обоснованный выбор её вариантов обеспечивает гибкую систему адаптации к различным условиям распространения и совместимость с другими вещательными системами стандарта DVB.

Во второй главе «Международный стандарт кодирования с информационным сжатием MPEG-4/H.264» проанализированы особенности преобразования и кодирования видеoinформационных сигналов при сжатии спектра ТВ изображений, выделены особенности межкадрового кодирования с предсказанием и компенсацией движения, детально рассмотрено формирование сигнала вектора движения.

В стандарте видеокodирования H.264/AVC деление кадра на слишком маленькие блоки при поиске вектора движения приводит к тому, что алгоритм сжатия становится очень восприимчивым к шуму. Поэтому при выборе размера блока обычно достигается компромисс между максимальным качеством поиска совпадения между блоками и минимальным числом векторов движения.

Поиск соответствия блоков, при котором перебираются все блоки из зоны поиска, называется полным перебором (FS). Если число p (количество элементов изображения) – максимально допустимое смещение при поиске, то максимально возможное количество точек поиска вычисляется как $(2p+1)^2$. Чем больше зона поиска, тем больше вероятность найти совпадающие блоки, но при увеличении зоны поиска квадратично увеличивается число перебираемых блоков. По качеству предсказанного изображения полный перебор даёт наилучший результат, однако имеет большую вычислительную сложность. Разработаны субоптимальные алгоритмы оценки движения, основывающиеся на компромиссе между сложностью вычислений и качеством сжатия. Наиболее известными субоптимальными алгоритмами оценки движения являются: логарифмический, трёхшаговый, четырёхшаговый, ортогональный, спиральный, иерархический и другие. Суть этих алгоритмов состоит в уменьшении количества точек поиска.

Современные алгоритмы оценки движения являются адаптивными. Начало поиска связано с вычислением прогноза определяемого вектора движения, который основывается на оценках, полученных на предшествующих этапах. При этом используется свойство высокой степени корреляции векторов движения между соседними макроблоками. В дополнение к этому используются эффективные шаблоны поиска. Динамическое, адаптивного типа, изменение размеров зоны поиска позволяет при этом значительно ускорить процесс оценки движения.

Поиск совпадающих блоков 4x4 при четвертьпиксельной интерполяции более сложен, чем поиск блоков 16x16 без интерполяции. С уменьшением размеров смежных блоков возрастает число бит, которое требуется для представления полу- и четвертьпиксельных векторов, поскольку дробная часть вектора, т.е. 0,25 или 0,5, должна кодироваться также, как и целая часть. Более точная компенсация движения требует большего количества бит для кодирования векторного поля, но меньшего количества бит для кодирования остатка и наоборот. Эффективность субпиксельной интерполяции может быть увеличена за счёт использования интерполяционных фильтров адаптивного типа. Выбор размера блока следует осуществлять в данном случае с учётом специфики пространственно-временной структуры изображения и, соответственно, адаптивно изменять соотношение сторон используемых блоков.

Анализ сложности стандарта H.264/AVC показал, что наибольшими по вычислительной сложности в кодере являются операции оценки движения и интерполяции, в декодере – процедуры интерполяции и деблокинга.

В третьей главе «Разработка методов коррекции искажений сигналов в системе цифрового телевидения стандарта DVB-T2» представлены результаты исследований возможности передачи сигнала стандарта DVB-T/Т2 по сетям кабельного телевидения (СКТВ), предложен вариант введения данного сигнала в групповой сигнал головной станции экспериментальной сети аналогового телевидения. Выявлены проблемы, возникающие при введении цифрового сигнала в аналоговую сетку частот СКТВ.

Были предложены и исследованы пять различных вариантов внедрения сигнала DVB-T/Т2 в сеть кабельного телевидения:

- 1) Прямая ретрансляция DVB-T/Т2 (прямое усиление или конвертирование).
 - 2) Декодирование DVB-T/Т2 на головной станции и ретрансляция программ в СКТ в открытом аналоговом виде.
 - 3) Трансмодуляция COFDM/QAM, при этой схеме кабельный оператор использует программы DVB-T/Т2 для формирования собственного цифрового пакета.
 - 4) Прямой ввод сигнала DVB-T/Т2 без конвертирования.
 - 5) Конвертирование сигнала DVB-T/Т2 в нужный частотный диапазон.
- Перечисленные варианты были испытаны на экспериментальной сети

кабельного телевидения МТУСИ. По полученным при этом результатам был сделан вывод о том, что вариант с конвертированием сигнала DVB-T/T2 в сетку частот кабельной сети не даёт возможности осуществить декодирование сигнала DVB-T/T2 ввиду чрезмерно высокого возрастания искажений. Недопустимое возрастание уровня BER возникает из-за нелинейности преобразователей частоты в канальных конверторах головных станций. Показана эффективность введения сигнала DVB-T/T2 в существующую сеть без её полной модернизации путём фильтрации, прямого усиления и частотной селекции радиосигнала после усиления.

В работе предложен метод распределения опорных несущих в пространстве частота – время, обеспечивающий возможности локальных увеличений их плотности до того момента, пока степень изменения частотных характеристик во времени не превысит заданный порог. Восстановление информационных символов осуществляется по накопленным пилот-сигналам, причём высокая точность достигается за счёт выявления направлений отсутствия значительных изменений амплитуды и наличия относительно высокой частоты следования опорных несущих в координатах частота – время. Восстановление уровня информационных символов осуществляется с применением следующих рекомендаций: частотная интерполяция применяется при значительных изменениях уровня АЧХ, и, соответственно, опорных несущих по частоте и во времени. При менее значительных изменениях характеристик канала совместно интерполируется и амплитудно-частотная, и амплитудно-временная характеристика (АВХ), отображающая зависимость коэффициента передачи канала связи от времени на фиксированной частоте. Далее, с использованием весовой комбинации полученных по указанным направлениям результатов, восстанавливаются информационные символы. Соответственно, при уменьшении изменений уровня пилот-сигналов по временному направлению больший вес в восстановление информационных символов будет вносить временная интерполяция (АВХ), и меньший – частотная интерполяция (АЧХ), и наоборот.

Предложено осуществлять сдвиг от символа к символу положения пилот-сигналов на фиксированное расстояние. Затем, в приёмнике с фиксированной по положению антенной, при приёме данных двух смежных кадров OFDM реализуется наложение двух сеток распределения пилот-сигналов и выполняется алгоритм двумерной интерполяции в частотной и временной области. Пояснение работы данного алгоритма представлено на Рисунке 1 (а) и (б).

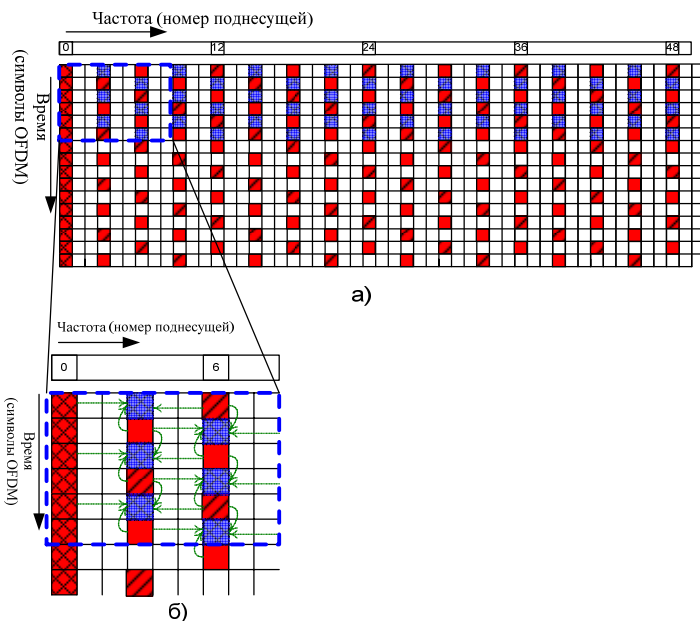


Рисунок 1. Иллюстрация алгоритма интерполяции принятых пилот-символов: а) при обработке двух смежных символов, б) механизм двумерной интерполяции (показан стрелками)

Для интерполяции АЧХ и АВХ предложено пользоваться интерполяционной формулой Ньютона, которая удовлетворяет условию неравномерного расположения узлов интерполяции. В общем виде интерполяционная формула для интерполяции первого порядка с учётом расположения пилот-сигналов, согласно Рисунку 1, имеет вид (1). Здесь x_a и x_b – опорные узлы интерполяции, y_a и y_b – представляющие собой непрерывные пилот-сигналы, k – номер текущей поднесущей, которая интерполируется, l – номер символа OFDM, D_X – параметр определения опорных несущих, а D_Y – количество символов для определения последовательности пилот-сигналов.

$$P_n(x) = y_a + \frac{x-x_a}{D_X D_Y} (y_b - y_a), \quad \text{где} \quad (1)$$

$$a = k - [k + D_X(D_Y - l)] \bmod (D_X D_Y) + D_X(l \bmod D_Y - l),$$

$$b = k - [k + D_X(D_Y - l)] \bmod (D_X D_Y) + D_X(l \bmod D_Y + D_Y - l),$$

При этом шаг интерполяции равен $q = \frac{x-x_a}{D_X \cdot D_Y}$, и выполняются условия

$$a = \begin{cases} K_{\min}, & \text{если } a < 0 \\ a, & \text{если } K_{\min} \leq a \leq K_{\max} \\ K_{\max}, & \text{если } a > K_{\max} \end{cases}, \quad b = \begin{cases} K_{\min}, & \text{если } b < 0 \\ b, & \text{если } K_{\min} \leq b \leq K_{\max} \\ K_{\max}, & \text{если } b > K_{\max} \end{cases}.$$

Отметим, что при условии $k > K_{\max} - D_X D_Y$ будет применяться интерпо-

ляция «назад».

Рассмотрим специфику предложенного выше адаптивного алгоритма восстановления отсутствующих отсчётов сквозной АЧХ канала при типовом распределении пилот-сигналов, показанном на Рисунке 2.

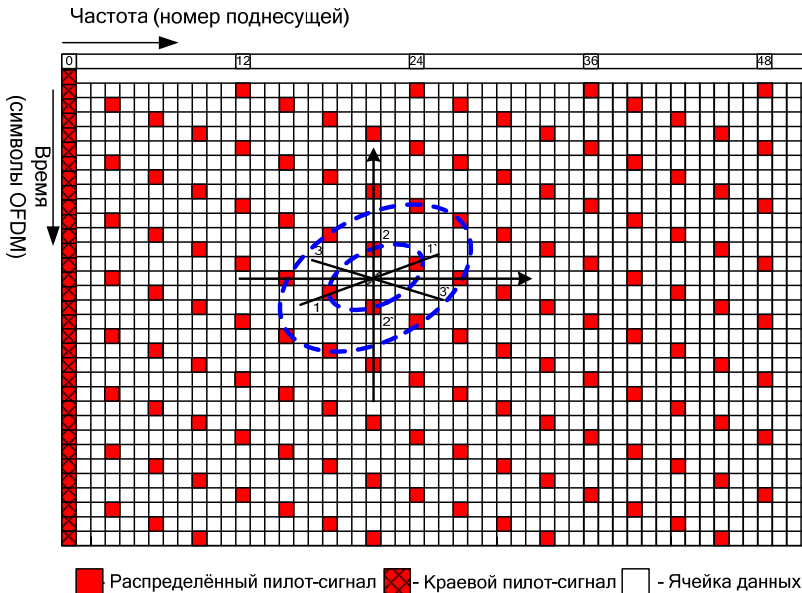


Рисунок 2. Иллюстрация алгоритма интерполяции АЧХ радиоканала

Здесь можно сразу же выделить вертикальное и два квазиортогональных направления диагональной локализации пилот-сигналов в последовательности смежных символов. Первый вариант (диагональное направление 3-3' с небольшим отрицательным углом по отношению к оси времени) отражается последовательностью дискретных отсчётов (пилот-сигналов) с большим разрешением изменения по оси времени. Второй вариант, (направление 1-1' с большим положительным углом), с эквивалентным разрешением отражается последовательностью дискретных отсчётов изменения по оси частот, но с существенно меньшим разрешением отражает изменения уровня отсчётов по оси времени. Третий вариант (2-2') отражает изменения под промежуточным углом (по отношению к оси времени). Определение направления максимального градиента уровня каждого отсчёта чаще всего эквивалентно идентификации ортогонального направления минимальных изменений и конкретизировать направление относительно точно восстановления по отношению к позициям смежного отсчёта. Целесообразно при этом использовать коэффициенты, отражающие степень корреляции уровней смежных, по отношению к текущему опорному, отсчётов в пределах данного направления пространства частота – время. При оценке

коэффициентов следует учитывать и влияние параметров структуры распределения пилот-сигналов, так как значение разницы уровней смежных пилот-сигналов зависит от эффективного расстояния между ними. Если оценка коэффициента корреляции показывает одинаково высокую или близкую точность предсказания по двум и более направлениям, то осуществляются параллельные независимые предсказания одного и того же отсутствующего отсчёта по всем этим направлениям с весовым суммированием параллельно полученных результатов. Общая сумма коэффициентов весового суммирования устанавливается равной единице. При этом предсказание уровня дополнительных отсчётов по направлениям их следования в пространстве частота – время целесообразно осуществлять с использованием импульсных характеристик (ИХ) одномерного фильтра предсказания с условными расстояниями между чётным числом соответствующих отсчётов, отражающими специфику изменений формы указанных характеристик по данному конкретному направлению.

$$g_{n1}(v \pm kV_0) = \mu_{14} \cdot \delta(v + 7 \cdot \frac{V_{01}}{2}) + \mu_{13} \cdot \delta(v + 5 \cdot \frac{V_{01}}{2}) + \mu_{12} \cdot \delta(v + 3 \cdot \frac{V_{01}}{2}) + 0 + \mu_{11} \cdot \delta(v + \frac{V_{01}}{2}) + 0 + \mu_{11} \cdot \delta(v - \frac{V_{01}}{2}) + 0 + \mu_{12} \cdot \delta(t - 3 \cdot \frac{V_{01}}{2}) + \mu_{13} \cdot \delta(t - 5 \cdot \frac{V_{01}}{2}) + \mu_{14} \cdot \delta(v - 7 \cdot \frac{V_{01}}{2}) \quad (2)$$

Если условно принять, что элемент символа в пространстве частота – время является квадратным (площадь $P = W_0 \times T_0$), то для, например, первого (1-1') направления предсказания, согласно Рисунку 2, получим расстояние (V_{01}) между смежными отсчётами как $V_{01} = \sqrt{(\alpha \cdot W_0)^2 + (\beta \cdot T_0)^2}$ и, соответственно, размер элемента по первому направлению как $V_{01}/3$. С учётом соотношения (2), определим в спектральном пространстве коэффициент передачи интерполяционного фильтра по первому направлению:

$$K_{n1}(f_v) = 2\mu_{11} \cos\left(2\pi f_v \cdot \frac{V_{01}}{2}\right) + 2\mu_{12} \cos\left(2\pi f_v \cdot \frac{3V_{01}}{2}\right) + 2\mu_{13} \cos\left(2\pi f_v \cdot \frac{5V_{01}}{2}\right) + 2\mu_{14} \cos\left(2\pi f_v \cdot \frac{7V_{01}}{2}\right) \quad (3)$$

Согласно последнему соотношению, $K_{n1}(0) = 2\mu_{11} + 2\mu_{12} + 2\mu_{13} + 2\mu_{14}$. Значение $K_{n1}(0)$ позволяет нормировать результат вычисления отсутствующих отсчётов с использованием свёртки исходной последовательности совмещённых в пространстве частота-время восьми отсчётов по первому направлению с ИХ (2). С использованием подобной же ИХ целесообразно вычислять отсутствующий отсчёт по второму и вертикальному направлениям. Однако можно заметить, что для совмещения необходимых отсчётов по отдельным направлениям, согласно варианту распределения Рисунка 2, требуется существенно меньшая задержка во времени, чем для других на-

правлений. В связи с этим, в последних случаях может быть использована упрощённая ИХ и соответствующий коэффициент передачи:

$$g_{n2}(v \pm kV_0) = \mu_{22} \cdot \delta(v + 3 \cdot \frac{V_{02}}{2}) + 0 + \mu_{21} \cdot \delta(v + \frac{V_{02}}{2}) + 0 + \quad (4)$$

$$\mu_{21} \cdot \delta(v - \frac{V_{02}}{2}) + 0 + \mu_{22} \cdot \delta(v - 3 \cdot \frac{V_{02}}{2})$$

$$K_{n2}(f_v) = 2\mu_{21} \cos\left(2\pi f_v \cdot \frac{V_{02}}{2}\right) + 2\mu_{22} \cos\left(2\pi f_v \cdot \frac{3V_{02}}{2}\right)$$

При этом для второго (2-2') направления предсказания, согласно Рисунку 2, получим расстояние (V_{02}) между смежными отсчётами как $V_{02} = \sqrt{(\gamma \cdot W_0)^2 + (\eta \cdot T_0)^2}$ и, соответственно, размер элемента по данному направлению как $\frac{V_{02}}{3}$. Выбор коэффициентов μ_{ij} в соотношениях (2-4) определяется необходимой формой АЧХ низкочастотного фильтра, с использованием которого реализуется предсказание значения уровня отсутствующих пилот-сигналов.

Таким образом, эффективное восстановление отсутствующих отсчётов АЧХ тракта передачи может быть реализовано с использованием следующего алгоритма:

- реализуют оценку значений коэффициентов корреляции опорного и смежных по различным направлениям в пространстве частота-время реальных отсчётов в локальной области;
- устанавливают, согласно проведённой по п.п.1 оценке коэффициентов корреляции, направление наибольшей и наименьшей точности предсказания;
- в случае наличия относительно высокой степени декорреляции по всем направлениям, осуществляют предсказание в направлении, ортогональном максимальной степени декорреляции;
- предсказывают уровни необходимых отсчётов по установленному направлению наиболее точного предсказания;
- определяют в данной локальной области для эквивалентных изменений частоты влияющие изменения интервала времени на уровень реальных отсчётов и наоборот;
- осуществляют, с учётом результатов по п.п.1 и п.п.4, независимые интерполяционные предсказания по направлениям, не ортогональным направлению наиболее точного предсказания;
- с учётом параметров структуры распределения пилот-сигналов по направлениям, осуществляют параллельные независимые предсказания отсутствующих отсчётов с получением общего конечного результата на основе весового суммирования результатов предсказаний по независимым направлениям, величины весовых коэффициентов которого устанавливают с учётом степени корреляции смежных отсчётов и параметров структуры распределения по каждому из направлений;

- с использованием предсказанных по независимым в пространстве частота – время отсчётов интерполируют и другие отсчёты по каждому из направлений;

- в случае высокой степени корреляции по всем направлениям осуществляют предварительные неоднократные независимые предсказания по 1, 2 и 3 направлениям с последующей параллельной интерполяцией всех оставшихся не восстановленными пилот-сигналов, реализуемые на основе результатов оценки степени корреляции и использования весового суммирования.

В работе (Глава 3) разработан также алгоритм, позволяющий уменьшить пик-фактор сигнала стандарта DVB-T2. Проведено математическое моделирование алгоритма обработки, доказывающее соответствие теоретических и практических результатов. При этом достигается снижение действия пик-фактора и степени искажений характеристик обработанного сигнала по сравнению с таким же сигналом, не подвергающимся обработке.

На Рисунке 3 представлена структурная схема устройства, реализующего снижение действия пик-фактора. Необходимый результат в данном случае достигается последовательным использованием частотной и временной обработки. Суть метода заключается в том, чтобы декомпозировать сигнал на длительности символа OFDM на N временных и частотных составляющих, образующих матрицу размера $N \times N$. Затем в каждом элементе этой матрицы осуществляется поиск максимального значения пик-фактора. В той ячейке, в которой он наибольший, осуществляется уменьшение уровня сигнала посредством регулировки усиления в блоках БРУ и БРУВ. Общая схема устройства представлена на Рисунке 3 сверху, а детализация блоков частотной (БЧК) и временной (БВК) коррекции представлены под ним слева и справа. Особенность временной обработки заключается в том, что сигнал делится на N временных выборок в блоке БВВ, затем осуществляется поиск, локализация и уменьшение пик-фактора на временных отрезках, а перед восстановлением сигнала во времени (в блоке БВСВ) осуществляется выравнивание сигнала по времени с помощью блоков линии задержки на τ , равную $1/N$ длительности символа OFDM путём введения различных задержек (БЛЗ), учитывающих время прохождения и появления сигнала на выходе устройства. В блоке временной оценки пик-фактора вырабатывается служебный сигнал для блока формирования сигнала временной коррекции (БФСВК), который в свою очередь производит сигнал коррекции для блока регулировки усиления (БРУВ). Затем скорректированные сигналы в блоке восстановления сигнала по времени (БВСВ) восстанавливаются в символ OFDM. Оптимальным, с точки зрения вычислительной сложности и полученного выигрыша, является устройство с $N=3$, то есть с делением на 3 частотных и временных интервала.

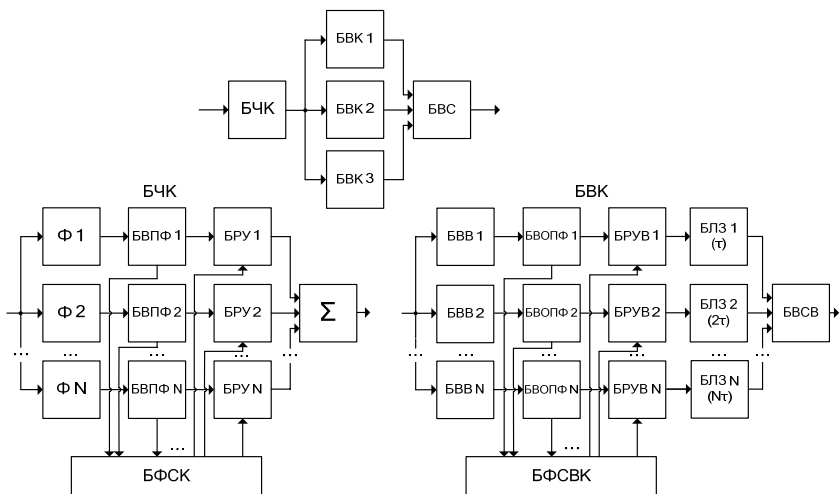


Рисунок 3. Структурная схема устройства уменьшения пик-фактора сигнала OFDM

На рисунке 3 введены следующие обозначения:

- БЧК - блок частотной коррекции
- БВК - блок временной коррекции
- БВС - блок восстановления сигнала
- Ф1-ФN- фильтр
- БВПФ - блок вычисления пик-фактора
- БРУ - блок регулировки усиления
- БФСК - блок формирования сигнала коррекции
- БВВ - блок временной выборки
- БВОПФ- блок временной оценки пик-фактора
- БРУВ - блок регулировки усиления по времени
- БЛЗ - блок линии задержки
- БВСВ - блок восстановления сигнала по времени
- БФСВК- блок формирования сигнала временной коррекции

На Рисунке 4 представлено сигнальное созвездие для режима передачи 1К и первичной модуляции информационных символов 64-QAM. Для сравнения предложенного метода с сигналом, не подвергающимся коррекции, была смоделирована ситуация приёма сигнала при отсутствии обработки сигнала по предложенному алгоритму. Результирующее принятое сигнальное созвездие без обработки алгоритма уменьшения пик-фактора представлено на Рисунке 4(а), аналогичное созвездие сигнала, прошедшего ограничение на передающей стороне – на Рисунке 4(б), сигнал, обработанный алгоритмом коррекции только в частотной области – на Рисунке 4(в), и на Рисунке 4(г) представлено созвездие сигнала, обработанного по предложенному алгоритму. Соотнесённые каждому случаю значения MER (коэф-

коэффициент ошибок модуляции) указаны под соответствующим графиком.

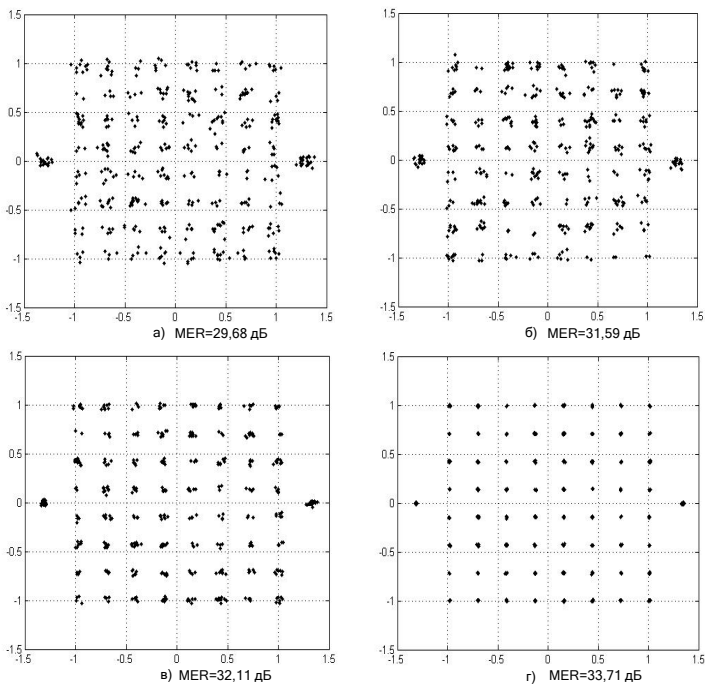


Рисунок 4. Сигнальные созвездия принятого сигнала: а- без обработки; б- обработка амплитудным ограничителем; в- обработка алгоритмом коррекции в частотной области; г- обработка по алгоритму уменьшения пик-фактора

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предложенный алгоритм обработки сигнала для уменьшения пик-фактора даёт в среднем выигрыш в 4,03 дБ в коэффициенте ошибок модуляции (MER) по сравнению с сигналом, не подвергающимся обработке, и выигрыш в 2,12 дБ по сравнению с сигналом, прошедшим амплитудный ограничитель, при одинаковых параметрах усилителя мощности (УМ) в тракте передачи и идентичном канале связи (в данном эксперименте используется канал с АБГШ при SNR=25 дБ). Вследствие этого можно сделать вывод о том, что предложенный алгоритм позволяет увеличить эффективность использования усилителя мощности (повышает его КПД), либо, при сохранении того же ОСШ на входе приёмника, понизить излучаемую мощность на передающей стороне, тем самым снизить энергопотребление. Для корректной работы устройства предлагается в поле сигнальных данных динамической L1 пост-сигнализации «RESERVED_1» передавать данные об уровне коррекции по предложенному выше алгоритму, при этом каждому дискретному уровню будет соответствовать своя кодовая комбинация.

При передаче сигналов цифрового вещания по стандарту DVB-T2 в

частотно-временном пространстве кадра и супер-кадра OFDM может быть реализован адаптивный алгоритм коррекции частотных искажений при приёме информационных символов, принципы обработки которого определяются с учётом изменений в принятых пилот-сигналах по направлению частота-время. При этом фиксация времени и частоты позволяет конкретизировать наиболее оптимальное направление интерполяционной обработки принятых пилот-сигналов с учётом специфики изменения их по фиксированным направлениям. Кроме того, в каждой локальной области интерполяции возможно применение весовой обработки результатов, полученных по ортогональным направлениям в пространстве частота-время.

В четвёртой главе «Разработка устройства коррекции оценки сигнала вектора движения для стандарта H.264» реализован метод оценки сигнала вектора движения в стандарте видеокompрессии H.264.

Здесь осуществлена разработка устройства, учитывающего направление вектора движения и осуществляющего адаптивную фильтрацию пространственных частот в направлении вектора движения. На Рисунке 5 приведена структурная схема устройства оценки сигнала вектора компенсации движения.

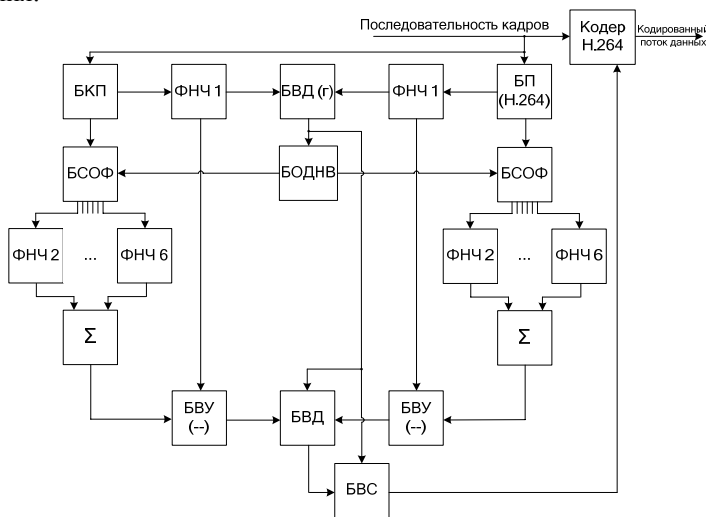


Рисунок 5. Структурная схема устройства коррекции вектора компенсации движения

- | | |
|-----------|---|
| БКП - | блок кадровой памяти |
| БСОФ - | блок селективной области фильтрации |
| БВД (г) - | блок грубой оценки вектора движения |
| БОДНВ - | блок оценки длины и направления вектора |
| БВУ - | блок вычитающего устройства |
| БВД - | блок вычисления вектора движения |
| БВС - | блок векторной суммы |

ФНЧ 1-6 - фильтр нижних пространственных частот
БП(Н.264) - блок памяти, входящий в кодер Н.264

Принцип работы данного устройства заключается в следующем: из последовательности кадров извлекаются текущий и предыдущий кадр, текущий кадр задерживается в БКП (блок кадровой памяти), а потом эти оба кадра, пройдя через ФНЧ 1, попадают в блок грубой (с использованием пониженного числа отсчётов) оценки длины и направления вектора движения (БВД(г)). Одновременно сигнал поступает на 2 блока селекции области фильтрации (БСОФ), которые в зависимости от управляющего сигнала из блока оценки длины и направления вектора (БОДНВ) коммутируют сигнал на один из 5 фильтров нижних частот (ФНЧ 2-6). Управляющий сигнал определяется, исходя из длины и направления вектора движения. В соответствии с управляющим сигналом, к входу сумматоров подключается конкретный из отфильтрованных сигналов, что и определяет эффективное подавление шумовых составляющих. В блоке вычитающего устройства (БВУ) происходит вычитание сигналов, и полученная среднечастотная разность от двух кадров поступает на блок поиска и уточнения вектора движения (БВД). Туда же приходят данные о грубом вычислении вектора движения из БВД(г). В блоке векторной суммы (БВС) осуществляется векторное сложение найденного исходного грубого вектора движения и соответствующего ему уточняющего вектора движения из БВД. Сигнал на выходе поступает на кодер Н.264 для формирования кодированного потока данных.

Конкретизация вектора движения осуществляется с учётом перемещения границ в области наличия движения и предсказания движения с использованием нескольких опорных кадров. Развитием этого направления является адаптивная фильтрация среднечастотных и высокочастотных составляющих и изменение её характеристик в зависимости от направления и скорости перемещения объектов. С этой целью первоначально определим в реальной области наиболее протяжённую составляющую ступенчатой аппроксимации импульсной характеристики пространственного низкочастотного фильтра (ПФНЧ) в виде последовательностей дельта-функций с чётным числом (16x16) отсчётов и соответствующий ей нормированный спектр. Амплитудно-частотная характеристика этой ступени аппроксимации ПФНЧ будет иметь вид:

$$P_{01}(f_x, f_y) = \frac{P_1(f_x, f_y)}{P_1(0, 0)} = \frac{1}{P_1(0, 0)} \left[\frac{\sin\left(\frac{(4n+1)2\pi f_x T_{0x}}{2}\right) \sin\left(\frac{(2n+1)2\pi f_x 2T_{0x}}{2}\right)}{\sin\left(\frac{2\pi f_x T_{0x}}{2}\right) \sin\left(\frac{2\pi f_x 2T_{0x}}{2}\right)} \right] \times \quad (5)$$

$$\times \left[\frac{\sin\left(\frac{(4m+1)2\pi f_y T_{0y}}{2}\right) \sin\left(\frac{(2m+1)2\pi f_y 2T_{0y}}{2}\right)}{\sin\left(\frac{2\pi f_y T_{0y}}{2}\right) \sin\left(\frac{2\pi f_y 2T_{0y}}{2}\right)} \right]$$

В соответствии с ИХ, полученной за счёт весового суммирования составляющих, получим соотношение для нормированного коэффициента передачи низкочастотного пространственного фильтра:

$$S_0(f_x, f_y) = \frac{\alpha_1 \cdot P_{01}(f_x, f_y) + \alpha_2 \cdot P_{02}(f_x, f_y) + \alpha_3 \cdot P_{03}(f_x, f_y) + \alpha_4 \cdot P_{04}(f_x, f_y)}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4} \quad (6)$$

где $P_{02}(f_x, f_y)$, $P_{03}(f_x, f_y)$, $P_{04}(f_x, f_y)$ – соотношения нормированных спектров для последовательностей дельта-функций с числом отчётов 8x8, 4x4 и 2x2 соответственно.

Для современных датчиков ТВ сигнала характерно действие на сигнал изображения апертурных искажений. Проведённые на кафедре Телевидения и звукового вещания МГУСИ экспериментальные и теоретические исследования показали целесообразность аппроксимации апертурно-частотной характеристики ТВ камер двумя (и более) функциями гауссовского типа. В результате была получена функция двумерной апертурной характеристики, соответствующая соотношению следующего вида:

$$F_0(2\pi f_x, 2\pi f_y) = [0,9 \exp(-1,304 \cdot 10^{-15} \cdot 4\pi^2 f_x^2) + \quad (7)$$

$$+ 0,1 \exp(-0,2536 \cdot 10^{-15} \cdot 4\pi^2 f_x^2)] \times [0,9 \exp(-1,304 \cdot 10^{-15} \cdot 4\pi^2 f_y^2) +$$

$$+ 0,1 \exp(-0,2536 \cdot 10^{-15} \cdot 4\pi^2 f_y^2)]$$

В соответствии с (10), результирующая характеристика низкочастотного фильтра $S_0(f_x, f_y)$ определяется произведением:

$$S_V(f_x, f_y) = S_0(f_x, f_y) \cdot F_0(f_x, f_y) \quad (8)$$

На Рисунке 6 (а) показана частотная характеристика пространственного фильтра нижних частот для случая $\alpha_1=2,6$; $\alpha_2=1,65$; $\alpha_3=0,5$; $\alpha_4=0,15$. Результат вычислений показывает, что относительно простой, с точки зрения вычислительной сложности, вариант низкочастотного фильтра, реализованный с использованием ступенчатой аппроксимации с минимальным числом ступеней (четыре), обеспечивает необходимое выделение низких пространственных частот в частотной области локализации с радиусом (эквивалент по оси частот) ≈ 700 кГц. Пространственные высокочастотные составляющие выделим с применением полосового пространственного фильтра, коэффициент передачи которого определяется вычитанием соотношений (7) и (8).

$$F_V(f_x, f_y) = F_0(f_x, f_y) - S_V(f_x, f_y) \quad (9)$$

На рисунке 6(б) представлены результаты вычисления, согласно соотношению

(9), характеристики коэффициента передачи, обеспечивающего необходимое подавление низких пространственных частот.

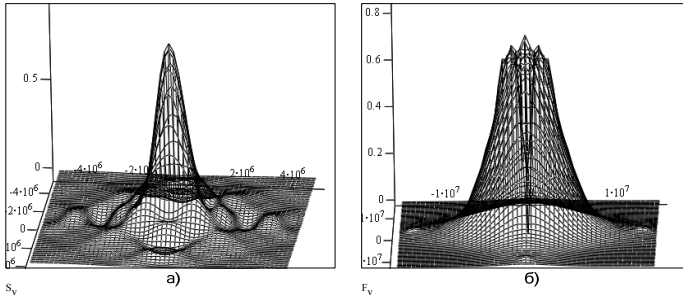


Рисунок 6. Частотные характеристики пространственных фильтров: а) нижних частот, б) полосового фильтра

Селекцию составляющих в соответствии с направлением движения объекта целесообразно, с учётом вычислительной сложности, реализовать с применением относительно простых, одномерного типа, фильтров низких частот с протяжённостью ИХ, охватывающих по три отсчёта по заданным направлениям фильтрации с весовыми коэффициентами: $\beta_{-1}=0,5$; $\beta_0=1,0$; $\beta_{+1}=0,5$. Специфика ортогональной структуры дискретизации, используемой в пределах внутрикадрового пространства, определяет выбор четырёх возможных направлений фильтрации под углами: -45 ; $+45$; 0 и 90 градусов.

Соответственно, при $T_{0x} = T_{0y}$, имеем четыре возможных соотношения для коэффициента передачи одномерного фильтра:

$$F_{01}(f_x, f_y) = \frac{1,0 - \cos(-2\pi f_x \cdot 2T_{0x} + 2\pi f_y \cdot 2T_{0y})}{2}, F_{03}(f_x, f_y) = \frac{1,0 - \cos(2\pi f_x \cdot 2T_{0x})}{2}$$

$$F_{02}(f_x, f_y) = \frac{1,0 - \cos(2\pi f_x \cdot 2T_{0x} + 2\pi f_y \cdot 2T_{0y})}{2}, F_{04}(f_x, f_y) = \frac{1,0 - \cos(2\pi f_y \cdot 2T_{0y})}{2} \quad (10)$$

Характеристика селекции высокочастотных пространственных составляющих $F_{vi}(f_x, f_y)$ по отдельному (i -тому) из четырёх возможных направлений внутрикадрового пространства определяется произведением функции $F_v(f_x, f_y)$ и каждого отдельного коэффициентов передачи, представленных в соотношении (10) (Рисунок 7):

$$F_{v1}(f_x, f_y) = F_v(f_x, f_y) \cdot F_{01}(f_x, f_y); F_{v2}(f_x, f_y) = F_v(f_x, f_y) \cdot F_{02}(f_x, f_y);$$

$$F_{v3}(f_x, f_y) = F_v(f_x, f_y) \cdot F_{03}(f_x, f_y); F_{v4}(f_x, f_y) = F_v(f_x, f_y) \cdot F_{04}(f_x, f_y) \quad (11)$$

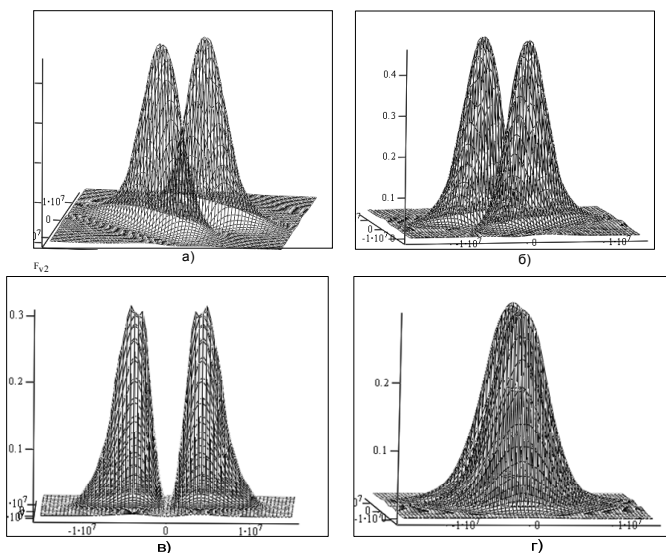


Рисунок 7. Частотные характеристики фильтров селекции высокочастотных пространственных составляющих: а - под углом $+45$ градусов; б - под углом -45 градусов; в - по горизонтали; г - по вертикали

Проведённые вычисления характеристик предложенного варианта адаптивной пространственной фильтрации сигналов изображений при формировании сигнала вектора движения показали, что при относительно невысокой вычислительной сложности может быть реализовано необходимое устройство фильтрации, обеспечивающее регулирование характеристик в зависимости от параметров движения. При этом изменение направления движения определяет текущий порядок коммутации одномерных фильтров, а увеличение скорости движения – изменение времени относительной задержки отсчетов, что отражается сужением эквивалентной полосы пропускания одномерного фильтра нижних частот, сигнал с выхода которого коммутируется на общий выход устройства.

Разработанное устройство улучшения алгоритма поиска вектора движения за счёт адаптивного поиска векторов в области среднечастотных пространственных составляющих, позволяет минимизировать ошибки и исключить ложные вектора движения на фоновых статических изображениях, а также повысить точность поиска векторов движения для относительно мелких движущихся объектов. Кроме того, обоснована возможность внедрения предложенного алгоритма в кодеки стандарта H.264/AVC без изменения синтаксиса битового потока.

В заключении приводятся основные выводы и результаты выполненной работы.

В приложениях приведены рисунки, поясняющие распределение пи-

лот-сигналов в стандарте DVB-T2, характерные искажения при выпадении кадров из закодированного видеопотока, а также текст программ, моделирующих работу разработанных устройств.

Основные результаты работы.

1. Проведён анализ формирования сигнала стандарта DVB-T2, выявлены основные достоинства и недостатки систем с OFDM модуляцией. Проведён теоретический анализ характеристик, параметров и искажений формирования сигналов телевизионных изображений в системах цифрового вещательного телевидения.

2. Проведён анализ основных принципов и методов сжатия цифрового телевизионного сигнала по стандарту H.264/ MPEG-4, конкретизированы основные алгоритмы предсказания при межкадровом сжатии видеосигнала, обоснованы направления повышения эффективности алгоритмов оценки сигнала вектора движения.

3. Разработан метод адаптивной коррекции сигналов и восстановления информационных символов в системе цифрового ТВ вещания по стандарту DVB-T2.

4. Разработан метод и алгоритм обнаружения и уменьшения пик-фактора в системах цифрового ТВ вещания по стандарту DVB-T2. Данный метод позволяет получить выигрыш в коэффициенте ошибок модуляции (MER) в 4,03 дБ.

5. Разработан адаптивный алгоритм эффективной оценки сигнала вектора движения для стандарта H.264.

6. Проведены экспериментальные исследования разработанного алгоритма обнаружения и уменьшения пик-фактора, создана программа, моделирующая работу данного метода.

7. Разработано устройство повышения эффективности алгоритма поиска вектора движения для стандарта H.264. Проведены экспериментальные исследования разработанного метода и алгоритма, создана программа для моделирования работы устройства повышения эффективности алгоритма поиска вектора движения. Данный метод позволяет получить выигрыш в отношении пиковый сигнал-шум (PSNR) в среднем на 1,2 дБ.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Икрамов К.С., Жаворонков И.В., Коржихин Е.О. Форматы сжатия видеосемейства MPEG // Материалы научной конференции профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава МТУСИ–М.: Инсвязьиздат, – 2006 г.– с. 55-57.

2. Коржихин Е.О. Особенности цифрового телевизионного стандарта DVB-T // Московская отраслевая НТК “Технологии информационного общества”, тезисы докладов, М.: Инсвязьиздат, 2007 г. – с. 110-111.

3. Безруков В.Н., Комаров П.Ю., Коржихин Е.О. Специфика коррекции характеристик радиоканала в системе цифрового телевидения по стандарту

DVB-T. Труды Московского технического университета связи и информатики – М.: «ИД Медиа Паблишер», – 2008 г.– Т1. – с. 437-440.

4. Коржихин Е.О. Свешников Н.Б., Васьков А.В. Одночастотные сети вещания в стандарте DVB-T// Материалы международной научно-технической школы-конференции “Молодые ученые – науке, технологиям и профессиональному образованию” - Часть 4. – М., 2008 г. – с. 214-220.

5. Коржихин Е.О. Сравнение стандартов цифрового наземного вещания DVB-T и DVB-T2 // T- Comm – Телекоммуникации и транспорт. – Часть 1. – М.: «ИД Медиа Паблишер», – 2009 г., №6 – с. 203-205.

6. Коржихин Е.О. Особенности построения одночастотных сетей в новом стандарте цифрового вещания DVB-T2 // T-Comm – Телекоммуникации и транспорт. – М.: «ИД Медиа Паблишер» – 2010 г. – № 9 – с. 3-5.

7. Коржихин Е.О. Особенности устранения межкадровой избыточности в стандарте MPEG-4/H.264 // Материалы 9-й международной научно-технической конференции “Перспективные технологии в средствах передачи информации” – ВлГУ, т.2 – 2011 г. – с. 8-11.

8. Коржихин Е.О., Белов А.С. Анализ методов обработки принимаемого сигнала в системе цифрового телевизионного вещания DVB-T2 // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения, Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC –2011», Москва 14–17 ноября 2011 г. – с. 239-242.

9. Коржихин Е.О. Исследование методов снижения действия пик-фактора в системах DVB-T/T2 за счёт линейной и нелинейной обработки сигнала // Труды 20-й международной научно-технической конференции “Современное телевидение и радиоэлектроника”, – М.: ФГУП «МКБ Электрон»– 2012 г. – с. 31-34.

10. Коржихин Е.О., Власюк И.В. Методы снижения пик-фактора в системах наземного цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T2 // T- Comm – Системы подвижной связи и цифрового телерадиовещания. Выпуск по итогам 6-й отраслевой научной конференции МТУСИ “Технологии информационного общества”, М.: «ИД Медиа Паблишер» – 2012 г. – № 9– с.83-86.