

ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Под редакцией Соатова Х.С.

Гаврилов И.А., Рахимов Т.Г., Пузий А.Н.,
Носиров Х.Х, Кадиров Ш.М.



2016

Под редакцией Соатова Х.С.

Авторы: Гаврилов И.А., Рахимов Т.Г., Пузий А.Н.,
Носиров Х.Х., Кадиров Ш.М.

Рецензенты:

д.т.н., профессор Ташкентского Государственного
технического университета - А.М. Назаров;

к.т.н., доцент Ташкентского университета
информационных технологий - Д.А. Давронбеков

В книге излагаются теоретические основы аналогового и цифрового телевидения. Подробно рассматриваются принципы формирования сигналов в цифровом телевидении, основные принципы и методы сжатия видео и аудиоданных. Рассмотрены принципы построения и работы основных стандартов сжатия сигналов изображения и звука в семействах JPEG и MPEG, а также систем цифрового телевидения стандартов DVB, FTSC, ISDB, MMDS, LMDS, MVDS. Кроме того рассматриваются принципы построения и работы приемных устройств цифрового телевизионного вещания, их элементной базы и современное состояние цифрового телевидения в Узбекистане.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1. КРАТКИЕ ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ	9
1.1. Краткая история телевидения.....	9
1.2. Состав, форма и спектр телевизионного сигнала.....	13
1.3. Сигналы цветного телевидения.....	17
1.4. Стандарты вещательного телевидения.....	20
1.4.1. Стандарты черно-белого телевидения.....	20
1.4.2. Стандарты цветного телевидения.....	22
2. ЦИФРОВЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИГНАЛЫ	26
2.1. Аналого-цифровое преобразование сигналов изображения.....	26
2.2. Аналого-цифровое преобразование сигналов звука.....	31
2.3. Цифровое представление видеосигнала в соответствии с рекомендацией ITU-R 601.....	33
2.3.1. Форматы представления цифровых телевизионных сигналов.....	33
2.3.2. Цифровое представление компонент телевизионного сигнала.....	36
2.3.3. Цифровое представление композитного телевизионного сигнала.....	39
2.3.4. Формирование цифровых телевизионных сигналов.....	41
2.4. Интерфейсы цифрового телевидения.....	43
2.4.1. Параллельный видеостык.....	43
2.4.2. Последовательный видеостык.....	45
2.5. Цифровое представление звукового сигнала.....	48
2.6. Телевизионные АЦП и ЦАП.....	51
3. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ СЖАТИЯ ОБЪЕМОВ СИГНАЛОВ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	60
3.1. Виды избыточной информации ТВ изображений и методы ее устранения.....	60
3.2. Сжатие сигналов изображений на основе спектральных преобразований.....	64
3.2.1. Сжатие изображений на основе дискретно-косинусного преобразования (ДКП).....	64
3.2.2. Сжатие изображений на основе вейвлет преобразований (ВП).....	67
3.3. Сжатие сигналов изображений на основе фракталов.....	75

3.4. Сжатие сигналов изображений на основе устранения межкадровой избыточности.....	78
3.4.1. Пиксельный метод.....	81
3.4.2. Метод сопоставления блоков.....	82
3.4.3. Метод параметрических моделей.....	84
3.4.4. Метод объектного подхода.....	85
3.5. Особенности сжатия звуковых сигналов.....	89
3.5.1. Особенности психоакустической обработки ЗС.....	89
3.5.2. Компрессия цифровых аудиоданных.....	92
4. СТАНДАРТЫ СЖАТИЯ СИГНАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ЗВУКА.....	96
4.1. Стандарт JPEG.....	98
4.2. JPEG 2000.....	103
4.3. Стандарт MPEG-1.....	109
4.3.1. Видео часть стандарта MPEG-1.....	109
4.3.2. Звуковая часть стандарта MPEG-1.....	113
4.4. Стандарт вещательного телевидения MPEG-2.....	116
4.4.1. Обработка изображений в стандарте MPEG-2.....	117
4.4.2. Поток видеоданных MPEG-2.....	121
4.4.3. Декодер видеоинформации.....	123
4.4.4. Искажения изображений в стандартах MPEG-1/2 и допустимые коэффициенты сжатия видеопотока.....	124
4.4.5. Обработка сигналов звукового сопровождения в стандарте MPEG-2.....	126
4.5. Мультимедийный стандарт MPEG-4.....	133
4.5.1. Видео кодирование в стандарте MPEG-4-10 (H.264).....	136
4.5.2. Аудио кодирование в стандарте MPEG-4.....	142
4.6. Перспективные мультимедийные стандарты MPEG-7 и MPEG-21.....	151
4.7. Сравнительный анализ алгоритмов сжатия звуковых сигналов.....	153
5. ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ ПО КАНАЛАМ СВЯЗИ.....	155
5.1. Требования к системам передачи сигналов цифрового телевидения по каналам связи.....	155
5.2. Перемежение и скремблирование.....	156
5.3. Помехоустойчивое кодирование.....	158
5.4. Методы модуляции применяемые для передачи сигналов цифрового телевидения.....	166

6. СТАНДАРТЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ	176
6.1. Общая концепция стандарта DVB	176
6.2. Система наземного цифрового телевидения DVB-T	168
6.2.1. Обработка сигналов в передающей части системы DVB-T	172
6.2.2. Обработка сигналов в приемной части системы DVB-T	193
6.3. Стандарт кабельного цифрового телевизионного вещания DVB-C	195
6.4. Стандарт спутникового цифрового телевизионного вещания DVB-S	198
6.5. Стандарт мобильного цифрового телевизионного вещания DVB-H	202
6.6. Другие стандарты цифрового телевидения	207
6.6.1. Американский стандарт наземного цифрового ТВ ATSC	207
6.6.2. Японский стандарт цифрового телевидения ISDB	214
6.6.3. Сравнение систем цифрового ТВ ATSC и DVB	218
6.7. Системы MMDS, LMDS, MVDS	220
6.7.1. MMDS	220
6.7.2. LMDS/ MVDS	224
7. СТАНДАРТЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ	228
7.1. DVB-S2	228
7.2. Стандарт наземного телевидения DVB-T2	234
7.3. Стандарт кабельного телевидения DVB-C2	243
7.4. Общая характеристика стандарта мобильного телевидения DVB-SH	252
8. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ	255
8.1. Основные узлы и блоки приемных устройств цифрового телевизионного вещания	258
8.2. Элементная база приемных устройств цифрового телевизионного вещания	262
8.2.1. Основные характеристики микропроцессора STi7109	266
8.2.2. ВЧ блок и COFDM демодулятор	268
8.2.3. Базовый вариант DVB-T приставки на основе STi7109	269
9. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ	272
Словарь терминов	278
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	294

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции в области цифрового телевизионного и звукового радиовещания характеризуются эволюционным развитием комплексных цифровых систем и переходом, в дальнейшем, к глобальной информационной сети.

Цифровые технологии в сетях связи позволяют реализовать многопрограммное телевизионное и звуковое радиовещание, расширить номенклатуру телекоммуникационных услуг, а также значительно улучшить качество передач.

Испытания современных цифровых передатчиков, проведенные в ряде стран (Франции, США и России) в период 1998-1999 гг. показали, что при приеме сигналов на цифровые приемники можно уменьшить мощность излучения передатчиков на порядок, т.е. на порядок сократить расход электроэнергии.

Телевизионное радиовещание в аналоговых системах PAL, SECAM и NTSC различных стандартов ведется в диапазонах метровых и дециметровых волн более 40 лет и во всем мире сложились развитые сети телевизионного радиовещания, обеспечивающие доставку телевизионных программ пользователям. Одновременно происходило совершенствование аппаратно-студийных средств, и развитие в последние годы цифровой техники позволило создать и внедрить в практику формирования и обработки видео и аудио сигналов цифровую и компьютерные технологии. Однако, существующие сети, ориентированные на передачу аналоговых сигналов, не позволяют реализовать в полной мере возможности, которые открываются при использовании цифровых технологий как при производстве программных продуктов, так и при предоставлении новых видов услуг пользователям. Поэтому, когда проведенные исследования показали принципиальную возможность передачи цифровых телевизионных сигналов по существующим аналоговым каналам и трактам, был открыт ряд национальных и международных исследовательских проектов, имеющих целью разработку систем наземного цифрового телевизионного вещания, как альтернативы аналоговым системам.

По сравнению с аналоговыми телевизионными сетями наземное цифровое телевидение (ТВ) обладает следующими преимуществами:

- возможностью значительного увеличения количества программ, передаваемых в сети вещания;
- улучшением качества передачи изображения и звукового сопровождения;
- использованием более низких, по сравнению с аналоговыми системами, мощностей передачи;
- гибкостью при планировании сетей, позволяющей варьированием параметров системы достигать требуемого качества передачи, количества дополнительных услуг, предоставляемых пользователям,

требуемой зоны охвата территории;

- возможностью качественного приема на мобильные и переносные приемники;
- возможностью организации одночастотных сетей;
- эффективностью использования ресурса радио спектра за счет передачи мультиплексированных цифровых потоков данных;
- более низкой стоимостью внедрения, по сравнению с другими системами цифровой передачи (спутниковыми и кабельными), за счет возможностей: для операторов сетей - использования существующей инфраструктуры аналоговых ТВ сетей; для пользователей - использования существующих антенных систем;
- возможностью создания сетей маломощных цифровых станций с большим процентом охвата населения в относительно короткое время (2-5 лет) и с приемлемой стоимостью;
- возможностью сопряжения сетей цифрового ТВ вещания с компьютерными сетями типа Internet;
- возможностью организации интерактивных видов обслуживания.

Поэтому многие страны мира, включая Узбекистан ведут активные работы по переходу с аналогового на цифровое телевизионное вещание. При этом Наземное цифровое телевизионное и звуковое вещание на территории Узбекистана внедряется поэтапно:

- 2005 год - тестовое цифровое телевизионное и звуковое вещание в пределах одной выбранной локальной зоны, во время которого определялись работоспособность и возможности выбранных тестируемых систем;
- 2006 год - регулярное цифровое телевизионное и звуковое вещание в пределах одной или нескольких зон, выбранных на территории Узбекистана, при этом системы для этого этапа должны быть построены на основе коммерческой эксплуатации (системы должны обеспечивать достаточно большой выбор телевизионных программ и дополнительных услуг);
- 2007-2009 годы - расширение зон эксплуатации систем цифрового телевизионного вещания на областные центры и крупные города;
- 2010-2015 годы - разворачивание общенациональной сети наземного цифрового телевизионного и звукового вещания.

Таким образом, в конце 2008 года в Узбекистане было запущено цифровое телевидение с использованием стандарта наземного вещания DVB-T на 41 и 42 телевизионных каналах. Вещание ТВ каналов ведется с использованием формата сжатия MPEG-4 (H.264). Коммерческой реализацией занимается специально созданное предприятие "Uz Digital TV". При этом для приема этих программ в Ташкенте, ООО "TELMAX Elektronik" начато производство абонентских приставок с существующим телевизорам.

Однако, обслуживание и дальнейшее развитие отрасли цифрового телевидения не возможно без высококвалифицированных специалистов, для подготовки которых и предназначено это учебное пособие.

Цель настоящей книги – познакомить будущих специалистов в области ТВ вещания, с современной техникой цифрового вещания, в первую очередь цифрового сжатия и передачи цифровых сигналов по каналам вещания. Вопросы построения студийной цифровой аппаратуры, производства, монтажа и записи телепрограмм представляют самостоятельный раздел техники цифрового вещания и могли бы быть предметом отдельного рассмотрения. В данной книге эти вопросы не затрагиваются. Книга может быть также полезна магистрантам, радиоинженерам других профилей, желающим расширить свой кругозор, студентам радиотехнических факультетов вузов и всем энтузиастам цифрового вещания, захотевшим понять, как цифровой сигнал приходит на экран их телевизионного приемника. Поэтому в книге было уделено внимание не только описание принципов работы систем существующих и перспективных систем цифрового телевидения, но и принципам построения приемных приставок с подробным рассмотрением их элементной базы.

Авторы постарались сделать изложение по возможности популярным и доступным для понимания с приведением большого количества графического материала. По этой причине использование математического аппарата сведено к минимуму и заменено разъяснениями на интуитивном уровне.

Учебное пособие написано доцентом Х.С. Соатовым (введение, гл.5) доцентом И.А.Гавриловым (гл. 6, гл.7, гл. 8 и гл.2, гл.3, гл.4 совместно с А.Н. Пузий и Х.Х. Носировым), профессором Т.Г. Рахимовым (гл. 1), Ш.М. Кадировым (гл. 9). Общее редактирование и подготовка к печати осуществлено доцентом Х.С.Соатовым.

Отдельно хотелось отметить, что значительный вклад в создание данного учебника составляют труды: С.М.Ибраевой, О.С.Игнатъевой, А.А.Чернышёва, Ю.Ф.Кабановой, М.Ю.Суворовой, К.Р.Назаровой, Д.А.Савицкой, Е.А. Филатовой. А также, большая благодарность Д.Б.Бобобековой, за помощь в подготовке графического материала.

1. КРАТКИЕ ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Развитие телевизионных систем от механических к электронным, от черно-белых к цветным и наконец, от аналоговых к цифровым, занимает во времени больше 100 лет и сопряжено с большими интеллектуальными и финансовыми затратами. Поэтому в телевидении, как и в технике вообще, применяется требование совместимости новых поколений систем со старыми. Так, при переходе от черно-белого телевидения к цветному в мире был не только накоплен огромный парк черно-белых телевизоров, но и создана целая инфраструктура формирования и передачи ТВ сигналов с помощью ТВ передатчиков, а также по радиорелейным, кабельным, спутниковым каналам связи. При этом передающее и каналообразующее оборудование создавалось на основе стандарта сигналов черно-белого телевидения и соответственно вновь разрабатываемые системы должны базироваться на уже существующих каналах связи и не мешать работе ранее созданным системам. Поэтому и современные системы цифрового ТВ базируются на параметрах сигналов аналогового ТВ. Таким образом для понимания принципов построения систем цифрового ТВ немного остановимся на основных принципах и стандартах телевидения.

1.1. Краткая история телевидения

Термин «телевидение» (ТВ) (видение на расстоянии или дальновидение) впервые употребил русский военный инженер-электрик Перский на Международном конгрессе в Париже в 1890 г. При этом в основе телевидения лежат **3 физических процесса:**

1. **Преобразование световой энергии в электрические сигналы;**
2. **Передача и прием электрических сигналов по каналу связи;**
3. **Обратное преобразование электрических сигналов в оптическое изображение.**

Для преобразования оптического изображения в электрические сигналы используются различные фотоэлементы или фотопреобразователи. При использовании 1 фотоэлемента напряжение на его выходе будет соответствовать средней яркости сцены и никакого ТВ изображения не получится. Поэтому, количество фотопреобразователей должно быть большим и чем больше их число, тем более четкое изображение можно получить. Так по стандарту вещательного телевидения их примерно 550 тысяч. Естественно, что для передачи информации с этих преобразователей никто пол миллиона каналов связи не предоставит, поэтому канал связи всего один, по которому последовательно передается информация от каждого фотопреобразователя. Такой процесс последовательной, поэлементной передачи видеoinформации называется **разверткой**. Поэтому телевидение основано еще и на 2 принципах:

1. Принцип разложения изображения на элементы (пиксели) – чем больше, тем лучше четкость изображения;
2. Принцип развертки – последовательной передачи и приема элементов изображения.

Таким образом, изображение, которое нам синтезирует телевизор, — иллюзия, возникающая благодаря инерционности нашего зрения. На самом деле в каждый момент времени на экране присутствует одна единственная точка. Но благодаря развертке — процессу быстрого перемещения светящейся точки по экрану — телевизор создает оптическое изображение.

В первых телевизионных системах применялся 1 фотопреобразователь с оптической развертка изображения на основе особого диска, изобретенного в 1884 г. немецким студентом Паулем Нипковым названным "дискон Нипкова". Он представляет собой непрозрачный диск большого диаметра. По внешнему краю диска спирально сверлились отверстия (от 18 до 240 — по числу строк развертки) со строго заданным расстоянием между собой и определенным шагом спирали Архимеда, представленным на рис.1.1, а телевизоры на его основе совсем были непохожи на наши современные телевизионные приемники (рис.1.2-1.5).

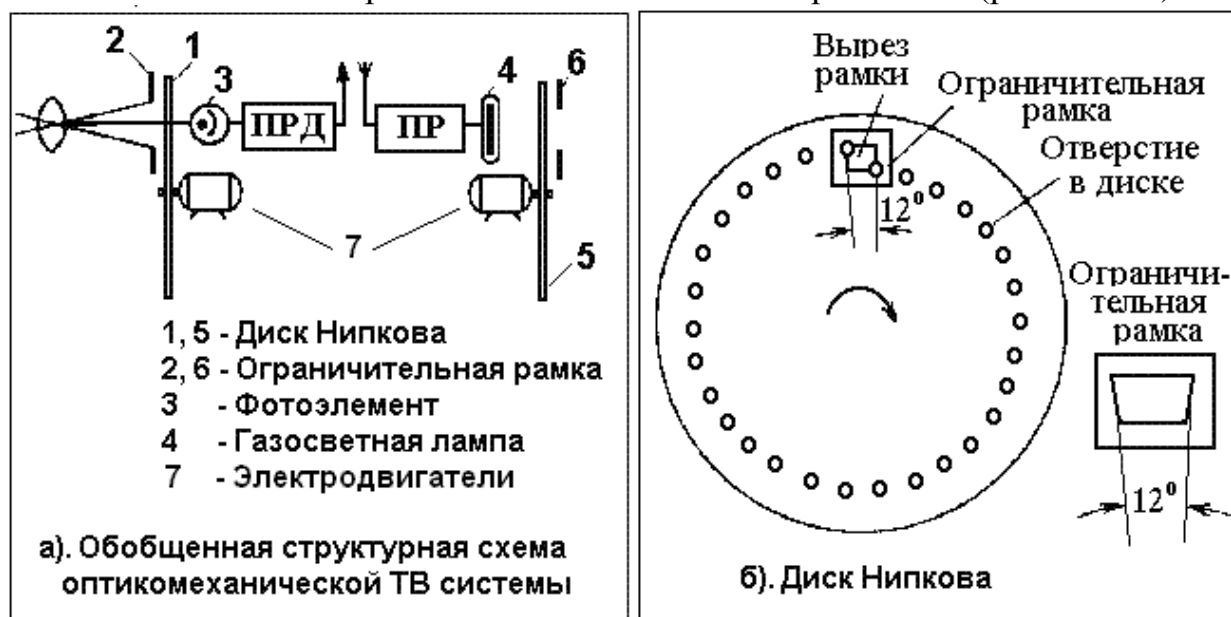


Рис. 1.1. Оптико-механическая ТВ система с диском Нипкова.

Простота конструкции Нипкова позволила в последствии создать целый ряд действующих оптико-механических систем телевидение. Так в Москве в апреле 1931 г. коллектив электротехнического института под руководством Шмакова П.В. осуществил экспериментальную радиопередачу сигналов изображения в Ленинград, с четкостью 30 строк и частотой кадров 12,5 Гц. (1200 элементов изображения) на волнах 379 и 720 м. Начиная с осени 1934 г., эти передачи стали регулярными. Годом позже Ленинградский завод им. Козицкого выпустил первую партию российских телевизоров (модель Б-2)



Рис.1.2 Дисконая ТВ камера Бэрда и устройство электромеханического телевизора



Рис.1.3.Первый российский механический телевизор Б-2



Рис.1.4. Второй российский механический телевизор «Пионер» (1934)



Рис.1.5 Дизайн ТВ-приемников делали на любой вкус (1928)

К 1934-35 г. были разработаны оптико-механические системы с использованием зеркальных барабанов с разверткой на 180 и даже 375 строк, но при увеличении числа строк разложения уменьшалось время считывания каждого элемента, что приводило к падению чувствительности, кроме того данные системы были довольно громоздкими и не могли обеспечивать высокое качество изображения. Поэтому был необходим переход к электронному телевидению. Основоположителем его считается русский ученый **Борис Розинг**, запатентовавший в 1907 г первую приемную электронно-лучевую трубку – прообраз **КИНЕСКОПА**.

Первый проект полностью электронной системы ТВ был реализован в Ташкенте в 1925 г. под руководством Грабовского, где и на приемной и передающей стороне использовались специальные электронно-лучевые трубки, однако большую известность получил ученик Розинга **В.К.Зворыкин**, считающийся отцом электронного телевидения.

В настоящее время телевидением называется область современной радиоэлектроники, которая занимается передачей и приемом движущихся и неподвижных изображений предметов, расположенных в пространстве, электрическими средствами связи в реальном и измененном масштабе времени.

1.2. Состав, форма и спектр телевизионного сигнала

В состав полного телевизионного сигнала вещательного стандарта, форма которого по строкам и кадрам представлена на рис.1.6, входят следующие компоненты:

1. **Видео (яркостной) сигнал.**
2. **Строчные и кадровые гасящие импульсы (СГИ и КГИ).**
3. **Строчные и кадровые синхронизирующие импульсы (ССИ и КСИ).**
4. **Врезки в КСИ двойной строчной частоты.**
5. **Уравнивающие импульсы.**
6. **Постоянная (яркостная) составляющая.**

Форма видеосигнала. Величина видеосигнала, получаемого на выходе фотоэлектрического преобразователя, является функцией времени и пропорциональна яркости передаваемых элементов изображения, например, для черно-белого изображения показанного на рис.1.6, **высокий уровень сигнала соответствует белому цвету, низкий уровень - черному цвету, а промежуточные уровни сигнала - градациям серого. При формировании цветного изображения используются 3 датчика сигнала для красного, зеленого и синего цвета с последующим их кодированием, как будет рассмотрено во 2 главе.**

Рассмотрим назначение составных частей полного ТВ сигнала (ПТВС).

1. **Видео сигнал** несет информацию о яркостях передаваемых точек изображения – это то, что мы видим на экране телевизора.
2. **Строчные и кадровые гасящие импульсы (СГИ и КГИ)** предназначены для гашения лучей передающих трубок и кинескопа на время обратного хода разверток по строкам и кадрам соответственно. Это необходимо для того, чтобы светлые линии обратного хода не создавали помех на изображении в виде ряби от горизонтальных линий строчной развертки и наклонных линий по экрану от кадровой. **Гасящие импульсы передаются в конце каждой строки и полукадра на уровне гашения или черного (рис.1.7)**
3. **Строчные и кадровые синхронизирующие импульсы (ССИ и КСИ)** предназначены для обеспечения **синхронной (одновременной) работы** развертывающих устройств на передающей и приемной стороне. Этим достигается привязка начала координат разверток по горизонтали и вертикали телевизора и передающего оборудования. **Это очень важные составляющие ПТВС, поскольку отсутствие КСИ приведет к срыву кадровой синхронизации, где изображение будет бежать вверх или вниз, а отсутствие ССИ к срыву строчной синхронизации, где изображение будет бежать влево или вправо.**

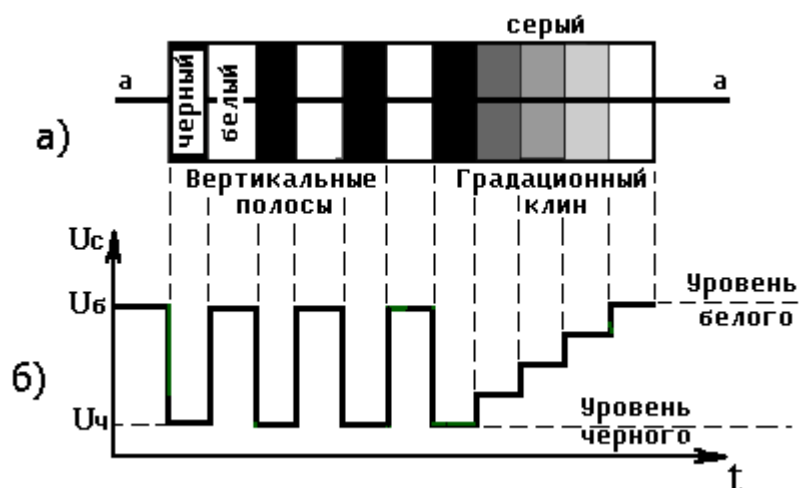


Рис.1.6. Формирование видеосигнала
 а) передаваемое изображение, б) сигнал при развертке строки а-а

Изображение на экране телевизора и форма ТВ сигнала

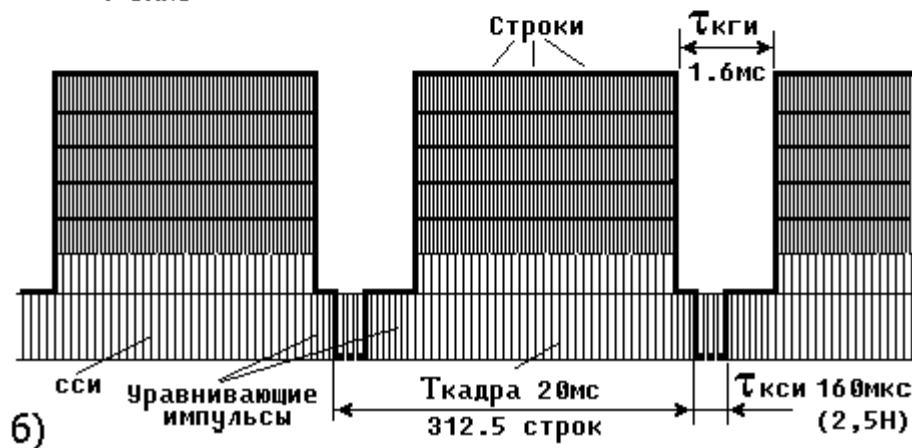
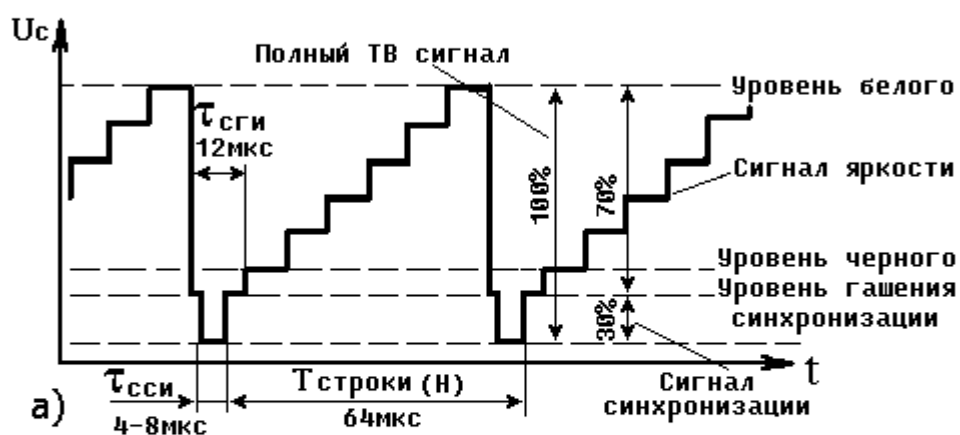
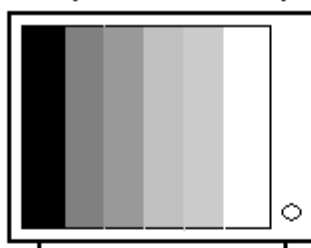


Рис.1.7. Изображение на экране телевизора и форма ТВ сигнала за период строки (а) и кадра (б)

4. **Врезки в КСИ** обеспечивают нормальную работу строчной синхронизации во время действия КСИ. **Отсутствие врезок приведет к искажению изображения в верхней части экрана за счет срыва строчной синхронизации во время действия КСИ**, так как при одинаковом размахе синхроимпульсов во время действия КСИ ССИ передаваться не будут.
5. **Уравнивающие импульсы предотвращают слипание строк четного и нечетного полукадра.** Дело в том, что при чересстрочной развертке в каждом поле разворачивается 312,5 (целое число + половина) строк, причем, если нечетный полукадр начинается с начала строки, то четный с ее половины. При этом меняется интервал между соседними строчными и кадровыми синхроимпульсами. Кроме того, в КСИ нечетного полукадра находится 3 врезки, а в КСИ четного полукадра – 2. **Для выравнивания импульсной картины в четном и нечетном полукадрах применяют врезки двойной строчной частоты, а также вводят специальные уравнивающие импульсы двойной строчной частоты по 5 штук до и после КСИ.**
6. **Постоянная или средняя (яркостная) составляющая** видеосигнала возникает из-за того, что видеосигнал по своей природе сигнал не гармонический, а импульсный, не симметричный, следовательно, он имеет постоянную составляющую, которая зависит от передаваемого сюжета изображения и может при смене видеосюжета меняться с частотой 3-7 Гц.

Если принять размах всего ПТВС за 100 %, то собственно сигнал изображения (видеосигнал) от уровня белого до уровня черного занимает 70%, а сигнал синхронизации располагается ниже уровня черного на 30%, т.е. его уровень - чернее черного. Это обеспечивает их надежное отделение от сигналов изображения в приемнике

Спектр ТВ сигнала. Следует отметить, что спектральный состав ТВ сигнала сильно зависит от передаваемого видеосюжета. Так крупные детали изображения передаются относительно низкими частотами, а мелкие детали высокими. При этом, очень важное значение для определения пропускающей способности каналов связи или выбора частоты дискретизации имеют граничные значения полосы частот ТВ сигнала или его спектра.

В общем случае верхняя граничная частота ТВ сигнала определяется максимальным количеством информации (пикселей), передаваемым за единицу времени (секунду).

К сожалению стандартом аналогового телевидения оговаривается только число строк разложения и не оговаривается число пикселей в строке. Поэтому для определения числа пикселей в строке используют коэффициент формата экрана «К», учитывающий отношение сторон прямоугольного экрана. В связи с этим верхняя частота спектра телевизионного сигнала определяется по формуле:

$$F_{\max} = kz^2n/2 = \frac{4 \times 625^2 \times 25}{3 \times 2} \approx 6,5 \text{ МГц} \quad (1.1)$$

где: **k** – формат кадра = 4/3
z – число строк в кадре
n – число кадров в секунду

На практике, учитывая конечность размеров электронного луча и снижение вертикальной четкости за счет строчной структуры изображения, можно еще снизить верхнюю границу без заметного ущерба качеству изображения. В формулу вводится коэффициент 0,85-0,9 что снижает значение $F_{\text{верх}}$ до 6 МГц.

Нижняя граничная частота ТВ сигнала содержит изменения постоянной или яркостной составляющей в интервале **0-7 Гц**, а также частоту полукадровой развертки **50 Гц**.

Еще одной особенностью спектра ТВ сигнала является его дискретно линейчатая структура, состоящая из гармоник строчной частоты, вокруг которых группируются достаточно узкие полосы сигналов боковых частот (рис.1.8), обусловленных кадровой разверткой и движением деталей изображения. Образуются дискретные зоны энергии, несущие информацию о передаваемом изображении, причем энергия этих зон уменьшается с ростом номера гармоники строчной частоты, что используются для передачи сигналов цветного ТВ.

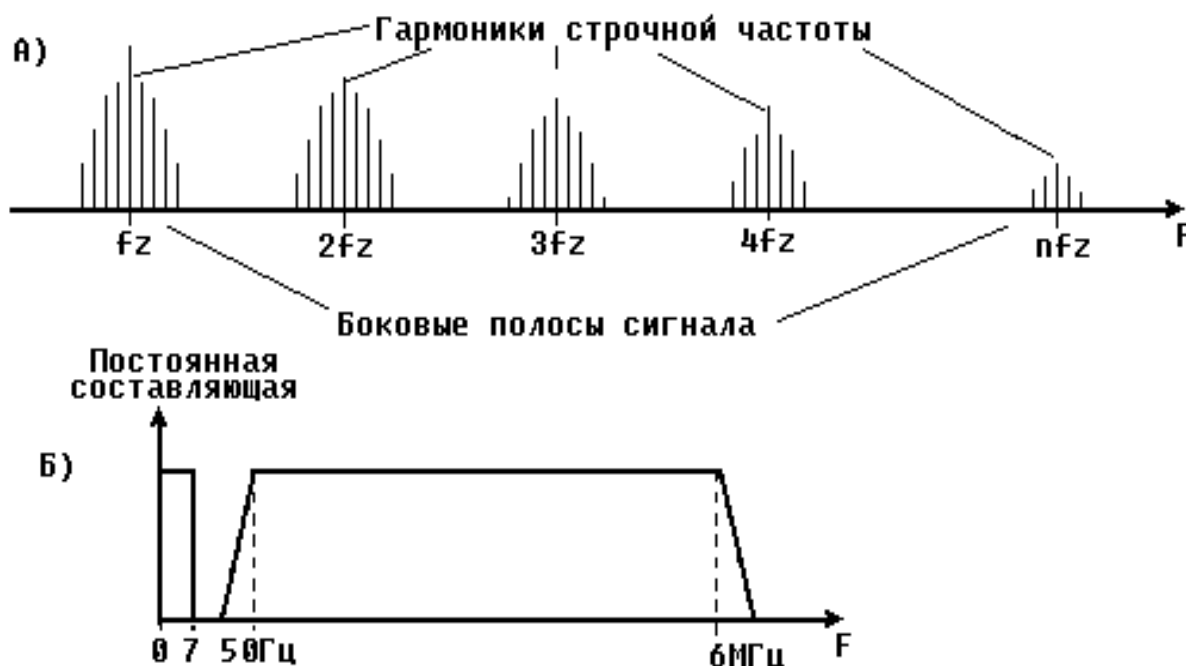


Рис.1.8. Примерная структура спектра ТВ сигнала (А) и его условно графическое обозначение (Б)

1.3. Сигналы цветного телевидения

К вещательным системам ЦТВ предъявляются следующие требования:

1. Совместимость с системой черно-белого ТВ, под которой понимается возможность приема без помех черно-белым приемником ЦТ программ в черно-белом виде. Этот принцип обеспечивает возможность одновременного функционирования цветных и черно-белых приемников. В связи с этим при разработке принципов построения систем ЦТВ должны быть учтены параметры стандартов черно-белого ТВ. Основные параметры – это частота строчной и кадровой разверток и полоса частот, занимаемая спектром.
2. Высокое качество цветовоспроизведения, которое оценивается степенью соответствия ТВ изображения оригиналу. Это означает, что цветность каждого элемента изображения не должна отличаться от соответствующего элемента оригинала, а отношение яркостей соответствующих элементов изображения и оригинала является величиной постоянной для всех передаваемых цветностей.
3. Относительная простота цветного ТВ приемника при его надежности при его экономической доступности.
4. Перспективность ЦТВ системы с точки зрения ее дальнейшего развития, включающее повышение качества преобразования, обработки и передачи изображения, а также передачу зрителю дополнительной информации с выводом ее на ТВ экран.
5. Совместимость стандартов для обеспечения возможности обмена программами с другими странами.

Для обеспечения совместимости необходимо передавать сигнал, обеспечивающий, на экране монохромного ТВ черно-белое изображение – **сигнал яркости или яркостной**, который формируется суммированием сигналов основных цветов в соотношении, определяемом спектральной чувствительностью глаза к основным цветам люминофоров. Приведенные расчеты показали, что для сигналов R,G,B относительное содержание основных цветов в яркостном описывается выражением:

$$E_Y = 0,30E_R + 0,59E_G + 0,11E_B. \quad (1.2)$$

Для создания такого сигнала используется **матрица**.

При наличии сигнала яркости нет необходимости передавать по каналу связи сигналы трех основных цветов. Достаточно передавать два из них, а третий можно будет получить в декодирующей матрице, вычитая их из яркостного.

Как показали исследования, человеческий глаз плохо воспринимает цвета мелких деталей. Связь между размерами детали и требующейся для ее передачи верхней границей полосы частоты, показана на рис.1.9 Многочисленные опыты показали, что с уменьшением размеров деталей их

видимая цветовая насыщенность становится меньше, причем для разных цветов эти размеры различны. Подобное явление потери цветового зрения связано с различной спектральной чувствительностью глаза (наибольшая для зеленого цвета, средняя для красного и малая для синего). Зависимость этой потери приведена на рис.1.9.

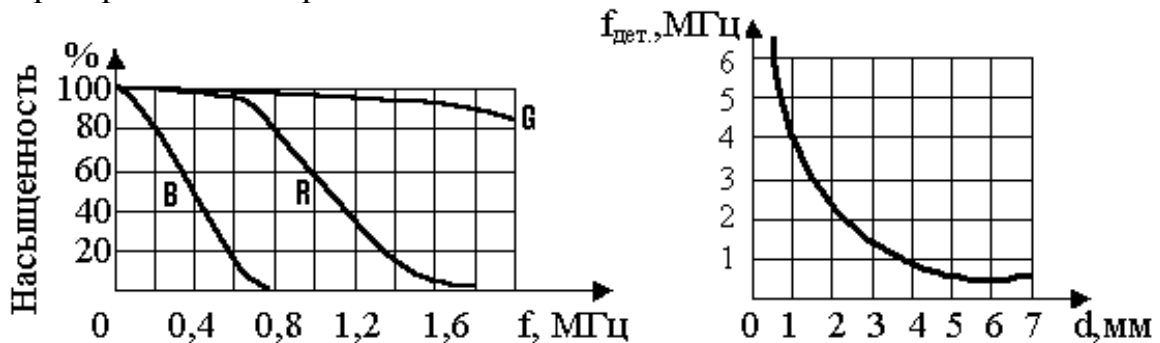


Рис.1.9. Зависимости цветовой чувствительности глаза от размеров деталей изображения

Из рисунка видно, что зеленые мелкие детали сохраняют различимость цвета почти до верхней границы ТВ спектра, в то время как для **красных** различимость падает около **1,4-1,6 МГц**, а для **синих** вообще на **0,6-0,8 МГц**. Это позволяет передавать цветовую информацию о двух основных цветах в сокращенной полосе частот (обычно до 1,5 МГц), поскольку глаз все равно мелкие детали в красном и синем цвете не воспринимает. Кроме того, т.к. яркостной сигнал несет полную информацию о яркостных соотношениях передаваемых элементов изображения, ее можно исключить из сигналов основных цветов. Т.е. по каналу связи можно передавать E_Y , E_{B-Y} и E_{R-Y} . Последние два сигнала получили название **цветоразностных сигналов, которые формируются в кодирующей матрице** в соответствии со следующими выражениями:

$$\begin{aligned}
 E_Y &= 0,30E_R + 0,59E_G + 0,11E_B \\
 E_{R-Y} &= 0,70E_R - 0,59E_G - 0,11E_B \\
 E_{B-Y} &= -0,30E_R - 0,59E_G + 0,89E_B
 \end{aligned}
 \tag{1.3}$$

Применение цветоразностных сигналов дает следующие преимущества, в результате чего они используются во всех системах цветного телевидения мира:

1. Вследствие того, что из этих сигналов частично исключена избыточная информация о яркости, их амплитуда обращается в 0 при передаче серых и белых деталей (на белом амплитуды основных цветов равны $= E_Y$) и мала на слабонасыщенных местах;
2. Цветоразностные сигналы упрощают построение декодирующих устройств приемника, т.к. исходные цвета могут быть получены простым суммированием цветоразностных сигналов с яркостным. Причем, сигналы основных цветов восстанавливаются сразу в полной полосе частот

(высокочастотная часть спектра из яркостного), что упрощает схему декодирования в приемнике.

Таким образом, полный цветной ТВ сигнал (ПЦТВС) содержит следующие компоненты:

1. Яркостной сигнал в полной полосе частот (6,5МГц);
2. 2 цветоразностных сигнала (R-Y и B-Y) в ограниченной до 1,5.МГцЦ полосе частот, которые для уплотнения спектра яркостного сигнала размещаются в его высокочастотной части посредством модуляции одной или двух поднесущих частот;
3. Сигналы синхронизации приемника;
4. Сигналы цветовой синхронизации.

На рис.1.10. представлены осциллограммы исходных RGB сигналов, а также яркостного и цветоразностных сигналов при формировании изображения цветных полос.

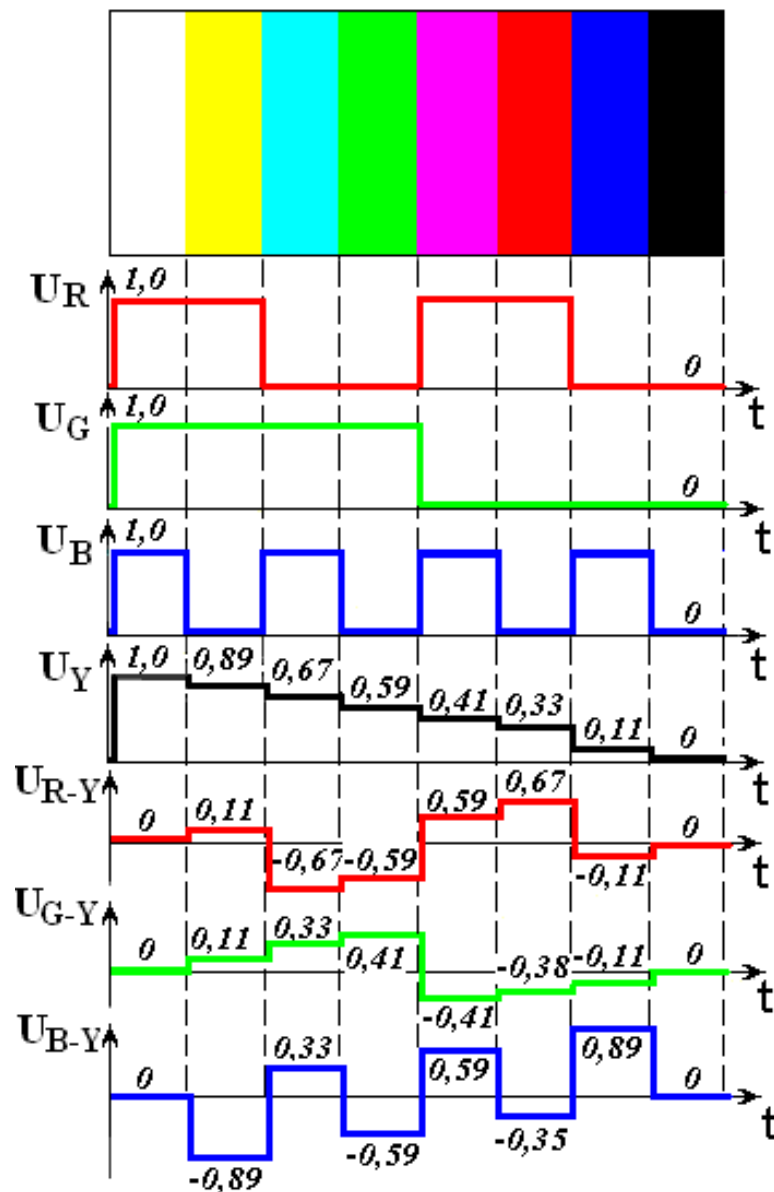


Рис.1.10. Осциллограммы яркостного и цветоразностных сигналов

1.4. Стандарты вещательного телевидения

В любой стране мира, в которой ведутся передачи телевизионных программ, основные характеристики и параметры системы черно-белого и цветного вещательного телевидения определяются стандартами. Любой стандарт обеспечивает работу всех составляющих частей системы на основе выполнения единых требований позволяющих получить максимальные показатели при экономических и технических ограничениях, свойственных данной системе связи. Стандарты вещательного телевидения разрабатывались в ряде ведущих стран (Великобритания, Германия, США, СССР, Франция) в разное время, и в каждой из них работы проводились без учета особенностей других стран, что и привело к возникновению различий, особенно в частотных каналах (ширина радиоканала, размещение несущих, размещение их боковых полос и т.д.). Остановимся на особенностях телевизионных стандартов современного мирового вещательного телевидения.

1.4.1. Стандарты черно-белого телевидения

Основные характеристики и параметры вещательного телевидения в ряде стран разрабатывались, выбирались и утверждались в период освоения диапазонов I — III МВ (41...68; 87,5...108 и 163...230 МГц соответственно), когда передачи могли вестись на 11-13 каналах. На первом этапе разработки стандартов было пять:

- **западно-европейский**, который иногда называют CCIR (International Radio Consultative Committee) или МККР (Международный Консультативный Комитет Радио);
- **восточно-европейский** — стандарт OIRT (International Organization Radio and Television) или МОРТ (Международная Организация Радиовещания и Телевидения);
- **американский** — стандарт FCC (Federal Communications Commission) или ФКС (Федеральная Комиссия Связи);
- **английский** — стандарт BBC-1 (British Broadcasting Corporation);
- **французский** — стандарт E (Standard de Television en France).

Основные параметры указанных стандартов вещательного телевидения приведены в табл. 1.1.

По мере внедрения вещательного телевидения в различных странах мира характеристики все более и более различаются, особенно в частотном спектре сигналов:

- по числу радиоканалов в каждом диапазоне;
- по граничным частотам радиоканала;
- по ширине боковой подавленной полосы и т.д.

В связи с этим в диапазоне **МВ** вещательного телевидения постепенно были утверждены 9 телевизионных стандартов, обозначенных заглавными буквами английского алфавита: **A, B, C, O, E, F, K1, M, N**.

В настоящее время **английский стандарт A (405 строк разложения изображения)** заменен на **стандарт I — 625 строк**, французские стандарты **E, F (819 строк)** заменены на стандарт **L— 625 строк**, а стандарт **C** не используется.

Оставшиеся семь стандартов **B, D, I, K1, L, M, N** обозначены по международной терминологии:

B — западно-европейский стандарт;

D и **K1** — восточно-европейские;

I — английский;

L — французский;

M и **N** — американские.

Таблица 1.1.

Основные параметры стандартов вещательного телевидения

Основные характеристики	Английский BBC-1	Американский FCC	Западно-европейский	Восточно-европейский CCIR	Французский E OIRT
Число строк в кадре	405	525	625	625	819
Число полей в секунду	50	60	50	50	50
Число строк в секунду	10125	15750	15625	15625	20475
Число кадров в секунду	25	30	25	25	25
Коэффициент формата	4/3	4/3	4/3	4/3	4/3
Ширина радиоканала МГц	5	6	7	8	14
Разнос между несущими частотами изображения и звука МГц	3,5	4,5	5,5	6,5	11,15
ПЧ изображения МГц	34,65	45,75	38,9	38	28,05
ПЧ звука МГц	38,15	41,25	33,4	31,5	39,2
Модуляция изображения	AM+	AM-	AM-	AM-	AM+
Модуляция звука	AM	ЧМ	ЧМ	ЧМ	AM

В настоящее время утверждены 10 телевизионных стандартов: **B, D, G, H, I, K, K1, L, M, N**, из которых вновь разработаны только три: **G, H, K**. Их можно представить следующим образом:

- **B, G, H** - западно-европейские;

- **D, K, K1** - восточно-европейские;

- **I** - английский;
- **L** - французский;
- **M** и **N** - американские.

Однако по мере освоения диапазона ДМВ определился целый ряд различий в частотном спектре сигналов:

- по номинальной полосе частот ширины диапазонов;
- по числу размещения радиоканалов в каждом диапазоне;
- по значениям граничных частот радиоканала;
- по ширинам боковой подавленной полосы и т.д.

Эти различия частотного спектра диапазона ДМВ отражены в таблице 1.2.

1.4.2. Стандарты цветного телевидения

В настоящее время в мире применяются три основные системы аналогового цветного телевидения **NTSC**, **PAL** и **SECAM** и их модификации. В этих системах используется группа из трех сигналов: яркости и двух цветоразностных, несущих информацию об интенсивности основных цветов. Во всех трех системах применяется метод частотного уплотнения сигнала яркости сигналами цветности, путем переноса спектра сигналов цветности на поднесущую, расположенную в высокочастотной части спектра сигнала яркости. Все эти три телевизионных стандарта процентов на 80 совпадают друг с другом, отличаясь только принципами кодирования цвета, именно поэтому большинство современных телевизоров имеет универсальные, автоматические декодеры цвета. Различие этих систем заключается в способах передачи информации о цвете в полосе частот спектра яркостного сигнала. Рассмотрим кратко основные особенности стандартов цветного ТВ.

NTSC (National Television System Committee) – Разработана в США и принята для вещания в 1953 г. Вещание по этой системе ведется, кроме США, также в Канаде, Японии, Южной Корее и ряде стран американского континента.

Передача сигналов цветности **I** и **Q** осуществляется с помощью одновременной модуляции цветовой поднесущей как по амплитуде, так и по фазе (квадратурная модуляция). В наиболее распространенном варианте стандарта используется частота цветовой поднесущей **3,579545 МГц**. Поэтому часто используется соответствующее обозначение **NTSC 3.58**. Для правильного восстановления сигналов цветности в телевизионном приемнике, в видеосигнале на гасящем импульсе строчной частоты передается сигнал цветовой синхронизации ("вспышка"), представляющий собой пакет колебаний цветовой поднесущей.

Основной недостаток системы - возможность появления искажений в передаче цвета. Они вызывают изменение цветового тона на экране

телевизора в зависимости от яркости данного участка изображения. Например, человеческие лица на экране окрашиваются в красноватый цвет в тенях и в зеленоватый - на освещенных участках. Для уменьшения этих искажений телевизоры NTSC оснащаются регуляторами цветового тона TINT CONTROL. Этот регулятор позволяет добиться более естественной окраски деталей с какой-то одной яркостью, однако искажения цветового тона более ярких или более темных участков изображения при этом даже возрастают.

Для просмотра на телевизорах системы PAL программ записанных в системе NTSC существует разновидность стандарта, обозначаемая как **NTSC4.43**.

Хотя в 1996 году в США принят новый стандарт цифрового телевидения, NTSC остается актуальной, из-за наличия у населения большого количества телевизионных приемников работающих в этой системе.

Система PAL (Phase Alternation Line) разработана фирмой Telefunken (ФРГ) в 1962-1966 г.г. Телевизионное вещание по этой системе ведется, в большинстве стран Западной Европы, в Австралии и ряде стран Азии и Африки.

PAL представляет собой усовершенствованный вариант системы NTSC. В системе PAL используются отличные от принятых в системе NTSC сигналы цветности U и V, пропорциональные цветоразностным сигналам E_{B-Y} и E_{R-Y} . Частота цветовой поднесущей выбрана равной **4,43361875 МГц (PAL 4.43)**. С целью уменьшения чувствительности к фазовым искажениям, характерной для системы NTSC, фаза модулированного сигнала V меняется от строки к строке на 180^0 . В результате система менее чувствительна к фазовым искажениям, чем NTSC, но в то же время в телеприемнике происходит усреднение сигналов цветности в двух соседних строках, что приводит к понижению вертикальной четкости цветовой составляющей. Разновидность стандарта PAL-60, поддерживает частоту смены полей 60 Гц, принятую в системе NTSC. Кроме того существует улучшенный вариант системы **PALplus**, обеспечивающий улучшенное качество при воспроизведении цветного изображения телевизором с форматом 16:9. Разработана эта система консорциумом ряда западноевропейских стран. На стандарт PALplus перешли большинство стран Западной Европы вещавших в системе PAL.

Основной целью разработки системы PALplus было устранение потерь вертикальной четкости при передаче широкоэкранных фильмов и сохранение совместимости с обычными телевизорами PAL. При воспроизведении на экране телевизора с форматом кинескопа 4:3 широкоэкранный фильма верхняя и нижняя части экрана остаются черными. В результате число строк, приходящихся на изображение, уменьшается, т. е. ухудшается вертикальная четкость.

Система PALplus обеспечивает вертикальную четкость **576 строк**. Для просмотра программ системы PALplus телевизор с форматом 16:9 должен

иметь соответствующий декодер PALplus. На обычном же телевизоре формата 4:3 работающем в системе PAL, программа будет выглядеть обычным образом.

Система SECAM (Sequentiel Couleur Avec Memoire), в русской транскрипции - СЕКАМ. Разработка системы была начата в 1953 г. французским инженером Анри де Франсом. В дальнейшем работы над совершенствованием системы проводились совместно французскими и российскими специалистами. После испытаний и доработок, в 1967 году было начато регулярное вещание по этой системе одновременно в СССР и Франции. В настоящее время стандарт SECAM принят также в ряде других стран Восточной Европы, Азии и Африки.

Основная особенность системы – поочередная, через строку, передача сигналов цветности D_R и D_B , пропорциональных цветоразностным сигналам E_{R-Y} и E_{B-Y} , с дальнейшим восстановлением в телеприемнике недостающего сигнала с помощью линии задержки. Сигналы цветности передаются на двух поднесущих с частотами **4,25** и **4,40625 МГц**.

Искажения цвета в SECAM проявляются иначе, чем в NTSC. На цветовых полях, где яркость постоянна, искажения в системе SECAM не проявляются. Лишь на цветовых переходах искажения могут проявиться в виде цветных окантовок или тянущихся продолжений. Обычно после ярких участков изображения окантовка имеет синий цвет, а после темных – желтый. В то же время система SECAM обеспечивает в два раза меньшую (также как и система PAL), чем в NTSC, вертикальную четкость цветного изображения.

В разных странах применяются различные варианты трех вышеуказанных систем, определяемые используемыми телевизионными стандартами. Стандарты различаются числом строк изображения, шириной полосы видеосигнала, разнесом частот несущих видео и звука и некоторыми другими параметрами. Так стандарты PAL и SECAM также имеют различные варианты, отличающиеся в основном шириной полосы видеосигнала, разностью между частотами несущих звука и изображения, а также шириной полосы радиоканала. Варианты того или иного телевизионного стандарта принято обозначать заглавной латинской буквой, добавляемой к названию системы ТВ, например, стандарт SECAM B/G используется в странах Среднего Востока: Греции, Египте, Ираке, Иране и пр., поэтому SECAM B/G часто называют MESECAM (Middle East SECAM – SECAM Ближнего Востока).

Таким образом, в настоящее время существуют 10 стандартов черно-белого телевидения и еще 3 стандарта цветного ТВ (PAL, SECAM, NTSC), которые базируются на стандартах черно-белого ТВ, поэтому в общей совокупности в мире существует **30 стандартов, основные параметры которых представлены в таблице 1.2.**

2.ЦИФРОВЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИГНАЛЫ

2.1. Аналого-цифровое преобразование сигналов изображения

Различают сигналы **аналоговые** и **цифровые**.

Аналоговые сигналы изменяются по закону непрерывной функции, то есть между двумя соседними уровнями сигнала может существовать множество промежуточных значений. На рис.2.1. представлен вид аналогового композитного ТВ сигнала системы SECAM (А) и фрагмента звукового сигнала (Б).

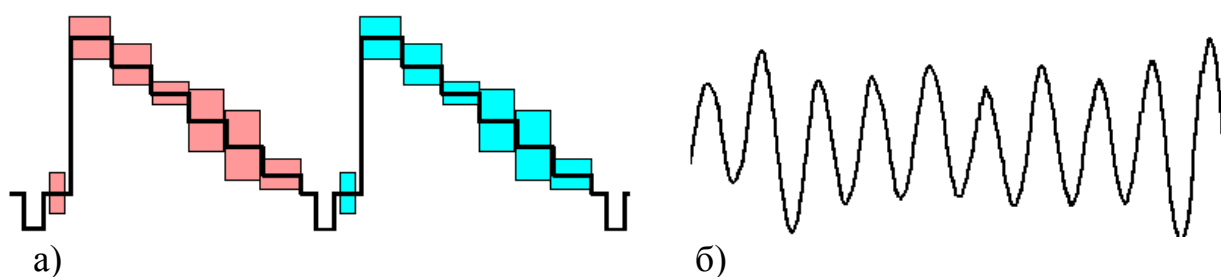


Рис. 2.1. Аналоговые телевизионный (а) и звуковой сигналы (б)

Причем, к аналоговым сигналам относятся не только сигналы непрерывные во времени, но и импульсные, в которых информация закладывается в изменение длительности импульсов (широтно-импульсная модуляция – ШИМ) или в их начальное положение во времени (фазиимпульсная модуляция – ФИМ), как показано на рис.2.2.

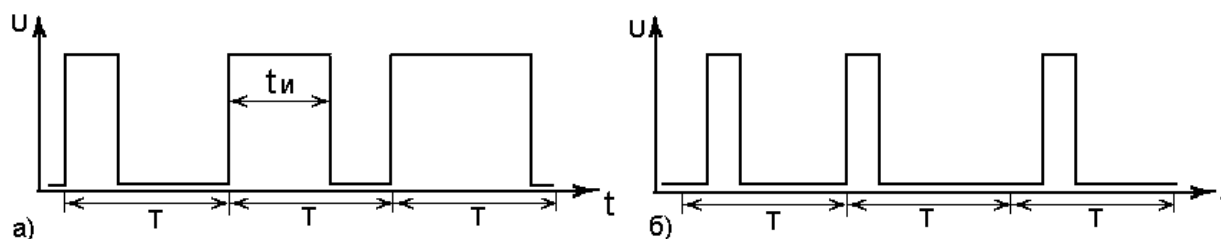


Рис.2.2. Примеры широтно-импульсных (а) и фазиимпульсных (б) аналоговых сигналов.

Цифровые сигналы, наоборот дискретны по уровню и времени и обычно представляют собой измеренные значения отсчетов аналоговых сигналов **представленные в виде двоичного кода**. Отсюда и происходит термин «**цифровой**» («**digital**»), который часто характеризует современное радиоэлектронное оборудование.

ТВ системы, где для передачи, консервации, обработки и приема используется аналоговый сигнал, называются аналоговыми. Эти системы имеют ряд недостатков, среди которых низкая помехоустойчивость аналогового сигнала, вследствие воздействия шумов, помех и искажений в каждом блоке ТВ оборудования. При этом помехи и искажения каждого звена накапливаются, особенно в аппаратуре спецэффектов, которые улучшают художественное восприятие телепередач, но требуют

дополнительных преобразований сигналов. Поэтому повышение помехозащищенности приобретает все более важное значение. Существенно уменьшить искажения от помех и решить ряд других задач позволяют цифровые методы.

В таких системах на вход тракта цифрового ТВ поступает аналоговый сигнал, где он кодируется, преобразуясь в цифровую форму. Это преобразование представляет комплекс операций, основными из которых являются: **дискретизация, квантование и непосредственно кодирование.**

Дискретизация это процесс замены значений непрерывного аналогового сигнала последовательностью его мгновенных значений (**отсчетов**) взятых в определенные моменты времени, которые при **равномерной дискретизации**, выбираются по **теореме Котельникова**. По этой теореме для того чтобы **передать любой непрерывный сигнал, имеющий ограниченный спектр частот (рис.2.3,а), достаточно передавать не менее 2 значений в самой высокочастотной компоненте этого сигнала. То есть измерения должны производиться с частотой дискретизацией $\geq 2F_{\max}$ (рис.2.3,б),** где **F_{\max}** – максимальная частота спектра исходного сигнала. Если же частота дискретизации будет меньше **$2F_{\max}$** , то это приведет к перекрытию спектров в результате чего в восстановленном сигнале появится ложная составляющая с частотой ниже, чем частота исходного непрерывного сигнала. В англоязычной технической литературе это явление называется «**aliasing**» (от **alias** - **вымышленное имя**). Такие искажения сигналов необратимы и не могут быть устранены никаким фильтром. Поэтому во многих случаях частоту дискретизации задают не в 2 раза, а в 5... 10 раз превышающей верхнюю граничную частоту исходного сигнала. Такой прием в англоязычной литературе называют **oversampling** (**сверх дискретизация или избыточная дискретизация**), благодаря которому можно применять более простые ФНЧ для ограничения полосы частот входного сигнала. Однако, такой подход приводит к резкому увеличению цифровых данных, что увеличивает затраты времени на их передачу по каналам связи или объемов памяти для их хранения. Поэтому после сверх дискретизации, применяется метод удаления лишней части отсчетов, который называется **прореживанием** или **децимацией**. В некоторых случаях, например, для увеличения размеров изображений, требуется увеличить число отсчетов. В этом случае используется метод вычисления значений дополнительных отсчетов по значениям соседних отсчетов. Такая операция называется **интерполяцией**.

Поскольку человек воспринимает информацию только в аналоговой форме, то на приемной стороне производится обратное преобразование цифрового сигнала в аналоговый. Для этой цели отсчеты цифрового сигнала необходимо пропустить через идеальный ФНЧ с частотой среза равной **F_{\max}** . Процесс вычисления значений пикселей по соседним значениям называется **интерполяцией**.

В телевидении, при оцифровке сигналов изображения, наиболее часто применяется дискретизация с постоянной частотой. При этом частота

дискретизации может быть связана или не связана с частотами разверток (рис.2.3.). Если частоты дискретизации и разверток формируются от одного тактового генератора, то между ними существует жесткая связь. При этом в каждой строке получается одинаковое число отсчетов, расположенных на одном и том же расстоянии друг от друга. В этом случае на изображении получается **фиксированная ортогональная структура дискретизации**, где отсчеты располагаются в узлах прямоугольной решетки (рис.2.4,а). Этот способ наиболее распространен в студийном оборудовании цифрового ТВ вещания.

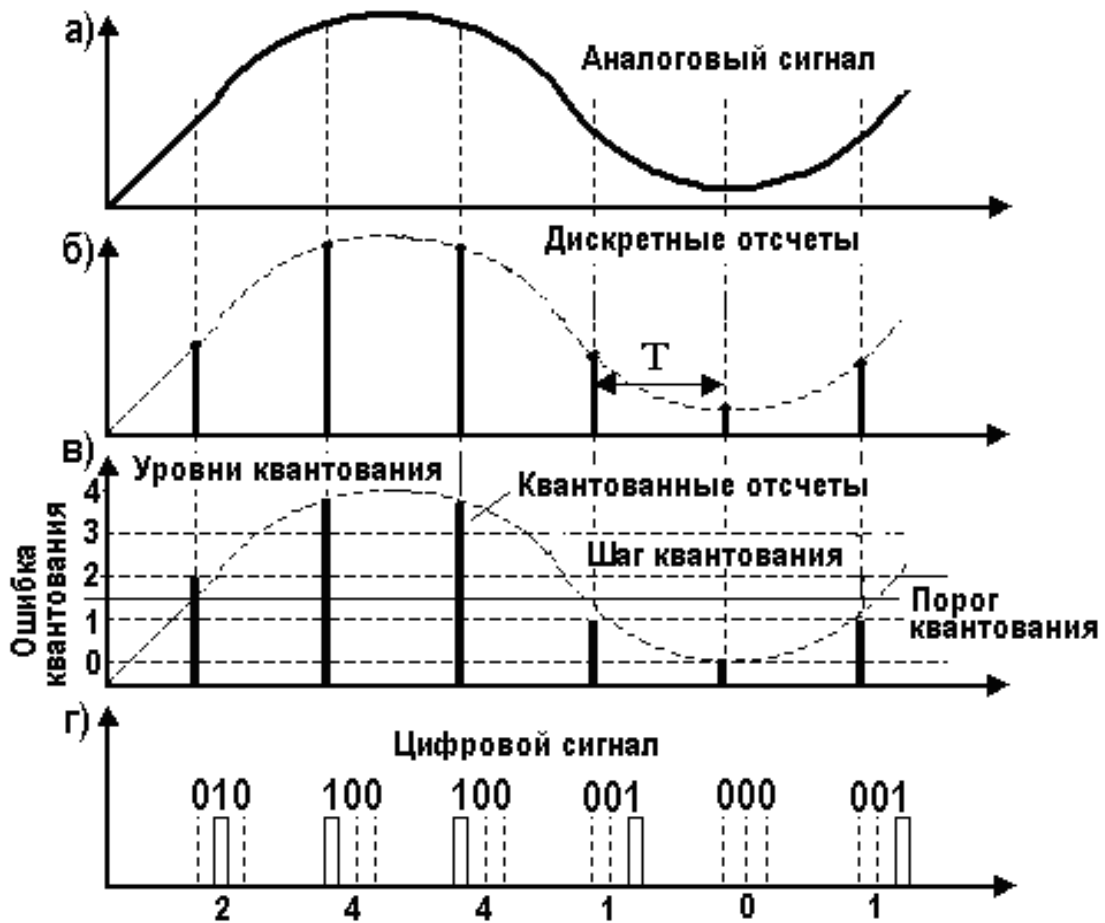


Рис.2.3. Преобразование аналогового сигнала в цифровую форму

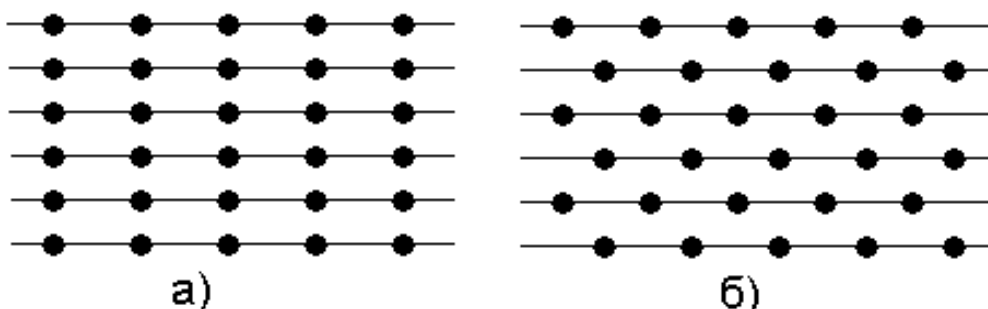


Рис.2.4. Взаимное расположение отсчетов в строках кадра при жесткой связи частоты дискретизации с разверткой (а) и не связанной с разверткой (б).

В более простых и дешевых устройствах, например в бытовых телевизионных тюнерах, частота дискретизации формируется отдельным генератором, не связанным с частотой разверток ТВ сигнала. В этом случае в соседних строках формируется различное количество отсчетов с различными координатами. При этом, структура дискретизации отсчетов в кадре может иметь вид представленный на рис. 2.4,б.

После дискретизации следует процесс квантования, то есть с какой точностью необходимо измерять уровень отсчетов. Так, например, при измерении температуры на улице нам достаточно точность в один градус, а при измерении температуры больного человека, требуется точность в 0,1 градус. Также и в телевидении, необходимо определить сколько требуется передавать уровней яркости (уровней квантования) в ТВ сигнале, чтобы изображение воспринималось хорошим. Таким образом, квантование это тоже дискретизация, но не времени, а по уровню (рис.2.3,в). При этом разница между уровнями квантования называется шагом квантования, а округление отсчетов до ближайшего верхнего или нижнего уровня определяется порогом квантования. Поэтому операция квантования обязательно предполагает появление ошибки между истинным значением сигнала и его квантованным приближением, то есть ошибки или шумов квантования (рис.2.3,в). На рис.2.5 показано изображение с плавно изменяющейся яркостью и как проявляются его искажения при квантовании сигнала.

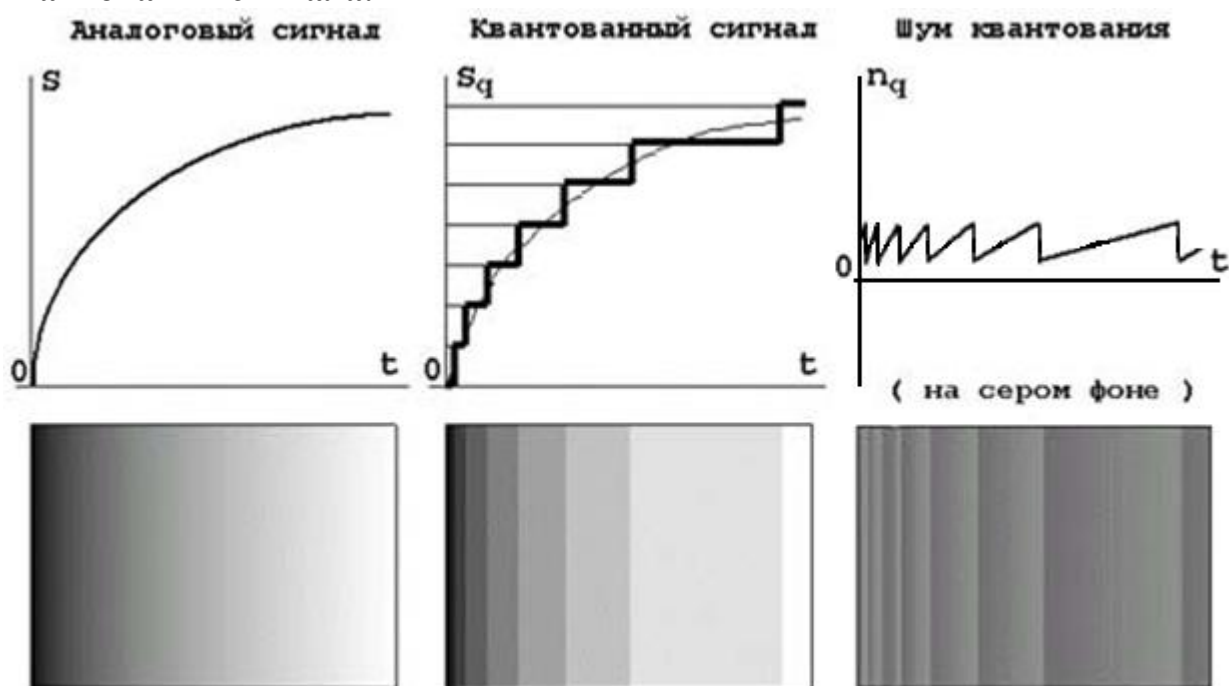


Рис.2.5. Аналого-цифровое преобразование. Квантование

Таким образом, квантованный сигнал, в отличие от исходного аналогового, может принимать только конечное число значений. Это позволяет представить его в пределах каждого интервала дискретизации числом, равным порядковому номеру уровня квантования. В свою очередь это число можно выразить комбинацией некоторых знаков или символов.

Совокупность знаков (символов) и система правил, при помощи которых данные представляются в виде набора символов, называют кодом. Конечная последовательность кодовых символов называется кодовым словом. Квантованный сигнал можно преобразовать в последовательность кодовых слов. Эта операция и называется кодированием. Каждое кодовое слово передается в пределах одного интервала дискретизации. Для кодирования сигналов звука и изображения широко применяют двоичный код. Если квантованный сигнал может принимать N значений, то число двоичных символов в каждом кодовом слове $n \geq \log_2 N$. **Один разряд, или символ слова, представленного в двоичном коде, называют битом.** Обычно число уровней квантования равно целой степени числа 2, т.е. $N = 2^n$,

Дискретизация, квантование и кодирование обычно выполняются одним устройством – **аналого-цифровым преобразователем (АЦП)**, как показано на рис.2.6, а обратное преобразование производится в **цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП)**. В зависимости от конструкции АЦП цифровые данные могут быть представлены в виде параллельного или последовательного n -разрядного двоичного кода. В АЦП параллельного типа каждый двоичный разряд кода передается по отдельным сигнальным линиям, что упрощает передачу сигналов в межблочных соединениях, но требует большого числа соединительных линий. При передаче цифровых сигналов на расстояние более 1,5-2 метров используются АЦП формирующие последовательный код, где информационные биты передаются друг за другом по одной сигнальной линии, однако скорость передачи данных возрастает в величину разрядности кода. Вариант формирования 4-х разрядного параллельного и последовательного кода представлен на рис.2.6.

Исследования цифрового способа передачи применительно к ТВ начались еще в 30-е годы прошлого века, но лишь в конце 20 века началось его применение в вещательном ТВ. Это обусловлено довольно жесткими требованиями к быстродействию устройств преобразования и передачи цифрового сигнала, поскольку для вещательного ТВ сигнала с верхней частотой спектра **6 МГц** необходима частота дискретизации **$f_{\text{факт}}=12$ МГц**. Однако в системах **цифрового ЦТВ** для совместимости цифрового ТВ сигнала стандартов различных стран ее устанавливают равной **13,5 МГц**. Для обеспечения максимального числа градаций яркости различимых глазом, которое колеблется от 130 до 200 необходимо использовать 8 разрядный код, обеспечивающий передачу **256 полутонов**. При этом скорость передачи для оцифрованного композитного сигнала составит:

$$C=Nf_{\text{факт}}= 8*13,5=108 \text{ Мбит/с}, \quad (2.1)$$

где, N – разрядность кода.

Таким высоким быстродействием должны обладать как устройства обработки ТВ сигнала, так и каналы связи для его передачи, что технически трудно реализуемо.

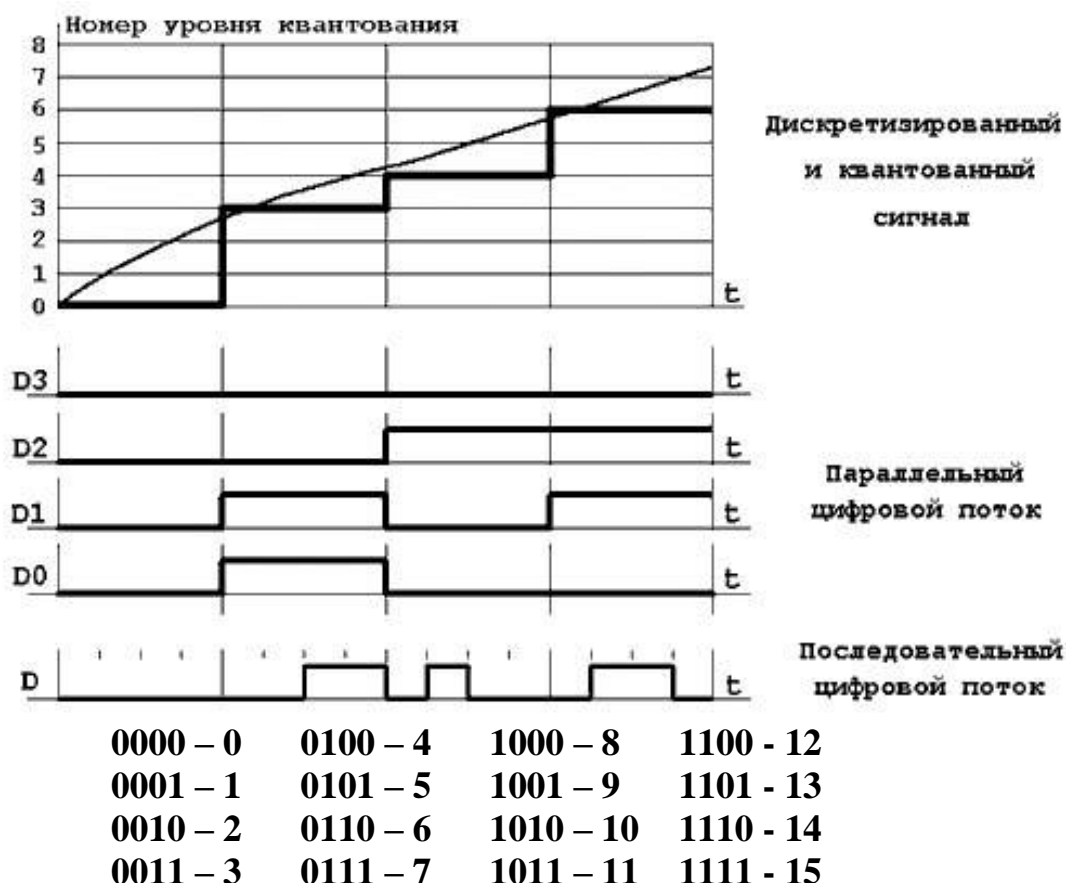


Рис.2.6. Аналого-цифровое преобразование с формированием параллельного и последовательного двоичного кода.

Для сокращения требуемой скорости передачи используют специальные методы сжатия объемов данных ТВ сигналов, основанные на устранении информационной избыточности, которую разделяют условно на **статистическую и физиологическую**.

Статистическая избыточность определяется свойствами изображений, которые не являются в общем случае хаотическим распределением яркостей, а описываются законами, устанавливающими определенные связи (корреляцию) между яркостями отдельных элементов. Особенно велика корреляция между соседними в пространстве и времени элементами изображения, что позволяет не передавать многократно одну и ту же информацию, и тем самым сократить цифровой поток.

Физиологическая избыточность обуславливается ограниченностью возможностей зрительного аппарата человека, то есть можно не передавать в сигнале информацию, которая не будет воспринята нашим зрением.

2.2. Аналого-цифровое преобразование сигналов звука

Человек может воспринимать звук в диапазоне от 15 Гц до 22 кГц, правда с увеличением возраста человека, этот диапазон сужается и средний

взрослый человек слышит звуки от 20 Гц до 18 кГц. Такая же ситуация и с восприятием амплитуды волны, то есть с громкостью. Динамический диапазон человеческого уха составляет 96 дБ то есть, самый громкий звук (выше которого находится болевой порог) более чем в 30 тысяч раз интенсивнее самого тихого, который ухо может различить. Кроме того, человек воспринимает звук двумя ушами, что позволяет ему определять пространственное расположение источника звука с точностью до 1 градуса. Поэтому при аналого-цифровом преобразовании **звукового сигнала (ЗС)**, представленного на рис.2.7, необходимо учитывать особенности нашего слухового восприятия.

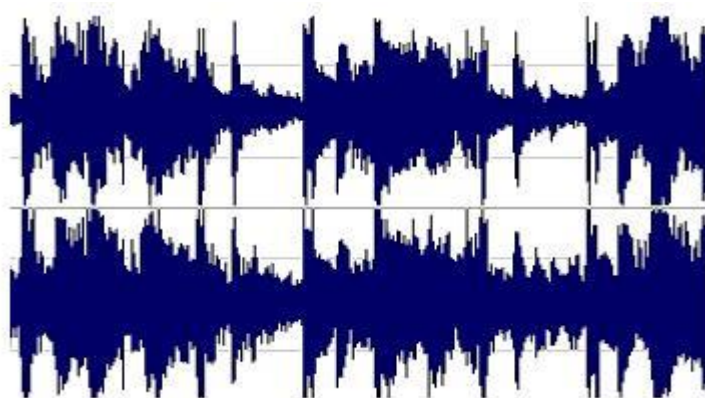


Рис.2.7. Временное представление двухканального аудио сигнала.

Поэтому, учитывая очень широкий динамический диапазон звукового сигнала, в студийном тракте используется первичное квантование отсчетов с разрешением $\Delta A = 16..24$ бит/отсчёт при частоте дискретизации $f_D = 44,1..96$ кГц. В каналах студийного качества часто используют 16 разрядное кодирование ЗС (16бит/отсчёт) при частоте дискретизации $f_D = 48$ кГц с полосой частот $\Delta F = 20..20000$ Гц. Динамический диапазон такого цифрового канала должен быть не менее 54 дБ. Если $f_D = 48$ кГц и $\Delta A = 16$ бит/отсчёт, то скорость цифрового потока при передаче одного такого сигнала составит $v = 48 * 16 = 768$ кбит/с, а для стерео звука более 1,5 Мбит/с. Такая довольно высокая частота дискретизации (48 кГц) используется для упрощения конструкции ФНЧ входной части АЦП который, для предотвращения искажений звучания, не должен пропускать звуковые колебания с частотой выше 20 кГц.

Таким образом, при оцифровке ЗС обычно используется 16 разрядное равномерное квантование отсчетов из которых старший бит используется в качестве знакового, т.е. показывает полярность данного отсчета сигнала. Так же нельзя допускать, чтобы уровень сигнала приблизился к максимально возможному, чтобы в АЦП не возникло ограничение сигнала, приводящее к сильным искажениям воспроизводимого звука.

В таблице 2.1 представлены параметры некоторых вариантов цифрового представления звуковых сигналов.

Таблица 2.1.

Область использования	Частота дискретизации, кГц	Число уровней квантования	Скорость передачи двоичных символов, кбит/с
Компакт-диски	44,1	$\pm 32\ 768$	705,6 (на один канал)
Цифровое радиовещание, цифровое ТВ-вещание	48	$\pm 32\ 768 \dots$ $\pm 524\ 288$	768... 960 (на один канал)

2.3. Цифровое представление видео сигнала в соответствии с рекомендацией ITU-R 601

Рекомендация ITU-R-ВТ601 (International Telecommunication Union или просто Рекомендация 601) определяет единый международный стандарт цифрового кодирования телевизионного сигнала для студийной аппаратуры. Этот стандарт применяется и в современных полностью цифровых телевизионных системах при цифровом представлении телевизионных сигналов обычной четкости. В данном стандарте предусмотрено отдельное цифровое кодирование яркостного (Y) и двух цветоразностных сигналов которые называют часто цветностью красного **Cr (Chroma red)** и цветностью синего **Cb (Chroma blue)**. Кроме того, в технической литературе сигналы цветности **Cr** и **Cb** часто обозначаются, как **V** и **U**. Такой вариант отдельного кодирования компонент ТВ сигнала называется *компонентным*.

2.3.1. Форматы представления цифровых телевизионных сигналов

В соответствии с рекомендацией 601 установлено одно значение частоты дискретизации сигнала яркости равное 13,5 МГц для обоих стандартов развертки - **25 Гц, 625 строк** и **30 Гц, 525 строк**. Каждый цветоразностный сигнал дискретизируется с вдвое меньшей частотой 6,75 МГц, поскольку величинам 13,5 и 6,75 МГц кратна, как частота строчной развертки стандарта телевизионного разложения **625/50**, так и частота развертки стандарта **525/60**. Собственно, выбор в качестве базовой именно частоты **3,375 МГц** во многом связан с соображениями кратности с частотами строчной развертки двух мировых стандартов разложения. Это важно потому, что позволило ввести единый мировой стандарт цифрового кодирования компонентного видеосигнала, при котором **в активной части строки содержится 720 отсчетов яркостного сигнала и по 360 - каждого цветоразностного**. Различие в системах **625/50** и **525/60** заключается в разном числе строк и несколько отличающейся длительности интервала гашения. Полная скорость передачи цифрового компонентного видеосигнала при 8 и 10-битовом кодировании составляет:

$$8 \times 13,5 + 8 \times 6,75 + 8 \times 6,75 = 216 \text{ Мбит/с.}$$

$$10 \times 13,5 + 10 \times 6,75 + 10 \times 6,75 = 270 \text{ Мбит/с.}$$

Такой **формат дискретизации** ТВ сигналов обозначается как **4:2:2**, а взаимное расположение отсчетов яркостного (Y) и цветоразностных сигналов (Cr и Cb) показано на рис.2.8., при этом полное количество передаваемых в каждом кадре элементов изображения для сигнала яркости равно **414 720**. Кроме формата 4:2:2 предусмотрен и ряд других форматов, некоторые из которых рассмотрим подробнее.

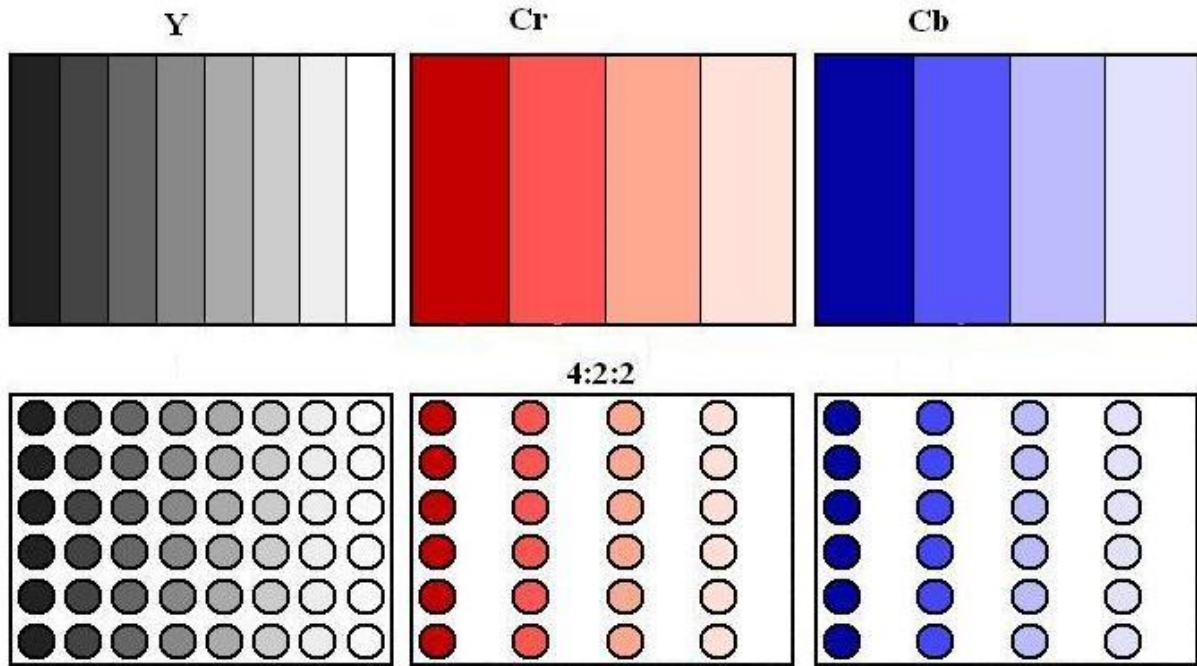


Рис.2.8. Расположение отсчетов яркостного (Y) и цветоразностных сигналов Cr,Cb в формате 4:2:2.

Формат 4:4:4 - предполагает использование частоты 13,5 МГц для всех трех компонентов красного, зеленого и синего цвета (R,G,B) или для сигналов яркости и цветности (Y,Cr,Cb) (рис.2.9.). Это означает, что все компоненты передаются в полной полосе частот. Для каждого компонента в активной части кадра оцифровывается 576 строк по 720 элементов. Скорость цифрового потока при 10-битовом кодировании составляет 405 Мбит/с. Данный формат может использоваться в студийном оборудовании телецентра.

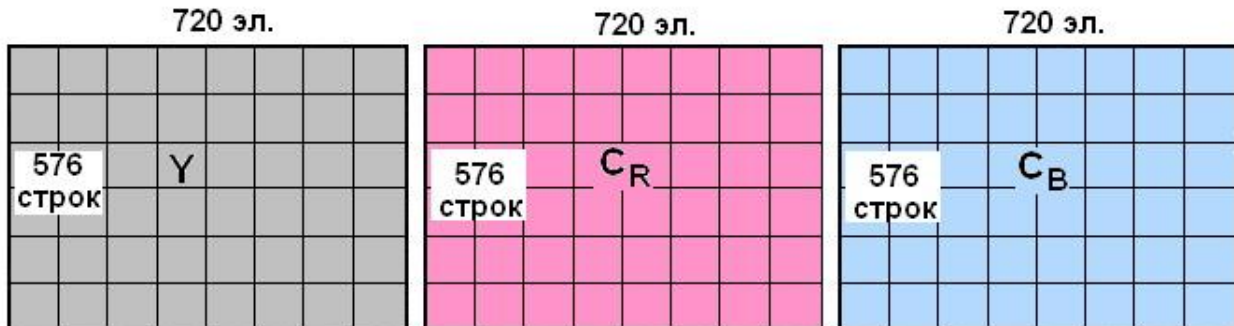


Рис.2.9. Кодирование компонентного видеосигнала в формате 4:4:4.

Формат 4:4:4:4 описывает кодирование четырех сигналов (рис.2.10), три из которых являются компонентами видеосигнала (R, G, B или Y, Cr, Cb), а четвертый (альфа-канал) несет информацию об обработке сигнала, например, о прозрачности изображения переднего плана при наложении нескольких изображений. Дополнительным четвертым сигналом может также быть сигнал яркости Y в дополнении к сигналам основных цветов R, G, B. Частота дискретизации всех сигналов - 13,5 МГц, т.е. все сигналы передаются в полной полосе. Данный формат может применяться в студийном оборудовании и при создании спец эффектов за счет компьютерной графики. При этом скорость передачи данных при 10-битном кодировании равна 540 Мбит/с.

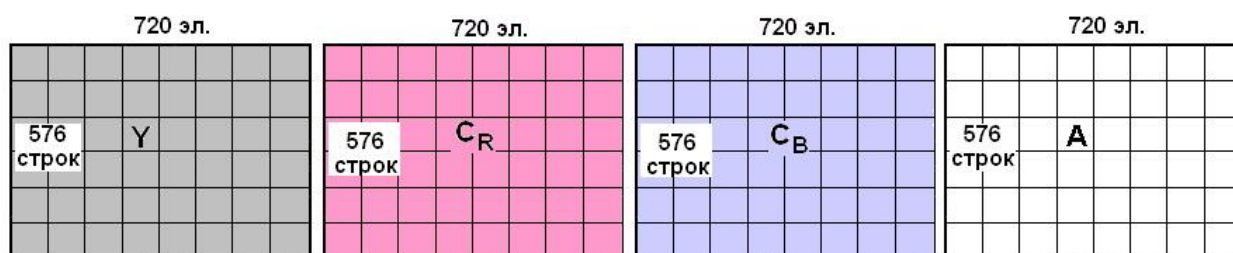


Рис. 2.10. Кодирование компонентного видеосигнала в формате 4:4:4:4.

Формат 4:2:0 используется при через строчной развертке. При этом формат описывает кодирование, в котором яркостная компонента Y содержит в активной части кадра 576 строк по 720 отсчетов, а цветоразностные компоненты Cr и Cb - 288 строк по 360 отсчетов (рис. 2.11).

Формат **4:1:1** предлагает двукратное уменьшение частоты дискретизации цветоразностных сигналов (в сравнении со стандартом 4:2:2). Яркостной сигнал Y дискретизируется с частотой 13,5 МГц, а цветоразностные (Cr и Cb) - 3,375 МГц. Это приводит к двукратному уменьшению горизонтального разрешения в цвете. В активной части кадра 576 строк, каждая из которых содержит 720 элементов сигнала яркости и по 180 - цветоразностных сигналов (рис.2.12).



Рис. 2.11. Кодирование компонентного видеосигнала в формате 4:2:0.

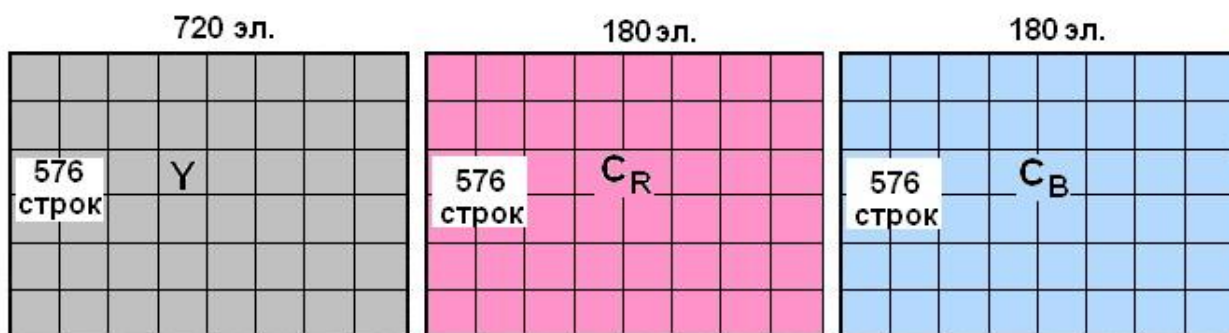


Рис. 2.12. Кодирование компонентного видеосигнала в формате 4:1:1.

Варианты кодирования 4:1:1 и 4:2:0 характеризуются одинаковой скоростью передачи данных - 202,5 Мбит/с для 10 разрядного кодирования и 162 Мбит/с - для 8 разрядного. Если передавать только активную часть изображения (без обратного хода), то величина цифрового потока при 8 битах на слово составит 124 Мбит/с. Цифровые сигналы этих двух форматов могут быть получены из сигналов стандарта 4:2:2 путем предварительной обработки и децимации (прореживания отсчетов) с целью сокращения скорости потока. Формат 4:1:1 оказывается более удобным для систем со стандартом разложения 525/60, а формат 4:2:0 - для систем 625/50. Это связано с тем, что потеря вертикальной четкости более заметна в системе с меньшим числом строк (525/60), а потеря горизонтальной четкости более заметна в системе 625/50.

2.3.2. Цифровое представление компонент телевизионного сигнала

В рекомендации 601 для всех сигналов предусмотрено 8 и 10 разрядное кодирование $b=8$ ($b=10$), что дает число уровней квантования $N_{кв} = 256$ (1024). При 8-разрядном коде, уровню черного сигнала яркости соответствует 16-й уровень квантования, а номинальному уровню белого - 235-й уровень. 16 уровней квантования снизу и 20 уровней квантования сверху образуют резервные зоны на случай выхода значений аналогового сигнала яркости за пределы номинального диапазона. Особые назначения имеют 0-й и 255-й уровни квантования. С помощью соответствующих им кодов передаются сигналы строчной и кадровой синхронизации.

При аналого-цифровом преобразовании яркостных и цветоразностных компонентов ТВ сигнала на вход АЦП поступают следующие сигналы:

- E'_Y - аналоговый сигнал яркости в диапазоне от 0 до 1 В, прошедший гамма коррекцию.
- Компрессированные цветоразностные сигналы в диапазоне $-0,5 \dots +0,5$ В, соответствующие соотношениям:

$$E_{CR}=0,713E'_{R-Y} \text{ и } E_{CB}=0,564E'_{B-Y} \quad (2.2)$$

В отличие от яркостного сигнала, который всегда имеет положительную полярность, цветоразностные сигналы могут иметь как положительную, так и отрицательную полярность. При цифровом кодировании положительные и отрицательные значения находятся далеко друг от друга. Так, близко расположенные значения (1) и (-1) в цифровом представлении передаются кодами 0001 и FFFF, что нарушает их статистическую связь (корреляцию) при обработке в компрессорах. Поэтому для цифровых цветоразностных сигналов применяют сдвиг их уровней на половину диапазона квантования. При 8 разрядном кодировании этому соответствует уровень 128 (256/2). Таким образом, нулевое значение сигнала соответствует серому цвету (128 уровень), относительно которого положительные значения сигнала занимают уровни выше 128, а отрицательные – ниже. Такое преобразование цифровых компонент ТВ сигнала описывается следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} Y &= \text{Round}(219 E'_Y) + 16, \\ C_R &= \text{Round}(224 C'_R) + 128 \\ C_B &= \text{Round}(224 C'_B) + 128 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Где: Y- цифровой сигнал яркости, изменяющийся в диапазоне от 16 до 235, Round(x) - операция округления числа x до целого.

На рис. 2.13 показано соответствие между уровнями аналоговых ТВ сигналов и уровнями квантования при 8 и 10 разрядном кодировании для изображения в виде восьми цветных полос.

Для нормальной работы ТВ системы в состав цифрового ТВ сигнала согласно Рекомендации ITU-R-ВТ 601 входят **синхросигналы**. Перед началом активного участка каждой строки в конце строчного гасящего импульса передается синхросигнал начала активной строки **НАС** (SAV - Start Active Video), а после окончания активного участка каждой строки в начале строчного гасящего импульса передается синхросигнал конца активной строки **КАС** (EAV - End Active Video).

Для передачи сигналов синхронизации НАС и КАС используется специальная кодовая комбинация из 4-х байт:

FF 00 00 (xx)

При 8 битном кодировании первый байт состоит из восьми двоичных единиц, что соответствует десятичному числу **255** (в шестнадцатеричной записи FF), а при использовании 10 разрядного кодирования используется число **1023 (3FF)**. Следующие два байта равны 0. Назначение двоичных разрядов последнего 4-го байта (xx) представлено в табл.2.2.

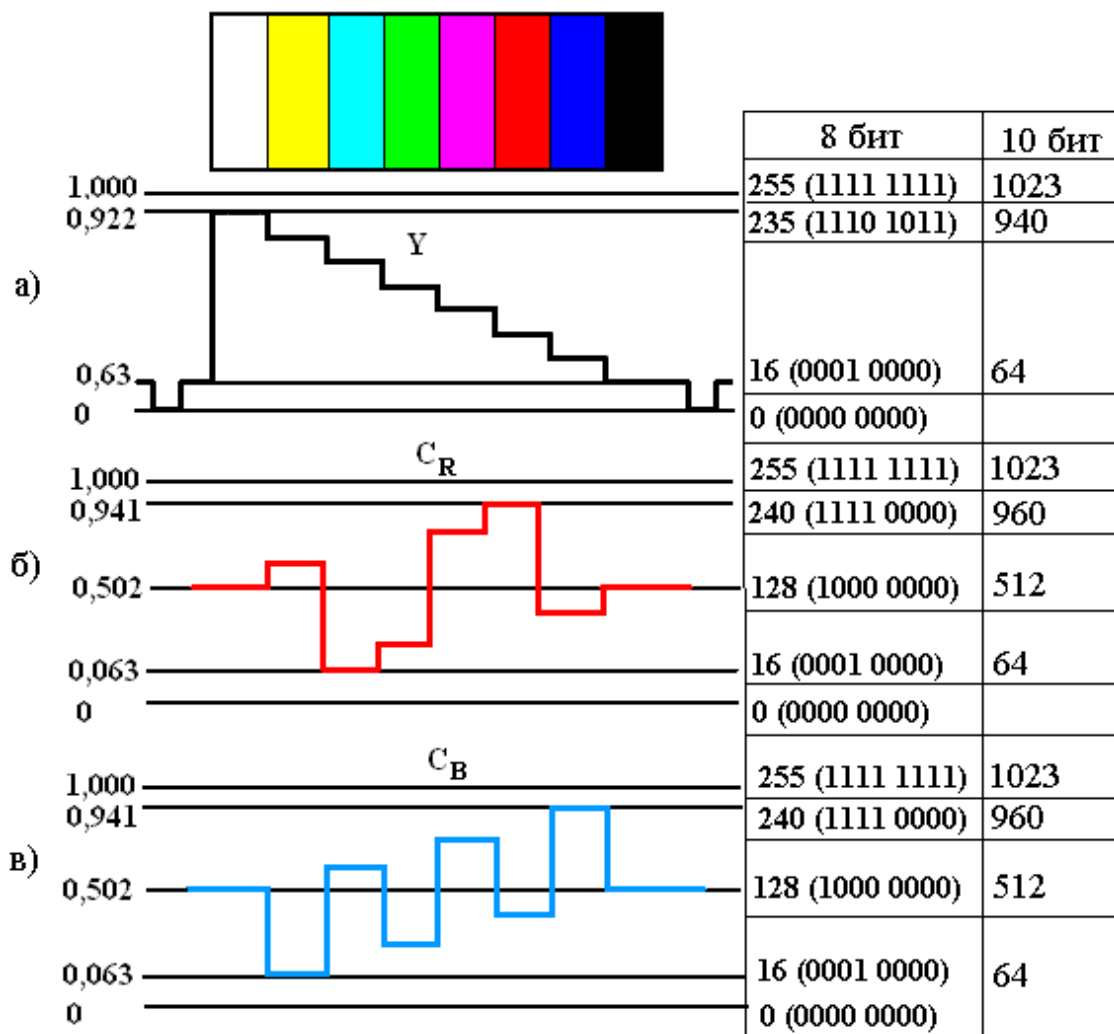


Рис.2.13. Соответствие между уровнями компонент аналогового ТВ сигнала и уровнями их квантования по стандарту ITU-R BT 601 при 8 и 10 битном кодировании

Таблица 2.2

Назначение двоичных разрядов 4-го байта синхросигнала

Номер разряда	Обозначение	Выполняемая функция
0	P0	Проверочный бит
1	P1	Проверочный бит
2	P2	Проверочный бит
3	P3	Проверочный бит
4	H	H=0 для НАС (начало активной части строки) H=1 для КАС (конец активной части строки)
5	V	V=1 во время кадрового гашения, V=0 вне этого интервала
6	F	F=0 во время передачи первого полукадра, F=1 во время передачи второго полукадра
7	1	Проверочный бит, постоянное значение 1

В цифровом ТВ сигнале большая часть длительности строчного гасящего импульса между синхросигналами НАС и КАС, примерно 20,7 мкс (280 периодов тактовых импульсов из 288), остается свободной. Поэтому в этом интервале можно передавать различную информацию, например, цифровые сигналы звукового сопровождения.

2.3.3. Цифровое представление композитного телевизионного сигнала

Выше были рассмотрен компонентный метод цифрового представления цветного телевизионного сигнала, в которых яркостной и цветоразностные сигналы преобразуются в цифровую форму отдельно, а затем полученные цифровые сигналы объединяются в единый поток данных. Компонентное кодирование обычно используется в студийной ТВ аппаратуре, в которой сигнал цветного телевидения разделен на составляющие.

В некоторых случаях появляется необходимость преобразовывать в цифровую форму композитный цветной ТВ сигнал (рис.2.14) одной из систем цветного ТВ (PAL, SECAM, NTSC) без его компонентного декодирования. Такой вариант оцифровки применяется в таких устройствах цифровой обработки ТВ сигналов, как: телевизионные тюнеры, телевизионные приемники, цифровые преобразователи телевизионных стандартов, в некоторых системах цифровой записи телевизионных сигналов на магнитный носитель и т.д. При этом такие устройства обычно используют 10 разрядное кодирование, как показано на рис.2.14.



Рис.2.14. Композитное представление ТВ сигнала системы SECAM

Что касается частоты дискретизации, то Рекомендация ITU-R-ВТ 601 допускает преобразование композитного ТВ сигнала в цифровую форму с частотой дискретизации **13,5МГц**. Такой вариант применяется в телевизионных приемниках и в недорогих устройствах обработки телевизионных изображений, так как он позволяет относительно простыми средствами преобразовать полный цветной телевизионный сигнал (ПЦТВС)

разных систем цветного ТВ. Однако, в более серьезной аппаратуре предпочтение отдается учетверенному значению поднесущей частоты цвета ($4f_{\text{цп}}$). Выбор такого значения частоты дискретизации обеспечивает лучшее разделение сигналов яркости и цветности, а кратность ее поднесущей частоте способствует более качественной цифровой демодуляции сигнала цветности.

Так в системе **NTSC** значение поднесущей частоты $f_{\text{цп}} = 3,57945 \text{ МГц}$, что составляет $227,5 f_{\text{СТР}}$ ($f_{\text{СТР}}$ - частота строчной развертки = 15750 Гц), при этом частота дискретизации составляет $f_{\text{д}} = 14,31818 \text{ (} 910f_{\text{СТР}} \text{)}$. Таким образом, в каждой строке укладывается целое число периодов дискретизации. Поэтому отсчеты образуют неподвижную относительно строк прямоугольную решетку, а их положения во времени привязаны к определенным фазам цветовой поднесущей. Благодаря этому дискретизация создает минимальные искажения.

В системе **PAL** значение поднесущей частоты $f_{\text{цп}} = 4,43361875 \text{ МГц}$, что составляет $1135f_{\text{СТР}}/4 + f_{\text{КАДР}}$ ($f_{\text{СТР}} = 15625 \text{ Гц}$), а частота дискретизации составляет $f_{\text{д}} = 14,31818 \text{ (} 1135f_{\text{СТР}} + 4f_{\text{КАДР}} \text{)}$. При этом в период строчной развертки укладывается немного отличающееся от целого число периодов дискретизации. Структура отсчетов при этом получается ортогональная и неподвижная относительно кадров. Во времени положения отсчетов соответствуют фиксированным фазам цветовой поднесущей.

В системы **SECAM** из-за применения частотной модуляции невозможно выбрать частоту дискретизации, кратную частоте цветовой поднесущей, так как она все время меняется при передаче различных цветов. Поэтому частота дискретизации выбирается кратной частоте строк. Поскольку наибольшее значение имеет частота красного сигнала = $4,40625 \text{ МГц}$, то частота дискретизации составляет $f_{\text{д}} = 17,625 \text{ МГц (} 1128f_{\text{СТР}} \text{)}$.

В табл. 2.3 приведены основные параметры преобразования в цифровую форму композитных сигналов систем NTSC, PAL и SECAM.

Таблица 2.3

Система	NTSC (525 строк)	PAL (625 строк)	SECAM (625 строк)
Отсчетов в строке	910	1135	1128
Отсчетов в активной части строки	768	948	916
Структура отсчетов на изображении	Ортогональная	Ортогональная	Ортогональная
Частота дискретизации, МГц	14.31818	17.734475	17.625
Скорость передачи двоичных символов, Мбит/с	143	177	176

Необходимость цифрового кодирования фронтов и срезов синхроимпульсов аналогового телевизионного сигнала приводит к тому, что на оцифровку видеосигнала выделяется примерно на 30% меньше уровней квантования, чем для сигнала в компонентной форме.

2.3.4. Формирование цифровых телевизионных сигналов

В соответствии с Рекомендацией ITU-R-ВТ 601 формирование цифрового телевизионного сигнала может осуществляться двумя способами. В первом случае производится оцифровка аналоговых компонент цветного ТВ сигнала, а во втором случае оцифровке подвергаются исходные сигналы цветности и формирование компонент происходит уже в цифровой форме. Рассмотрим оба варианта структурной схемы формирования цифровых ТВ сигналов, представленных на рис.2.15.

В устройстве, представленном на рис.2.15,а, аналоговые сигналы основных цветов E_R , E_G , E_B с выходов источника ТВ сигнала (телекамеры) через блоки гамма-корректоров (ГК) поступают на кодирующую матрицу (КМ), где скорректированные сигналы E'_R , E'_G , E'_B по формулам (1.3) преобразуются в сигнал яркости E'_Y и цветоразностные сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} . Далее эти сигналы в АЦП преобразуются в цифровые сигналы Y , C_R и C_B , соответственно. Кроме того, на входах АЦП имеются дополнительные аналоговые узлы, выполняющие масштабирование и сдвиг сигналов по уровню в соответствии с соотношениями (2.3). Число разрядов каждого АЦП, как правило, равно 8.

Синхроимпульсы развертки источника телевизионных сигналов поступают на формирователь цифровых синхроимпульсов (ФЦСИ), вырабатывающий синхросигналы НАС и КАС. Кроме того, синхроимпульсы используются для синхронизации генератора тактовых импульсов (ГТИ), который вырабатывает импульсы с частотами **27, 13,5 и 6,75 МГц**, поступающие на другие узлы устройства. ГТИ содержит схему фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), обеспечивающую точную подстройку частоты и фазы вырабатываемых частот по строчным синхроимпульсам. При этом обеспечивается требуемое количество периодов тактовых импульсов за период строчной развертки источника телевизионных сигналов.

Мультиплексор (MS) в заданной последовательности передает в единый цифровой поток сигналы Y , C_R и C_B и цифровые синхросигналы. В результате на выходе устройства формируется цифровой телевизионный сигнал (ЦТС).

В другом варианте устройства (рис. 2.15, б) сигналы основных цветов E_R , E_G , E_B сразу преобразуются в цифровые сигналы R_d , G_d , B_d соответственно. В этом случае, для уменьшения искажений сигналов в

гамма-корректоре, каждый АЦП должен иметь 10, а лучше 12 двоичных разрядов.

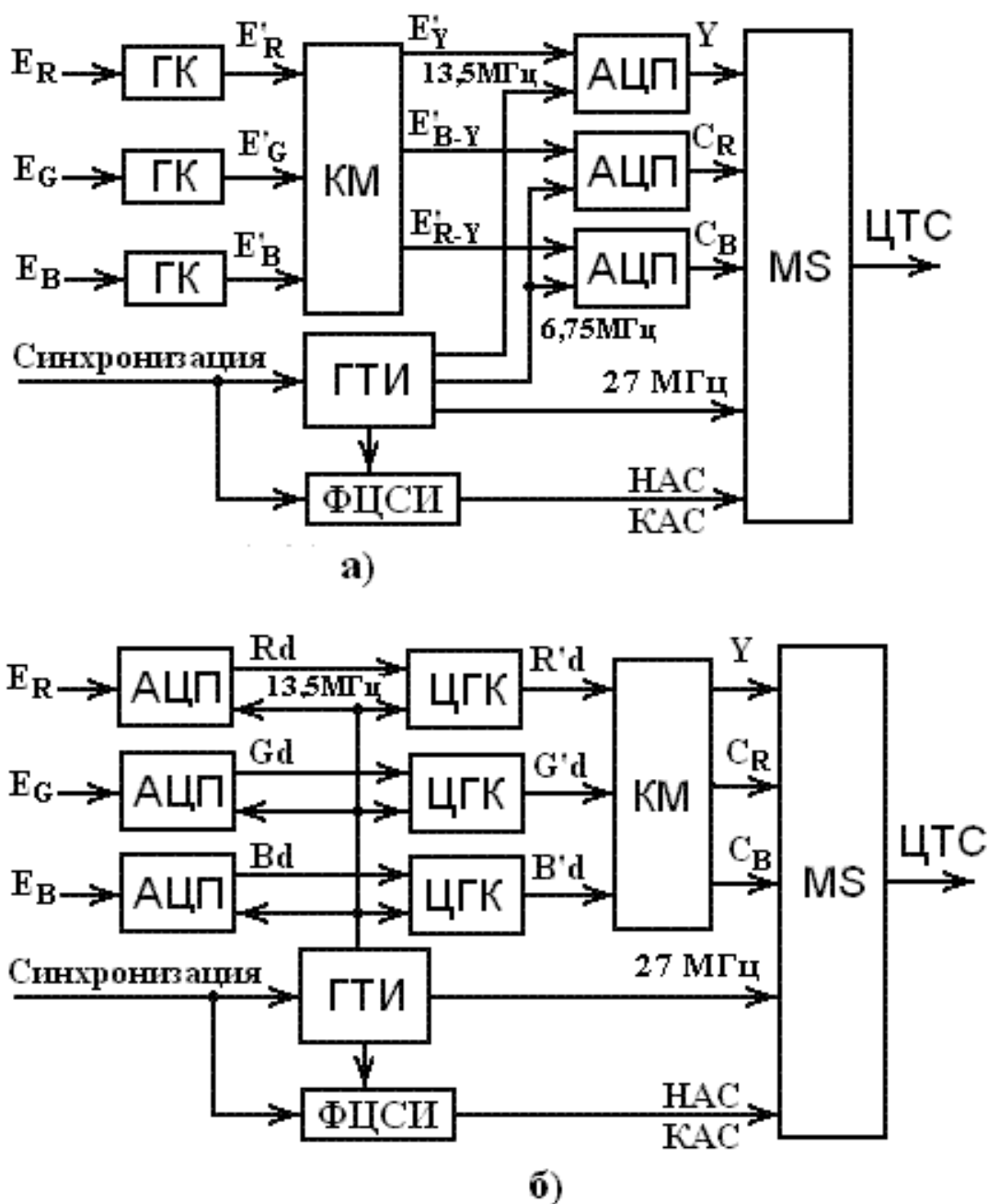


Рис.2.15. Структурные схемы формирования цифровых ТВ сигналов.

Где: ГК – гамма-корректор;
 КМ – кодирующая матрица;
 ГТИ – генератор тактовых импульсов;
 MS - мультиплексор;
 АЦП - аналого-цифровой преобразователь;
 ЦГК - цифровой гамма корректор;
 ФЦСИ – формирователь цифровых синхроимпульсов;
 НАС - начало активной строки;

КАС - конец активной строки;
ЦТС - цифровой телевизионный сигнал.

Далее цифровые сигналы **Rd, Gd, Bd** поступают на цифровые гамма-корректоры (ЦГК), где выполняются их нелинейные преобразования. При этом после гамма-коррекции число двоичных разрядов сигналов **R'd, G'd, B'd** снижается до **8**. Далее сигналы **R'd, G'd, B'd** поступают в цифровую кодирующую матрицу (ЦКМ), где преобразуются в цифровой сигнал яркости Y и цифровые цветоразностные сигналы C_R и C_B .

Формирование синхросигналов, тактовых импульсов и работа мультиплексора осуществляются аналогично первому варианту устройства. Выполнение гамма-коррекции цифровыми средствами обеспечивает более точное задание требуемой функции преобразования, но при этом необходимы более сложные и дорогие АЦП, имеющие больше двоичных разрядов.

2.4. Интерфейсы цифрового телевидения

Для передачи цифровых ТВ сигналов между блоками и трактами цифрового ТВ оборудования используются специальные устройства, называемые «Видеостыком». Для этой цели Рекомендацией ITU-R BT.656, определяющей физические интерфейсы и потоки данных, предусмотрены два варианта цифрового интерфейса: параллельный видеостык и последовательный видеостык. У каждого интерфейса есть свои достоинства и недостатки. Так, параллельный видеостык имеет более простую конструкцию без дополнительных преобразований сигналов, но требует большого количества соединительных линий для передачи сигналов в межблочных соединениях или на небольшие расстояния (до 2-3 м). А последовательный видеостык предназначен для передачи сигналов на большие расстояния, но имеет более сложную структуру с промежуточными преобразованиями сигналов. Рассмотрим подробнее оба интерфейса.

2.4.1. Параллельный видеостык

Стандарт на **параллельный видеостык** предусматривает передачу цифрового телевизионного сигнала в виде параллельного **8** или **10** разрядного цифрового кода, показанного на рис.2.6. Для этого соответственно требуется **8** (или **10**) сигнальных линий связи и еще одна линия для передачи тактовых импульсов. Для соединения блоков

используется многожильный кабель со стандартными разъемами (вилка/розетка) типа D25 на обоих концах. С целью повышения помехоустойчивости, соединительные линии такого кабеля выполняются в виде скученных пар проводов, которые подключаются к противофазным выходам передающих устройств и дифференциальным входам приемных устройств. Дело в том, что помехи или наводки от различных устройств создают в парах проводников сигнальных линии мешающие напряжения одинакового значения и полярности (синфазная помеха). Поэтому, если такие проводники подключить к усилителю с дифференциальным входом, формирующего выходной сигнал по разности напряжений на его входах, то усилитель не будет реагировать на синфазную помеху. Для выделения полезных сигналов в таком интерфейсе, значение сигнала в его проводниках должно иметь противоположную полярность, что и обеспечивается двух фазными выходами передатчиков. Таким способом можно передавать цифровой телевизионный сигнал на расстояния не более 1,5-2 метра. Обычно такой интерфейс используется для передачи сигналов между отдельными блоками телевизионного оборудования. При этом для надежной передачи и приема данных фронт тактовых импульсов должен приходиться во время соответствующее середине длительности каждого бита данных.

При использовании формата дискретизации 4:2:2 передача значений яркостного и цветоразностных сигналов Y , C_R и C_B происходит по одним и тем же линиям в следующем порядке: Y , C_R , Y , C_B , Y ,... При этом частота тактовых импульсов равна:

$$f_T = 13,5 + 6,75 + 6,75 = 27 \text{ МГц.}$$

Сигналы синхронизации телевизионной развертки **НАС** и **КАС** передаются в общем потоке данных в отведенных для них интервалах времени, а для синхронизации работы мультиплексоров используются дополнительные линии сигналов управления.

На рис. 2.16 представлена обобщенная схема такого параллельного интерфейса. Параллельный интерфейс хорошо приспособлен для передачи сигналов на небольшие расстояния, но на больших расстояниях происходит рассинхронизация данных в результате чего возникают ошибки и вспышки на изображении. Кроме того требуется применение дорогих многожильных кабелей с громоздкими разъемами, хотя на коротких расстояниях может использоваться и стандартный плоский кабель.

В настоящее время в большинстве случаев вместо параллельного интерфейса используется интерфейс последовательного видеостыка, предназначенный для передачи данных на относительно большие расстояния по стандартному коаксиальному видео кабелю.

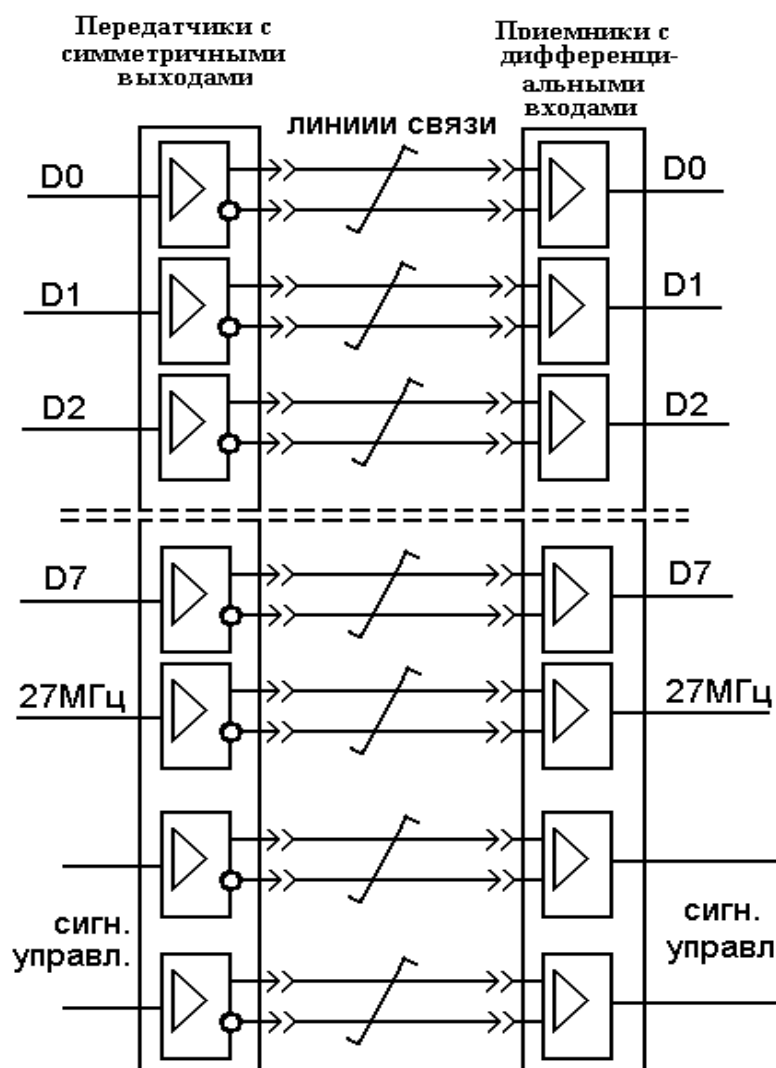


Рис.2.16. Функциональная схема интерфейса параллельного видеостыка

2.4.2. Последовательный видеостык

Передача цифрового телевизионного сигнала на большие расстояния осуществляется в последовательной форме. В этом случае двоичные разряды каждого отсчета цифрового сигнала передаются один за другим по одной линии, в качестве которой можно использовать коаксиальный или волоконно-оптический кабель.

При этом произведение частоты дискретизации f_d и числа разрядов квантования \mathbf{b} называется *скоростью передачи двоичных символов* цифрового сигнала - \mathbf{Q} [бит/с]. В соответствии с Рекомендацией ITU-R BT 656 для цифровой студийной ТВ аппаратуры установлены следующие значения этого параметра:

- для яркостного сигнала: $\mathbf{Q}_Y = 13,5 \times 8 (10) = 108 (135)$ Мбит/с;
- для цветоразностного сигнала: $\mathbf{Q}_C = 6,75 \times 8 (10) = 54 (67,5)$ Мбит/с.

Суммарная скорость передачи двоичных символов ПЦТС для **последовательного видеостыка** при **8 и 10** разрядном кодировании имеет следующее значение:

$$Q_s = Q_Y + 2 Q_C = 216 (270) \text{ Мбит/с.}$$

При последовательной передаче цифровых сигналов импульсы тактовой частоты отдельно не передаются, а восстанавливается в приемном устройстве с помощью узкополосного полосового фильтра по самому передаваемому сигналу.

Один из вариантов восстановления тактовой частоты при приеме цифрового сигнала представлен на рис.2.17, который работает следующим образом:

Принимаемый цифровой сигнал (рис.2.17,а), состоящий из последовательности уровней логических нулей «0» и единиц «1», поступает на формирователь импульсов (ФИ), вырабатывающий короткие импульсы, соответствующие передним и задним фронтам информационных импульсов цифрового сигнала (рис. 2.17,б). Затем эти импульсы в расширители импульсов (РИ) увеличиваются по длительности до половины периода тактовой частоты (рис.2.17,в) и поступают на узкополосный фильтр (УПФ) с большой инерционностью (например кварцевый резонатор, настроенный на тактовую частоту). На выходе фильтра формируется синусоидальный сигнал тактовой частоты (рис. 2.17,г), который затем преобразуется усилителем-ограничителем (УОгр) в прямоугольные импульсы (рис.2.17,д), используемые для тактирования принимаемого сигнала.

Как видно из приведенных временных диаграмм, в цифровом сигнале могут присутствовать группы импульсов уровня «0» или «1» в течении которых прерывается формирование импульсов на выходе блоков ФИ и РИ. Но, это не приводит к прекращению формирования тактовых импульсов. Это происходит из-за того, что узкополосный фильтр обладает большой инерционностью и в течении некоторого времени продолжает формировать затухающие колебания (звон), расходуя запасенную энергию колебательного процесса.

Однако, это накладывает определенные ограничения на структуру данных передаваемого сигнала, так как передача достаточно длинных последовательностей нулей или единиц приведет к прекращению формирования тактовых импульсов. Кроме того, в начале передачи цифрового сигнала амплитуда колебаний на выходе УПФ нарастает постепенно, поэтому возникает некоторая задержка времени появления тактовых импульсов на выходе устройства синхронизации. Поэтому при передаче цифровых сигналов по последовательным каналам связи применяют дополнительное преобразование передаваемых данных (канальное кодирование), в результате которого количество передаваемых подряд нулей или единиц ограничивается.

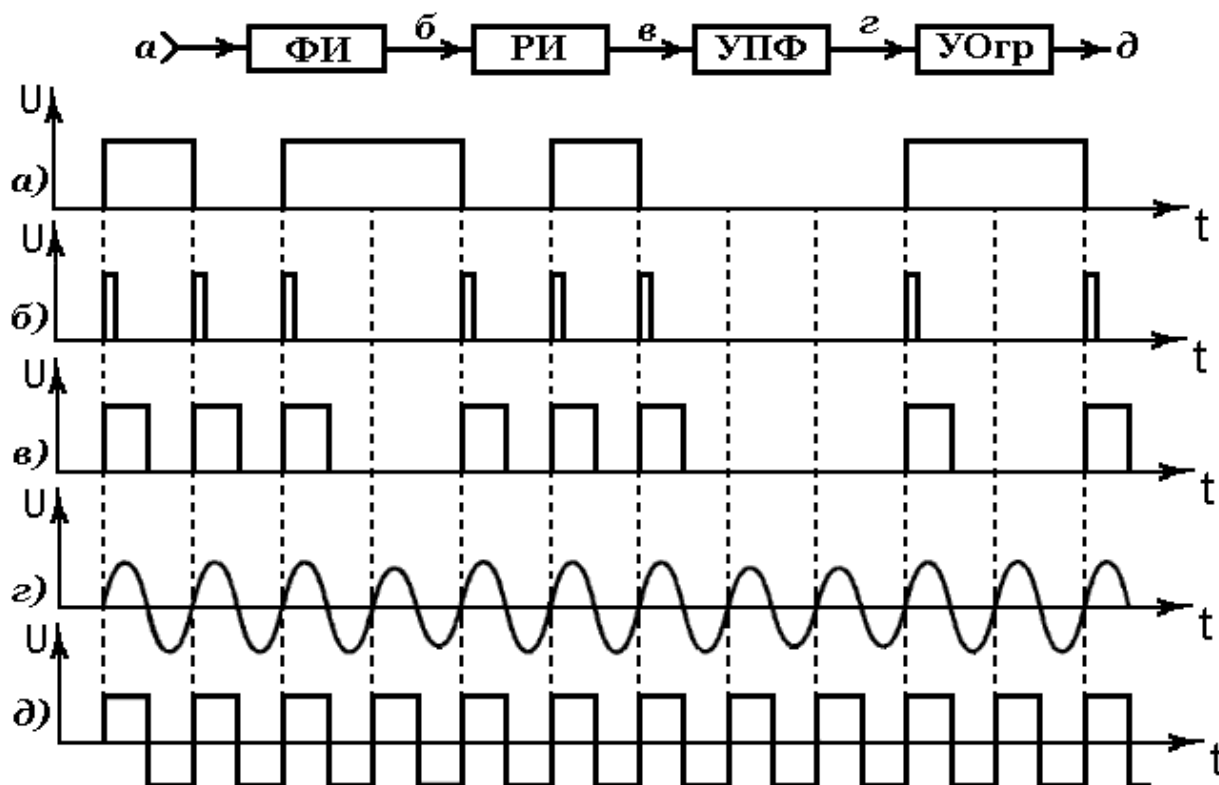


Рис.2.17. Восстановление тактовой частоты из принимаемого цифрового сигнала.

Рекомендация ITU-R BT.656 определяет параметры последовательного интерфейса **SDI (Serial Digital Interface)** для передачи цифровых телевизионных сигналов. Структурная схема системы передачи в соответствии с этим интерфейсом представлена на рис.2.18.

10 разрядный цифровой сигнал параллельного интерфейса, преобразуется в последовательную форму. При этом тактовая частота возрастает в 10 раз и достигает 270 МГц. Затем цифровой сигнал для устранения повторяющихся значений нулей или единиц подвергается скремблированию, где информационные биты умножаются на псевдослучайную последовательность. После скремблера цифровой поток поступает на каналный кодер, где преобразуется в двухполярный код БВН с инверсией (БВН - Без Возврата к Нулю, по-английски - NRZ - Non Return to Zero).

В результате такой обработки исключаются длинные серии нулей и единиц и в выходном сигнале каждое изменение логического уровня соответствует логической «1» исходного сигнала. Это обеспечивает надежное восстановление тактовой частоты в приемном устройстве и независимость приема от полярности поступающего сигнала. Принятый сигнал декодируется из кода БВН с инверсией в обычный последовательный двоичный код, дескремблируется, после чего в нем обнаруживаются сигналы НАС и КАС. По ним синхронизируется преобразование из последовательной формы в параллельную.

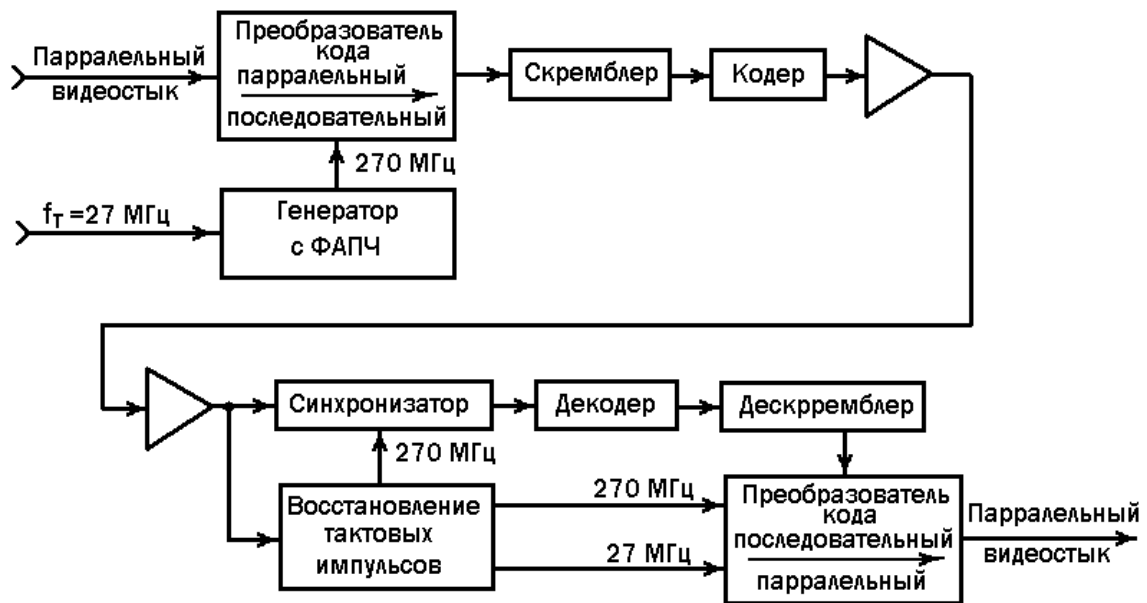


Рис.2.18. Структурная схема последовательного видеостыка.

Размах сигнала на выходе передатчика последовательного интерфейса порядка **0,8 В**. Передача осуществляется по коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом. Так как скорость передачи двоичных символов составляет 270 Мбит/с, ширина полосы частот кабельного канала связи должна быть не уже 135 МГц. Реальная полоса частот коаксиальных кабелей, как правило, существенно шире.

В первоначальном варианте последовательного видеостыка по Рекомендации ITU-R BT 656 предусматривалась передача каждого 8-разрядного отсчета яркостного или цветоразностного сигнала с помощью 9-битовой посылки, что давало скорость передачи двоичных символов 243 Мбит/с. В результате перекодировки исключались длинные серии нулей и единиц.

2.5. Цифровое представление звуковых сигналов

Как уже говорилось, человек в детском возрасте может слышать звуки в диапазоне частот от 15 Гц до 22 кГц, но с возрастом этот диапазон сужается и средний взрослый человек обычно слышит звуки от 20 Гц до 18 кГц. Такая же ситуация и с восприятием громкости звука. При этом динамический диапазон человеческого уха довольно широкий и составляет 96 дБ то есть, самый громкий звук (выше которого находится болевой порог) более чем в 30 тысяч раз интенсивнее самого тихого, который ухо может различить в тишине. Поэтому при аналого-цифровом преобразовании звукового сигнала в студийном тракте используется квантование отсчетов с разрешением $\Delta A = 16..24$ бит/отсчёт при частоте дискретизации $f_D = 44,1..96$ кГц. Столь высокое значение частоты дискретизации выбирается с целью упрощения конструкции ФНЧ на входе АЦП, обеспечивающего подавление

составляющих звукового сигнала на частотах выше 20 кГц. Если на вход АЦП проникнут составляющие звуковых сигналов с частотами больше, чем $f_D/2$ (нарушение условия Котельникова), то это приведет к значительным искажениям звукового воспроизведения. В каналах студийного качества часто принимают $\Delta A = 16$ бит/отсчёт при $f_D = 48$ кГц с полосой частот кодируемого звукового сигнала $\Delta F = 20.. 20000$ Гц. При этом старший бит используется в качестве знакового, т.е. показывает полярность данного отсчета сигнала (рис.2.19).

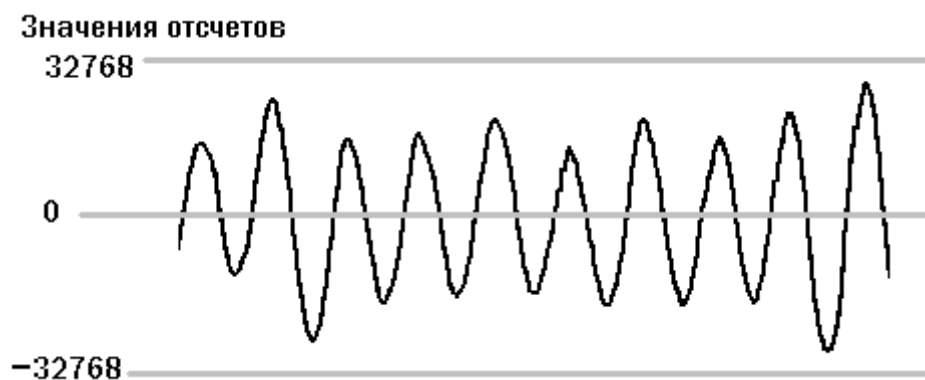


Рис.2.19. Уровни квантования звукового сигнала.

Вместо термина «дискретизация» при обработке звука часто используется понятие – «сэмплирование», которое с английского языка (Sample-образец) означает последовательность цифровых данных, полученных в результате аналого-цифрового преобразования.

Хотя при 16 разрядном кодировании динамический диапазон звуковых сигналов может составлять примерно 90 дБ, реальный динамический диапазон звуковых сигналов обычно снижают до 50...60 дБ за счет применения компрессирования (сжатия-расжатия динамического диапазона). Это позволяет снизить заметность шума квантования на малых уровнях сигнала и предохранить ограничение сигнала в АЦП на больших уровнях сигнала.

Для передачи сигналов звукового сопровождения в телевидении применяются 2 типа цифровых аудиоинтерфейсов:

- двухканальный последовательный балансный профессиональный интерфейс AES/EBU или IEC958 тип-1;
- двухканальный последовательный небалансный интерфейс для бытовой аппаратуры SPDIF или IEC958 тип-2.

Эти интерфейсы различаются по электрической части, но имеют одинаковый формат данных представленный на рис.2.20. В обоих интерфейсах для передачи стереофонического сигнала с частотой дискретизации 32-48 кГц, используются посылки аудиоданных емкостью 20 бит на канал (рис.2.20). Помимо блока аудиоданных интерфейс использует служебные 4-х битные посылки для передачи декодеру различных параметров передаваемых данных (например, коэффициент компрессии компрессорной системы). Кроме того, имеются дополнительные биты для

проверки корректности отсчета (V), состояния канала (C)- (моно или стерео), бит данных пользователя (U), бит проверки четности (P) и 4 бита синхронизации. В настоящее время 4 служебных бита включаются в состав аудиоданных, поэтому принято считать, что емкость данных составляет 24 бита.

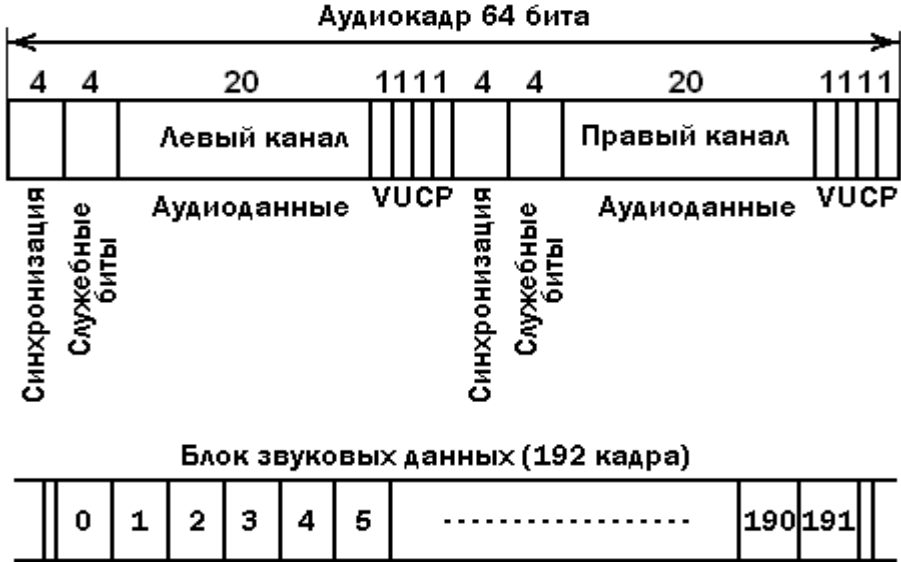


Рис.2.20. Цифровое представление звукового сигнала стандарта AES/EBU

Стандарт поддерживает два звуковых сигнала (например, 2 моно или 1 стерео канал), из отсчетов которых формируется аудио кадр размером 64 бита. При формировании цифрового потока 192 последовательных кадра объединяются в блок данных, где с помощью специальных битов передается информация о характере сигнала (моно или стерео), о внесенных предискажениях и группируется информация пользователя.

Бита «С» позволяет за время передачи блока аудиоданных, состоящего из 192 аудиокадров, последовательно передать 24 байта информации о состоянии канала связи, частоте дискретизации, наличия частотных предискажений и т.д.

Бит достоверности «V», устанавливается в каждом субкадре в «0», если передаваемый сигнал предназначен для преобразования в аналоговый сигнал.

Бит пользователя «U» имеет различное применение, определяемое конкретным пользователем или производителем.

Бит контроля четности «P» устанавливается так, чтобы число единиц в субкадре всегда было четным, что позволяет обнаруживать ошибки в принимаемых кадрах.

При этом необходимо, чтобы любая часть оборудования, принимающая цифровой аудиосигнал, показанный на рис.2.19, «знала», где проходят границы между кадром и субкадром. Для этой цели служит блок данных заголовка синхронизации каждого кадра и субкадра. Существуют три типа заголовков синхронизации:

1. отмечает начало отсчета субкадра левого канала;

2. отмечает начало отсчета субкадра правого канала;
3. вставляется через каждые 192 кадра (или каждые 4 мс в случае дискретизации с частотой 48 кГц) для того, чтобы установить 192-битовую повторяющуюся последовательность.

Стандарт AES/EBU допускает ряд частот дискретизации, из которых наиболее удобной для телевидения является частота **48 кГц**, при которой длительность блока составляет 4 мс. При этом устанавливается простое соотношение между частотой дискретизации звука и частотой видеокадров, что упрощает синхронизацию и передачу цифровых сигналов видео и звука по одной линии связи.

2.6. Построение телевизионных АЦП и ЦАП

Переход к цифровой передаче изображения и звукового сопровождения потребовал создания необходимой элементной базы, в том числе АЦП и ЦАП, обеспечивающих требуемые параметры по частоте дискретизации, числу разрядов квантования и погрешностям преобразования при не высокой стоимости и энергопотреблению. Как было указано в предыдущих разделах, для видеосигналов необходимы АЦП и ЦАП с числом разрядов 8, 10 и даже 12 и частотой дискретизации не менее 13,5 МГц, а с учетом желательности повышения частоты дискретизации (oversampling) - до 30 или даже 60 МГц. Для звуковых сигналов необходимы АЦП и ЦАП с числом разрядов кодирования не менее 16, а лучше 18... 20, и частотой дискретизации не менее 50 кГц, а с учетом oversampling - до 150...200 кГц.

Современные АЦП и ЦАП, как правило, представляют собой БИС, выполненные по ТТЛ или КМОП-технологии, и требующие минимальное число дополнительных внешних элементов для выполнения своих функций. Рассмотрим подробнее наиболее распространенные типы АЦП и ЦАП.

Параллельные АЦП

Одной из основных особенностей АЦП для ТВ сигналов, является их высокое быстродействие. Этому требованию наиболее подходят **параллельные АЦП и АЦП параллельно-последовательного типа**.

Параллельные АЦП (рис.2.21) в основном состоят из следующих узлов:

- делитель опорных напряжений, выполненный на резисторах R;
- набор компараторов напряжения K;
- шифратор;
- выходные каскады.

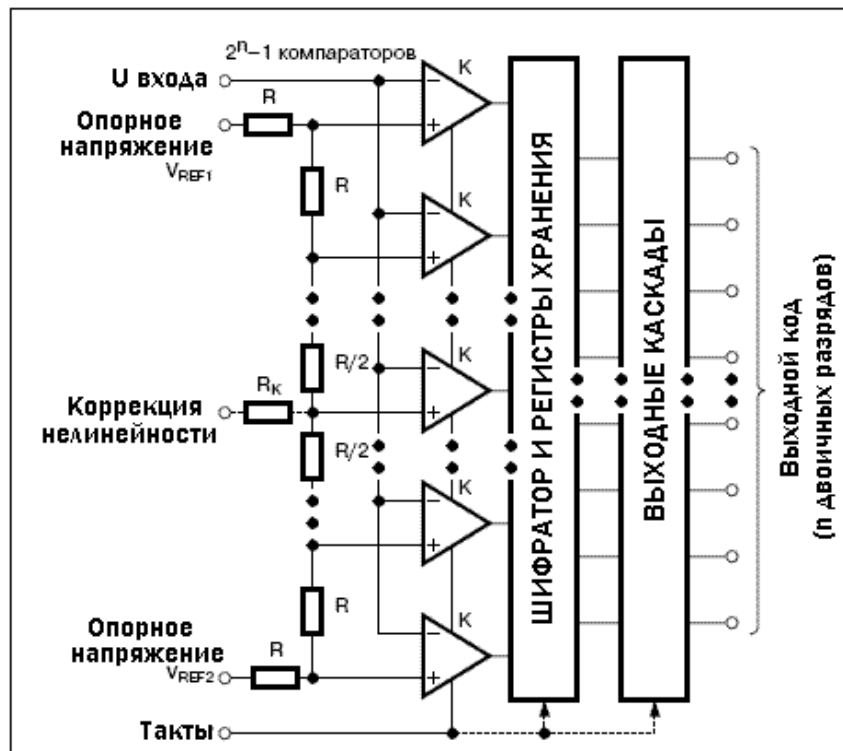


Рис.2.21. Телевизионный АЦП параллельного типа.

Для получения более широкой полосы пропускания, при сохранении чувствительности, компараторы делают стробируемыми, то есть информация с выходов компараторов считывается только в определенные моменты времени, например по заднему фронту тактовой частоты. Чтобы получить n двоичных разрядов на выходе, устройство должно содержать $2^n - 1$ компараторов. При этом, первые входы компараторов объединены и на них подается входной сигнал $U_{вх}$, а на другие входы поступают пороговые напряжения с выходов делителя напряжения, на вход которого подается высокостабильное опорное напряжение. Таким образом, компараторы сравнивают величину напряжения информационного входа с напряжением входа опорного напряжения. Если напряжение информационного входа не превышает порогового напряжения, то напряжение на выходе компаратора будет соответствовать уровню логического «0». Если же напряжение сигнала превышает пороговое значение, то на выходе компаратора устанавливается уровень логической «1». Причем, значения опорных напряжений на разных компараторах устанавливаются в соответствии с шагом квантования. Так, для 8-ми разрядной оцифровки ТВ сигнала величиной 1 В требуется 255 компараторов, опорные напряжения на которых изменяются с шагом примерно 3,9 мВ. При этом, чем выше уровень входного сигнала, тем на большем количестве компараторов выходное напряжение будет соответствовать уровню логической «1». Далее шифратор преобразует напряжение со всех $2^n - 1$ выходов компараторов в n -разрядный двоичный код, который записывается в выходной регистр и поступает на выход устройства. Быстродействие такого АЦП определяется быстродействиями компараторов и шифратора.

Моменты дискретизации определяются подачей тактовых или стробирующих импульсов по которым разрешается срабатывание компараторов и фиксируется код на выходе шифратора.

Увеличение числа разрядов на 1 в АЦП параллельного типа требует увеличения числа компараторов в 2 раза. При этом соответственно увеличивается площадь кристалла БИС, сложность схемы и потребляемая мощность. Поэтому такая структура в чистом виде обычно используется в быстродействующих АЦП с числом разрядов не более 8.

Параллельно-последовательные АЦП

Увеличение числа разрядов при высоком быстродействии может быть достигнуто в параллельно-последовательных АЦП (рис.2.22). В ячейке памяти аналогового сигнала на устройстве выборки и хранения (УВХ) фиксируется напряжение входного сигнала $U_{вх}$ в момент дискретизации. В первом такте АЦП1 выполняет «грубое» преобразование и формирует n_1 старших двоичных разрядов, а также с помощью ЦАП преобразует эти разряды в напряжение U_2 , которое вычитается из U_1 . Полученная разность ΔU усиливается и поступает на АЦП2, который во втором такте формирует n_2 младших разрядов выходного кода. Таким образом результирующий код имеет $n=n_1+n_2$ двоичных разрядов, однако процесс преобразования занимает в 2 раза больше времени, чем в АЦП параллельного типа.

Особенностью АЦП данного типа является простота наращивания разрядов, поскольку используя всего два 8-разрядных АЦП параллельного типа можно получить 16-разрядный выходной код.

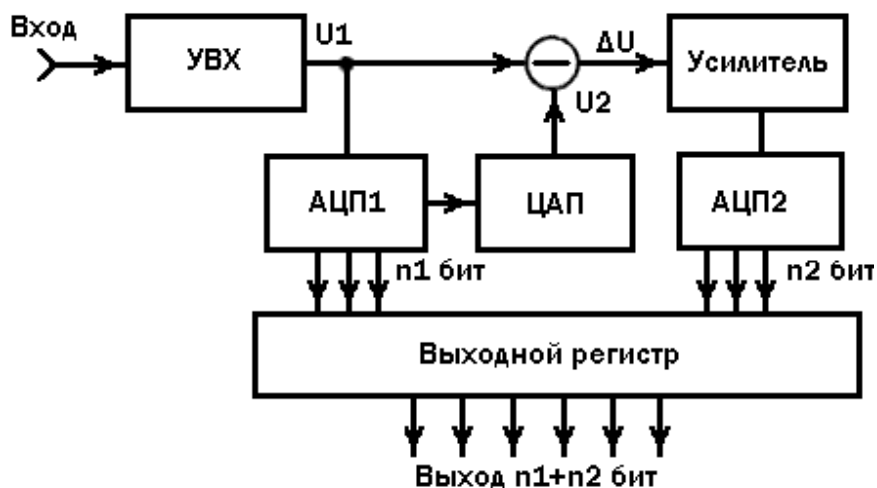


Рис.2.22. АЦП параллельно-последовательного типа

Благодаря усилению разности ΔU АЦП2 может иметь достаточно большой шаг квантования. Поэтому АЦП для цифрового телевидения,

имеющие 10...12 разрядов при частоте дискретизации до 40...60 МГц и более, построены именно по параллельно-последовательным схемам.

АЦП уравнивающего типа

Данный тип АЦП (рис.2.23) применяется для оцифровки звуковых сигналов, где требуется обеспечить 16-20 разрядов выходного кода, а быстродействие преобразования не имеет существенного значения. АЦП уравнивающего типа содержат устройство выборки и хранения (УВХ), компаратор, регистр последовательного приближения (РПП), ЦАП и схему управления.

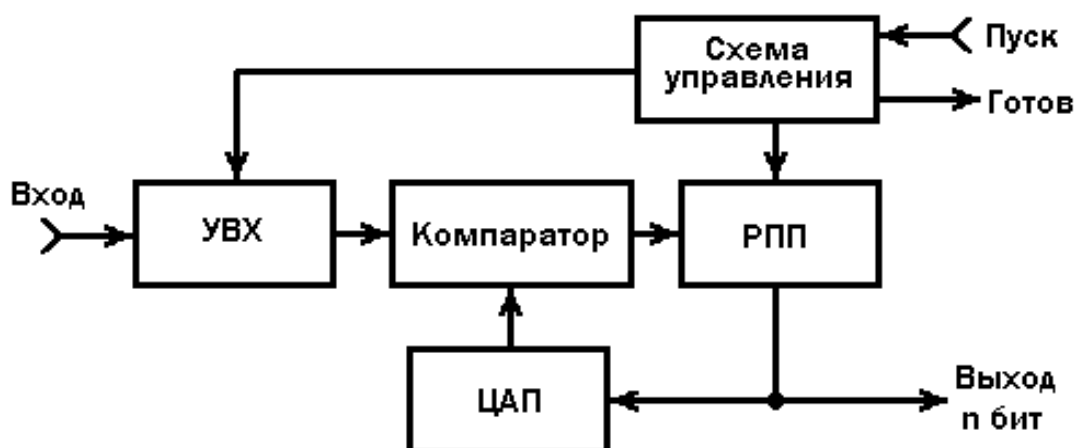


Рис.2.23. АЦП уравнивающего типа

В отличие от АЦП параллельного или параллельно последовательного типа, где преобразование производится в реальном времени, АЦП уравнивающего типа работает гораздо медленнее. Причем, цикл преобразования начинается только после поступления сигнала «Пуск» по которому текущее значение входного сигнала запоминается в УВХ. После этого начинается процесс уравнивания за счет подачи тактовых импульсов на сдвиговый регистр последовательного приближения (РПП). Выходы РПП подключены к ЦАПу, формирующего напряжение, пропорционально коду записанного в РПП. Соответственно, при изменении кода в РПП, меняется напряжение и на выходе ЦАП, которое поступает на один из входов компаратора, сравнивающего его значение с напряжением входного сигнала. Процесс преобразования продолжается до тех пор, пока напряжение на выходе ЦАП не сравняется со значением входного сигнала, записанным в УВХ. В этом случае компаратор блокирует подачу тактов на РПП, процесс преобразования заканчивается и схема управления формирует сигнал «Готовность» для считывания данных. При этом весь процесс преобразования занимает n тактов.

Основная проблема в АЦП уравнивающего типа это реализация ЦАП с требуемыми числом разрядов и быстродействием.

Одновременно получить значения обоих этих параметров, необходимые для оцифровки телевизионных сигналов, не удастся. Поэтому данный тип АЦП используется для оцифровки звуковых сигналов.

Сигма-дельта АЦП

Наибольшее число разрядов квантования обеспечивается в АЦП с сигма-дельта модулятором (или просто сигма-дельта АЦП). Простейший вариант структуры такого АЦП приведен на рис.2.24.

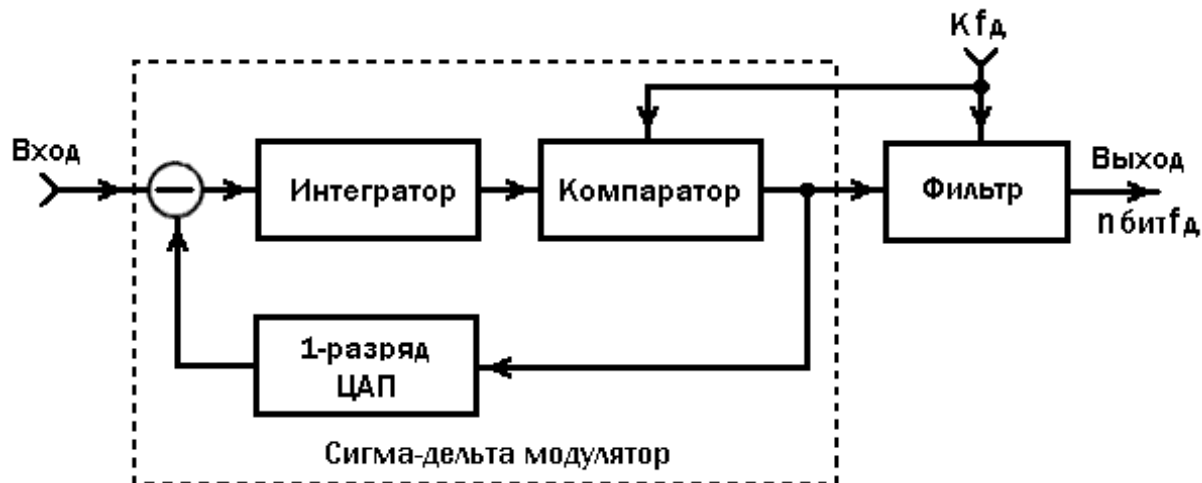


Рис.2.24. Сигма-дельта АЦП

Компаратор, который можно считать одноразрядным АЦП, сравнивает напряжение с выхода вычитателя с нулевым уровнем. Компаратор тактируется частотой $k f_d$ и воздействует на одноразрядный ЦАП, выходное напряжение которого принимает значение $U_{оп}$ при лог.1 на выходе компаратора и $-U_{оп}$ - при лог.0. Напряжение с выхода ЦАП вычитается из входного напряжения $U_{вх}$, после чего результат вычитания интегрируется, т.е. усредняется за некоторое время интегратором и поступает на вход компаратора.

Полученная следящая система с отрицательной обратной связью стремится поддерживать на выходе интегратора нулевое напряжение. Поэтому при увеличении входного напряжения на выходе компаратора будет больше времени присутствовать лог.1, а при уменьшении входного напряжения - лог. 0.

В цифровом фильтре последовательность логических «1» и «0» с выхода компаратора преобразуется в n -разрядные двоичные слова, поступающие на выход АЦП с частотой дискретизации f_d .

Сигма-дельта АЦП имеют до 24 разрядов квантования, которые в основном применяются для высококачественной цифровой передачи звука и в измерительной аппаратуре.

В табл.2.4 приведены параметры некоторых наиболее распространенных БИС АЦП.

Таблица.2.4.

Некоторые параметры наиболее распространенных АЦП

Тип АЦП	Производство	Число разрядов	Максимальная частота дискретизации	Максимальная потребляемая мощность мВт	Примечания
AD73322L	ANALOG DEVICES	2x16 АЦП 2x16 ЦАП	64 кГц	73	Звуковой, двухканальный сигма-дельта кодек
AD7721	ANALOG DEVICES	16	312 кГц	175	Сигма-дельта
AD7660	ANALOG DEVICES	16	100 кГц	15	Уравновешивающего типа
AD9224	ANALOG DEVICES	12	40 МГц	390	Параллельно-последовательные четыре ступени, коррекция ошибок
AD9840	ANALOG DEVICES	10	36 МГц	140	Для ПЗС-телекамер, со схемами обработки видеосигнала
SAA7366	PHILIPS	2x18	53 кГц	345	Звуковой, двухканальный, сигма-дельта, последовательный выход
TDA8716	PHILIPS	8	120 МГц	900	Параллельно-последовательные две ступени, коррекция ошибок
TDA8752	PHILIPS	3x8	80 МГц	1000	Трехканальный, для управления ЖК-экранами, ТВ-синхронизация
SAA7111A	PHILIPS	2x8	14,3 МГц	500	Формирователь цифровых ТВ-сигналов из ПЦТС с цифровым декодером цветности
SAB9076H	PHILIPS	4x8	27 МГц	1000	Контроллер «кадр в кадре»

Цифроаналоговые преобразователи

При построении ЦАП чаще всего используется принцип, основанный на суммировании токов. На рис.2.25 показана структурная схема ЦАП, содержащего n - генераторов тока, питающихся от источника опорного напряжения $U_{\text{опор}}$, и n ключей, где n - число двоичных разрядов, равное в данном примере 4. Величины токов пропорциональны степеням 2. Ключ замыкается, если соответствующий бит Q в очередном такте цифрового сигнала равен лог.1, и размыкается в противоположном случае. Суммарный

ток течет через сопротивление нагрузки R_H и создает выходное напряжение $U_{\text{вых}}$. Для преобразования суммы токов в напряжение на выходе ЦАП может быть использован операционный усилитель.

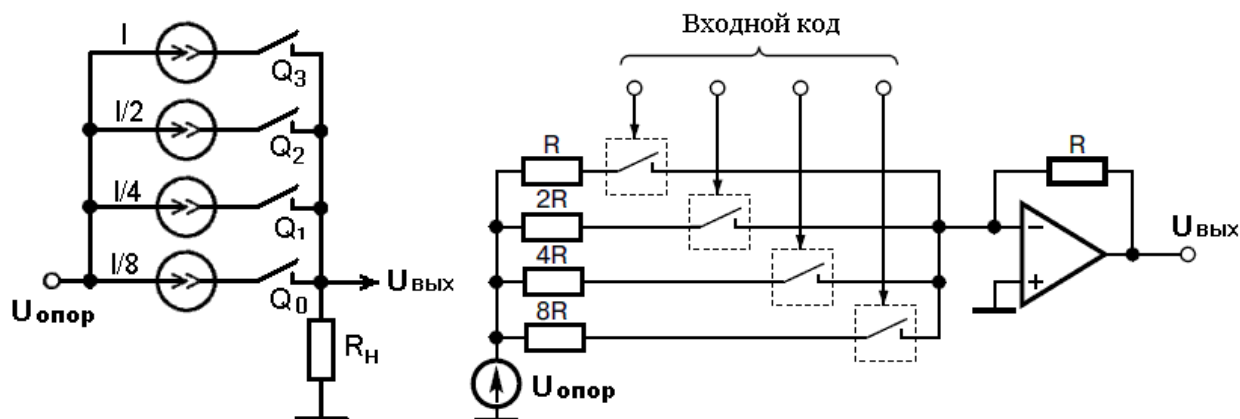


Рис.2.25. ЦАП с суммированием двоично-взвешенных токов

В настоящее время для формирования токов широко используется резистивная матрица $R-2R$, показанная на рис.2.26.

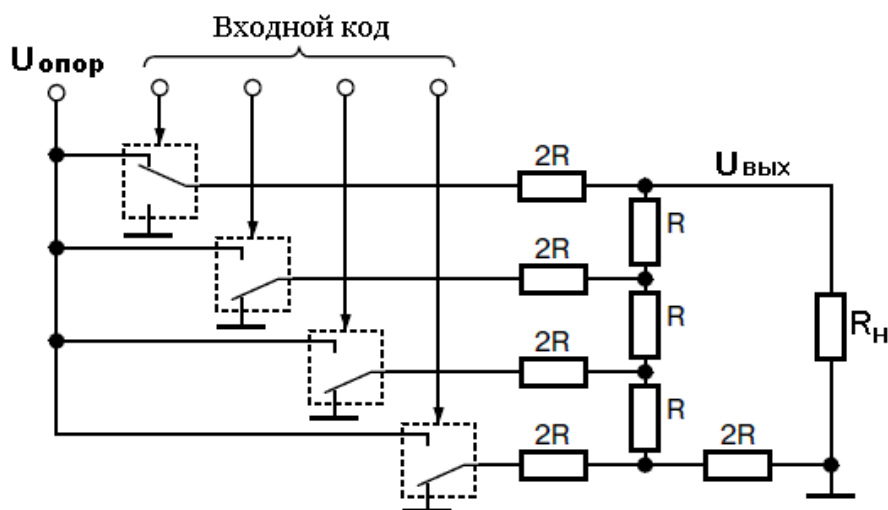


Рис.2.26. ЦАП на основе матрицы $R-2R$

Достоинством ЦАП с суммированием двоично-взвешенных токов является минимальное число генераторов тока и ключей. Однако при большом числе разрядов и высокой частоте преобразования возникают значительные скачки токов в цепях питания из-за одновременного переключения большого количества ключей, что приводит к искажению напряжения на выходе ЦАП. Другим недостатком построения таких ЦАП является необходимость получения высокоточных резисторов разных номиналов, что требует сложной и дорогостоящей технологии.

Значительно меньше указанные недостатки сказываются, если число генераторов тока и ключей увеличить до $2^n - 1$, и токи всех генераторов сделать равными I_0 . При подаче на вход такого ЦАП двоичного числа K , где $K = 0, 1, \dots, 2^n - 1$, замкнется K ключей, и выходной ток будет равен KI_0 . При

увеличении входного числа ключи будут только замыкаться, а при уменьшении - только размыкаться.

Этот вариант называется ЦАП с полным декодированием или «термометр» по аналогии с термометром, содержащим столбик жидкости, который может подниматься и опускаться. Однако такой ЦАП содержит значительно больше элементов, чем ЦАП с двоично-взвешенными токами.

Для построения быстродействующих ЦАП с большим числом разрядов квантования используются структурные схемы с разделением на сегменты. Пример такого 10-разрядного ЦАП показан на рис.2.27. На этом рисунке большими стрелками показаны цифровые шины, рядом с которыми написано число содержащихся в них разрядов.

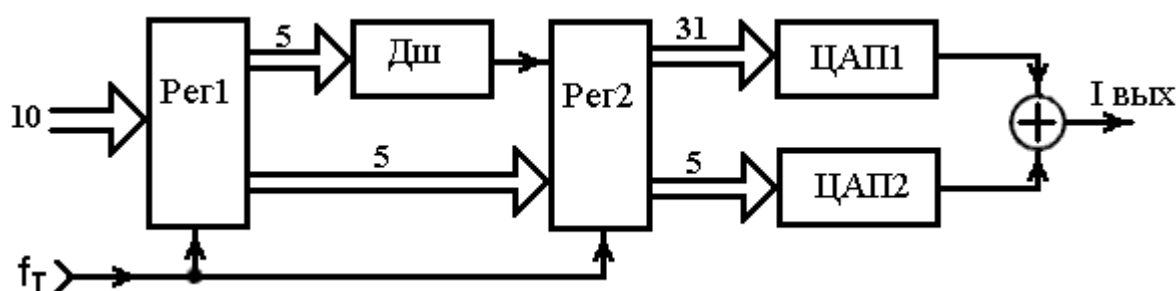


Рис.2.27.10-разрядный сегментированный ЦАП

Входной 10-разрядный код фиксируется в регистре $Reg1$ по импульсам тактовой частоты f_T . Затем 5 старших разрядов преобразуются дешифратором $Дш$ в 31-разрядный код. Для преобразования используется закон полного декодирования: если на входе дешифратора число N (в двоичном коде), то на выходах N младших разрядов $Дш$ единицы, а на остальных выходах - нули. Коды с выхода $Дш$ вместе с 5 младшими разрядами входного кода запоминается в 36-разрядном регистре $Reg2$ и полученный 31-разрядный код далее поступает на ЦАП1, содержащий 31 генератор тока одинаковой величины и 31 ключ. Младшие 5 разрядов поступают на ЦАП2, построенный по принципу суммирования двоично-взвешенных токов. При суммировании токов ЦАП1 и ЦАП2 формируется выходной ток преобразователя. При этом помехи, возникающие в ЦАП1 и ЦАП2 при переключениях, оказываются незначительными, так как коммутируются небольшие токи.

При цифро-аналоговом преобразовании звуковых сигналов часто используется повышение частоты дискретизации и интерполяция. Для этого применяются специальные ЦАП (рис. 2.28,а). Интерполятор представляет собой цифровое устройство, в котором в промежутке между каждыми двумя отсчетами входного цифрового сигнала вставляется $k-1$ новых отсчетов, рассчитываемых по определенным правилам. В результате частота дискретизации увеличивается в k раз. Затем сигнал преобразуется n -разрядным ЦАП в аналоговую форму и фильтруется ФНЧ.

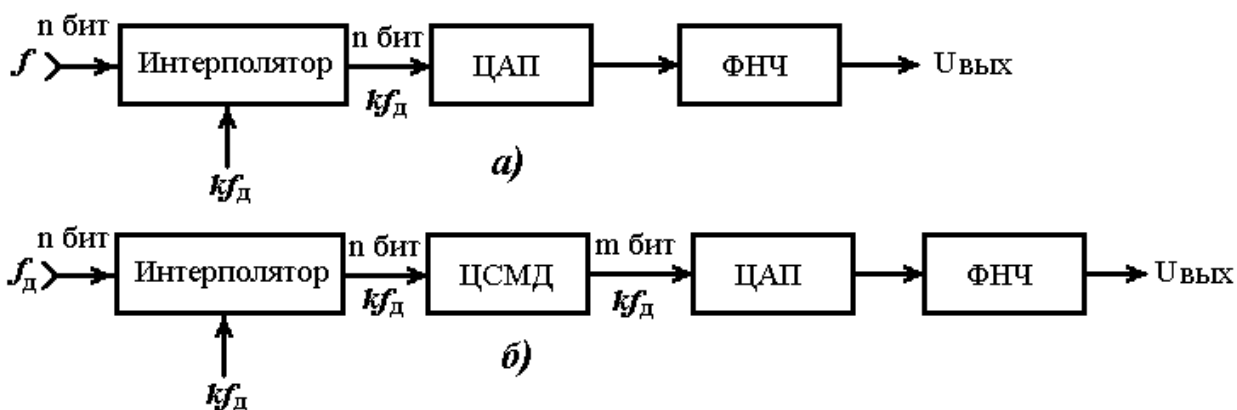


Рис.2.28. ЦАП с интерполяцией (а) и сигма-дельта модулятором (б)

Наибольшее число разрядов квантования обеспечивается в ЦАП с сигма-дельта модулятором (рис.2.28,б). Интерполятор повышает частоту дискретизации в k раз. Цифровой сигма-дельта модулятор преобразует n -разрядные двоичные слова в m -разрядные ($m < n$) слова, которые преобразуются m -разрядным ЦАП в аналоговый сигнал, сглаживаемый ФНЧ. Сигма-дельта модулятор формирует m -разрядные слова так, чтобы в результате усреднения нескольких отсчетов, идущих с увеличенной частотой дискретизации, получалось требуемое значение выходного аналогового сигнала. Чем меньше m по сравнению с n , тем больше должно быть число k , показывающее во сколько раз увеличивается частота дискретизации. В предельном случае может быть $m = 1$. При этом выходное напряжение получается сглаживанием последовательности импульсов, как в устройствах с широтно-импульсной или частотно-импульсной модуляцией.

В табл.2.5 приведены параметры некоторых наиболее распространенных БИС ЦАП.

Таблица 2.5.

Некоторые параметры наиболее распространенных ЦАП

Тип ЦАП	Производство	Число разрядов	Максимальная частота дискретизации	Максимальная потребляемая мощность мВт	Примечания
AD1859	ANALOG DEVICES	2x16/18	44,1 кГц	330	Звуковой, двухканальный, сигма-дельта, с интерполяцией и ФНЧ
AD768	ANALOG DEVICES	16	30 МГц	465	Низкие коммутационные помехи
AD9701	ANALOG DEVICES	8	250 МГц	780	С формированием синхрониз. и гасящих импульсов
ADV7123	ANALOG DEVICES	3x10	140 МГц	180	Трехканальный, с формированием синхрониз. и гасящих импульсов
TDA1305	PHILIPS	2x20	48 кГц	200	Звуковой, стерео с передискретизацией в 96 раз и интерполяция
TDA8776	PHILIPS	10	1000 МГц	925	Сегментированный ЦАП по схеме рис. 2.26

3. СЖАТИЕ ОБЪЕМОВ СИГНАЛОВ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ЗВУКОВОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ

Как было рассмотрено в предыдущих главах, при преобразовании аналогового телевизионного сигнала в цифровую форму, выходной поток видеоданных может достигать 240 Мбит/с, что за час передачи составляет 108 Гбайт. Это требует для передачи сигналов цифрового телевидения каналы связи с полосой пропускания в 120 МГц, что соответственно, не позволяет передавать такой огромный объем информации по стандартным 8 мегагерцовым телевизионным радиоканалам. Да и операции записи и хранения столь больших объемов информации на цифровых серверах до сих пор сопряжены с серьезными трудностями. Поэтому, для согласования параметров сигналов и каналов передачи, применяют различные методы сжатия видеoinформации, основанные на устранении избыточной информации ТВ изображений. Если их не использовать, то средний фильм будет занимать сотни Гигабайт. Поэтому, если, к примеру, использовать модем со скоростью передачи 56 Кбит/с, то ему потребуется около 8 лет для передачи одного дня видео съемки. Поэтому для ускорения передачи и более рационального использования дискового пространства, цифровое видео, всегда сжимается. При этом, сжатие может осуществляться двумя основными методами – **с потерей или без потери качества.**

Сжатие без потерь данных позволяет получить после восстановления изображение полностью соответствующее исходному изображению, однако, коэффициент сжатия при этом получается небольшой и обычно не превышает 10-20 раз. Примером такого сжатия может служить формат GIF для статической графики и GIF89a для видео.

Сжатие с потерями качества обеспечивает большие значения сжатия видеоданных за счет потери части видео данных. Однако, если человек визуально не замечает разницы между изображениями оригинала и реконструкции, то такое сжатие считается без потерь качества. Таким образом, несмотря на то, что значения пикселей исходного и восстановленного изображений по битно могут не совпадать, их визуальные различия будут совсем незаметны. Поэтому на практике обычно выполняется преобразование изображения с потерей информации, а затем осуществляется сжатие преобразованных данных без потерь информации.

Рассмотрим подробнее основные виды избыточной информации ТВ изображений и методы их устранения.

3.1. Виды избыточной информации телевизионных изображений и методы ее устранения

Из анализа ТВ изображений известно, что они обладают большим объемом избыточной информации, которую можно разделить на ряд классов:

- **кодовая избыточность;**
- **межэлементная или статистическая;**
- **психовизуальная;**
- **структурная;**
- **временная или межкадровая избыточность**

При этом, сжатие информации производится вследствие устранения одного или нескольких указанных типов избыточности, которые рассмотрим подробнее.

Кодовая избыточность возникает из-за того, что в изображениях обычно довольно много объектов, имеющих регулярную форму и отражательные свойства поверхности, в результате чего определенные значения яркости встречаются более часто, чем другие, как показано на рис.3.1. А поскольку при двоичном кодировании яркостей пикселей используются коды одинаковой длины, то это и приводит к появлению кодовой избыточности. Для устранения кодовой избыточности часто применяют энтропийное кодирование кодами переменной длины на основе таблиц Хаффмана, где наиболее часто повторяющиеся кодовые комбинации заменяются короткими кодами, а редко встречающиеся - длинными, как в азбуке Морзе. Такой подход позволяет на 20-25% снизить объем передаваемой информации.

244	244	246	247	247	248	249	248
244	244	246	247	247	248	249	248
245	245	247	247	248	248	249	248
245	246	248	248	248	248	249	248
247	246	248	248	248	248	249	248
247	247	249	249	248	248	249	248
248	248	250	249	249	248	249	248
246	247	251	250	246	245	248	249

246	243	240	240	244	245	244	242
248	243	240	240	242	243	242	240
247	243	241	241	242	243	242	241
247	244	243	242	242	242	242	242
247	245	244	243	242	242	243	243
246	245	245	244	242	241	243	245
246	246	246	244	242	241	243	245
246	246	246	244	242	241	243	246



Рис.3.1. Пример изображения с выраженной кодовой и меж элементной избыточностью

Межэлементная избыточность (рис.3.1.) возникает из-за высокой разрешающей способности изображения, которая необходима для отображения мелкоструктурных участков изображения или границ контуров объектов, а на всех гладких участках изображения она расходуется впустую, резко увеличивая объем информации. Межэлементная статистическая избыточность основана на довольно сильной корреляционной связи пикселей

и обычно устраняется методами на основе спектральных преобразований, которые оценивают распределения энергии сигнала по его спектральным составляющим. В настоящее время известно довольно много математических функций используемых для спектральных преобразований, но на практике наибольшее распространение для сжатия изображений получили дискретно-косинусное и вейвлет преобразования.

Психофизическая избыточность основывается на особенностях нашего зрительного восприятия, которое заключается в том, что часть информации в изображении может быть исключена без заметного визуального ухудшения его качества. Так, глаз меньше замечает изменения цветности, чем яркости. Кроме того, установлено, что при наблюдении человек стремится, в первую очередь, отыскать в изображении его наиболее важные части (контуры объектов или текстурные области) и образовать из них комбинации, поддающиеся распознаванию. А цвет и яркость элементов при этом играют вспомогательную роль.

Структурная избыточность основывается на присутствии подобных участков в изображении, как показано на рис.3.2. Для устранения структурной избыточности используют сканирование изображения для нахождения его повторяющихся фрагментов (фракталов), которые заменяются ссылками на уже найденный фрагмент, что существенно снижает объем передаваемой информации.



Рис.3.2. Пример изображения с выраженной структурной избыточностью

Временная или межкадровая избыточность проявляется в телевизионных изображениях из-за того, что в пределах одного видеосюжета информация в соседних кадрах обычно изменяется мало (рис.3.3). Поэтому, если передавать только изменения изображений относительно опорного кадра, например, в виде межкадровой разности, то можно получить довольно большие коэффициенты сжатия видеопотока. Однако, на практике межкадровая разница обычно не применяется, поскольку при небольшом изменении ракурса съемки взаимные координаты пикселей изображений смещаются и значения межкадровой разницы возрастает, увеличивая объем межкадровой информации.



Рис.3.3. Изображения смежных кадров видеосюжета и их межкадровой разницы

Поэтому на практике применяют более сложную межкадровую обработку на основе компенсации движения фрагментов изображений в смежных кадрах. Суть метода заключается в поиске фрагментов изображения первого кадра в предполагаемых местах следующего кадра. Если такие фрагменты находятся, то вместо них передаются их новые координаты – вектора перемещения. Таким образом, например, 256 байтов блока размером 16x16 пикселей можно заменить 1-2 байтами его новых координат, что резко уменьшает передаваемый объем видеоданных. При этом, структура видеопотока состоит из опорного кадра, где устраняется только внутрикадровая избыточность и одного или нескольких типов кадров передающих межкадровые различия, а также дополнительного блока метаданных векторов перемещения блоков. Такая обработка видеопотока реализуется в стандартах сжатия семейства MPEG и многих других видео кодеках.

На сегодняшний день разработано довольно много различных методов и алгоритмов сжатия видеoinформации, обладающие разной эффективностью сжатия, качественными показателями, сложностью реализуемых алгоритмов и быстродействием. При этом, в механизмах обработки изображений можно выделить следующие направления:

- **Сжатие на основе спектральных преобразований**
- **Фрактальное сжатие;**
- **Векторное квантование.**

У каждого подхода есть свои достоинства и недостатки, которые рассмотрим более подробно.

3.2. Сжатие сигналов изображений на основе спектральных преобразований

Одним из возможных и наиболее распространенных способов обработки, сжатия изображений и видеопоследовательностей является применение ортогональных преобразований, в основе которых могут быть положены различные принципы. Наиболее часто используются методы линейных ортогональных преобразований.

Наиболее подходящими для этой цели оказались следующие преобразования:

- преобразование Уолша-Адамара;
- преобразование Карунена-Лоэва;
- дискретное косинус-преобразование (ДКП);
- вейвлет-преобразования (ВП)

У каждого из приведенных преобразований есть свои достоинства, недостатки и области применения. Так достоинством преобразования Адамара является простота реализации и низкая вычислительная сложность. Данное разложение дает хорошие результаты для кусочно-постоянных функций, выделяющих постоянные составляющие сигналов, однако, в реальных изображениях такие сигналы встречаются достаточно редко. Основным недостатком преобразования Карунена-Лоэва является то, что пока не разработан быстрый метод вычисления его векторов, поэтому данный метод пока является сугубо теоретическим.

Таким образом, из перечисленных выше преобразований на практике активно используются только ДКП и ВП, которые рассмотрим более подробно.

3.2.1. Сжатие изображений на основе дискретно-косинусного преобразования (ДКП)

ДКП является хорошо изученным и весьма эффективным преобразованием, предложенным В.Ченом в 1981 году и используемое в форматах JPEG, MJPEG, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4. По сути, этот метод сходен с двумерным дискретным преобразованием Фурье и отличается от него только используемыми базисными функциями. Достоинством ДКП является быстрая сходимость ряда, что обеспечивает меньшую погрешность ошибки преобразования

Прямое и обратное ДКП описываются уравнениями (3.1, 3.2)

$$F(u, v) = (1/4)C(u)C(v) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 p(x, y) \left[\cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \right] \left[\cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right] \quad (3.1)$$

$$f(x, y) = \frac{2}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u)C(v)F(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (3.2)$$

где v - горизонтальная координата графического блока, u - вертикальная, x - вертикальная координата внутри блока, а y - горизонтальная координата внутри блока, $C(u), C(v) = 1/\sqrt{2}$ для $u, v = 0$ и $C(u), C(v) = 1$ в противном случае.

$$A(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{for } u = 0 \\ 1, & \text{for } u \neq 0 \end{cases}$$

Данный метод предусматривает разбиение кадра (рис.3.4) на блоки по **64 (8x8)** отсчета, называемые **сигнальными матрицами** (рис.3.5,а). После чего сигнальные матрицы преобразуются в матрицы частотных коэффициентов (рис.3.5,б) такого же размера, которые можно рассматривать как двумерный спектр изображения в горизонтальном и вертикальном направлениях. Причем, в такой матрице коэффициенты в левом верхнем углу соответствуют низкочастотной составляющей изображения, а в правом нижнем — высокочастотной.



Рис.3.4. Исходное изображение

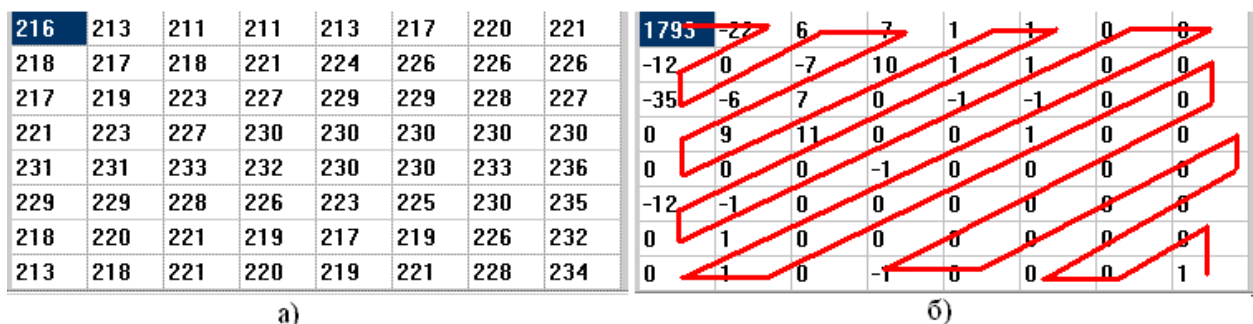


Рис.3.5. Сигнальная матрица яркостей пикселей исходного изображения размером 8x8 пикселей (а) и матрица коэффициентов после прямого ДКП (б)

Особенность спектра ДКП состоит в том, что основная энергия частотных составляющих этого спектра концентрируется в небольшой области около нулевых частот. Амплитуда высокочастотных составляющих или мала, или просто равна нулю, поэтому передаче подлежат только те частотные коэффициенты матрицы ДКП, величины которых превышают принятые пороговые значения. Коэффициенты ниже порогового значения считаются нулевыми и не передаются для чего производится их зигзагообразное считывание (рис.3.5,б) и сжатие статистическим компрессором длинных серий (RLE).

Если при передаче отбрасываются только нулевые коэффициенты, то получается сжатие без потерь качества, т.е. после декомпрессии изображение не будет отличаться от оригинала. Однако при этом коэффициент сжатия не высок и в зависимости от детальности изображения, в среднем составляет 10-20 раз. Для управления коэффициентом сжатия видеоданных применяют метод квантования коэффициентов, основанный на деление коэффициентов ДКП на определенные числа (матрицу квантования) при кодировании и обратного умножения результата при восстановлении. При делении, например на 10, часто возникают дробные числа, которые округляются до целого числа. Такой подход с одной стороны уменьшает величину значений коэффициентов и соответственно требуемое число бит на их передачу. С другой стороны, все значения коэффициентов от 1 до 5 будут обращены в 0, что увеличивает длину цепочек нулевых коэффициентов и соответственно коэффициент сжатия видеоданных. Соответственно, чем больше величина квантователя, тем больше нулевых значений будет получено. Однако, при округлениях происходит потеря информации, в результате чего при большом коэффициенте сжатия нарушается плавность изменения яркости на границах блоков, что приводит к возникновению искажений в виде блочного эффекта снижающего разборчивость и качество восстановленного изображения, как показано на рис.3.6.



Рис.3.6. Исходное и восстановленное изображение при сжатие 100 раз

Данный метод обладает хорошей производительностью, хорошо сочетается с блочным методом компенсации движения и обеспечивает хорошее качество изображений при скоростях видеопотока более 5 Мбит/с. Однако, на меньших скоростях сильно проявляются искажения в виде блочного эффекта, в результате которого изображение приобретает мозаичный вид, что является основным недостатком этого метода сжатия.

ДКП используется в стандартах сжатия изображений JPEG и MPEG.

3.2.2. Сжатие изображений на основе вейвлет преобразований (ВП)

В настоящее время все большее распространение получают методы сжатия изображения и звука на основе вейвлет-преобразований, введенных Гроссманом и Морле в середине 80-х годов прошлого века. Основным недостатком преобразований Фурье и ДКП, в частности, заключается в том, что их гармонические базисные функции плохо работают с непериодическими сигналами, в результате чего безвозвратно теряется часть полезной информации. Вейвлет-преобразование основано на представлении некоторой функции композицией функций-вейвлетов, где вейвлет - это всплеск или маленькая волна. В настоящее время существует много вейвлет-функций, отличающихся свойствами и областями применения. Некоторые из наиболее распространенных вейвлетов, представленных на рис.3.7, эффективно используются для обработки сигналов изображения.

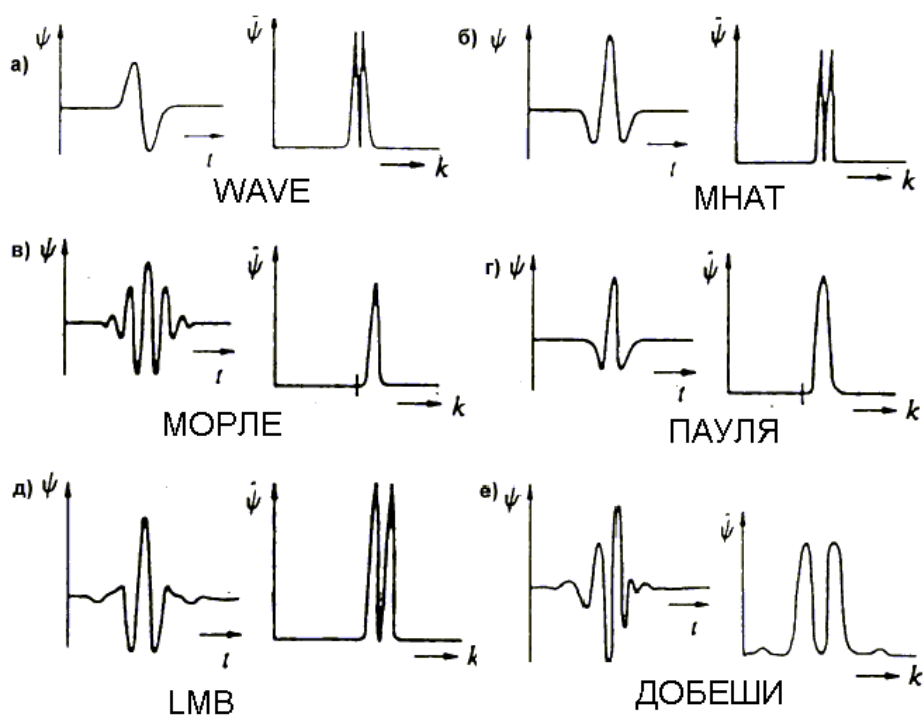


Рис.3.7. Некоторые наиболее распространенные вейвлеты

На практике ВП может рассматриваться как процесс обработки изображения фильтрами нижних и высоких частот с последующим прореживанием полученных коэффициентов (децимации), как показано на рис.3.8.

Преобразуемый сигнал подвергается фильтрации с помощью фильтров нижних и верхних частот, которые делят диапазон частот исходного сигнала на две половины, поэтому НЧ и ВЧ компоненты сигнала, полученные при фильтрации, имеют в два раза более узкую полосу частотных составляющих. Поскольку изображение представляет собой двумерный массив данных, то ВП производится отдельно в 2 этапа: в горизонтальном и вертикальном направлениях. При этом выбор направления обработки значения не имеет.

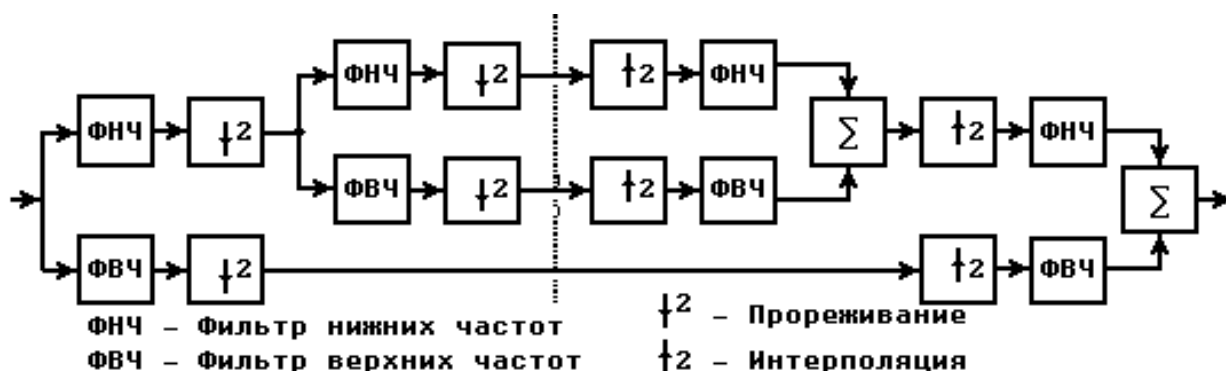


Рис.3.8. Обобщенная структурная схема вейвлет-преобразования

Для вейвлет-фильтров вводят еще один элемент – прореживание, которое пропускает на выход каждое второе число, поступающее на его вход, поскольку каждое второе значение несет избыточную информацию. Ведь если мы знаем значение сигнала в какой-то момент времени и его производную, то значение сигнала в следующий момент времени, можно вычислить.

Поскольку изображение представляет собой двумерный сигнал, то каждый шаг декомпозиции вейвлет-преобразования выполняется в два этапа: сначала обрабатываются строки, потом столбцы или наоборот.

Для простейшего вейвлета Хаара, имеющего всего 2 коэффициента, действие НЧ фильтра можно представить усреднением двух соседних точек, а ВЧ – численным дифференцированием. В результате обработки формируется два массива $A_{[N/2]}$ и $D_{[N/2]}$, элементы которых определяются как:

$$A_k = \frac{S_{2k} + S_{2k+1}}{2}, \quad D_k = \frac{S_{2k} - S_{2k+1}}{2}, \quad \text{где } k \in [0, N/2).$$

НЧ коэффициенты $A_{[N/2]}$ называют аппроксимацией сигнала, а **ВЧ коэффициенты $D_{[N/2]}$ называют детализацией**. При этом, имея массивы A и D , можно восстановить исходный сигнал $S_{[N]}$, как показано на рис.3.9, где численные значения $A_{[N/2]}$ и $D_{[N/2]}$ представлены яркостями точек.



Рис.3.9. Принцип Вейвлет- декомпозиции

Принцип вейвлет преобразования можно рассмотреть на примере обработки изображения, представленного на рис.3.10. Фильтр представляет собой небольшое «окно», в котором значения яркости и цветности пикселей умножаются на заданный набор коэффициентов вейвлет-функции, а полученные значения суммируются, после чего «окно» сдвигается для расчета следующего значения. В результате фильтрации видеоданных в горизонтальном направлении формируется два массива данных: низкочастотного, содержащего наиболее информативную часть изображения и высокочастотную, содержащую ошибки предсказания (рис.3.10).



Рис.3.10. Исходное изображение и после вейвлет декомпозиции по строкам

После вертикального прохода НЧ и ВЧ массивы дополнительно разделяются еще на НЧ и ВЧ массивы вертикального направления (рис.3.11,а). Таким образом, в результате фильтрации вместо одного изображения размером $m \times n$ вейвлет-преобразование дает в 2 раза уменьшенное изображение $(m/2) \times (n/2)$ (рис.3.11,б). Для повышения эффективности сжатия изображений вейвлет преобразование НЧ части изображения может проводиться многократно, пока в НЧ части не останется 1 пиксель. Однако на практике обычно глубина преобразования не превышает 3-6 раз. Внешний вид НЧ и ВЧ вейвлет коэффициентов после двукратного преобразования представлен на рис.3.11,б. Таким образом, в результате многократной вейвлет декомпозиции получается совсем малое изображение (в левом верхней части экрана) в массиве аппроксимации, занимающее небольшой объем информации, и большая область массива детализации, заполненная нулями или малыми коэффициентами (на рис.3.11 нулевым

значениям соответствует серый цвет со значением 128), которые хорошо сжимаются статистическими компрессорами, что позволяет получить довольно большие коэффициенты сжатия.

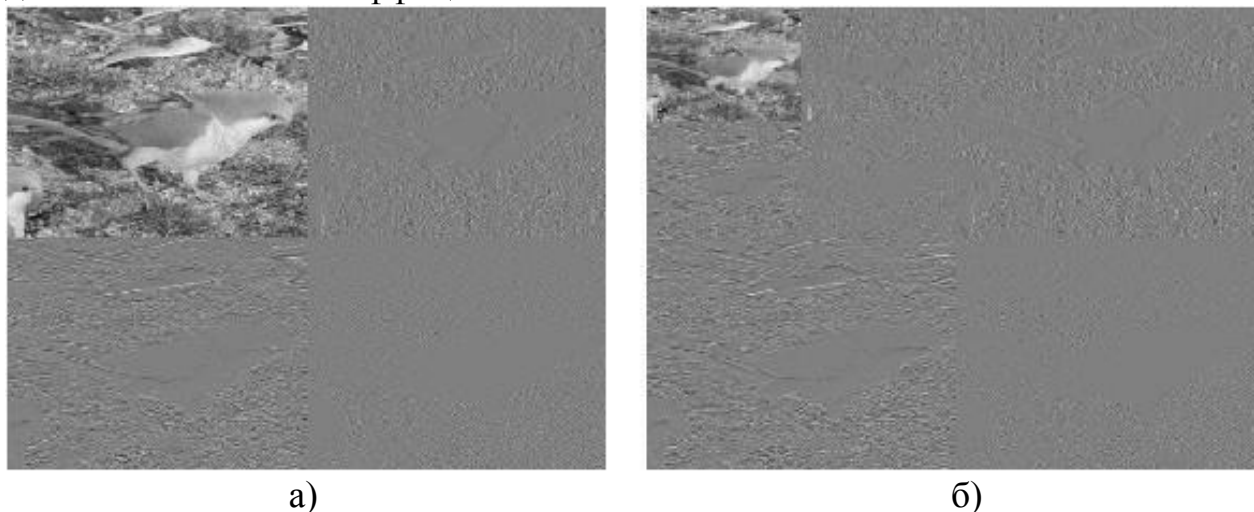


Рис.3.11. Изображение после обработки вейвлет фильтрами по строкам и столбцам (а) и после двойного преобразования (б).

Полученные таким образом числовые значения вейвлет коэффициентов подвергаются квантованию, для управления величиной сжатия и сжимаются статистическими компрессорами, после чего записываются в выходной поток.

В настоящее время для сжатия изображений широкое применение находят вейвлет-функции **Козна-Добеши-Фово (CDF22, CDF24, CDF97), Вилласенора -V610, TS2/6, MIT97**, а также **Daubechies(9,7) и LeGall(5,3)**, которые используются в стандарте сжатия JPEG-2000. При этом на практике широкое применение получила лифтинговая схема вейвлет преобразования, рассмотренная ниже.

Лифтинговая схема вейвлет преобразования

Для минимизации потерь на вейвлет преобразованиях, коэффициенты фильтров берутся с большой точностью. Так ВЧ вейвлет фильтр Daubechies(9,7), используемый в стандарте JPEG-2000 благодаря хорошей гладкости содержит 9 коэффициентов, представленных в таблице 3.1, а форма функции на рис 3.12.

Таблица 3.1.

Значения коэффициентов ВЧ фильтра Daubechies(9,7)

0, 0378284555069954	-0,0238494650193799	-0,110624404418423
0,377402855612654	0,852698679009402	0,377402855612654
-0,110624404418423	-0,0238494650193799	0,0378284555069954

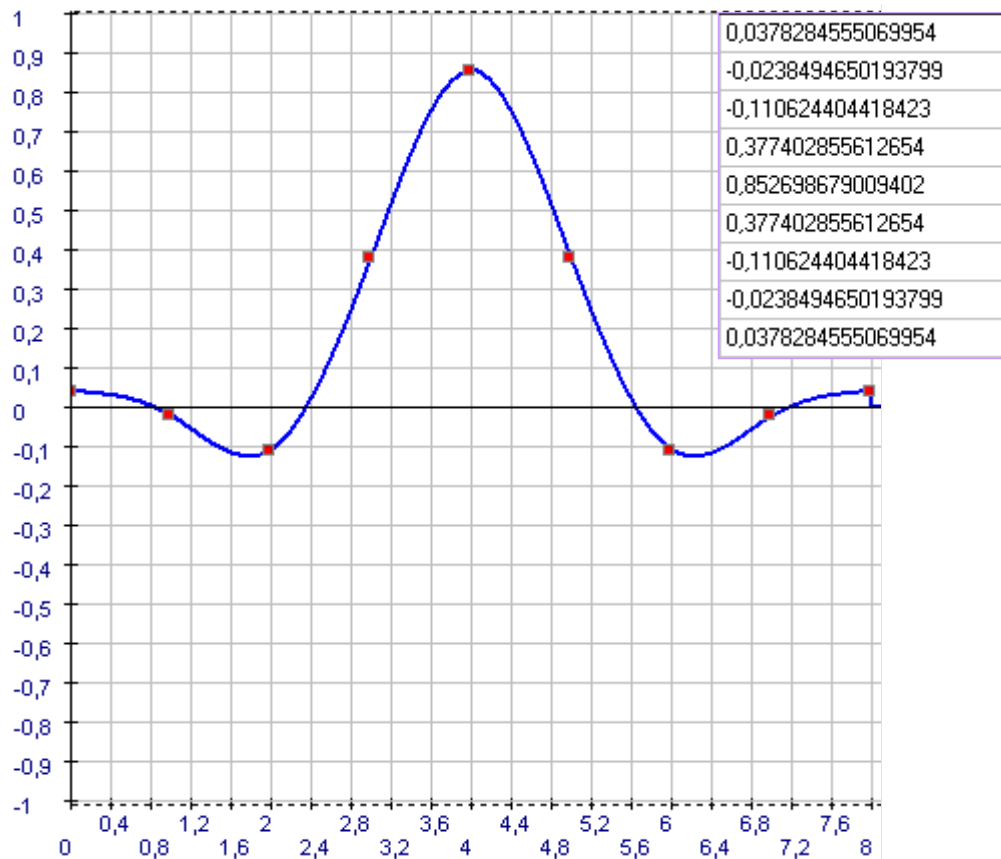


Рис.3.12. Форма ВЧ фильтра Daubechies(9,7).

Как видно, приведенные коэффициенты фильтра имеют значительный порядок числа, поэтому на вычисление и хранение значений НЧ и ВЧ коэффициентов изображения требуется много времени и памяти. Поэтому для обработки изображений наиболее широкое распространение получила **лифтинговая схема ВП**, основанная на конечной последовательности простых шагов фильтрации, называемых шагами лифтинга или «лестничной структурой» (рис.3.13). При этом, для аппроксимации сигнала используется меньше коэффициентов, а форма вейвлетов в прямую не используется.

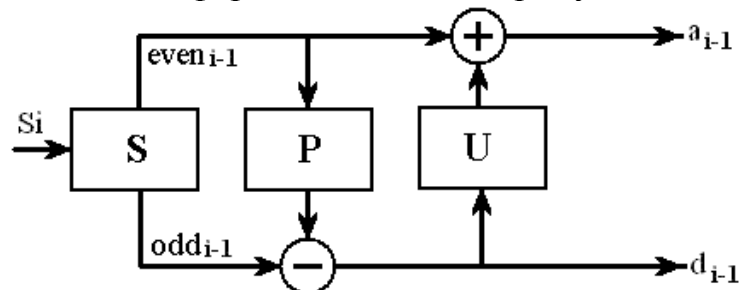


Рис. 3.13. Механизм работы лифтинговой схемы вейвлет преобразования.

Лифтинговый механизм ВП происходит от английского слова «Lift», что означает подъем и заключается в том, что формирование массивов НЧ и

ВЧ коэффициентов производится поэтапно и на каждом из этапов выполняют 3 - 4 шага:

1. **Разделение (split).** На этом шаге из массива значений пикселей s_j формируют два новых непересекающихся НЧ и ВЧ массива данных. Выбор способа разделения пикселей в массивы зависит от типа вейвлета, но наиболее часто просто выделяют четные $even_{j-1}$ и нечетные odd_{j-1} пиксели, что выражается оператором S :

$$(even_{j-1}, odd_{j-1}) = S(s_{j-1})$$

2. **Предсказание (predict).** На этом шаге вычисляется вероятное значение центрального пикселя по значениям пикселей слева и справа, после чего производится вычитание истинного и предсказанного значения, в результате в значение центрального пикселя записывается ошибка предсказания, которая соответствует ВЧ коэффициенту. В случае разделения исходного массива на четные и нечетные отсчеты ВЧ коэффициенты ошибок предсказания записываются в четные позиции массива видеоданных:

$$d_{i-1} = odd_{i-1} - P(even_{i-1}),$$

где, P – оператор предсказания.

3. **Обновление (update).** На этом этапе НЧ вейвлет коэффициенты «поднимаются» для сохранения среднего значения сигнала при переходе к следующему этапу преобразования. В процессе обновления формируются коэффициенты НЧ массива за счет усреднения предсказанных значений пикселей при помощи оператора обновления:

$$A_{i-1} = even_{i-1} + U(d_{i-1}),$$

где, U – оператор обновления.

После формирования НЧ и ВЧ коэффициентов производится сепарация массивов для объединения НЧ и ВЧ коэффициентов в соответствующие массивы.

Таким образом, лифтинговая схема аппроксимирует исходные значения пикселей по кусочно-линейному закону. При этом, в четные позиции массива коэффициентов записываются разности истинных и предсказанных значений пикселей (ошибки предсказания), а в нечетные позиции - суммы значений соседних пикселей с усредненными значениями ошибок предсказания. Если исходное изображение имеет однородные цветовые участки, то ошибки предсказания этих коэффициентов будут равны 0. Таким образом, после горизонтальной обработки пикселей строк, массив данных будет состоять из набора чередующихся значений НЧ и ВЧ коэффициентов (рис. 3.14).

Поскольку изображения представляют собой двумерный массив данных, то для увеличения эффективности сжатия изображений, после горизонтальной декорреляции пикселей, проводят такое же преобразование,

но уже в вертикальном направлении, при этом нечетные строки соответствуют НЧ коэффициентам, а четные - ВЧ. Для обеспечения эффективной работы компрессора данных на заключительном этапе полученные НЧ и ВЧ коэффициенты проходят перегруппировку (сепарацию), в результате чего все НЧ коэффициенты группируются в одном массиве, а все ВЧ коэффициенты - в другом. Так, результаты обработки однородного тестового изображения со значениями яркостного сигнала $Y=30$ и разрешением 320×240 пикселей представлены на рис.3.14.



Рис.3.14. Результаты двумерного ВП тестового изображения размером 320×240 со значением яркостного сигнала $Y=30$

В результате двумерного (горизонтального и вертикального) ВП исходного изображения формируется массив данных представленный на рис. 3.15, который в дальнейшем квантуется и сжимается статистическими компрессорами.



Рис.3.15. Исходное изображение и результат его двухмерного ВП.

Главным достоинством лифтинговой схемы ВП является то, что процесс преобразования происходит довольно быстро и набор вейвлет-коэффициентов занимает объем, совпадающий с размером исходных данных изображения, что не требует дополнительной памяти.

Одной из особенностей механизма сжатия изображений и помощью ВП является то, что, как правило, изображение не делится на блоки, а обрабатывается целиком. Это устраняет возникновение блочных искажений и позволяет в 1,5-2 раза увеличить сжатие статического изображения без заметного ухудшения его качества, или соответственно улучшить качество восстановленных изображений, как показано на рис.3.16.



ВП



ДКП

Рис.3.16. Сравнительное качество исходного и восстановленных изображений на основе ВП и ДКП при сжатии в 100 раз

Как видно на рис.3.16, безблочная обработка изображений с применением вейвлетов обеспечивает значительно лучшее качество восстановленных изображений. Однако, именно безблочная обработка изображений не позволяет применять компенсацию движения, как это сделано в стандартах MPEG. Поэтому вейвлет-кодеки по эффективности сжатия видеопотока в 2-3 раза уступают кодекам стандартов MPEG. Кроме того, при высокой степени сжатия вейвлет-кодеки ухудшают четкость изображения и могут давать искажения, имеющие вид ряби вблизи резких

границ, но такие искажения, в среднем, меньше замечаются глазом, чем «мозаика», создаваемая ДКП.

Вейвлет преобразования используются в стандарте сжатия фотографий JPEG-2000, а также для сжатия видеоданных опорных кадров в видеостандарте MPEG-4.

3.3. Сжатие сигналов изображений на основе фракталов

Для получения высоких коэффициентов сжатия порядка 200-2000 могут использоваться фрактальные методы сжатия изображений. Основой метода является рассмотрение естественных объектов как «подобных самим себе» и подчиняющихся требованиям фрактальной геометрии, в которой сложные структуры выглядят точно так же, как и простые структуры, т.е. повторяют их. Задачей кодирования является отыскание таких совпадений в цифровых изображениях и описание таких фракталов с дальнейшим эффективным повторением.

Понятия фракталов были предложены математиком *Бенуа Мандельбротом* в 1975 г. для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур, для которых некоторые свойства реального изображения, сохраняются при масштабировании пространства. При фрактальном кодировании используется свойство подобия деталей разного масштаба, встречающиеся в реальных изображениях.

Фрактальная архивация основана на том, что изображение представляется в более компактной форме с помощью коэффициентов системы итерационных функций (IFS) (итерация - повторное применение математической операции в серии аналогичных операций, производимых для получения результата). Система итерирующих функций – это совокупность сжимающих аффинных преобразований, которые включают в себя масштабирование, поворот и параллельный перенос.

Из курса линейной алгебры известна формула вычисления новых координат X', Y' при аффинных преобразованиях:

$$\begin{aligned} X' &= x * a - y * b + e \\ Y' &= x * c + y * d + f \end{aligned}$$

Здесь

$$\begin{aligned} a &= \cos(\alpha) * \text{scale}_x, \\ b &= \sin(\alpha) * \text{scale}_x, \\ c &= \sin(\alpha) * \text{scale}_y, \\ d &= \cos(\alpha) * \text{scale}_y, \\ e &= \text{move}_x \text{ (смещение)}, \\ f &= \text{move}_y, \end{aligned}$$

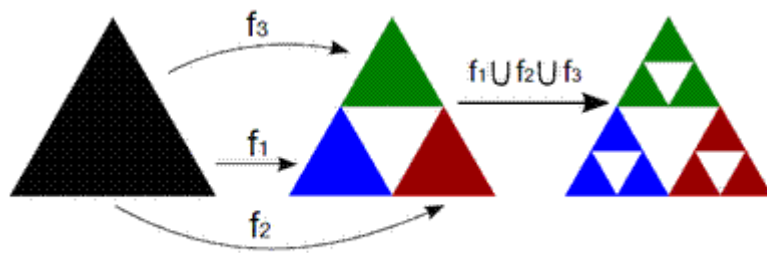
где

scale_x - масштабирование по оси X;
 scale_y - масштабирование по оси Y;
 alpha - угол поворота;
 move_x - параллельный перенос по оси X;
 move_y - параллельный перенос по оси Y.

Полученные коэффициенты a, b, c, d, e, f для каждого элемента разбиения и составят требуемую систему итерирующих функций.

Аффинное преобразование считается сжимающим, если коэффициент масштабирования меньше единицы, например $y=0,5x$.

Сжимающие преобразования обладают важным свойством. Если взять любую точку и начать итеративно применять к ней одно и то же сжимающее преобразование: $f(f(\dots f(x)))$, то результатом будет всегда одна и та же точка. Чем больше раз применяется преобразование, тем точнее находится эта точка, которая называется *неподвижной точкой*. Несколько аффинных сжимающих преобразований образуют систему **итерированных функций (СИФ)**, которые по сути представляют множительный механизм многократно искажающий и перемещающий исходное изображение. Например, при помощи СИФ из трех функций (рис.3.17) можно построить треугольник Серпинского.



$$\begin{aligned}
 f_1 \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} &= \begin{bmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 f_2 \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} &= \begin{bmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1/2 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 f_3 \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} &= \begin{bmatrix} 1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1/4 \\ \sqrt{3}/4 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

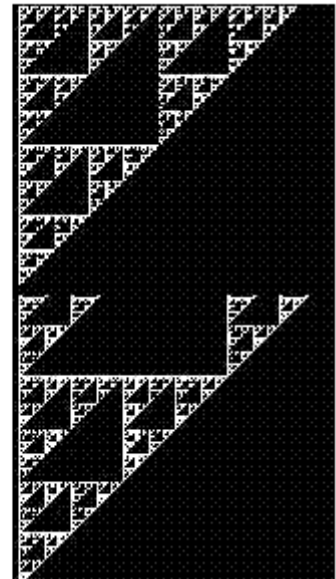


Рис.3.17. Применение СИФ для построения треугольника Серпинского

Как видно из рисунка, исходный треугольник три раза множится, уменьшается и переносится. И так далее. Если так продолжать до бесконечности, получится фрактал Серпинского с площадью 0 и размерностью 1,585. Причем вместо треугольника можно использовать квадрат, круг или другие геометрические примитивы. При этом, для кодирования объекта изображения достаточно сохранить функцию данного фрактала с указанием: в каких координатах, параметрами масштабирования и

ориентации нужно синтезировать данный объект. Таким образом, довольно крупный объект можно представить в виде 10-20 байтов его параметров и тем самым существенно снизить объем передаваемой информации.

Фрактальное сжатие хорошо работает на изображениях технических чертежей, текста, карт местности и изображениях компьютерной графики (рис.3.18). При этом коэффициент сжатия таких изображений может достигать **200-2000 раз**.

На реальных ТВ изображениях фрактальное сжатие тоже дает хорошие результаты, однако, на поиск фракталов с учетом масштабирования и взаимной ориентации требуются очень большие затраты времени (иногда до 5-10 минут на кадр, что для часовой передачи из 90 000 кадров потребует более **7,5 тысяч часов**). Поэтому для телевизионных программ фрактальные методы сжатия пока не применяются.

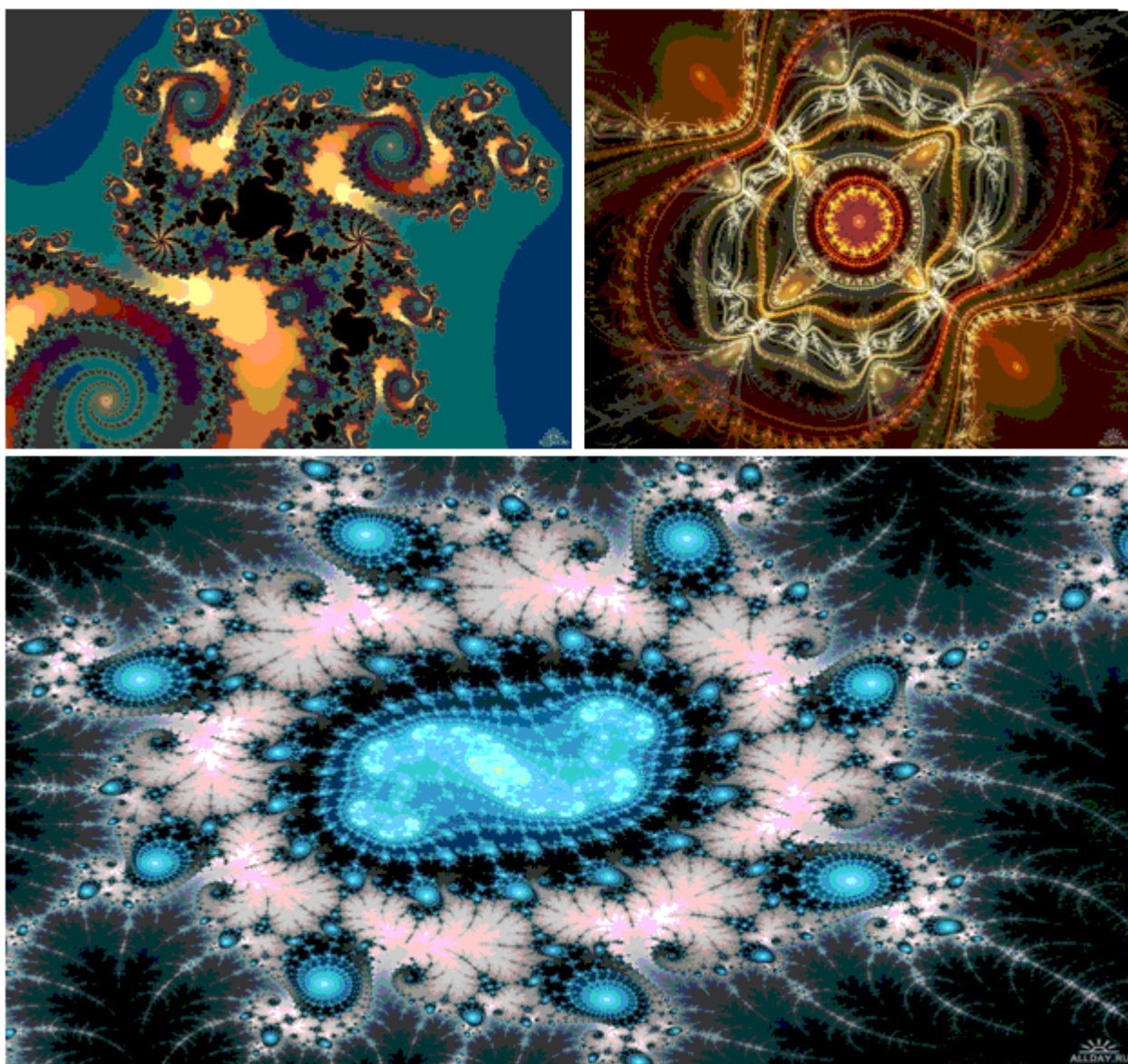


Рис.3.18. Применение фракталов для синтеза сложных изображений

3.4. Сжатие сигналов телевизионных изображений на основе устранения межкадровой избыточности

Как было указано выше, в телевидении основное сжатие видеопотока обеспечивается за счет устранения межкадровой избыточности, поскольку в пределах одного видеосюжета информация в соседних кадрах обычно меняется мало. Поэтому, если передавать только изменения изображений относительно некоего опорного или промежуточного кадра, например, в виде межкадровой разности (рис.3.19), то объем информации существенно снижается и можно получить довольно большие коэффициенты сжатия видеопотока.

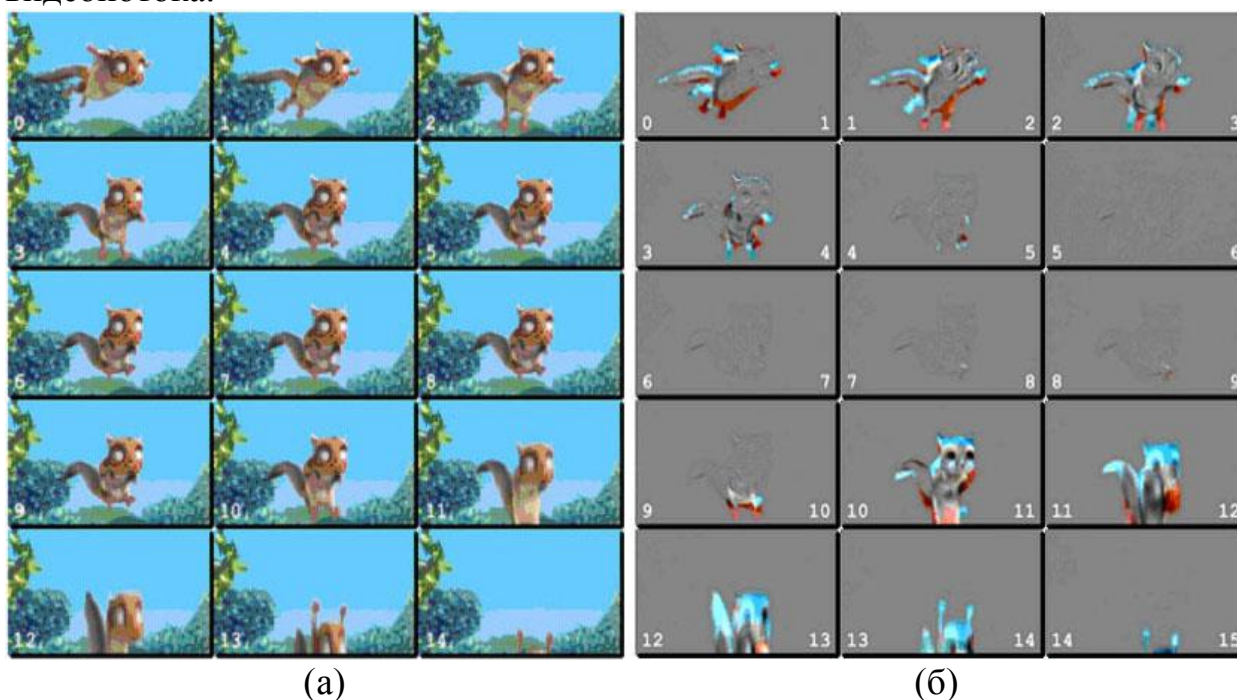


Рис.3.19. Изображения 15 кадров видеопоследовательности (а) и их межкадровая разница (б)

Как видно из приведенного рисунка, только в 5 кадрах межкадровой разницы (4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9) ее информативность близка к 0, а на остальных кадрах наблюдаются довольно сильные межкадровые различия, что приводит к резкому увеличению межкадровой информации. В связи с этим простая межкадровая разница обычно не применяется, так как даже при небольшом изменении ракурса съемки или перемещения объектов передаваемой сцены, вычитаются значения пикселей разных видеообъектов. Это приводит к увеличению объема межкадровой информации в виде появления множества мелких деталей, которые сжимаются плохо, в результате чего выигрыш от ее применения получается небольшой и обычно не превышает 2-3 раза. Поэтому на практике применяют более сложную межкадровую обработку на основе компенсации движения фрагментов изображений на смежных кадрах. Суть метода заключается в поиске фрагментов изображения первого кадра в зонах их предполагаемого

смещения в следующем кадре. Если такие фрагменты находятся, то вместо них передаются их новые координаты – вектора перемещения, тем самым, например 255 байтов блока размером 16x16 пикселей можно заменить 1-2 байтами его новых координат. На рис.3.20,а представлены изображения смежных кадров видеосюжета и результат их компенсации движения (рис.3.20,б), где черные области на скомпенсированном изображении показывают полностью идентичные блоки, вместо которых передаются только значения их новых координат (2-4 байта на блок). А светлые фрагменты изображения показывают блоки, для которых результат их межкадровой разницы превышает допустимую погрешность позиционирования и такие блоки далее подвергаются сжатию с помощью ДКП.

При этом структура видеопотока состоит из опорного кадра, где устраняется только внутрикадровая избыточность и одного или нескольких типов кадров передающих межкадровые различия и векторы перемещений блоков, что реализуется в стандартах сжатия семейства MPEG и многих других кодеках.

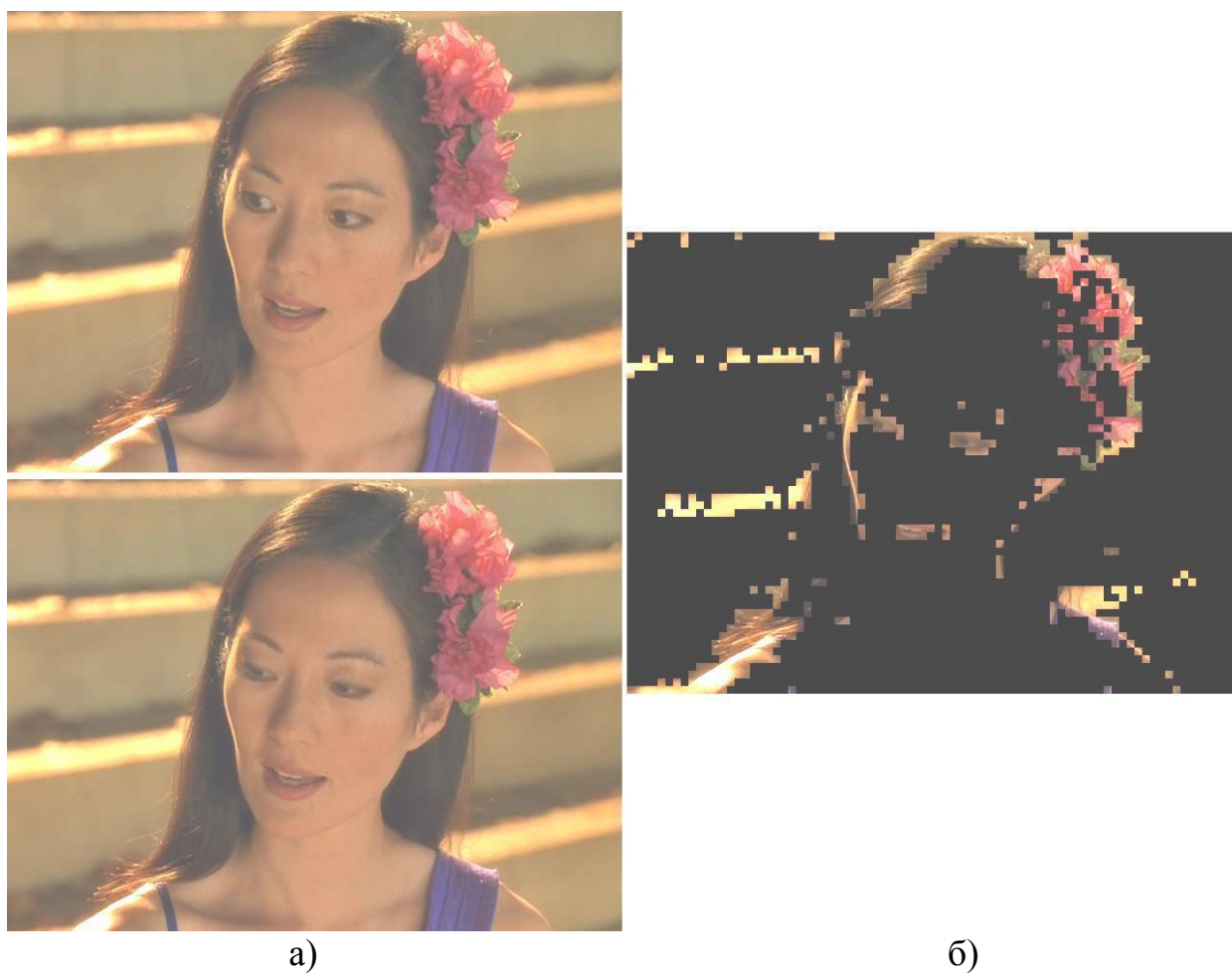


Рис.3.20. Изображения смежных кадров (а) и результат их компенсации движения (б)

При этом компенсация движения посредством нахождения векторов смещения состоит из следующих действий:

- 1) Загружается опорный (ключевой) кадр, а последующий кадр будет скомпенсирован относительно опорного кадра.
- 2) Производится разделение кадра на прямоугольные блоки (макроблоки), обычно размером 16x16 пикселей (рис.3.21,а), хотя их размер может быть произвольным.
- 3) Для пикселей первого макроблока ищется его максимальное подобие в некоторой окрестности его возможного смещения в следующем кадре.
- 4) Если такое соответствие находится, то в массив метаданных заносятся данные о номере блока и его новых координатах, а сам макроблок не передается. Если такое соответствие не находится, то содержимое блока подвергается обработке с помощью ДКП.
- 5) Далее весь процесс повторяется над всеми макроблоками первого кадра и так далее.

Наглядная иллюстрация поиска похожих блоков в предыдущем и последующем кадре показана рис.3.21,б.

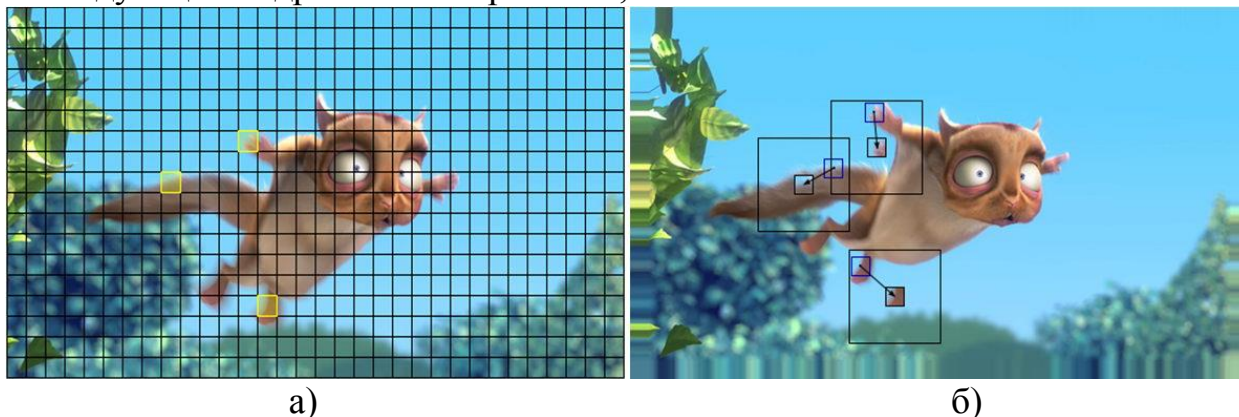


Рис.3.21. Разделение кадра на макроблоки (а) и поиск похожих блоков в соседних кадрах

Рассмотрим более подробно наиболее распространенные методы компенсации движения фрагментов телевизионного изображения.

К наиболее эффективным методам межкадровой обработки ТВ изображений относятся методы компенсации движения, которые можно разбить на классы по ряду признаков и свойств, но наибольший интерес представляет классификация по способу работы (или архитектуры) и по назначению (области применения алгоритма).

Классификация по способу работы алгоритма учитывает следующие его архитектурные особенности:

- Компенсация движения может производиться над объектами, блоками либо фиксированного размера, либо с подразбиением, а также над кадром целиком.
- Движение чаще всего ищется в классе параллельных сдвигов с ограниченным максимальным сдвигом, хотя он может быть расширен операциями поворота и масштабирования.

Для определения позиции переместившегося блока используется несколько мер, минимальное значение которых и определяют вероятное новое положение переместившегося фрагмента изображения. К этим мерам относятся:

1. Сумма абсолютных разностей (Sum of Absolute Differences, SAD)

$$SAD = \sum_{p \in Obj} |F_{Orig}(p) - F_{Comp}(p)| \quad (3.3)$$

2. Сумма квадратов разностей (Sum of Squared Differences, SSD):

$$SSD = \sum_{p \in Obj} [F_{Orig}(p) - F_{Comp}(p)]^2 \quad (3.4)$$

где суммирование производится по всем точкам объекта компенсации (например, прямоугольного блока), а F_{Orig} и F_{Comp} - яркости исходного и скомпенсированного кадра, соответственно, в точке с координатами $p=(x,y)$.

При классификации по назначению обычно выделяют две большие группы алгоритмов компенсации движения:

1. Алгоритмы, использующиеся при сжатии видео;
2. Алгоритмы, использующиеся при обработке видео (деинтерлейсинге, изменении частоты кадров).

Разница между этими алгоритмами в том, что алгоритмы первой группы ориентированы на уменьшение попиксельной разницы исходного и скомпенсированного кадров, так как именно от него зависит степень сжатия видео. При этом для них, как правило, не важно, правильно ли определено движение, или просто найдены близкие по яркости области на двух последовательных кадрах. Для алгоритмов же второй группы истинность найденных параметров движения очень важна, поскольку на основе этих параметров производится настройка других параметров алгоритма.

Рассмотрим несколько наиболее известных методов компенсации движения.

3.4.1. Пиксельный метод

Один из наиболее ранних методов компенсации движения видеообъектов. В данном методе компенсация линейных сдвигов видеообъектов производится для каждого пикселя кадра. При этом суммарная ошибка компенсации для всего кадра оценивается следующим соотношением (Displaced Frame Difference, DFD):

$$DFD(d, n) = \sum_{F \in кадр} |F(p, n) - F(p + d(p), n - 1)| \quad (3.5)$$

где $F(p, n)$ - яркость кадра номер n в точке $p=(x,y)T$, $d(p)=(dx, dy)T$ - вектор смещения для точки $(x,y)T$.

Результатом работы алгоритма для текущего кадра будут новые координаты пикселей (векторы движения) при которых минимизируется величина межкадровой разницы смежных кадров.

Подход основан на предположении, что яркость пикселей смежных кадров можно описывать линейной функцией от положения точки в кадре. Однако, это предположение справедливо только для сравнительно небольшой окрестности этой точки, что существенно снижает область применимости данного метода и позволяет ему корректно оценивать лишь небольшие сдвиги.

Для расширения зоны поиска, когда движение может составлять десятки пикселей, вектор сдвига ищется с помощью итерационного алгоритма, где на каждом шаге происходит уточнение найденного на предыдущем шаге значения. Этот метод имеет ряд серьезных недостатков:

- высокая сложность алгоритма, так как движение оценивается для каждого пикселя в отдельности;
- очень большой объем метаданных, поскольку для каждого пикселя задается вектор смещения в виде пары целых чисел.

Поэтому в чистом виде данный метод не применяется.

3.4.2. Метод сопоставления блоков

Этот подход объединяет в себе группу различных методов основанных на разбиении изображения на прямоугольные блоки размером 8×8 или 16×16 пикселей и поиске их линейного перемещения. При этом движение каждого блока описывается двумерным вектором смещения по координатам X и Y .

Для работы данного метода необходимо, чтобы в межкадровом интервале положение объектов в сцене мало изменялось. На практике данное условие выполняется в большинстве обычных видеопоследовательностей, за исключением участков с резкой сменой сцены, поэтому характер движения объектов можно считать почти всюду непрерывным.

Принцип работы данного метода следующий (рис. 3.22):

1. Текущий кадр разбивается на непересекающиеся блоки одного размера $B(x, y)$.
2. Для каждого блока $B(x, y)$ в небольшой окрестности предполагаемого смещения ищется наиболее «похожий» на него блок $B_{prev}(x+u, y+v)$ в предыдущем кадре. «Похожесть» определяется выбранной метрикой, обычно SAD или SSD.
3. Новые координаты блока при котором достигается минимум выбранной ошибки позиционирования, считается вектором смещения для данного блока $d=(u, v)^T$.

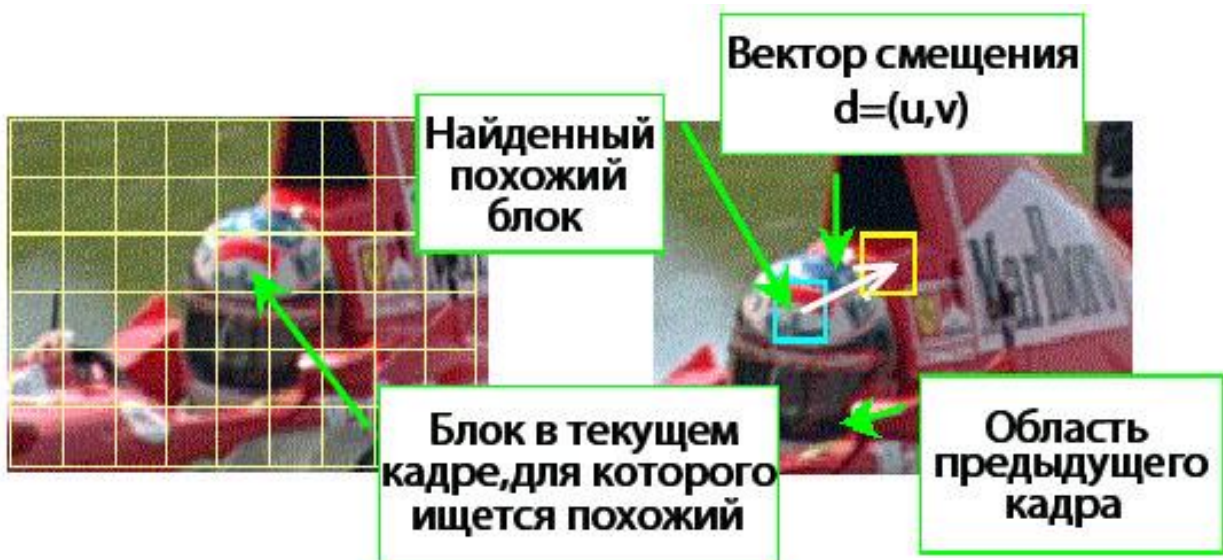


Рис.3.22. Схема работы алгоритма сопоставления блоков

В качестве функции ошибки компенсации чаще всего используется мера SAD для скомпенсированного блока:

$$SAD(\vec{d}, n) = \sum_{p \in B(x, y)} |F(p, n) - F(p + \vec{d}, n - 1)| \quad (3.6)$$

так как её вычисление проще реализуется на некоторых архитектурах процессоров.

Данный метод хорошо сочетается с размерами сигнальных матриц ДКП и получил широкое распространение в потоковых стандартах сжатия MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4-10. Однако, полный перебор возможных позиций блоков для их точного позиционирования занимает много вычислительных ресурсов и времени. Поэтому для ускорения работы алгоритма часто применяют поиск не по всему полю, а по определенным шаблонам.

Так, минимальное число проверок обеспечивает ортогональный шаблон, состоящий из двух проверок, сокращающий за каждый шаг область поиска вдвое (рис.3.23).

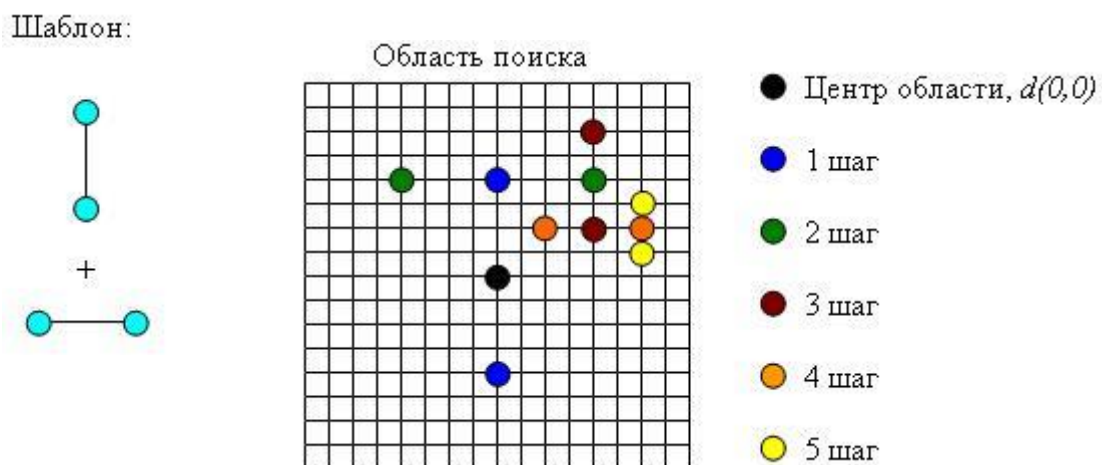


Рис. 3.23. Ортогональный шаблон поиска

Однако, функция ошибки компенсации почти никогда не бывает монотонной, и обычно имеет множество локальных минимумов, затрудняющих поиск глобального минимума. Поэтому часто используются шаблоны, которые на каждом шаге проверяющие более чем две точки. Это уменьшает вероятность найти локальный минимум вместо глобального. Наиболее популярными являются прямоугольный и восьмиточечный шаблоны (рис.3.24,б), причем последний может иметь либо фиксированный размер на протяжении всех шагов, либо уменьшаться вдвое на каждом шаге.

Методы, основанные на шаблонах, обеспечивают неплохую скорость работы, однако, часто не обеспечивают нужной точности позиционирования блоков, находя локальный минимум вместо истинного.

К достоинствам данного метода можно отнести то, что поиск вектора движения для каждого отдельного блока не зависит от результатов поиска в соседних блоках.

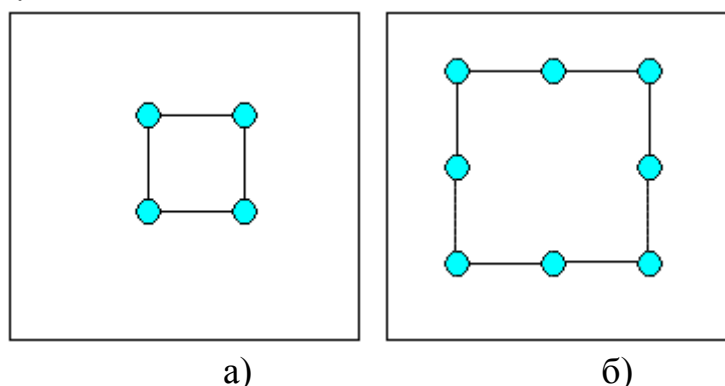


Рис.3.24. Виды прямоугольного (а) и восьмиточечного (б) шаблонов поиска

3.4.3. Метод параметрических моделей

Данный метод хорошо работает в тех случаях, когда все изменение сюжета в кадре вызвано только движением передающей камеры. Тогда это движение можно описать моделью с четырьмя параметрами:

$$\vec{d}(x, y, n) = \begin{pmatrix} p_1(n) + p_3(n) \cdot x \\ p_2(n) + p_4(n) \cdot y \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Параметры $p_1(n)$ и $p_2(n)$ описывают параллельное перемещение камеры, в то время, как $p_3(n)$ и $p_4(n)$ описывают ее вращение и приближение или удаление. Можно легко обобщить этот метод на общий случай, когда в кадре есть множество независимо движущихся объектов: после разбиения кадра на блоки данная модель может быть применена для каждого из блоков кадра. Для повышения эффективности данного метода, его следует использовать совместно с каким-либо блочным методом.

Теоретически параметрическую модель для описания движения области изображения можно применять, если:

- 1). Области в пространстве соответствует плоский участок поверхности.

2). Область «покрывает» разные и находящиеся на разном расстоянии от камеры объекты, но съемки ведутся не смещающейся, относительно этих объектов, камерой.

В иных случаях изображение объектов «движется в кадре» более сложным образом, чем это допускает любая параметрическая модель, поэтому в таких случаях целесообразно применять несколько методов компенсации движения сразу.

3.4.4. Метод объектного подхода

При сжатии ТВ изображений часто возникают ситуации, когда намного удобнее обрабатывать видео объекты кадра целиком, а не разбивать изображение на блоки. Данная методика выделения объектов носит название – сегментация. Объектно-ориентированное представление ТВ изображений входит в область применения алгоритмов сегментации. При сегментации выделяется на изображении области с примерно одинаковыми свойствами внутри – текстурами, и посылается по каналам лишь их описание. Таким образом, степень компрессии возрастет. Подобная методика позволяет увеличить эффективность сжатия изображения без снижения его качества.

Наиболее часто объектно-ориентированный подход используется для более точной компенсации движения, что находит применение в стандарте MPEG-4. При этом, изображение разделяется на блоки не фиксированного размера, а на объекты произвольной формы, выделенные из сюжетов самого изображения, при помощи методов сегментации, которые применяются наряду с другими методами (метод параметрических моделей, метод сопоставления блоков и другие).

Процесс сегментации может происходить независимо от процесса поиска параметров движения, либо и то, и другое может определяться в рамках единого процесса, повторяющегося итеративно. В первом случае основанием для сегментации служит обычно яркостная информация, во втором случае сегментация производится с учетом найденных параметров движения, которые затем уточняются. Иногда сегментация кадра на объекты применяется после определения векторов смещения для отдельных блоков с целью коррекции найденного векторного поля.

На рис.3.25 показана обобщенная схема объектно-ориентированного подхода к многокадровой компенсации движения. Работа начинается с загрузки в буфер памяти текущего кадра и векторов движения, найденных кодеком при помощи алгоритма предсказания векторов движения. Если текущий кадр является первым кадром видеопотока, то векторы движения отсутствуют. На основе этих данных происходит дополнение информации при передвижении сегментированных объектов.

При помощи методов сегментации изображения помимо самого объекта выделяются и некоторые участки окружающего его фона. Эти участки фона также нуждаются в передаче, так как, во время своего

передвижения объект закрывает собой некоторую область фона и освобождает участки фона, которые он до этого собою закрывал, как это показано на рис.3.26.

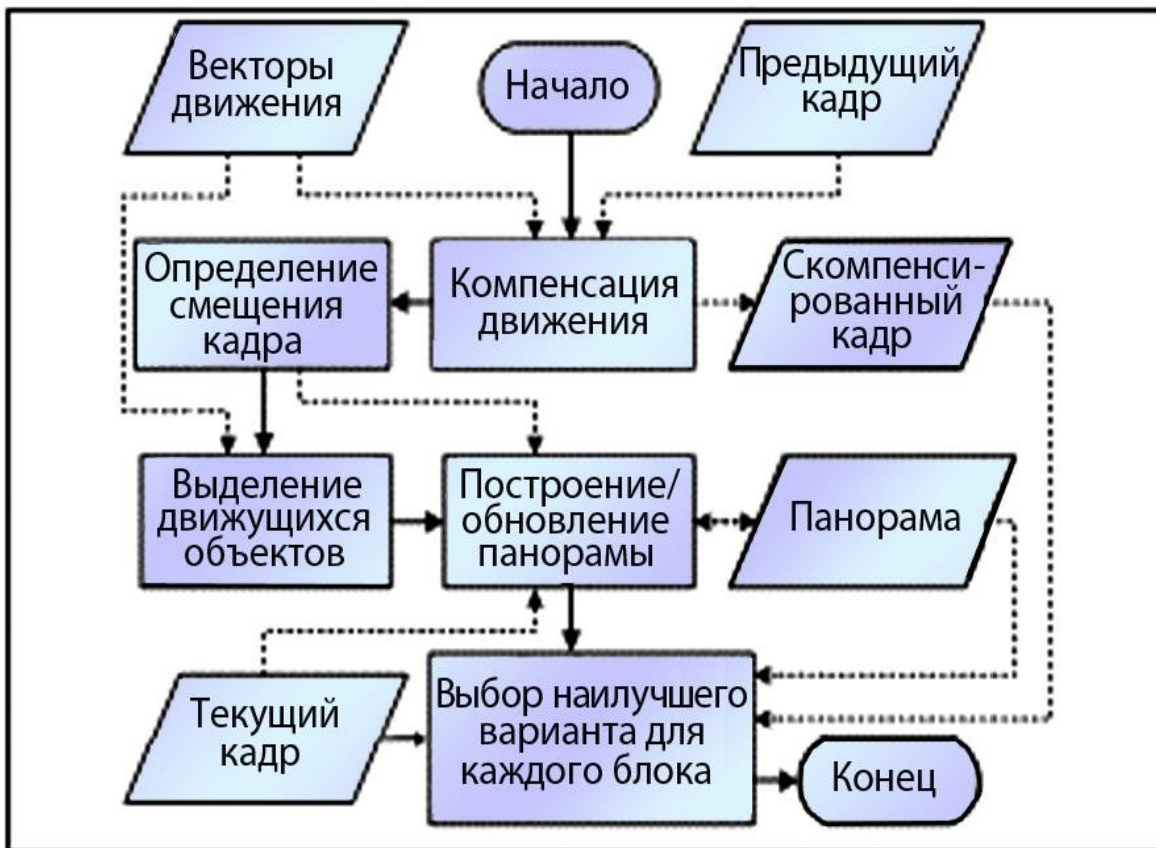


Рис.3.25. Обобщенная структурная схема процесса объектно-ориентированной компенсации движения

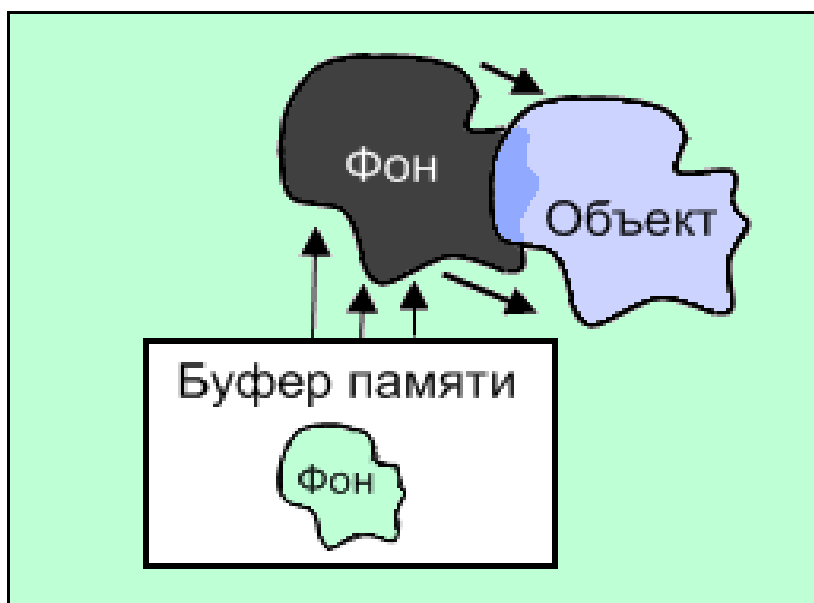


Рис.3.26. Соотношение движущегося объекта и статичного фона изображения.

Именно эти пустующие зоны необходимо заполнить участками фона, которые передаются вместе с контуром динамического объекта.

Следующим шагом обработки двух кадров является поступление в формирователь выходного потока опорного кадра и сегментированного динамического объекта с локальными координатами его размещения в кадре. Наиболее просто и эффективно объектный подход реализуется в изображениях, где на неизменном фоне перемещаются различные видеообъекты. В этом случае достаточно декодеру передать опорный кадр, выделенные динамические объекты сцены и координаты их размещения в следующем кадре. При этом все неизменные фоновые области второго кадра могут быть скопированы из первого кадра. А области кадра в которых произошли сюжетные изменения, выделяются и сжимаются методами на основе спектральных преобразований и передаются в потоке видео данных через канал связи декодеру.

Декодер на приемной стороне на изображение опорного кадра вставляет изображение сегментированного объекта по переданным координатам его нового положения в следующем кадре. Такой подход позволяет получить довольно большие коэффициенты сжатия с использованием относительно простых алгоритмов сегментации динамического объекта.

На рис.3.27 показан пример восстановления фона в кадровой последовательности при его перекрытии движущимся статическим или динамическим объектом.

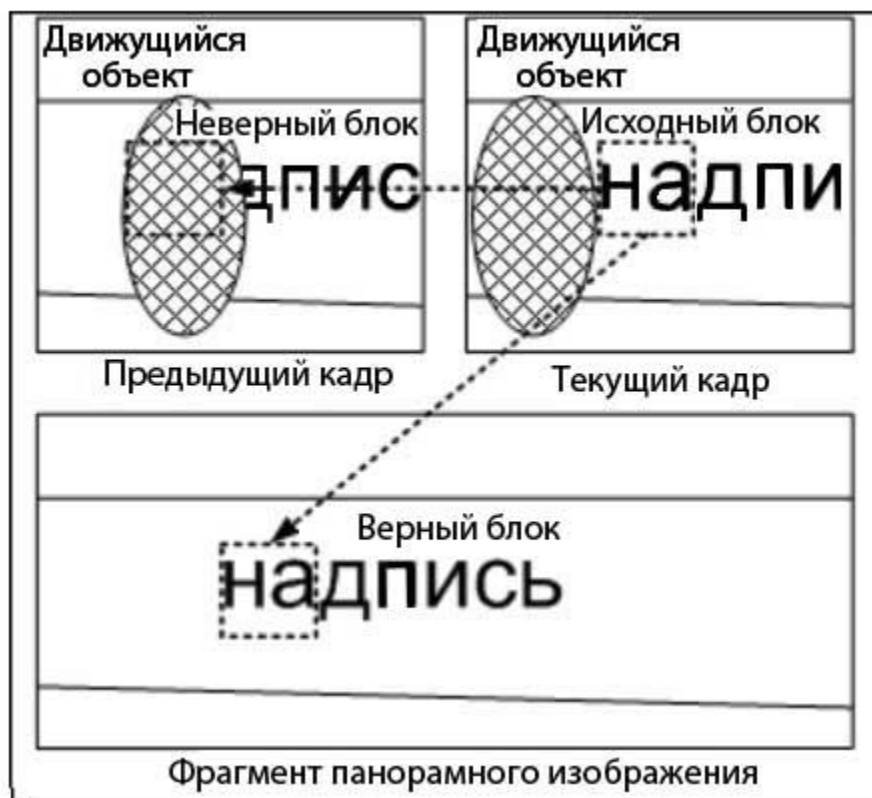


Рис.3.27. Восстановление фона, перекрывающегося движущимся объектом в кадровой последовательности.

Таким образом, объектно-ориентированная компенсация движения сводится к следующим действиям:

- 1) производится сегментация видео объектов;
- 2) производится поиск объектов в смежных кадрах;
- 3) передается ключевой кадр, статичные участки в смежных кадрах и информация о происходящих изменениях в кадрах на декодер.
- 4) при декодировании производится восстановление смежных кадров на основе ключевого кадра и дополнительной информации.

При этом, сегментация объекта производится, как по яркостным или цветовым признакам, так и по принципу однородности блоков, которые образуют объект. Для поиска или селекции объектов в кадре разработано довольно много методов, отличающихся сложностью и быстродействием используемых алгоритмов, точностью выделения границ контуров и т.д. Хотя в некоторых случаях можно использовать и межкадровую разницу.

В структуре цифрового потока используются опорные кадры, в которых устраняется только внутрикадровая статистическая избыточность на основе методов спектральных преобразований и промежуточных кадров в которых содержится информация о типе передаваемого кадра, найденных динамических объектов сцены, их координаты размещения в кадре и другая служебная информация.

Таким образом, при использовании реальных изображений с неизменным фоном и перемещающимися динамическими объектами любой формы и цвета достаточно в кодере передавать опорный кадр и информацию о выделенном объекте для описания смежных кадров. А в восстановлении видеопотока декодер вставляет объект, находящийся в памяти в новое место, ориентируясь по переданным координатам его перемещения в кадре.

Помимо этого, остается возможность применения к видео других методов, как, например, параметрических моделей, которые позволят отличить изменение формы объектов от изменения угла снимающей их камеры, а также методов межкадровой разницы, трехмерного рекурсивного поиска (при поиске самого объекта и его блоков) и так далее.

Следует отметить, что все методы компенсации движения фрагментов сцены, использующие блочную структуру изображений, формируют дополнительный массив метаданных, который присоединяется к сжатым видеоданным опорного кадра и межкадровых различий. Причем, чем точнее осуществляется компенсация движения, тем больше становится объем метаданных, снижая результирующий коэффициент сжатия видеопотока. Поэтому, применяемые различные методы компенсации движения должны минимизировать формируемый объем метаданных, иначе их возрастающий объем может свести к нулю достоинства самих методов компенсации движения.

3.5. Особенности сжатия звуковых сигналов

В отличие от сигналов изображения, которые обычно имеют много однородных участков яркостей пикселей и соответственно хорошо сжимаются корреляционными методами, у звуковых сигналов корреляционная связь между отсчетами довольно маленькая и поэтому такие сигналы сжимаются слабо, обычно не более 2-4 раза. Это связано с тем что вещательный звуковой сигнал представляет большую сумму сигналов совершенно различных источников не связанных между собой (различных инструментов оркестра, голоса людей, шум улицы, ветра и т.д.). Да и кроме того, динамический диапазон звукового сигнала значительно более широкий, чем у видеосигнала, поэтому одинаковые значения отсчетов в звуковом сигнале практически не встречаются. Поэтому основное сжатие вещательных звуковых сигналов осуществляется на основе их психоакустической обработки, учитывающей особенности нашего слухового восприятия. В настоящее время существует много кодеков сжатия звуковых сигналов, отличающихся качеством звучания восстановленных фонограмм, коэффициентом сжатия аудио потока, сложностью и быстродействием используемых алгоритмов. Как правило, эти кодеки имеют довольно общую часть, основанную на спектральных преобразованиях, использующих быстрое преобразование Фурье или модифицированное ДКП (для обработки одномерного массива данных). А также статистических компрессорах (RLE и Хаффмана) для сжатия их спектральных коэффициентов. Отличительной же частью этих кодеков является их психоакустическая обработка ЗС, на разработку которой вкладываются большие деньги и составляет их ноу-хау. Чем более точно психоакустическая модель кодека соответствует нашему слуховому восприятию, тем больше информации из сигнала можно удалить и при этом не потерять качество звучания. В настоящее время для обработки ЗС разработаны такие психоакустические модели слухового восприятия, как **MASCAM**, **MUSICAM**, **ATRAC**, **ASPEC** и другие. Рассмотрим основные особенности психоакустической обработки ЗС более подробно.

3.5.1. Особенности психоакустической обработки ЗС

Работа психоакустических моделей основывается на свойствах слухового аппарата человека, представляющего большой набор узкополосных резонаторов, которые могут маскировать определенные компоненты ЗС по уровню, частоте и времени.

Маскировка по уровню основывается на неравномерности распределения границы слышимости звука по частотам, представленной на рис.3.28. Наилучшим образом мы слышим частоты в районе 2-4 кГц, в

котором примерно находится речевой диапазон, а к низким и высоким частотам чувствительность уха снижается.

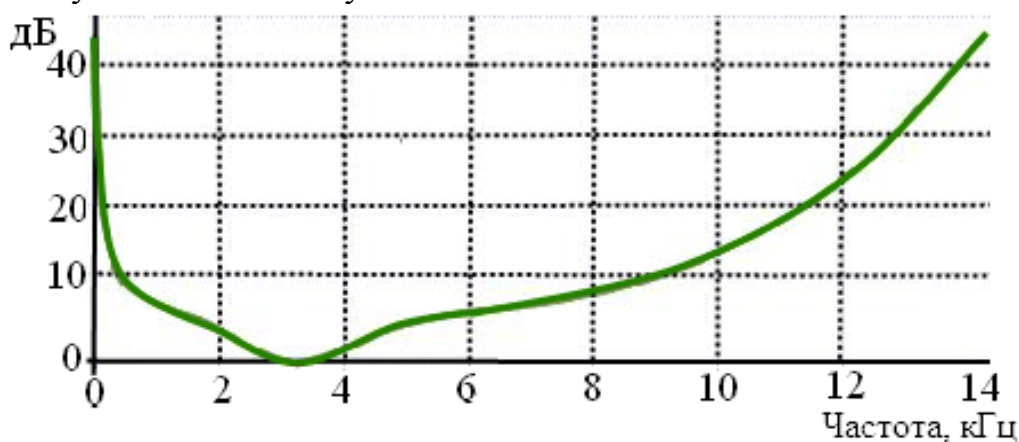


Рис.3.28. Граница слышимости в тишине.

Таким образом, чем дальше частота слышимого звука от 2-4 кГц, тем выше граница слышимого звука, тем больше информации можно вырезать без заметных потерь в качестве. Причем, если за громким звуком, например, удар барабана, следует тихий звук, то человек его не расслышит, так как громкий звук барабана будет глушить тихий звук. Следовательно, этот тихий звук можно вырезать из ЗС и при этом практически ничего не потерять, так как человеческое ухо его не услышит.

Частотная маскировка основана на том, что каждый резонатор слуховой системы человека имеет определенную полосу пропускания. Так, на частоте 1000 Гц порог различимости составляет 30 Гц. Поэтому если в ЗС присутствуют частоты 1000 и 1020 Гц, то они ухом не различимы, поэтому на время действия тона 1020 Гц достаточно передавать тон 1000 Гц и при этом на слух ничего не потерять.

Кроме того, любой слышимый тон изменяет восприятие остальной звуковой картины. При воспроизведении какого либо тона граница слышимости соседних с ним по частотам звуков изменяется. В этом случае воспроизводимый тон называется маскирующим, а граница слышимости окружающих его тонов поднимается тем выше, чем ближе их частота к частоте маскирующего сигнала. То есть, слушая низкий звук, значительно проще услышать высокий звук, нежели низкий другой частоты. Под воздействием тона частотой 1 кГц и интенсивностью 60 дБ измененная граница слышимости будет выглядеть примерно, как на рис.3.29.

Обычно в музыке одновременно присутствуют самые разнотоновые компоненты. Таким образом, маскирующих тонов может быть несколько. При использовании сразу нескольких маскирующих тонов (частотой 0,25, 1, 4, 8 кГц, как показано на рис.3.30.) граница слышимости остальных сигналов сильно поднимается.

На рис.3.30 видно, что наилучшим образом маскируются высокие частоты. Уже при воспроизведении 8-килогерцового маскирующего тона граница слышимости на 14 килогерцах поднимается. Алгоритмы компрессии

этим активно пользуются — при сжатии качество высоких частот обычно ухудшается в первую очередь, что особенно заметно на низких **битрейтах (bitrate – количество бит, необходимых для кодирования 1 секунды звука)**.

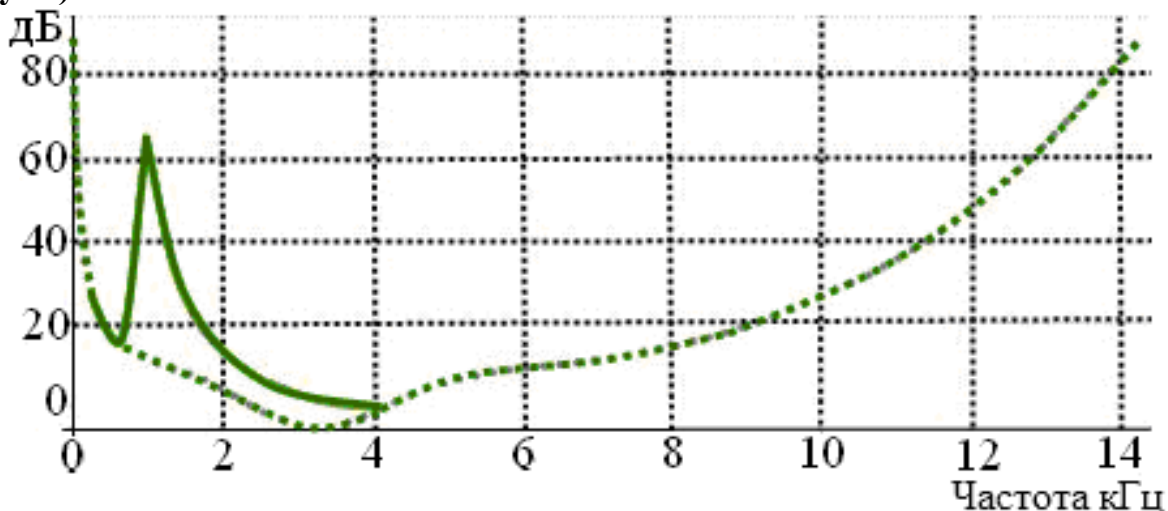


Рис.3.29. Граница слышимости под воздействием тона частотой 1 кГц и интенсивностью 60 дБ.

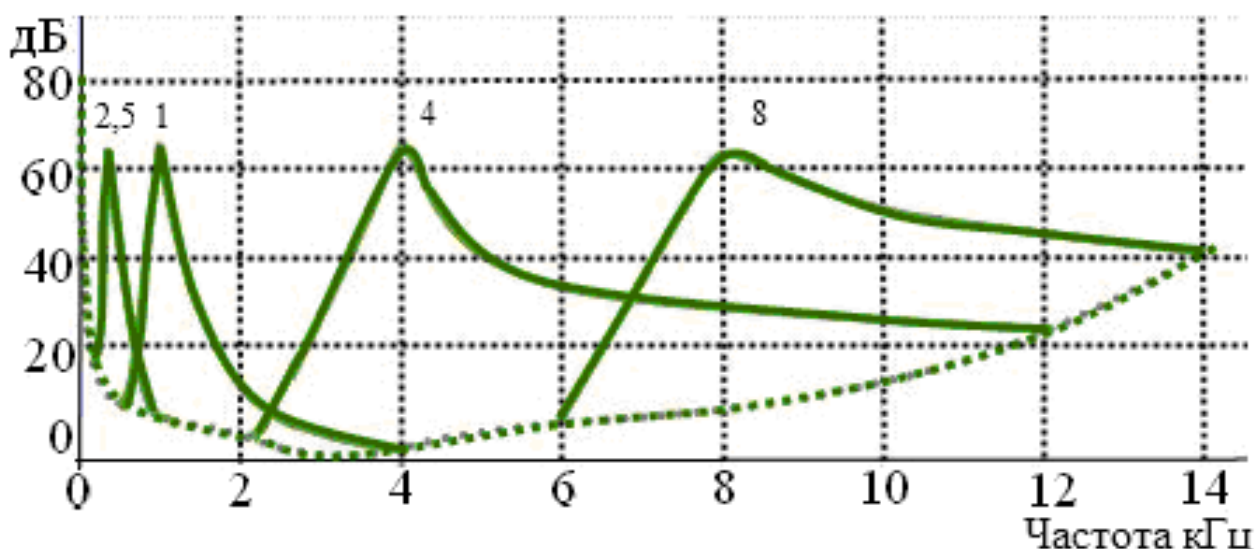


Рис.3.30. Граница слышимости под воздействием сразу нескольких маскирующих тонов (частотой 0,25, 1, 4, 8 кГц).

Временная маскировка основывается на том, что очень короткие звуковые сигналы человеческое ухо не замечает. Кроме того, после резкого прекращения действия маскирующего тона, в течение короткого времени (около сотни миллисекунд, в зависимости от частоты и амплитуды сигнала) граница слышимости уха изменяется, причем нелинейно. На рис.3.31 представлен график, иллюстрирующий временную маскировку.

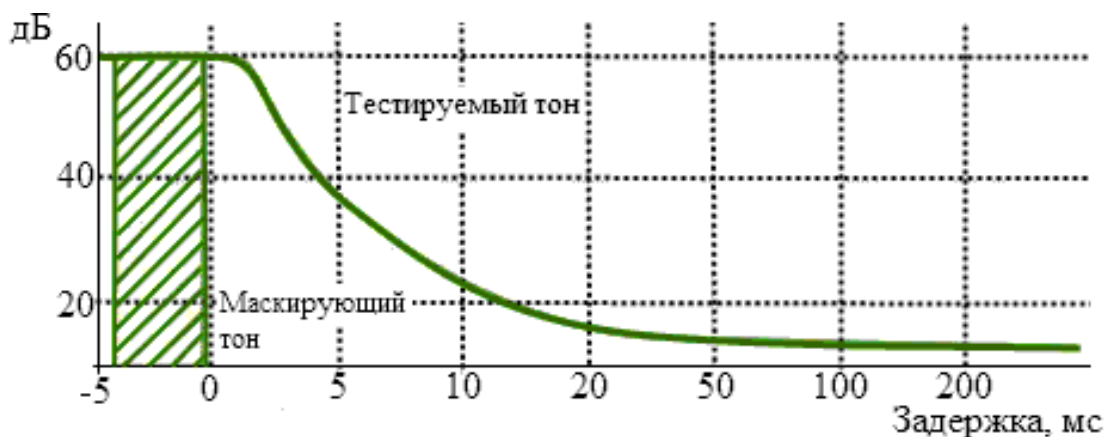


Рис.3.31. Временная маскировка.

В графиках частотной и временной маскировки одна из осей совпадает— и это не случайно. Совместив эти два графика, можно построить объемную диаграмму, иллюстрирующую общую эффективность компрессии звука, основанную на маскировке сигналов (рис.3.32).

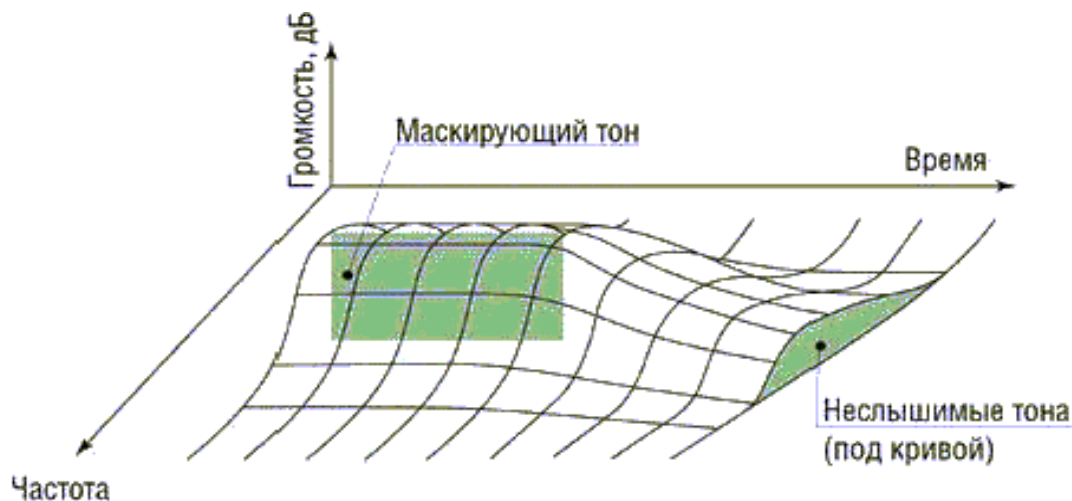


Рис.3.32. Общая эффективность компрессии звука.

Как видно, объем, заключенный под поверхностью слышимых звуков, составляет немалую часть от общего количества звуков. Удаление замаскированных тонов дает самое значимое сжатие, однако оно же и приводит к наиболее заметной потере качества.

3.5.2. Компрессия цифровых аудиоданных

Аналоговый ЗС в студийном тракте преобразуется в цифровую форму в аналогово-цифровом преобразователе АЦП, (рис.3.33.). При этом в, так называемом первичном, кодировании используется первичное квантование отсчетов ЗС с разрешением $\Delta A = 16..24$ бит/отсчёт при частоте дискретизации $f_D = 44,1.. 96$ кГц. В каналах студийного качества часто $\Delta A = 16$ бит/отсчёт, $f_D = 48$ кГц с полосой частот кодируемого ЗС $\Delta F = 20.. 20000$

Гц. Динамический диапазон такого цифрового канала должен быть не менее 54 дБ. Если $f_d = 48$ кГц и $\Delta A = 16$ бит/отсчёт, то скорость цифрового потока при передаче одного такого сигнала составит $v = 48 * 16 = 768$ кбит/с. Компрессия цифровых аудиоданных обычно выполняется в кодере источника (рис. 3.33), а восстановление сигнала происходит на приёмной стороне в декодере перед цифроаналоговым преобразователем (ЦАП).



Рис.3.33. Обобщенная схема передающей и приёмной частей цифровой системы передачи звуковых сигналов

Наиболее высокое качество звучания обеспечивают многоканальные системы 3/2, 5.1 и квадрафоническая система «трапеция». Причем, система «трапеция», часто используемая в телевидении высокой четкости (HDTV), использует 2 передних канала (левый и правый) и 2 задних пространственных канала. Система 3/2 дополнительно спереди использует центральный канал, а система 5.1 еще канал сверхнизких частот. Однако, при первичном цифровом представлении высококачественных звуковых сигналов, суммарная скорость цифрового потока оказывается достаточно большой. Так, для формата 3/2 требуется канал с пропускной способностью, равной 3,840 Мбит/с.

Человек со своими органами чувств в состоянии принимать огромные потоки информации. Но сознательно он способен обрабатывать лишь около 100 бит/с информации. Поэтому, можно говорить о присущей аудиоданным избыточности. Значительной проблемой при цифровом представлении звукового сигнала (ЗС) является сокращение имеющейся в них статистической и психофизической избыточности. Это позволяет уменьшить скорость цифрового потока при кодировании ЗС до предельно возможной величины, при которой шумы, помехи и искажения остаются ещё незаметными на слух даже для высококвалифицированных экспертов. Особенно важную роль играет сокращение психофизической избыточности ЗС, основанное на учёте такого феномена, как маскировка и динамические свойства слуха.

Обобщенная структурная схема кодера с компрессией цифровых аудиоданных представлена на рис.3.34. В блоке время-частотного анализа и сегментации исходного звукового сигнала $S(n)$ он разделяется на субполосные составляющие и сегментируется по времени. Субполосная составляющая – это вырезанная фильтром из ЗС полоса частот, при временном ограничении она называется субполосой или выборкой. Длина кодируемой выборки зависит от формы временной функции ЗС.

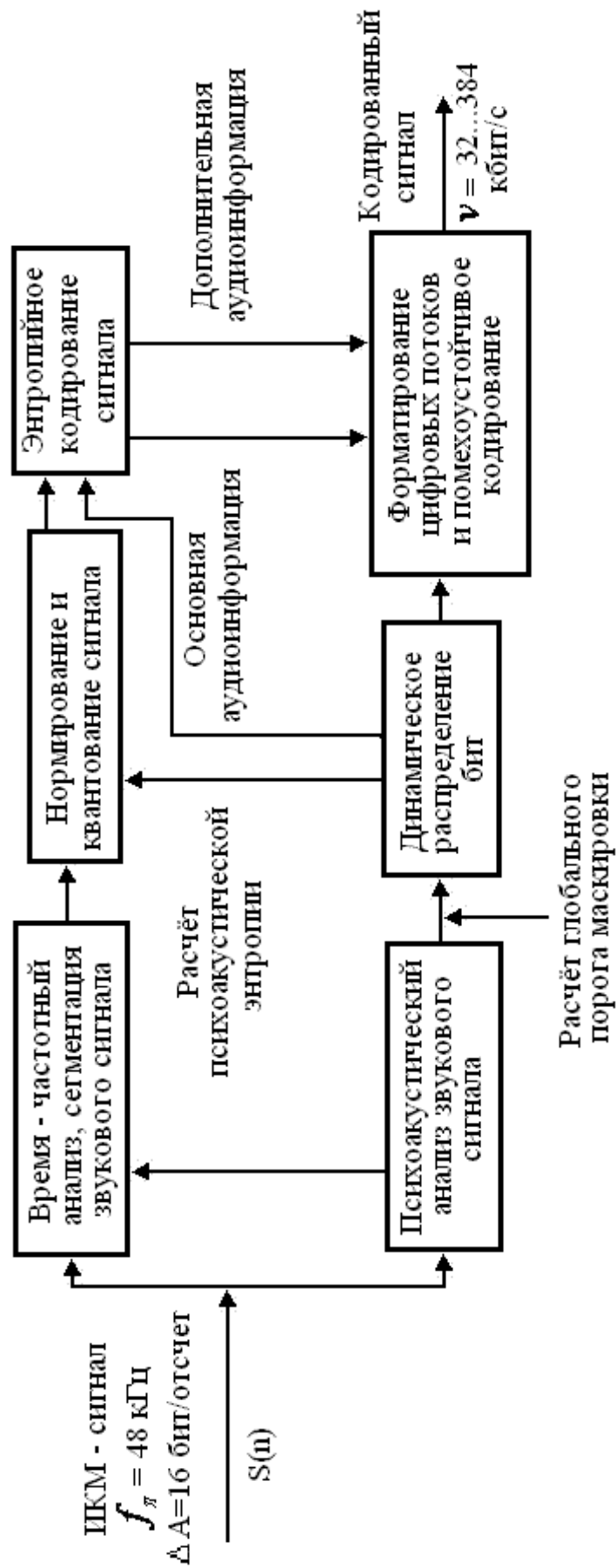


Рис.3.34. Обобщенная структурная схема кодера с компрессией цифровых аудиоданных

При отсутствии резких выбросов по амплитуде используется, так называемая, длинная выборка, обеспечивающая высокое разрешение по частоте. В случае же резких изменений амплитуды сигнала, длина кодируемой выборки резко уменьшается, что дает более высокое разрешение по времени. Решение об изменении длины кодируемой выборки принимает блок психоакустического анализа, вычисляя значение психоакустической энтропии сигнала. После сегментации субполосные сигналы квантуются и затем кодируются. В наиболее эффективных алгоритмах компрессии аудиоданных кодированию подвергаются не сами отсчеты ЗС, а соответствующие им коэффициенты модифицированного дискретного косинусного преобразования (МДКП). Обычно при компрессии цифровых аудиоданных используется энтропийное кодирование, при котором одновременно учитываются как свойства слуха человека, так и статистические характеристики ЗС. Однако, основную роль при этом играют процедуры устранения психоакустической избыточности, основанные на учёте свойств слуха.

Учёт закономерностей слухового восприятия ЗС выполняется в психоакустической модели или, иначе говоря, в блоке психоакустического анализа. Здесь по специальной процедуре для каждого субполосного сигнала (выборки) рассчитывается допустимый уровень искажений (шумов) квантования, при котором они еще маскируются полезным сигналом данной субполосы. Именно этот блок в конечном счете определяет эффективность и качество кодера с компрессией цифровых данных. Чем совершеннее психоакустическая модель кодера, тем больше лишней информации будет удалено из потока и тем меньше пострадает слышимая часть. Но для более сильного сжатия производится квантование коэффициентов МДКП, что приводит к ухудшению качества звучания. Однако, на слух это может быть и незаметно, поскольку обычный слушатель не всегда может отличить «MP3»-фонограммы кодированные с битрейтами 128 и 256 кбит/с.

Блок динамического распределения бит на основе психоакустической модели слуха определяет минимальное количество бит для передачи значений коэффициентов МДКП, при котором уровень искажений квантователя на слух еще не воспринимается.

Для обеспечения правильного декодирования сжатых сигналов кроме кодовых слов отсчетов ЗС или соответствующих им коэффициентов МДКП (основные аудио данные) декодеру передается также и определённая дополнительная информация. После кодирования цифровые потоки основной и дополнительной информации форматируются. При этом, наиболее важная её часть подвергается помехоустойчивому кодированию с помощью кода **CRC** (помехоустойчивое кодирование). Таким образом, в зависимости от выбранного качества звучания, на выходе кодера формируется цифровой поток сжатых аудиоданных со скоростью 32...320 кбит/с.

4. СТАНДАРТЫ СЖАТИЯ СИГНАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ЗВУКА

Как было показано в предыдущем разделе, для сжатия объемов видео и аудио данных разработано много методов и алгоритмов, отличающихся эффективностью сжатия, сложностью вычислений и быстродействием, а также областями их применения. При этом каждый из применяемых механизмов сжатия, например, на основе фракталов, Фурье, ДКП, Вейвлетов и.т.д, формирует, удобный для его работы массив выходных данных. А так как в мире существует множество компаний, производящих свои кодеки, то это приводит к тому, что кодеки одних производителей не понимают структуру данных кодеков других производителей. Поэтому необходимо, чтобы у однотипных кодеков были единые параметры и структуры входных и выходных цифровых аудио-видео данных. Это позволит нормально смотреть ТВ программы и фильмы, кодированные и декодированные кодеками разных производителей. Причем, стандарты или форматы обычно предоставляют производителям свободу выбора методов и алгоритмов обработки изображений и звука, но требуют соблюдения единых правил формирования выходного потока. Это как различные краны для воды, независимо от внешнего вида и размера, одинаково подходят для установки в смесители так как имеют одинаковую резьбу и посадочные места.

Таким образом, в настоящее время для сжатия изображений и звука наибольшее применение получили следующие стандарты:

- **JPEG и JPEG-2000** для неподвижных изображений (фотографий);
- **MJPEG и стандарты семейства MPEG** для подвижных изображений.

Термин **JPEG** это сокращение от **Joint Photographic Experts Group (Объединенная Фотографическая Группа Экспертов)** – качественный и очень популярный стандарт для статических изображений, который поддерживается практически всеми современными программами. Для просмотра JPEG файлов достаточно стандартных Web-браузеров, которые осуществляют их декомпрессию и отображение на мониторе.

MPEG является сокращением от названия экспертной группы ISO (Moving Picture Expert Group), занимающейся разработкой стандартов кодирования и сжатия видео- и аудио - данных. Официальное название группы - ISO/IEC JTC1 SC29 WG11. Часто аббревиатуру MPEG используют для ссылки на стандарты, разработанные этой группой. На сегодняшний день известны следующие стандарты:

- **MPEG-1** предназначен для записи видеofilмов (обычно в формате VHS с разрешением 358x288) и звукового сопровождения на CD-ROM с минимальной скоростью потока около 1.5 Мбит/с. Качественные параметры видеоданных в MPEG-1, не высоки, поэтому этот формат в настоящее время в телевидении не применяется и используется в системах видео наблюдения.

- **MPEG-2** разработан как стандарт вещательного ТВ для передачи данных от 3 до 15 Мбит/с, а в профессиональной аппаратуре используют потоки скоростью до 50 Мбит/с. Стандарт MPEG-2, активно используется для спутникового и наземного ТВ вещания, а также для архивации больших объемов видеоматериала.
- **MPEG-3** – разрабатывался для телевидения высокой четкости (High - Defenition Television, HDTV) со скоростью потока данных 20-40 Мбит/с, но потом вошел составной частью в стандарт MPEG-2 и отдельно теперь не упоминается.
- **MPEG-4** – разрабатывался для передачи мультимедийной информации по узкополосным каналам Интернета со скоростями потока до 64 кбит/с и не являлся телевизионным форматом. Однако, позже стандарт был дополнен 10-тым приложением для сжатия сигналов вещательного ТВ и видеofilьмов для DVD. Стандарт обеспечивает хорошее качество изображений на скоростях цифрового потока более 2,5 Мбит/с и вместе с MPEG-2 широко применяется в цифровом телевидении. На сегодняшний день MPEG-4 является самым перспективным алгоритмом сжатия видеоинформации. По сути дела, это комплексная среда взаимодействия с различными мультимедийными объектами: аудио, видео, текстом, синтезированными объектами.
- **MPEG-7** формально называется “Мультимедийный интерфейс для описания содержимого” (Multimedia Content Description Interface), который предназначен для стандартизации базовых технологий для описания аудио-визуальных данных в рамках мультимедийной среды. Аудиовизуальный материал MPEG-7 может включать в себя статические изображения, графику, 3D модели, звук, голос, видео и композитную информацию о том, как эти элементы комбинируются при мультимедийной презентации. В особых случаях этих общих видов данных сюда может включаться выражения лица и частные характеристики личности. В настоящее время стандарт MPEG-7 находится в разработке.
- **Стандарт MPEG-21** также является мультимедийным стандартом для определения технологии, обеспечивающей поддержку пользователей при обмене, доступе, продаже и других манипуляциях цифровыми объектами. При этом предполагается обеспечить максимальную эффективность и прозрачность этих операций. Он ориентирован для создателей дистрибьюторов и сервис-провайдеров в открытом рынке мультимедиа. В настоящее время стандарт MPEG-21 также находится в разработке.

Основные характеристики стандартов MPEG представлены в таблице 5.1

Таблица 4.1.

Характеристики стандартов MPEG

Стандарт	MPEG-1 ISO/IEC 11172	MPEG-2 ISO/IEC 13818	MPEG-4 ISO/IEC 14496	MPEG-7 ISO/IEC 15938	MPEG-21 ISO/IEC 21000
Назначение	Кодирование аудио и видео	Кодирование аудио и видео	Низкоскоростное кодирование аудио и видео	Интерфейс описания мультимедийного контента	Открытая структура доступа к средствам мультимедиа
Скорость выходного потока	1...5 Мбит/с	4...80 Мбит/с	0,064...4 Мбит/с	Нет данных	Нет данных
Дата разработки	1992 г.	1994 г.	1998 г.	2001 г.	2001 г.

4.1. Стандарт JPEG

Один из наиболее эффективных и широко распространенных методов сжатия неподвижных изображений изложен в принятом Международной организацией стандартизации ISO стандарте JPEG (Joint Photographic Experts Group). Данный стандарт определяет последовательность и параметры операций при кодировании и декодировании неподвижных изображений.

JPEG относится к методам сжатия изображений с потерями и используется в основном при записи неподвижных изображений в различные запоминающие устройства. Для большинства реальных полутоновых и цветных изображений этот метод позволяет уменьшить объем информации в 5...10 раз без заметного ухудшения их визуального качества. JPEG не предназначен для сжатия рисунков, чертежей и изображений, имеющих два уровня яркости.

Спецификация **JPEG** определяет минимальные требования стандарта, которые должны поддерживаться всеми программами, использующими этот метод. **JPEG работает на основе дискретнокосинусного преобразования блочной структуры изображения**, предложенного В. Ченом в 1981 году (параграф 3.2.1).

В силу своей природы методы сжатия на основе ДКП всегда кодируют с потерями, но способны обеспечить высокую степень сжатия при минимальных потерях данных. Процесс сжатия по схеме JPEG включает ряд этапов (рис.4.1):

- **преобразование изображения в оптимальное цветовое пространство;**

- **субдискретизация компонентов цветности усреднением групп пикселей;**
- **применение дискретно-косинусного преобразования для уменьшения избыточности данных изображения;**
- **квантование каждого блока коэффициентов ДКП с применением весовых функций, оптимизированных с учетом визуального восприятия человеком;**
- **кодирование результирующих коэффициентов (данных изображения) с применением алгоритма Хаффмана для удаления избыточности информации.**

Рассмотрим работу кодека стандарта JPEG по его структурной схеме, представленной на рис.4.1. При этом следует учесть, что операции декодирования JPEG осуществляется в обратном порядке.

Данные пикселей исходного изображения поступают на блок преобразования цветового пространства. В принципе алгоритм JPEG работает с любой цветовой моделью, поскольку обрабатывает каждый ее компонент отдельно. Это обеспечивает полную независимость JPEG от любой модели цветового пространства (например, от RGB, HSI или CMYK), но при использовании цветового пространства яркость/цветность (YUV или YCbCr) достигается лучшая степень сжатия. Компонента Y представляет собой интенсивность, а U и V - цветность. Эта модель может быть переведена в RGB посредством преобразования без какой-либо коррекции насыщенности. Для полутоновых изображений (в градациях серого) используется только одна составляющая Y.



Рис.4.1. Структурная схема кодирования и декодирования изображений по стандарту JPEG

Преобразование цветовой модели RGB в модель YCbCr осуществляется с помощью следующих соотношений:

$$Y = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B;$$

$$Cb = - 0,1687 R - 0,3313 G + 0.5 B + 128;$$

$$Cr = 0,5 R - 0,4187 G - 0,0813 B + 128.$$

Обратное преобразование модели Y Cb Cr в модель RGB осуществляется с помощью подобных соотношений:

$$R = Y + 1,402 (Cr-128);$$

$$G = Y - 0,34414 (Cb-128) - 0,71414 (Cr-128);$$

$$B = Y + 1,772 (Cb-128).$$

Далее в блоке субдискретизации имеется возможность изменять разрешение цветоразностных компонент, т. е. использовать модель 4:4:4 (YUV24) или 4:2:2 (YUV16) (рис.4.2), где (YUV -одна яркостная компонента и две цветоразностные). При этом модель 4:2:2 меньше вносит искажений при сжатии изображений реальных сюжетов с плавными цветовыми переходами, без большого количества мелких деталей. Для обработки искусственных изображений компьютерной графики, содержащих много мелких деталей с резкими цветовыми переходами лучше использовать модель 4:4:4, хотя это и приводит к увеличению скорости цифрового потока.

Затем в блоке прямых ДКП трехкомпонентное изображение послойно разбивается на блоки (обычно размером 8x8 пикселей), и над ними производится ДКП, в результате которых получаются матрицы коэффициентов ДКП, характеризующие распределение энергии сигнала по его спектральным составляющим. При этом обычно основная энергия блока группируется в левых верхних коэффициентах матрицы ДКП, а значения других коэффициентах либо малы, либо равны «0», как показано на рис.3.5,б.

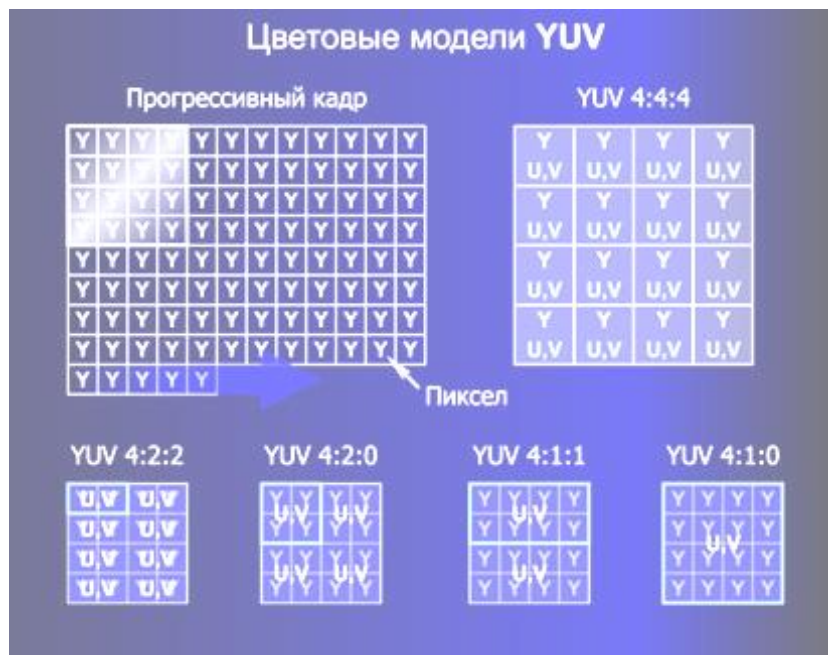


Рис.4.2. Цветовые модели YUV

Далее в блоке кодирования последовательности коэффициентов ДКП с нулевыми значениями статистическим компрессором длинных серий

(RLE), заменяются на значение кратности их повторения. Это позволяет сократить объем передаваемых видеоданных. Для более эффективной упаковки выходных данных после RLE компрессора ставится табличный кодер Хаффмана, который в зависимости от того как часто встречаются кодовые комбинации в кадре, адаптивно перераспределяют число бит для их передачи. То есть, часто встречающиеся комбинации заменяются короткими кодами, а реже встречающиеся более длинными.

Для увеличения коэффициента сжатия в RLE компрессоре применяют зигзагообразное сканирование матриц коэффициентов ДКП, что увеличивает длину цепочек нулевых коэффициентов (рис.3.5,б). На данном этапе осуществляется сжатие без потерь информации и качества, но коэффициент сжатия изображения получается не большой 10-20 раз, в зависимости от сюжета изображения. Для управления коэффициентом сжатия обычно применяют операцию деления матрицы коэффициентов ДКП на матрицу квантования с последующим округлением (квантованием) результатов до ближайшего целого. Значения матрицы коэффициентов квантования зависят от установок параметра «Качество», который задается пользователем. Если устанавливается качество =100%, то значения матрицы квантования =1 и значения коэффициентов ДКП не изменяются, то есть производится сжатие без потерь данных. При снижении параметра качества, числовые значения матрицы квантования увеличиваются, что приводит к увеличению длины цепочек нулевых коэффициентов и соответственно к увеличению сжатия изображения. Однако, при этом за счет округлений результатов деления возрастают необратимые потери информации, в результате чего при больших коэффициентах сжатия нарушается плавность изменения яркости на границах блоков, и увеличиваются блочные искажения восстановленного изображения (рис.3.6). Для правильной работы декодера значения матрицы квантования передаются вместе с данными сжатого изображения.

После завершения обработки данных в **блоке кодирования** сформированный поток данных JPEG готов к передаче по каналам связи или может быть сохранен на различных носителях информации.

Процесс декодирования или восстановления исходного изображения из сжатых данных производится аналогичным образом, только в обратном порядке.

Стандарт JPEG, обычно работает в режиме «**Постоянного качества**», то есть значения матрицы квантования едины для всего изображения, что обеспечивает постоянным уровень потерь информации. При этом коэффициент сжатия различных изображений получается разным, так как он зависит от структуры обрабатываемого изображения.

В стандарте JPEG предусмотрены 4 режима кодирования:

- последовательный (sequential) на основе ДКП;
- прогрессивный (progressive) на основе ДКП;
- без потерь (lossless);
- иерархический (hierarchical).

Самой крупной единицей кодирования во всех режимах является исходное **изображение (image)**, которое надо сжать. Изображение содержит только один кадр в последовательном и прогрессивном режимах, и этот кадр идентичен самому изображению. В иерархическом режиме изображение разделяется на несколько кадров.

Следующий уровень разбиения данных - **скан (scan)**, который содержит часть информации изображения. Разделение на сканы осуществляется по-разному в разных режимах. В случае обычного сжатия изображения на основе ДКП последовательно кодируются и последовательно декодируются все блоки изображения, которые составляют один скан.

Изображение может содержать одну или несколько **составляющих (component)**. Полутоновое монохромное (черно-белое) изображение содержит одну составляющую. Цветное изображение содержит несколько составляющих, например, яркостную Y и две цветоразностные Cr и Cb. Для изображения, содержащего несколько составляющих, возможны варианты кодирования **без перемежения и с перемежением (interleaving)**. При кодировании без перемежения сначала кодируется первая составляющая, образуя первый скан, затем вторая составляющая, образуя второй скан, и т.д. **При кодировании с перемежением** блоки всех составляющих образуют один скан и кодируются и записываются в выходной поток данных поочередно. Например, в случае формата дискретизации 4:2:0, сначала кодируются 4 блока Y, образующие матрицу 2x2, затем соответствующий им один блок Cb, затем - один блок Cr, затем следующие 4 блока Y и т.д.

Прогрессивный режим сжатия предполагает наличие более одного скана и другой порядок воспроизведения декодируемого изображения. Декодирование первого скана каждой составляющей изображения должно обеспечить воспроизведение всего изображения с каким-то начальным, относительно невысоким качеством. Декодирование каждого последующего скана должно давать изображение со все более возрастающим качеством. Такой вариант может быть полезен для быстрого просмотра и поиска изображений в базах данных, в Интернете и других подобных применениях. Для этой цели используются два способа получения постепенного повышения качества декодируемого изображения.

Первый способ состоит в том, что в данном скане из каждого блока изображения кодируется только определенный диапазон коэффициентов из последовательности, полученной зигзагообразным считыванием. Этот способ называется **спектральной селекцией**, так как каждый диапазон обычно содержит коэффициенты, занимающие нижнюю или верхнюю часть частотного спектра блока 8x8 пикселей, т.е. является спектральным диапазоном.

Второй способ состоит в том, что в первом скане изображения кодируют наиболее значимые биты коэффициентов всех блоков. Каждый следующий скан дает повышение точности коэффициентов ДКП на один бит. Такой способ называется **последовательным приближением**.

Режим JPEG без потерь информации (Lossless JPEG) основан на использовании кодирования с предсказанием по соседним элементам изображения. Все операции в этом режиме полностью обратимы, но достигаемое сжатие невелико.

В иерархическом режиме изображение кодируется как последовательность кадров в которой первый кадр является **опорным** за которым могут следовать один или несколько разностных кадров, после чего снова вставляется опорный кадр и т.д. Каждый разностный кадр содержит кодированную межкадровую разность текущего и предыдущего кадра. Для уменьшения объема выходных данных пиксельные значения межкадровых разностей могут кодироваться с использованием ДКП в режимах с потерями или без потерь данных, что определяется установленным значением параметра «**качество**».

Иерархический режим обеспечивает воспроизведение с постепенным повышением качества, как и прогрессивный режим. Декодирование каждого следующего кадра дает изображение, все более близкое к несжатому оригиналу. По сравнению с прогрессивным режимом иерархический режим обладает важным свойством, которое может быть полезно в ряде применений. Последующие кадры каждой составляющей могут давать увеличение пространственного разрешения изображения. При сжатии выполняется последовательное прореживание исходного изображения, в результате чего получается последовательность вторичных изображений с последовательно уменьшающимся числом элементов, то есть изображений меньшего размера.

Первый (опорный) кадр получается путем кодирования вторичного изображения с наименьшим пространственным разрешением. Опорное изображение для получения следующего за ним разностного кадра получается путем увеличения с помощью интерполяции числа элементов в первом кадре. Опорное изображение для каждого следующего разностного кадра получается путем интерполяции дополнительных элементов в изображении, полученном из всех уже закодированных кадров.

Формат JPEG широко используется для хранения фотографий на различных носителях информации, а также в Интернет приложениях для хранения многоцветных качественных изображений.

4.2. Стандарт JPEG 2000

Стандарт JPEG2000 разработан той же группой экспертов в области фотографии, что и JPEG. Формирование JPEG как международного стандарта было закончено в 1992 году. В 1997 стало ясно, что необходим новый, более гибкий и мощный стандарт, который и был доработан к зиме 2000 года. Основные отличия алгоритма JPEG2000 от JPEG заключаются в следующем:

1. Лучшее качество изображения при более сильной степени сжатия.
2. Поддержка кодирования отдельных областей с лучшим качеством, то есть имеется возможность человеку «на глаз» определить: какие области можно кодировать с меньшим качеством, а для каких оставить прежние. В результате при одинаковом субъективном качестве изображения могут быть достигнуты более высокие степени сжатия.
3. Алгоритм основан на вейвлет-преобразовании. Имеется возможность постепенного проявления изображения при его загрузке по сетям связи.
4. Вместо кодера Хаффмана применено более эффективное Бит-ориентированное арифметическое кодирование, которое предполагалось использовать еще в стандарте JPEG, но тогда оно было защищено патентами. Сейчас срок действия основного патента истек и стало возможным его применение в JPEG2000.
5. Поддержка сжатия однобитных (2-цветных) изображений.
6. Сжатие изображений больших размеров.
7. Возможность обработки сжатого изображения без декомпрессии.

Как уже говорилось, в отличие от JPEG кодер JPEG-2000 не требует разбиения изображения на малые квадратные блоки, так как используемое в ходе работы алгоритма дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) работает на фрагментах любого размера. Однако, в некоторых случаях, например, когда не хватает памяти для кодирования целого изображения, выполняется его разбиение на квадратные тайлы, которые кодируются независимо друг от друга, как показано на рис.4.3.

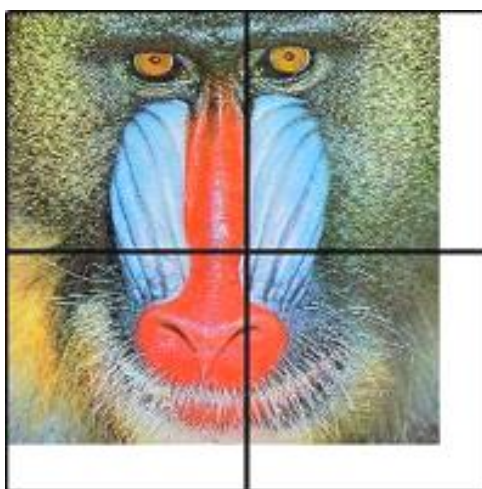


Рис. 4.3. Пример разбиения изображения на тайлы

В целом структура JPEG-2000 аналогична структуре JPEG, но есть и некоторые отличия. Рассмотрим назначение блоков кодека JPEG-2000 по структурной схеме, представленной на рис.4.4.

На этапах предварительной обработки изображений, если требуется, то изображение может быть разбито на части (тайлы), которые обрабатываются и кодируются отдельно. При этом для предотвращения появления заметных линий на стыке восстановленных частей применяются

специальные меры. После этого от значений яркостей пикселей изображения отнимается их среднее кадровое значение. Это во-первых, выравнивает динамический диапазон яркостей пикселей, а во вторых уменьшает их максимальные значения. Такой подход позволяет уменьшить число бит в выходном потоке и соответственно увеличить величину сжатия видеоданных. После этого производится перевод изображения из пространства RGB в пространство YUV. В случае сжатия с потерями информации этот перевод делается аналогично алгоритму JPEG. При сжатии без потерь пространство переводится с помощью выражения:

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left\lfloor \frac{R+2G+B}{4} \right\rfloor \\ R-G \\ B-G \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

обратное преобразование имеет вид:

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U+G \\ Y - \left\lfloor \frac{U+V}{4} \right\rfloor \\ Y+G \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

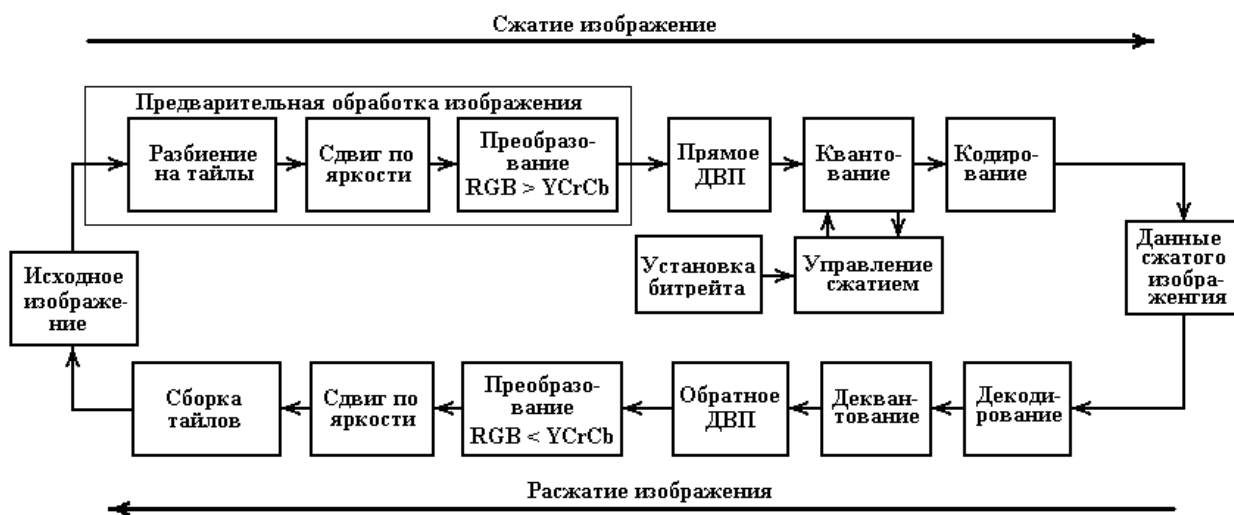


Рис.4.4. Структура алгоритма кодирования и декодирования изображений по стандарту JPEG-2000.

Далее производится дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), которое, в зависимости от применяемых коэффициентов, может осуществлять преобразование с потерями или без потерь информации. В последнем случае необходимо, чтобы выходные значения коэффициентов ДВП имели целочисленные значения. При этом, в первой части стандарта определены два вейвлет-фильтра: фильтр Добеши, для сжатия с потерями и

биортогональный фильтр с целочисленными коэффициентами для сжатия без потерь. Во второй части стандарта разрешается применение любых фильтров.

Применение частотных фильтров (рис.4.5) позволяет разложить массив данных изображения на два массива содержащих НЧ и ВЧ компоненты. Поскольку изображения представляют собой двухмерный массив данных, то изображения обрабатываются сначала в горизонтальном, а потом в вертикальном направлении или наоборот.



Рис.4.5. Схема работы частотного фильтра

После одного этапа ДВП (вейвлет декомпозиции) обрабатываемое изображение или его тайл делится на четыре сегмента (рис.4.6, а):

- LL – низкие частоты по строкам и столбцам
- HL – высокие частоты по строкам и низкие по столбцам
- LH – низкие частоты по строкам и высокие по столбцам
- HH – высокие частоты по строкам и столбцам

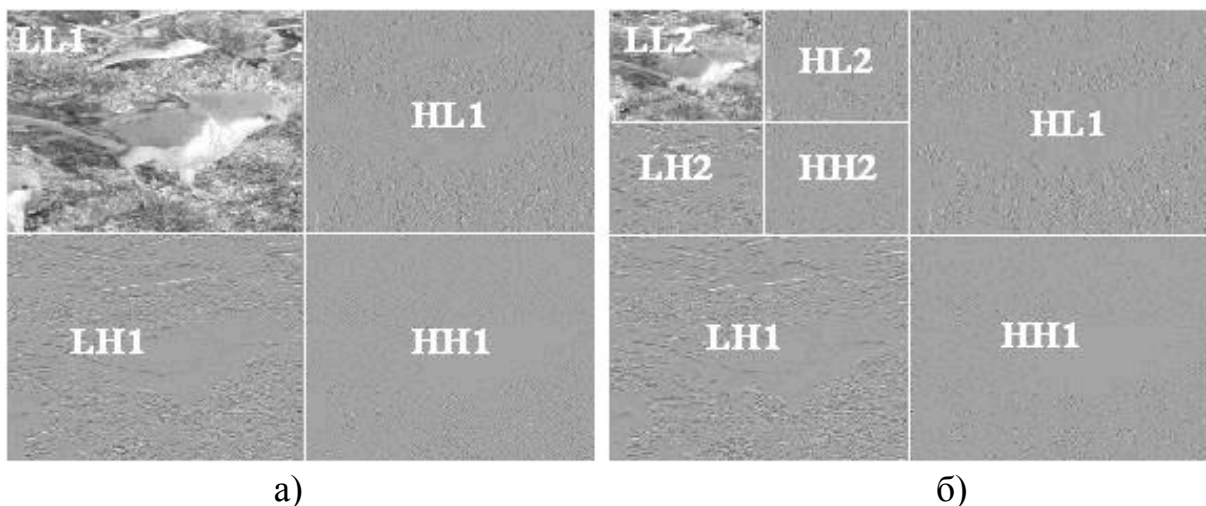


Рис.4.6. Однократная (а) и двукратная (б) вейвлет-декомпозиция изображения

По стандарту количество декомпозиций может быть от 0 до 32, но на практике для обычных изображений часто используют от 4-х до 8-ми. Причем, на каждой следующей декомпозиции обрабатывается только низкочастотная область (LL), так как в высокочастотных областях обычно не содержится важной информации.

Для управления коэффициентом сжатия используется деление коэффициентов ДВП на постоянный квантователь с мертвой зоной. Пример работы квантователя с коэффициентом деления равным 10 представлен на рис.4.7, где **мертвая зона квантователя** - это интервал с двойным диапазоном округления около нуля $2\Delta b$, которая дает большее количество нулей на выходе. Как видно из приведенного рисунка, первоначальное значение коэффициента ДВП = -21,82 после деления на значение квантователя = 10 и округления результата, принимает значение -2. А все значения коэффициентов ДВП которые попадают в интервал $-9,999...+9,999$ обращаются в 0, что существенно увеличивает коэффициент сжатия изображения.



Рис.4.7. Пример работы квантователя

В большинстве случаев кодирование в стандарте JPEG-2000 может производиться в режиме постоянного битрейта или коэффициента сжатия. Для этой цели используется блок управления сжатием, который при сжатии изображения адаптивно изменяет параметры квантователя, чтобы привести коэффициент сжатия кодера к значению заданному пользователем.

После процесса квантования коэффициентов ДВП производится их кодирование, на подобие стандарта JPEG, только вместо энтропийного кодирования алгоритмами Хаффмана применяется более эффективное арифметическое кодирование. При этом кодирование полученных округленных коэффициентов выполняется поблочно. Для этой цели перед кодированием фрагменты разбиваются на достаточно малые блоки (например, размером 32×32 или 64×64) так, чтобы все блоки одного фрагмента были одинакового размера, которые кодируются по отдельности. Разбиение на блоки выполняется для того, чтобы осуществить более гибкую организацию сжатой информации для повышения помехоустойчивости. Алгоритм кодирования обходит матрицу коэффициентов округления каждого блока полосами, как показано на рис.4.8. Блоки разбиваются на блоки с номинальной высотой 4. Далее полосы сканируются сверху вниз, а колонки в каждой полосе обходятся слева направо.

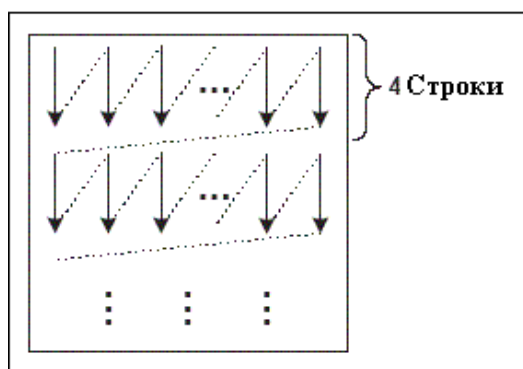


Рис.4.8. Порядок кодирования блоков битовых плоскостей.

В процессе кодирования коэффициенты в блоке виртуально представляются в виде битовых плоскостей. Одну из таких плоскостей составляют знаки коэффициентов, остальные плоскости соответствуют различным разрядам величин коэффициентов (положение бита в плоскости соответствует положению коэффициента в блоке). При этом сначала кодируется плоскость, соответствующая старшему разряду коэффициентов, затем следующая по убыванию, и т.д.

Декодирование сжатых изображений производится в обратной последовательности кодированию в соответствии с нижней частью схемы рис.4.4. При этом для правильной работы декодера все необходимые параметры кодирования сохраняются в заголовках выходного массива данных.

Важным преимуществом стандарта JPEG-2000 является возможность доступа к отдельным элементам изображения без полного декодирования его представления. Обеспечивается такая возможность, во-первых, разбиением исходного изображения на непересекающиеся области (**тайлы**), которые кодируются как отдельные изображения. Во-вторых, представлением кода отдельного тайла в виде частей (**слоев**), каждая из которых является суммарным кодом коэффициентов, соответствующих некоторой области тайла. Слои в свою очередь делятся на так называемые **пакеты**, содержащие код блоков коэффициентов на разных уровнях глубины декомпозиции. Для того, чтобы декодировать какую-либо область изображения, достаточно определить, каким тайлам она принадлежит, и какие слои этих тайлов, содержат коды блоков коэффициентов, необходимых для восстановления требуемой области. На рис.4.9 представлена структура организации выходного потока в стандарте JPEG-2000. Правда, такое представление данных снижает эффективность сжатия изображения.

Однако стандарт представляет возможность не только достаточно быстро извлекать и редактировать части изображения, но и не препятствует эффективному сжатию изображений. При этом стандарт JPEG-2000 превосходит по эффективности стандарт JPEG примерно в 2 раза при сжатии с потерями и на 5-20% при сжатии без потерь.

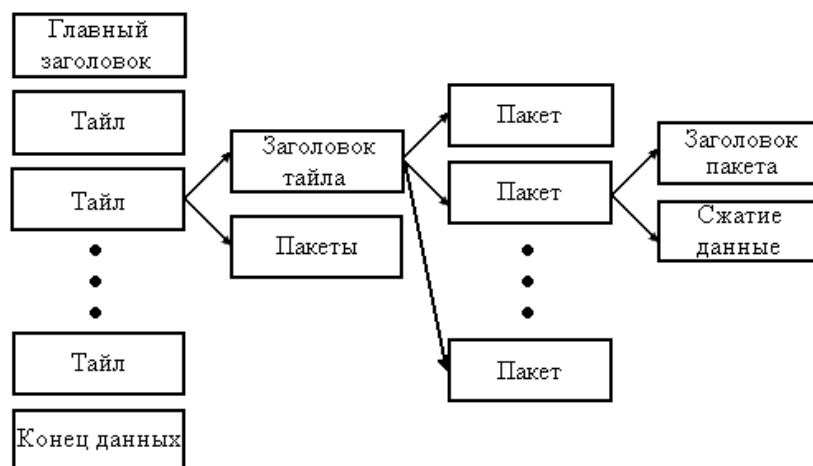


Рис.4.9. Схема организации выходного кода в стандарте JPEG-2000

4.3. Стандарт MPEG-1

Первый стандарт MPEG — MPEG-1 был разработан для записи видеофильмов на компакт-дисках CD при «нормальной» скорости записи 1,4 Мбит/с. Стандарт MPEG-1 был задуман для поддержки video CD, формата для любительского видео, который мог бы конкурировать с видео на кассетах VHS (домашнего видео), а также для передачи ТВ изображений по сравнительно низкоскоростным каналам связи со скоростью 1-3 Мбит/с.

Стандарт состоит из 3 частей: **видео, звуковая и системная.**

4.3.1. Видео часть стандарта MPEG-1

При разработке стандарта были приняты следующие ограничения, определившие его область применения:

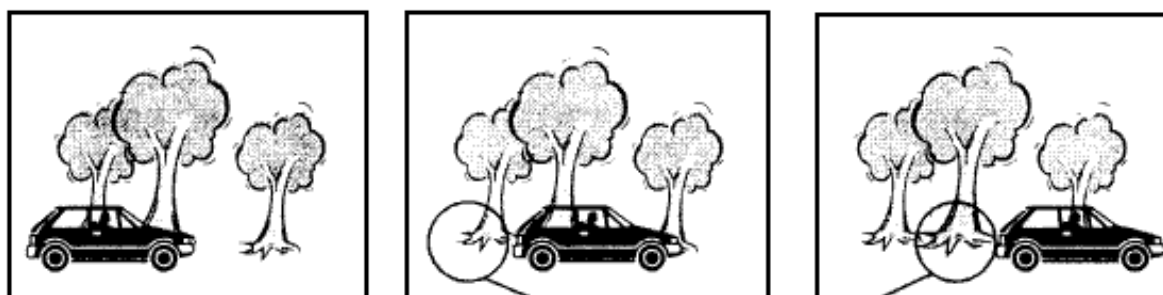
- размер изображения по горизонтали < 768 пикселей;
- размер изображения по вертикали < 576 строк;
- число макроблоков < 396;
- частота кадров < 30 Гц;
- прогрессивная (построчная) развертка;
- скорость цифрового потока < 1,856 Мбит/с.

В тоже время в связи с жестким ограничением максимальной скорости цифрового потока, типовым видеоформатом для MPEG-1 явился Общий Промежуточный Формат (Common Intermediate Format - **CIF**), содержащий 240 строк по 352 точки в строке при 30 кадрах в секунду, или 288 строк и 352 точки в строке - при 25 кадрах. Подобное изображение приблизительно соответствует качеству картинки бытовой видеозаписи формата VHS и имеет разрешение в четыре раза ниже стандартного изображения вещательного телевидения. Кроме того данный стандарт не поддерживает режим через строчной развертки и поэтому в вещательном телевидении не применяется.

Однако, в стандарте MPEG-1 используется большая часть современных инструментов цифровой компрессии основанных на **предсказании, внутрикадровом и межкадровом кодировании, компенсации движения, ДКП, адаптивном квантовании и энтропийном кодировании.**

MPEG-1 разрабатывался принципиально ориентированным на обработку последовательностей кадров и использование высокой избыточности информации (до 95% и более), содержащейся в реальных изображениях, разделенных малыми временными интервалами. Действительно, фон между смежными кадрами обычно меняется мало, а все действие связано со смещениями относительно небольших фрагментов изображения. По этой причине необходимость передачи полной информации о кадре возникает только при смене сюжета, а в остальное время можно ограничиваться передачей разностной информации, характеризующей направления и величины смещения элементов изображения и появление новых объектов или исчезновение старых. Причем такие различия могут выделяться как относительно предыдущих, так и относительно последующих кадров. Поэтому в алгоритме MPEG-1 используются кадры трех типов:

- **I (Intra)** - "**самостоятельных**", которые кодируются без какой-либо связи с другими видеокдрами и выполняющих роль **опорных** кадров, сохраняющих полный объем информации о структуре изображения;
- **P (Predicted)** – кадры прямого предсказания, несущих информацию об изменениях в структуре изображения по сравнению с предыдущим **I** или **P** кадром;
- **B (Bi-directional)** - "**двухстороннего предсказания**", формирующиеся методом предсказания **«вперед»** или предсказания **«назад»** сохраняющих только самую существенную часть информации об отличиях от предыдущего и последующего изображений. Преимущество применения B-кадров проявляется в том, что при движении объектов сцены происходит изменение и фонового изображения. Поэтому для передачи его недостающих участков удобно использовать данные более позднего кадра (рис.4.10). Кодер рассчитывает как прямое, так и обратное предсказание и посылает декодеру данные, имеющие наименьший объем.



доступно из более позднего кадра

Рис.4.10. Предсказание участка изображения из более позднего кадра

Структурная схема алгоритма работы сжатия видео по стандарту MPEG-1 представлена на рис.4.11. В целом обработку изображений в MPEG-1 производится аналогично стандарту JPEG, но с применением межкадровой обработкой на основе компенсации движения. При этом для уменьшения метаданных о векторах движения блоков в MPEG-1 используется **макроблоки** размером 16x16 пикселей, содержащие 4 блока отсчетов яркости 8x8 и по одному блоку отсчетов C_R и C_B (рис.4.12).



Рис.4.11. Алгоритм сжатия видео в стандарте MPEG-1

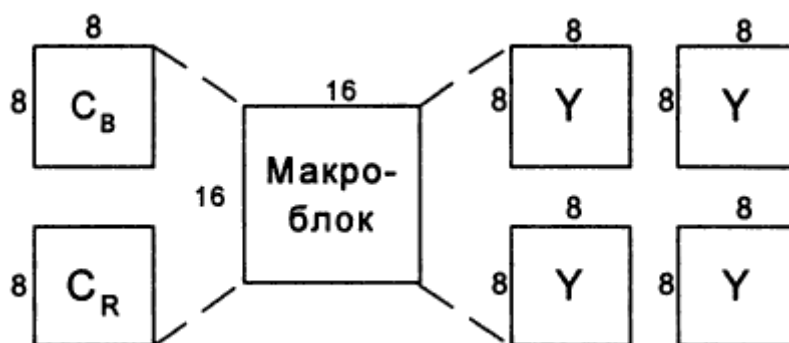


Рис.4.12. Состав макроблока формата 4:2:2

Сжатие видеопотока начинается с обработки опорных (I) кадров, которые для надежной работы декодера вставляются через каждые 12, 15 или 30 кадров, а также при резкой смене сюжета изображения. При этом их кодирование полностью соответствует алгоритму сжатия стандарта JPEG, как было рассмотрено выше.

Если кодируется макроблок из предсказанного (P или B) кадра, то вначале оценивается возможное перемещение макроблоков видеообъектов в соседних кадрах (I, P или B). Если новые координаты макроблоков находятся, то от соответствующих значений пикселей текущего кадра поэлементно вычитаются значения пикселей кодируемого макроблока предыдущего кадра. После этого по разностям значения пикселей в макроблоках вычисляются коэффициенты ДКП и производится их квантование. Таблица квантования для макроблоков из P- и B-кадров, применяемая по умолчанию, содержит число 16 во всех позициях, но может быть изменена кодером для управления коэффициентом сжатия видеопотока. Следует отметить, что для сокращения массива метаданных, при компенсации движения блоков используются только отсчеты яркости, а полученные при этом векторы перемещения применяются также и для блоков отсчетов цветоразностных сигналов.

Важной особенностью алгоритмов MPEG является, то, что кодируемые кадры перестают быть независимыми, так как невозможно без опорного кадра восстановить P- и B-кадры. При этом для быстрого потокового кодирования данные кадров подаются не в том порядке, как они должны будут быть воспроизведены (рис.4.13). Поэтому для правильного декодирования кадров производится перегруппировка кадров в следующей последовательности: I – P – B –B –P –B –B –P

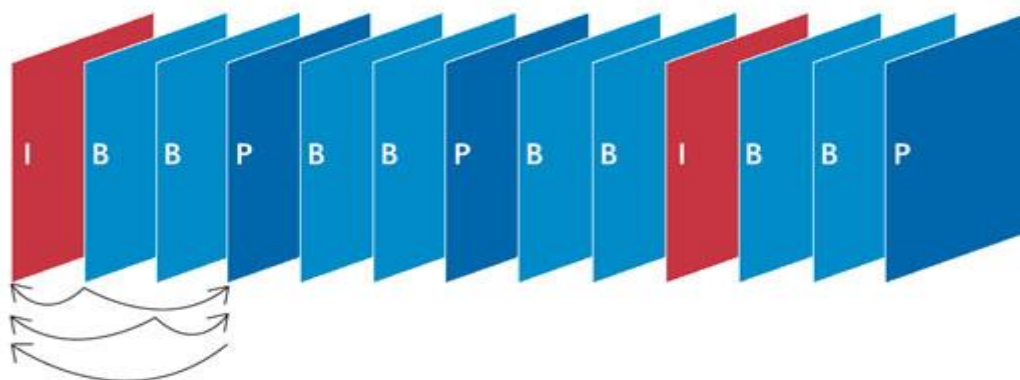


Рис.4.13. Типовая последовательность I-, B- и P-кадров. P-кадр может ссылаться только на предшествующий I- или P-кадр, в то время как B-кадр может ссылаться как на предшествующий, и на последующий I- или P-кадры

Также важным звеном алгоритма кодирования остается обеспечение постоянства выходной скорости цифрового потока. Отсчеты сигнала от источника поступают с постоянной скоростью, однако на выходе квантователя скорость поступления битов может варьироваться в широких пределах. Она зависит как от типа видеокadra (I-кадр, как правило сжимается

хуже, чем Р- и В-кадры), так и сюжета изображения, поскольку видеоданные кадров с крупными однородными участками сжимается лучше, чем в кадрах с мелкой структурой. Поэтому для выравнивания скорости выходного потока применяется блок буферной памяти в кодере и декодере. Буфер со стороны кодера может заполняться с неравномерной скоростью, а считываться в сторону канала связи с постоянным битрейтом. Кроме того, производится адаптивное перераспределение битов между I-, Р- и В-кадрами за счет изменения параметров квантования их коэффициентов ДКП. Некоторые кодеры осуществляют кодирование «в два прохода». В первом проходе оценивая сложность видеокadra для определения необходимого ресурса битов, а на втором проходе уже кодируются отсчеты с учетом выделенного ресурса.

4.3.2. Звуковая часть стандарта MPEG-1

Алгоритм MPEG-1 Standart ISO/IEC 11172-3, опубликованный в 1993 г., ориентирован на кодирование высококачественного стерео звука и имеет три уровня кодирования:

«Layer-1» (слой 1) – для профессиональной звукозаписи со студийным качеством и характеризуется небольшой сложностью алгоритма и не слишком высокой степенью сжатия. **Основные параметры:** скорость цифрового потока при передаче составляет 192 кбит/с в полосе частот ЗС, равной 15 кГц; коэффициент компрессии равен 4; запаздывание (задержка) сигнала при обработке составляет 20 мс.

Алгоритм сжатия — медленный (в основном за счет просчета акустической модели и итеративного усечения коэффициентов). Алгоритм декодирования — быстрый (может быть реализован в реальном времени).

«Layer-2» (слой 2) – потребительская область, (используется в высококачественном радиовещании со средней сложностью сигналов и средней степени компрессии аудиоданных). В Layer 2 по сравнению с Layer 1 вводятся тройной гребенчатый фильтр и процедуры быстрого преобразования Фурье, а также уточняются множества специальных таблиц. В результате увеличилась степень сжатия, но скорость компрессии ЗС упала, хотя быстрота обратного преобразование не замедлилась. **Основные параметры:** скорость цифрового потока 128 кбит/с в полосе частот ЗС, равной 15 кГц; коэффициент компрессии равен 6; запаздывание сигнала составляет 40...50 мс.

«Layer-3» (слой 3) используется для передачи речи по узкополосным каналам в сети ISDN, в профессиональном радиовещании и в системах записи с малой ёмкостью памяти и средним качеством. Отличается высокой сложностью алгоритмов и характеризуется следующими параметрами: скорость цифрового потока 64 кбит/с в полосе частот сигнала 15 кГц; запаздывание сигнала составляет 50 мс.

Поскольку в настоящее время стандарт MPEG-1 находит ограниченное

применение в системах видеонаблюдения, то ограничимся рассмотрением только формата **Layer-3**, который на сегодняшний день является самым популярным для прослушивания и хранения музыки на компьютере. В связи с его файловым обозначением «.mp3» данный формат называют «MP3».

На данный момент MP3 является самым известным и популярным из распространённых форматов цифрового кодирования звуковой информации с потерями. Он широко используется в файлообменных сетях для оценочной передачи музыкальных произведений. Формат может проигрываться практически в любой популярной операционной системе, на практически любом портативном аудио-плеере, а также поддерживается всеми современными моделями музыкальных центров и DVD-плееров.

В отличие от предыдущих двух слоёв в Layer-3 применено модифицированное ДКП (МДКП). Это обеспечило сжатие ЗС в 6-8 раз при сохранении с качества несжатого цифрового ЗС. При этом скорость сжатия уменьшилась в 24 раза по сравнению с Layer 2, а скорость распаковки уменьшилась в 8 раз.

В формате MP3 используется алгоритм сжатия с потерями, разработанный для существенного уменьшения размера данных, необходимых для воспроизведения записи и обеспечения качества воспроизведения очень близкого к оригинальному. При этом при среднем битрейте 128 кбит/с обеспечивается сжатие около 10 раз. Принцип сжатия заключается в снижении точности некоторых частей звукового потока, что практически неразлично для слуха большинства людей. Данный метод называют кодированием восприятия. При этом на первом этапе строится диаграмма звука в виде последовательности коротких промежутков времени, затем на ней удаляется информация не различимая человеческим ухом, а оставшаяся информация сохраняется в компактном виде. Данный подход похож на метод сжатия, используемый при сжатии картинок в формат JPEG.

Рассмотрим работу кодека по обобщенной структурной схеме, представленной на рис.4.14.

Входные 16 разрядные отсчеты звукового сигнала (ЗС) с частотой дискретизации 48 кГц поступают на вход аудиокодека, где разделяется на 32 субполосные составляющие, причем обработка ведется аудиокадрами, содержащими 1152 отсчётов звукового сигнала. Каждый аудиокадр длится 24 мс. Все 32 субполосы имеют постоянную ширину $F = f_d / (2n)$, где f_d — частота дискретизации ЗС, n — число субполос, равную 750Гц.

После фильтрации отсчёты ЗС в каждой субполосе собираются в блоки, а затем масштабируются (нормируются), и обрабатываются модифицированным дискретно-косинусным преобразованием (МДКП).

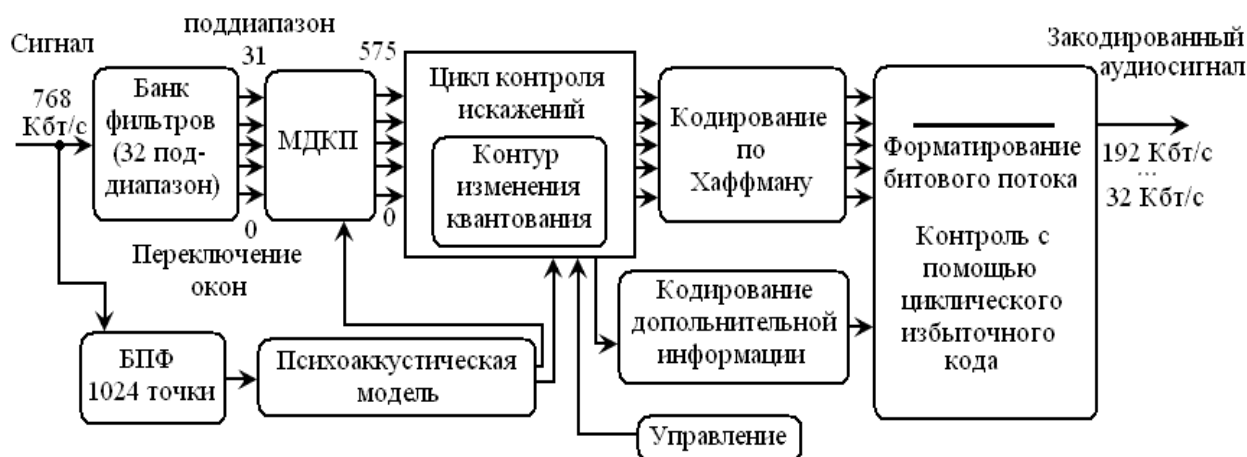


Рис.4.14. Общая структурная схема кодера MP3

Данное преобразование осуществляет перевод сигнала из временной области в частотную. В результате формируются коэффициенты МДКП, которые характеризуют распределение энергии сигнала по его спектральным составляющим. Особенностью спектра МДКП является, то, что его основная энергия группируется в небольшой низкочастотной области, а остальные коэффициенты либо малы, либо равны 0. Затем эти коэффициенты, для повышения коэффициента сжатия кодера, квантуются (производится деление на определенные числа с округлением результата до ближайшего целого) и затем кодируются. Масштабирование в каждом субполосном канале представляет собой выбор из 18 отсчетов ЗС максимального значения, которое называется масштабным коэффициентом SCF (Scale Factor) выборки субполосного ЗС. В кодеке используется 32 масштабных коэффициента, причем каждый блок из 36 отсчетов ЗС делится на три подблока, называемые гранулами. В каждой грануле, включающей 18 отсчетов ЗС, также определяется максимальный отсчет, его значение является масштабным коэффициентом SCF гранулы. Так как в кодеке используется 32 субполосы, то для Layer-2 общее количество масштабных коэффициентов гранул SCF равно $3 \times 32 = 96$. Эти коэффициенты сохраняются в выходном массиве данных и передаются декодеру в виде таблицы. При этом максимальное значение отсчета в грануле сравнивается с набором табличных значений SCF и из множества последних выбирается ближайшее большее. Оно и принимается за SCF гранулы.

Квантование и кодирование контролирует модифицированная психоакустическая модель (Psychoacoustic Model). Для осуществления этого контроля квантования используются оценки границ (пороговых значений) маскирования. Распределение бит в субполосах рассчитывается на основе соотношений сигнал/маска всех субполос, при котором эта маска (шум) ещё маскируется полезным сигналом. Максимальный уровень сигнала и минимальная граница маскирования выводятся из быстрого преобразования Фурье (FFT transform) дискретизированного входного сигнала.

Обычно кодеки обеспечивают кодирование данных для определенных скоростей цифрового потока (96 кбит/с, 128 кбит/с, 256 кбит/с и т.д.), называемых битрейтом. Поэтому для каждой скорости передачи существует своя таблица параметров в которой по значениям f_d и скорости передачи цифровых данных v определяются значения квантователя, и максимальный номер субполосы n , для которой отсчеты ЗС ещё кодируются и передаются на приёмную сторону системы.

В результате, после многочисленных вычислений на выходе блока «контроля искажений» формируется звуковой кадр, который первоначально сжимается статистическим компрессором длинных серий (RLE), а затем перекодируется энтропийным кодером на основе таблиц Хаффмана. Энтропийное кодирование, учитывает статистические особенности ЗС, где наиболее часто повторяющиеся кодовые комбинации передаются короткими кодовыми комбинациями, а редко встречающимися – длинными. Этот способ кодирования на 20-25% повышает эффективность сжатия аудио потока.

Декодирование сжатых аудиоданных осуществляется в обратном направлении с суммированием всех восстановленных субполосных составляющих без учета психоакустики.

4.4. Стандарт вещательного телевидения MPEG-2

Стандарт MPEG-2 был специально разработан для систем вещательного ТВ и насчитывает 10 частей, первая из которых была представлена в 1994 году, а последняя - в 1999 году. При этом MPEG-2 является значительно улучшенной и более сложной модификации MPEG-1, использующий в структуре цифрового потока I, P и B кадры.

Стандарт MPEG-2 активно применяется в цифровом спутниковом, кабельном и наземном телевидении.

Среди 10 составных частей стандарта MPEG-2 можно выделить 3 основные: **13818-1 - Системная, 13818-2 - Видео, 13818-3 - Звуковая.**

Системная часть стандарта описывает форматы кодирования для мультиплексирования (объединения) звуковой, видео- и другой информации, а также рассматривает вопросы комбинирования одного или более потоков данных в один или множество потоков, пригодных для хранения или передачи.

Системный уровень выполняет пять основных функций:

- синхронизации нескольких сжатых потоков при воспроизведении;
- объединения нескольких сжатых потоков в единый поток;
- инициализация (установка начальных параметров) для начала воспроизведения;
- обслуживания буфера;
- определения временной шкалы (системное время).

Видео часть стандарта описывает кодированный битовый поток для высококачественного цифрового видео. MPEG-2 поддерживает все режимы работы MPEG-1, но поддерживает чересстрочный видеоформат и содержит средства для поддержки телевидения высокой четкости (ТВЧ) и стерео телевидения.

Звуковая часть стандарта MPEG-2 определяет кодирование многоканального звука. MPEG-2 поддерживает до пяти полных широкополосных каналов плюс дополнительного низкочастотного канала и до семи многоязычных комментаторских каналов. Кроме того для улучшения качества звучания монофонических и стереофонических ЗС при скоростях передачи 64 Кбит/с и ниже может использоваться половинчатые частоты дискретизации (16; 22,05 и 24 кГц).

4.4.1. Обработка изображений в стандарте MPEG-2

Стандарт MPEG-2 представляет собой целое семейство совместимых цифровых подстандартов сжатия телевизионного сигнала с различной степенью сложности алгоритмов. Для реализации их совместимости применяется концепция профилей и уровней.

Стандарт предусматривает 5 профилей:

- простой (simple) — для сжатия видеопотока без В-кадров;
- главный (main) — для обеспечения всех уровней работы, но без масштабируемости;
- масштабируемый по отношению сигнал/шум (SNR scalable);
- пространственно масштабируемый (spatiallyscalable)
- профессиональный (professional 4:2:2), пространственно масштабируемый и масштабируемый по отношению сигнал/шум.

При этом MPEG-2 определяет два типа ДКП для макроблоков кадрового и полевого разбиения. Кадровое ДКП действует аналогично MPEG-1, где блок отсчетов яркости размером 16 x 16 пикселей разбивается на 4 блока 8x8 пикселей, в соответствии с их расположением.

Полевое ДКП использует 8 строк из верхнего поля для верхних двух блоков и 8 строк из нижнего поля для нижних блоков, образуя верхние и нижние поля макроблока, как показано на рис.4.15. В этом случае цветоразностные блоки считаются принадлежащими только к верхнему полю. Полевое ДКП более эффективно при существенном различии между полями, например, при наличии движения по вертикали. Кадровое ДКП позволяет лучше передать мелкие детали изображения. При этом оба вида преобразования могут использоваться в одной видеопоследовательности. Кадры, кодируемые как два поля, всегда используют полевое ДКП, а кадровое кодирование может использовать оба вида ДКП, переходя от одного к другому на уровне макроблока.

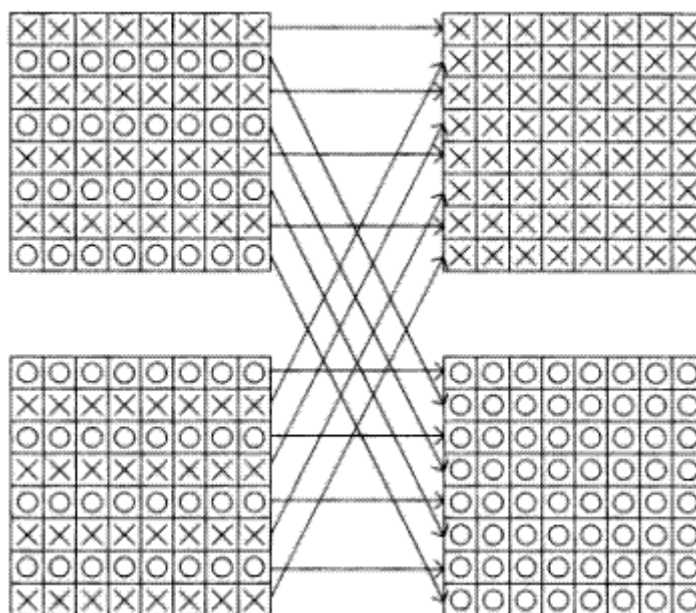


Рис.4.15. Формирование полей макроблока при полевом ДКП

Обработка чересстрочных изображений вносит существенные отличия и в процесс предсказания. Кадровое предсказание, как и в MPEG-1, оценивает наилучшее сопряжение макроблоков 16 x 16 пикселей, в текущем и опорном кадрах.

Полевое предсказание ищет сопряжение для блока 16 x 16 пикселей, взятого из текущего поля, в двух предыдущих полях, выбирая лучший результат. Как и при ДКП, полевое кодирование может использовать только полевое предсказание, а у кадрового кодирования возможности шире, так как допускается применение и кадрового и полевого. В последнем случае ищется сопряжение отдельно верхнего и нижнего полей макроблока в каждом из двух полей опорного кадра, выбирая лучший результат.

Более высокую точность компенсации движения обеспечивает разбиение макроблока на два поля. При этом формируются два вектора перемещения отдельно для верхнего и нижнего полей макроблока размером 16 x 8 пикселей, которые передаются декодеру для более точного восстановления изображения.

Следует отметить, что стандарт MPEG-2 не регламентирует методы сжатия видеосигнала, а только определяет, как должен выглядеть битовый поток кодированного видеосигнала, поэтому конкретные алгоритмы являются коммерческой тайной разработчиков аппаратно-программного обеспечения. Но общие принципы сжатия видеопотока представляют собой ряд последовательных операций, которые показаны на рис.4.16.

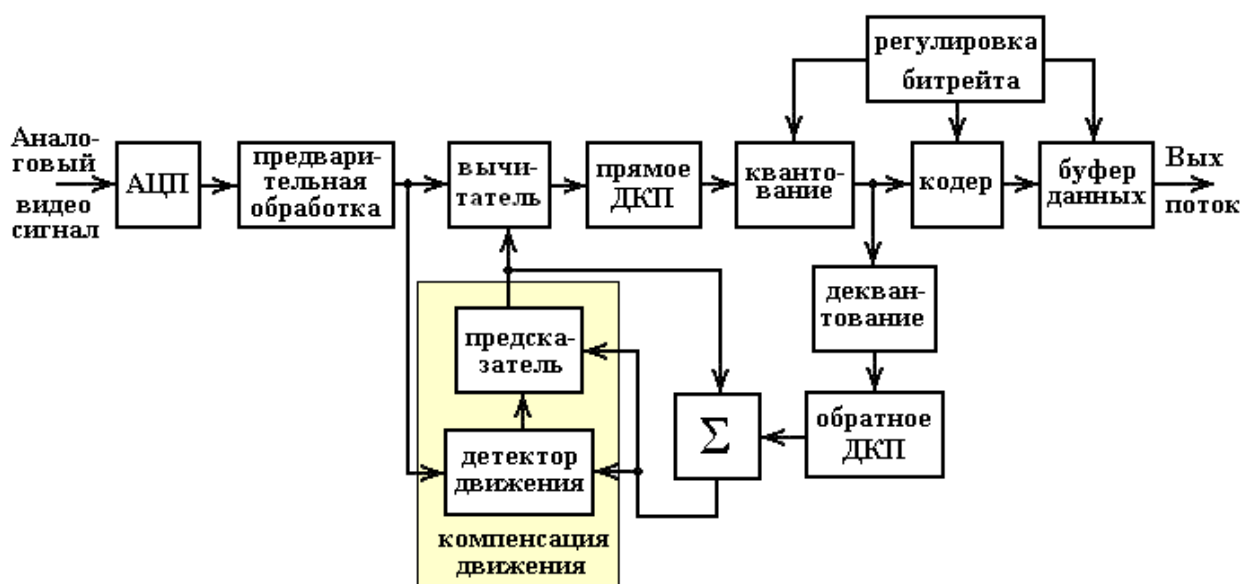


Рис.4.16. Обобщенное представление метода сжатия телевизионного сигнала в стандарте MPEG-2

Исходные RGB видеосигналы после аналого-цифрового преобразования в АЦП поступают на блок предварительной обработки, в котором производятся следующие операции:

- RGB сигналы преобразуются в яркостной Y и цветоразностные U и V сигналы, а также происходит перекодировка формата цветности 4:4:4 в формат 4:2:2 (горизонтальная передискретизация цветоразностных компонентов) или 4:2:0 (горизонтальная и вертикальная передискретизация цветоразностных компонентов);
- предварительное удаление избыточной информации, если, например, фон изображения состоит из группы одинаковых пикселей, то достаточно передать значение пикселя и сколько раз его повторить в изображении;
- разбиение изображения на последовательность макроблоков, каждый из которых состоит из шести блоков 8x8 пикселей: четыре образуют матрицу 16 x 16 яркостного сигнала Y и по одному цветоразностных компонентов U и V;
- если исходное изображение передается в виде чересстрочных полей, то они могут преобразуются в кадры с прогрессивной разверткой. При этом если размер изображения не кратен 16 пикселям, то к изображению добавляется недостающее количество пикселей нулевой яркости по строкам и столбцам (рис.4.17.), чтобы обеспечить целочисленное разбиение изображения на целое число макроблоков.

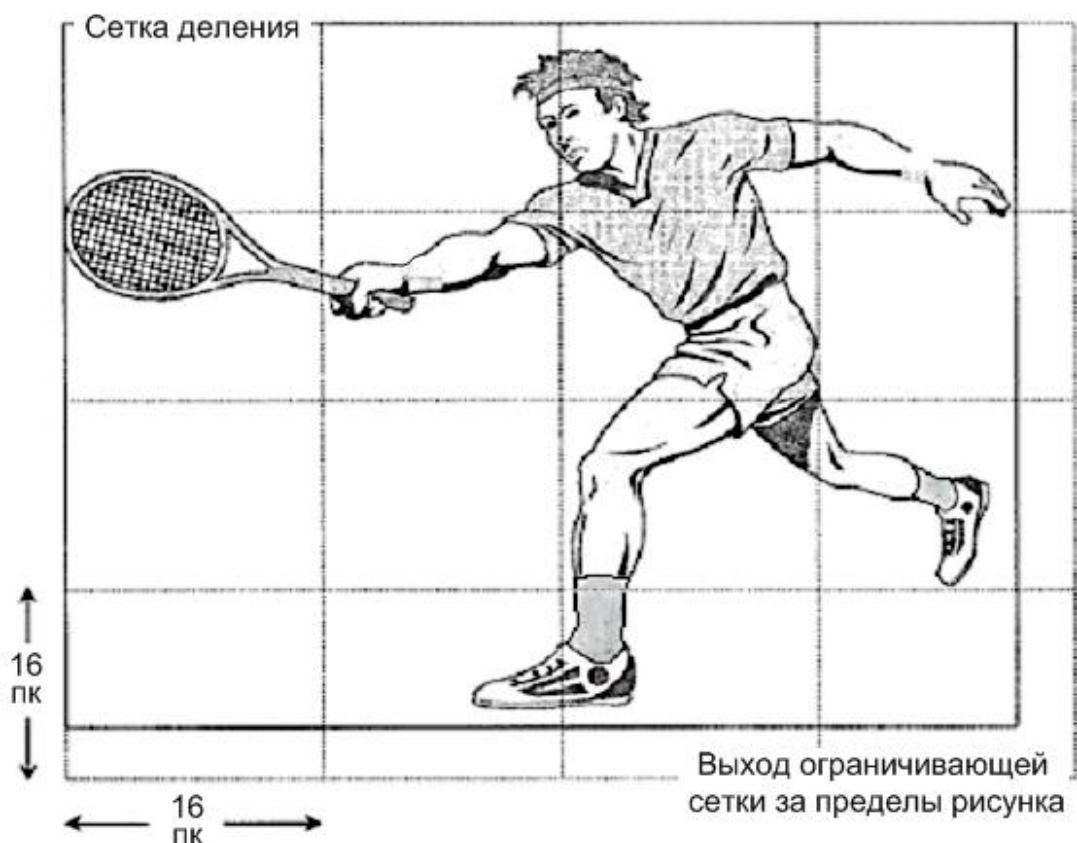


Рис.4.17. Деление изображения на блоки 16x16 пикселей.

Затем макроблоки разделенного изображения, для устранения межкадровой (временной) избыточности, поступают на первый вход блока вычитателя, используемого в тракте компенсации движения для. На второй вход поступают перемещенные макроблоки этого же сюжета изображения из предыдущего или последующего кадра. При этом новые координаты макроблоков вычисляются на основе предсказания их возможного движения от кадра к кадру, после чего производится их уточнение более точного положения по минимальному значению из межкадровой разницы в области их возможного перемещения. Таким образом, после вычитания значений смежных пикселей макроблоков их информативность значительно снижается или вообще становится равной 0.

Далее используется механизм ДКП для устранения внутрикадровой статистической избыточности полученных разностей макроблоков, аналогично описанному выше стандарту MPEG-1. Полученные коэффициенты прямого ДКП, характеризующие распределение энергии сигнала по его гармоническим составляющим, адаптивно квантуются и кодируются с помощью статистического компрессора длинных серий и энтропийного кодера на основе таблиц Хаффмана.

Для оценки качества восстанавливаемых изображений или адаптивного управления квантованием при постоянном битрейте выходного потока, в кодере производится операция декодирования сжатых видеоданных. Для этого используются блоки деквантования, обратного ДКП и суммирования

(рис.4.16). В сумматоре видеоданные складываются с ошибками предсказания компенсации движения, восстанавливая пиксельные значения кадра. Далее полученные сведения о сигнале направляются в узел кодирования сообщения, что позволяет оценить качество формируемого сжатого изображения.

Кроме того, в отличие от MPEG-1 стандарт MPEG-2 позволяет:

- использовать 9- или 10-битное квантование, а не только 8-битное, как в MPEG-1;
- для предотвращения потери макроблоков, кодированных с внутрикадровым предсказанием, применяется их маскирование то есть вставка на место утерянного макроблока, ближайшего, схожего по его параметрам. Для этого в потоке передается управляющий код «пропущенного макроблока»;
- предусмотрена передача информации режима панорамирования (pan&scan), указывающая декодеру, какую часть изображения форматом 16:9 отображать на экране с форматом 4:3. Информация посылается каждый кадр и позволяет смещать изображение с точностью до пикселя.

4.4.2. Поток видеоданных MPEG-2

Упрощенная структура потока данных на выходе видеокодера MPEG-2 показана на рис.4.18. Самой крупной структурной единицей потока видеоданных является **видеопоследовательность (video sequence) или видеоряд**. Видеопоследовательность может содержать произвольное число групп изображений (GOP - Group of Pictures), которые, в свою очередь, состоят из I, P, B кадров (при кадровом кодировании) или полей (при полевом кодировании). Каждое изображение состоит из слайсов, каждый из которых содержит некоторое количество макроблоков.

Каждая структурная единица потока видеоданных начинается с соответствующего стартового кода, позволяющего при декодировании выделять из потока нужные данные.

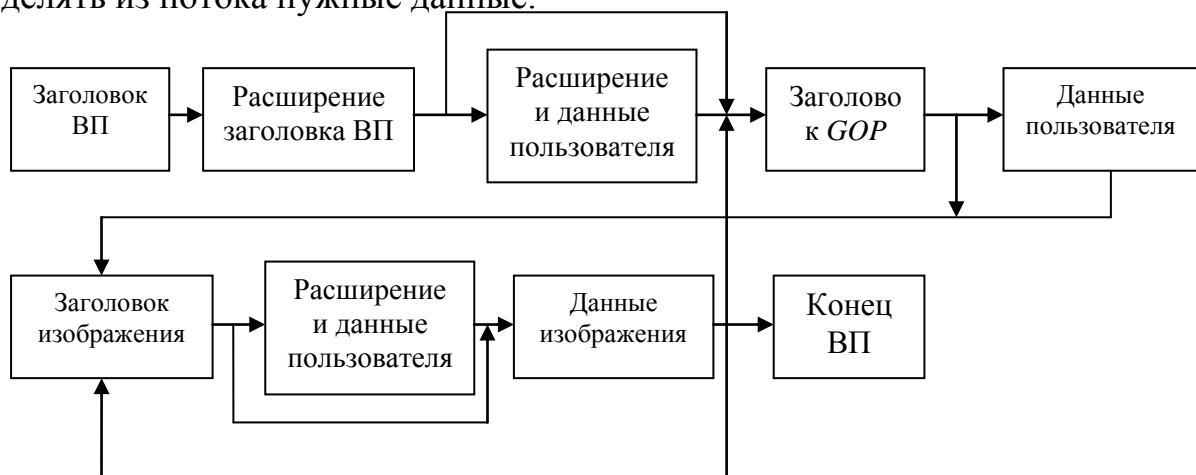


Рис.4.18. Структура потока данных на выходе видеокодера MPEG-2

Передача видеоданных всегда начинается с заголовка видеопоследовательности (ВП), за которым следует расширение заголовка видеопоследовательности. В этих частях потока данных передается следующая информация:

- ширина и высота изображения, выраженные количеством пикселей;
- формат изображения (отношение ширины к высоте);
- частота кадров;
- установленный битрейт сжатых видеоданных;
- признаки необходимости загрузки из потока видеоданных матриц коэффициентов квантования;
- признак использования чересстрочной развертки;
- используемый формат дискретизации (4:2:0, 4:2:2 или 4:4:4).

Далее могут передаваться расширение и данные пользователя. Эта часть потока может отсутствовать, что показано стрелкой, идущей в обход блока. Расширение присутствует, в частности, если используется масштабируемость, которая позволяет получать изображения из части полного потока видеоданных. В этом случае поток состоит из двух или более слоев (layers). Базовый слой дает возможность получить изображение с некоторыми начальными параметрами качества. Дополнительные или улучшающие (enhancement) слои потока данных позволяют получить изображение улучшенного качества. Стандарт MPEG-2 предусматривает возможность организации потоков видеоданных как с масштабируемостью, так и без нее.

Каждая группа изображений может начинаться с заголовка («Заголовок GOP»). Наличие этого заголовка обязательно для первой группы изображений в видеопоследовательности. Для других групп изображений заголовки могут отсутствовать (стрелка в обход не показана), так как начало группы всегда совпадает с опорным кадром. В заголовке группы изображений передаются метка времени и данные о структуре этой группы. После заголовка группы изображений могут передаваться данные пользователя.

Перед каждым кадром или полем идет заголовок изображения, содержащий номер этого изображения в видеопоследовательности, тип изображения (I, P или B) и другие данные. Затем могут передаваться расширение и данные пользователя. После этого передаются сами данные изображения. Данные внутри каждого макроблока также расположены в заданном порядке. Заголовок макроблока содержит сведения об использовании кодирования с предсказанием и векторов движения и другие данные.

После передачи данных изображения может следовать другое изображение этой же группы (стрелка на блок «Заголовок изображения») или начинаться следующая группа изображений (стрелка на блок «Заголовок GOP»). Если передано последнее изображение в

видеопоследовательности, то передается признак окончания последовательности («Конец ВП»).

В таблице 4.2. даны максимальные значения битрейта для разных вариантов кодирования.

Таблица 4.2.

Максимальные значения битрейта для вариантов кодирования MPEG-2

Уровень	Профиль				
	Простой (Simple)	Основной (Main)	Масштабирование по С/Ш (SNR Scalable)	Пространственный (Spatially Scalable)	Высокий (High)
Высокий 1920x1152	-	80 Мбит/с	-	-	100Мбит/с
High-1440 1440x1152	-	60 Мбит/с	-	60 Мбит/с	80 Мбит/с
Основной 720x576	15 Мбит/с	15 Мбит/с	15 Мбит/с	-	20 Мбит/с
Низкий 352x280	-	4 Мбит/с	4 Мбит/с	-	-

4.4.3. Декодер видеoinформации

В соответствии со стандартом в видеодекодере (рис.4.19) выполняются декодирование кодов переменной длины, деквантование, обратное ДКП, компенсация движения и восстанавливается исходная последовательность кадров.

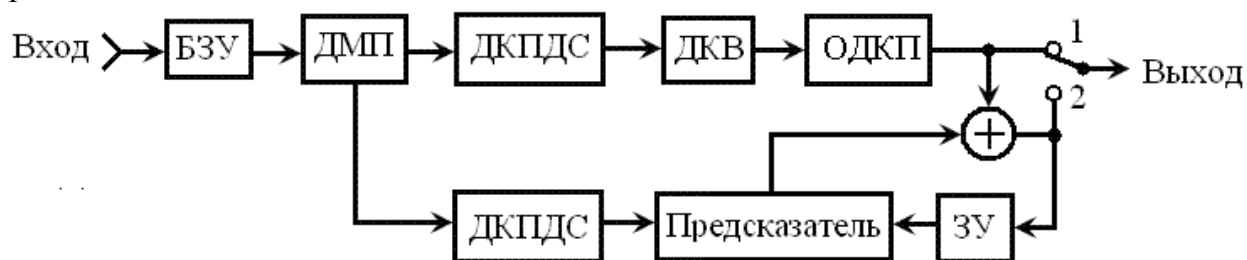


Рис.4.19. Структурная схема видеодекодера MPEG-2

Декодер содержит следующие блоки:

- БЗУ** - буферное запоминающее устройство;
- ДМП** - демультимплексор;
- ДКПДС** - декодеры кодов с переменной длиной кодовых слов;
- ДКВ** - деквантователь;
- ОДКП** - обратное дискретно-косинусное преобразование;
- ЗУ** - запоминающее устройство.

Тактовая частота 27 МГц в декодере восстанавливается с использованием данных из декодируемого потока.

Поскольку время восстановления разных типов кадров в декодере (I; P; B) зависит от сложности структуры потока, то на входе декодера устанавливается БЗУ емкостью 3-4 кадра. Данное БЗУ согласовывает постоянную скорость передачи данных с процессами декодирования кадров, при которых данные из БЗУ считываются неравномерно во времени. Поскольку в цифровом потоке передаются разные типы данных (видеоданные, векторы движения блоков, метки системного времени, звуковая информация и т.д), то для правильного их декодирования используются различные методы их обработки. Поэтому в декодере используется демультимплексор (ДМП), который упакованные видеоданные опорных кадров через ДКПДС направляет на деквантователь и блок обратного ДКП (ОДКП), где формируются пиксели опорных кадров, которые через коммутатор, установленный в положение 1, поступают на выход.

В цифровом потоке, большей частью передаются кадры прямого и двустороннего предсказания, содержащие межкадровые разницы блоков пикселей текущего и последующего кадра, обеспечивающие основное сжатие видеопотока. Поэтому для восстановления изображений таких кадров вначале из блоков предыдущего кадра и векторов их движения в предсказателе создается изображение межкадровых различий. Затем в сумматоре за счет сложения значений пикселей с выхода предсказателя и восстановленного предыдущего кадра сохраненного в БЗУ формируется декодированное изображение предсказанных кадров, которое через коммутатор, установленный в положение 2, также поступает на выход устройства.

Реализация декодера аппаратными, программными или аппаратно-программными средствами существенно проще, чем реализация кодера, так как декодер работает уже с готовыми данными векторов движения блоков. А кодере, для поиска векторов перемещения блоков, приходится обрабатывать огромные массивы пикселей, что требует больших объемов вычислений и соответственно затрат времени.

4.4.4. Искажения изображений в стандартах MPEG-1/2 и допустимые коэффициенты сжатия видеопотока

При достаточно больших степенях сжатия в стандартах MPEG-1/2 возникают специфические искажения, которые можно разделить на 2 группы, определяемые методами кодирования изображений:

Искажения, создаваемые внутрикадровым кодированием:

1. Блочные искажения (блокинг-эффект) проявляется при больших коэффициентах сжатия из-за того, что соседние блоки кодируются и

- декодируются независимо друг от друга, в результате чего нарушается плавность распределения яркостей пикселей на границах блоков и изображения приобретают мозаичный вид.
2. Размытие изображения («замыливание»). Наблюдается при большом коэффициенте сжатия изображения. Возникает из-за ограничения или обнуления ВЧ коэффициентов ДКП, в результате чего мелкие детали изображения становятся размытыми или полностью пропадают.
 3. Появление окантовок на резких переходах яркости изображения. Этот эффект обусловлен значительными искажениями либо полным подавлением высокочастотных составляющих пространственного спектра.
 4. Размытие цветов. Имеет ту же причину, что и эффект окантовки на границах, но проявляется на участках изображения с резкими изменениями сигнала яркости.
 5. Эффект ступенек. Возникает как результат неправильного восстановления или передачи краев изображений внутри блока. Эффект проявляется, как правило, при восстановлении изображения в увеличенном масштабе.

Искажения, создаваемые межкадровым кодированием:

1. Возникновение ложных границ объектов изображения, возникает в следствии межкадрового кодирования видеосигнала с компенсации движения.
2. Эффект «комаров». Проявляется как флуктуации яркости или цветности в блоке на границе между движущимся объектом и фоном. Эффект возникает вследствие изменения параметров квантования разности действительного и предсказанного изображений от кадра к кадру.
3. Зернистый шум в стационарной области. Проявляется как медленно движущиеся мерцающие шумы низкой интенсивности в областях, в которых наблюдается незначительное движение или его отсутствие.
4. Появление неправильных цветов в макроблоке по отношению к его исходным цветам и к цветам окружающей области.
5. Появление следов за движущимися объектами, которые могут сохраняться сравнительно долго.

В соответствии с Рекомендацией 601 при дискретизации 4:2:2 получается скорость передачи двоичных символов 216 Мбит/с. При переходе к формату 4:2:0, который используется для ТВ вещания скорость передачи двоичных символов сокращается до величины 162 Мбит/с, относительно которой производится оценка степени сжатия видеопотока. При этом для получения студийного качества восстановленных изображений форматом 720x576 пикселей при использовании основного уровня кодирования MPEG-2 скорость цифрового потока достигает 15 Мбит/с, что дает коэффициент сжатия 11 раз. Однако в технических журналах отмечалось, что на практике для получения студийного качества принятого

изображения можно сжимать видеoinформацию до скорости передачи 9 Мбит/с, т.е. в 18 раз. Для получения качества изображения, сравнимого с обычным изображением по системе PAL, - до 4...5 Мбит/с, т.е. в 30...40 раз. Качество изображения, сопоставимое с получаемым при воспроизведении видеозаписей стандарта VHS, достигается при сжатии до уровня около 1,5 Мбит/с, т.е. более чем в 100 раз.

4.4.5. Обработка сигналов звукового сопровождения в стандарте MPEG-2

Составной частью в стандарт MPEG-2 входят алгоритмы сжатия звуковых сигналов, при этом используется те же принципы полосного кодирования звука, что и в стандарте MPEG-1 (уровни 1, 2 и 3). Где весь частотный спектр звукового сигнала разбивается на 32 полосы с помощью набора полосовых фильтров. Сжатие достигается благодаря тому, что выходные сигналы полос с малой спектральной энергией имеют малую амплитуду и потому могут кодироваться более короткими кодовыми словами. Кроме того, используется так называемый психоакустический эффект, заключающийся в маскировке слабого звука близким по частоте более сильным звуком. Шумы квантования динамически приспосабливаются к порогу маскирования, и в канале передаются только те детали звучания, которые могут быть восприняты слушателем. Квантование в каждой полосе может осуществляться либо посредством измерений энергии сигнала этой полосы (уровень 1), либо с использованием внешнего спектрального анализа (уровень 2).

«Layer-1» (слой 1) – рекомендуется для профессиональной звукозаписи в студиях с очень высоким качеством звука и характеризуется небольшой вычислительной сложностью, относительно не высокой степенью сжатия аудиоданных и соответственно большим объемом используемой памяти. Именно этот слой стал родоначальником всех следующих, причем именно он лежит в основе системы сжатия мини-дисков (MiniDisk - MD) фирмы “SONY”. Основные параметры: скорость цифрового потока при передаче составляет 192 кбит/с в полосе частот ЗС, равной 15 кГц; коэффициент компрессии равен 4; запаздывание (задержка) сигнала при обработке составляет 20 мс.

Алгоритм сжатия — медленный (в основном за счет просчета акустической модели и итеративного усечения коэффициентов). Алгоритм декодирования — быстрый (может быть реализован в реальном времени).

«Layer-2» (слой 2) – потребительская область, (используется в высококачественном радиовещании со средней сложностью сигналов и средней степени компрессии аудиоданных). В Layer 2 по сравнению с Layer 1 вводятся тройной гребенчатый фильтр и процедуры быстрого преобразования Фурье, а также уточняются множества специальных таблиц.

В результате увеличилась степень сжатия, но скорость компрессии ЗС упала, хотя быстрота обратного преобразование не замедлилась. Основные параметры: скорость цифрового потока 128 кбит/с в полосе частот ЗС, равной 15 кГц; коэффициент компрессии равен 6; запаздывание сигнала составляет 40...50 мс.

«**Layer-3**» (слой 3) – рекомендуется для передачи речи по узкополосным каналам в сети ISDN, в профессиональной области (в радиовещании и в системах записи с малой ёмкостью памяти и средним качеством), отличается высокой сложностью и характеризуется следующими параметрами: скорость цифрового потока 64 кбит/с в полосе частот сигнала 15 кГц; запаздывание сигнала составляет 50 мс.

Рассмотрим принцип работы кодеров Layer-1 и Layer-2 по структурной схеме представленной на рис.4.20. Входные отсчеты аудио сигнала подаются на вход кодера и попадают в банк цифровых фильтров. Здесь первичный цифровой сигнал ($f_d = 48$ кГц, $\Delta A = 16$ бит/отсчет, $v = 768$ кбит/с) разделяется на 32 субполосные составляющие. Аудиокадр образует выборка, состоящая из 384 (для Layer-1) или из 1152 (для Layer-2 и -3) отсчётов звукового сигнала. Время передачи аудиокадра составляет 8 мс (Layer-1) и 24 мс (Layer-2 и Layer-3). Все 32 субполосы имеют постоянную ширину $F = f_d / (2n)$, где f_d — частота дискретизации ЗС, n — число субполос, равную 750Гц.

После фильтрации отсчёты ЗС в каждой субполосе собираются в блоки, а затем масштабируются (нормируются), квантуются и затем кодируются. Масштабирование в Layer-1 в каждом субполосном канале представляет собой выбор из 12 отсчётов максимального значения ЗС, которое называется масштабным коэффициентом SCF (Scale Factor) выборки субполосного ЗС. Всего для Layer-1 имеем 32 масштабных коэффициента. В Layer-2 каждый блок из 36 отсчётов ЗС делится на три подблока, называемые гранулами. В каждой грануле, включающей 12 отсчетов ЗС, также определяется максимальный отсчёт, его значение является масштабным коэффициентом SCF гранулы. Всего субполос 32, поэтому для Layer-2 общее количество SCF равно $3 \times 32 = 96$. Передаваемые декодеру значения SCF заданы в стандарте таблицей. Поэтому максимальное значение отсчёта в грануле сравнивается с набором табличных значений SCF. Из множества последних выбирается ближайшее большее. Оно и принимается за SCF гранулы.

Для Layer -1 и -2 применяется кодирование отсчётов ЗС, при этом в каждой субполосе кодирования имеем по $384:32 = 12$ (Layer-1) или по $1152:32 = 36$ отсчетов ЗС (Layer-2). Параллельно кодированию самих аудио данных производится кодирование дополнительных данных (AD – Ancillary Data).

Layer-3 (рис.4.21) характеризуется более сложной системой компрессии в отличие от Layer-1 и Layer-2. В слое 3 применяется уже другая, модифицированная психоакустическая модель 2 с неравномерным квантованием.

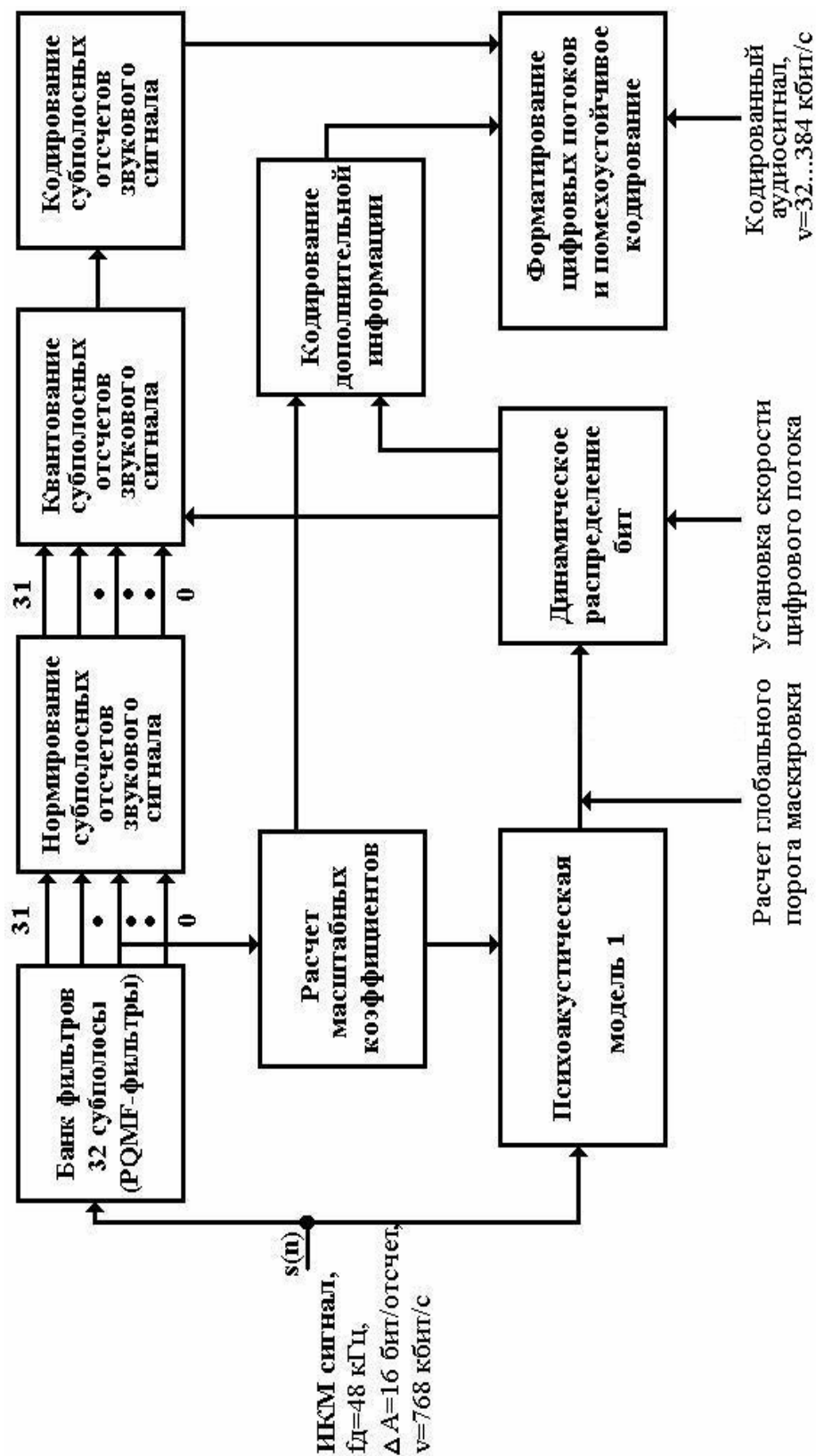


Рис.4.20. Структурная схема звукового кодера MPEG-2 стандарта ISO/IEC 11172-3, Layer-1 и Layer-2

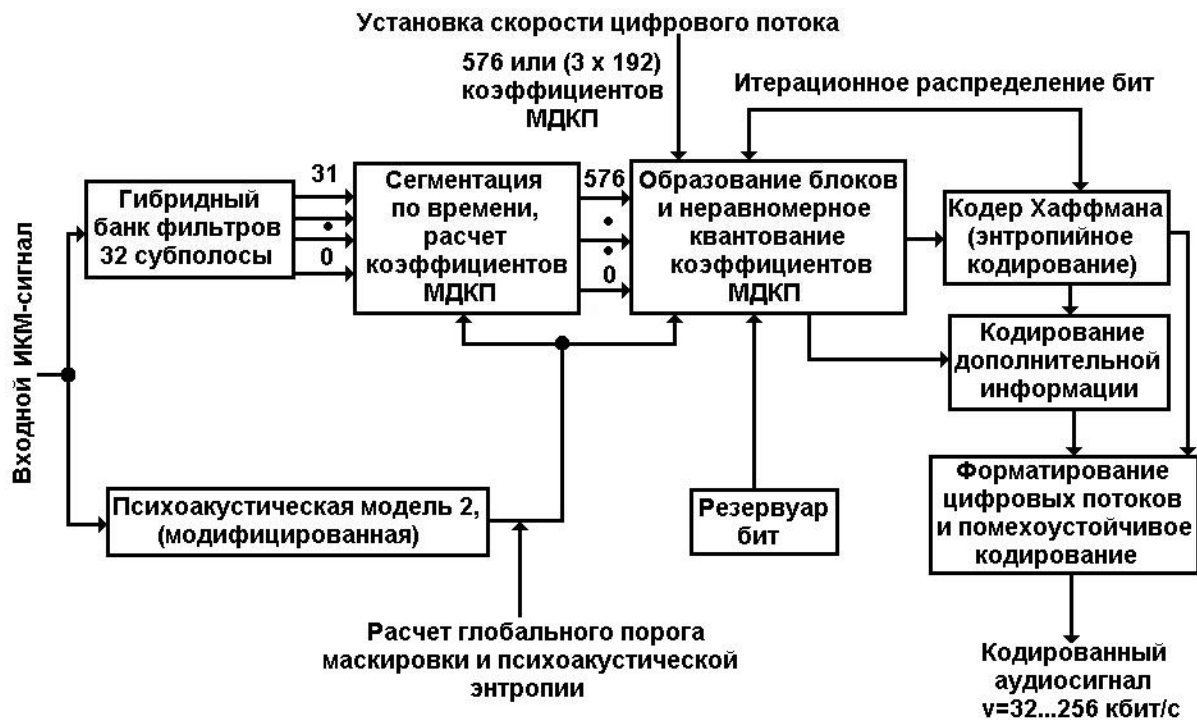


Рис.4.21. Структурная схема кодера MPEG стандарта ISO/IEC 11172—3 Layer-3

Кроме того в Layer-3 кодированию подвергаются не сами отсчёты ЗС, а квантованные значения коэффициентов МДКП (MDCT- Modified Discrete Cosine Transform), число которых в каждой субполосе кодирования составляет 18. Для кодирования коэффициентов используются таблицы кодов Хаффмана. Это так называемое энтропийное кодирование, учитывающее статистические особенности ЗС

В результате, после многочисленных вычислений на выходе блока «Форматирование цифровых потоков и помехоустойчивое кодирование» (рис.4.20 и 4.21) формируется звуковой кадр, который представляет собой последовательность аудиокадров.

Аудиокадр — это пакет данных фиксированной длины в пакетированном потоке. Каждый пакет в общей сложности имеет 4608 бит. Он начинается со слова "синхронизация" и заканчивается байтом перед следующим словом синхронизации.

Каждый аудиокадр состоит из четырех независимых частей:

1. **Заголовок (Header)**. Он представляет собой информацию, содержащуюся в первых 32 битах (4 байта) аудиокадра и обеспечивает синхронизацию и перенос остальной информации, требующейся для декодирования потока.
2. **Error_check** (проверка ошибок) — это опциональная часть потока, которая содержит циклическую проверку на избыточность (Cyclical Redundancy Check, crc_check), она представляет из себя 16-битное слово для проверки на четность и обеспечивает обнаружение ошибок в кодированном потоке.

3. **Audio_data** (аудиоданные) — Звуковая информация, которая содержит кодированные отсчеты и информацию, необходимую для их декодирования.
4. **Ancillary_data** (дополнительные данные) содержат биты, которые могут быть добавлены пользователем. Количество используемых дополнительных бит (`no_of_ancillary_bits`) должно быть вычтено из общего количества бит в кадре. Так как длина кадра постоянна, то это вычитание возможно для кодирования отсчетов аудио и может иметь сильное влияние на качество аудио.

Кроме того, в 1997 году стандарт MPEG-2 был дополнен усовершенствованной системой кодирования звука AAC (Advanced Audio Coding), Она базируется на учете опыта, накопленного при разработке алгоритма компрессии Layer-3 стандартов ISO/IEC 11172-3 и 13818-3, поддерживает все известные звуковые форматы: моно, обычное стерео, разновидности систем Dolby, пятиканальный звуковой формат 5.1. Однако декодеры MPEG-1 не понимают формат MPEG-2 AAC, хотя воспринимают обычный MPEG-2 стандарта ISO/IEC 13818-3. Формат AAC, является преемником MP3, способным заменить его в будущем. По сравнению с MP3 в AAC заметно увеличена эффективность компрессии, расширен набор возможных частот дискретизации: **8, 11,025, 16, 22, 24, 32, 44,1, 48, 64, 88,2 и 96 кГц**, а качество звучания AAC файла, созданного одним из современных кодеков, при битрейте 128 кбит/с сопоставимо с качеством 192 кбит/с MP3 файла. Кроме того, AAC позволяет создавать многоканальные файлы, что делает его пригодным для хранения саундтреков к фильмам. При кодировании на низких битрейтах есть возможность создания AAC HE (high efficiency, высокая эффективность) файлов, используя технологию SBR (spectral band replication, спектральное восстановление частот). Помимо этого, AAC имеет 3 режима создания файлов (профилей):

- Main – главный (используется когда нет лишней памяти);
- Low Complexity (LC) – низкой сложности;
- Scalable Sampling Rate (SSR) – масштабируемой дискретизации, для которого требуется декодер с изменяемой скоростью приема данных.

Наиболее известным из них является LC, где применяется низкая сложность компрессии ЗС, что позволяет воспроизведение AAC LC файлов при помощи аппаратных AAC плееров (напр. Apple iPod или телефонов Nokia).

Принцип работы кодера AAC рассмотрим по структурной схеме представленной на рис.4.22. В MPEG-2 AAC кодированию подвергаются коэффициенты МДКП, однако несколько изменена форма кривой компрессии при неравномерном квантовании и применены иные таблицы кодов Хаффмана. Также как и в Layer-3, управление величиной искажений квантования выполняется с помощью двух итерационных циклов: внутреннего и внешнего. Для повышения качества работы алгоритма

компрессии цифровых аудиоданных в кодере AAC используются специальные процедуры минимизации искажений, основанные на управлении микроструктурой искажений квантования внутри каждой из субполос. Это так называемая техника TNS (Temporal Noise Shaping). При объединении субполосных сигналов и кодировании (Coupling), предусмотрена, как и ранее, возможность работы кодера в режимах **моно/стерео (M/S)** кодирования, когда кодированию в отдельных субполосах подвергаются не сигналы левого L и правого R канала стереопары, а их сумма $M = (L + R) \sqrt{2}$ и разность $S = (L - R) \sqrt{2}$. При линейном предсказании учитывается не только корреляция между отсчетами многоканального сигнала, но и форма спектра шумов квантования и его изменение во времени. Введены уточнения и дополнительные процедуры при расчете глобального порога маскировки в психоакустической модели кодера AAC. Однако и здесь основой является модифицированная психоакустическая модель 2, как и в Layer-3.

Алгоритм AAC обеспечивает наиболее высокое качество кодирования звукового сигнала, например, при формате 5.1. Искажения, вызванные компрессией, лежат ниже порогов их слуховой заметности уже при суммарной скорости цифрового потока 320...384 кбит/с. А при скорости 64 кбит/с. возможно использовать 48 основных каналов, 16 низкочастотных каналов для звуковых эффектов, 16 многоязыковых каналов и 16 каналов данных. До 16 программ может быть описано используя любое количество элементов звуковых и других данных.

Таким образом звуковая часть MPEG-2 ориентирована на кодирование многоканального звука с поддержкой следующих форматов:

- пятиканальный звук;
- семиканальный звук с двумя дополнительными фронтальными динамиками, применяемыми в кинотеатрах с очень широким экраном,
- расширения этих форматов с низкочастотным каналом.

Соответствующее расположение динамиков звуковых каналов представлено в табл.4.3.

Одной из разновидностей многоканального звука является многоязычное звуковое сопровождение, которое может осуществляться либо передачей отдельного цифрового потока для каждого языка, либо добавлением нескольких (до 7) 64 кбит/с языковых каналов к многоканальному потоку 384 кбит/с. Также возможна передача дополнительных звуковых каналов для людей с ухудшением зрения и слуха (с описанием сцены в первом случае и отдельным каналом диалогов во втором).

Для обеспечения совместимости работы декодеров стандартов MPEG-1 и MPEG-2 при кодировании сложных многокомпонентных ЗС (квадра фония, Долби 5.1 и т.д.) в кодере MPEG-2 сначала с помощью матрицы формируются комбинированный стереосигнал, совместимый со

стереосигналом MPEG-1, а затем набор собственных вспомогательных сигналов, служащих для восстановления многоканального звука в декодере MPEG-2.

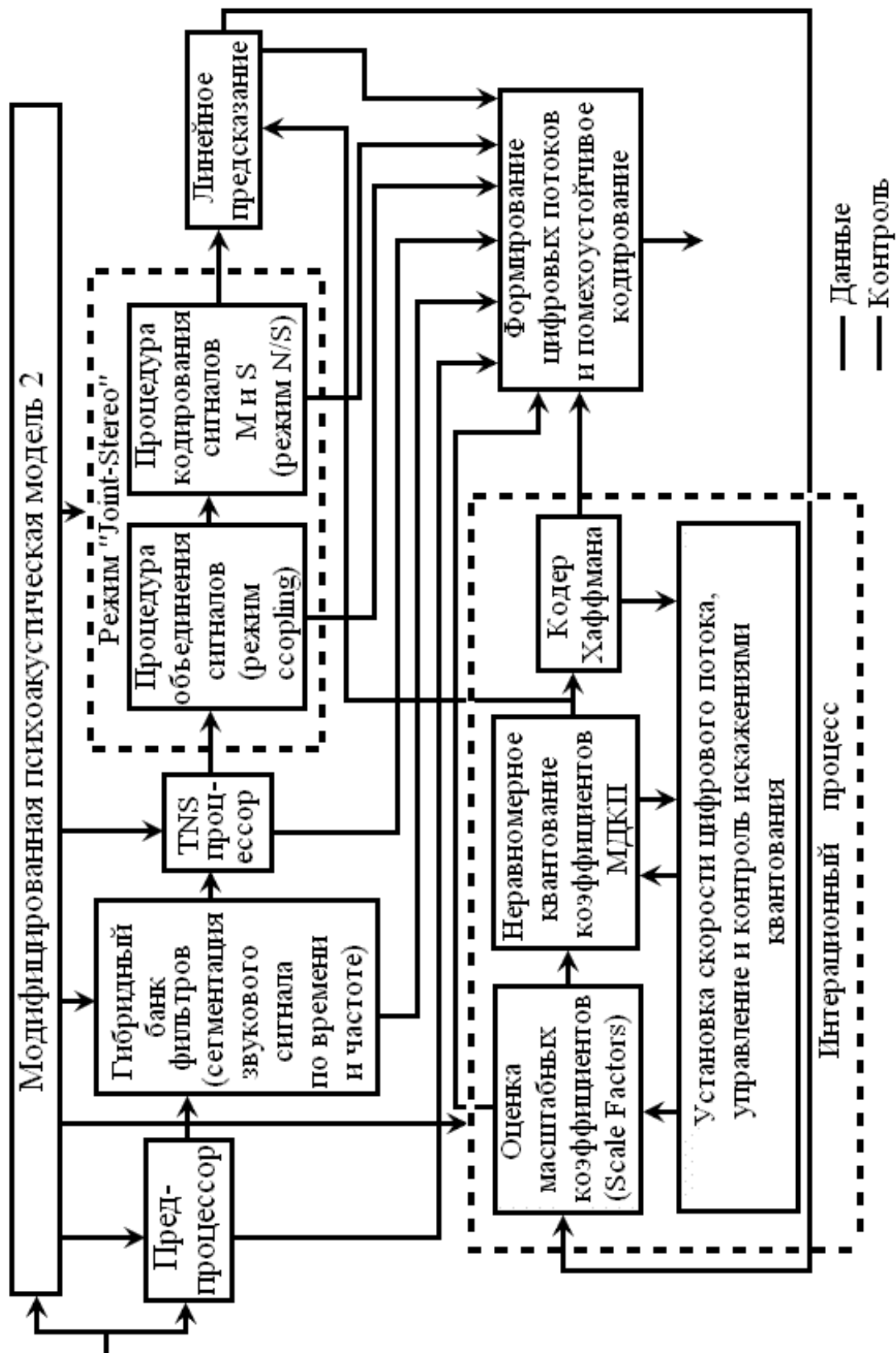
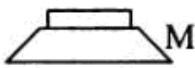
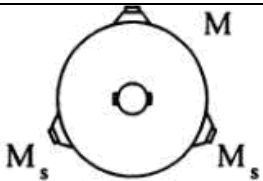
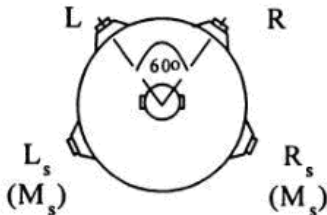
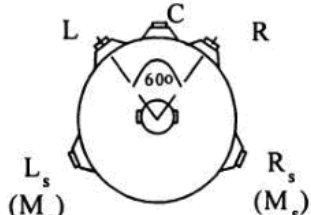


Рис.4.22. Структурная схема кодера MPEG-2 АСС стандарта ISO/IEC 13818-7 и его многоканальная конфигурация

Иерархия многоканальных звуковых систем со гласно Рекомендации BS.775

Система	Каналы	Обозначение	Расположение динамиков
Моно	M	1/0	
Моно + моно	M	1/1	
Двухканальная стерео	L/R	2/0	
Двухканальная стерео + 1 окружающий	L/R/Ms	2/1	
Двухканальная стерео + 2 окружающий	L/R/Rs	2/2	
Трехканальная стерео	L/C/R	3/0	
Трехканальная стерео + 1 окружающий	L/C/R/Ms	3/1	
Трехканальная стерео + 2 окружающий	L/C/Ls/Rs	3/2	

При кодировании двухканальный сигнал укладывается в структуру звука, совместимого с MPEG-1, и может быть декодирован соответствующим декодером. Остальные компоненты после кодирования размещаются в других структурных единицах цифрового потока и доступны только декодеру MPEG-2.

4.5. Мультимедийный стандарт MPEG-4

Стандарт MPEG-4 начал разрабатываться в начале 90-х годов для передачи мультимедийной информации (звук, малокадровое телевидение, графика, текст и т.д.) по узкополосным каналам Интернет со скоростями цифрового потока более 64 кбит/с. То есть MPEG-4 изначально не являлся телевизионным стандартом, а обрабатывал изображения разрешением в четверть формата CIF (352x288) при 15 кадрах/с. Однако новый стандарт очень быстро вышел за эти рамки и в октябре 1998 года была выпущена первая версия MPEG-4, а декабре 1999 г. - вторая, получившая официальный статус международного стандарта ISO/IEC 14496

В настоящее время стандарт содержит 22 части из которых для 10 часть описывает правила кодирования сигналов цифрового телевидения. Такая часть называется MPEG-4-10 или H264.

В отличие от своих предшественников, MPEG-4 не является просто технологией сжатия, хранения и передачи видео или аудио информации. MPEG-4 - это, по сути, принципиально новый способ представления информации: объектно-ориентированное отображение цифровых медиа-данных для трех областей: интерактивного мультимедиа, графических приложений и цифрового телевидения. Если стандарты MPEG-1 и MPEG-2 описывают работу с уже готовыми видеокадрами, то MPEG-4 фактически задает правила организации объектно-ориентированной среды. Он имеет дело не просто с цифровыми потоками и массивами данных, а с медиа-объектами, и его основой является формирование на приемном конце и в реальном масштабе времени итогового изображения и звука из имеющихся в наличии отдельных объектов, основываясь на так называемом "схематическом описании события" (рис.4.23).



Рис.4.23.Пример сцены MPEG-4

Любая видео сцена разделяется на объекты и описываются отдельными элементарными потоками (ЭП). Объекты могут быть натуральными — записанными с видекамеры или микрофона, и синтетическими — синтезированными в компьютере. Такой подход имеет ряд преимуществ:

- более экономно расходуются биты для описания сцены;
- отдельные объекты легко использовать в других сценах;
- упрощается построение масштабируемых объектов;

- появляются широкие возможности взаимодействия пользователя с выбранным объектом, например, вывод дополнительной информации об объекте, изменение его параметров (цвета, текстуры, громкости звучания или языка), исключение объекта из сцены, создание пользователем новых сцен из объектов, полученных от разных источников или хранящихся в памяти кодека.

Для описания сцены и ее динамического изменения в MPEG-4 используется специально разработанный двоичный язык BIFS (Binary Format for Scenes двоичный формат описания сцен, который представляет собой расширение языка C++). Описание сцены указывает декодеру, где и когда воспроизводить объекты, входящие в сцену, и как реагировать на воздействие пользователя. Чтобы увязать ЭП с медиа-объектами в сцене, используются дескрипторы объекта. Они переносят информацию о числе и свойствах ЭП, связанных с конкретными медиа-объектами. Сами дескрипторы также переносятся в одном или нескольких ЭП, поэтому нетрудно добавить или удалить объект во время сеанса. Поток дескрипторов может рассматриваться как описание потоковых ресурсов для представления, а описание сцены служит для изменения пространственно-временного размещения объектов в сцене. MPEG-4 определил специальный язык синтаксических описаний для точного описания синтаксиса потоков, переносящих информацию о медиа-объектах и описания сцен. BIFS оперирует двумя протоколами модификации сцены во времени: командным (BIFS-Command) и анимационным (BIFS-Anim).

Командные потоки BIFS позволяют загружать новую сцену, изменять свойства объектов, вводить и уничтожать объекты. Анимационные потоки BIFS-Anim управляют процессами анимации сцены, например, изменением точки взгляда, перемещением, трансформацией размера, плавным изменением цвета, освещенности и т.д.

Синхронизация потоков осуществляется путем временной привязки. Как и в предыдущих стандартах MPEG, один вид временной метки обеспечивает синхронизацию тактовых частот кодера и декодера, метки другого вида, привязанные к функциональным единицам аудиовизуальных данных, содержат желаемое время декодирования (для единиц доступа) или время завершения компоновки

Основными шагами обработки аудио-видео информации в MPEG-4 являются:

- разделение исходной картинке на различные элементы - "медиа объекты" (media objects);
- описание структуры и взаимосвязей этих объектов, позволяющее затем собрать их в единую видеозвуковую сцену;
- возможность для конечного пользователя внесения интерактивных изменений в сцену.

Для достижения такого уровня гибкости представления все медиа объекты организуются в единую иерархическую структуру, включающую:

- неподвижные изображения (например, фон);

- натуральные видео объекты (например, человек);
- аудио объекты (голос, связанный с этим человеком);
- текст, связанный с данной сценой;
- синтетические объекты, которых изначально в записываемой сцене не было, но они добавляются при демонстрации пользователю (например, синтезированная средствами компьютерной графики "говорящая голова");
- текст, связанный с синтетическим объектом, и преобразуемый в голос.

Такой метод представления данных позволяет довольно просто помещать медиа объекты в любое место сцены. При этом есть возможность перемещать их по всему полю кадра, изменять их геометрические размеры, масштаб и отображать их под разными ракурсами. Кроме того можно изменять цвет и текстуру отдельных видеообъектов и собирать из них более сложные композиции.

Для характеристики MPEG-4 с технических позиций, следует отметить, что стандарт содержит весь арсенал методов кодирования и компрессии пикселей изображения, используемых в MPEG-1 и MPEG-2. Кардинальным нововведением при компрессии видео в MPEG-4 является переход от деления изображение на квадратные блоки к операциям с объектами произвольной формы. К примеру, человек,двигающийся в кадре, будет восприниматься и обрабатываться как единый отдельный объект, перемещающийся относительно неподвижного объекта - заднего плана.

При кодировании неподвижных изображений и текстур в MPEG-4 применяется очень эффективный алгоритм на основе вейвлет-преобразований, обеспечивающий кодирование объектов произвольной формы, и плавную масштабируемость по качеству картинки.

Кроме того предусмотрена возможность создания высокоскоростных видеопотоков - до 38,4 Мбит/с, а в студийных условиях - до 1,2 Гбит/с.

4.5.1. Видео кодирование в стандарте MPEG-4-10 (H.264)

При обработке видео потока в MPEG-4 все видеоплоскости подразделяются на четыре типа (модель YUV 4:2:0):

I-плоскости. Для обеспечения быстрого доступа, кодируется независимо от других плоскостей. Прежде всего, идёт разбиение на макроблоки 16×16 пикселей (I-макроблоки), которые разбиваются на 4 I-блока 8×8 для ДКП.

P-плоскости кодируются с использованием информации о предшествующих I- или P-плоскостях. Эти плоскости аналогично дробятся на макроблоки 16×16, однако, среди этих макроблоков присутствуют и I-макроблоки и i-макроблоки (I — intra, i — inter). **Inter-макроблоки** формируются в результате компенсации движения, где в предшествующих I- или P-плоскостях ищется макроблок/блок, расположенный произвольно и

максимально соответствующий текущему inter-макроблоку/блоку. При его нахождении формируется и вставляется в поток его двухкомпонентный вектор движения. Затем вычисляется попиксельная разность текущего и найденного макроблоков/блоков (ошибка предсказания) и к ней применяется ДКП. Для повышения эффективности компенсации движения вблизи границ кадра, выполняется процедура дополнения кадра с каждой стороны на величину одного макроблока (пространство заполняется цветом ближайших к границам пикселей). Таким образом, для каждого макроблока могут быть получены либо 1, либо 4 вектора движения, а выбор между вариантами осуществляется исходя из минимума вклада текущего макроблока и его векторов движения в поток. Стандарт также предусматривает особый тип компенсации движения — компенсация с перекрытием: выполняется она только для блоков компоненты Y. Отличительная особенность этого метода состоит в составлении разностного блока по взвешенной суперпозиции трёх схожих с ним блоков в предыдущих I- или P-плоскостях, а не по одному схожему блоку. Соответственно, за три вектора движения будут взяты: вектор для данного блока и два вектора для блоков, соседних к данному блоку в обрабатываемом макроблоке.

В-плоскости отличаются от P-плоскостей тем, что при их кодировании, для компенсации движения используются не только предшествующие, но и последующие I- и P-плоскости. Каждый макроблок этой плоскости может быть предсказан макроблоком на предыдущей плоскости, макроблоком на последующей плоскости и суперпозицией этих макроблоков.

S-плоскость имеет непосредственное отношение к спрайтам (в стандарте MPEG-4 спрайтом называют часть изображения, видимую на протяжении определённого интервала в видеопоследовательности). В роли спрайта чаще всего выступает фон (или задний план). При декодировании с использованием спрайтов, кадры частично восстанавливаются из отдельных областей спрайта путём отображения этих областей на ту или иную область декодируемого кадра с использованием перспективного преобразования. Спрайт хранится отдельно и кодируется подобно I-плоскостям. Частным случаем использования спрайтов и являются S-плоскости (GMC — global motion compensation); роль спрайта отводится в этом случае одной из предшествующих I- или P-плоскостей.

Как и кадры в MPEG-1, идущие подряд плоскости различных типов делятся на обособленно кодируемые группы; в начале группы должна всегда находиться I-плоскость, далее обычно В-плоскости чередуются с плоскостями P- и S-типа.

Как было указано выше, для высокоэффективного сжатия видеопотоков MPEG-4 использует выделение объектов сцены, однако для выделения объектов на сложном неоднородном фоне довольно сложная задача, требующая больших вычислительных затрат. Поэтому в стандарте MPEG-4-10 (H264) часто применяется разбивка изображения на прямоугольные блоки переменного размера, что позволяет увеличить точность компенсации движения.

Видео кодек MPEG-4 при блочной компенсации движения использует блоки 16x16 пикселей. При кодировании, видео кодек подразделяет видео на I-слои и P-слои по системе intra. Основное их отличие заключается в том, что I-слой состоит макроблоков, кодируемых только внутри данного кадра, а P-слой может иметь макроблоки закодированные в ранее обработанных кадрах.

Когда в битовом потоке внутри P-слоя появляется сигнал пропущенного макроблока, тогда для этого макроблока дальнейшие данные в битовый поток не посылаются. Декодер реконструирует кадр из «первичных» (неизбыточных) снимков и игнорирует все лишние снимки. Однако, если первичный снимок был испорчен, декодер может попытаться заменить испорченную область декодированными данными из избыточного снимка.

Яркостная составляющая каждого макроблока (размером 16x16) может быть разбита четырьмя способами (16x16, 16x8, 8x16 или 8x8) или для блоков 8x8 (8x8, 8x4, 4x8 или 4x4) как это показано на рис.4.24.

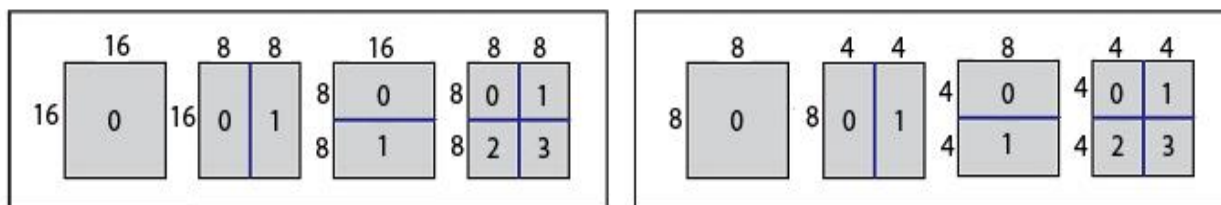


Рис.4.24. Пример разбиения макроблоков на блоки меньшего размера.

Каждая из областей меньшего размера является частью макроблока. Возможность делить макроблок на блоки, а те в свою очередь на субблоки, позволяет получить большое количество комбинаций их сочетаний в пределах каждого макроблока. Для каждой части макроблока или субблока необходимо задать отдельный вектор движения. Каждый вектор кодируется и передается по каналу связи. Кроме того, необходимо закодировать в битовом потоке выбранный метод деления. Использование большого размера частей деления (16x16, 16x8, 8x16) означает, что для передачи векторов движения потребуется меньше бит, но это также приводит к большой ошибке компенсации движения остаточных блоков в областях изображения с мелкими деталями.

Выбор малого размера частей деления (8x4, 4x4 и т.д.) приводит к малой ошибке позиционировании остаточных блоков после компенсации движения, но это приводит к увеличению объема передаваемой информации о векторах движения и способов деления. Таким образом, выбор размера деления существенным образом влияет на степень сжатия видеоизображения.

Обычно, данные ошибки происходят при приеме информации со спутника. Когда, по причине особых метеоусловий или других факторов пропадает сигнал на определенный промежуток времени, то часть блоков от нового кадра передается, а часть отсутствует. Новые блоки размещаются

согласно координатам, а вместо отсутствующих вставляются блоки предыдущего кадра.

Там, где имеется существенное расхождение между опорным и текущим кадром (например, при смене сцен), можно кодировать макроблок без компенсации движения. Таким образом, кодер выбирает между режимами intra и inter для каждого макроблока.

Структурная схема, отображающая работу кодера стандарта H.264 представлена на рис.4.25 при этом она содержит практически те же элементы, что и кодеки MPEG-1, MPEG-2.

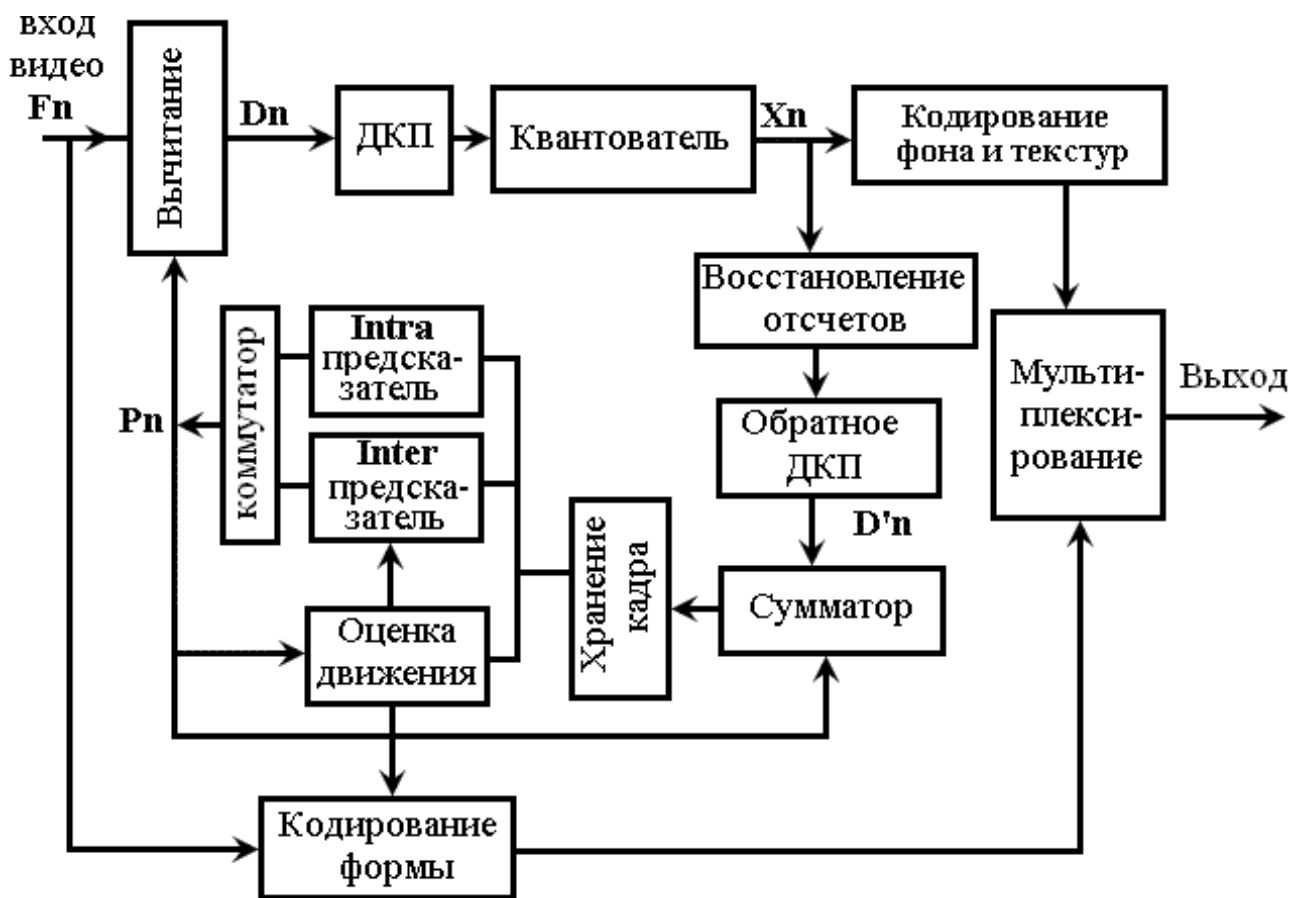


Рис.4.25. Обобщённая структурная схема видеокодера MPEG-4

Данный кодер включает две ветви обработки видеопотока:

- канал прямого кодирования, где обработка данных происходит слева направо;
- канал реконструкции видеоизображения, где обработка данных происходит справа налево.

На вход кодера поступает кадр - F_n . Обработка кадра происходит с помощью макроблоков, размером 16×16 пикселей исходного изображения. Каждый макроблок может быть обработан в двух режимах: Intra (без компенсации движения) или Inter (с компенсацией движения). В любом режиме прогноз

макроблока - P_n формируется на основе восстановленного кадра.

В режиме Intra предсказание формируется из выборок текущего кадра N , предварительно закодированных и восстановленных (F'_n). В режиме **Inter** предсказание формируется с учетом изменений, произошедших в текущем кадре по сравнению с предыдущими кадрами (или последующими). Кадры, служащие для прогноза, предварительно кодируются и потом восстанавливаются. В блоках формирования Intra-предсказания и Inter-предсказания происходит выбор наиболее подходящего способа в зависимости от типа кодируемого кадра. Полученный прогноз P_n вычитается из текущего макроблока. В результате вычисляется макроблок остаточных коэффициентов D_n . Этот макроблок поступает в преобразователь, где происходит частотное преобразование остаточных коэффициентов на основе прямого ДКП. Таким образом, значительно уменьшается вычислительная сложность алгоритма, но в процессе сжатия появляются дополнительные искажения. Частотные коэффициенты квантуются (масштабируются), что позволяет регулировать сжатие видеоданных с потерями. Полученный набор преобразованных и квантованных коэффициентов X_n будет исходным для обратного канала реконструкции данных. Закодированные коэффициенты вместе с дополнительной информацией, требуемой для правильного декодирования макроблока, составляют сжатый битовый поток данных (bitstream) абстрактного сетевого уровня (NAL).

В канале реконструкции вначале происходит обратное квантование, затем обратное частотное преобразование. В итоге получаются восстановленные разностные коэффициенты D'_n . Они суммируются с прогнозируемым кадром P_n , и это позволяет получить восстановленный кадр F'_n .

Для повышения эффективности сжатия видеопотка в MPEG-4 используется кодирование видеообъектов сложной формы. Например, в качестве видеообъекта может быть взята область изображения, отличающаяся от окружения яркостью или цветом. Эта область может перемещаться и деформироваться. В этом случае при формировании предсказанного изображения с компенсацией движения смещаются не прямоугольные макроблоки, а выделенные области, которые к тому же могут изменять свою форму. При этом ошибка предсказания оказывается значительно меньше, и объем информации, содержащейся в разности предсказанного и настоящего изображений очередного кадра, существенно уменьшается. В кодере (рис.4.25), такой вариант предсказания выполняется в блоке Кодирования формы. Форма видеообъекта описывается матрицей. **При бинарном кодировании**, используемому альфа карта, элементы матрицы, соответствующие элементам видеообъекта, приравниваются единице, а соответствующие элементам изображения, находящимся вне видеообъекта, - нулю. **При градиционном кодировании** элементы матрицы принимают большее число значений, что позволяет описывать такие свойства объекта, как прозрачность. Элементы указанной матрицы определяются и кодируются в Кодере формы, после чего они включаются через мультиплексор в выходной поток данных.

Несмотря на то, что данные о форме видеообъекта занимают значительно больше двоичных символов, чем простой вектор движения, но общий выигрыш в уменьшении объема передаваемой информации по сравнению с MPEG-1,2 оказывается существенным.

Для сжатия изображений неподвижного фона и текстур протяженных объектов используется Кодер фона и текстур, основанный на вейвлет-преобразовании. Этот метод обеспечивает высокие степени сжатия и многоступенчатую масштабируемость по пространственному разрешению. При этом не изменяющийся или почти не изменяющийся задний план изображения может передаваться как так называемый *спрайт* (sprite). Полное изображение спрайта передается один раз. Затем передаются только 8 параметров глобального движения, описывающих панорамирование, т.е. перемещение камеры относительно заднего плана (рис.4.26).

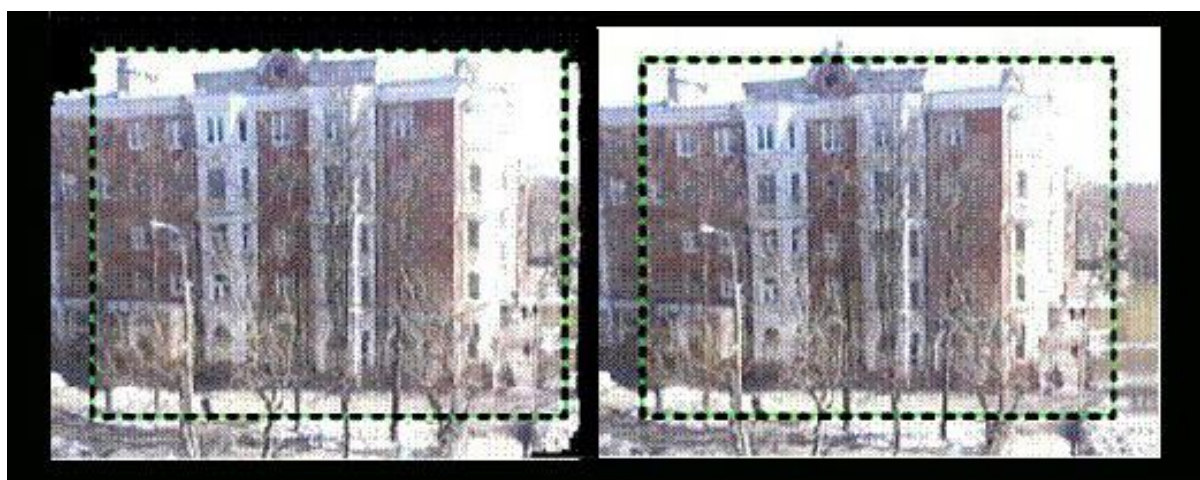


Рис.4.26.Панорамное изображение: (а) – без заполнения неизвестных областей; (б) – с заполнением неизвестных областей

Для того чтобы на границе вставляемого кадра не было разрывов, используется алгоритм сглаживания. Неизвестные области в панораме заполняются при помощи алгоритма пространственного заполнения. Данный метод компенсации движения является наиболее широко используемым, потому что ни одно видео не содержит сцен с абсолютно статичным фоном без движений видеокамеры. Поэтому, можно выделить данный метод среди остальных как наиболее важный и дающий существенные результаты по сжатию.

Структура работы декодера приведена на рис.4.27. При декодирование сжатых изображений осуществляются обратные процедуры по отношению к кодеру. Декодер получает сжатый битовый поток и производит декодировку данных. В блоках формирования Intra- и Inter - прогнозов нет элементов, отвечающих за анализ кадра. Информация о конкретном режиме и способе его реализации передается внутри битового потока.

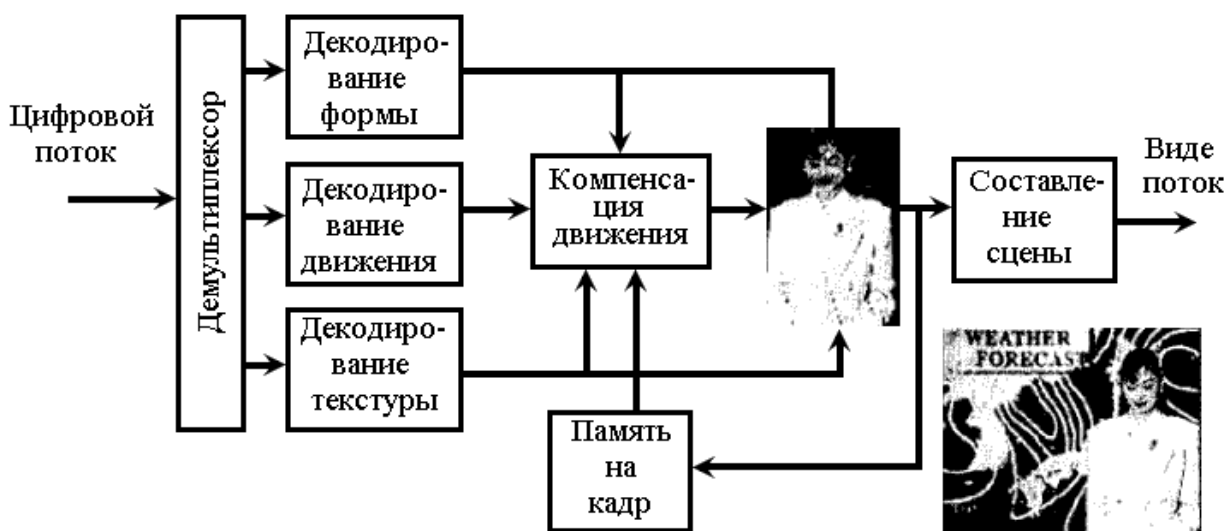


Рис.4.27. Декодирование видеокadra MPEG-4

4.5.2. Аудио кодирование в стандарте MPEG-4

Стандарт MPEG-4, разработанный для мультимедийных приложений, объединяет опыт, накопленный группой MPEG при разработке всех рассмотренных алгоритмов компрессии цифровых данных. Здесь кроме алгоритма AAC впервые при компрессии цифровых данных высококачественных звуковых сигналов предложено использовать параметрическое кодирование, при котором реальный звуковой сигнал представляется в виде модели, содержащей совокупность тональных и шумоподобных сигналов. При кодировании ЗС определяются ряд параметров, описывающих это сигнал, которые затем передаются декодеру. А декодер, на основе этих параметров при помощи синтезатора восстанавливает исходный ЗС. При этом, чем точнее будут описаны параметры ЗС, тем ближе его звучание будет соответствовать оригиналу. На рис.4.28 и 4.29 представлены упрощенные структурные схемы параметрического кодирования и декодирования соответственно. Рассмотрим подробнее работу параметрического кодека.

Сигнал выборки $S(n)$ в блоке анализа-синтеза разделяется на тональные и шумоподобные составляющие, далее для базовой параметрической модели сигнала оцениваются значения текущих частот, фаз и амплитуд тональных сигналов и уровней энергии шумоподобных сигналов в определенных полосах частот. Значения перечисленных параметров квантуются и кодируются минимально возможным количеством бит, которое определяется с помощью психоакустической модели и затем через канал связи передаются декодеру.

На приемной стороне системы на основе принятых параметров сигналов декодер управляет тональным генератором импульсов и генератором шума в результате чего производится синтез исходного

звукового сигнала. При этом синтез звонких звуков происходит с помощью генератора тональных импульсов, который открывает на определенное время генерацию основного тона. Возбуждение глухих звуков имитируется шумовым генератором.

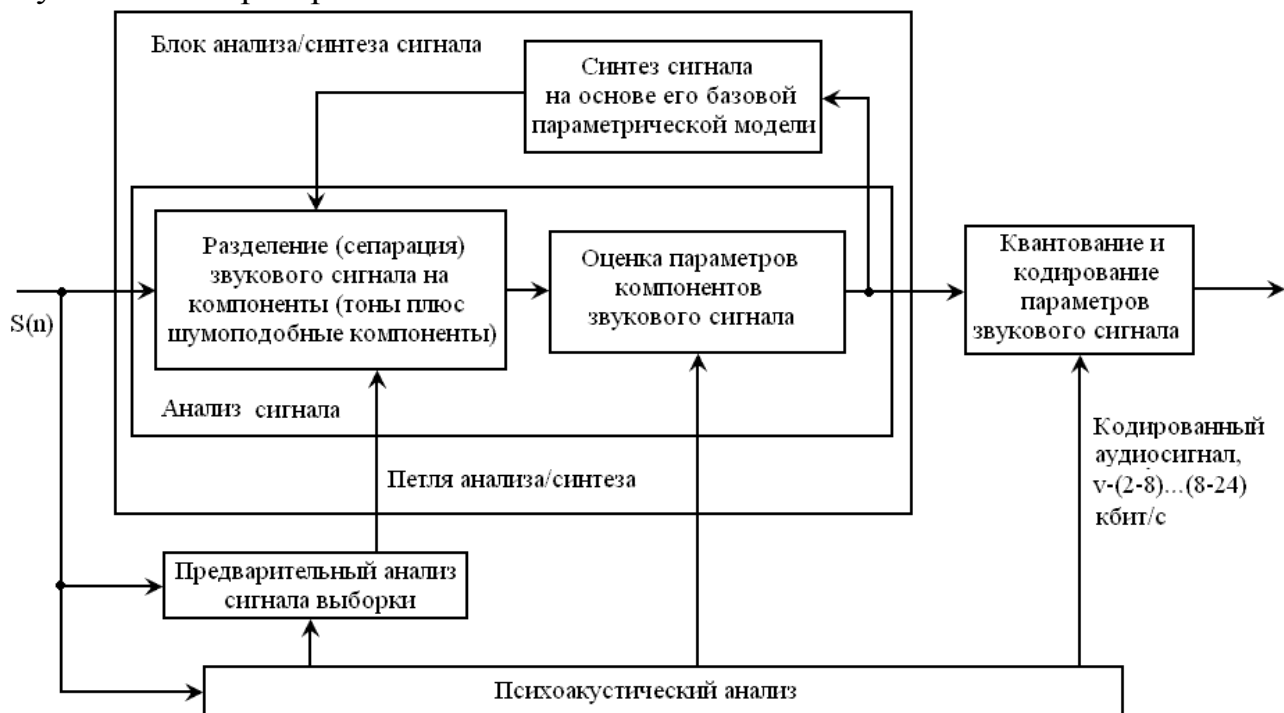


Рис.4.28. Упрощенная схема кодера параметрического кодирования ЗС

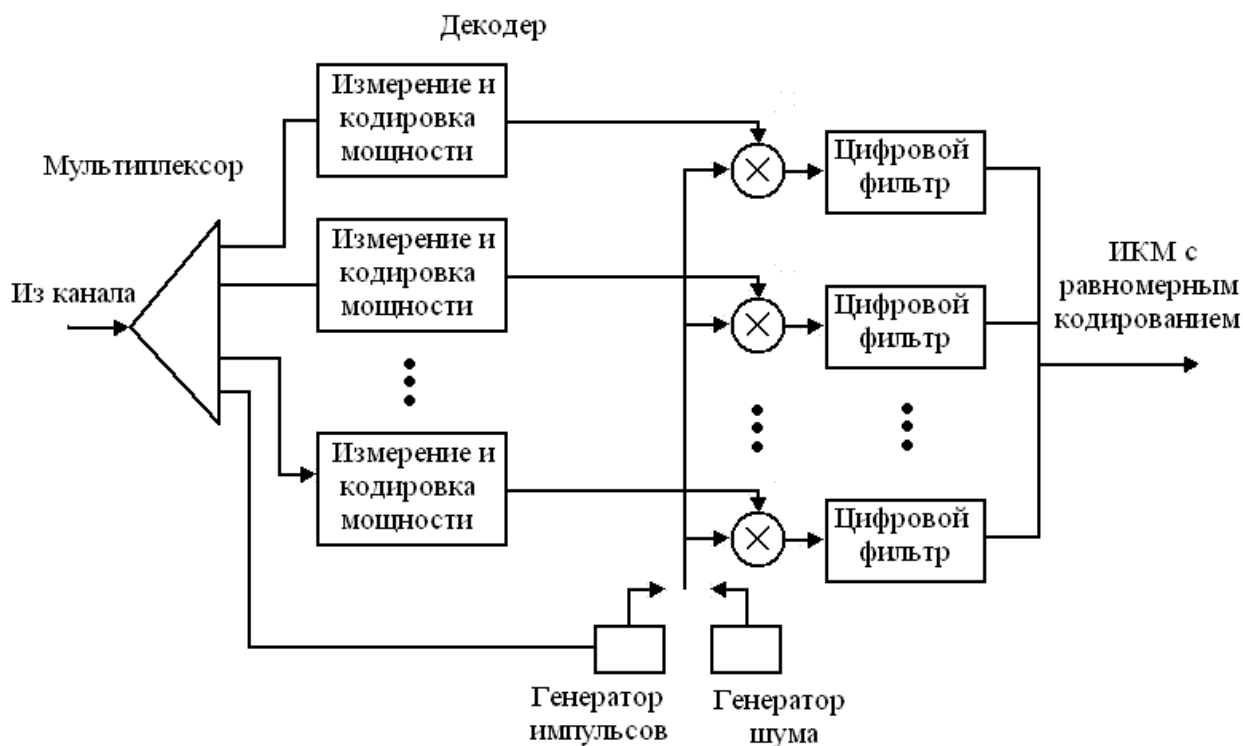


Рис.4.29. Структурная схема параметрического декодера.

До последнего времени параметрическое моделирование

использовалось только при компрессии цифровых данных речевых сигналов в вокодерах (кодировщиках голоса), более простых по своей структуре, чем музыкальный сигнал. Однако в последние годы благодаря успехам вычислительной техники математического моделирования, психофизики и электроники, параметрическое представление все чаще начинает применяться и при кодировании высококачественных звуковых сигналов, обеспечивая более высокий уровень компрессии цифровых данных. Параметрическое кодирование, обладая очень сложными процедурами оценки параметров и требующее при реализации существенно больших вычислительных затрат, позволяет получить скорость цифрового потока порядка 16...24 кбит/с при достаточно хорошем качестве звучания.

Рассмотрим подробнее структуру аудио кодирования стандарта MPEG-4 ISO/IEC 14496-3 по обобщенной структурной схеме, представленной на рис.4.30.

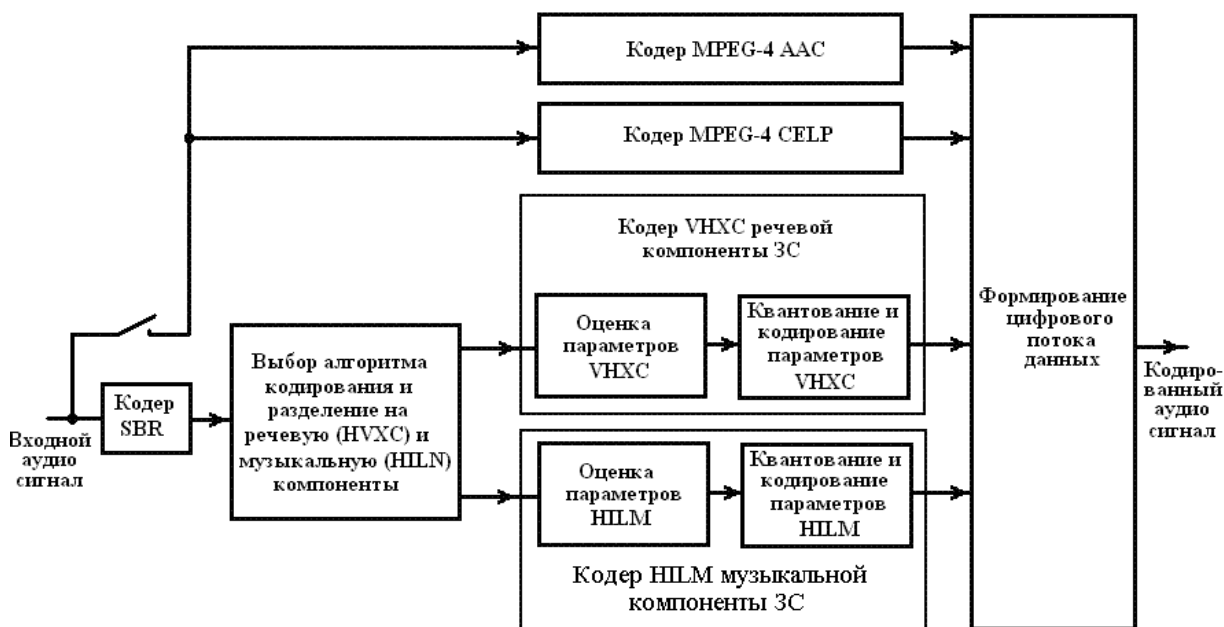


Рис.4.30. Обобщенная структурная схема кодера стандарта MPEG-4 ISO/IEC 14496-3

Кодер включает в себя следующие алгоритмы компрессии:

- MPEG-4 AAC (Advanced Audio Coding), который предназначен для кодирования музыкальных фрагментов звукового сигнала, имеющих сложную динамическую и временную структуры;
- MPEG-4AAC+SBR (Spectral Band Replication, буквально «копирование спектральных полос») позволяет дополнительно понизить скорость цифрового потока при кодировании музыкальных фрагментов звукового сигнала, имеющих сравнительно сложную динамическую и временную структуры;
- MPEG-4 CELP (Code Excited Linear Prediction), служащий для кодирования речи;

- MPEG-4 HVXC+HILN (Harmonic Vector Excitation plus Harmonic and Individual Lines plus Noise), предназначенный для параметрического кодирования сложного сигнала (речь + музыка), а также для кодирования музыкальных фрагментов звукового сигнала со сравнительно несложной структурой.

Выбор алгоритма компрессии происходит автоматически на этапе предварительного анализа выборки звукового сигнала.

Рассмотрим перечисленные выше методы кодирования звукового сигнала более подробно.

Алгоритм AAC (рис.4.31) разработан в рамках стандарта MPEG-2 ISO/IEC 13818-7 и позже включен в стандарт MPEG-4. Он базируется на учете опыта, накопленного при разработке алгоритма компрессии Layer 3 (MP3) стандартов ISO/IEC11172-3 и 13818-3, который поддерживает все известные звуковые форматы: моно (1/0), обычное стерео (2/0), разновидности систем Dolby (Dolby Stereo 3/1; Dolby Surround 3/2; Dolby Pro Logic I и II, 3/2) и пятиканальный Surround-формат 5.1.

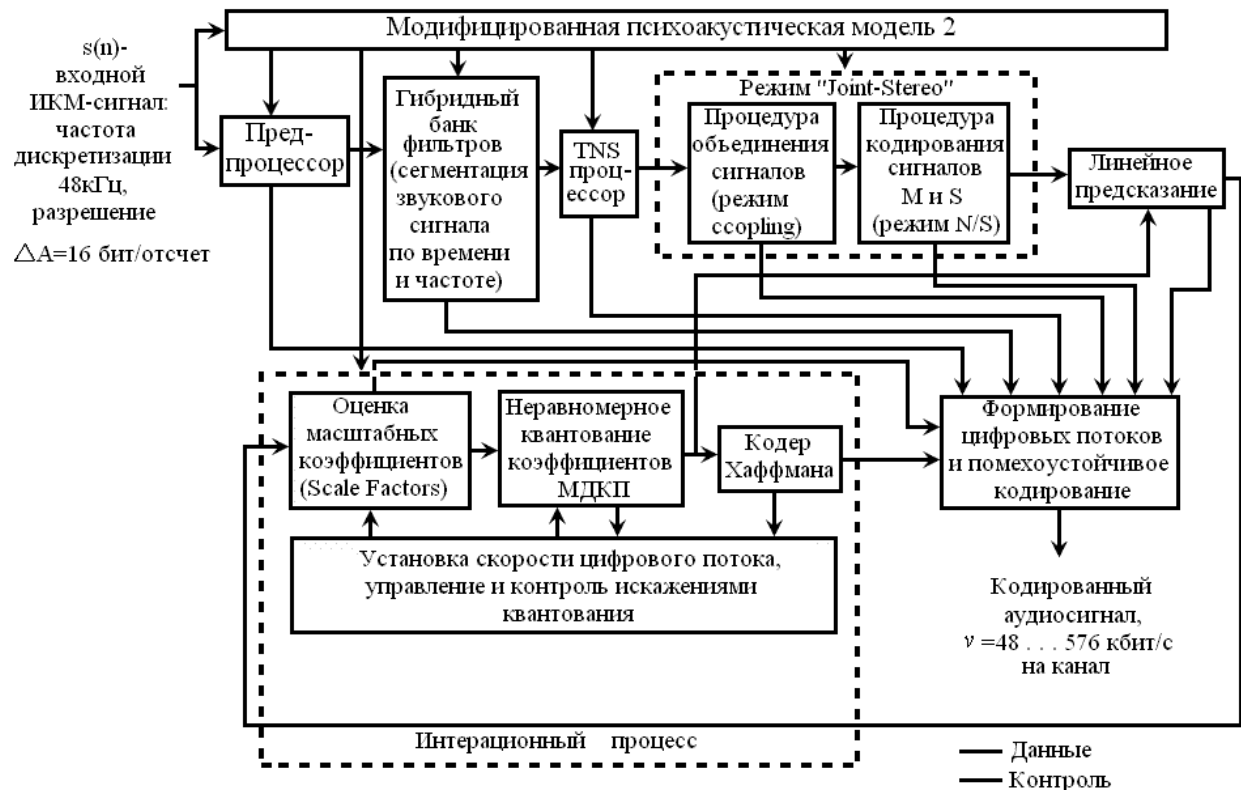


Рис.4.31. Структурная схема кодера AAC (MPEG-2 ISO/IEC 13818-7 и MPEG-4 ISO/IEC 14496-3)

В алгоритме MPEG-4 AAC по сравнению с MPEG-2 AAC применен более широкий набор возможных частот дискретизации ЗС: 8, 11.025, 16, 22.05, 24, 32, 44.1, 48, 64, 88.2, 96 кГц, а также вместо синусоидальных оконных функций используется оконная функция Кайзера-Бесселя с двумя размерами окна: длинное окно включающее 2048 отсчетов ЗС и короткое окно с 256 отсчетами ЗС. Это обеспечивает лучшее соответствие разрешающей

способности слуха по частоте и по времени по сравнению с Layer 3. При этом в обоих случаях используется 50%-ное перекрытие выборок отсчетов звукового сигнала.

Как и в Layer 3 (MP-3) кодированию подвергаются не сами семплы, а коэффициенты модифицированного дискретного косинусного преобразования (МДКП). Однако в отличие от Layer 3 здесь изменена форма кривой компрессии при неравномерном квантовании, применены иные коды Хаффмана для кодирования коэффициентов МДКП. Так же управление величиной искажений квантования выполняется с помощью двух итерационных циклов – внутреннего и внешнего.

Во внутреннем цикле выполняется квантование и кодирование коэффициентов МДКП, во внешнем – оценка фактических величин искажений квантования в каждой субполосе кодирования и необходимая коррекция искажений квантования. При этом, если в какой-либо одной или нескольких субполос кодирования фактическое значение искажений квантования превосходит допустимое значение, рассчитанное психоакустической моделью, то выполняется процедура коррекции коэффициентов МДКП, которая заключается в следующем: вначале включается режим предискажений, затем, если это не помогает, коэффициенты МДКП в той субполосе кодирования, где не выполняются требования психоакустической модели, умножаются на корректирующий множитель. Алгоритм имеет несколько их значений, перебираемых последовательно начиная с наименьшего значения. После каждого цикла коррекции вновь выполняется вся процедура квантования и кодирования коэффициентов МДКП во внутреннем цикле, и так продолжается до тех пор, пока требования психоакустической модели не будут выполнены.

В алгоритме AAC для повышения качества компрессии цифровых аудиоданных применены следующие средства:

- специальные процедуры управления структурой искажений квантования (так называемая техника Temporal Noise Shaping (TNS));
- изменены процедуры объединения субполосных сигналов при их кодировании (Coupling);
- при обработке стерео сигналов в отдельных субполосах предусмотрена возможность кодировать не левый (L) и правый (R) сигналы стереопары, а их сумму и разность:

$$M = (L + R) \sqrt{2} , S = (L - R) \sqrt{2}$$

Следует отметить, что при линейном предсказании учитывается не только корреляция между отсчетами сигнала, но и форма спектра шумов квантования и его изменение во времени. При этом, как и в Layer 3, основу кодера MPEG-4 AAC составляет модифицированная психоакустическая модель 2, однако при расчете глобального порога маскировки в нее введены дополнительные процедуры и уточнения.

Технология TNS реализована в алгоритме AAC на базе цифровых фильтров. С их помощью энергия искажений квантования

перераспределяется в пределах сигнала выборки в ту ее часть, где энергия полезного сигнала более значительна, что позволяет снизить слуховую заметность шумов квантования. После выполнения этой процедуры огибающие полезного сигнала и искажений квантования оказываются близкими по форме во временной и частотной областях, что значительно повышает эффективность сжатия аудио потока. Так тестовые прослушивания показали, что алгоритм компрессии AAC обеспечивает так называемое «прозрачное кодирование» при скорости цифрового потока около 64 кбит/с на канал.

Алгоритм SBR (Spectral Band Replication - «копирование спектральных полос») – позволяет улучшить качество воспроизведения звуковых сигналов радиовещания и телевидения при их передаче по низкоскоростным цифровым каналам.

При больших коэффициентах сжатия подавление высокочастотных составляющих в спектре звуковых сигналов приводит к искажению его тембра (рис.4.32) в результате чего тембр звучания ЗС становится более глухим и тусклым, а речевой сигнал, кроме того, и менее разборчивым. Тем не менее, в ряде случаев разработчики вынуждены ограничивать спектр звукового сигнала, чтобы снизить требуемую пропускную способность канала и полосу частот радиоканала при его передаче. Например, при частоте дискретизации 12 кГц верхняя частота кодируемого звукового сигнала в соответствии с теоремой Котельникова не должна превышать 6 кГц. Метод SBR позволяет расширить полосу воспроизводимых частот звукового сигнала сверх указанного предела. Он основан на том, что подавленные на передающей стороне ВЧ составляющие спектра (рис.4.32) могут быть приблизительно воссозданы на приемной стороне при использовании существующей связи между низкочастотными и высокочастотными компонентами спектра исходного звукового сигнала.

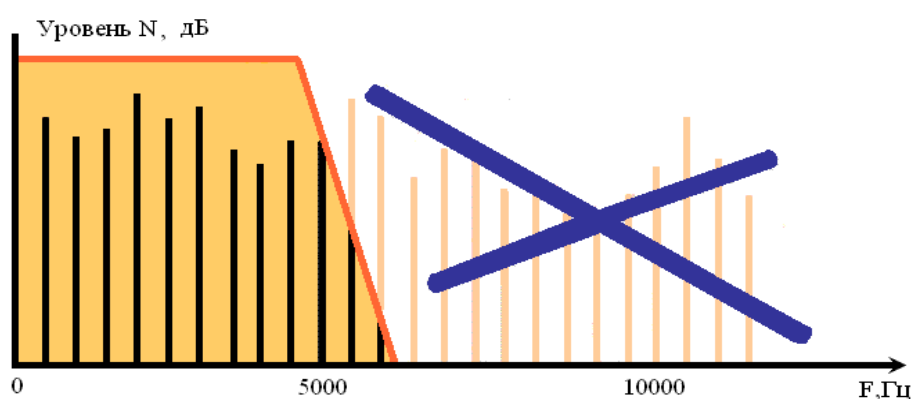


Рис.4.32. Ограничение ВЧ спектра ЗС

На приемной стороне в декодере производится копирование части НЧ составляющих спектра и перенос их в высокочастотную область. При этом огибающая высокочастотной части спектра звукового сигнала после декодера SBR не должна существенно отличаться от огибающей спектра исходного сигнала. Это достигается передачей дополнительной информации

декодеру SBR, позволяющей сформировать огибающую ВЧ части спектра звукового сигнала. Для ее передачи требуется цифровой поток со скоростью примерно 2 кбит/с. При этом важно сохранить энергетическое соотношение между гармоническими и шумоподобными компонентами в реконструированной ВЧ части спектра ЗС. По этой причине на приемной стороне в декодере производится дополнение высокочастотной части спектра реконструированного звукового сигнала шумоподобными компонентами определенного уровня.

Алгоритм гибридного кодирования MPEG-4 AAC+SBR. Для кодирования сложных по структуре и динамике фрагментов ЗС сигнала предусмотрено совместное использование алгоритмов AAC и SBR, обозначаемое как AAC + SBR. Это позволяет дополнительно уменьшить скорость цифрового потока при кодировании звукового сигнала. В этом случае могут использоваться два различных протокола кодирования цифровых звуковых сигналов, предусматривающих совместное использование методов кодирования: SBR+MPEG-4 AAC и SBR+MPEG-4 CELP. Однако в системе цифрового ТВ вещания пока используется только SBR+MPEG-4 AAC.

При декодировании по протоколу SBR+MPEG-4 AAC (рис.4.33) цифровой поток с выхода декодера MPEG-4 AAC поступает на вход 32-полосного анализирующего банка фильтров. В каждой из 32 субполос образуются группы по 30 отсчетов звукового сигнала. В результате на выходе анализирующего банка фильтров формируется аудиокадр (фрейм), содержащий 960 отсчетов. Эти фреймы поступают на вход блока линии задержки, необходимого для выравнивания во времени сигналов НЧ и ВЧ субполосного кодирования, и на блок воссоздания высокочастотных спектральных составляющих исходного сигнала. Сюда же из блока деформатирования цифрового потока кодера SBR, поступает необходимая информация для реконструкции высокочастотной компоненты звукового сигнала. При этом в кодере системы отсчеты огибающей ЗС и шумоподобных компонентов квантуются и кодируются с использованием дельта-модуляции. Эта информация кодируется с помощью кода Хаффмана и передается на декодер SBR. Декодер Хаффмана преобразует принятые кодовые слова в квантованные отсчеты огибающей звукового сигнала и шумоподобных компонентов.

Для оценки огибающей спектра звукового сигнала в кодере SBR производится адаптивное группирование субполосных отсчетов звукового сигнала в выборке заданного размера, для каждого из которых определяется один отсчет огибающей. Информация о границах субполос кодирования и длинах выборок, то есть частотно-временных параметрах для каждого аудиофрейма передается на декодер SBR. Более длинные выборки используются для квазистационарных фрагментов звукового сигнала, а более короткие – для быстро изменяющихся. Временные и частотные параметры, определяющие шумоподобные спектральные компоненты ЗС, передаются аналогичным образом.

На приемной стороне информация с выходов декодера Хаффмана и устройства управления частотно-временными параметрами поступает на вход блока расчета коэффициентов усиления. Эти коэффициенты необходимы для формирования огибающей высокочастотной части спектра звукового сигнала в блоке регулировки усиления.

Объединение НЧ и ВЧ субполосных отсчетов, прошедших процедуру регулировки усиления, выполняется при помощи 64-канального синтезирующего банка фильтров.

Аудиофрейм на выходе синтезирующего фильтра (рис.4.31) содержит 1920 отсчетов звукового сигнала и состоит из двух частей, относящихся соответственно к кодерам AAC и SBR. При этом биты SBR расположены в его конце, при этом направления считывания битов в частях, относящихся к AAC и SBR, противоположны, что облегчает поиск стартовых позиций обеих частей фрейма.

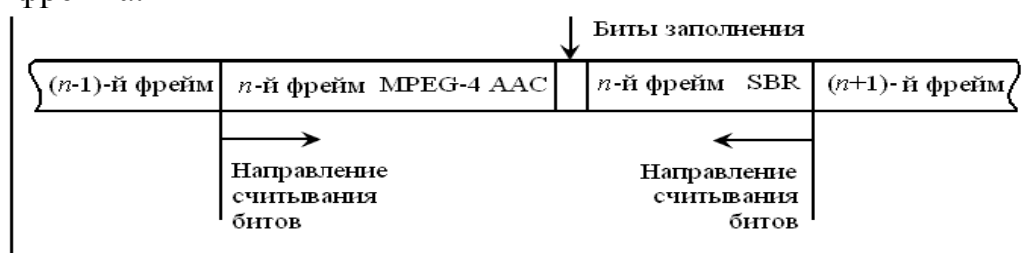


Рис.4.33. Расположение цифровых данных в аудиофрейме MPEG-4 AAC+SBR

Для звуковых сигналов, у которых битрейт передачи больше или равен 20 кбит/с, метод кодирования SBR должен быть использован в обязательном порядке, чтобы уложиться в полосу частот радиоканала. При меньших битрейтах звукового сигнала кодер SBR может быть использован по мере необходимости. Данный метод кодирования является гораздо более эффективной технологией сжатия цифровых аудиоданных, которая позволяет в общей сложности уменьшить скорость цифрового потока при кодировании высококачественного звукового сигнала (40...15000 Гц) до значения 22...24 кбит/с на канал и имеет следующие характеристики:

- диапазон изменения битрейта звукового сигнала - 2...72 кбит/с;
- длительность аудиофрейма - 40 мс;
- частота дискретизации в алгоритме MPEG-4 AAC – 24 кГц;
- частота дискретизации в алгоритме MPEG-4 SBR – 48 кГц;
- диапазон звуковых частот при использовании алгоритма AAC- 0...6 кГц;
- диапазон звуковых частот при использовании алгоритма SBR - 6...15,2кГц;
- битрейт при использовании алгоритма AAC - 22...24кбит/с;
- битрейт при использовании алгоритма SBR – 2 кбит/с.

Таким образом, кодирование звуковой информации в стандарте MPEG-4 может осуществляться разными способами, отличающихся сложностью и быстродействием применяемых алгоритмов, объемом передаваемых данных

и качеством звучания восстановленных фонограмм. Поэтому отметим основные особенности применяемых механизмов кодирования ЗС:

1. Кодирование всех видов звука с обеспечением высокого и среднего качества выполняется методом, основанным на алгоритме AAC стандарта MPEG-2 ISO/IEC 13818-7. При этом обеспечивается передача до 8 каналов звука при скорости передачи двоичных символов 16...64 кбит/с на канал.
2. Кодирование музыки и других звуков с более низкими скоростями выходного потока производится по методу TwinVQ (Transform-domain Weighted Interleave Vector Quantization - Взвешенное векторное квантование с перемежением в области преобразования). Как и в методе AAC, в этом методе выполняются разложение на частотные поддиапазоны и МДКП в каждом поддиапазоне. Отличие TwinVQ от AAC состоит в векторном квантовании спектральных составляющих звукового сигнала. В результате скорость передачи двоичных символов в выходном потоке данных составляет от 6 до 24 кбит/с.
3. Для передачи речи с высоким и средним качеством используется метод кодирования CELP (Code Excited Linear Predictive - кодирование возбуждений с линейным предсказанием), который обеспечивает скорости передачи 6...24 кбит/с при частотах дискретизации 8 кГц или 16 кГц.
4. Параметрическое кодирование речи по методу HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding - кодирование возбуждений гармоническими векторами), которое обеспечивает сжатие при сохранении разборчивости до скоростей 2...4 кбит/с и даже до 1,2 кбит/с при частоте дискретизации 8 кГц.
5. Самые низкие скорости передачи 0,2...1,2 кбит/с достигаются для искусственно синтезированной речи. Для этого в MPEG-4 имеется интерфейс преобразования текста в речь TTSI (Text-to-Speech Interface), который позволяет передавать описание речи в виде последовательности фонем (звукосочетаний) с указаниями особенностей их произнесения (ударения, длительности и т.д.). По этим данным в декодере синтезируется речь, которая синхронизируется с анимацией изображения лица.
6. Музыка также может передаваться в виде описания и синтезироваться в декодере. Для описания звучания музыкальных инструментов в MPEG-4 дан специальный язык SAOL (Structured Audio Orchestra Language - язык структурированного звукового оркестра). Каждый инструмент представляется как небольшой набор средств обработки сигналов, позволяющий создавать специфический для данного инструмента звук. Описания музыкальных инструментов загружаются в декодер из принимаемого потока данных и могут храниться в нем для последующего использования. Для описания собственно музыки передается описание оркестровки, т.е. команды и данные, по которым

осуществляется синтез звуков, соответствующих разным инструментам.

4.6. Перспективные мультимедийные стандарты MPEG-7 и MPEG-21

В октябре 1996 года группа MPEG приступила к разработке формата сжатия **MPEG-7**, призванным определить универсальные механизмы описания аудио и видео информации. Этот формат получил название «Интерфейс описаний мультимедийного материала» (Multimedia Content Description Interface). В отличие от предыдущих форматов сжатия семейства MPEG, MPEG-7 описывает информацию, представленную в любой форме (в том числе в аналоговой) и не зависит от среды передачи данных. Как и его предшественники, формат сжатия MPEG-7 генерирует масштабируемую информацию в рамках одного описания.

Формат сжатия MPEG-7 использует многоуровневую структуру описания аудио и видео информации. На высшем уровне прописываются свойства файла, такие как название, имя создателя, дата создания и т.д. На следующем уровне описания формат сжатия MPEG-7 указывает особенности сжимаемой аудио или видео информации – цвет, текстура, тон или скорость. При этом аудиовизуальный материал MPEG-7 может включать в себя: статические изображения, графику, 3D модели, звук, голос, видео и композитную информацию о том, как эти элементы комбинируются при мультимедийной презентации. В особых случаях этих общих видов данных сюда может включаться выражения лица и частные характеристики личности. Одной из отличительных особенностей MPEG-7 является его способность к определению типа сжимаемой информации. Если это аудио или видео файл, то он сначала сжимается с помощью алгоритмов MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, а затем описывается при помощи MPEG-7. Такая гибкость в выборе методов сжатия значительно снижает объем информации и ускоряет процесс сжатия. Основное преимущество формата сжатия MPEG-7 над его предшественниками состоит в применении уникальных дескрипторов и схем описания, которые, помимо всего прочего, делают возможным автоматическое выделение информации как по общим, так и по семантическим признакам, связанным с восприятием информации человеком. Процедура занесения в каталог и поиска данных находятся вне сферы рассмотрения этого формата сжатия.

Следует отметить, что стандарт MPEG-7 не заменит MPEG-4, а будет дополнять его. При этом MPEG-4 определяет способ представления информации, а MPEG-7 определяет способ описания. Таким образом планируется создать мощную связку MPEG-7 и MPEG-4, особенно когда используются объекты MPEG-4.

Стандарт MPEG-7 состоит из следующих частей:

- **Системные средства MPEG-7**, которые необходимы при подготовке описаний MPEG-7 для эффективной передачи и записи, и для обеспечения синхронизации между материалом и описаниями. Эти средства имеют также отношение к охране интеллектуальной собственности.
- **Язык описания определений MPEG-7** для определения новых схем описания и, возможно, новых дескрипторов.
- **Audio** – дескрипторы и схемы описания MPEG-7, имеющие отношение исключительно к описанию аудио материала.
- **Visual** – дескрипторы и схемы описания MPEG-7, имеющие отношение исключительно к описанию визуального материала.
- **Multimedia Description Schemes** - дескрипторы и схемы описания, имеющие отношение к общим характеристикам описаний мультимедиа.
- **Reference Software MPEG-7** – программные реализации соответствующих частей стандарта MPEG-7
- **Conformance MPEG-7** – базовые принципы и процедуры тестирования рабочих характеристик практических реализаций MPEG-7.

Однако, на данный момент времени стандарт еще находится в стадии разработки и в будущем несомненно, найдет широкое применение в вещательном телевидении и будет использоваться поисковыми серверами для нахождения различной мультимедийной информации. Поиск мультимедийной информации значительно упростится особенно в тех случаях, когда мы имеем дело с огромными объемами информации, записанной на жестких дисках большого объема.

MPEG-21 — это еще один новый стандарт, находящийся в разработке, задачей которого является определение технологии, необходимой для поддержки пользователей при обмене, доступе, продаже и других манипуляциях цифровыми объектами. При этом предполагается обеспечить максимальную эффективность и прозрачность этих операций. Мир MPEG-21 состоит из Пользователей (Users), которые взаимодействуют с Цифровыми Элементами (Digital Items). Цифровым элементом может быть все, что угодно: от простой части мультимедийного содержания (одно изображение или звуковая дорожка) до целой коллекции видеозаписей. В качестве Пользователя MPEG-21 может выступать любое лицо (от производителей и продавцов до потребителя). Интересно, что все Пользователи «равны» в MPEG-21, так как у них у всех есть свои права и интересы в отношении Цифровых Элементов, а эти права и интересы необходимо выражать. Информация о распространении сама по себе представляет ценность, и конечный пользователь хотел бы иметь контроль над ее использованием. Серьезной движущей силой стандарта MPEG-21 является то, что цифровая революция дает пользователю возможность играть новую роль в цепочке производства и распространения мультимедийной информации.

4.7. Классификация основных алгоритмов сжатия звуковых сигналов

В настоящее время разработано достаточно много методов сжатия объемов звуковых сигналов, имеющих свои достоинства и недостатки. Одни обеспечивают приемлемое качество звука, но малую степень сжатия, другие, хорошую степень сжатия, но высокую сложность реализации алгоритма, сильно влияющую на скорость компрессии и декомпрессии. Однако, несмотря на большое разнообразие форматов сжатия, все они, как правило, базируются либо быстроем преобразовании Фурье, либо на модифицированном дискретно-косинусном преобразовании. Причем в силу относительно слабой корреляционной связи непосредственное сжатие звука слабо эффективно и обычно не превышает 4-6 раз. Поэтому для обеспечения больших коэффициентов сжатия применяются различные и довольно сложные психоакустические модели нашего звукового восприятия, использующие сложный математический аппарат. В таблице 4.4 представлены основные характеристики наиболее распространенных методов сжатия звуковых сигналов.

Таблица 4.4.

Классификация основных методов сжатия высококачественных ЗС

Наименование Алгоритма	Метод Компрессии	Частота дискретизации, кГц	Кол-во каналов передачи	Скорость передачи кбит/с на канал	Величина Компрессии	Области Применения
ASPEC	Кодирование с Преобразованием	32, 44.1, 48	1, 2	64...192	1 : 6	ISDN - Integrated Services Digital Network
ATRAC	Субполосное кодирование с преобразованием	44.1	2	256	1 : 5	MiniDisk
MASCAM	Субполосное кодирование	48	1, 2	128...256	1 : 4	DAB (Digital Audio Broadcasting)
MUSICAM	Субполосное кодирование	48	1, 2	128...256	1 : 4	DAB
MPEG-1, Layer-1 и – 2	Субполосное кодирование (MUSICAM)	32, 44.1, 48, Layer-1 только 48	1, 2	32...448 (Layer-1) 32...384 (Layer-2)	1 : 4 (Layer-1) 1 : 6 (Layer-2)	DAB (Layer-2, 128...256 кбит/с), DBS (Direct Broadcast Satellite,

						Layer-2, 224 кбит/с), DCC (Digital Compact Cassete, Layer-1, 384 кбит/с)
MPEG-1, Layer-3	Субполосное кодирование с преобразова- нием	32, 44.1, 48	1, 2	32...320	1 : 9	Internet- вещание
MPEG-2	Субполосное кодирование Субполосное кодирование с преобразова- нием	16, 22 ..., 48	1-5, 1	32...384	<1 : 9	Многокан альное стерефо ническое вещание
MPEG-2, AAC	Субполосное кодирование с преобразова- нием	16, 22 ..., 48	5, 1	16...384	1 : 15	Многокан альное стерефо ническое вещание
MPEG-4	Субполосное кодирование с преобразова- нием Параметричес- кое кодиро- вание	16, 22 ..., 48	1-5, 1	2...64	1 : 22	Мульти- медия Приложе ния
Dolby AC- 3	Кодирование с преобразова- нием	44.1	1-5, 1	32...384	1 : 13	Кинемато граф, HDTV, спутни- ковое вещание
Гибридное Кодирова- ние	Субполосное кодирование с преобразова- нием Параметричес- кое кодиро- вание	44.1	1, 2	32...64	1 : 15..20	Радиове- щание, Хранение Информа ции

Как видно из приведенной таблицы, наилучшим сжатием в 22 раза из рассмотренных стандартов обладает MPEG-4.

5. ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ ЦИФРОВОГО ТВ ПО КАНАЛАМ СВЯЗИ

5.1. Требования к системам передачи сигналов цифрового телевидения по каналам связи

Одним из главных требований к системам цифрового телевидения является использование существующих каналов аналогового ТВ вещания. Невыполнение этого требования привело бы огромным финансовым затратам на выделение новых частотных диапазонов, замены передающих и приемных антенн и переходить к использованию более широкополосных передатчиков и радиочастотных трактов ТВ приемников. При этом, как было показано в предыдущем разделе, максимальный битрейт на выходе кодера MPEG-2 основного уровня достигает 15 Мбит/с. А максимальная эффективность использования полосы частот канала связи при передаче двоичного сигнала с простой амплитудной манипуляцией, когда амплитуда несущей может принимать два значения, составляет 1 (бит/с)/Гц. Следовательно, для передачи сигнала цифрового ТВ необходима полоса частот до 15 МГц, что существенно превышает ширину полосы частот стандартных каналов ТВ вещания (8 МГц в Узбекистане, странах СНГ, Европе и 6 МГц в США и Японии).

Поэтому для передачи сигналов цифрового телевидения, особенно если надо передавать сигналы нескольких программ обычной четкости в одном канале или сигнал ТВЧ, необходимо увеличивать эффективность использования полосы частот канала связи, что достигается применением более сложных методов модуляции несущей.

Кроме того, в отличие от систем аналогового ТВ, где по каналам связи передается мгновенное значение уровня полного цветного ТВ сигнала (ПЦТС) и звукового сопровождения, в системах цифрового ТВ передаче подлежат сжатые цифровые потоки отдельных ТВ программ (программные потоки). Причем программные потоки, содержащие видео, аудио и служебные данные могут быть объединены в единый транспортный поток. Обычно транспортный поток MPEG-2 включает в себя до 4 программных потоков, а MPEG-4 до 8-12. При этом необходимо обеспечить высокую помехоустойчивость транспортного потока, поскольку в отличие от аналогового ТВ, где воздействие помех может ухудшить качество изображения, в цифровом ТВ это приведет к значительным искажениям изображения и звука или вообще к разрушению информации. На практике это приводит к зависанию изображения или появлению на нем мозаичной структуры макроблоков.

Таким образом, без решения проблем обеспечения высокой помехоустойчивости цифровых потоков данных цифровое телевидение не могло бы нормально функционировать. В связи с этим рассмотрим подробнее основные причины возникновения ошибок:

- действие шумов различной природы (тепловой шум, шум генерации-рекомбинации носителей зарядов, дробовый шум и т.д.), в основном проявляющееся во входных каскадах приемной

аппаратуры;

- индустриальные и атмосферные помехи (искровые и дуговые разряды электротранспорта, электросварки, грозовые разряды);
- интерференционные помехи, создаваемые радиопередатчиками, работающими в этой же полосе частот в соседних местностях;
- помехи от многолучевого распространения радиоволн, возникающего из-за отражений от радиоволн от зданий, сооружений, металлических поверхностей и от поверхности земли приводят к появлению повторов, замираний и частотно-селективного подавления различных компонент радиосигнала.

При этом ошибки могут быть **одиочные** и **пакетные (групповые)**.

Одиочные ошибки не зависят друг от друга, а **пакетные ошибки** искажают сразу несколько соседних двоичных символов. Например, вследствие действия достаточно продолжительной импульсной помехи несколько идущих подряд двоичных символов становятся равными нулю или единице.

Традиционными способами повышения помехоустойчивости являются увеличение мощности передатчика, выбор антенны с оптимальными для данного случая параметрами, уменьшение шумов в приемниках путем применения малошумящих полупроводниковых приборов или охлаждения входного каскада приемника, рациональное планирование использования радиоканалов на смежных территориях. Однако все эти методы имеют ограничения, связанные с реальными техническими возможностями, конечной шириной доступного диапазона длин волн, стоимостью аппаратуры и т.д. В случае передачи цифровых сигналов значительное повышение помехоустойчивости может быть достигнуто путем применения специальных кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки. Кроме того, выбранный метод модуляции также должен способствовать повышению помехоустойчивости.

Поэтому методы, используемые при передаче цифрового сигнала, существенно отличаются от традиционных методов передачи аналоговых сигналов.

5.2. Перемежение и скремблирование (рандомизация)

Одним из эффективных методов уменьшения влияния пакетных ошибок является *перемежение* или перемешивание (англ. - interleaving). Данные, перед передачей по каналу связи, переставляются в заданном порядке, а в приемной части восстанавливается исходный порядок, т.е. выполняется *деперемежение*. При этом пакетная ошибка, возникшая в канале связи, превращается в набор рассредоточенных во времени одиочных ошибок, которые проще обнаруживаются и исправляются с помощью кодов, исправляющих ошибки.

Пример перемежения и деперемежения показан на рис.5.1. Исходный цифровой сигнал представляет собой последовательность 4-х разрядных двоичных слов, передаваемых бит за битом (рис.5.1,а). Перемежение выполняется в пределах отрезка цифрового сигнала, содержащего 16 бит. Числа показывают номера битов в этом отрезке. В результате перемежения биты переставляются в другом порядке (рис.5.1,б). Теперь если на блок данных действует продолжительная помеха изменяющая состояние бит отмеченных звездочкой, формируя пакетную ошибку, то после обратного деперемежения (рис.5.1,в) восстанавливается исходный порядок битов и искаженные биты рассредоточиваются, тем самым устраняя пакетную ошибку.

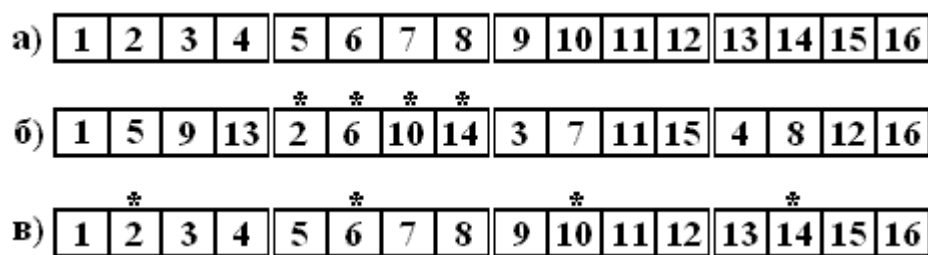


Рис.5.1. Перемежение и деперемежение битов

Переставляться могут не только отдельные биты, но и группы битов, например, байты. Так в стандартах цифрового телевидения DVB перемежение выполняется в пределах пакетов транспортного потока после кодирования Рида-Соломона (см. следующий параграф), в результате которого размер пакетов увеличивается со 188 до 204 байтов. Каждый пакет разбивается на 12 групп по 17 байтов. Сначала передаются первые байты всех групп, т.е. байты с номерами 1, 18,..., 171, 188, затем - вторые байты групп: 2, 19,..., 172, 189 и т.д. В конце передаются последние байты групп, имеющие номера 17, 34,..., 187, 204. Таким образом, в процессе перемежения различные байты смещаются на расстояния от 0 до 176 позиций в пределах пакета транспортного потока. В приемной части восстанавливается исходный порядок следования байтов.

Перемежение можно использовать для защиты передаваемого сигнала от несанкционированного доступа, так как восстановление правильного порядка символов возможно только при знании закона их перестановки.

Скремблирование. Термином *скремблирование* в стандарте MPEG-2 называют изменение характеристик потока данных (видео, аудио или другой информации) с целью предотвращения несанкционированного получения этой информации в неискаженном виде. *Дескремблирование* - это обратная операция восстановления исходных характеристик потока данных.

В системах цифрового ТВ скремблирование в основном используют для **рандомизации** (придания случайности) данных. Рандомизация позволяет превратить цифровой сигнал в квазислучайный и тем самым решить две важные задачи:

1. Устранить длинные группы нулей или единиц за счет формирования в цифровом сигнале достаточно большого числа перепадов уровня, что облегчает выделения из него тактовых импульсов (такое свойство сигнала называется самосинхронизацией).
2. Рандомизация обеспечивает выравнивание энергетического спектра излучаемого радиосигнала, так как спектральная плотность мощности случайного шума постоянна на всех частотах. Поэтому превращение сигнала в квазислучайный способствует выравниванию его спектра. Благодаря равномерному спектру повышается эффективность работы передатчика и минимизируется мешающее действие радиосигнала цифрового телевидения по отношению к аналоговому телевизионному сигналу, излучаемому другим передатчиком в том же канале.

Для скремблирования к передаваемому цифровому сигналу добавляют мешающий сигнал, в качестве которого, как правило, используют **псевдослучайные последовательности (ПСП) формируемые специальным генератором.**

На практике рандомизация осуществляется путем сложения по модулю 2, то есть посредством логической операции "исключающее ИЛИ" (XOR) цифрового потока данных и двоичной псевдослучайной последовательности PRBS (Pseudo Random Binary Sequence). Это последовательности битов, которые обладают многими свойствами случайных сигналов. Нули и единицы в ПСП расположены вроде бы хаотически, но на самом деле каждая ПСП формируется в соответствии с алгоритмом, который можно описать небольшим количеством параметров.

Соответственно для дескремблирования в приемнике надо формировать точно такую же ПСП, какая использовалась для скремблирования в передающей части. Для этого в приемник передаются параметры алгоритма формирования ПСП, так как не зная эти параметры, невозможно дескремблировать принятый сигнал.

5.3. Помехоустойчивое кодирование

Как говорилось выше, одним из эффективным методов повышения помехоустойчивости транспортного потока цифрового ТВ является перемежение данных. Однако данный метод не позволяет обнаруживать и исправлять одиночные ошибки цифровых символов. Поэтому помимо перемежения дополнительно на передающей стороне применяют специальное помехоустойчивое кодирование передаваемой информации,

позволяющее на приемной стороне обнаруживать и исправлять возникшие ошибки. При этом коды, применяемые при помехоустойчивом кодировании, называются *корректирующими кодами* или кодами, исправляющими ошибки.

Если применяемый способ кодирования не позволяет устранить ошибочные кодовые комбинации, то в случае приема изображения можно заменить принятый с ошибкой элемент изображения на предыдущий правильно принятый элемент или на соответствующий элемент предыдущей строки или предыдущего кадра. При этом заметность искажений на экране телевизионного приемника существенно уменьшается. Такой способ называется маскировкой ошибки.

Более совершенные корректирующие коды позволяют не только обнаруживать, но и исправлять ошибки. Как правило, корректирующий код может исправлять меньше ошибок, чем обнаруживать. Количество ошибок, которые корректирующий код может исправить в определенном интервале последовательности двоичных символов, например, в одной кодовой комбинации, называется *исправляющей способностью кода*.

Основной принцип построения корректирующих кодов заключается в том, что в каждую передаваемую кодовую комбинацию, содержащую k информационных двоичных символов, вводят p дополнительных двоичных символов, то есть вводят избыточную информацию. В результате получается новая кодовая комбинация, содержащая $n = k + p$ двоичных символов. Такой код будем обозначать (n, k) . Доля информационных символов в нем характеризуется *относительной скоростью кода*, определяемой соотношением:

$$R = k/n = k/(k+p) \quad (5.1)$$

Количество возможных кодовых комбинаций такого кода равно 2^n . Из них разрешенными для передачи являются 2^k кодовых комбинаций. Остальные $2^n - 2^k$ кодовых комбинаций являются запрещенными, то есть появление одной из таких запрещенных комбинаций в приемной части означает, что имеется ошибка данных.

Для оценки способности кода обнаруживать и исправлять ошибки используется понятие *кодového расстояния* или *расстояния Хемминга*. Кодовое расстояние d_{im} между кодовыми комбинациями $\{x_{ij}\}$ и $\{x_{mj}\}$ определяется как число двоичных разрядов, в которых эти комбинации различаются. Например, кодовое расстояние между кодовыми комбинациями **0001** и **0011** равно **1**, а между комбинациями **0000** и **1111** равно **4**.

Если разрешенные кодовые комбинации выбраны таким образом, что при изменении любого двоичного символа разрешенная кодовая комбинация переходит в запрещенную, то такой корректирующий код позволяет обнаруживать одиночные ошибки в отдельных кодовых комбинациях. При этом одиночная ошибка переводит исходную кодовую комбинацию в

кодovou комбинацию, отстоящую от нее на **1**. Следовательно, для обнаружения одиночных ошибок необходимо, чтобы кодовое расстояние между любыми двумя разрешенными кодовыми комбинациями корректирующего кода было не менее **2**. Таким образом для обнаружения r_1 ошибок в кодовой комбинации необходимо, чтобы кодовое расстояние между двумя разрешенными кодовыми комбинациями удовлетворяло неравенству $d \geq r_1 + 1$.

Одним из самых простых и известных примеров помехоустойчивого кодирования является проверка на **четность**, где в каждую кодовую комбинацию вводится один дополнительный двоичный символ X_p , называемый **контрольным или проверочным битом**. Этот бит устанавливается равным 1, если сумма единиц в исходной кодовой комбинации равна нечетному числу, и равным 0 в противоположном случае. Данное правило выражается соотношением:

$$X_p = X_1 \oplus X_2 \oplus \dots \oplus X_k, \quad (5.2)$$

где $X_1 \dots X_k$ двоичные символы исходной кодовой комбинации.

Теперь, если в приемной части системы один из двоичных символов кодовой комбинации принят с ошибкой, то значение контрольного бита не будет удовлетворять равенству (5.2). Это несоответствие будет обнаружено специальной схемой и явится признаком того, что произошла ошибка. Таким образом, проверка на четность позволяет обнаруживать одиночные ошибки, но не позволяет их исправлять. Данный метод широко применяется в вычислительной технике, где наличие хотя бы одного ошибочного бита недопустимо.

Для исправления одиночных ошибок необходимо, чтобы кодовое расстояние между любыми двумя разрешенными кодовыми комбинациями корректирующего кода было не менее 3. В этом случае принятая запрещенная кодовая комбинация заменяется ближайшей к ней разрешенной кодовой комбинацией. Так как ошибки одиночные, то переданная разрешенная кодовая комбинация отличается от принятой запрещенной кодовой комбинации на 1, а остальные разрешенные кодовые комбинации - не менее чем на 2. Поэтому такие ошибки надежно исправляются. В общем случае для коррекции r_2 ошибок в кодовой комбинации кодовое расстояние d между любыми двумя разрешенными кодовыми комбинациями должно удовлетворять неравенству $d > 2r_2 + 1$.

Для увеличения кодового расстояния между разрешенными кодовыми комбинациями необходимо увеличивать число проверочных символов p в передаваемых кодовых комбинациях. При этом минимальное кодовое расстояние определяется в соответствии с приведенным соотношением:

$$d_{\min} = p + 1 = n - k + 1 \quad (5.3)$$

где, d_{\min} - минимальное кодовое расстояние между двумя разрешенными кодовыми комбинациями, k - число информационных двоичных символов,

а n – общее число символов в кодовой комбинации. Однако, чтобы увеличение числа проверочных бит в кодовой комбинации не сильно замедляло скорость передачи информации (относительной скорости кода) необходимо увеличивать и число k информационных символов в кодовой комбинации (5.1).

Построение кода с заданными n и k может осуществляться разными способами. Для цифровых телевизионных систем большое значение имеет возможность коррекции пакетных ошибок, искажающих сразу несколько соседних двоичных символов. Кроме того, при выборе кода для системы цифрового ТВ необходимо обеспечить по возможности простой метод его декодирования, так как декодер должен быть в каждом телевизионном приемнике. Поэтому приведем небольшую классификацию помехоустойчивых кодов, представленную на рис.5.2.



Рис.5.2. Классификация корректирующих кодов

Корректирующие коды разделяются на **блочные** и **сверточные** (непрерывные). *Блочные коды* основаны на перекодировании исходной кодовой комбинации (блока), содержащей k информационных символов, в

передаваемую кодовую комбинацию, содержащую $n > k$ символов. Дополнительные $p = n - k$ символы зависят только от k символов исходной кодовой комбинации. Следовательно, кодирование и декодирование осуществляются всегда в пределах одной кодовой комбинации (блока). В противоположность этому в *сверточных кодах* кодирование и декодирование осуществляются непрерывно над всей последовательностью двоичных символов.

Блочные коды бывают **разделимые** и **неразделимые**. В *разделимых кодах* можно в каждой кодовой комбинации указать, какие символы являются информационными, а какие проверочными. В *неразделимых кодах* такая возможность отсутствует.

Следующая ступень классификации - *систематические коды*. Они отличаются тем, что в них проверочные символы формируются из информационных символов по определенным правилам, выражаемым математическими соотношениями. Например, каждый проверочный символ X_{pj} , получается как линейная комбинация информационных символов:

$$X_{pj} = (b_{1j}x_1) \oplus (b_{2j}x_2) \oplus \dots \oplus (b_{kj}x_k) \quad (5.4)$$

где b_{1j}, \dots, b_{kj} - коэффициенты, принимающие значения 0 или 1; $j=1, 2, \dots, n-k$.

Циклические коды строятся на основе полиномов с циклическим сдвигом их значений и имеют следующее основное свойство: если кодовая комбинация $a_0a_1a_2\dots a_{n-1}$ является разрешенной, то получаемая из нее путем циклического сдвига кодовая комбинация $a_{n-1}a_0a_1a_2\dots$ также является разрешенной в данном коде. При записи в виде полиномов операция циклического сдвига кодового слова сводится к умножению соответствующего полинома на x (*формальная переменная для записи кодовых комбинаций*) с учетом определенных правил выполнения операции умножения. Для построения кодов вводится понятие **производящего полинома**, то есть полином со степенью $x = (n - k)$, на который без остатка делится двучлен $(1+x^n)$. При этом разрешенные кодовые комбинации получаются перемножением полиномов порядка $k-1$, выражающих исходные кодовые комбинации, на производящий полином.

Циклический код с производящим полиномом $g(x)$ строится следующим образом:

1. Берутся полиномы $g(x), xg(x), x^2g(x), \dots, x^{k-1}g(x)$.
2. Кодовые комбинации, соответствующие этим полиномам, записывают в виде строк матрицы G , называемой *производящей матрицей*.
3. Формируется набор разрешенных кодовых комбинаций кода. В него входит нулевая кодовая комбинация $g(x)$, k кодовых комбинаций $xg(x), x^2g(x), \dots, x^{k-1}g(x)$, а также суммы их всевозможных сочетаний. Суммирование осуществляется по

разрядно, причем каждый разряд суммируется по модулю 2. Общее число полученных таким образом разрешенных кодовых комбинаций равно 2^k , что соответствует числу информационных разрядов кода.

При декодировании вначале формируется исправляющая матрица на каждую строку которой скалярно умножается принятая кодовая комбинация $a_0a_1a_2...a_{n-1}$. Эта операция может быть записана в виде соотношения:

$$C_j = (h_{j1}a_1) \oplus (h_{j2}a_2) \oplus \dots \oplus (h_{jn}a_n) \quad (5.5)$$

где h_{ji} – элементы j -той строки исправляющей матрицы **H**. Полученные $n - k$ числа **C_j** образуют *исправляющий вектор или синдром*. Если ошибок нет, то все **C_j** = **0**. Если же при передаче данной кодовой комбинации возникла ошибка, то некоторые из чисел **C_j** не равны **0**. По тому, какие именно элементы исправляющего вектора отличны от нуля, можно сделать вывод о том, в каких разрядах принятой кодовой комбинации имеется ошибка и, следовательно, исправить эти ошибки.

Одним из важных достоинств циклических кодов является возможность построения кодирующих и декодирующих устройств в виде сдвиговых регистров с обратными связями через сумматоры по модулю 2.

Различные виды циклических кодов получаются с помощью различных производящих полиномов. Для этой цели существует развитая математическая теория.

Среди большого количества циклических кодов к числу наиболее эффективных и широко используемых относятся коды **Бозе-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ)** - по первым буквам фамилий или в англоязычной литературе ВСН-коды - Bose, Chaudhuri, Hocckwinham). Например, **БЧХ-код (63, 44)**, состоящий из 44 информационных и 19 проверочных символов, используемый в системе спутникового цифрового радиовещания, позволяет исправить 2 или 3 ошибки, обнаружить 4 или 5 ошибок на каждый блок из 63 символов. Относительная скорость такого кода равна $R = 44 / 63 = 0,698$.

Одним из видов ВСН-кодов являются коды **Рида-Соломона (Reed-Solomon)**, которые используются для обеспечения помехоустойчивой передачи телевизионных сигналов в современных системах цифрового ТВ. Эти коды относятся к *недвоичным* кодам, так, как символами в них могут быть многоразрядные двоичные числа, например, целые байты. В Европейском стандарте цифрового телевидения DVB используется код **Рида-Соломона, записываемый как (204,188,8)**, где:

- 188** - количество информационных байтов в пакете транспортного потока MPEG-2,
- 204** - количество байтов в пакете после добавления проверочных символов,
- 8** - минимальное кодовое расстояние между допустимыми кодовыми комбинациями.

Таким образом, в качестве кодовых комбинаций берутся целые пакеты транспортного потока, содержащие $188 \times 8 = 1504$ информационных бита, к которым добавляются $16 \times 8 = 128$ битов проверочных символов. При этом **относительная скорость такого кода равна 0,92. Этот код Рида-Соломона позволяет эффективно исправлять до 8 принятых с ошибками байтов в каждом транспортном пакете.**

Следует отметить, что используемый в цифровом телевизионном вещании код Рида-Соломона часто называют *укороченным*. Дело в том, что из теории кодов Рида-Соломона следует, что если символом кода является байт, то полная длина кодового слова должна составлять 255 байтов (239 информационных и 16 проверочных). Однако, пакет транспортного потока MPEG-2 содержит 188 байтов. Чтобы согласовать размер пакета с параметрами кода, перед кодированием в начало каждого транспортного пакета добавляют 51 нулевой информационный байт, а после кодирования эти дополнительные нулевые байты отбрасывают.

В приемнике для каждого принятого транспортного пакета, содержащего 204 байта, вычисляются синдромы (исправляющие векторы) и находятся два полинома: «локатор», корни которого показывают положение ошибок, и «корректор» (evaluator), дающий значение ошибок. При этом, если это возможно, ошибки исправляются. Если же коррекция невозможна (например, ошибочных байтов больше 8), то данные в пакете не изменяются, а сам пакет помечается путем установки специального флага (первый бит после синхробайта), как содержащий неустраняемые ошибки. В обоих случаях 16 избыточных байтов удаляются, и после декодирования длина транспортного пакета снова становится равной 188 байтов.

Сверточные коды, образуют другой класс корректирующих кодов, используемых в современном цифровом телевидении. Работа таких кодов основана на преобразованиях входной непрерывной последовательности двоичных символов в непрерывную последовательность выходных символов. При этом на каждый входной символ приходится более одного символа на выходе. Увеличение количества передаваемых двоичных символов при использовании сверточных кодов характеризуется относительной скоростью кода, иногда называемой просто скоростью кода,

$$R = Q_{\text{вх}} / Q_{\text{вых}} = k/n \quad (5.6)$$

где $Q_{\text{вх}}$ и $Q_{\text{вых}}$ - скорости передачи двоичных символов на входе и выходе кодера соответственно, k - число битов входной последовательности, преобразуемых в n битов выходной последовательности. При этом работа таких кодеров описывается решетчатой диаграммой, поскольку полученная структура переходов кодирующего устройства образует решетку. Поэтому такие коды часто называются *решетчатыми* (trellis code).

Пример реализации сверточного кодера представлен на рис.5.3. Кодер содержит трехразрядный сдвиговый регистр, на вход которого поступает входная последовательность двоичных символов. При этом на каждый такт

биты в ячейках регистра сдвигаются на разряд вправо, причем очередной бит входной последовательности записывается в первую слева ячейку, а бит из крайней справа ячейки выбрасывается. Выходы разрядов регистра подключены ко входам двух сумматоров по модулю 2. Выходная последовательность двоичных символов формируется с помощью коммутатора, который на каждый такт входной последовательности сначала передает на выход бит с верхнего сумматора (точка 1), а потом - бит с нижнего сумматора (точка 2). Таким образом, на каждый бит входной последовательности формируются два бита выходной последовательности, т.е. относительная скорость этого кода $R = 1/2$.

Важным параметром сверточных кодов является кодовое ограничение, обозначаемое K . Этот параметр показывает, сколько групп по k битов содержится в сдвиговом регистре и, следовательно, одновременно участвует в формировании битов выходной последовательности. В рассматриваемом примере $K=3$.

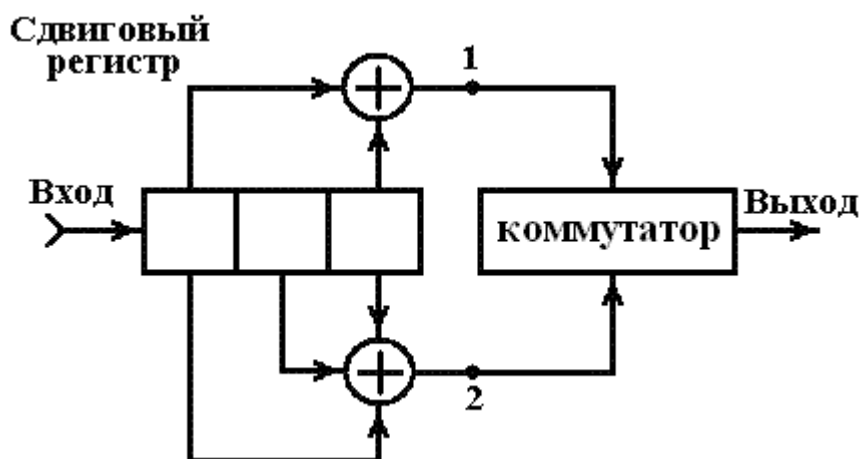


Рис.5.3. Обобщенная структурная схема сверточного кодера

В результате работы кодера каждый двоичный символ входной последовательности преобразуется в пару двоичных символов выходной последовательности, определяемую двоичным символом входной последовательности и текущим состоянием кодирующего устройства. Таких состояний может быть четыре: 00, 01, 10 и 11.

Если входная последовательность состоит из одних нулей, то и выходная последовательность также содержит только нули. Если входная последовательность содержит один единичный бит, а остальные - равные нулю, например: ...001 000..., то выходная последовательность построенная по схеме рис.5.3 будет иметь вид:

...00 11 01 11 00 00....

Эта последовательность содержит 5 единичных битов, поэтому ее кодовое расстояние относительно только нулевых значений 00 00 00 00 00 равно 5. Таким образом, расстояние Хемминга между выходными последовательностями, получающиеся из различных входных последовательностей, не содержащих ошибок, оказывается не менее 5. При

этом расстояние между выходными последовательностями возрастает с уменьшением кодовой скорости R и с увеличением кодового ограничения K .

Для декодирования сверточных кодов чаще всего применяется алгоритм Витерби, который позволяет из множества возможных путей, приводящих к последнему декодируемому символу принятой последовательности, выбрать относительно небольшое число путей, являющихся наиболее правдоподобными, и определить правильное значение символа исходной последовательности.

Так в системе цифрового телевидения DVB при передаче по спутниковым и наземным каналам связи используется сверточное кодирование со следующими параметрами:

- кодовое ограничение $K=7$;
- относительные скорости кода $R = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$.

Кроме того, в стандартах цифрового телевидения, как правило, используется каскадное кодирование, так как в используемых каналах связи частота ошибок может быть настолько велика, что код Рида-Соломона не обеспечивает необходимой помехоустойчивости. Поэтому пакеты транспортного потока сначала кодируются кодом Рида-Соломона (внешнее кодирование), а затем полученная последовательность двоичных символов кодируется с применением сверточных кодов (внутреннее кодирование).

Такое каскадное кодирование обеспечивает более эффективную защиту от ошибок при передаче сигналов цифрового телевидения. Так при отношении сигнал/помеха (по мощности) равном 3 дБ относительная частота ошибок на входе декодера решетчатого кода составляет $10^{-1} \dots 10^{-2}$, при этом на выходе этого декодера она уменьшается примерно до 10^{-4} , а на выходе декодера Рида-Соломона – до $10^{-10} \dots 10^{-11}$.

5.4. Методы модуляции применяемые для передачи сигналов в цифровом телевидении

Одной из главной особенностью модуляции несущей цифровыми сигналами является то, что модулируемый параметр несущей может принимать в результате модуляции ряд дискретных значений. Такую модуляцию называют *манипуляцией*. Параметры несущего колебания меняются дискретно и во времени. Интервал времени, в течении которого эти параметры остаются постоянными, называется *символьным интервалом* или интервалом канального символа. В течении каждого символьного интервала передается один бит или одновременно несколько битов, образующих *канальный символ*.

При этом в отличие от методов модуляции в аналоговом телевидении, где модуляция несущей используется для передачи сигналов ТВ программ по радиоканалам, в цифровом телевидении еще требуется обеспечить согласование скорости передачи цифровых символов транспортного потока

с пропускной способностью существующих ТВ радиоканалов. То есть с одной стороны требуется обеспечить эффективное использование полосы частот канала связи, с другой стороны, обеспечить довольно жесткие требования по помехоустойчивости. Поэтому в цифровом ТВ используются более сложные виды многоуровневой модуляции.

Для повышения эффективности использования полосы частот канальный символ должен содержать по возможности больше битов передаваемой информации. Для этого желательно, чтобы в каждый момент времени сигнал в канале связи имел не 2 значения (уровни 0 или 1), а по возможности большее количество значений. Так при использовании 16-ти уровневой кодирования в одном канальном символе можно передать сразу 4 бита информационных символов, что в 4 раза увеличивает скорость передачи данных. То есть цифровой двух уровневый сигнал преобразуется в многоуровневый или квазианалоговый, что достигается применением специальных видов манипуляций. Так, в случае амплитудной манипуляции это достигается наличием соответствующего количества уровней амплитуды несущей. При частотной манипуляции должно быть соответствующее количество возможных значений несущей частоты, а при фазовой манипуляции - значений фазы сигнала. Соответственно увеличение числа уровней в сигнале значительно снижает помехоустойчивость системы, так как приемник должен различать не 2, а больше значений сигнала. Чтобы обеспечить уверенное различение требуемого количества уровней сигнала необходимо увеличивать отношение сигнал/шум в канале связи, т.е. наращивать мощность передатчика. Это соответствует основным положениям теории связи - для увеличения пропускной способности канала связи при фиксированной ширине полосы частот необходимо повышать отношение сигнал/шум.

Рассмотрим подробнее наиболее распространенные способы модуляции несущей цифровым сигналом.

Амплитудная манипуляция (АМн) заключается в дискретном изменении уровня амплитуды несущей. В простейшем случае одному уровню сигнала может соответствовать наличие несущей, а другому - отсутствие. Недостатком АМн являются значительные перепады излучаемой мощности.

Частотная манипуляция (ЧМн) осуществляется путем дискретного изменения частоты несущей при постоянной ее амплитуде.

Фазовая манипуляция (ФМн) заключается в дискретном изменении фазы несущей. В простейшем случае несущая может иметь два значения фазы: 0° и 180° . В приемнике может осуществляться как когерентное детектирование, требующее фазовой синхронизации приемника с передатчиком, так и более простое некогерентное детектирование. В последнем случае часто применяют *относительную фазовую манипуляцию*, при которой фаза несущей для каждого принятого символа

сравнивается не с некоторой абсолютной начальной фазой, а с фазой несущей предыдущего принятого символа.

Для повышения эффективности использования полосы частот канала связи применяется **многопозиционная** ФМн. На рис.5.4 представлены 4-х и 8-ми позиционные ФМн. При 4-х позиционной ФМн одновременно передаются два бита, что позволяет повысить эффективность использования полосы частот в два раза, а при использовании 8-ми позиционной манипуляции можно одновременно передать значения 3 символов. При этом сдвиг между дискретными значениями фазы несущей равен 45° . В этом случае эффективность использования полосы частот повышается в 3 раза по сравнению с простой двухпозиционной ФМн.

При распределении передаваемых кодовых комбинаций по позициям используют **манипуляционный код Грея** где соседние позиции различаются одним битом. Благодаря этому, если при демодуляции под действием помехи вместо правильного значения фазы будет определено соседнее, в последовательности двоичных символов на выходе демодулятора получится только один ошибочный бит, который будет исправлен в декодере корректирующего кода.

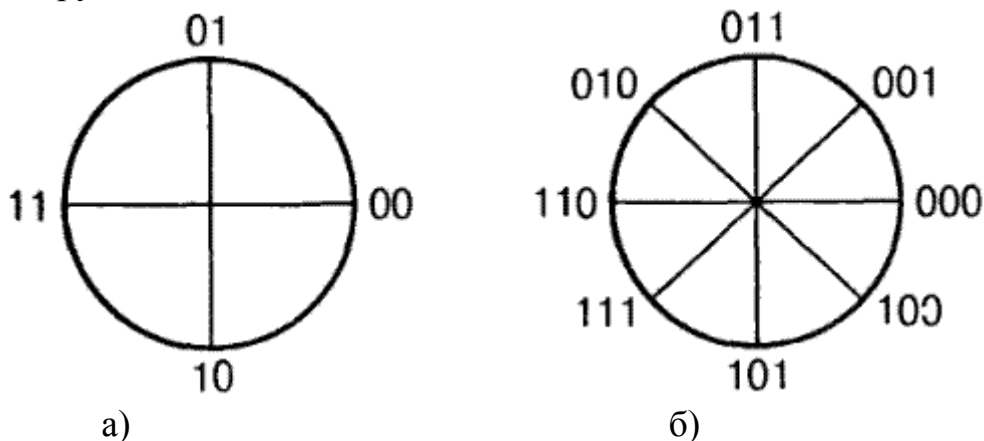


Рис.5.4. Четырехпозиционная (а) и восьмипозиционная (б) фазовая манипуляция

Фазовая манипуляция используется в стандарте DVB-S, определяющем методы передачи цифрового телевидения по спутниковым каналам.

Следующий вид модуляции, часто применяемый для передачи цифровых сигналов, - **многопозиционная квадратурная амплитудная манипуляция (КАМн)**. Как известно, квадратурная амплитудная модуляция заключается в одновременной амплитудной модуляции двумя сигналами U_i (inphase) и U_q (quadrature) двух квадратурных составляющих несущей с частотой ω_0 , и получении суммарного сигнала:

$$u(t) = u_i(t) \cos \omega_0 t + u_q(t) \sin \omega_0 t \quad (5.7)$$

Для демодуляции используется синхронное детектирование, состоящее в умножении сигнала $u_i(t)$ на $\cos \omega_0 t$ и на $\sin \omega_0 t$ с последующим

подавлением высокочастотных составляющих фильтром НЧ. В результате выделяются, соответственно, $u_i(t)$ и $u_q(t)$

Сама по себе квадратурная амплитудная модуляция уже обеспечивает увеличение эффективности использования полосы частот в два раза, так как на одной несущей частоте одновременно передаются 2 сигнала. В случае КАМн уровни каждой квадратурной составляющей несущей изменяются дискретно. На рис.5.5 показана 4-позиционная и 16-позиционная КАМн. При 4-позиционной манипуляции каждая квадратурная составляющая может иметь два возможных уровня. В случае, показанном на рис.5.5,а, каждая составляющая может или отсутствовать, или присутствовать с заданной амплитудой. В случае, приведенном на рис.5.5,б, каждая составляющая может быть в фазе, что соответствует уровню +0,5, или в противофазе, что соответствует уровню -0,5. Второй вариант предпочтительнее, так как в нем обеспечивается меньшее отношение пиковой мощности несущей к ее средней мощности.

Если каждая квадратурная составляющая может иметь 4 уровня, что соответствует двум битам, то получается 16-позиционная КАМн, диаграмма возможных комбинаций («созвездие») сигналов I и Q представлена на рис.5.5,в. Такая модуляция дает выигрыш в эффективности использования полосы частот в 4 раза, так как одновременно передаются 4 бита. Распределение кодовых комбинаций по позициям (манипуляционное кодирование) осуществляется так, чтобы коды в соседних позициях различались одним битом. В настоящее время в системах цифрового ТВ применяются также 64-позиционная и 256-позиционная КАМн, при использовании которых одновременно передаются 6 и 8 битов, соответственно.

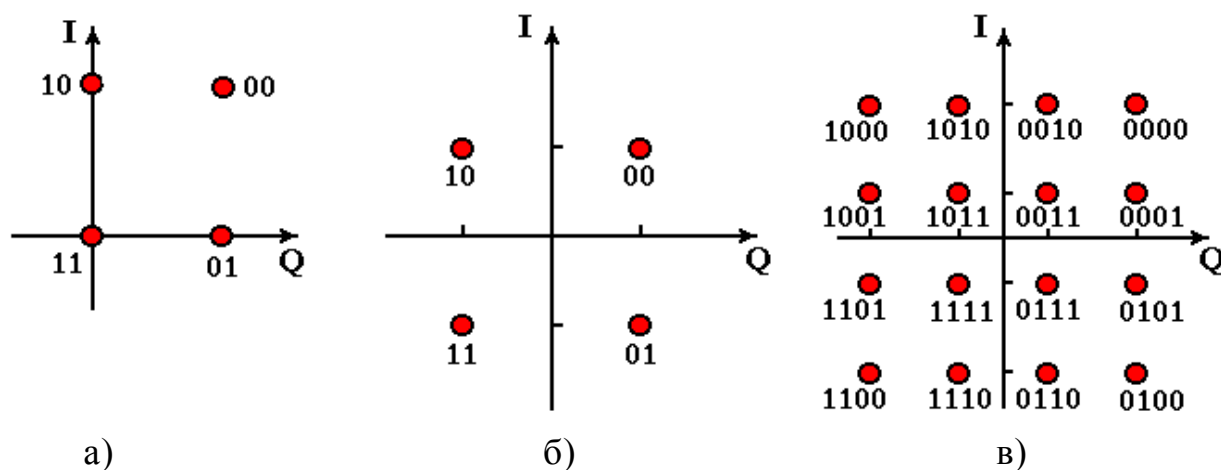


Рис.5.5. 4-позиционная (а, б) и 16-позиционная (в) квадратурная манипуляция КАМн (QAM)

При дискретном модулировании не амплитуды, а фазы каждой из двух квадратурных составляющих, получим **квадратурную фазовую**

манипуляцию (КФМн). Сигнал, получаемый в этом случае, может быть представлен соотношением:

$$\cos(\omega_0 t + \theta_i) + \sin(\omega_0 t + \theta_Q) = A_0 \cos(\omega_0 t + \theta_0) \quad (5.8)$$

где θ_i, θ_Q - фазы квадратурных составляющих, A_0, θ_0 - амплитуда и фаза результирующего сигнала. В таблице 5.1 приведены значения фазы результирующего сигнала в случае, когда квадратурные составляющие модулируются по фазе двухуровневыми сигналами.

Таблица 5.1

θ_i	0	0	π	π
θ_Q	0	π	0	π
θ_0	$\pi/4$	$-\pi/4$	$3\pi/4$	$-3\pi/4$

В моменты времени, когда меняются фазы обеих квадратурных составляющих, фаза θ_0 может меняться скачком на 180° . Это приводит к возникновению паразитной амплитудной модуляции при прохождении сигнала с КФМн через частотно-зависимые цепи. Для устранения этого нежелательного эффекта используют **квадратурно-фазовую манипуляцию со сдвигом (КФМнС)**. Сущность ее заключается в том, что фазы двух квадратурных составляющих изменяются в разные моменты времени, и возможность скачка фазы суммарного сигнала на 180° исключается.

Прием сигналов, модулированных описанными выше методами, существенно отличается от приема сигналов с привычными видами аналоговой модуляции. Структурная схема приемника сигналов с многопозиционной КАМн показана на рис.5.6. На вход этой схемы поступает аналоговый сигнал на промежуточной частоте (ПЧ). Этот сигнал проходит автоматическую регулировку усиления (АРУ). Поскольку в системах связи для получения энергетического выигрыша применяется балансная модуляция, подавляющая несущую частоту, то для разделения квадратурных составляющих принимаемого сигнала, в приемнике необходимо восстановить опорную несущую частоту. Эта операция производится в блоке Восстановления несущей, для чего используется метод фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) опорного генератора. Однако в отличие от систем аналогового ТВ (PAL или NTSC), где специально передается пилот-сигнал цветовой синхронизации, в цифровых системах пилот-сигнал отсутствует. Поэтому для восстановления несущей часто применяются более сложные схемы ФАПЧ с «обратными связями по решению» (рис.5.7). В таких схемах принимаемый сигнал умножается на квадратурные несущие, создаваемые перестраиваемым генератором управляемым напряжением (ГУН). Далее сигнал произведения поступает на детектор ошибок, который периодически выносит решение о правильности принимаемого символа. Если обнаружены ошибки, то на выходе детектора формируется управляющее напряжение, которое по цепи обратной связи подстраивает

частоту и фазу опорного ГУН так, чтобы ошибки символов не возникали. Таким образом система ФАПЧ периодически корректирует частоту и фазу генератора несущей так, чтобы устранить возникновение ошибок детектируемых символов в контрольном канале. Для устранения возможностей ошибочного декодирования принимаемого сигнала при коррекции частоты ГУН, принимаемый сигнал на детекторы поступает с временной задержкой, превышающей время перестройки ГУН.

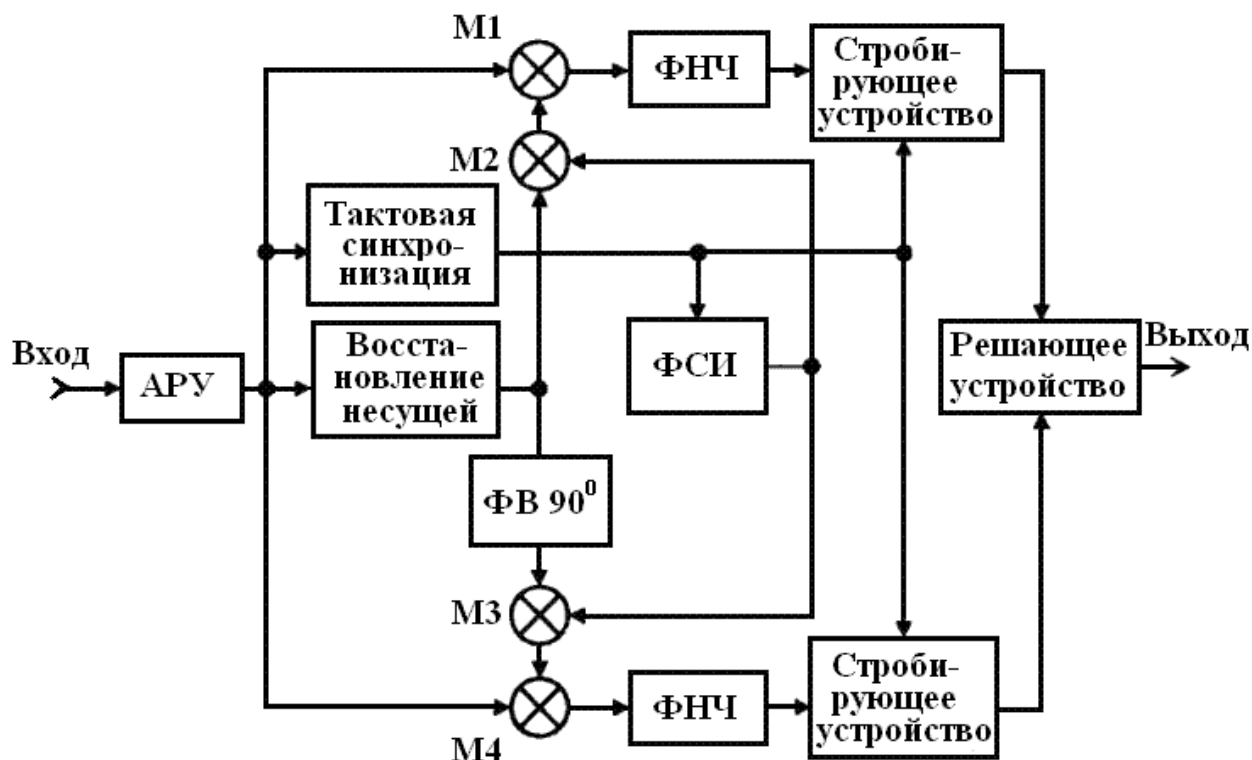


Рис.5.6. Структурная схема приемника сигнала с квадратурной амплитудной манипуляцией

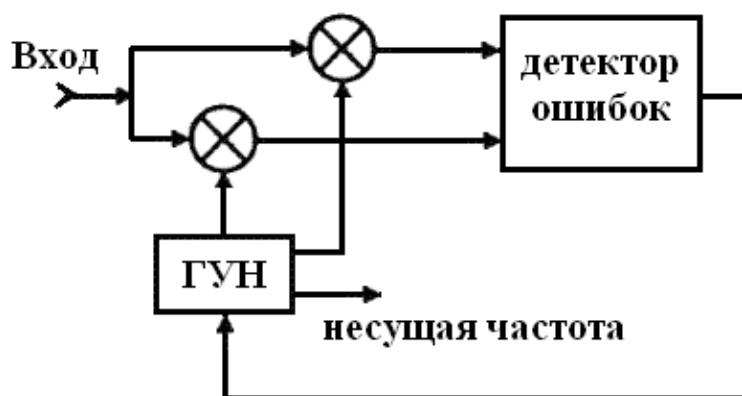


Рис.5.7. Обобщенная схема блока Восстановления несущей.

Таким образом, на выходе блока восстановления несущей формируется сигнал первой квадратурной составляющей $\cos(\omega_n t + \phi)$, где ω_n - круговая частота несущей, а ϕ - ее фазовый сдвиг. Для формирования второй квадратурной составляющую $\sin(\omega_n t + \phi)$ используется фазовращатель на 90 градусов (ФВ 90°).

Для разделения квадратурных составляющих принимаемого сигнала сигнальные импульсы перемножаются в умножителях М1 и М4 с пакетами колебаний квадратурных составляющих, поступающих с умножителей М2 и М3. Формирование пакетов квадратурных колебаний происходит в умножителях М2 и М3 за счет перемножения квадратурных колебаний с сигнальными импульсами, поступающих с выхода блока формирователя сигнальных импульсов (ФСИ). Данные импульсы, управляемые сигналами тактовой синхронизации необходимы для «взвешивания» принимаемого сигнала в течении символьного интервала. В простейшем случае сигнальные импульсы могут иметь прямоугольную форму, но лучше использовать форму отрезка косинусоиды или гауссоиды.

Для правильного распознавания принимаемых двоичных символов необходимо точно знать тактовую частоту следования информационных символов для обеспечения их тактовой синхронизации.

Если в составе сигнала не передается никаких дополнительных составляющих, обеспечивающих тактовую синхронизацию, что бывает достаточно часто, то тактовая синхронизация восстанавливается непосредственно из принимаемого сигнала. Для этого используется блок тактовой синхронизации, работа которого подробно рассмотрена в параграфе 2.4.2 (Последовательный видеостык).

Далее с выхода умножителей М1 и М4 сигналы через ФНЧ и блоки стробирующих устройств поступают на блок решающего устройства.

Блоки стробирующих устройств обеспечивают запоминание значений принимаемых символов в моменты времени действия тактовых импульсов. Данные блоки значительно увеличивают надежность распознавания символов, поскольку фиксация значений производится в моменты времени соответствующие середине символьного интервала. Такой механизм устраняет влияние переходных процессов и коммутационных помех. Затем полученные сигналы поступают на блок решающего устройства.

Решающее устройство сравнивает параметры квадратурных составляющих принятого символа с эталонными параметрами квадратурных составляющих сигналов всех возможных канальных символов, после чего выбирает значение символа наиболее близкое эталону. После этого выбранный символ выдается на выход приемника.

Процесс приема сигналов с фазовой или квадратурно фазовой манипуляцией осуществляется аналогично схеме (рис.5.6), только для сигналов ФМн и КФМн блок АРУ необязателен.

Описанные операции, как правило, выполняются в цифровом виде, поэтому после блока АРУ в схеме должен быть АЦП.

Один из современных методов передачи цифровых сигналов по радио каналам является *ортогональное частотное мультиплексирование*. В англоязычной технической литературе такая модуляция называется **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)**. Фактически это модуляция со многими ортогональными несущими. При OFDM канал передачи разбивается на множество(на сотни и тысячи) подканалов, что позволяет использовать

максимально полно весь частотный спектр основного канала. Кроме того поражение части спектра основного канала помехой не приводит к разрушению передаваемой информации. Моделью OFDM может служить набор генераторов с равномерным шагом кратных частот $f, 2*f, 3*f, 4*f$ и т.д.

Сущность этого метода поясняется на рис.5.8. Каждый подпоток передается на своей несущей, например, с использованием КАМн. Таким образом, в одном канале телевизионного вещания получается N узкополосных подканалов. Количество несущих в соответствии со стандартом DVB-T может быть равно **6817** ($\Delta f = 1116$ Гц) или **1705** ($\Delta f = 4464$ Гц). Выбор частотных интервалов между несущими осуществляется так, чтобы соседние несущие колебания были ортогональны на отрезке времени, в течении которого передается один символ, то есть сумма их составляющих за такт манипуляции равна нулю. Это позволяет избежать взаимного влияния соседних подканалов, несмотря на то, что их спектры перекрываются.

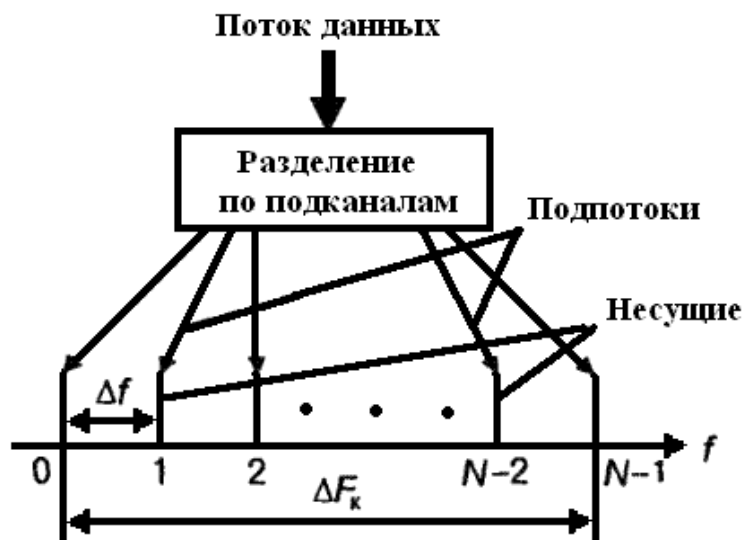


Рис.5.8. Сущность метода OFDM

Модуляция и демодуляция OFDM выполняются с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ), которое позволяет легко переходить из временной области представления сигналов в частотную и обратно. На рис.5.9. представлен принцип формирования OFDM сигнала в передатчике.



Рис.5.9. Принцип формирования OFDM сигнала.

При модуляции битовый поток символов $X_{n,k}$ в сдвиговом регистре последовательно-параллельного преобразователя преобразуется в

параллельный N -разрядный код ($X_0, X_1 \dots X_{N-1}$), который поступает на блок обратного преобразования Фурье (ОБПФ). В блоке ОБПФ из частотных компонентов формируются значения уровней временного представления сигнала $x_0, x_1 \dots x_{N-1}$, которые после цифро-аналогового преобразования представляются в виде квазианалогового сигнала. Далее полученный сигнал в модуляторе передатчика после переноса на рабочую частоту ТВ канала излучается в эфир.

Демодуляция ОФДМ сигнала в приемнике производится аналогично, но в обратном направлении. Принятый приемником квазианалоговый ОФДМ сигнал вначале переносится на промежуточную частоту после чего в АЦП преобразуется в параллельный N -разрядный код $x_0, x_1 \dots x_{N-1}$. Далее в блоке прямого быстрого преобразования Фурье из значений отсчетов квазианалогового сигнала формируются спектральные коэффициенты модуляционных символов, которые после преобразования в последовательный код поступают в тракт канального декодирования.

Данный метод передачи имеет следующие достоинства:

- равномерное распределение энергии по полосе частот канала связи;
- возможность передавать наиболее важную часть информации (синхронизацию, НЧ составляющие сигнала яркости) на тех участках полосы частот, где меньше всего уровень помех от соседних каналов, а области полосы частот канала, соответствующие несущим изображения и звука обычного телевизионного вещания, вообще не использовать;
- благодаря тому, что каждый из подканалов является узкополосным, уменьшается влияние отраженных сигналов при многолучевом приеме.

Последнее свойство особенно важно поскольку многолучевость распространения радиоволн в современных городах создает значительные сложности для цифрового телевизионного вещания. При использовании OFDM длительности интервалов времени, в течении которых передаются отдельные символы, увеличиваются и становятся больше, чем времена задержек отраженных сигналов, в результате чего обеспечивается более безошибочный прием.

Кроме того, для исключения влияния отраженных сигналов вводятся дополнительные защитные интервалы между символами. На рис.5.10,а показаны отрезки времени, в течении которых на модулятор одной из несущих поступают символы передаваемого подпотока данных S_1, S_2, S_3 и т.д. (в зависимости от используемого метода модуляции несущих количество битов в символе может быть различным). Перед началом передачи символа S_2 формируется защитный интервал Δ_1 (рис.5.10,б), в течении которого на входе демодулятора в приемнике еще могут присутствовать отраженные сигналы, содержащие предыдущий символ S_1 (рис.5.10,в). Затем в течении интервала времени T_{p2} передается символ S_2 . Аналогично формируется защитный интервал Δ_2 перед символом S_3 и т.д.

Для обеспечения высокой помехоустойчивости цифровых сигналов в современных системах цифрового телевидения модуляцию несущей можно совмещать с помехоустойчивым кодированием. При этом число возможных состояний несущей после модуляции превышает число символов, которые должны быть переданы, т.е. вводится дополнительная избыточность, обеспечивающая повышение помехоустойчивости. Такую модуляцию, совмещенную с кодированием, называют кодированной модуляцией (**Coded Modulation**). В частности, сочетание помехоустойчивого кодирования с OFDM называют **COFDM** (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex).

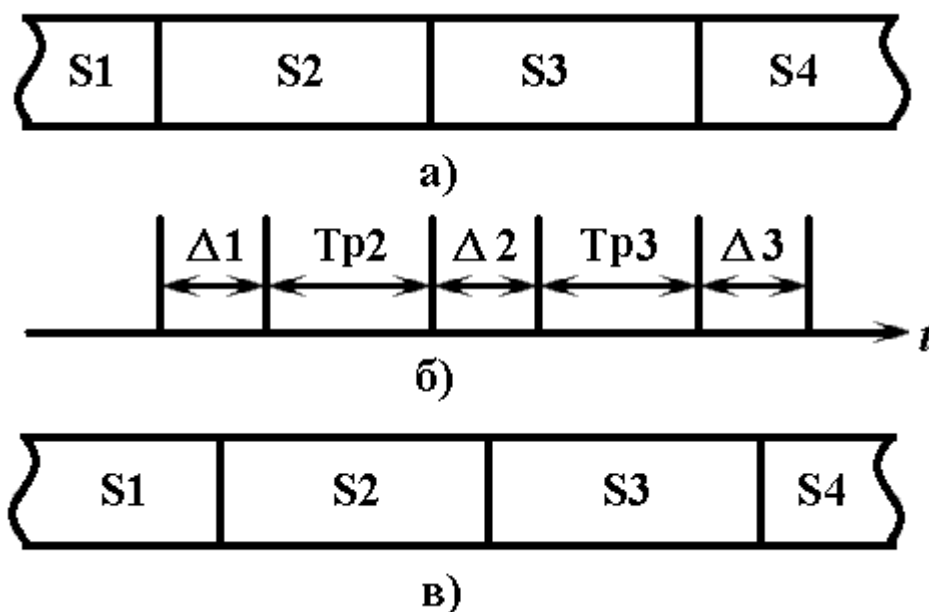


Рис.5.10. Формирование защитных интервалов

Таким образом, при передаче сигналов цифровой системы телевидения по радиочастотным каналам связи используются две ступени помехоустойчивого кодирования. На первой ступени, называемой внешней, осуществляется кодирование цифровой информации с помощью кодов Рида-Соломона, как это было описано в предыдущем разделе, а на второй ступени, называемой внутренней, используется канальное кодирование, совмещенное с модуляцией. В результате достигается требуемая помехоустойчивость.

6. СТАНДАРТЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ DVB

6.1. Общая концепция стандарта DVB

Крупнейшим Европейским проектом по разработке международной системы цифрового телевизионного вещания является проект Цифрового Видео Вещания - Digital Video Broadcasting (DVB), который был начат в сентябре 1993 г. Штаб-квартира DVB Project находится в Женеве (Швейцария). В результате работы международного консорциума DVB Project были приняты следующие стандарты цифрового ТВ:

- DVB-C (C - Cable - кабель) для цифрового кабельного ТВ вещания;
- DVB-S (S - Sattelrte - спутник) для спутникового ТВ вещания;
- DVB-T (Terrestrial - наземный) для наземного ТВ вещания

Таким образом, DVB представляет собой совокупность подстандартов необходимых для унификации средств и оборудования ТВ вещания, их элементной базы и программного обеспечения. Это является необходимым условием успешного внедрения цифрового телевидения в разных странах мира. Следует отметить, что стандарт DVB наряду со странами СНГ принят у нас в Узбекистане.

На сегодняшний день существует ряд разновидностей стандартов DVB, назначения которых представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1.

Разновидности стандартов DVB по сфере применения

Название группы	Значение	Описание	Модуляция
DVB-S	Спутниковое ТВ вещание	Передача компрессированного видео и аудио, а также дополнительной информации через спутник.	QPSK, 8-PSK, 16-QAM
DVB-S2	Спутниковое ТВ вещание второго поколения	То же, что DVB-S, с возможностью использовать дополнительные типы модуляции с увеличением пропускной способности канала связи в несколько раз.	QPSK, 8PSK, 16-APSK или 32APSK,
DVB-SH	Спутниковое мобильное ТВ вещание	Спутниковое/наземное вещание, с возможностью мобильного приёма. Возможность совместного использования спутниковых и наземных систем связи (так называемые гибридные сети).	QPSK, 8-PSK, 16APSK

DVB-C	Кабельное ТВ вещание	Передача компрессированного видео и аудио, а также дополнительной информации через кабельные сети.	16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM или 256-QAM,
DVB-C2	Кабельное ТВ вещание второго поколения	Цифровое кабельное телевидение «второго поколения»	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM, 4096-QAM
DVB-T	Наземное эфирное ТВ вещание	Передача компрессированного видео и аудио, а также дополнительной информации через сети наземного эфирного телевидения (стационарный приём).	16-QAM или 64-QAM (или QPSK) совместно с COFDM
DVB-T2	Эфирное ТВ вещание второго поколения	То же, что DVB-T, с использованием новых режимов модуляции и канального кодирования, что увеличивает пропускную способность канала связи по сравнению с DVB-T в два раза. Однако, данный стандарт не совместим с DVB-T.	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
DVB-H	Мобильное ТВ вещание	То же, что DVB-T, только для мобильного приёма.	OFDM
DVB-IPDC	Передача данных через межсетевой-протокол <i>IP</i>	Способ представления информации для мобильного телевидения DVB-H по сетям Интернета.	

6.2. Система наземного цифрового телевидения DVB-T

Разработка системы наземного цифрового телевидения представляет собой довольно сложную задачу, поскольку сложная и неоднородная городская застройка приводит к большому количеству переотражений радиоволн и соответственно возникновению их интерференции. Таким образом напряженность электромагнитного поля в точке приема может

изменяться произвольным образом и даже в пределах прямой видимости могут образовываться мертвые зоны где прием не возможен. При этом, в городе довольно большой уровень промышленных помех и помех от других радиопередатчиков, работающих в этом же частотном диапазоне в соседних местностях с которыми тоже надо эффективно бороться. Кроме того, необходимо обеспечить адаптацию к существующим каналам аналогового ТВ. Поэтому система наземного цифрового ТВ должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать высокую помехоустойчивость;
- обеспечить передачу сигналов телевидения стандартной и высокой четкости, служебной информации, телетекста с возможностью защиты от несанкционированного доступа;
- для удешевления приемных устройств, стандарт должен быть максимально унифицирован со стандартами цифрового спутникового и кабельного ТВ;
- обеспечить прием на комнатные антенны и переносимые приемники;
- поддерживать работу в одночастотной сети;

Поэтому важным вопросом в разработке DVB-T был выбор одночастотной или многочастотной модуляции. Как показали результаты исследований, только OFDM оказалась более устойчива к помехам от сигналов аналоговых передатчиков систем PAL и SECAM, особенно в условиях работы одночастотной сети.

При разработке стандарта DVB-T необходимо было выбрать основные параметры системы к которым относятся:

- число индивидуальных несущих на символ;
- величину защитного интервала;
- вид модуляции несущих;
- метод синхронизации.

Как показали исследования, для обеспечения ТВ вещания в одночастотной сети с территориальным разносом передатчиков не менее 60 км, необходимо не менее **6000** несущих. При этом микросхемы, осуществляющие COFDM, работают при числе несущих, равном 2^n , поэтому было выбрано ближайшее число **8192** (2^{13}). Этот режим условно назвали «**8к**». Однако, к 1995 г. уровень электронной техники не позволял оперировать таким числом несущих, поэтому для ускорения внедрения DVB-T было решено использовать **2048** (2^{11}) несущих, режим «**2к**». Таким образом, в стандарт вошла единая спецификация режимов «2к/8к». Следует отметить, что в настоящее время уже разработаны относительно дешевые процессоры обеспечивающие режим «8к».

В DVB-T используются два значения длительности активной части символов: $T_1 = 224$ мкс для режима «2к» и $T_2 = 896$ мкс для «8к», соответственно шаг разноса несущих составляет $\Delta f_1 = 1/T_1 = 4464$ Гц в режиме «2к» и $\Delta f_2 = 1/T_2 = 1116$ Гц в режиме «8к». При этом число несущих для указанных режимов составляет $N_1 = 1705$ и $N_2 = 6817$. При этом общая

ширина спектра сигнала в обоих случаях равна **7,61 МГц**, что позволяет разместить его в полосе канала 8 МГц с достаточными частотными интервалами.

Также стандартом DVB-T для каждого режима модуляции предусмотрены четыре относительных значения защитных интервалов, равные **1/4, 1/8, 1/16 и 1/32** длительности активной части символа **T**. Соответствующие им абсолютные значения приведены в табл.6.2. В этой же таблице указан максимальный территориальный разнос между ТВ передатчиками в синхронной одночастотной сети.

Как видно из приведенных данных, сигнал цифрового телевидения, передаваемый с помощью COFDM, можно разместить в стандартном радиоканале аналогового ТВ-вещания с шириной полосы частот 8 МГц, обеспечивая между соседними радиоканалами защитные частотные интервалы приблизительно по 0,39 МГц.

В табл.6.3 приведены значения скорости передачи двоичных символов для полезной информации и допустимого минимального отношения сигнал/шум в радиоканале для различных способов модуляции отдельных несущих COFDM. Значения отношения сигнал/шум даны для случаев приема на стационарную и на мобильную антенну, например на автомобиле.

Сопоставляя числа, приведенные в табл.6.3, со значениями скорости передачи двоичных символов, можно выбирать способы модуляции несущих и значения защитных интервалов, обеспечивающие передачу требуемого количества ТВ программ с заданным качеством изображения. По значениям отношения сигнал/шум можно рассчитывать требуемые мощности передатчиков и размеры зон уверенного приема. При этом из таблицы видно, что прием сигналов цифрового телевидения возможен даже при довольно низких отношениях сигнал/шум, хотя для получения качественного изображения в аналоговом телевидении необходимо отношение сигнал/шум около 50 дБ.

Для того, чтобы сохранить большую скорость передачи данных в ситуациях, где не требуются большие одночастотные сети или не проявляется многолучевое распространение, предусмотрен целый набор возможных значений защитного интервала (1/4, 1/8, 1/16 и 1/32 от длины полезного интервала). Скорость внутреннего кода, обнаруживающего и исправляющего ошибки, может быть установлена равной одной из величин следующего ряда: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8. В системе DVB-T предусмотрена также возможность изменения числа позиций модулирующего сигнала от 4 до 64.

Поскольку распределение частотных каналов осуществляется в разных странах с различным шагом сетки частот (например, 8, 7 или 6 МГц), то переход от одного шага к другому должен осуществляться сравнительно просто. В системе DVB-T он выполняется путем замены системной тактовой частоты при сохранении всей структуры обработки сигналов.

Следует отметить, что в системе DVB совокупность информационных символов, передаваемых в данный момент времени на всех несущих частотах

называют *символом COFDM*, которые объединяются в *кадры*. Каждый кадр содержит 68 символов COFDM, а 4 кадра образуют *суперкадр*, который содержит целое число транспортных пакетов MPEG-2.

Таблица 6.2.

Основные параметры COFDM модуляции в стандарте DVB-T

Режим модуляции	8К				2К			
Длительность рабочего интервала Тр, мкс	896				224			
Частотный разнос несущих Δ /Гц	1116				4464			
Число несущих N	6817				1705			
Ширина полосы частот, МГц	7,61				7,61			
Относительная длительность защитного интервала. Δ / Тр	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Длительность защитного интер- вала Δ , мкс	224	112	56	28	56	28	14	7
Длительность символа Δ +Тр, мкс	1120	1008	952	924	280	252	238	231
Максимальное удаление ТВ- передатчиков в одночастотной сети $d = c\Delta$, км, c - скорость света	67,2	33,6	16,8	8,4	16,8	8,4	4,2	2,1

Таблица 6.3.

Скорость передачи информации при различных видах модуляции

Вид моду- ляции	Относитель- ная скорость кода	Сигнал/шум, дБ		Полезная скорость, Мбит/с			
		Стацио- нарная антенна	Мобиль- ная антенна	1/4	1/8	1/16	1/32
4-ФМн	1/2	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
4-ФМн	2/3	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
4-ФМн	3/4	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
4-ФМн	5/6	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
4-ФМн	7/8	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
16-КАМн	1/2	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
16-КАМн	2/3	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
16-КАМн	3/4	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
16-КАМн	5/6	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16-КАМн	7/8	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-КАМн	1/2	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
64-КАМн	2/3	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13

64-КАМн	3/4	18,6	21,7	22,39	24,88	26.35	27.14
64-КАМн	5/6	20,0	25,3	24,88	27,65	29.27	30,16
64-КАМн	7/8	21.0	27,9	26,13	29.03	30.74	31.67

В каждом символе COFDM для режимов модуляции 8К и 2К выделяется, соответственно, 769 и 193 опорных несущих (пилот-сигналов), которые по сравнению с остальными несущими передаются с повышенной на 2,5 дБ мощностью. Часть опорных несущих имеют постоянные положения на оси частот, а положения остальных опорных несущих изменяются от одного символа COFDM к другому. Пилот-сигналы используются для синхронизации тактовых частот демодулятора и модулятора, кадровой синхронизации, контроля состояния канала и других целей. Особый пилот-сигнал служит для передачи информации о режиме работы, параметрах защитных интервалов и сверточного кодирования, способе модуляции несущих. При этом кадр содержит все необходимые сигналы для синхронизации демодулятора. Поэтому длительность задержки начала приема, например, после переключения каналов, не превышает длительности одного кадра.

6.2.1. Обработка сигналов в передающей части системы DVB-T

Для обеспечения совместимости устройств различных производителей, стандарт определяет параметры цифрового модулированного радиосигнала и описывает преобразования данных и сигналов в передающей части системы цифрового наземного телевизионного вещания представленной на рис.6.1. Отличительной особенностью DVB-T как контейнера для передачи транспортных пакетов MPEG-2 является гармоничное сочетание системы канального кодирования и способа модуляции OFDM.

Передаваемая информация (сигналы изображения, звукового сопровождения, графическая и другая служебная информация) проходит уплотнение и кодирование (каждый вид отдельно) в кодере стандартов MPEG-2/MPEG-4. Далее способом мультиплексирования создается программный поток, в который входят и видеосигнал, и сигнал звукового сопровождения, а так же, при необходимости, графическая информация.

Дальнейшее объединение нескольких программных потоков формирует транспортный поток MPEG-2/4, который затем разделяется на два составляющих транспортных потока. Обработка первого из них обеспечивает повышенную помехозащищенность, а второго — повышенную скорость передачи. На выходе кодера потоки опять объединяются, Полученный транспортный поток разбивается на пакеты по 188 байтов. Первый байт в пакете является синхронизирующим и всегда имеет двоичное значение 01000111, что соответствует числу 47 в шестнадцатеричном виде. Для упрощения распознавания пакетов они разделены на группы по восемь

пакетов. Синхронизирующий байт первого пакета каждой группы инвертирован - 10111000 (В8Н).

В дальнейшем обработка информации происходит в канальном кодере **OFDM (ортогонального частотного мультиплексирования)**. Сначала сигнал проходит узел рандомизации, где преобразуется в квазислучайный. Для этого цифровой сигнал складывается по модулю 2 с двоичной псевдослучайной последовательностью, вырабатываемой специальным генератором. Такая операция устраняет последовательности единичных или нулевых символов, а также выравнивает спектр сигнала.

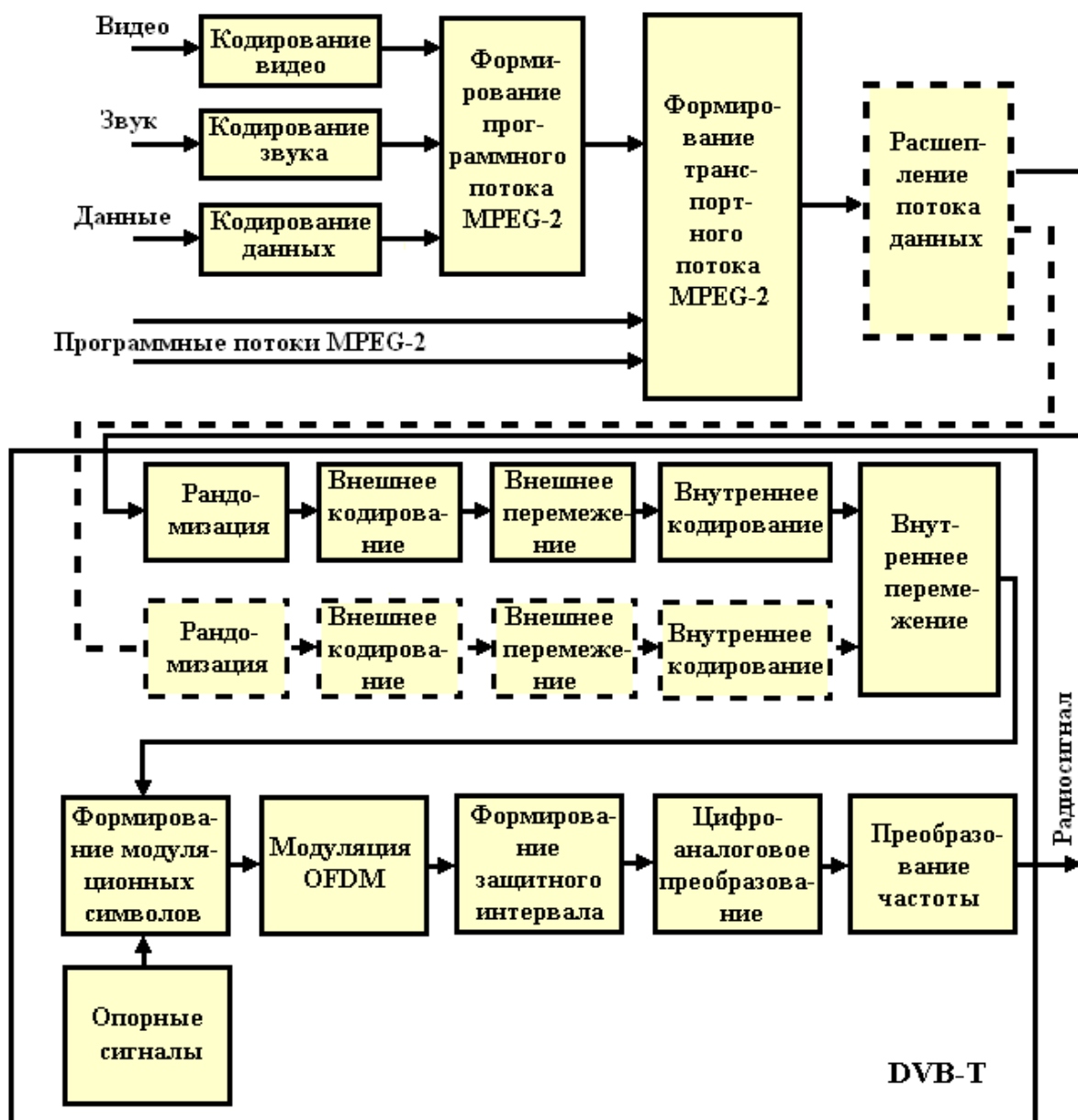


Рис.6.1. Структурная схема передающей части системы DVB-T

Рандомизации предшествует операция адаптации цифрового потока, представляющего собой последовательность транспортных пакетов MPEG-2 (рис.6.2). Пакеты, имеющие общую длину 188 байтов объединяются в группы по восемь пакетов. Синхробайт первого пакета группы инвертируется, образуя число 10111000 (В8Н). Собственно рандомизация

осуществляется посредством логической операции "исключающее ИЛИ" (XOR) цифрового потока данных и двоичной псевдослучайной последовательности PRBS (Pseudo Random Binary Sequence).

Генератор последовательности PRBS построен на базе 15-разрядного регистра сдвига, охваченного цепью обратной связи (рис.6.3). Для того, чтобы формируемая последовательность лишь походила на случайную и в приемнике можно было бы восстановить передаваемые данные, в начале каждого восьмого пакета производится инициализация генератора PRBS путем загрузки в него числа **100101010000000**. Первый после инициализации бит псевдослучайной последовательности PRBS складывается с первым битом первого байта транспортного потока, следующего за инвертированным байтом синхронизации. Байты синхронизации транспортных пакетов не должны рандомизироваться. Чтобы не усложнять конструкцию генератора PRBS его работа не прекращается во время всех восьми пакетов, но в интервале синхробайтов сложение с псевдослучайной последовательностью не производится (для этого используется сигнал разрешения) и синхробайты остаются нерандомизированными. Таким образом, длительность псевдослучайной последовательности оказывается равной 1503 байтам ($187+188 \times 7=1503$)

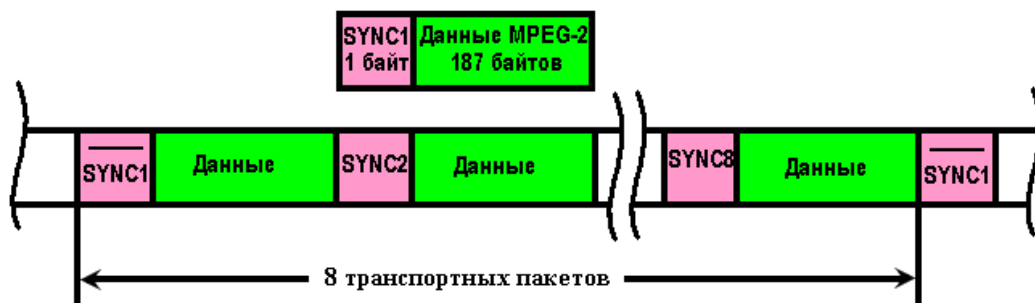


Рис.6.2. Адаптация транспортных пакетов MPEG-2

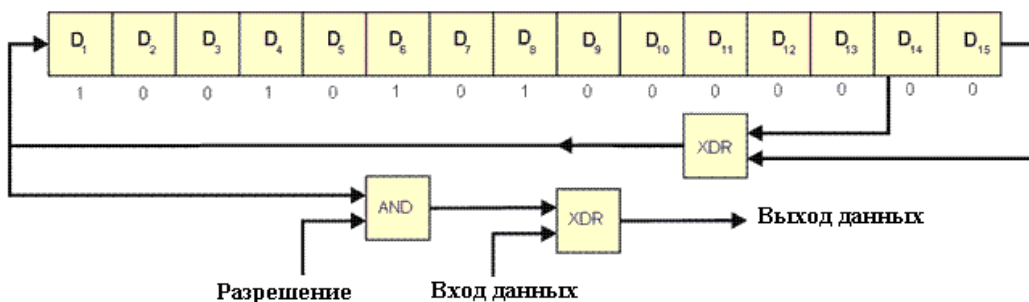


Рис.6.3. Рандомизатор данных

Восстановление исходных данных на приемной стороне осуществляется с помощью такого же генератора PRBS, который инициализируется в начале каждой группы из восьми пакетов

адаптированного транспортного потока (на начало группы указывает инвертированный синхробайт пакета).

Внешнее кодирование и перемежение. В системе внешнего кодирования для защиты всех 188 байтов транспортного пакета (включая байт синхронизации) используется код Рида-Соломона. В процессе кодирования к этим 188 байтам добавляется 16 проверочных байтов (рис.6.4). При декодировании на приемной стороне это позволяет исправлять до восьми ошибочных байтов в пределах каждого кодового слова длиной 204 байта.



Рис.6.4. Формирование пакетов данных с защитой от ошибок с памятью внешнего кода Рида-Соломона RS (204, 188)

Внешнее перемежение осуществляется путем изменения порядка следования байтов в пакетах, защищенных от ошибок. Перемежение устраняет возникновение длинных пакетных ошибок от шумов и помех в канале связи. Это связано с тем, что искаженные помехами соседние пакеты данных после обратного перемежения в приемнике разносятся по разным кодовым словам. Поэтому в каждое кодовое слово попадает лишь малая часть пакетной ошибки, с которой легко справляется система обнаружения и исправления ошибок в декодере Рида-Соломона.

В стандарте DVB 204-байтные помехозащищенные блоки данных в устройстве внешнего перемежения распределяются по 12-ти последовательным блокам данных. На рис. 6.5. представлена структурная схема внешнего перемежителя-деперемежителя, которая состоит из 12 сдвиговых регистров и пары коммутаторов, которые синхронно, с частотой следования байт, подключают регистры к входному и выходному потокам. Регистры сдвига имеют емкость памяти 17 байт, при этом каждый последующий регистр хранит на $N = 17$ байт больше, чем предыдущий. Задержки в ветвях перемежения выбраны таким образом, чтобы во всех положениях 12-позиционного коммутатора суммарная задержка перемежителя - деперемежителя была равна $12 \times 17 = 204$ байтов. Это совпадает с длиной кодового слова, в которое превращается пакет данных после кодирования в кодере Рида-Соломона.

При выполнении прямого перемежения первый регистр нулевой ветви используется для прямой (без задержки) передачи синхробайта. Далее с приходом каждого очередного байта коммутаторы циклически

переключаются на следующий регистр, причем после 12 -го регистра ключ возвращается в исходное состояние — к нулевому регистру, и все операции начинаются заново. На приемной стороне в деперемежителе все операции выполняются в обратном порядке (рис. 6.5).

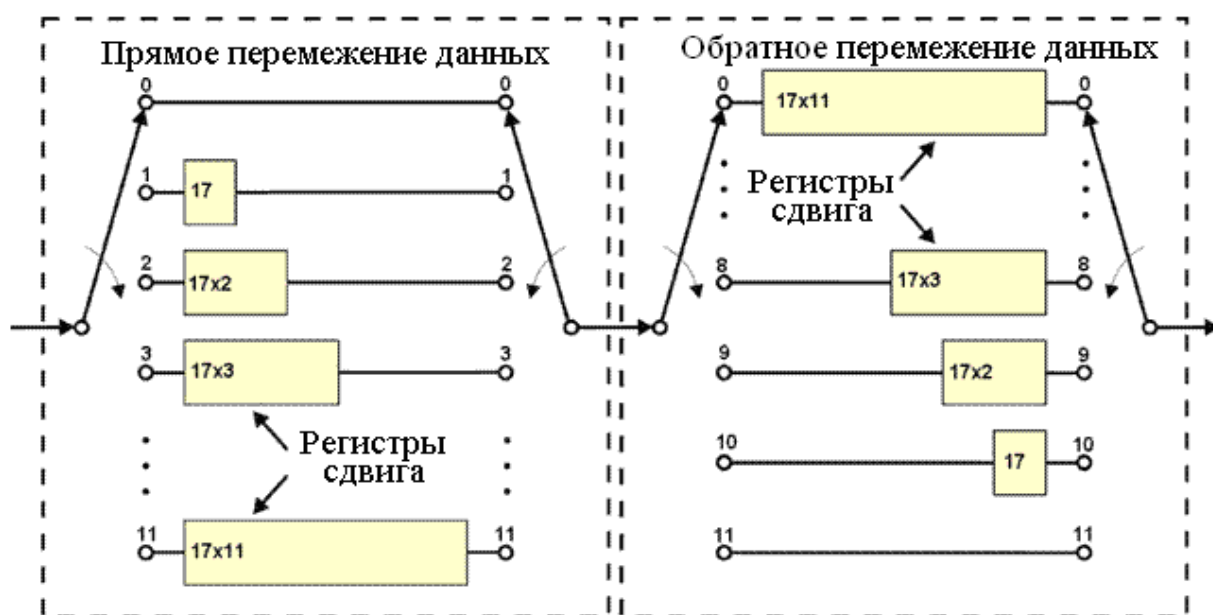


Рис.6.5. Внешнее перемежение данных

При этом в выходной последовательности присутствует по 17 байт каждого из блоков. Так, например, после обработки 12-го блока выходная последовательность из 204 символов имеет следующий вид:

1 ₁₂	2 ₁₁	3 ₁₀	4 ₉	5 ₈	6 ₇	7 ₆	8 ₅	9 ₄	10 ₃	11 ₂	12 ₁
13 ₁₂	14 ₁₁	15 ₁₀	16 ₉	17 ₈	18 ₇	19 ₆	20 ₅	21 ₄	22 ₃	23 ₂	24 ₁
25 ₁₂	26 ₁₁	27 ₁₀	28 ₉	29 ₈	30 ₇	31 ₆	32 ₅	33 ₄	34 ₃	35 ₂	36 ₁
37 ₁₂	38 ₁₁	39 ₁₀	40 ₉	41 ₈	42 ₇	43 ₆	44 ₅	45 ₄	46 ₃	47 ₂	48 ₁
49 ₁₂	50 ₁₁	51 ₁₀	52 ₉	53 ₈	54 ₇	55 ₆	56 ₅	57 ₄	58 ₃	59 ₂	60 ₁
61 ₁₂	62 ₁₁	63 ₁₀	64 ₉	65 ₈	66 ₇	67 ₆	68 ₅	69 ₄	70 ₃	71 ₂	72 ₁
73 ₁₂	74 ₁₁	75 ₁₀	76 ₉	77 ₈	78 ₇	79 ₆	80 ₅	81 ₄	82 ₃	83 ₂	84 ₁
85 ₁₂	86 ₁₁	87 ₁₀	88 ₉	89 ₈	90 ₇	91 ₆	92 ₅	93 ₄	94 ₃	95 ₂	96 ₁
97 ₁₂	98 ₁₁	99 ₁₀	100 ₉	101 ₈	102 ₇	103 ₆	104 ₅	105 ₄	106 ₃	107 ₂	108 ₁
109 ₁₂	110 ₁₁	111 ₁₀	112 ₉	113 ₈	114 ₇	115 ₆	116 ₅	117 ₄	118 ₃	119 ₂	120 ₁
121 ₁₂	122 ₁₁	123 ₁₀	124 ₉	125 ₈	126 ₇	127 ₆	128 ₅	129 ₄	130 ₃	131 ₂	132 ₁
133 ₁₂	134 ₁₁	135 ₁₀	136 ₉	137 ₈	138 ₇	139 ₆	140 ₅	141 ₄	142 ₃	143 ₂	144 ₁
145 ₁₂	146 ₁₁	147 ₁₀	148 ₉	149 ₈	150 ₇	151 ₆	152 ₅	153 ₄	154 ₃	155 ₂	156 ₁
157 ₁₂	158 ₁₁	159 ₁₀	160 ₉	161 ₈	162 ₇	163 ₆	164 ₅	165 ₄	166 ₃	167 ₂	168 ₁
169 ₁₂	170 ₁₁	171 ₁₀	172 ₉	173 ₈	174 ₇	175 ₆	176 ₅	177 ₄	178 ₃	179 ₂	180 ₁
181 ₁₂	182 ₁₁	183 ₁₀	184 ₉	185 ₈	186 ₇	187 ₆	188 ₅	189 ₄	190 ₃	191 ₂	192 ₁
193 ₁₂	194 ₁₁	195 ₁₀	196 ₉	197 ₈	198 ₇	199 ₆	200 ₅	201 ₄	202 ₃	203 ₂	204 ₁

где, нижний индекс показывает привязку к соответствующему блоку. Причем, в перемеженных блоках **синхробайты (прямые и инверсные) остаются на своих позициях.**

Внутреннее кодирование. Следующим за байтовым перемежителем функциональным блоком канального кодера является *внутренний сверточный кодер*, рассчитанный на пять скоростей: $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$ и $7/8$.

В системе вещания DVB-T внутреннее кодирование основано на блоковом кодировании. При блоковом кодировании поток информационных символов делится на блоки фиксированной длины, к которым в процессе кодирования добавляется некоторое количество проверочных символов, причем каждый блок кодируется независимо от других. При сверточном кодировании поток данных также разбивается на блоки, но гораздо меньшей длины, их называют "**кадрами информационных символов**". Обычно кадр включает в себя лишь несколько битов. К каждому информационному кадру также добавляются проверочные символы, в результате чего образуются кадры кодового слова, но кодирование каждого кадра производится с учетом предыдущих информационных кадров. Для этого в кодере всегда хранится некоторое количество кадров информационных символов, доступных для кодирования очередного кадра кодового слова (количество информационных символов, используемых в процессе сверточного кодирования, часто называют "длиной кодового ограничения"). Формирование кадра кодового слова сопровождается вводом следующего кадра информационных символов. Таким образом, процесс кодирования связывает между собой последовательные кадры.

Как было уже сказано выше, скорость внутреннего кода, или отношение числа символов в информационном кадре к общему числу символов, передаваемых в одном кодовом кадре, может изменяться в соответствии с условиями передачи данных в канале связи и требованиями к скорости передачи данных. Чем выше скорость кода, тем меньше его избыточность и тем меньше его способность исправлять ошибки в канале связи.

В системе DVB-T внутреннее кодирование с изменяемой скоростью строится с использованием базового кодирования со скоростью $1/2$. Основу базового кодера представляют собой два цифровых фильтра, выходные сигналы которых X и Y формируются путем сложения по модулю 2 сигналов, снятых с разных точек линии задержки в виде регистра сдвига из шести триггеров (рис.6.6). Входные данные последовательно вводятся в регистр сдвига, а из выходных сигналов фильтров после преобразования в последовательную форму создается цифровой поток, в котором биты следуют друг за другом в два раза чаще, чем на входе (скорость такого кода равна $1/2$, так как на каждый входной бит приходится два выходных).

В режимах с большей скоростью кодирования передается лишь часть генерируемых сигналов X и Y (передаваемые сигналы и их порядок приведены в таблице рис.6.6,в). Например, при скорости $2/3$ 2 входных бита

преобразуются в 3-х битную выходную последовательность X_1, Y_1, Y_2 , а X_2 вычеркивается, так как $X:10, Y:11$ (рис.6.6,в). При максимальной скорости внутреннего кода, равной $7/8$, семи входным битам соответствуют восемь выходных $X_1, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, X_5, Y_6, X_7$, так как $X:1000101, Y:1111010$.

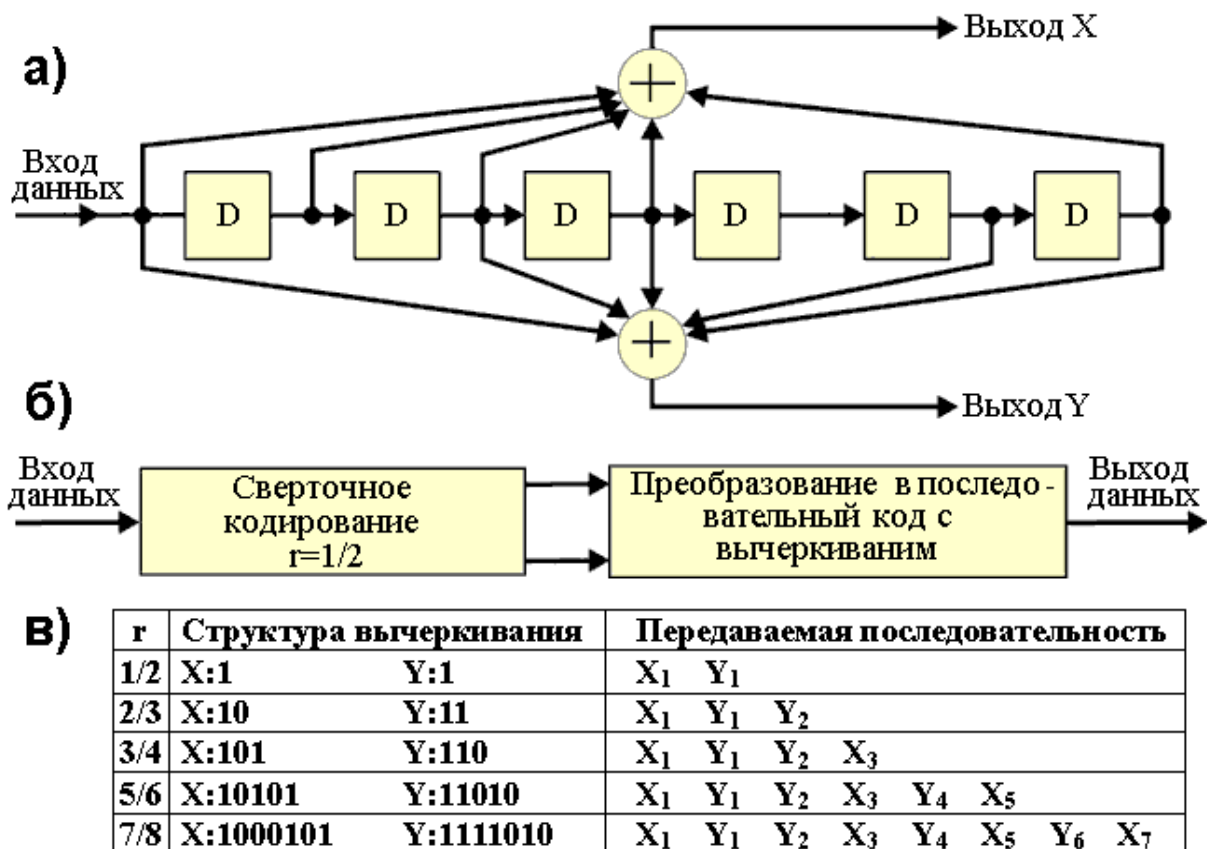


Рис.6.6. Внутреннее кодирование (а - сверточное кодирование со скоростью $r=1/2$, б - кодирование с вычеркиванием, в - таблица кодирования)

Внутреннее перемежение и формирование модуляционных символов в системе DVB-T тесно связано с модуляцией несущих колебаний. Внутренний перемежитель расположен на входе единого тракта обработки данных, следующего за двумя параллельными подсистемами кодирования (рис.6.1). Внутренний перемежитель состоит из перемежителя битов и следующего за ним перемежителя символов. Структура внутреннего перемежителя зависит от выбранных иерархического режима и схемы модуляции и определяют перемешивание данных, которые модулируют разные несущие колебания. Это довольно сложный процесс, но именно он является основой принципов модуляции OFDM в системе DVB-T. Его первым этапом является демультимплексирование входного потока данных после чего следует формирование модуляционных символов.

Демультимплексирование. В цифровом телевидении отдельные несущие могут модулироваться с использованием квадратурной фазовой манипуляции (QPSK - Quaternary Phase Shift Keying) или квадратурной амплитудной модуляции (QAM - Quadrature Amplitude Modulation). При таких способах модуляции, сигналы, модулирующие несущую, являются

многоуровневыми и представляют собой последовательности многопозиционных символов, которые называются "модуляционными". В способе QPSK модулирующий сигнал представляет собой последовательность четырехпозиционных символов, выбираемых из алфавита с четырьмя двухразрядными двоичными словами (**00, 01, 10, 11**), которые определяют фазу модулированного колебания. Для формирования таких символов входной последовательный поток битов надо распределить или демультиплексировать на два субпотока. При этом в каждом субпотоке тактовая частота будет в два раза меньше, чем на входе (рис.6.7,а). Для 16-позиционной квадратурной амплитудной модуляции (16-QAM) модуляционные символы, определяющие фазу и амплитуду модулированного колебания, формируются в виде 4-разрядных двоичных слов. В этом случае входной поток демультиплексируется на четыре субпотока (рис.6.7,б). Соответственно при использовании модуляции 64-QAM модуляционные символы представляют собой 6-разрядные слова, поэтому входной поток демультиплексируется уже на шесть субпотоков.

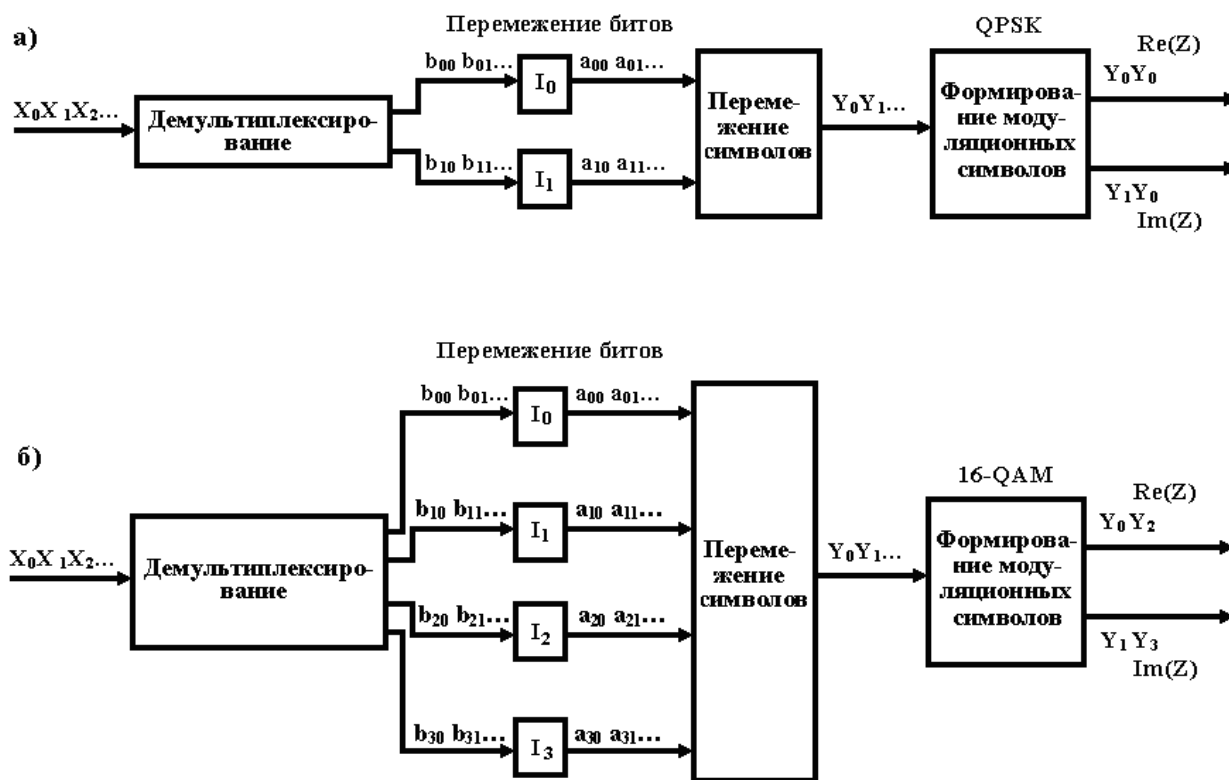


Рис.6.7. Внутреннее перемежение и формирование модуляционных символов (а - QPSK, б - 16-QAM)

Таким образом входной поток данных демультиплексируется на V субпотоков ($V=2$ для QPSK, $V=4$ для 16-QAM, $V=6$ для 64-QAM). Поток битов $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots$ преобразуется в последовательность слов из V разрядов (рис.6.7). При использовании QPSK два последовательно передаваемые бита x_0 и x_1 преобразуются в параллельный двух разрядный код символов, состоящее из битов $b_{0,0}$ и $b_{1,0}$, а следующие биты x_2 и x_3 - в слово $b_{0,1}$ и $b_{1,1}$ и т.д.

При модуляции 16-QAM последовательный поток входных битов преобразуется уже в 4-разрядные слова параллельной кода: $x_0 - b_{0,0}$, $x_1 - b_{2,0}$, $x_2 - b_{1,0}$, $x_3 - b_{3,0}$, и т.д. А при использовании 64-уровневой модуляции (64-QAM) используется 6 разрядный параллельный код, что позволяет в 6 раз снизить скорость передачи данных в канале связи.

Перемежение битов представляет собой блочный процесс, производимый в пределах фиксированной области данных состоящей из 126 битов субпотока (рис.6.7). Каждый из перемежителей производит перестановку бит внутри блока:

$$B_i = (b_{i,0}, b_{i,1}, b_{i,2}, \dots, b_{i,125}),$$

состоящего из 126 бит, в результате чего формируется перемеженный блок:

$$A_i = (a_{i,0}, a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,125})$$

Перемежению битов подвергаются только полезные данные, которых в каждом субпотоке их максимально 6 (2 для QPSK, 4 для 16-QAM и 6 для 64-QAM). При этом для каждого типа модуляции перемежение производится по своему правилу. Кроме того правила перестановки битов ($w = 0, 1, \dots, 125$), по которым производится вычисление индекса бита выходного массива, для каждого перемежителя субпотока имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} I_0: H_0(w) &= w; \\ I_1: H_1(w) &= (w + 63) \bmod 126; \\ I_2: H_2(w) &= (w + 105) \bmod 126; \\ I_3: H_3(w) &= (w + 42) \bmod 126; \\ I_4: H_4(w) &= (w + 21) \bmod 126; \\ I_5: H_5(w) &= (w + 84) \bmod 126, \end{aligned}$$

где, $\bmod 126$ означает, что данная целочисленная операция совершается по модулю 126. Таким образом, для субпотока $I_0: H_0(w)=w$, перестановка отсутствует, а для перемежителя 5-го субпотока I_4 перестановка выполняется в соответствии с функцией $I_4: H_4(w) = (w + 21) \bmod 126$. Например, в пятом перемежителе (I_4) 120-й бит блока А берется из блока В с позиции:

$$H_4(w) = (w + 21) \bmod 126 = (120 + 21) \bmod 126 = 141 - 126 = 15.$$

Для реализации одного перемежителя требуется три области памяти размером по 126 бит. При этом в первой области формируется очередной блок В, во второй — производится формирование блока А из предыдущего блока В, расположенного, в свою очередь, в третьей области. Таким образом, общий объем памяти, требуемый для реализации всех битовых перемежителей, составляет $6 \times 126 \times 3 = 2\,268$ бит (примерно 284 байта).

Для образования цифрового символ данных OFDM выходы устройств перемежения субпотоков объединяются таким образом, что каждый символ из v битов (слово $y'w$, где $w = 0, 1, 2, \dots, 125$) включает в себя один бит с выхода каждого устройства, причем выход I_0 дает старший бит:

$$y'w = (a_{0,w}, a_{1,w}, \dots, a_{v-1,w}).$$

Символьный перемежитель производит по определенному правилу перестановку слов внутри блока:

$$Y' = (y'0, y'1, y'2, \dots, y'N_{\max} - 1),$$

Причем, в режиме 2k процесс битового перемежения повторяется 12 раз, в результате чего образуются пакет из $12 \times 126 = 1512$, цифровых символов данных, называемый символом OFDM. 12 групп по 126 слов образуют вектор $Y' = (y'0, y'1, \dots, y'1511)$ из 1512 цифровых символов, которые используются для модуляции 1512 несущих колебаний в интервале одного символа OFDM. При этом длительность символа OFDM обозначается как **TS**.

В режиме 8k процесс битового перемежения повторяется 48 раз, что формирует 6048 цифровых символов данных ($48 \times 126 = 6048$), используемых для модуляции 6048 несущих. Это дает вектор $Y' = (y'0, y'1, \dots, y'6047)$.

Формирование модуляционных символов. Цифровой символ данных y состоит из v битов (как и y'): $y_{q'} = (y_{0,q'}, y_{1,q'}, \dots, y_{v-1,q'})$, где q' - номер символа на выходе устройства символьного перемежения. Величины y используются для формирования модуляционных символов в соответствии с используемым способом модуляции несущих. Модуляционные символы z являются комплексными, их вещественная и мнимая части отображаются битами $u_{u,q'}$. Соответствие между битами $u_{u,q'}$ и модуляционными символами иллюстрируют диаграммы рис.6.8 (QPSK и однородная модуляция 16-QAM). Отображение производится с использованием кода Грея, поэтому соседние по горизонтали и вертикали символы отличаются только в одном бите. Следовательно, если при демодуляции происходит ошибка из-за помех и за демодулированный символ принимается соседний (такие ошибки наиболее вероятны), то это приводит к ошибке только в одном бите. При обычном двоичном коде, такие же ошибки могли бы вызвать при демодуляции ошибки сразу в нескольких битах.

Модуляционные символы в системе DVB-T являются комплексными. Например, при использовании QPSK значениям $y_{0,q'} = 0$ и $y_{1,q'} = 0$ соответствует комплексное число $z = 1 + j$ (правая верхняя точка левой диаграммы на рис.6.8,а). Значения вещественной и мнимой частей этого комплексного модуляционного символа означают, что амплитуды синфазной **I** и квадратурной **Q** компонент модулированного колебания равны 1. Это означает, что в процессе модуляции косинусоидальная (синфазная) и синусоидальная (квадратурная) составляющие складываются с одинаковыми

значениями амплитуд. Правая нижняя точка этой же диаграммы является отображением битов $y_{0,q'} = 0$ и $y_{1,q'} = -1$. Ей соответствует комплексный модуляционный символ $z=1-j$, что при равенстве значений амплитуд обеих составляющих, фаза синфазной компоненты меняется на противоположную, то есть имеет сдвиг на 180° . При этом сумма косинусоидальной и синусоидальной функций с единичными амплитудами дает гармоническое косинусоидальное колебание с амплитудой $\sqrt{2}$ и начальной фазой 45° (рис.6.8,а). Правой нижней точке соответствует колебание начальной фазой -45° . Таким образом, при переходе от верхней правой точки к правой нижней точки (рис.6.8,а) амплитуда модулированного колебания остается постоянной, а фаза изменяется на 90° , что соответствует смыслу модуляции QPSK (квадратурная фазовая манипуляция).

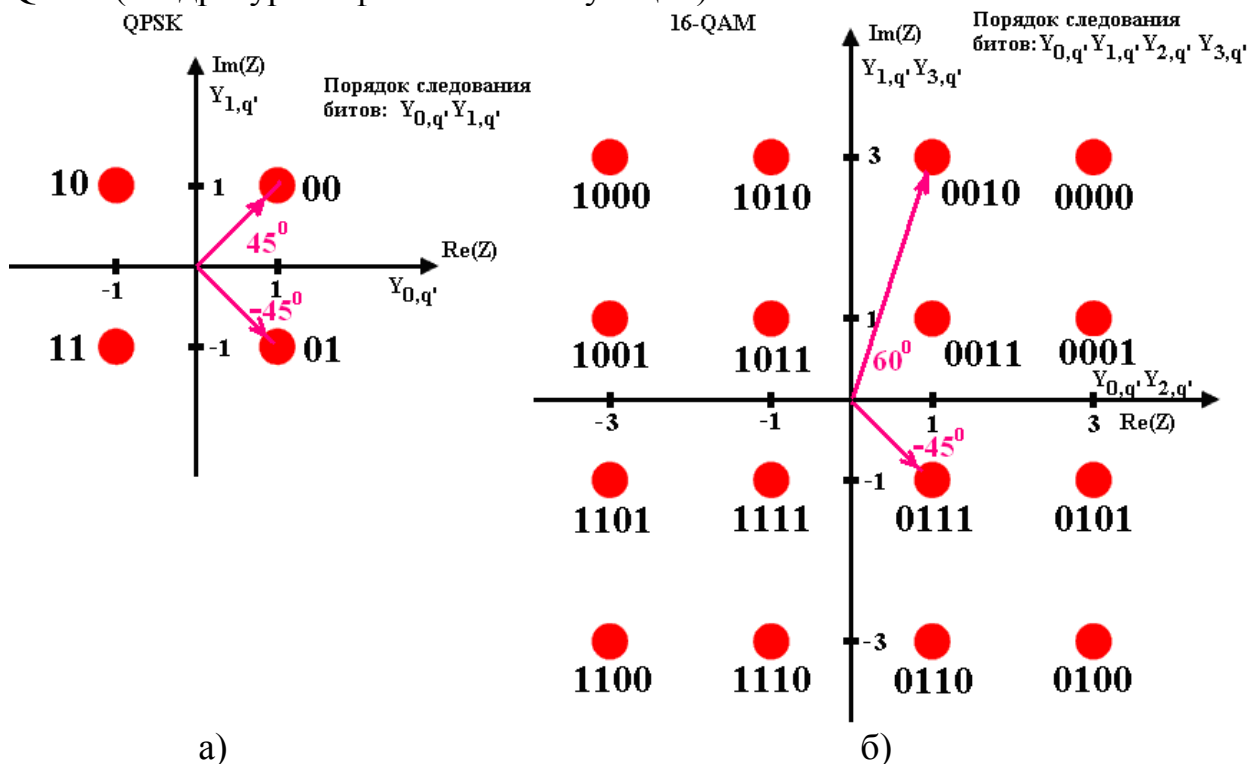


Рис.6.8. Модуляция QPSK (а) и 16-QAM (б), где $Y_{i,q'}$ обозначает биты, соответствующие комплексному модуляционному символу Z

При квадратурной амплитудной модуляции меняется и амплитуда и начальная фаза полученного при модуляции колебания. Так при использовании однородной квадратурной модуляции 16-QAM комбинации битов $y_{0,q'} = 0$, $y_{1,q'} = 0$, $y_{2,q'} = 1$, $y_{3,q'} = 0$ соответствует точка диаграммы **0010** и комплексный модуляционный символ $z=1+3j$. При этом амплитуда синфазной косинусоидальной составляющей $=1$, а квадратурной синусоидальной $=3$. Это означает получение в процессе модуляции колебания с амплитудой $\sqrt{10}$ и начальной фазой 60° . Точка диаграммы **0111**, в которую отображается комбинация битов $y_{0,q'} = 0$, $y_{1,q'} = 1$, $y_{2,q'} = 1$, $y_{3,q'} = 1$, обозначает комплексный модуляционный символ $z=1-j$, что означает получение в процессе модуляции колебания с амплитудой $\sqrt{2}$ и начальной фазой -45° .

Однако, в процессе модуляции используются не сами модуляционные символы z , а их нормированные версии c . Нормировка вводится для того, чтобы средние мощности колебаний с разными способами модуляции были бы одинаковы. Так при использовании QPSK нормированный комплексный модуляционный символ определяется как $c=z/\sqrt{2}$, при однородной модуляции 16-QAM - $c=z/\sqrt{10}$, а при неоднородной модуляции 64-QAM (с параметром $=4$) - $c=z/\sqrt{108}$.

В практической реализации модулятор OFDM представляет сложное устройство выполненное на специализированных процессорах. Дело в том, что преимущества системы OFDM проявляются при очень большом числе несущих (например, при нескольких тысячах). Однако, прямое аппаратное формирование сигнала OFDM потребовало бы несколько тысяч генераторов и модуляторов в передатчике и такого же числа детекторов в приемнике, что на практике не реализуемо. Поэтому были разработаны специальные методы и алгоритмы модуляции и демодуляции большого количества несущих частот на основе быстрого преобразования Фурье (прямого –БПФ и обратного ОБПФ). Для этой цели созданы быстродействующие процессоры в виде больших интегральных схем, реализующие прямые и обратные преобразования Фурье (БПФ и ОБПФ). Не вдаваясь в подробности математического аппарата формирования OFDM, структурная схема формирования радиосигнала OFDM представлена на рис.6.9.

Как видно из приведенной схемы, OFDM выполняется в цифровой форме при помощи быстрого обратного преобразования Фурье после чего, производится цифроаналоговое преобразование вещественной и мнимой частей комплексных модуляционных символов. В результате преобразования формируются 2 многоуровневых (квазианалоговых сигнала), которые через фильтры нижних частот поступают на квадратурный модулятор. В модуляторе синфазное I и квадратурное колебание Q умножаются на квадратурный сигнал несущей частоты выбранного телевизионного канала в диапазоне $F_0 = 47-860$ МГц. При этом косинусоидальное колебание поступает напрямую с генератора F_0 , а синусоидальное через фазовращатель 90° . Далее квадратурные составляющие складываются в сумматоре в единый сигнал и через усилитель мощности излучаются антенной.

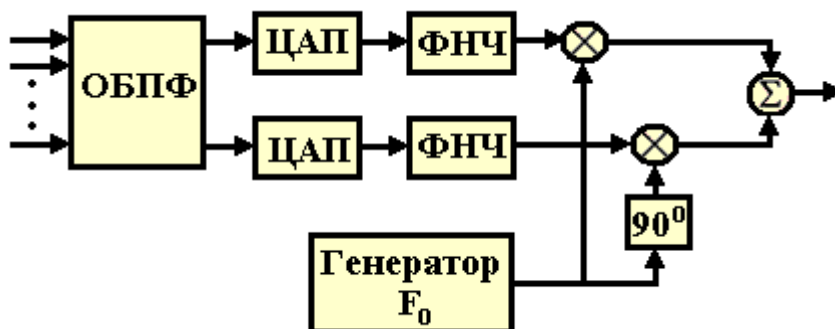


Рис.6.9. Формирование радиосигнала OFDM

В некоторых случаях в COFDM модуляторе формирование сигнала производится на более низкой фиксированной промежуточной частоте (обычно 70 МГц, но может выбираться в диапазоне 35-80 МГц), а уже затем в передатчике переносится на частоту телевизионного канала.

6.2.2. Обработка сигналов в приемной части системы DVB-T

Обработка сигналов в приемнике не регламентируется стандартом DVB-T и остается открытой. Это обстоятельство обостряет конкуренцию между производителями телевизоров и стимулирует усилия по созданию высококачественных и дешевых аппаратов. Но для того чтобы восстановить исходную аудио-видео информацию кодированную по стандарту DVB-T, необходимо при декодировании провести все ее обратные преобразования сигналов. Таким образом, примерный вариант структурной схемы приемника системы DVB-T представлен на рис.6.10.

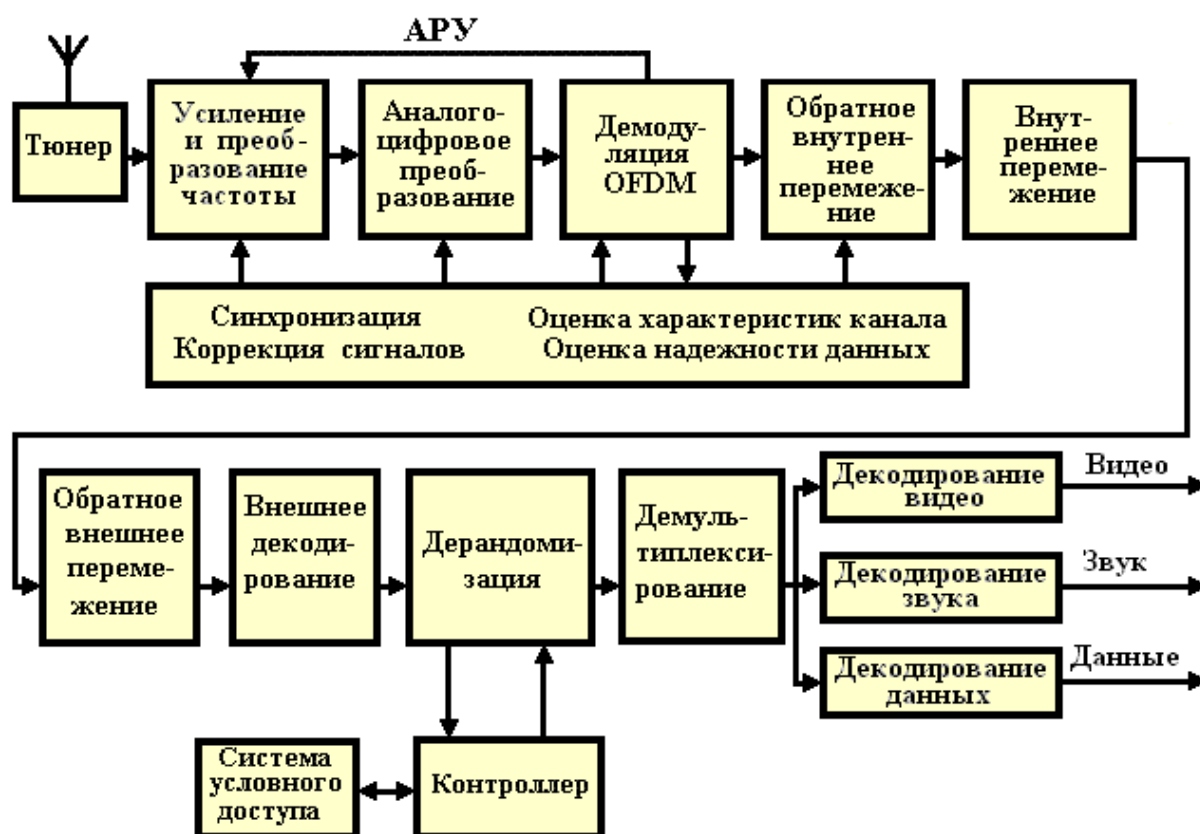


Рис.6.10. Преобразование сигналов и данных в приемнике DVB-T

В тюнере производится выделение нужного частотного канала и перенос его сигнала на промежуточную частоту (ПЧ). Затем сигнал проходит усилитель, управляемый сигналом автоматической регулировкой усиления (APУ), и преобразуется в цифровую форму с помощью АЦП. Далее выполняется квадратурная демодуляция.

В результате выделяются квадратурные составляющие, соответствующие действительной и мнимой частям сигнала COFDM. После этого производится прямое дискретное преобразование Фурье полученных квадратурных составляющих, в результате чего осуществляется полная демодуляция COFDM и формируются передаваемые символы COFDM. При этом данные с блока ДПФ используются для АРУ, а также поступают в блок синхронизации, в котором восстанавливаются несущая частота и тактовые импульсы для АЦП. Кроме того в блоке оценки характеристик канала анализируются принятые пилот-сигналы. По результатам этого анализа оценивается передаточная функция канала связи и выполняется коррекция канала при которой сигнал каждой несущей умножается на величину, обратную значению найденной передаточной функции канала для этой несущей.

Далее в блоке обратного внутреннего перемежения производится обратная раскладка битов по символам В результате получается последовательность битов, которая далее поступает на блок внутреннего декодирования, где осуществляется коррекция ошибок в декодере сверточного кода. Затем осуществляется обратное внешнее перемежение байтов для восстановления структуры данных транспортного потока MPEG-2 и коррекция ошибок в декодере Рида-Саламона. В результате восстанавливаются размеры транспортных пакетов (по 188 байтов) и исходный порядок следования байтов в пакетах.

Далее поток данных поступает на дескремблер для дерандомизации данных при которой восстанавливается исходная структура цифрового потока за счет повторного суммирования по модулю 2 сигнала с псевдослучайной последовательностью, используемую при рандомизации. После этого восстановленный транспортный поток MPEG-2/MPEG-4 поступает на демультимплексор, где из транспортного потока выбираются пакеты относящиеся к выбранной программе, и формируются элементарные потоки видео, звукового сопровождения и данных. Управление дескремблером и демультимплексором осуществляет контроллер. Демультимплексор выбирает из транспортного потока пакеты с таблицами программ (PAT) и передает их на контроллер, который обеспечивает отображение информации о программах в транспортном потоке на экране. По командам пользователя выбирается одна из программ, и данные идентификаторов пакетов (PID), относящихся к этой программе, передаются в демультимплексор, чтобы в дальнейшем выбирать эти пакеты. Вспомогательные данные к выбранной программе (субтитры и т.п.) поступают с демультимплексора на контроллер, который передает их далее на блок воспроизведения дополнительной информации.

Контроллер связан также с системой условного доступа (СУД), которая включает средства, обеспечивающие доступ пользователя к тем платным программам, за которые он заплатил. Данные для дескремблирования программ передаются в соответствующих пакетах транспортного потока. Для

дескремблирования бесплатных программ и пакетов с информацией общего пользования дополнительные данные не требуются.

Таким образом, в приемнике цифрового телевидения выбор программы осуществляется в два этапа. Сначала выбирается канал ТВ-вещания, в котором передается транспортный поток, содержащий несколько программ. Затем выбирается одна из программ в этом транспортном потоке.

Элементарные потоки видео и звука с демультимплексора поступают на соответствующие декодеры MPEG-2. На выходах видеodeкодера формируется яркостной и цветоразностные сигналы в цифровой форме в соответствии с Рекомендацией 601. Эти сигналы далее в цифровой форме или через ЦАП подаются на низкочастотные входы телевизора.

На выходах аудио декодера формируются сигналы звукового сопровождения, которые преобразуются в аналоговую форму и поступают на блоки воспроизведения звука.

6.3. Стандарт цифрового кабельного телевидения DVB-C

Поскольку кабельные линии связи представляют собой экранированные направляющие системы, то передаваемые по ним сигналы защищены от действия атмосферных и промышленных помех. Кроме того, за счет использования промежуточных усилителей в них имеется возможность поддерживать достаточно высокое значение отношения сигнал/шум (не менее 30 дБ). Поэтому с точки зрения обеспечения помехоустойчивости, система кабельного ТВ работает в более легких условиях, чем система наземного ТВ вещания. В связи с этим в цифровом кабельном телевидении, как правило, не используется внутреннее кодирование с помощью сверточных кодов. Основная задача в кабельном телевизионном вещании - обеспечить наиболее эффективное использование полосы частот, чтобы передавать по имеющимся кабельным сетям максимальное количество телевизионных программ.

С этой целью в кабельных сетях в соответствии со стандартом DVB-C вместо OFDM используется многопозиционная квадратурная амплитудная манипуляция (КАМн), принципы которой были изложены в §5.4. В настоящее время применяются 16-, 32-, 64 и 256-позиционные КАМн. Скорости передачи двоичных символов, получаемые при разных количествах позиций КАМн, приведены в табл. 6.4. Как видно из таблицы полная скорость передачи двоичных символов (третий столбец) получается умножением скорости передачи канальных символов на число битов в символе и оказывается выше скорости передачи полезных данных за счет введения дополнительных байтов при помехоустойчивом кодировании Рида-Соломона.

Сопоставляя данные последнего столбца табл.6.4 со скоростями передачи двоичных символов, необходимыми для передачи телевизионных

программ с разными уровнями качества изображения (см. § 4.4), можно оценить, сколько программ с тем или иным качеством изображения можно передать в одном канале кабельного телевидения.

Таблица 6.4

Скорости передачи данных при различных уровнях модуляции

Вид модуляции	Скорость передачи. МСимв/с	Полная скорость передачи. Мбит/с	Скорость передачи полезных данных, Мбит/с
16-КАМн	6,89	27,56	25,2
32-КАМм	6,92	34,60	31,9
64-КАМн	6,84	41,04	38,9

Обобщенная структурная схема передающей части системы DVB-C представлена на рис.6.11. В передающей части системы цифрового кабельного телевидения выполняются большая часть операции, подробно описанных в системе DVB-T.

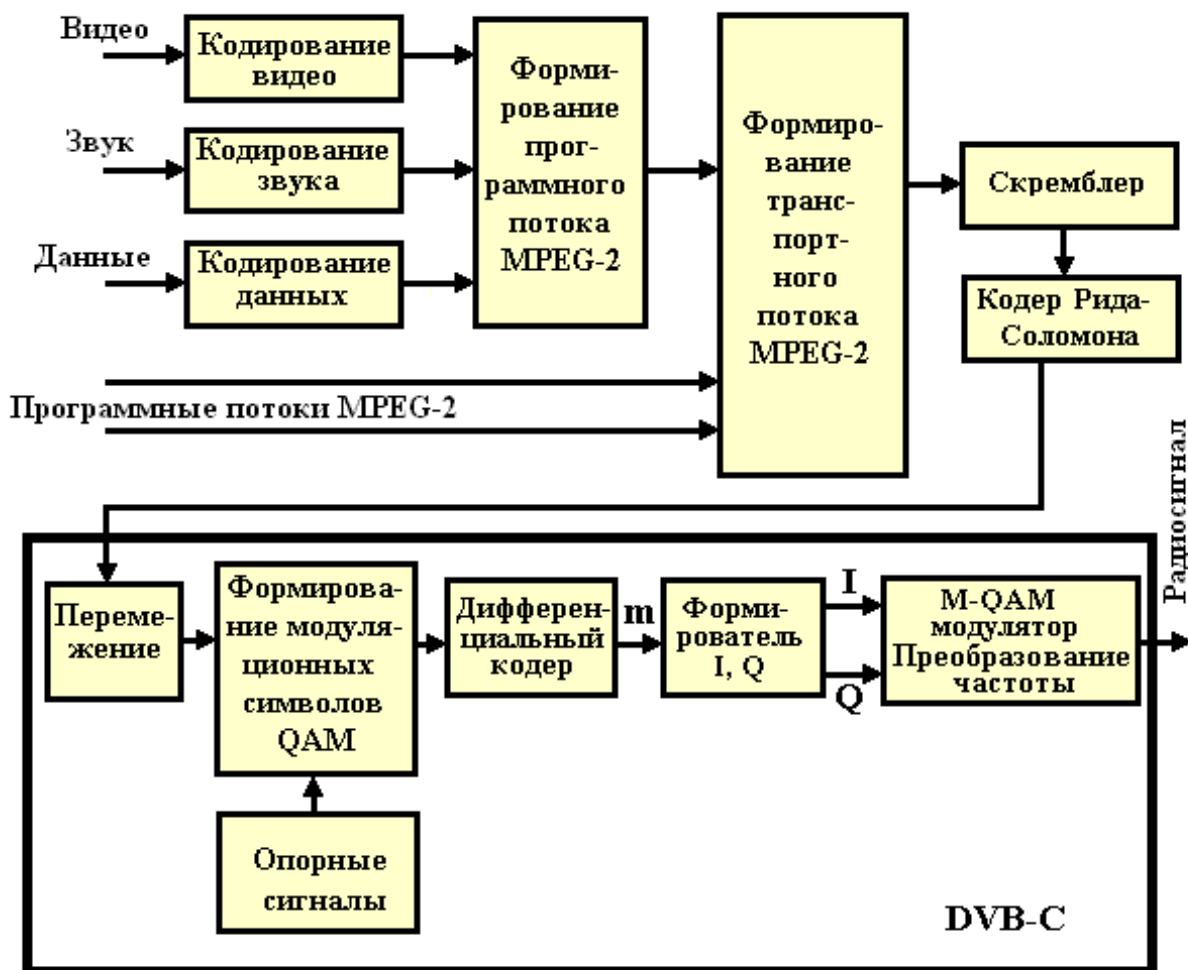


Рис.6.11. Обобщенная структурная схема передающей части системы DVB-C

При формировании транспортного потока, в соответствии с общим стандартом DVB, в него включаются элементарные потоки нескольких телевизионных программ и различные данные. Транспортные пакеты объединяются по 8. В первом пакете каждой восьмерки синхрогруппа инвертируется, то есть вместо шестнадцатеричного числа 0x47 передается 0xB8. Это необходимо для цикловой синхронизации в приемнике.

Далее производится операция **скремблирования** для защиты передаваемой программы от несанкционированного доступа и для получения более равномерного распределения мощности по ширине полосы канала связи. Скремблирование не затрагивает синхрогруппы транспортных пакетов, чтобы их можно было распознать в приемнике.

Далее производится помехоустойчивое кодирование с использованием кодов Рида-Соломона. При этом длина транспортных пакетов возрастает со 188 до 204 и перемежение байтов для защиты данных от пакетных ошибок.

Следующим шагом осуществляется преобразование передаваемых байтов в символы КАМн. Например, при использовании 64-позиционной 64-КАМн каждые 3 байта преобразуются в 4 шестибитовых символа и затем для повышения помехоустойчивости производится дифференциальное кодирование их двух старших битов.

Следующей операцией в DVB-C является преобразование символов в импульсы напряжения, подаваемые затем на модуляторы квадратурных составляющих I и Q. Чтобы ограничить спектр промоделированного сигнала, фронты и срезы импульсов сглаживаются ФНЧ. Затем в квадратурном модуляторе на промежуточной частоте осуществляется многоуровневая амплитудная квадратурная модуляция. После чего при помощи преобразования частоты спектр сигнала переносится в требуемый ТВ канал и далее сигналы через выходные усилители кабельной распределительной сети поступают на входы приемных устройств.

В приемнике должны выполняться соответствующие обратные операции. Структурная схема приемного тракта кабельного цифрового телевидения представлена на рис.6.12. Входной сигнал с кабельной линии поступает на тюнер, в котором, как в обычном телевизоре, выделяется нужный канал, и сигнал этого канала переносится на промежуточную частоту. Затем в преобразователе частоты производится дополнительное понижение частоты. Для этого используется несущая частота, восстановленная в демодуляторе КАМн или в самом блоке преобразователя частоты. Полоса частот сигнала после понижения частоты обычно составляет 3... 11 МГц.

Далее сигнал проходит управляемый усилитель, коэффициент усиления которого определяется сигналом АРУ с демодулятора. Размах сигнала при этом согласуется с диапазоном входных напряжений АЦП. Для приема сигналов 16-КАМн, 32-КАМн и 64-КАМн достаточно АЦП, имеющего 8 двоичных разрядов, а для приема 256-КАМн необходимо иметь 9 двоичных разрядов. Дискретизация производится с частотой канальных символов, т.е. около 7 МГц. Тактовые импульсы (ТИ) формируются в демодуляторе.

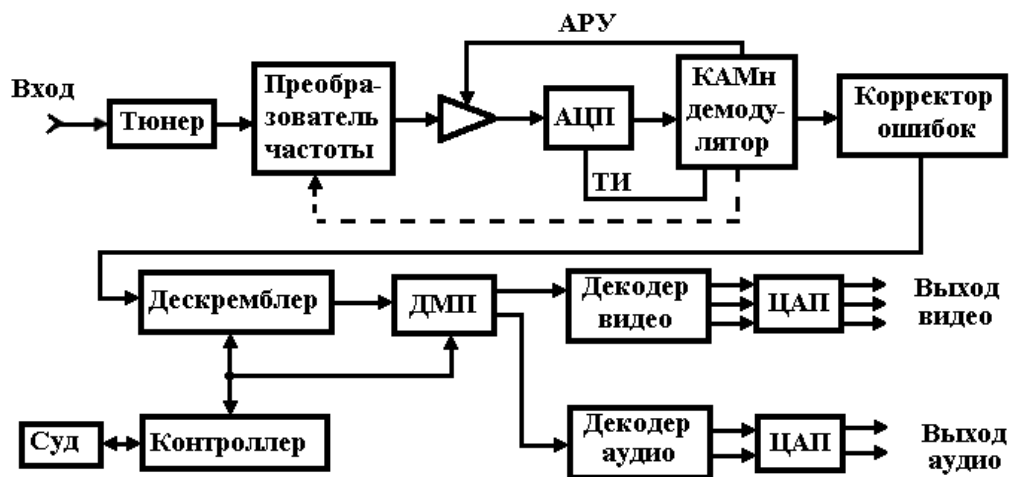


Рис.6.12. Структурная схема приемного тракта кабельного цифрового ТВ

Принцип работы демодулятора был описан в §5.4 (рис.5.6). Поступающий на демодулятор цифровой сигнал преобразуется в сигналы квадратурных составляющих I и Q , по которым восстанавливаются каналные символы. Затем из этих символов формируются байты выходного потока данных. Например, в случае 64-КАМн из 4 шестибитовых каналных символов формируются 3 выходных байта. В демодуляторе восстанавливаются частота несущей (перенесенная в диапазон ПЧ) и тактовые импульсы каналных символов, которые используются как в самом демодуляторе, так и в предшествующих блоках.

Затем поток данных поступает в блок коррекции ошибок (Корректор ошибок), в котором выполняются **деперемежение** и **декодирование кода Рида-Соломона**. В результате восстанавливаются размеры транспортных пакетов (по 188 байтов) и исходный порядок следования байтов в пакетах.

Далее поток данных поступает на дескремблер, где дескремблированный транспортный поток приходит на демультимплексор (ДМП), в котором из транспортного потока выбираются пакеты относящиеся к выбранной программе, и формируются элементарные потоки видео, звукового сопровождения и данных. Все дальнейшие операции по обработке сигналов такие же как в приемном устройстве системы DVB-T.

6.4. Стандарт цифрового спутникового телевизионного вещания DVB-S

Спутниковое ТВ вещание является самым быстрым, надежным и экономичным способом подачи ТВ сигнала высокого качества в любую точку обширной территории. Такие преимущества спутникового вещания, как малые затраты энергии на поддержание искусственного спутника Земли (ИСЗ) в заданной точке орбиты, даровой источник энергии для энергоснабжения бортового ретранслятора Солнце, незначительное влияние атмосферы и географических особенностей окружающей местности на устойчивость прохождения сигнала, обусловили широкое развитие

спутникового вещания во всем мире. В настоящее время обычно вещательные спутники размещаются на *геостационарной орбите* (ГО) круговой орбите **высотой 35 786 км** в плоскости экватора. Находясь на ГО, спутник неподвижен относительно поверхности Земли, так как вращается с той же угловой скоростью, что и Земля поэтому зона покрытия вещанием геостационарного ИСЗ около одной трети земной поверхности. В то же время современные технические средства позволяют сформировать достаточно узкий луч электромагнитной энергии, «освещающий» сравнительно небольшую часть земной поверхности. Линии пересечения земной поверхности и конического луча передающей антенны ИСЗ определяют границы *зоны покрытия* при различных диаметрах приемной антенны земной станции. При этом, чем дальше находится антенна от центра зоны, тем больше должен быть ее диаметр.

Для спутниковых каналов телевизионного вещания характерен низкий уровень промышленных помех и помех от других передатчиков, так как в этих каналах используются остронаправленные антенны. Основным фактором, создающим ошибки при приеме цифровых сигналов, является низкое отношение сигнал/шум на входе приемника, что обусловлено большим расстоянием до передатчика. В то же время ширина полосы частот спутниковых каналов связи значительно шире, чем каналов наземного и кабельного телевидения. Поэтому достижимые скорости передачи данных и канальных символов в зависимости от ширины канала связи, представлены в таблице 6.5. При этом скорость передачи полезных данных (последний столбец) зависит от параметров канального кодирования, так как при повышении избыточности сверточного кода помехоустойчивость растет, но скорость передачи полезных данных уменьшается.

Таблица 6.5.

Достижимые скорости передачи данных при различной ширине радиоканала

Ширина канала, МГц	Скорость передачи, Мсимв/с	Полная скорость передачи, Мбит/с	Скорость передачи полезных данных, Мбит/с
54	45	90	41,5... 72,6
36	30	60	27,7...48,4
33	27.5	55	25,3... 44,4
71	22.5	45	20,7... 36,3

Стандарт DVB предусматривает использование существующих каналов спутникового телевидения с шириной полосы частот 27 МГц в диапазоне частот 11...12 ГГц. В перспективе предполагается использование диапазона 20...21 ГГц с более широкой полосой частот отдельных каналов.

Для спутниковых систем ТВ вещания характерны ограниченная мощность передаваемого сигнала и, следовательно, повышенная чувствительность к воздействию шумов и интерференционных помех.

Поэтому совместное использование энергетически эффективной квадратурной фазовой модуляции QPSK, каскадного кодирования на базе укороченного кода RS и сверточного кода с алгоритмом декодирования Витерби обеспечивает высокую помехоустойчивость системы в условиях воздействия шумовых и интерференционных помех. У внутреннего кодека имеется возможность выбора одного из пяти дискретных значений кодовой скорости в диапазоне 1/2-7/8 для получения наиболее выгодного соотношения между эффективностью использования спектра и мощностью излучения.

Благодаря согласованной фильтрации и прямому исправлению ошибок высокое качество приема достигается даже в экстремальных условиях, когда уровень принимаемого сигнала близок к значениям, соответствующим пороговым значениям отношений несущая/шум и несущая/интерференционная помеха. При этом гарантируется не более одной ошибки в час, что эквивалентно вероятности ошибок около $10^{-10} \dots 10^{-11}$ на входе демультимплексора MPEG-2 в приемнике-декодере.

Система DVB-S представляет собой функциональный блок, обеспечивающий сопряжение цифрового сигнала программы ТВ вещания на выходе транспортного мультиплексора MPEG-2 с характеристиками спутникового канала. Структурная схема передающей и приемной части системы DVB-S представлена на рис.6.13.

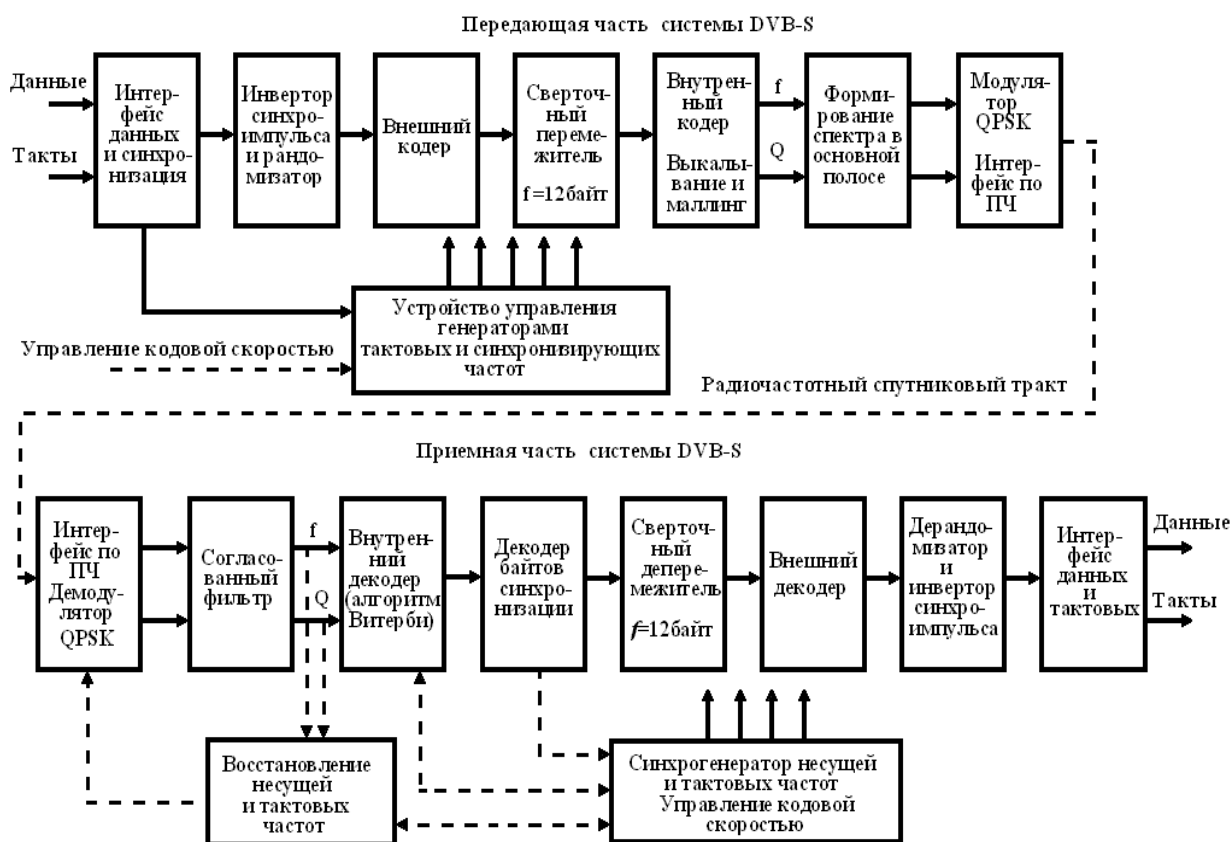


Рис.6.13. Структурная схема системы DVB-S

На передаче выполняются следующие преобразования потока данных для его адаптации к каналу:

- транспортное мультиплексирование и рандомизация для выравнивания энергетического спектра сигнала;
- внешнее кодирование с помощью кода Рида-Соломона;
- сверточное перемежение;
- внутреннее кодирование с использованием выколотого сверточного кода;
- формирование сигнала в основной полосе частот;
- модуляция.

При передаче транспортный поток данных и его такты поступают в систему через физический интерфейс. Тактовая частота из интерфейса и внешний сигнал управления кодовой скоростью используются для генерации всех необходимых тактовых и синхронизирующих частот. Подача тактовых сигналов и синхронизация передатчика производятся с использованием соответствующих управляемых генераторов.

С выхода интерфейса транспортные пакеты проходят через устройство формирования синхробайта цикла (для этого по стандарту MPEG-2 производится инверсия синхробайта каждого восьмого транспортного пакета) и далее обрабатываются в рандомизаторе, осуществляющем выравнивание энергетического спектра сигнала.

Далее рандомизированные пакеты данных кодируются во внешнем **RS**-кодере, подвергаются внешнему сверточному перемежению и поступают в блок внутреннего кодирования и модуляции. Структурные схемы и параметры рандомизатора, внешнего **RS**-кодера и внутреннего сверточного кодера идентичны таким устройствам в системе DVB-T. Однако в схеме блока внутреннего кодирования и модуляции (рис.6.14) добавлен перфоратор. Данный блоке позволяет увеличить скорость передачи пакетов данных за счет удаления избыточных проверочных символов сверточного кода, поступающего с базовой кодовой скоростью $R = 1/2$. Также в канальном кодере отсутствует внутренний перемежитель, поскольку статистические свойства ошибок спутникового канала не требуют его применения.

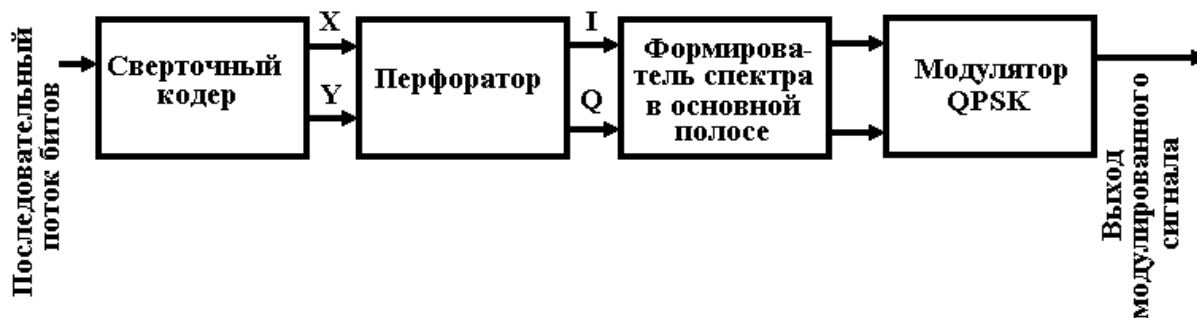


Рис.6.14. Структурная схема подсистемы кодирования и модуляции в системе DVB-S

Далее осуществляются формирование спектра сигнала в основной полосе частот и его подача на QPSK-модулятор. После чего через конечный интерфейс по промежуточной частоте 70/140 МГц обеспечивается сопряжение с высокочастотной передающей аппаратурой земной станции спутникового радиоканала.

6.5. Стандарт цифрового мобильного телевизионного вещания DVB-H

DVB-H (Digital Video Broadcast Handheld, DVB "ручной, портативный") это стандарт мобильного телевидения, утвержденный декабре 2004 г. Европейской Ассоциация по Телекоммуникационным Стандартам (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) для обеспечения уверенного приема ТВ программ на мобильные приемные устройства, установленные на автомобилях, поездах или сотовые телефоны.

При построении системы мобильного телевидения необходимо учитывать следующие особенности условий приема на мобильные терминалы:

- необходимо обеспечить прием сигналов на малогабаритные антенны портативных терминалов не только вне зданий, но и за бетонными стенами, что требует значительного увеличения плотности потока мощности (ППМ) вещательного сигнала;
- прием сигналов на терминалы установленные на автомобилях и другом транспорте может приводить к значительным доплеровским искажениям передаваемых импульсов;
- ограниченные запасы энергии источников питания мобильных терминалов.

Таким образом к системе DVB-H предъявляются следующие требования:

- экономия тока потребления аккумуляторной батареи мобильного терминала. Эта задача явилась определяющей при формировании концепции мобильного вещания;
- устойчивый мобильный прием в движении, в том числе на больших скоростях;
- возможность приема при многолучевом распространении сигнала, особенно в комнатных условиях;
- полная совместимость с уже существующими сетями DVB-T;
- согласование с возможностями мобильного приемного терминала: - уменьшенная разрешающая способность (320x240 пикселей), поскольку нет смысла на небольшом экране пытаться воспроизвести картинку с хорошим разрешением, поэтому можно передавать в 10-15 раз больше телепрограмм, чем при DVB-T.

Поэтому на физическом уровне система DVB-H максимально приближена к DVB-T. Концептуальная структура DVB-H приема представлена на рис.6.15. Однако, DVB-H имеет 4 дополнения.

Первое дополнение заключается в том, что к режимам модуляции 2К и 8К добавлен еще один — 4К. Это обеспечивает большую надежность связи при максимальной скорости передвижения приемника. При этом, чем меньшее количество ортогональных несущих используется при COFDM модуляции, тем больше частотный интервал между соседними несущими и, соответственно выше скорость движения терминала, при котором нарушается прием из-за доплеровского смещения частот. С другой стороны, уменьшение количества несущих приводит к снижению времени передачи каждого COFDM символа и соответственно защитного интервала между ними. А это снижает помехоустойчивость при многолучевом приеме и приводит к уменьшению допустимого радиуса соты. Для сетей DVB-T, рассчитанных в основном на стационарный прием, значительно более важным фактором является зона охвата. Что же касается сетей DVB-H, то в них большую значимость приобретает возможность приема на скорости перемещения приемника, а зона охвата в сильной мере ограничивается уровнем сигнала на входе тюнера. Поэтому для возможности выбора компромиссного варианта был добавлен режим модуляции 4К, трансляции в котором могут приниматься только приемниками DVB-H.

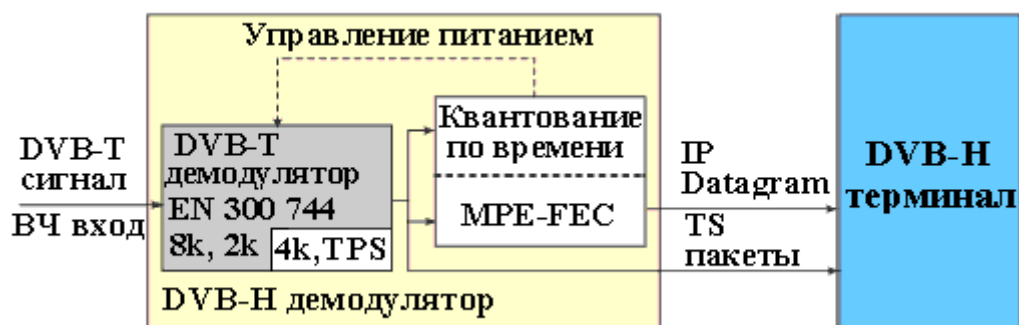


Рис.6.15. Концептуальная структура DVB-H приема

Таким образом DVB-H может работать в 3 режимах модуляции:

- 8К– для использования в одночастотных сетях (SFN) любого размера (больших, средних и малых) и допускает наличие Доплеровского сдвига по частоте при высокоскоростном приеме (т.е. прием осуществляется в движении).
- 4К – для мало- и средне-размерных SFN сетей при значительных Доплеровских частотных сдвигах. Пригоден для приема на очень высоких скоростях.
- 2К - для малоразмерных SFN сетей. Гарантирует уверенный мобильный прием при самых высоких скоростях в движении (т.е. при весьма значительных Доплеровских сдвигах по частоте).

Вторым дополнением на физическом уровне стала возможность более глубокого перемежения данных в режимах 4К и 2К. Канальное кодирование DVB-T предусматривает перемежение данных внутри одного COFDM символа. Оно в основном предназначено для компенсации селективных замираний несущих при многолучевом приеме. В то же время мобильные терминалы с большей вероятностью могут оказаться в зоне действия широкополосных импульсных помех. К тому же при приеме на скорости появляется доплеровское смещение частотного спектра, также приводящее к искажениям сигнала. Поэтому в стандартах мобильного вещания на базе COFDM (DAB, ISDB -T) для борьбы с последствиями длительных помех в цикл канального кодирования введено перемежение длинных серий данных, охватывающее десятки, а то и сотни OFDM символов. Чем длиннее последовательность данных, участвующих в перемежении, тем эффективнее оказывается борьба с последствиями затуханий. Однако для DVB-H такой подход невозможен по нескольким причинам:

- восстановление длинных последовательностей требует непрерывного приема, в то время как для целей энергосбережения в DVB-H используется импульсный режим передачи;
- для восстановления длинных последовательностей необходимы большие объемы памяти, удорожающие приемник;
- применение длинных последовательностей противоречит требованию совместимости с DVB-T.

Поэтому в DVB-H выбрано компромиссное решение. Для режима модуляции 8К, наиболее актуального для DVB-T, в DVB-H сохранено перемежение битов в рамках одного символа. А в режимах 4К и 2К, где каждый COFDM символ переносит меньшее количество информации, в качестве опции введена возможность временного перемежения, допускаемого объемами выделенной для этих целей памяти. Для 4К перемежение выполняется с глубиной в 2 COFDM символа, а для режима 2К — с глубиной в 4 COFDM символа. Однако при работе в этом режиме совместная передача трансляций DVB-H и DVB-T невозможна.

Остальные механизмы внешнего и внутреннего канального кодирования, используемые в DVB-T, без изменения перенесены в DVB-H.

Третье дополнение касается транспортной сигнализации (TPS — Transmission Parameter Signalling), в которую добавлены два бита, индицирующие наличие в потоке услуг, передаваемых в формате DVB-H, а также наличие дополнительной кодозащиты, реализуемой на базе IP дейтаграмм (пакетов данных).

Четвертым дополнением стала возможность использования полосы 5 МГц при условии, что эта она выделяется не в вещательном диапазоне. Она добавлена к полосам 6, 7 и 8 МГц, допускаемых к использованию в DVB-T. Ее планируется применять при развертывании сетей DVB-H в США в L-диапазоне (1,670-1,675 ГГц).

Следует также отметить, что для экономии потребления электроэнергии мобильным терминалом используется **принцип временного уплотнения** при котором полезная информация передается и короткими порциями с большими скоростями (например, 10 Мбит/с), после чего приемник отключается. Для качественного воспроизведения DVB-H TV услуги достаточна скорость передачи в 250 кбит/с. Таким образом, отношение времен отключения приемника и его работы составляет 40 раз ($10/0,25 = 40$), что эквивалентно экономии энергии порядка 90%.

Одним из достоинств системы DVB-H является использование для ТВ вещания маломощных передатчиков. При этом очень эффективным решением для широкомасштабного приема сигналов DVB-H может оказаться вариант **одночастотной сети** (рис.6.16). В такой сети несколько передатчиков работают на одной и той же частоте, охватывая вещанием довольно крупные районы без необходимости использования очень мощных передатчиков и высоких антенных опор. Все передатчики одночастотной сети передают идентичные сигналы и жестко синхронизированы, проще всего при помощи сигналов точного времени, получаемых с GPS спутников. Для расширения зоны покрытия и для повышения качества приема в сложных условиях (в машине или внутри зданий) могут использоваться дополнительные ретрансляторы. Такой тип сети иногда называют одночастотной сетью высокой плотности.



Рис.6.16. Вариант одночастотной сети DVB-H

Если для сигналов DVB-H может быть зарезервирован полный мультиплексированный поток, то резко возрастает гибкость в планировании сетей. Такая сеть состоит из нескольких областей одночастотных сетей, в каждой из которых используются собственные частотные назначения. Максимальный размер одной области SFN (Single Frequency Network) зависит от скорости кодирования, защитного интервала и географических особенностей сети, и, как правило, достигает порядка десятков километров. При этом, если в какой либо области SFN есть зоны где прием затруднен или невозможен, то в них может быть расположено несколько передатчиков, синхронизированных при помощи GPS. Следует отметить, что мощности

передатчиков и высоты подвеса антенн сети DVB-H меньше, чем в традиционных сетях наземного цифрового телевизионного вещания DVB-T. Поэтому для обеспечения довольно высокого уровня сигнала на входе мобильного терминала требуется большее число синхронизированных передатчиков. Такая сеть называется одночастотной сетью высокой плотности. Таким образом, стоимость такой сети будет намного выше, чем стоимость традиционных сетей наземного цифрового телевизионного вещания DVB-T. Однако, и количество услуг, предоставляемых в одном мультиплексированном потоке будет в десять раз больше.

Система DVB-H позволяет организовать совместную работу с DVB-T в одном частотном спектре (рис.6.17).



Рис.6.17. Совместное использование сети DVB-H вместе со службой DVB-T

Сеть передатчиков DVB-T обслуживает и терминалы DVB-H, и терминалы DVB-T. Однако, при этом, существующая сеть DVB-T должна быть спроектирована так, чтобы обеспечивался прием внутри зданий на портативные приемники, то есть, она должна создавать напряженность поля, достаточную для того, чтобы сигнал принимался портативными приемниками, находящимися внутри зданий в пределах целевой области обслуживания. Единственная модификация для передатчиков DVB-T будет заключаться в том, чтобы к информации TPS (Transmission Protocol Specific - специальной информации для используемого протокола передачи) передатчика были добавлены служебные биты сигналов DVB-H и биты идентификации соты (Cell ID).

Реальное совместное использование выполняется на уровне мультиплексированного потока. Система DVB-H не накладывает никаких ограничений на выбор требуемой части мультиплексированного потока для передачи информации службы DVB-H. Ключевым компонентом DVB-H в

сети является инкапсулятор IP-данных (согласователь протоколов), в котором реализуется кодирование IP-данных с функцией многопротокольного пакетирования с прямой коррекцией ошибок MPE-FEC (Multiprotocol Packaging- Forward Error Correction).

Другой возможностью обеспечить совместное использование сети является применение иерархической модуляции DVB-T. В этом случае услуги передачи сигналов MPEG-2 и сигналов DVB-H IP будут вводиться в транспортный поток независимо на отдельные входы передатчиков DVB-T. Для передачи сигналов DVB-H будет использоваться часть с наивысшим приоритетом, что повысит устойчивость относительно входного сигнала с меньшим приоритетом, который будет предназначен для обычных стационарных передач программ цифрового телевидения.

6.6. Другие стандарты цифрового телевидения

6.6.1. Американский стандарт наземного цифрового ТВ ATSC

Соединенные Штаты Америки раньше других заявили о своих планах перевода всего эфирного вещания на формат высокой четкости. Еще в середине 80-х годов 20-го века был создан Комитет по системам перспективного телевидения (ATSC — Advanced Television Systems Committee) и началась разработка систем высокой четкости, совместимых с аналоговым сигналом NTSC, в том числе и по занимаемой в эфире полосе частот. Исследования в области ТВЧ велись и в Европе, и в Японии, но только США вели разработку совместимых систем для эфирного вещания. К 1991 г. разными компаниями было предложено шесть совместимых систем, из них четыре полностью цифровые. ATSC предложил компаниям-разработчикам объединить свои усилия и создать единый стандарт, который включал бы наилучшие решения из всех проектов. Консорциум, названный Большой Альянс, представил в 1995 г. проект полностью цифрового стандарта, позволяющего передать в полосе 6 МГц, выделенной в США под единичный ТВ канал, одну программу высокой четкости с многоканальным звуковым сопровождением, субтитрами и служебной информацией.

Разработчики стандарта не смогли согласовать единый формат разложения, поэтому стандартом поддерживается 4 форматов:

- формат ТВЧ (HDTV-A с разложением 1280 x 720 пикселей);
- формат ТВЧ (HDTV-B с разложением 1920 x 1080 пикселей);
- формат телевидения стандартной четкости SDTV 704 x 480 пикселей;
- компьютерный формат VGA 640 x 480 пикселей с построчной разверткой.

Концепция системы ATSC отвечает принципу модульности. В ее структуре, основанной на рекомендациях Исследовательской группы ITU 11/3, можно выделить три подсистемы, выполняющих кодирование

источника, формирование транспортного потока, канальное кодирование и модуляцию. Целью кодирования источника является компрессия телевизионного изображения и звука. В подсистеме кодирования источника ATSC используется структура потока MPEG-2 для кодирования изображения и правила кодирования звука в стандарте Dolby5.1AC-3. При формировании транспортного потока MPEG-2 используются правил формирования пакетов данных видео, звука, служебной и дополнительной информации. Формируемые транспортные пакеты имеют фиксированную длину 188 байтов (первый из них является байтом синхронизации), которая считается оптимальной для условий передачи сигналов телевизионного вещания.

Для передачи цифровых сигналов по радиоканалам, в стандарте ATSC применен разработанный американской фирмой Zenith метод многоуровневой модуляции с частично подавленной одной боковой полосой (Vestigal Side-Band - VSB), являющийся развитием широко используемой во всех существующих системах аналогового ТВ вещания технологии амплитудной модуляции с частично подавленной боковой полосой частот.

В модуляции VSB допустим как двухпозиционный модулирующий сигнал, так и многопозиционный. При двухпозиционной передаче (рис.6.18), обозначаемой как 2-VSB, модулирующий сигнал совпадает по форме с сигналом передаваемых данных и принимает в интервале каждого символа один из двух уровней (характеристические значения его симметричны относительно нуля, например +1 и -1). Удельная скорость передачи данных, благодаря тщательной отработке системы модуляции и помехоустойчивого кодирования в ATSC составляет 1,79 (бит/с)/Гц, что близка к теоретическому пределу равному 2(бит/с)/Гц. При многопозиционной передаче характеристические значения символов располагаются симметрично относительно нуля и выбираются так, чтобы интервалы между ними были одинаковыми. Например, при восьмипозиционной передаче в системе 8-VSB (рис.6.18) модулирующий сигнал принимает в интервале символа одно из восьми значений (-7, -5, -3, -1, +1, +3, +5, +7). При этом в интервале одного символа передаются три двоичных разряда потока данных, что увеличивает в три раза удельную скорость передачи. Таким образом, в полосе частот канала 6 МГц система 8-VSB способна передавать поток данных со скоростью $1,79 \times 3 \times 6 = 32,2$ Мбит/с.

Система VSB разработана в нескольких вариантах, предусматривающих разную структуру модулирующего сигнала: 2-VSB, 4-VSB, 8-VSB, 8T-VSB, 16-VSB. Количество уровней модулирующего сигнала меняется от двух до шестнадцати, при этом соответственно изменяется и скорость передачи данных, вычисляемая как частота следования символов, умноженная на логарифм количества уровней. Чем больше количество уровней модулирующего сигнала, тем меньше помехозащищенность. Исключением из этого правила является только система 8T-VSB, в которой используется дополнительное кодирование с целью борьбы с помехами (буква T - Trellis символизирует наименование этого кодирования - решетчатый код). Скорость этого кода равна $2/3$, то есть к каждым двум

передаваемым битам добавляется один проверочный. Кодирование увеличивает помехозащищенность, но снижает скорость передачи данных, по сравнению с системой 8-VSB. Общий объем передаваемых за единицу времени полезных данных в системе 8T-VSB такой же, как в 4-VSB. Система 8T-VSB была выбрана для наземного вещания, характеризуемого сравнительно высоким уровнем помех, а 16-VSB - для кабельного цифрового телевизионного вещания.

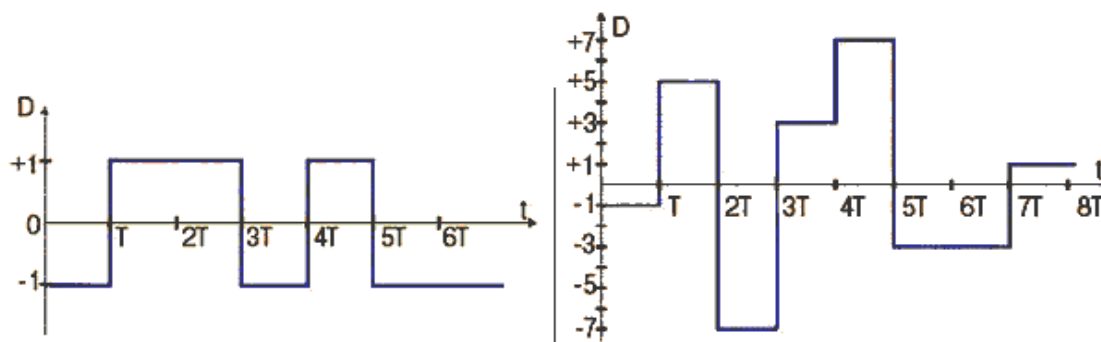


Рис.6.18. Двухпозиционный многоуровневый модулирующий сигнал VSB

Указанные методы модуляции позволили обеспечить передачу в условиях наземного телевизионного вещания потока данных с общей скоростью 19,39 Мбит/с, и параллельно двух таких потоков - в сетях кабельного телевидения. Подобной скорости достаточно для передачи одной HDTV-программы в формате MPEG-2 с коэффициентом компрессии около 50. В случае использования сигналов стандартной четкости ATSC позволяет одновременно передавать 2-3 программы.

На рис.6.19 представлена структура передающей части системы ATSC, основными элементами тракта обработки данных и сигналов в ATSC-передатчике являются: рандомизатор, кодер Рида-Соломона, перемежитель, треллисный кодер, мультиплексор, формирователь пилот-сигнала, VSB-модулятор.

На вход передатчика системы ATSC поступает транспортный поток цифровых данных, сформированный по технологии MPEG-2, который, как известно, состоит из сегментов по 188 байт каждый, причем первым байтом в сегменте является специальный синхробайт. При кодировании в ATSC этот байт удаляется, и обрабатываются лишь сегменты данных из 187 байт. Кроме этого, в ATSC введен дополнительный уровень организации данных - кадр, состоящий из двух полей (каждое поле включает в себя 312 информационных сегментов данных). Дополнительно, на этапе формирования многоуровневых модулирующих сигналов в начало каждого сегмента производится вставка специального синхросигнала сегмента (ССС), а в начало каждого поля - синхросигнала поля (ССП).

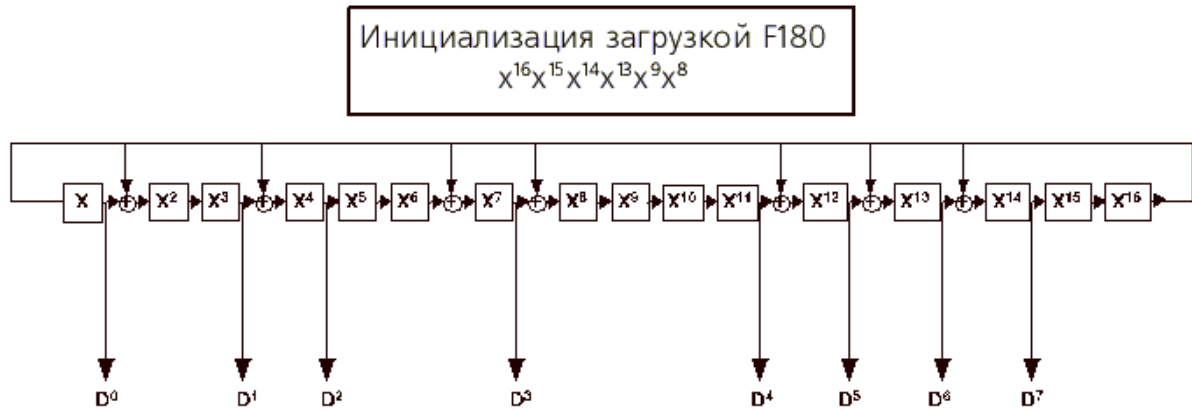


Рис.6.19. Структура передающей части системы ATSC

Первым этапом обработки цифровых данных в ATSC является операция рандомизации, обеспечивающая организованное введение "случайности" или "шумоподобности" в передаваемые данные для формирования более равномерного частотного спектра сигнала и снижения уровня возникающих помех каналам аналогового ТВ вещания. Рандомизатор представляет собой 16 разрядный регистр сдвига с 9-ю обратными связями (рис.6.20). Тактовой частотой рандомизатора является частота поступления байтов. При поступлении очередного байта данных производится сложение по модулю 2 битов этого байта с битами D0..D7 рандомизатора и сдвиг данных в регистре сдвига. Байт, полученный в результате сложения по модулю 2, используется для дальнейшей обработки в канальном кодере. Инициализация рандомизатора осуществляется первым байтом синхросегмента поля. При этом в регистр сдвига записывается число F180. Рандомизация преследует несколько целей:

1. Формирование равномерного спектра излучаемого сигнала (в этой связи рандомизацию часто называют алгоритмом рассеяния мощности);
2. Исключение постоянной составляющей в сигнале для последующего формирования пилотсигнала;
3. Для упрощения выделения ССС и ССП

Задающий полином генератора ПСП $G_{(16)} = x^{16} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^7 + x^6 + x^3 + x + 1$
 Инициализация осуществляется синхросегментом поля



Регистр сдвига синхронизируется частотой следования байтов

Рис.6.20. Рандомизатор системы ATSC

Следующим этапом обработки является блочное кодирование с помощью кода Рида-Соломона, в процессе которого к каждому сегменту из 187 исходных байт данных добавляются 20 проверочных байтов, формируемых по определенным правилам. Кодер Рида-Соломона математически рассматривает их как один блок, чтобы создать дополнительную группу проверочных данных, основываясь на полученном пакете данных. Эти 20 битов представляют собой биты четности кода Рида-Соломона. Приемник сравнивает полученный блок из 187 байтов с 20 байтами четности (всего 207), чтобы обнаружить возможную потерю данных. Если погрешности обнаружены, ресивер использует биты четности, чтобы определить точное место ошибки, изменить разрушенные биты, и восстановить первоначальную информацию. Такая система кодирования является весьма эффективной и позволяет исправлять до 10 ошибочных байтов $((207-187)/2=10)$ в каждом кодовом слове, независимо от их расположения.

Далее в ATSC производится перемежение данных внутри так называемого интерсегмента, состоящего из 52 сегментов. Скремблер, меняет порядок следования данных, и рассредоточивает MPEG-2 данные по времени (в диапазоне приблизительно 4.5 мс) с помощью буферов памяти. Этот вид обработки нацелен на борьбу с мощными импульсными помехами, как правило индустриальными. В результате воздействия таких помех при приеме могут появляться целые серии следующих друг за другом ошибочно принимаемых байтов (пакеты ошибок). Максимально допустимая длительность импульсной помехи для кода Рида-Соломона (РС) оценивается по формуле:

$$T_{PC} = t * (1/R_C) * (2n) = 10 * (1/10.762) * (2 * 2) = 3.71 \text{ мкс},$$

где, t – корректирующая способность кода $PC = 10$; R_C – частота следования символов в ATSC = 10.762 МГц; n — число информационных бит, приходящихся на модуляционный символ (для режима 8VSB $n=2$).

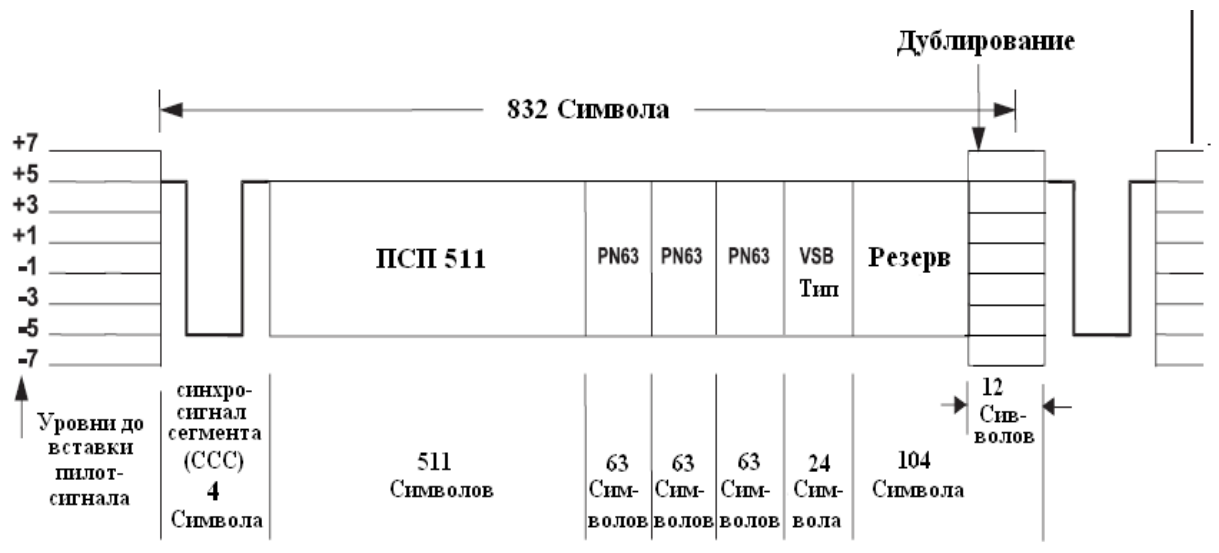
При длительности помехи превышающей значение 3.71 мкс, что часто бывает на практике, число ошибочных байтов внутри сегмента превышает корректирующую способность кода PC , и сегмент будет принят с ошибками. Поэтому для исключения таких ситуаций и вводится перемежение (перестановка) данных внутри так называемого интерсегмента, состоящего из V сегментов. В результате, при обратном перестановки в приемнике пакеты ошибок распределяются по всему интерсегменту и тем самым максимальная длительность допустимого пакета ошибок для декодера PC увеличивается в V раз. В ATSC интерсегмент состоит из 52 сегментов, что при длительности сегмента 77, 3 мкс допустимое время действия помехи увеличивается примерно до 4 мс.

На последнем этапе - треллисного (решетчатого) - кодирования, относящегося к группе сверточных кодов, каждые два бита цифрового потока трансформируются в три бита, которые и определяют, какой из восьми уровней примет модулирующий сигнал на интервале передачи этого символа. В кодере, осуществляющем решетчатое кодирование, каждое новое 2-х разрядное слово, сравнивается с прошлой хронологией предыдущих 2-х разрядных слов, и в итоге генерируется 3-х разрядный двоичный код, описывающий изменение по отношению к предыдущему 2-х разрядному слову. Эти 3-х разрядные коды заменяют первоначальные 2-х разрядные слова и передаются по эфиру как восьмиуровневые символы 8-VSB (3 бита = 2 в 3й степени = 8 комбинаций или уровней). Для каждых двух битов, которые поступили в кодер решетчатого кодирования, на выходе получается три бита. Поэтому, кодер решетки в системе 8-VSB, имеет разрядность $2/3$.

Декодер решетчатого кодирования в приемнике использует полученные 3-х разрядные коды, чтобы восстановить исходный вид потока данных, состоящего из последовательности 2-х разрядных слов. Таким образом, решетчатое кодирование отслеживает изменения от одного слова к другому во времени.

Окончательное формирование сигнала для передачи осуществляется в мультиплексоре путем добавления специального пилот-сигнала и вставки синхросигналов: вместо стандартных для MPEG-2 синхробайтов сегментов вставляются 4 элемента ССС (+5, -5, -5, +5) (рис.6.21). При этом в начало каждого поля производится вставка 2 элементов ССП (+5 и -5). Параметры синхросигналов выбраны так, чтобы обеспечить их надежное выделение при приеме стандартными корреляционными методами даже при равенстве амплитуд полезного сигнала и шума.

Кроме того, дополнительно в ССП около 100 резервных символов выделены для передачи сервисной информации и несколько — для сигнализации о режиме передачи (8-VSB или 16-VSB). Последние 12 символов ССП дублируют последние 12 символов предыдущего сегмента данных.



Для режима 8-VSB после 12 символов предыдущего сегмента дублируются последними резервными символами синхросегмента поля (ССП)

Рис.6.21. Структура сигнала передачи системы ATSC.

Изначально система ATSC была ориентирована на передачу сигналов HDTV с заданной помехоустойчивостью, но ширина полосы частот такого сигнала слишком большая, чтобы его можно было передать по стандартному каналу шириной в 6 МГц. Однако есть возможность отфильтровать большую часть этого спектра без повреждения той цифровой информации, которая передается. Боковые разных порядков являются просто уменьшенными копиями центрального спектра, и весь участок нижней боковой полосы является зеркальным отображением верхней боковой полосы. Это дает возможность, не использовать почти всю нижнюю боковую полосу и все гармоники в верхней боковой полосе. Оставшийся сигнал (верхняя половина центрального спектра) может быть урезана на половину на основании Теории Найквиста, из которой следует, что необходима только половина ширины полосы частот, чтобы передать цифровой сигнал на заданной частоте следования данных. Фильтрация боковых полос спектра сигнала осуществляется с помощью фильтра Найквиста.

После фильтра Найквиста, 8-VSB сигнал преобразовывается традиционным способом в высокочастотный сигнал Метрового или дециметрового диапазона. Выходной сигнал 8-VSB модулятора идет на DTV-передатчик, где фильтруется с целью подавления любых паразитных сигналов, выходящих за полосу канала, и вызванных различными нелинейностями передатчика

При приеме декодирование сигналов ATSC производится по всей описанной цепочке алгоритмов в обратном порядке и обеспечивает получение на выходе декодера стандартного цифрового потока данных, сжатых по технологии MPEG-2.

6.6.2. Японский стандарт цифрового телевидения ISDB

Концепция цифрового вещания с интеграцией служб ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting), которая является общей для наземных, спутниковых и кабельных систем, была предложена компанией NHK (Япония).

Система ATSC была разработана с целью формирования и передачи потока данных телевидения высокой четкости в условиях наземного телевизионного вещания и в сетях кабельного телевидения. DVB сейчас представляет собой семейство имеющих общее ядро систем, предназначенных для передачи данных во всех сферах цифрового телевидения: в спутниковом, кабельном и наземном цифровом телевизионном вещании и в системах распределения цифровых телевизионных сигналов для разных частотных диапазонов. Цель японской системы ISDB - интеграция разнообразных служб телевизионного вещания. Дело в том, что по замыслу разработчиков телевизор будущего должен представлять собой информационный терминал, интегрирующий приемники наземного, спутникового и кабельного телевидения, монитор высокой четкости, компьютер с памятью большого объема, аппаратуру обработки аудио и видео сигналов, интерфейсы линий коммуникаций. Поэтому ISDB будет использоваться для цифрового телевидения стандартной и высокой четкости, для цифрового радиовещания, а также для передачи сигналов цифрового телевидения и радиовещания в разнообразных комбинациях и в сочетании с текстом, статическими изображениями, графикой и другими данными, такими, например, как компьютерные программы.

В техническом исполнении системы ISDB и DVB имеют много общего. В обеих системах используется система компрессии MPEG-2 применяемая для сжатия цифрового видеосигнала стандартной и высокой четкости, что приводит к близким значениям границ диапазона скоростей передачи данных. Использование метода модуляции OFDM, диктуемое стремлением повысить эффективность передачи в типичных для наземного вещания условиях многолучевого распространения радиоволн и приема в движении, а также желанием создавать одночастотные сети распространения программ, приводит к выбору сходных схем и принципов кодирования данных и модуляции несущих. Также совпадают относительные величины защитного интервала ($1/4$, $1/8$, $1/16$, $1/32$), близкими являются его абсолютные значения для сходных режимов. В обеих системах используется внешнее кодирование с помощью кода Рида-Соломона, в процессе которого кодовое слово длиной 204 байта формируется в результате добавления 16 проверочных байтов к 188 байтам пакета транспортного потока MPEG-2. В качестве внутреннего кода в обеих системах используется одна схема сверточного кодирования со скоростями $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, $7/8$. Одинаковыми являются и способы модуляции отдельных несущих: QPSK, 16QAM, 64QAM. Однако, в системе ISDB-T для модуляции несущих, переносящих основные данные, используется также дифференциальная квадратурная фазовая

манипуляция DQPSK, позволяющая добиваться высокой помехозащищенности передачи. Модуляционные символы при этом способе модуляции, как и в случае QPSK, формируются из двухразрядных двоичных слов.

К принципиальным отличиям системы ISDB-T от DVB-T относятся сегментация в рамках описанного выше способа BST-OFDM и временное перемежение данных. Перемежение - важная операция, используемая для повышения эффективности борьбы с ошибками, которые возникают в каналах связи. В системе DVB-T используется лишь частотное перемежение, которое превращает длинные пакетные ошибки, возникающие из-за подавления частотных компонентов спектра принимаемого радиосигнала при многолучевом распространении, в цепочки небольших и легко исправляемые ошибочных фрагментов. Если условия приема меняются очень быстро, что происходит, например, при перемещении приемника с высокой скоростью, частотное перемежение оказывается недостаточным. Временное перемежение создает возможности исправления больших пакетов ошибок, параметры которых быстро изменяются во времени и которые не могут быть разбиты на маленькие фрагменты с помощью частотного перемежения. Благодаря использованию временного перемежения система ISDB-T способна обеспечивать эффективный прием в тех случаях, когда телевизионный или радиоприемник находится, например, на быстро движущемся поезде или в автомобиле.

Преобразование входного транспортного потока MPEG-2 в радиосигнал включает в себя мультиплексирование, канальное кодирование, модуляцию, а так же управление конфигурацией передачи и функциями приемника (рис.6.22). Транспортный поток MPEG-2 демультиплексируется и затем мультиплексируется повторно, при этом образуются сегменты данных. После канального кодирования сегменты данных трансформируются в частотные сегменты OFDM, каждый из которых занимает полосу частот, зависящую от ширины полосы частот канала (429 кГц для канала с шириной полосы 6 МГц, 500 кГц - для канала 7МГц, 571 кГц - для канала 8 МГц). 12 частотных сегментов занимают полосу соответственно 5,6; 6,5 или 7,4 МГц.



Рис.6.22. Схема передачи ISDB-T

Несколько сегментов могут объединяться в группы, называемые слоями, которые образуют логические каналы связи в рамках одного физического канала. В одном канале может передаваться до 3 слоев в одно и то же время (рис.6.23). Иерархическая передача достигается передачей слоев с различными параметрами. Допускается изменение способа модуляции несущих, скорости внутреннего кода и интервала временного перемежения.

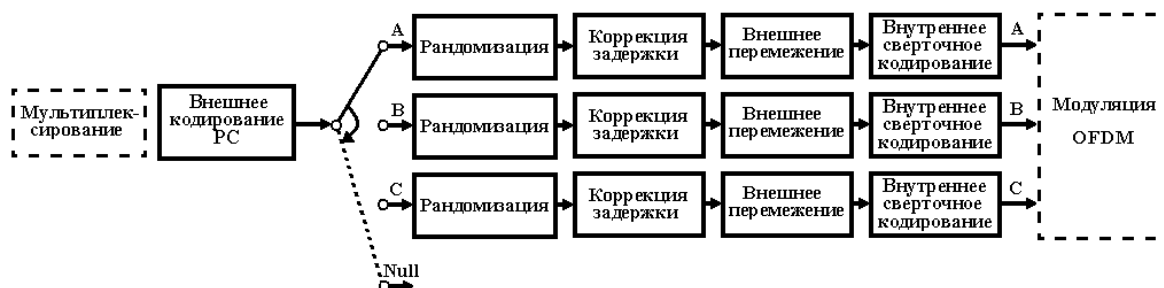


Рис.6.23. Канальное кодирование данных в системе ISDB

Гибкое использование схем модуляции и канального кодирования является важным свойством системы вещания ISDB. Исследования разработчиков системы ISDB показали, что число сегментов, равное 13, оказывается достаточным для всех потенциальных сфер применения цифрового телевизионного вещания.

Частотные сегменты OFDM содержат не только данные, полученные в результате мультиплексирования транспортного потока, но и пилот-сигналы. В системе ISDB используются непрерывные пилот-сигналы (CP - Continual Pilot), распределенные пилот-сигналы (SP - Scattered Pilot) и пилот-сигналы, содержащие данные управления конфигурацией передачи и мультиплексирования (TMCC - TraNsmiission and Multiplexing Configuration Control-Pilot). Данные каждого сегмента форматируются во временной области и объединяются в кадры OFDM (объем данных одного кадра соответствует 204 модуляционным символам OFDM).

При иерархической передаче вводится понятие кадра мультиплекса. Длительность кадра мультиплекса соответствует длительности кадра OFDM, однако число пакетов транспортного потока, входящих в кадр мультиплекса больше, чем число пакетов, фактически передаваемых в кадре OFDM. Разница зависит от порядка обратного быстрого преобразования Фурье, используемого в процессе модуляции OFDM, и величины защитного интервала. Разница компенсируется вставленными в транспортный поток MPEG-2 "пустыми" (Null) пакетами, которые затем исключаются при обработке данных.

Форматирование кадра сегмента OFDM выполняется после временного и частотного перемежения. В случае дифференциальной модуляции (DQPSK) к полезным данным добавляется непрерывный пилот-сигнал CP, в случае когерентной модуляции (QPSK, 16QAM, 64QAM) - распределенные пилот-сигналы SP. Непрерывный пилот-сигнал всегда передается с помощью несущей с номером 0. Распределенные пилот-сигналы переносятся каждой

двенадцатой несущей и в каждом четвертом символе OFDM. Кроме непрерывных или распределенных пилот-сигналов в составе кадра передаются сигналы управления конфигурацией передачи и мультиплексирования ТМСС, а также дополнительные данные АС (Auxiliary Channel). Расположение несущих, предназначенных для данных АС и ТМСС устанавливается для каждого из режимов с помощью специальных таблиц. В результате дополнения данных, переносящих информацию о телевизионных или радиопрограммах пилот-сигналами CP и SP, сигналами управления ТМСС и дополнительными данными АС количество несущих в каждом сегменте увеличивается с 96 до 108 в режиме 1, с 192 до 216 - в режиме 2 и с 384 до 432 - в режиме 3. Несущие сегментов передаваемого радиосигнала располагаются на оси частот с одним и тем же шагом, задаваемым режимом системы. Сегменты нумеруются так, как показано на рис.6.24.



Рис.6.24. Спектр передаваемого радиосигнала (N_s - количество сегментов)

Реализация принципа иерархической передачи данных позволяет осуществить самые разные варианты конфигурации системы ISDB-T. Например, один сегмент может отводиться для передачи радиопрограмм или данных на переносной или карманный радиоприемник. А все остальные сегменты отводятся для передачи сигнала ТВЧ, который будет приниматься стационарным телевизионным приемником. Таким образом, прием и декодирование данных лишь одного слоя позволяет реализовать так называемый парциальный (раздельный) прием. Для парциального приема предназначается один центральный сегмент, который имеет номер 0 и находится в центральной части спектра. При этом внутренние сегменты передаются с использованием дифференциальной модуляции, а внешние с когерентной. В верхней части спектра добавляется еще одна несущая, служащая для передачи еще одного непрерывного пилот-сигнала.

Если стационарный приемник является интегрированным, то он сможет принимать и программы телевидения, и программы радиовещания или данных, передаваемых в центральном сегменте. В другом варианте две группы сегментов могут использоваться для двух программ телевидения стандартной четкости принимаемых портативными и переносными приемниками с небольшими экранами, которые могут устанавливаться, например, в автомобилях, автобусах или поездах. Еще один возможный вариант конфигурации это передача нескольких программ радиовещания или данных. Следует отметить, что независимо от того, используется или нет иерархическая передача, в одном физическом канале передаются данные только одного транспортного потока MPEG-2.

Способ передачи данных BST-OFDM отвечает современной концепции наземного цифрового телевизионного вещания с интеграцией служб и обеспечивает широкие возможности для введения новых служб в будущем.

6.6.3. Сравнение систем цифрового ТВ ATSC и DVB

Системы DVB-T и ATSC отличаются применяемыми в них методами модуляции. В системе ATSC используется модуляция 8-VSB (8-уровневая с частично подавленной боковой полосой), при которой применяется одна несущая. В системе DVB-T - модуляция OFDM (мультиплексирование ортогональных несущих с частотным уплотнением), которая предусматривает использование большого числа поднесущих, размещенных в радиоканале с равными частотными интервалами, каждая из которых подвергается цифровой модуляции. Система DVB-T по сравнению с системой ATSC обеспечивает более высокую устойчивость в канале с замираниями, что важно для приема телевизионных сигналов подвижными и переносными ТВ-приемниками.

Для систем наземного цифрового ТВ вещания (DVB-T) выбран цифровой метод передачи OFDM, который обеспечивает возможность создания **одночастотных сетей**, что имеет важное значение в случае, если велика перегрузка выделенного для ТВ вещания спектра. Кроме того, прием сигналов при использовании модуляции OFDM более устойчив к многолучевому распространению, которое характерно для густонаселенных районов, особенно при приеме на переносные и подвижные приемники. Достоинством метода OFDM является также возможность подавления небольших участков спектра излучения, соответствующих, например, частотам несущих изображения и звука аналогового телевизионного сигнала совмещенного канала, что обеспечивает защиту от помех аналоговых и цифровых служб.

Основное различие систем ATSC и DVB-T с точки зрения эффективности использования радиоспектра заключается в том, что ATSC ориентирована на передачу в канале одной программы телевидения высокой четкости (ТВЧ), тогда как система DVB-T рассчитана на многопрограммное заполнение стандартного ТВ канала, что позволяет более эффективно (с точки зрения объема передаваемой информации) использовать полосы частот, выделенные для телевизионного вещания.

Значительным преимуществом системы DVB-T является то, что она в максимальной степени унифицирована с другими системами. При разработке DVB-T максимально учтены требования по ее унификации с другими системами того же семейства (DVB-S, DVB-C). В частности, в DVB-S реализована та же схема скремблирования, кодирования и перемежения. Стандарт DVB-T имеет набор параметров, позволяющий адаптировать систему к различным режимам работы и условиям эксплуатации.

В системах цифрового ТВ возможны два типа наземных сетей: одночастотная сеть (SFN) и многочастотная сеть (MFN, Multi-Frequency Network). В SFN все передатчики работают на одной частоте. В MFN используются индивидуальные частоты для каждого передатчика в сети. Оба стандарта позволяют строить MFN, однако лишь в DVB-T эффективно реализуется SFN. В то же время в SFN может отсутствовать большая необходимость при широкомасштабном внедрении наземного цифрового телевидения в стране. В одночастотной сети приемник принимает сигналы от телевизионных передатчиков, расположенных друг от друга на большом расстоянии. При этом из-за разности хода эти сигналы аналогичны отраженным эхо-сигналам, задержка которых может превышать длительность защитного интервала в DVB-T. Из-за не синхронности передатчиков во времени в приемнике DVB-T между сигналами передатчиков имеет место межсимвольная интерференция и в целом подобные эхо-сигналы по своему действию близки к широкополосному шуму. В то же время, используя COFDM, принципиально возможно сделать синхронную SFN, в которой приемнику гарантируется приход эхо-сигнала от соседнего передатчика с задержкой, не превышающей защитный интервал. Более того, приемник может даже "выбрать" лучший по мощности из этих двух сигналов. В DVB-T разработана спецификация на такую сеть. Синхронная SFN в DVB-T позволяет использовать группу маломощных передатчиков взамен одного мощного, поскольку обеспечивает достаточно равномерное покрытие территории ТВ - сигналом и тем самым надёжный прием в любой её точке. Крупномасштабную синхронную SFN удаётся построить в режиме 8К, максимальное расстояние между передатчиками в которой значительно и доходит до 67 км при $Dt/Tu=14$. Такие сети целесообразно развёртывать в странах с большой плотностью населения. В режиме 2К удаётся сделать небольшую сеть местного масштаба с удалённостью передатчиков лишь до 17 км. В обоих случаях следует учитывать, что построение такой сети телевидения трудоемко и требует высокоскоростной кабельной сети для раздачи сигнала от телестудии синхронным наземным передатчикам. Кроме того, эти передатчики требуют и жесткой частотной синхронизации, для реализации которой используются спутниковые GPS-приемники. Финансовые затраты могут быть значительны.

Согласно проведённым экспериментам и исследованиям, DVB-T гораздо более эффективно использует мощности телевизионных ретрансляторов; обладает повышенной помехоустойчивостью; позволяет принимать сигнал на движущихся объектах со скоростью вплоть до 300 км/ч, а также позволяет регулировать скорость передачи цифрового сигнала.

В ATSC же на деле оказалось, что вместо снижения используемой мощности ТВ-передатчиков, её пришлось значительно увеличить. Одна из причин заключается как раз в том, что ATSC практически не защищён от помех. Этот пункт просто отсутствовал для разработчиков стандартов, ибо основной акцент делался на распространение сигнала с

помощью кабельных систем, где отсутствует вопрос помехоустойчивости для наземного сигнала. В силу всё тех же причин ATSC-сигнал невозможно принимать, передвигаясь в зоне приёма на автомобиле или в поезде.

Таким образом на практике ATSC проигрывает DVB-T почти по всем параметрам и поэтому в США помимо дальнейшего внедрения ATSC выделен специальный диапазон для тестовых DVD-T трансляций. Также формат DVB-T был определён как рекомендуемый для передач, рассчитанных на приём в транспорте.

6.7. Системы MMDS, LMDS, MVDS

6.7.1. MMDS

MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) – многоканальные многоточечные распределительные системы пришли на смену разработанных в 70-е годы прошлого века MDS (Multipoint Distribution System), которая предусматривала вещание в радиусе порядка 50 км от передатчика в диапазоне 2,1–2,7 ГГц. Они позволяют работать в диапазоне 2,5–2,7 ГГц в зоне радиусом до 50–60 км. При этом мощность передатчика базовой станции, как правило, не превышает 100 Вт (до 1 кВт) по сравнению с 10...50 кВт передатчиками на ретрансляторах обычных аналоговых телевизионных сетей.

Использование систем MMDS в многоканальных системах наземного телевидения имеет ряд преимуществ по сравнению с обычными системами наземного телевидения:

- Они имеют возможность передачи до 25 телевизионных программ, в зависимости от стандарта при аналоговом сигнале и в 4-6 раз больше при модуляции цифровыми сигналами стандарта MPEG-2.
- Радио- и телевидение ведется на экологически безопасном уровне, когда суммарная мощность передатчика не превышает 1000 Вт (в основном 1-10 Вт).
- Сравнительная дешевизна абонентской установки за счёт использования компактной малогабаритной антенны с линейными размерами 15-25 см.
- Высокое качество сигналов из-за сравнительно низкого уровня помех в выделенных для этих систем диапазонах частот (2,5-2,7 ГГц).
- Независимость условий приёма от телевизионных стандартов NTSC, PAL, SECAM за счёт оцифровки сигналов.
- Системы MMDS позволяют устранить так называемые "мертвые зоны" в крупных городах с многоэтажной застройкой. Они обеспечивают значительную экономию средств по сравнению со строительством

систем кабельного телевидения (СКТВ). Если в разветвленной кабельной сети требуется перекрыть отдельные участки длиной 5..20 км, то вариант с ретранслятором может оказаться предпочтительнее прокладки кабеля.

- Существенно уменьшаются эксплуатационные расходы благодаря отсутствию протяженных магистральных и субмагистральных линий.
- Системы сотового телевидения на основе технологии MMDS открывают широкие возможности и по увеличению числа программ, ретранслируемых на региональном уровне: вместо 2-5 каналов телезрители смогут увидеть до 100 цифровых зарубежных каналов.

Время развертывания системы MMDS в зависимости от ее конфигурации лежит в пределах от нескольких дней до двух-трех недель. На рис.6.25. представлена структура организации телевизионного вещания в системе MMDS.

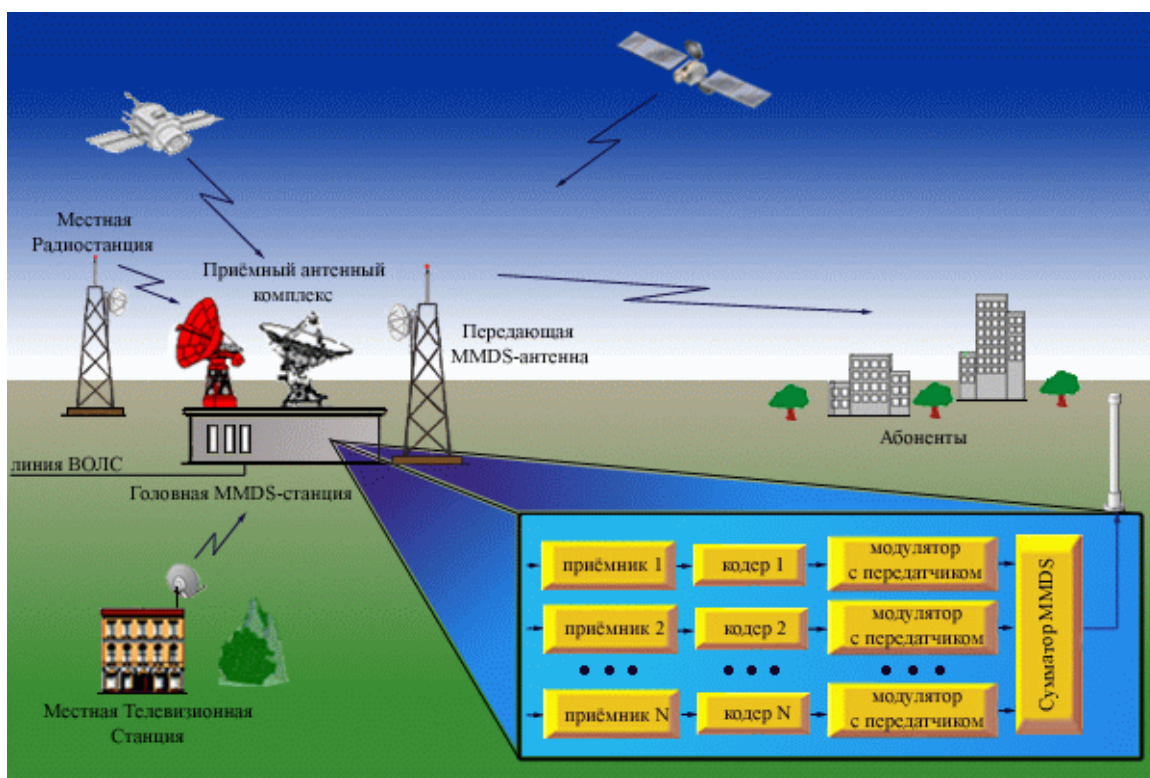


Рис.6.25. Телерадиовещание на базе системы MMDS

В оборудовании MMDS используется квадратурная амплитудная модуляция – от четырехпозиционной QPSK (2 бита на модуляционный символ) до 256-позиционной QAM (256-QAM, 8 бит на символ). Поэтому скорости передачи данных в MMDS могут достигать очень больших значений при соответствующей ширине канала. Так, в стандартном 8-МГц телевизионном канале возможна теоретическая скорость до 56 Мбит/сек. Следует отметить, что первоначально система MMDS разрабатывалась для однонаправленной передачи сигналов ТВ программ. Однако в последние годы стало появляться оборудование для интерактивного телевидения и

Интернета с организацией обратного канала. При этом, обратный канал, как правило, имеет в 4—8 раз более узкую полосу пропускания.

ТВ вещание в системах MMDS может организовываться по одноканальной и многоканальной схеме. Таким образом, передатчики могут быть групповыми (многоканальными) и одноканальными, и предназначаться для передачи как аналоговых, так и цифровых сигналов. Кроме того, передатчики могут быть рассчитаны для работы в помещениях и вне помещения вблизи антенны. Вариант размещения передатчика около антенны позволяет практически исключить потери в фидерных линиях, но при значительных колебаниях температуры и влажности резко возрастают требования к надежности работ, что усложняется и эксплуатационное обслуживание.

В одноканальном варианте для передачи N-телевизионных программ применяется N-передатчиков устройств, включающих модулятор и собственно передатчик, а суммирование мощности разных передатчиков производится в антенне, как показано на рис.6.26.

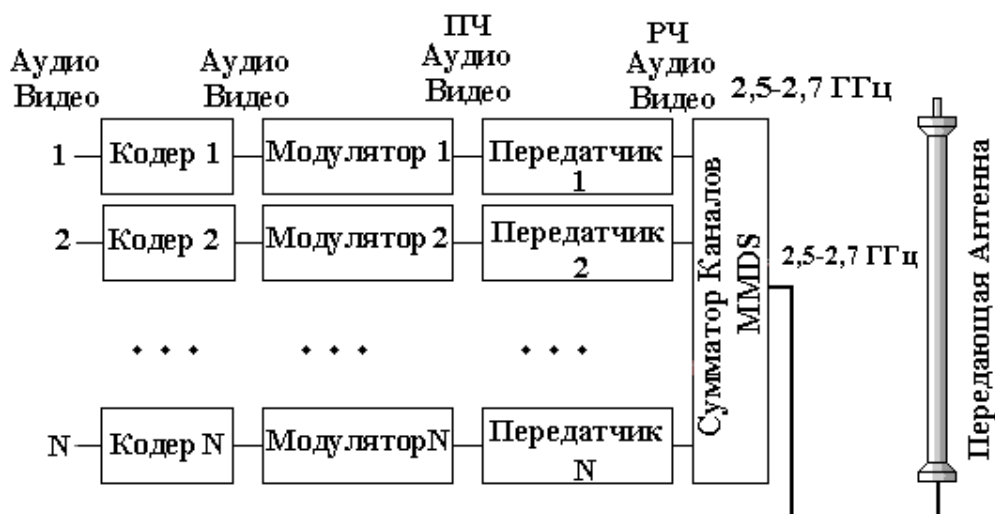


Рис.6.26. Структурная схема системы MMDS при использовании одноканальных передатчиков

В многоканальном варианте передаваемые N-телевизионных программ сначала поступают на свои модуляторы, далее из них формируется групповой сигнал, который модулирует широкополосный передатчик, работающий на общую антенну (рис.6.27).

В одноканальном варианте вся мощность излучается в данном канале, а в многоканальном варианте - уменьшается при 8 каналах примерно в 50 раз, т.е. мощность в каждом канале падает примерно в $2N$ раз. Таким образом, многоканальные или групповые передатчики целесообразно использовать в небольших городах и поселках городского типа, где радиус зоны покрытия не превышает 6 км. При этом в полосе 2500..2700 МГц в система MMDS позволяет организовать 24 каналов аналогового телевидения стандарта PAL или SECAM с полосой полоса 8 МГц.

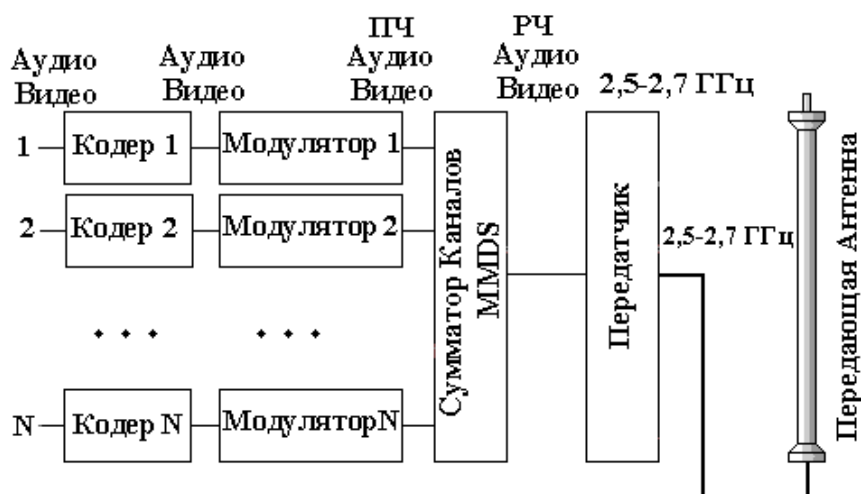


Рис.6.27. Структурная схема системы MMDS при многоканальном передатчике

При разноэтажной городской застройке, наличии экранирующих препятствий (высот, технических сооружений и т.п.) или сложного рельефа местности для исключения возникающих при этом "мертвых зон", в которых прямая видимость между антенной базовой станции и антеннами абонентских терминалов не обеспечивается, предусматривается использование ретрансляторов (рис.6.28).

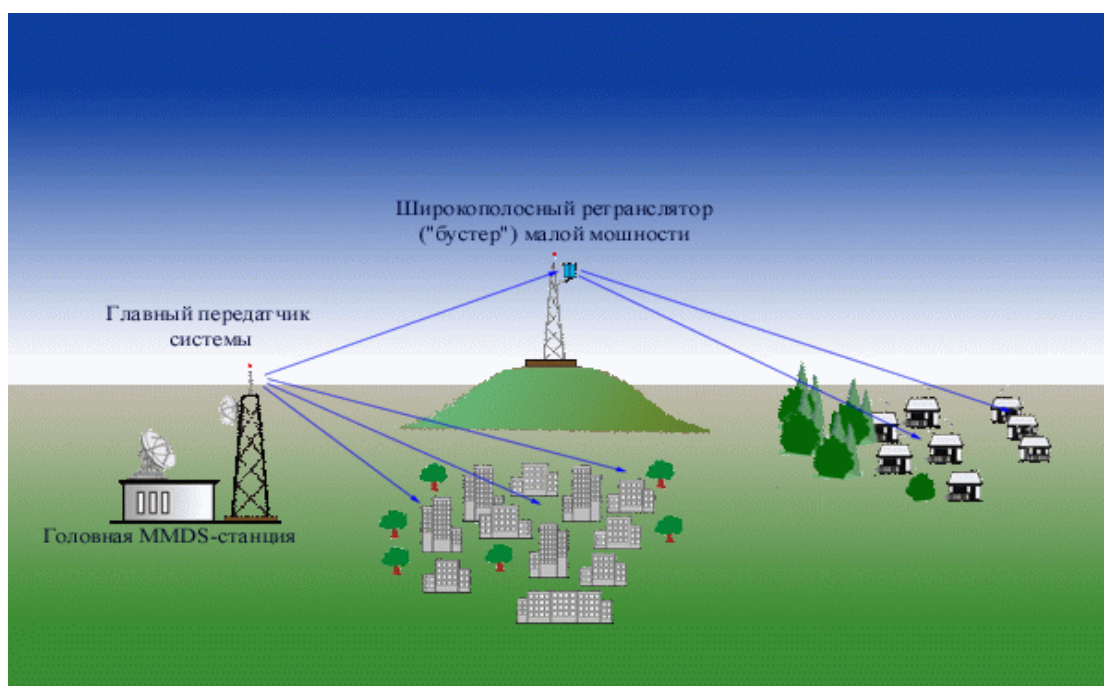


Рис.6.28. Схема передачи сигнала с помощью ретранслятора в MMDS-системе

Ретранслятор - чаще всего представляет собой необслуживаемый приемо-передающий комплекс, состоящий из приемных и передающих антенн, широкополосных усилителей с фильтрующими блоками и фидерных линий. При этом сигнал излучается ретранслятором на той же частоте, на

которой и принимается. Чтобы исключить помехи абонентам, находящимся в зоне обслуживания ретранслятора и основного передатчика, передача с ретранслятора осуществляется в другой поляризации либо выбирается соответствующая конфигурация диаграммы направленности приёмной и передающей антенн ретранслятора. Передатчик и приемник ретранслятора размещаются вблизи соответствующих антенн, имеют герметичный корпус и систему терморегулирования, которые надежно защищают их от влияния погодных условий.

6.7.2. LMDS/ MVDS

Следующим шагом в области систем широкополосного доступа стало появление концепции Local Multipoint Distribution Service (LMDS) – локальная многоточечная распределительная система. Ее испытания прошли в 1992 году в Нью Йорке. Первой реально действующей LMDS системой стала сотовая телевизионная сеть компании Cellular Vision в районе Брайтон Бич, который не был охвачен сетью кабельного телевидения.

Изначально **LMDS** предназначалась для работы в диапазоне 27,5—29,5 ГГц, однако рабочий диапазон зависит от распределения частот в конкретном регионе. В Европе появилась аналогичная система **MVDS** (Multipoint Video Distribution Systems), ориентированная на диапазон 40,5—42,5 ГГц (диапазон, выделенный в Европе для аналогового ТВ вещания).

Системы LMDS/MVDS называют сотовым телевидением, поскольку радиус действия каждого ретранслятора невелик и составляет порядка 3-8 км, так как используются относительно маломощные передатчики – не более десятков ватт в групповых передатчиках (до 100—300 мВт на канал). Кроме того, в миллиметровом диапазоне затухание радиоволн довольно велико, но, с другой стороны, волны этого диапазона хорошо отражаются от препятствий с малыми потерями, что может эффективно использоваться при работе на переотраженных сигналах в условиях сложной городской застройки.

Системы LMDS/MVDS используют те же методы модуляции (QPSK, QAM) и частотные планы (19,5—39 МГц), что и системы спутникового ТВ вещания. Диапазон их работы определяется наличием свободного частотного ресурса и может быть, например, 10, 24, 31, 38 ГГц. При этом в общей ширине полосы 2 ГГц эти системы позволяют передавать от 96 до 128 аналоговых ТВ каналов или около 1000 цифровых.

Сотовая структура сетей LMDS/MVDS открывает широкие возможности для частотного планирования сетей, используя различную поляризацию сигналов, применение направленных (секторных) антенн, использование одних и тех же каналов в разных сотах и т.д.

На рис.6.29 представлена типовая структурная схема передающей и приемной частей системы MVDS. После формирования цифровых пакетов, каналы модулируются и объединяются для подачи к широкополосным

передатчикам. Возможно также использование индивидуальных передатчиков. В передатчике спектр сигнала переносится в область 40 ГГц (это происходит за один или два этапа), усиливается и передается к антенне. Базовые станции могут оборудоваться набором секторных антенн, что позволяет усилить мощность передаваемого сигнала, а также увеличить количество абонентов за счет повторного использования частоты и смены поляризации.

При организации передач цифрового телевидения мультимедийная сеть MVDS строится на базе головной станции. При формировании информационных потоков могут использоваться самые разнообразные источники — Интернет, эфирные, кабельные и спутниковые телевизионные каналы, различные местные источники информации. Аналоговые сигналы преобразуются в цифровой вид в MPEG-2 кодерах. Формирование сервисной информации, канальное кодирование и модуляция осуществляются в соответствии с одним из двух стандартов — DVB-C или DVB-S.

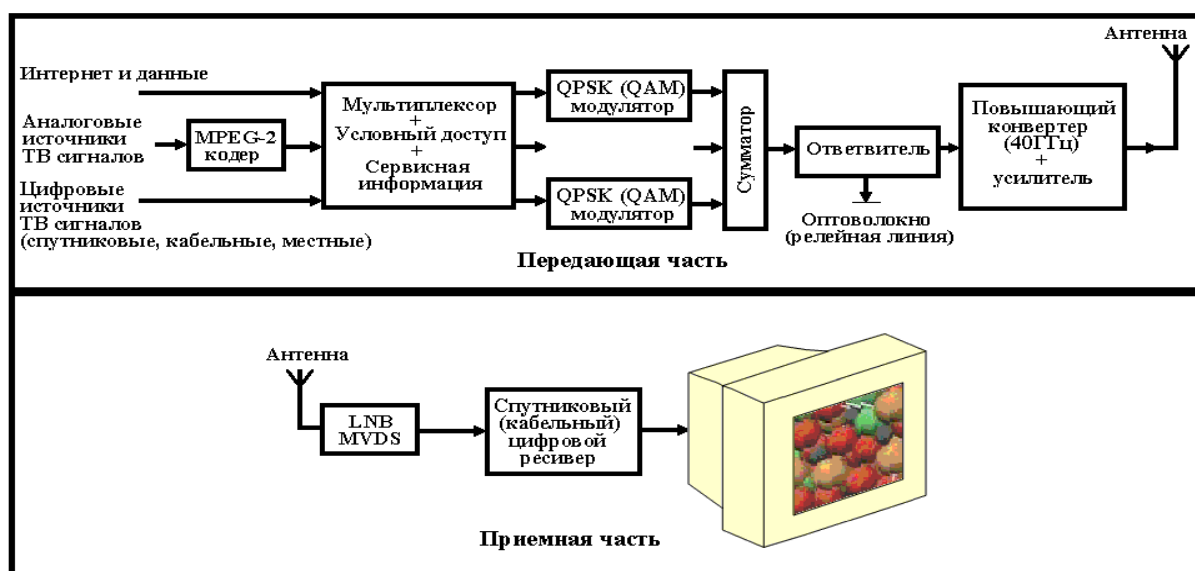


Рис.6.29. Типовая структурная схема передающей и приемной частей системы MVDS

Мощность твердотельных усилителей, применяемых в передатчиках MVDS довольно маленькая. В канальных передатчиках она измеряется десятками мВт, а в групповых, предназначенных для передачи сотни каналов, — единицами Вт.

Раздача сигнала к сотовым передатчикам может производиться по оптоволокну, маломощным релейным линиям или с помощью самой MVDS.

У абонента устанавливается антенна, монтируемая на стене здания, малошумящий конвертер и стандартный ресивер. Для приема могут использоваться антенны различной конструкции - рупорные, микрополосковые или параболические.

Сигналы миллиметрового диапазона практически не подвержены импульсным помехам и интерференционным шумам, которые могут создавать большие проблемы при приеме сигналов эфирного диапазона.

Основным источником возможных помех в этом диапазоне могут быть отраженные сигналы собственного передатчика. Поэтому используют приемные антенны с очень узкой диаграммой направленности с шириной до десятков секунд. Для волн миллиметрового диапазона такую узкую диаграмму направленности могут обеспечить антенны совсем небольших размеров.

Перенос частоты из миллиметровой области в дециметровую проводится в один или два этапа. При этом возможны проблемы из-за высокой абсолютной нестабильности высокочастотного гетеродина конвертера и сильного ухода передаваемого сигнала. Их решением может быть стабилизация частоты гетеродина пилот-сигналом, вводимым на передающей стороне в общий поток. Этот принцип используется, например, в системах Technosystem, совместимых со стандартом DVB-C.

К достоинствам систем LVDS, MVDS можно отнести следующее:

- широкий диапазон частот, позволяющий передавать огромные потоки информации. Именно он, в сочетании с небольшим радиусом распространения, делает системы MVDS наиболее подходящими для организации интерактивных мультимедийных сетей. Эффективность использования частотных ресурсов может быть дополнительно повышена за счет применения секторных передающих антенн.
- Возможность использования пассивных и активных ретрансляторов, позволяющих гибко формировать зону уверенного приема в условиях сложной городской застройки.
- По сравнению с кабельными сетями MVDS отличаются простотой, скоростью и относительной дешевизной начального развертывания. В дальнейшем они легко наращиваются и, при необходимости, сворачиваются без серьезных материальных потерь. По сравнению с кабельными сетями, больший процент материальных затрат приходится на абонентское оборудование, что особенно справедливо для систем с обратным каналом. А эти затраты производятся только при наличии договора с абонентом о платной аренде.
- Экологическую безвредность систем MVDS, поскольку они работают с высокочастотными, маломощными сигналами, не опасными для человеческого организма. Кроме того, их строительство никак не сказывается на окружающем ландшафте и постройках.

К недостаткам систем MVDS можно отнести:

- сильную зависимость дальности их действия от погодных условий, в первую очередь от влажности. В связи с этим определение радиуса охвата одной соты требует проведения длительных экспериментов в каждой конкретной географической области. Требуется также определить конфигурацию отраженных сигналов в условиях

конкретной застройки, причем с учетом того, что постоянное изменение радиуса действия приводит к столь же постоянным изменениям этой конфигурации.

Дороговизна абонентского оборудования с обратным каналом, что совместно с немалой абонентской платой влияет на востребованность интерактивных возможностей сети.

Следует отметить, что в соответствии с Регламентом радиосвязи для радиосистем типа MMDS, LMDS и MVDS выделены следующие полосы частот: 2,1-2,7; 30,8-33,4; 27,5-29,5; 40,5-42,5; 42,5-43,5 ГГц.

Также возможно выделение дополнительных полос частот в диапазонах: **51,4-52,6; 55,78-59; 64-66 ГГц.**

7. СТАНДАРТЫ ЦИФРОВОГО ТВ ВЕЩАНИЯ 2 ПОКОЛЕНИЯ

7.1 Стандарт спутникового телевидения DVB-S2

Стандарт второго поколения (**DVB-S2**) для телевидения, интерактивных услуг, сбора новостей и других широкополосных спутниковых (SAT) приложений является дополнением к широко используемому стандарту DVB-S. Новый стандарт был разработан консорциумом DVB Project (Digital video Broadcasting Project – Проект цифрового видеовещания), занимающимся разработкой стандартов в области цифрового телевидения для Европы.

DVB-S2 разработан на базе отработанных технологий DVB-S и DVB-DSNG (Digital Satellite News Gathering – цифровая спутниковая видео журналистика). Под DSNG обычно понимают передвижные системы передачи TV информации с мест событий, именуемые системами сбора новостей.

Новый стандарт **DVB-S2** призван устранить недостатки как стандарта DVB-S (низкие скорости потоков за счет формата модуляции QPSK), так и стандарта DVB-DSNG (работа спутниковых передатчиков (SAT) при пониженных выходных мощностях в силу требования обеспечения более низких искажений). Необходимость в пересмотре имеющихся стандартов была обусловлена следующими причинами:

1. Важнейшим фактором создания нового стандарта **DVB-S2** стали планы массового запуска телевидения высокой четкости HDTV. Уже на сегодняшний день начинает наблюдаться дефицит в частотном ресурсе даже при трансляции телевидения стандартной четкости SDTV. Если же все SAT программы будут вещаться в ТВЧ, то имеющегося частотного ресурса окажется недостаточным даже при переходе к более совершенным системам компрессии ТВ сигнала. Таким образом, перспектива появления HDTV потребовала разработки форматов канального кодирования, более эффективно использующих имеющиеся частотные ресурсы (т.е. **DVB-S2**).

2. Появление стандарта **DVB-S2** обязано неудовлетворительной работе имеющихся приемных систем Ка-диапазона, так как качество приема в этом диапазоне сильно зависит от погодных условий (тумана, дождя, тумана). Поэтому для трансляций в этом диапазоне часто требуется более высокая помехозащищенность, чем в С- и KU-диапазонах.

3. Появление интерактивных спутниковых сетей с адресными услугами. Такие сети требуют большого транспортного ресурса и оптимизировать его использование можно, адаптировав параметры каждого адресного потока к условиям приема конкретного адресата. Старые стандарты таких возможностей не предоставляют.

Таким образом, от нового стандарта **DVB-S2** требовалось следующее:

- повысить эффективность использования транспортного канала, т.е. предоставить возможность в полосе стандартного канала передавать больше полезной информации;

- допускать дифференцированный подход к выбору транспортных параметров для разных услуг, передаваемых в одном канале;
- обеспечить совместимость с прежними стандартами и пути плавной перехода от старого оборудования к новому

Первые два требования удалось выполнить за счет введения в стандарт более разнообразных схем модуляции, использования более эффективных систем защитного кодирования и введения дополнительных коэффициентов скругления, обеспечивающих более крутые фронты модулированного сигнала.

Гибкость формирования канала была достигнута за счет введения режимов переменного кодирования и модуляции VCM (Variable Coding and Modulation) и адаптивного кодирования и модуляции ACM (Adaptive Coding and Modulation). Первый режим допускает разный уровень помехозащищенности услуг, передаваемый в одном канале, а второй - дополнительную возможность адаптации транспортных параметров к текущим условиям приема услуги. Режим ACM предназначен для сетей с обратным каналом, где приемные системы имеют возможность переправлять на головную станцию информацию об условиях приема.

В результате был создан универсальный стандарт (**DVB-S2**), на базе которого могут строиться сети для распространения ТВ программ стандартной или высокой четкости, а также сети для предоставления интерактивных услуг, доступа в Интернет, для профессиональных приложений, таких как передача цифрового ТВ от студии к студии, сбор новостей и раздача сигнала на эфирные ретрансляторы. Так же новый стандарт **DVB-S2** удобен для формирования сетей передачи данных и создания IP-магистралей.

Большинство эффективных механизмов, заложенных в **DVB-S2**, оказались несовместимыми со старыми стандартами. Потому, для выполнения требования совместимости вниз, разработчики ввели в стандарт два режима. Один – совместимый вниз, но менее эффективный, а другой, использующий все новые возможности, но не позволяющий использовать приемники стандарта DVB-S. При этом первый режим **DVB-S2** рекомендуется для предоставления традиционных услуг, на период перехода к новому стандарту, а второй – для применения в профессиональных сетях и для передачи новых услуг, которые невозможно принять старыми приемниками.

Новый стандарт **DVB-S2** предусматривает четыре возможности схемы модуляции (рис.7.1). Первые две, QPSK и 8 PSK, предназначены для использования в вещательных сетях. Передатчики транспондеров работают там в режиме, близкому к насыщению, что не позволяет модулировать несущую по амплитуде. Более скоростные схемы модуляции (амплитудной и фазовой модуляциями APSK), 16-APSK и 32-APSK, ориентированы на профессиональные сети, где часто используются более слабые наземные передатчики, не вводящие бортовые ретрансляторы в нелинейный режим

работы, а на приемной стороне устанавливаются профессиональные конвертеры (LNB), позволяющие с высокой точностью оценить фазу принимаемого сигнала. Эти схемы модуляции можно использовать и в системах вещания, но в этом случае каналобразующее оборудование должно поддерживать сложные варианты предискажений, а на приемной стороне должен быть обеспечен более высокий уровень отношения сигнал/шум. Как видно из сигнальных диаграмм (рис.7.1 с, d), значения символов при APSK расположены по окружностям. Такой вариант является наиболее помехоустойчивым в плане передачи амплитуды символа и позволяет использовать ретрансляторы в режимах, близких к точке насыщения. При этом 32-APSK по сравнению с QPSK позволяет повысить общую скорость передачи потока в 2,5 раза.

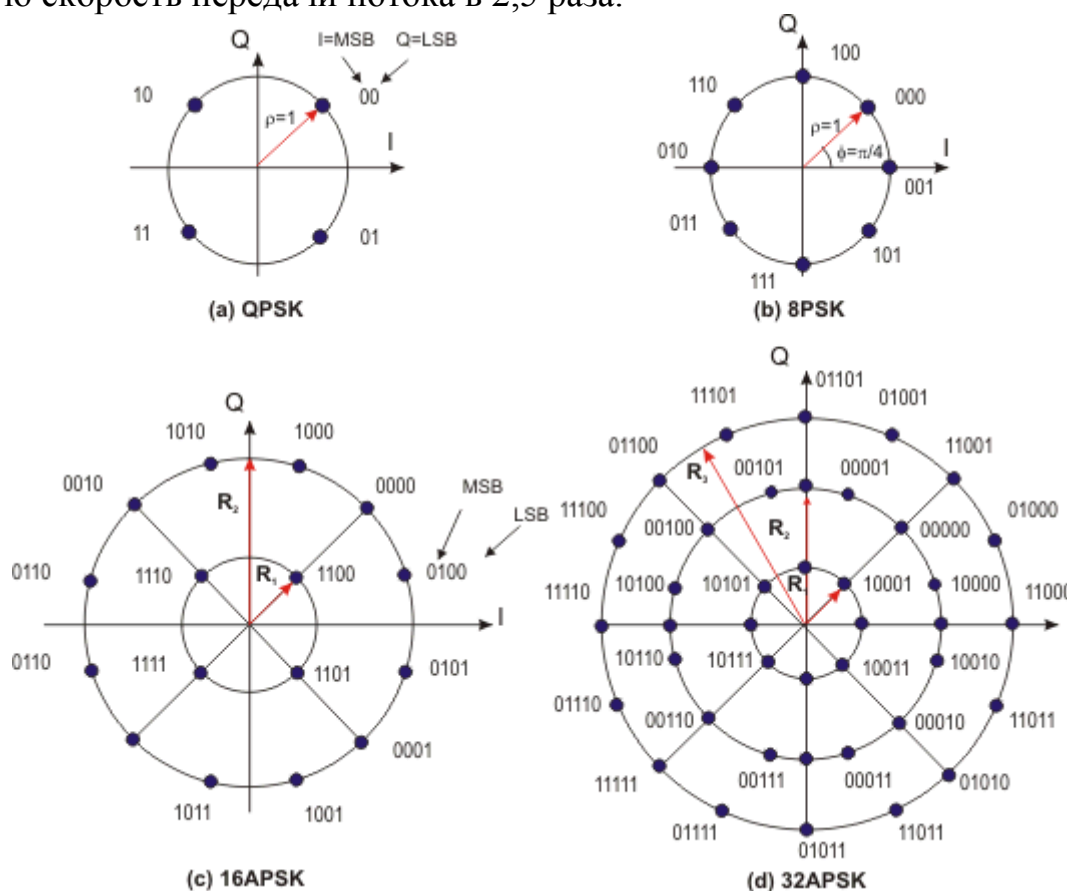


Рис.7.1. Сигнальные созвездия модуляционных характеристик

Для режимов APSK возможно введение предискажений на приемной стороне, что позволяет использовать выходной каскад бортовых усилителей в режиме, близком к насыщению, тем самым увеличивая выходную мощность, что особенно важно для режима 32 APSK. Для таких случаев используют специальные профессиональные малозумящие конвертеры (LNC), цена на которые выше, чем на бытовые конвертеры.

Одновременно с введением более высоких уровней модуляции стандарт **DVB-S2** предусматривает возможность применения двух дополнительных коэффициентов скругления α , то есть к используемому в DVB-S $\alpha = 0,35$, в новом стандарте добавлены

коэффициенты $\alpha = 0,20$ и $\alpha = 0,25$. Новые, более низкие значения коэффициентов обеспечивают большую крутизну импульсов, что позволяет использовать спектр более эффективно. С другой стороны, снижение α способствует повышению нелинейных искажений, что особенно сказывается при передаче одной несущей на транспондер. Поэтому конкретное значение коэффициента выбирается с учетом всех параметров передачи.

Для помехоустойчивого кодирования в новом стандарте **DVB-S2**, как и в **DVB-S**, используется перемежение данных и наложение двухуровневого кода для прямой коррекции (Forward Error Correction - FEC). Но системы внешней и внутренней кодозащиты – другие, чем в стандарте DVB-S. В качестве внешней кодозащиты в место кода Рида-Соломона используется код Боуза-Чоудхури-Хоквингема (BCH), позволяющий, в зависимости от режима кодирования, исправлять до 8-12 ошибок, а в качестве внутренней, вместо сверточного кода, - код с низкой плотностью проверок на четность (Low Density Parity Check Codes – LDPC).

Для достижения компромисса между излучаемой мощностью и спектральной эффективностью, в DVB-S2 предусматривается расширенное число скоростей кодирования (1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 и 9/10) при различных форматах модуляции (QPSK, 8PSK, 16APSK и 32APSK). Так, скорости кодирования 1/4, 1/3 и 2/5 были введены для работы в комбинации с QPSK модуляцией для наихудших условий связи, когда уровень сигнала ниже уровня шум.

Форматы QPSK и 8PSK могут использоваться в бортовых передатчиках (транспондерах), работающих в режиме, близкому к насыщению. Формат 32APSK предусматривает линейный режим работы транспондера и требует повышенных значений сигнал/шум, поэтому он, в основном, используется для профессиональных приложений, хотя и является самым широкополосным. Формат 16APSK при ограниченных требованиях к линейности транспондера (используются специальные схемы предискажений) может находить широкий диапазон приложений, включая и ТВ вещание. Модуляции 16APSK и 32APSK выбором своих параметров оптимизированы для работы в нелинейном транспондере. Однако их рабочие характеристики в линейном канале совместимы с традиционными форматами 16-QAM и 32-QAM соответственно.

Система DVB-S2 может использоваться в конфигурациях “одна несущая в транспондере” или “много несущих в транспондере” (используется FDM – частотное мультиплексирование). При работе на одной несущей символьная скорость передачи **R_s** будет соответствовать полосе пропускания транспондера (**$BW=R_s$**). При наличии же нескольких несущих, **R_s** будет соответствовать выделенному частотному диапазону данной услуги. Максимальное же число предоставляемых услуг будет ограничено как полосой транспондера и требуемой скоростью каждой из предоставляемых услуг, так и допустимым уровнем взаимных помех между смежными несущими.

Следует отметить, что DVB-S2 предусматривает возможность иерархической модуляции, т.е. использование двух независимых каналов с разными приоритетами: HP (высокий приоритет) и LP (низкий приоритет), как это показано на рис.7.2.

Иерархическая модуляция, предусматривает использование двух параллельных каналов высокого (HP) и низкого приоритета (LP) (рис.7.2): DVB-S и DVB-S2. По второму каналу (LP – низкий приоритет) увеличивается размерность фазовой девиации до неравномерной 8-PSK (рис.7.3). При этом, из всех возможных конфигураций потока DVB-S2 разрешается только нормальная конфигурация кадра состоящая из 64 800 битов (720 слотов × 90 бит). Кроме того, для обеспечения надежной работы приемника угол девиации θ (рис.7.3) может изменяться по требованию пользователя, так как увеличение θ приводит к улучшению отношения сигнал/шум (С/Ш) в канале низкого приоритета, но ухудшает его в канале высокого приоритета.

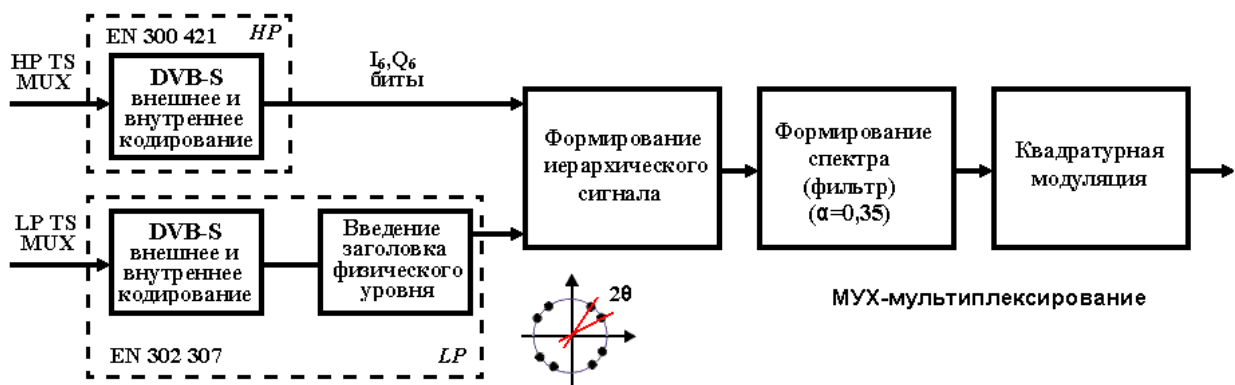


Рис.7.2. Структурная схема 2-х канальной иерархической модуляции

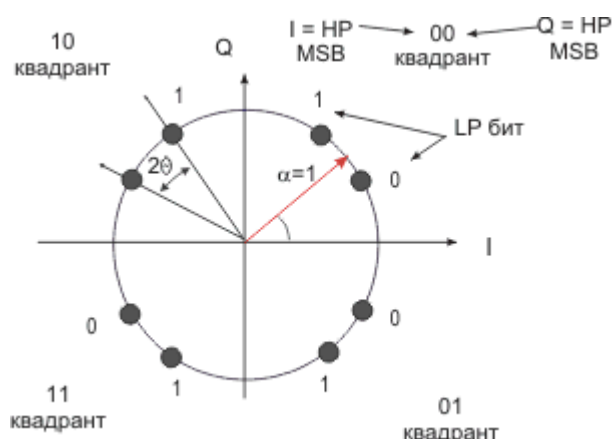


Рис.7.3. Изменение величины фазовой девиации

Одной из важных особенностей DVB-S2 является возможность использования режима **адаптивного кодирования и модуляции (ACM)**. Такой режим работы применим для приложений класса "точка-точка"

(двухточечные приложения, например, IP вещание в один адрес или цифровая спутниковая видео журналистика. Суть режима АСМ сводится к тому, что в зависимости от условий приема сигнала (например, наличия дождя), меняется режим работы модулятора DVB-S2, изменяющий скорость кодирования (CR) и формат модуляции, вследствие чего меняется требуемое соотношение С/Ш у абонента. Таким образом, режим АСМ позволяет достигать максимальной скорости цифрового потока для любых погодных условий. При этом порог С/Ш устанавливается на приемной стороне потребителем данной услуги (рис.7.4) за счет непрерывного измерения в точке приема значений С/Ш + П (отношение несущая/шум + помеха) и посылки измеренного значения на вещательную наземную передающую станцию посредством обратного канала. При этом параметры кодирования и модуляции могут изменяться от кадра к кадру.

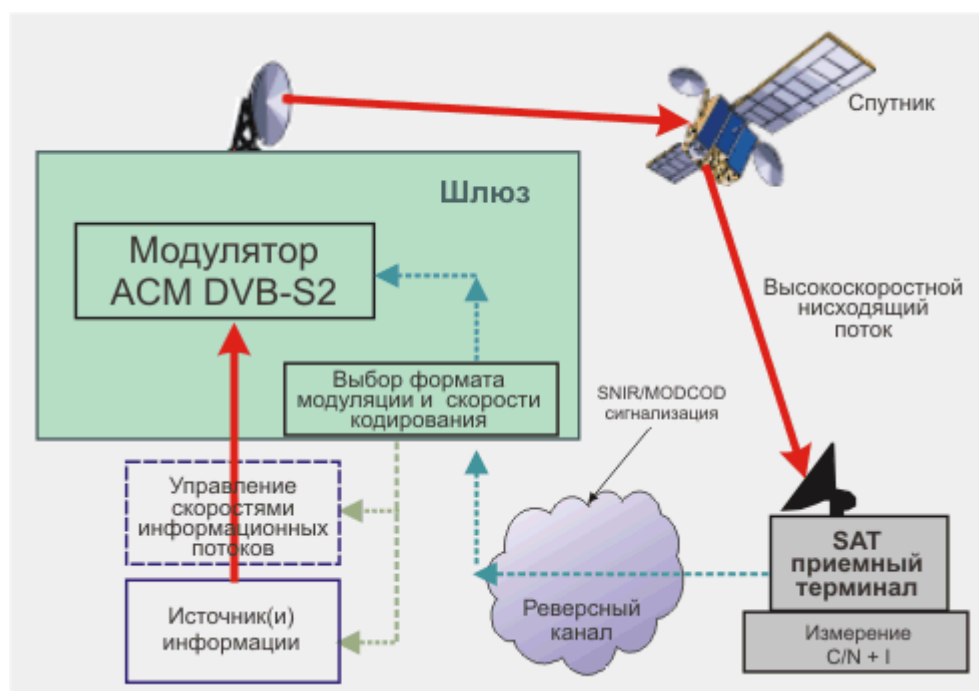


Рис.7.4. Организация адаптивного изменения параметров передачи

Следует отметить, что в отличие от стандарты DVB-S и DVB-DSNG жестко ориентированных на передачу транспортного потока MPEG-2 TS, стандарт DVB-S2 позволяет передавать как транспортные пакеты MPEG-2, так и произвольные потоки с непрерывной или пакетной структурой.

Как отмечалось выше, система DVB-S2 способна поставлять услуги вещания одновременно по нескольким транспортным потокам (TS), обеспечивая при этом разный уровень помехоустойчивости в разных потоках. Например, система обеспечивает высокую помехоустойчивость мультиплексированного канал телевидения стандартной четкости и менее защищенного ТВЧ. На рис.7.5 представлена типовая конфигурация мультиплексирования на передающей стороне.

В данной конфигурации предполагается передача полезной информации со скоростью 27,5 Мбод/с при использовании 8PSK с CR = 3/4

и QPSK с $CR = 2/3$. При этом необходимо учитывать, что бодовая скорость определяет передачу только полезной информации без учета дополнительных бит помехоустойчивого кодирования. Поэтому обычно бодовая скорость в цифровых системах передачи всегда меньше скорости битового потока, содержащего дополнительную информацию. Так в системе DVB-S2 битовая скорость передачи $SR = 40$ Мбит/с обеспечивает трансляцию двух HDTV программ, а $SR = 12$ Мбит/с достаточно для трансляции двух-трех SDTV программ.

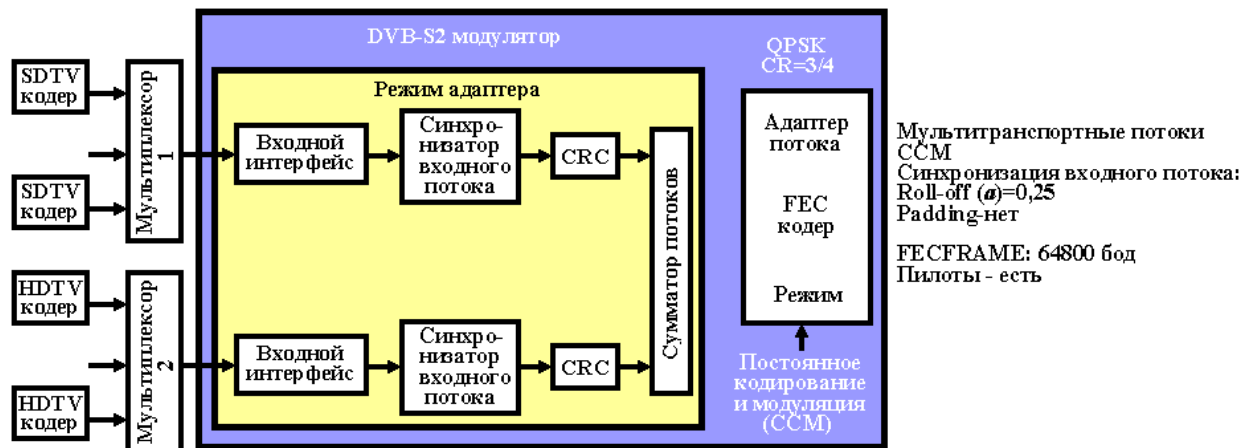


Рис.7.5. Типовая схема мультиплексирования ТВ программ

Следует отметить, что в результате применения описанных выше механизмов модуляции и кодирования, новый стандарт **DVB-S2** по сравнению с **DVB-S**, обеспечивает увеличение скорости передачи полезной информации на 20-35% или при той же эффективности использования спектра дает запас по уровню сигнала в 2-2,5 dB.

7.2. Стандарт наземного телевидения DVB-T2

Как было указано в предыдущем параграфе, вторая версия спутникового стандарта DVB-S2 по сравнению с первой обеспечивает увеличение пропускной способности канала до 30%. В связи с этим, для передачи сигналов ТВЧ повсеместно используется DVB-S2.

При попытке внедрить ТВЧ в эфирные сети, их более узкополосные каналы окажутся перегруженными еще быстрее, поэтому и для эфирного телевидения появилась необходимость создания нового стандарта с повышенной пропускной способностью каналов.

В феврале 2006 года в рамках консорциума DVB был создан исследовательский комитет (Study Mission), который должен был оценить потенциал различных технологий. Через полгода работа комитета была закончена, и DVB приступил к разработке стандарта **DVB-T2**, который был утвержден в ноябре 2008 года. При этом к стандарту были предъявлены следующие требования:

- Трансляции T2 должны приниматься на существующие домашние антенны, и переход на новый стандарт не должен требовать изменения инфраструктуры передающей системы.
- T2 должен обеспечить прием как на стационарные, так и портативные антенны.
- Необходимо обеспечить, как минимум, 30%-ный прирост пропускной способности каналов относительно DVB-T при идентичных условиях передачи.
- T2 должен улучшить работу одночастотных сетей (SFN).
- T2 должен допускать возможность сосуществования в одном радио канале услуг, передаваемых с разной степенью помехоустойчивости (как в DVB-S2). Например, часть услуг, транслируемых по одному каналу шириной 8 МГц, может быть предназначена для приема на направленные антенны, установленные на крышах, а часть — для приема на комнатные портативные антенны.
- T2 должен повысить гибкость использования полосы и частот.

Основной принцип разработки стандартов семейства DVB заключается в том, что они должны, максимально, быть совместимы друг с другом. То есть преобразование сигнала при его переводе из одного формата в другой (например, из DVB-S2 в DVB-T2) должно быть максимально простым. Соответственно, при разработке новых стандартов, по возможности, должны использоваться те же механизмы, что и в существующих стандартах. Поэтому в стандарт были включены 2 ключевые технологии взятые из стандарта DVB-S2. Это:

1. Системная архитектура транспортных потоков, в первую очередь, инкапсуляция данных в низкочастотные Base Band (BB) пакеты (рассмотрены в следующем разделе).
2. Использование помехозащитного кода с низкой плотностью проверок на четность Low Density Parity Check Codes — LDPC.

Для обеспечения максимальной пропускной способности канала связи в новом стандарте были введены Большая часть решений, использованная при разработке T2, была направлена на максимальное увеличение пропускной способности каналов за счет изменения методов кодирования, размерностей защитных интервалов и применения новых режимов введения пилот-сигналов, позволяющих оптимизировать параметров кодирования в зависимости от характеристик конкретного канала.

Для этой цели были применены новые схемы **помехоустойчивого кодирования (FEC) и Base Band (BB) кадры**. Как показано на рис.7.6, передаваемые данные пакетируются в BB-кадры, заголовок которых содержит информацию о характере данных. Затем данные закрываются контрольными битами LDPC FEC, аналогичным тем, что применяется в DVB-S2. Для устранения ошибок, оставшихся после LDPC-декодирования, данные дополнительно защищаются коротким кодом Боуза-Чоудхури-Хоквингема (Bose-Chaudhuri-Nocquenghem) BCH.

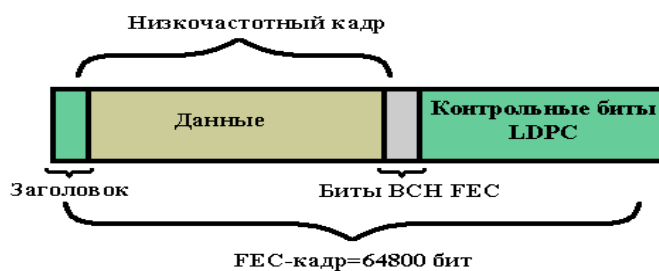


Рис.7.6. Структура НЧ (ВВ) кадра

Полная длина кадра с данными помехоустойчивого кодирования составляет 64800 бит. Этот кадр является базовым блоком системы T2. При этом в стандарте T2 доля контрольных бит помехозащитных кодов может меняться от 15 до 50%. Однако стандартом допускается и более короткий вариант FEC-кадра — длиной в 16 200 бит. Он может применяться для уменьшения задержек приема низкоскоростных услуг.

Данные, передаваемые внутри ВВ-кадра, как правило, представляют собой последовательность транспортных пакетов MPEG-2. В то же время, поля сигнализации в заголовке ВВ-кадра полностью совместимы с системой инкапсуляции IP-пакетов нового DVB-протокола GSE (Generic Stream Encapsulation- общего потока инкапсуляции).

Тестовая имитация работы помехозащиты на базе LDPC показала существенное повышение помехозащищенности по сравнению с помехоустойчивым кодированием DVB-T на основе сочетания сверточного кодирования и кодами Рида-Соломона. Выигрыш в уровне сигнал/шум за счет нового FEC может составлять до 3 дБ для типичного уровня ошибок и при одинаковой доле контрольных символов. По существу, это улучшение позволяет повысить пропускную способность канала примерно на 30%.

При разработке T2 проводились сравнения нескольких вариантов модуляции с одной или множественными несущими. В результате был выбран вариант OFDM с защитными интервалами (ЗИ), который используется в DVB-T, где каждый символ передается на большом количестве ортогональных несущих, модулируемых одновременно и по фазе и амплитуде. В частности, DVB-T предусматривает два режима — 2К и 8К. Эти цифры отражают размерность FFT (быстрого преобразования Фурье), используемого для формирования сигнала с множественными несущими. Фактическое количество несущих, используемых для передачи данных, несколько меньше. Для защиты сигналов (то есть каждой несущей, используемой для передачи данного символа) от искажения в условиях многолучевого распространения в T2 введено дублирование конца каждого символа в защитном интервале, предшествующем передаче этого символа, как показано на рис.7.7.



Рис.7.7. Использование защитных интервалов

Длина защитного интервала выбирается в зависимости от расчетной протяженности эфирного тракта и других параметров сети передачи. Более длинные защитные интервалы требуются в одночастотных сетях, где сигналы с соседних передатчиков могут приходиться на приемник со значительным запаздыванием относительно основного сигнала. Защитный интервал представляет собой надстройку, существенно снижающую пропускную способность канала связи. В DVB-T эта надстройка может занимать до 25% общего объема передаваемых данных. Для возможности увеличения защитного интервала без увеличения его доли в общем объеме данных в T2 были введены два новых режима — **16К** и **32К** с соответствующим увеличением числа ортогональных несущих. На рис.7.8 показан переход к режиму с большим числом поднесущих. В данном случае абсолютная величина защитного интервала сохраняется, но его доля в общем объеме снижается.

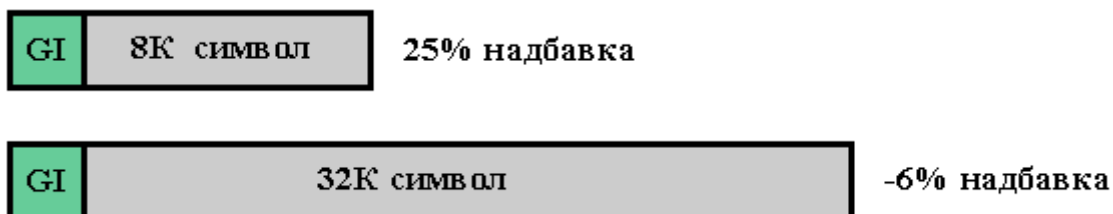


Рис.7.8. Иллюстрация перехода к режиму с большим числом поднесущих

Использование в DVB-T2 более длинных символов позволяет уменьшить относительную долю защитного интервала в общем объеме символа. Максимальная длительность защитного интервала в T2 достигается в режиме 32К при отношении ЗИ к длине всего символа 19/128. Длительность ЗИ при этом превышает 500 мкс, чего вполне достаточно для строительства крупной общегосударственной одночастотной сети.

Таким образом, T2 предлагает более широкий ряд размерностей FFT и защитных интервалов. А именно:

- размерности FFT: 1К, 2К, 4К, 8К, 16К, 32К;
- параметры ЗИ: 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4.

Как уже отмечалось, в OFDM каждая несущая модулируется и по фазе и амплитуде. Высшая модуляция стандарта DVB-T, 64 QAM, обеспечивает передачу одним символом сразу 6 бит (модулируемым элементом одной несущей).

Высшая модуляция в T2 увеличена до 256 QAM, она позволяет передавать одним символом 8 бит. Несмотря на то, что этот тип модуляции более чувствителен к ошибкам, обусловленным шумом, тестовая имитация показала, что LDPC FEC обеспечивает 30%-ное увеличение эффективности использования канала по сравнению с DVB-T при типовых условиях передачи.

Появившиеся в T2 новые режимы — 16К и 32К — имеют значительно более крутой спад внеполосных составляющих, чем режим 2К. Как показано на рис.7.9, это обстоятельство позволяет размещать несущие ближе к стандартной спектральной маске, которая накладывается на сигналы DVB-T в полосе 8 МГц. Это расширение полосы позволяет передать еще 2% дополнительных данных.

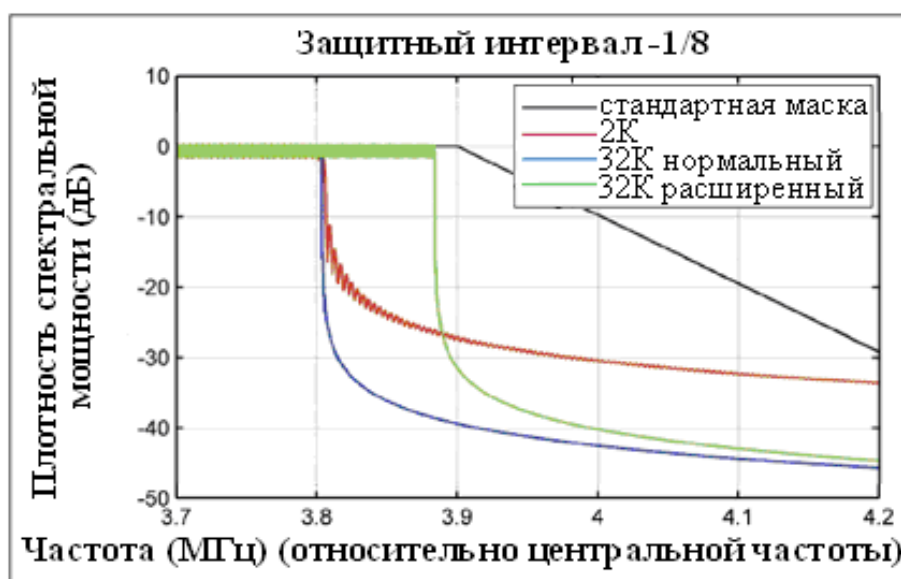


Рис.7.9. Теоретические кривые спектральной мощности сигналов DVB-T2 (канал 8 МГц).

В системах OFDM используются **распределенные пилот-сигналы**. Они представляют собой модулированные элементы, определенным образом разнесенные по несущим и во времени. Приемнику известны параметры модуляции пилот-сигналов, и он может использовать их для оценки состояния канала. В DVB-T каждый двенадцатый модулированный элемент является пилот-сигналом, то есть их доля в общем объеме данных составляет 8%. Эта пропорция используется при любых вариантах защитных интервалов, и размещение пилот-сигналов должно быть таким, чтобы позволить выровнять сигналы с защитным интервалом $1/4$. Однако для меньших защитных интервалов добавка пилот-сигналов в количестве 8% оказывается избыточной. Поэтому в T2 введены восемь разных вариантов их размещения. Каждому варианту относительной длительности ЗИ соответствует несколько возможных вариантов размещения пилот-сигналов, которые динамически выбираются в зависимости от текущего состояния канала, что позволяет оптимизировать их количество. На рис.7.10 показаны

два возможных варианта размещения пилот-сигналов. Более плотное размещение пилот-сигналов может использоваться для снижения требуемого уровня С/Ш на входе приемника или для улучшения синхронизации. В последнем случае пилот-сигналы модулируются псевдослучайной последовательностью.

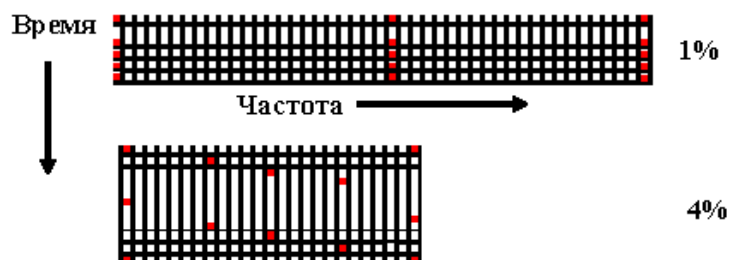


Рис.7.10. Типовые варианты расположения пилот-сигналов и доля их вклада в общий сигнал.

Коммерческие требования к T2 включали обеспечение различных уровней помехоустойчивости для разных услуг. Это может обеспечиваться использованием разных схем модуляции и степени помехоустойчивого кодирования. В T2 это достигается путем группировки OFDM-символов внутри кадра, так что каждая услуга передается цельным блоком, занимающим в кадре определенный слот. Этот принцип иллюстрируется на рис.7.11, где разными цветами обозначаются фрагменты потока, относящиеся к разным услугам.

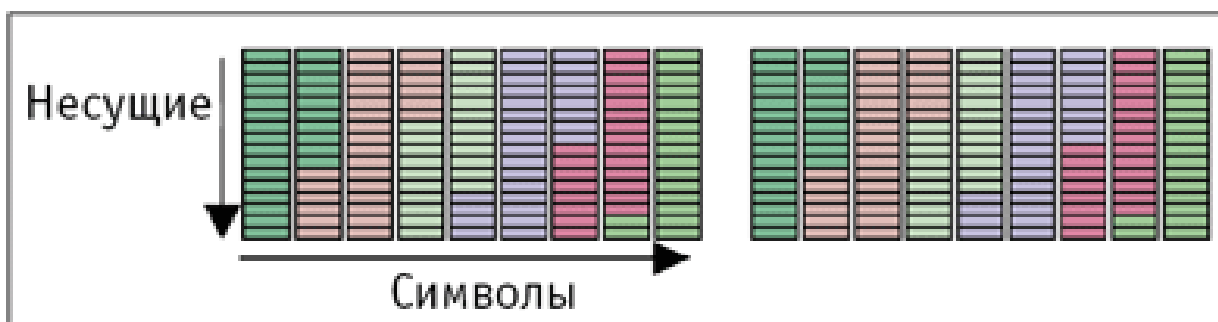


Рис.7.11. Структура кадров в T2.

Начало кадра в T2 индицируется коротким OFDM-символом P1, представляющим собой 1К OFDM-символ с повторами начала и конца символа на соседних несущих (то есть со сдвигом по частоте), как это показано на рис.7.12. Такая структура символа P1 с одной стороны позволяет легко его обнаружить, а с другой исключает возможность имитации символа каким-либо фрагментом основного кадра.

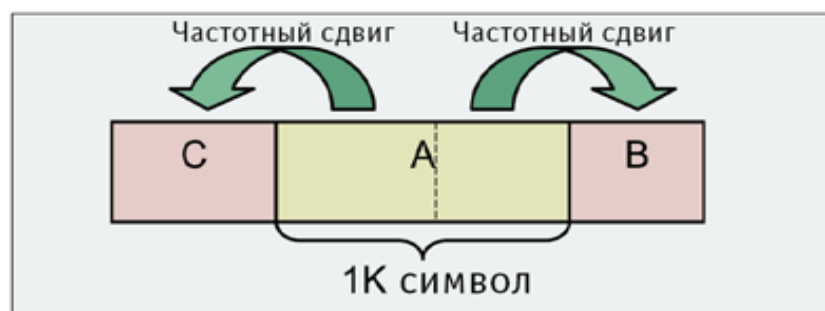


Рис.7.12. Упрощенная иллюстрация символа P1 сигнализации DVB-T2

Он обеспечивает простой и надежный механизм обнаружения трансляции T2-ресивером, сканирующим спектр в режиме поиска, а также быстрый захват ресивером частоты и 6-битной сигнализации (например, для определения размерности FFT в кадре T2).

Стандартная продолжительность кадра T2 — около 200 мс, а надстройка, требующаяся для передачи информации о структуре кадра, как правило, занимает менее 1%.

В системе канального кодирования T2 используется **три каскада перемежений**. Это практически гарантирует, что искаженные элементы при пакетных ошибках, после деперемежения в декодере будут раскиданы по LDPC FEC-кадру, что должно позволить кодеру LDPC выполнить восстановление данных.

Перечислим эти каскады:

1. Битовый перемежитель: рандомизирует биты в пределах FEC-блока;
2. Временной перемежитель: перераспределяет данные FEC-блока по символам в рамках кадра T2. Это повышает устойчивость сигнала к импульсному шуму и изменению характеристик тракта передачи.
3. Частотный перемежитель: он рандомизирует данные в рамках OFDM-символа с целью ослабить эффект селективных частотных замираний.

Также для повышения помехоустойчивости в T2 используется новаторская техника поворота модуляционного созвездия на определенный круговой угол. Такой поворот может существенно повысить устойчивость сигнала при типичных проблемах эфира. За счет поворота диаграммы на точно подобранный угол каждая точка созвездия приобретает уникальные координаты (u_1 и u_2), не повторяемые остальными точками (рис.7.13). При этом каждая координата точки обрабатывается в модуляторе отдельно, и они передаются в OFDM-сигнале отдельно друг от друга, замешиваясь с u_2 и u_1 другого символа (то есть u_2 и u_1 могут передаваться на разных OFDM-несущих и в разных OFDM-символах).

В приемнике u_2 и u_1 опять объединяются, формируя исходное созвездие, сдвинутое по кругу. Таким образом, если одна несущая или символ будут потеряны в результате интерференции, то сохранится информация о другой координате, это позволит восстановить символ, хотя и с более низким уровнем сигнал/шум. При использовании симметричного (не

повернутого) созвездия разнесение u_2 и u_1 смысла не имеет потому, что символ может быть распознан только по сочетанию двух координат. Каждая из них в отдельности имеет двойников, и уникально только их сочетание. Тестовое моделирование показывает, что выигрыш в С/Ш за счет применением этой техники может достигать до 5 дБ.

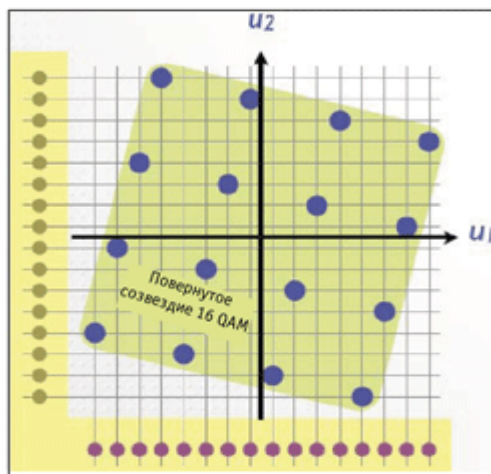


Рис.7.13. Поворот модуляционных созвездий QAM16

Стандарт T2 обеспечивает возможность приема от двух передатчиков за счет использования кода Аламоути. В тех случаях, когда ресивер «видит» сигнал сразу от двух передатчиков, например, при приеме на ненаправленную антенну в небольшой одночастотной сети, его применение может значительно улучшить работу системы. Это кодирование совместно с изменением формата пилот-сигналов дает возможность без потерь разделить и отдельно декодировать сигналы, принятые из двух разных эфирных каналов. Причем наложение кода не ухудшает приема, если антенне доступен только один канал. Предварительные расчеты показали, что эта техника позволяет увеличить зону покрытия небольших одночастотных сетей на 30%.

Следует отметить, что в стандарте DVB-T2 предусмотрены дополнительные функции, которые в настоящее время не используются, но могут быть полезными в будущем для расширения возможностей данной системы. Так, в T2 включено два дополнительных инструмента, которые в перспективе можно будет использовать для расширения кадра. При этом структура кадра T2 предусматривает возможность введения сигнализации для еще несуществующих типов кадров, которые могут быть предназначены для пока еще не определенных типов сигналов (рис.7.14).



Рис.7.14. Введение полей FEF между кадрами T2

То есть содержание этих кадров FEF (Future Extension Frames- Будущее Расширение Кадров) пока не определено. Включение соответствующей сигнализации в спецификацию T2 позволит ресиверам первого поколения распознать и проигнорировать FEF-фрагменты. Но забронированное уже сегодня место обеспечит обратную совместимость первых систем передачи с будущими, в которых эта сигнализация будет переносить информацию о новых типах содержимого.

Также в T2 предусмотрена частотно-временная сегментация необходимая для будущего частотно-временного деления на слоты (TFS — Time Frequency Slicing – Время Частотной Нарезки). Хотя основная спецификация предусматривает прием без применения TFS, в сигнализацию включены отметки, которые позволят будущим ресиверам, оснащенным двумя тюнерами, работать с TFS-сигналами. Такой сигнал будет занимать несколько РЧ-каналов, и разные фрагменты каждой из услуг будут в общем случае передаваться на разных частотах. Ресивер будет скачками перестраиваться с канала на канал, собирая фрагменты данных, относящихся к принимаемой услуге. Это позволит формировать пакеты с размерами, значительно превышающими допустимые для одного РЧ-канала, что, в свою очередь, даст возможность выигрыша за счет статистического мультиплексирования значительного количества каналов и гибкости частотного планирования.

При этом **Пропускная способность системы T2** будет определяться выбором целого ряда системных параметров. Для этой цели предусмотрено множество опций, и о конкретной конфигурации приемника будут информироваться с помощью специальной сигнализации. Выбор параметров представляет собой процедуру оптимизации работы системы, например, поиск компромисса между долей служебной информации и временем переключения с канала на канал или между пропускной способностью и устойчивостью к помехам.

Широкий набор конфигурируемых параметров также усложняет сравнение с другими системами. Так, например, если сравнивать T2 с DVB-T, то для первого могут быть выбраны параметры, обеспечивающие такое же поведение сигнала в стандартном канале, но предполагающие большую устойчивость T2 в условиях сложного приема. Такой вариант уже соответствует значительно более высокой пропускной способности канала T2 по сравнению с DVB-T. Однако можно выбрать и вариант с немного более низкими показателями для нормального канала, но по-прежнему с несколько более высокими для каналов, со сложными условиями приема. В этом случае прирост пропускной способности будет еще больше.

Сравнительные характеристики систем с одинаковым поведением в гауссовском канале представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1.
Некоторые сравнительные характеристики систем DVB-T и DVB-T2

	Английский вариант DVB-T	DVB-T2
Модуляция	64QAM	256 QAM
Размерность БПФ	2К	32К
Защитный интервал	1/32	1/128
FEC	2/3CC+RC (8%)	3/5LDPC+VCH (0,3%)
Распределенные ПС	8%	1%
Постоянные ПС	2,6%	0,35%
Заголовок кадра	1%	0,7%
Полоса	Нормальная	Расширенная
Пропускная способность	24,1 Мбит/с	35,9 Мбит/с

Где: БПФ- быстрое преобразование Фурье; ПС- пилот-сигнал

Как видно из данных таблицы, ожидаемый прирост пропускной способности относительно английского варианта DVB-T должен составить примерно 1,5 раза. Это результат теоретических оценок, так как в момент написания этого материала экспериментальных результатов в доступной литературе пока не найдено.

Таким образом из анализа основных положений нового стандарта DVB-T2 можно заключить, что в стандарт включены новые эффективные технологии учитывающие особенности эфирной передачи сигналов. Кроме того, была расширена линейка базовых параметров, что позволяет оптимизировать размер служебно-контрольной надстройки кадров. Ожидается, что все это в комплексе приведет к значительному увеличению пропускной способности и одновременно повысит устойчивость системы. То есть позволит построить оптимальную сеть для передачи ТВЧ.

7.3. Стандарт кабельного телевидения DVB-C2

Современные телевизионные кабельные сети, благодаря высокой пропускной способности канала с низким уровнем помех представляют собой качественную платформу для сегодняшних и завтрашних широкополосных телекоммуникационных услуг формированием обратных каналов. С внедрением систем цифрового телевидения стандарта DVB-C в сочетании с компрессией MPEG-2 позволило вводить в сети огромное количество цифровых ТВ-каналов. В то же время DVB-C, как правило, продолжает сосуществовать с аналоговым вещанием, и к тому же во многих кабельных сетях присутствует двусторонняя передача данных Интернета. Операторы формируют у себя пакет мультисервисных услуг, который, дополнительно к традиционному телевидению, включает телефонию и доступ к Интернет. При этом объемы IP-трафика стремительно растут, и эта

тенденция обещает сохраниться в будущем. Кроме того, все больше видеоматериала предоставляется в формате телевидения высокой четкости (ТВЧ), что требующем значительно более высокой пропускной способности по сравнению с телевидением стандартной четкости. К тому же, используемый спектр прямого канала как правило, ограничен значением 800 МГц. Поэтому с массовым внедрением передач в стандарте ТВЧ многие кабельные операторы столкнутся с проблемой дефицита спектра. Решить эту проблему можно либо увеличением верхней частоты ТВ диапазона, либо разделением сети на сегменты с меньшим числом абонентов. Оба подхода требуют применения дополнительного оборудования как на передающей, так и на приемной стороне, что влечет за собой увеличения стоимости оказываемых услуг. Третий, наиболее перспективный подход — реорганизация физического канала по технологии с более эффективным использованием спектра. Такая технология как раз и разработана в рамках недавно принятого стандарта цифрового кабельного телевидения второго поколения DVB-C2.

Общая характеристика DVB-C2.

Второе поколение стандартов DVB, включает три основных транспортных стандарта, обслуживающих три главные транспортные среды — DVB-S2 (спутниковый), DVB-T2 (эфирный) и DVB-C2 (кабельный). Разработчики семейства стандартов DVB-X2 старались максимально унифицировать компоненты стандартов, предназначенных для разных среды. В частности, во всех стандартах применяется единая схема помехоустойчивого кодирования с **Прямым исправлением ошибок** (FEC — Forward Error Correction). Она предусматривает последовательное наложение внешней кодозащиты с применением кода Боуза—Чоудхури—Хоквингема (Bose-Bhauhdhuri-Nocquenghem, BCH) и внутренней кодозащиты с применением кода с низкой плотностью проверок на четность (Low Density Parity Check Codes — LDPC). Более того, системные уровни DVB-S2 и DVB-C2 тоже очень близки, что позволяет легко конвертировать спутниковый сигнал в формат, регламентированный для кабельных сетей. На рис.7.15 показана упрощенная структурная схема передатчика DVB-C.

Как в DVB-S2 и DVB-T2, в новом кабельном стандарте внутри одного физического канала предусмотрено выделение нескольких транспортных каналов. Они получили название **PLP** (Physical Layer Pipe- Физический Слой Трубы). Это логический канал, который может переносить обычный поток MPEG-2 TS или использоваться для передачи IP с применением протокола GSE (Generic Stream Encapsulation - Общий Поток Инкапсуляции). Каждый PLP пропускается через блок входной обработки, за которой следует модуль помехоустойчивого кодирования и далее — формироваель QAM-символов. Один или несколько PLP могут укладываться в так называемые слои данных Data Slices (аналогичные каналам). Для повышения устойчивости к пакетным ошибкам или воздействия узкополосных помех эти слои затем подвергаются

перемежению по времени и частоте. После этого они поступают в формирователь кадра, собирающий воедино все слои и добавляющий пилот-сигналы, а также заголовок сигнализации первого уровня. На последнем этапе сформированный кадр поступает в генератор OFDM-потока.

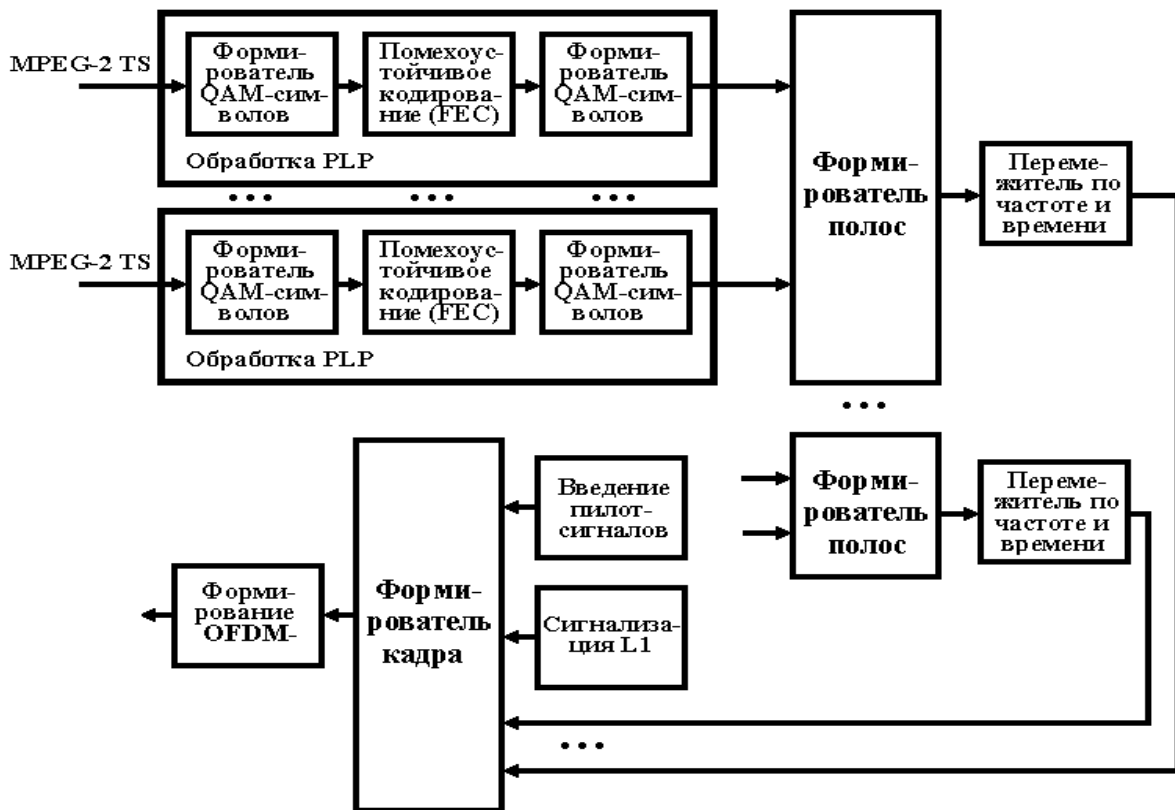


Рис.7.15. Упрощенная структурная схема передатчика DVB-C

Применение нескольких PLP позволяет передавать в одном физическом канале несколько независимых логических каналов. Каждый PLP представляет собой такой логический канал, по которому передаются либо транспортные пакеты MPEG-2 TS, либо IP-пакеты с использованием протокола GSE.

Идентификатор PLP Id, позволяющий идентифицировать конкретный PLP на приемной стороне, является частью заголовка, передаваемого перед каждым пакетом. После декодирования этого заголовка и извлечения PLP Id приемник может определить, должен ли он декодировать пакет, следующий за заголовком или нет. Пакеты, не принадлежащие к запрашиваемому PLP не пропускаются в QAM-демодулятор и декодер помехоустойчивого кодирования. В результате существенно снижается скорость потока, обрабатываемого приемником, а также процессорная мощность, требуемая для этой обработки. Другое преимущество применения PLP заключается в том, что разные потоки можно передавать с разным уровнем помехоустойчивости: схема модуляции и режим помехоустойчивого кодирования для каждого PLP могут выбираться индивидуально. То есть

каждой услуге может назначаться свое качество обслуживания (Quality of Service, QoS). Преимущества индивидуального выбора параметров в первую очередь проявляются при двусторонней передаче данных в режиме «точка—точка». Они могут выбираться в зависимости от характеристик каналов, соединяющих головную станцию и конкретное абонентское устройство, а именно от протяженности линии, количества сетевых усилителей и качества внутридомовой разводки.

Эта техника может быть использована, например, для услуги доступа в Интернет по кабелю через наложенную сеть **DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications-стандарт передачи данных по коаксиальному ТВ кабелю)**. В этом случае для передачи в прямом направлении используется канал DVB-C2, а информация о качестве принимаемого сигнала может передаваться кабельным модемом по обратному каналу. Это позволит повысить эффективность использования спектра сети.

Помехоустойчивое кодирование и модуляция. Для унификации оборудования стандарт DVB-C2 предусматривает то же помехоустойчивое кодирование LDPC, которое ранее было заложено в стандарты DVB-T2 и DVB-S2. Коды этого класса известны еще с 60-х годов прошлого века, но их практическое использование стало возможным только в последнее время благодаря достижениям в области микропроцессорных технологий. Преимущества их применения заключаются в следующем. Поток DVB-C2 с относительной скоростью кодозащиты 9/10 может быть восстановлен декодером даже при плотности ошибок в несколько процентов. В то время как применяемый в DVB-C код Рида—Соломона при той же относительной скорости может восстановить поток до квазибезошибочного состояния при плотности ошибок не более $2 \cdot 10^{-4}$. Эффективность LDPC-кодирования особенно высока при кодировании длинных последовательностей. Потому длина стандартного слова, к которому в DVB-C2 прилагается LDPC, составляет **64800 бит** (вместо 1632 бит или 204 Байт в DVB-C). То есть кодируемое слово больше не коррелировано с транспортным пакетом MPEG-2 TS.

После кодирования LDPC в DVB-C2 предусмотрено применение кода BCH с очень высокой относительной скоростью (около 0,99). Этот код с малой корректирующей способностью введен для снижения порога коррекции LDPC. Порог коррекции присутствует у всех итеративных схем кодирования, таких как LDPC или турбокоды. Он проявляется в том, что при декодировании всегда остается некоторое количество ошибок, не поддающихся коррекции при последующих итерациях, выполняемых FEC-декодером.

Существенное повышение эффективности помехоустойчивого кодирования позволяет использовать более высокие размерности модуляции. Если в DVB-C максимально можно использовать 256 QAM, то в DVB-C2

добавляются размерности 1024 и 4096 QAM. Допустимые комбинации модуляций и схем помехоустойчивого кодирования приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2

Допустимые сочетания модуляций, относительных скоростей передачи и уровней сигнал/шум, необходимых для безошибочного приема в системе DVB-C2

FEC	16 QAM	64 QAM	256 QAM	1024 QAM	4096 QAM
2/3	-	13,5 дБ	-	-	-
3/4	-	-	20,0 дБ	24,8 дБ	-
4/5	10,7 дБ	16,1 дБ	-	-	-
5/6	-	-	22,0 дБ	27,2 дБ	32,4 дБ
9/10	12,8 дБ	18,5 дБ	24,0 дБ	29,5 дБ	35,0 дБ

Как видно из данных таблицы 7.2 значения отношений С/Ш, обеспечивающих безошибочный прием данных, лежат в пределах примерно от 10 до 35 дБ, причем спектр допустимых модуляций и схем кодирования позволяет подбирать их под требуемый сигнал /шум с шагом около 2 дБ.

Основным отличием DVB-C2 от DVB-C является применение OFDM вместо одной QAM-модулированной несущей, поскольку OFDM обладает большей устойчивостью к различным видам канальных искажений (например, многолучевым отражениям или узкополосным помехам). Что касается семейства DVB, то OFDM вначале была применена в эфирном стандарте первого поколения DVB-T, а затем ее параметры расширили и усовершенствовали в стандарте DVB-T2. Набор COFDM-параметров, использованный в новом эфирном стандарте, вполне соответствует и требованиям передачи в кабеле, поэтому он был перенесен также и в DVB-C2. Благодаря общности COFDM-параметров и значительному количеству других общих блоков, создание чипов, сочетающих функциональность эфирного и кабельного стандартов удешевляет производство оборудования.

В результате DVB-C2 поддерживает позаимствованный в DVB-T2 режим 4К с продолжительностью полезного OFDM-символа 448 мкс и двумя вариантами защитных интервалов — 1/64 и 1/128. Кроме того, в DVB-C2 используются те же схемы распределения пилот-сигналов, что позволяет применять в обеих системах единый блок оценки качества канала.

В то же время, в отличие от эфирного стандарта, DVB-C2 не должен подчиняться жесткой частотной сетке. Так как кабельная сеть представляет собой закрытую экранированную среду, то нет необходимости координировать использование ее спектра с эфирным планом распределения частот. Поэтому в кабельной системе можно гибко адаптировать полосу канала под свои конкретные потребности. Применение OFDM вместо одной модулированной несущей как раз и является ключевым фактором, обеспечивающим эту возможность. Ширина канала задается выделением ему определенного количества OFDM-поднесущих. А характеристики входного

фильтра и системные часы остаются практически неизменными. Такой подход позволяет расширить полосу передаваемого сигнала для размещения в нем большего количества услуг. Чтобы не усложнять и не удорожать абонентское оборудование, предполагается сегментированный прием таких каналов. Этот подход используется в японской системе эфирного телевидения ISDB-T. Приемник со стандартной полосой пропускания может выделить из широкого пакета только ту часть, которая содержит принимаемую в данный момент услугу, а полоса, занимаемая этой частью, никогда не превышает 8 МГц.

Структура кадра DVB-C2 показана на рис.7.16. Каждый кадр C2 начинается с преамбулы, состоящей из одного или более OFDM-символов и выполняющей две основные функции. С одной стороны, она обеспечивает надежную временную и частотную синхронизацию OFDM-сигнала и самой структуры. Для этой цели в преамбулу вводится особая последовательность пилот-сигналов, модулирующая каждую шестую OFDM-поднесущую символов преамбулы. С другой стороны, преамбула содержит сигнализацию 1-го уровня (L1), необходимую для декодирования потоков данных и содержащейся в них полезной информации. Преамбула состоит из циклически передаваемых блоков сигнализации L1, повторяющихся в каждой полосе 7,61 МГц широкополосного канала. Фиксированное расположение блоков L1 и их повторение с шагом 7,61 МГц обеспечивают их прием при настройке тюнера на любые 8 МГц из занимаемого кадром диапазона. Как показано на рис.7.17. при переходе к частотному представлению сигнала (то есть после прямого преобразования Фурье) приемник имеет возможность разместить полученные им поднесущие в нужном порядке и восстановить всю содержащуюся в преамбуле информацию. Причем даже потеря нескольких поднесущих заметно не повлияет на работу системы, так как сигнализация передается в очень устойчивом режиме. В отличие от блоков сигнализации L1, слои не должны вписываться в жесткую частотную сетку и могут быть расположены внутри потока совершенно произвольно. Единственное требование — чтобы ни один слой по ширине не превышал 7,61 МГц. Именно поэтому сигнализации L1 должна быть доступна при настройке на любой частотный сегмент входного потока.

Такая схема позволяет точно подстроить отводимую слою полосу под скорость передаваемого в нем потока. Например, спутниковые потоки с очень разными битовыми скоростями могут быть перенесены в поток DVB-C2 без необходимости забивать место лишними битами или ремультимплексировать транспортный поток MPEG-2 TS. Слой может формироваться до тех пор, пока не будут заполнены все поднесущие OFDM-сигнала. Размещение и ширина каждого слоя могут изменяться от фрейма к фрейму, но это не влечет за собой необходимости перестраивать приемник. Сигнализация в блоках L1 содержит не только начальную и конечную частоту слоев, передаваемых в кадре, но также и оптимальную частоту настройки для приема этого слоя. То есть передатчик может менять параметры слоев от кадра к кадру в рамках заданной ему полосы приема.

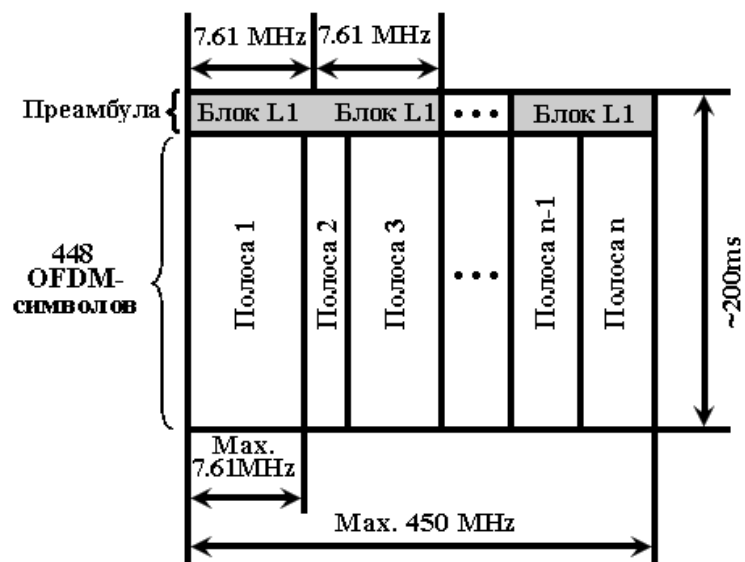


Рис.7.16. Структура кадра DVB-C2

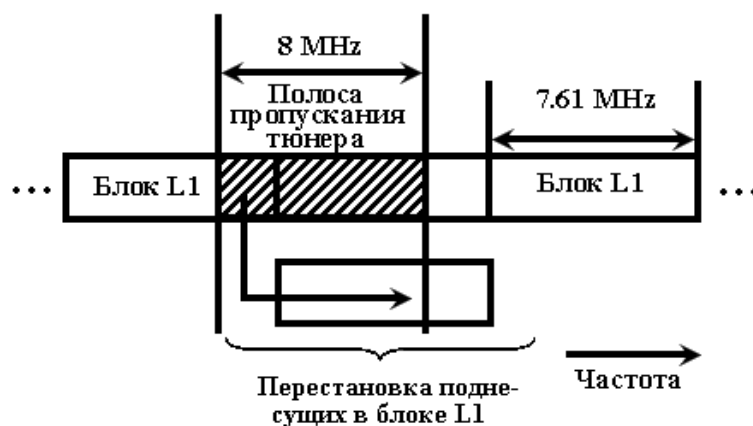


Рис.7.17. Структура преамбулы DVB-C2

Одна из основных целей разработки DVB-C2 заключается в повышении эффективности использования спектра. Это достигается применением LDPC-кодирования в сочетании с более высокими схемами QAM-модуляции, а также за счет применения OFDM. В стандарте DVB-C с его одночастотной модуляцией применяется маскирующий фильтр, задающий форму передаваемого сигнала. В результате действия скругляющего фильтра, по краям канала появляются скосы (рис.7.18). В DVB-C применяются фильтры с коэффициентом скругления 0,15, и на эту же величину снижается эффективность использования спектра. В принципе, возможно применения фильтров с меньшим коэффициентом, но это потребует более высокой точности настроек передатчика и приемников.

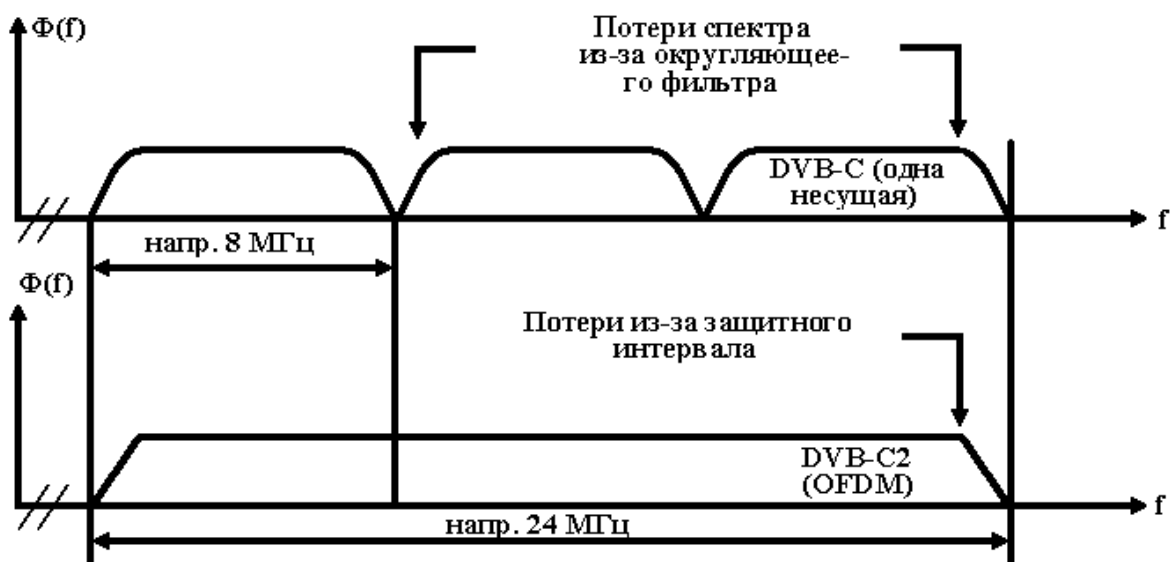


Рис.7.18. Использование спектров в DVB-C и DVB-C2

Следует отметить, что потеря ширины спектра из-за скругления не зависит от абсолютной ширины канала, то есть для канала в 16 МГц спектральные потери на скругление будут теми же. Но в случае с OFDM это не так. Тут потери связаны с добавлением защитного интервала, введением пилот-сигналов и защитных полос по краям спектра. В стандартном режиме с защитным интервалом 1/128 и плотностью размещения пилот-сигналов 1/96 потери, обусловленные этими двумя факторами, составляют примерно 2%. Что касается пограничных защитных полос, то они требуются только между соседними каналами, но не внутри одного OFDM-потока. И, как видно на рис.7.19, ширина пограничной защитной полосы практически не зависит от полосы, занимаемой самим OFDM-сигналом. Графики спектральной плотности идеальных сигналов DVB-C при ширине 7,61 МГц на 450 МГц на граничной частоте практически накладываются друг на друга. То есть для обоих сигналов достаточно защитной полосы примерно в 200 кГц. Таким образом, с расширением полосы спектральные потери существенно снижаются. Так, например, спектральные потери для сигнала DVB-C2 шириной 32 МГц (передающего, скажем, 5 слоев по 6,4 МГц) составляют всего 3,25%, в то время как в DVB-C они составляют 15%.

Таким образом, снижение потерь спектра за счет применения COFDM в сочетании с LDPC-кодированием позволило создать систему, по эффективности передачи близкую к теоретическому пределу.

В таблице 7.3 представлены возможные скорости передачи информационных бит в системах DVB-C и DVB-C2. Для более наглядного сравнения для обеих систем рассматривается канал шириной 8 МГц. В случае DVB-C2 общая ширина потока выбрана величиной в 32 МГц. Новые режимы, появившиеся в DVB-C2, позволяют увеличить скорость на величину до 65% при требуемом отношении сигнал/шум в 35 дБ, что в большинстве современных кабельных сетей вполне реализуемо.

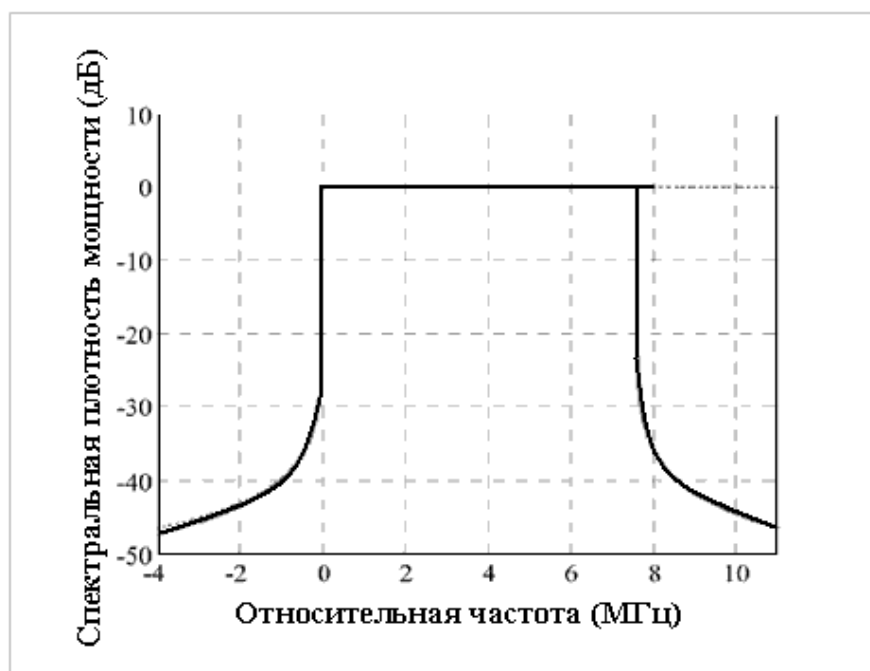


Рис.7.19. Распределение спектральной плотности сигнала DVB-C2 с ЗИ 1/128 при ширине сигнала 7,61 МГц на 480 МГц. Первая активная поднесущая расположена на относительной частоте 0МГц

Таблица 7.3.

Допустимые скорости передачи информационных бит для DVB-C и DVB-C2 при ширине канала 8 МГц (параметры DVB-C2: ширина полосы — 32 МГц, защитный интервал — 1/128, плотность пилот-сигналов — 1/96).

-	16 QAM	64 QAM	256 QAM	1024 QAM	4096 QAM
DVB-C	25 Мбит/с	38,4 Мбит/с	51,2 Мбит/с	-	-
C2, 2/3	-	31,4 Мбит/с	-	-	-
C2, 3/4	-	-	47,1 Мбит/с	58,9 Мбит/с	-
C2, 4/5	25,1 Мбит/с	37,7 Мбит/с	-	-	-
C2, 5/6	-	-	52,4 Мбит/с	65,4 Мбит/с	78,6 Мбит/с
C2, 9/10	28,3 Мбит/с	41,4 Мбит/с	56,6 Мбит/с	70,7 Мбит/с	84,8 Мбит/с

Таким образом, разработанный стандарт DVB-C2 позволяет существенно повысить эффективность использования спектра. Это достигается за счет применения более высоких размерностей QAM-модуляции (до 4096 QAM) в сочетании с мощной системой помехоустойчивого кодирования на базе LDPC-кодов. Кроме того, применение OFDM дает дополнительный выигрыш в плане гибкости и эффективности, а также позволяет удешевить создание единых приемных чипов для систем DVB-T2/C2. Рабочие возможности стандарта близки к

теоретическому пределу. Это позволяет создать на его базе экономически эффективную систему, включающую вещание ТВ высокой и стандартной четкости, а также интерактивные услуги типа видео по требованию или доступа к Интернету. Он также допускает передачу без транспортных пакетов MPEG-2 TS с применением протокола GSE, что дополнительно снижает объем передаваемой служебной информации.

7.4. Общая характеристика стандарта мобильного телевидения DVB-SH

Стандарт DVB-SH разрабатывался специально для создания сетей мобильного ТВ, однако, обратная совместимость с DVB-T позволяет использовать DVB-SH для развертывания любой сети цифрового ТВ в сочетании с DVB-T-системами или вместо них.

Семейство стандартов DVB-х первого поколения (DVB-C, DVB-T и DVB-S, соответственно, для кабельного, эфирного наземного и эфирного спутникового цифрового вещания) было определено еще полтора десятка лет назад. За этот период появились как минимум две важные предпосылки для разработки стандартов второго поколения. Во-первых, у абонентов возникла потребность получать большее количество телевизионных каналов с более высоким разрешением (включая HDTV), а во-вторых, у операторов появилась необходимость сократить инвестиции в развертывание сетей цифрового вещания. Стандарт DVB-SH, появившийся на свет в 2007 году, как и DVB-C2, DVB-T2 и DVB-S2, относится ко второму поколению семейства DVB-х и обладает всеми необходимыми свойствами для экономии инвестиций и увеличения качества цифрового вещания.

При разработке гибридного стандарта учитывались следующие обстоятельства. Для хорошего приема со спутникового транспондера необходимо находиться в зоне его прямой видимости, поэтому в помещениях прием может быть затруднен. В связи с этим для преодоления этого препятствия спутниковое вещание в густонаселенных регионах поддерживается наземными ретрансляционными станциями. Поэтому передаваемые через наземную и спутниковую сеть DVB-SH биты синхронизируются так, чтобы абонентский терминал не мог различить, откуда он получает сигнал – с ретранслятора или напрямую со спутника. При синхронизации наземной и спутниковой сети в режиме OFDM-модуляции сигналы складываются, что позволяет обеспечить качественное вещание и на фиксированные и мобильные терминалы, находящиеся как на улице, так и внутри помещений. То есть, находясь в условиях плотной городской застройки, абонент посредством DVB-SH может получать сигнал сразу от двух сетей – спутниковой и наземной. Это позволяет избавиться от эффекта теневого экранирования, который неизбежно возникает при использовании одной лишь спутниковой сети, поскольку спутники "светят" не вертикально по отношению к абоненту и все строения в той или иной степени

препятствуют прохождению их сигнала. При этом за городом, где отсутствует проблема теневого экранирования, для качественного вещания может использоваться только спутниковая сеть. В настоящее время в мире используется два спутника для DVB-SH-вещания: один принадлежит американской компании ICO Global Communications, а другой – европейскому оператору Solaris Mobile (совместное предприятие Eutelsat и SES Astra). В Европе гибридной сетью DVB-SH при участии Alcatel-Lucent как системного интегратора покрыт Париж с его пригородами, а от спутниковой сети сигнал можно принимать на территории всей Франции.

Вторая важная особенность гибридности DVB-SH-сети заключается в том, что она позволяет оператору в одном транспортном потоке MPEG-2 и на одной частоте передавать два потока MPEG-4 с двумя видами телевизионного контента, имеющего различные параметры: для фиксированного и для мобильного вещания. При этом фиксированный контент может включать в себя как телеканалы стандартного разрешения, так и HDTV-каналы. Емкость транспортного канала одного мультиплекса, образуемого передатчиком DVB-SH в режиме модуляции 16QAM 2/3, составляет около 14 Мбит/с, в которые можно уложить различные комбинации мобильных и фиксированных телеканалов. Например, два канала телевидения высокой четкости по 4,5 Мбит/с, два канала телевидения стандартной четкости по 1,5 Мбит/с и пять каналов мобильного телевидения (LDTV) по 384 кбит/с. Таким образом, при помощи сети DVB-SH в условиях ограниченного частотного ресурса на базе всего одного передатчика оператор может обеспечить вещание сразу двум сегментам пользователей. При этом мобильные и фиксированные терминалы будут видеть только свою часть контента. На практике реализация гибридного цифрового вещания посредством DVB-SH была представлена компанией Alcatel-Lucent в ходе выставки CSTB 2010.

Следует отметить, что строительство сетей DVB-SH упрощается тем, что по топологии и используемому частотному ресурсу они близки к сетям мобильной связи. Поэтому для их развертывания можно задействовать уже существующую инфраструктуру мобильных сетей связи. Что же касается интеграции DVB-SH в сети наземного вещания на базе DVB-T или DVB-H, то оно осуществляется путем добавления модуляторов DVB-SH к уже используемым передатчикам. Для подключения к DVB-SH-сетям абоненты могут использовать всевозможные специализированные терминалы со встроенной поддержкой DVB-SH – мобильные телефоны, мультимедийные гаджеты, телевизионные приставки, USB-приемники. Кроме того, для приема DVB-SH-сигнала могут применяться также любые телевизоры, в том числе и аналоговые, при условии дополнительной установки DVB-SH-ресивера.

На практике DVB-SH может использоваться в сочетании с DVB-T/T2. В городах для приема телевизионного сигнала высокой четкости (HDTV) используются фиксированные антенны и стационарные телевизоры, которые абонент не носит за собой. Поэтому в городских условиях для HDTV-вещания более эффективны сети на базе DVB-T/T2, обеспечивающие более

высокую пропускную способность. При этом DVB-SH может использоваться как дополнение для реализации устойчивого приема телевизионного сигнала стандартной четкости в помещениях, а также для вещания на мобильные терминалы. За городом же, где условия приема сигнала значительно лучше, DVB-SH можно применять для всех видов вещания, обеспечивая при этом гораздо большую зону покрытия при ощутимо меньших затратах на развертывание сети по сравнению с DVB-T/T2. В этом и заключается высокая экономическая эффективность DVB-SH. Таким образом, DVB-SH можно рассматривать не только как фундамент для построения гибридных или мобильных вещательных сетей, но и как эффективное дополнение для развертывания сетей на базе стандартов DVB-T или DVB-T2 в рамках цифровизации телевещания.

8. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

В конце 2008 года в Узбекистане запущено цифровое телевидение с использованием стандарта наземного вещания DVB-T на 41 и 42 ТВК. Вещание ТВ каналов ведется с использованием формата сжатия MPEG-4-10 (H.264). Коммерческой реализацией занимается специально созданное предприятие «UZDIGITAL TV», а для защиты контента изначально, skf выбрана система условного доступа IRDETO 2. При этом возникает большая проблема с огромным парком аналоговых телевизоров неспособных принимать сигналы цифрового ТВ вещания.

Данная проблема может быть решена двумя способами:

- использованием специальной приставки к телевизору, которая позволяет принимать сигналы цифрового ТВ и преобразовывать их с стандарт аналогового ТВ вещания для отображения на обычных телевизорах;
- подключение специальной цифровой платы к телевизорам 3 поколения и выше с заменой селектора каналов.

Применение специальной платы лежит в основе Российской концепции аналого-цифровых (гибридных) TV/DVB-T телевизоров способных принимать программы как аналогового, так и цифрового телевидения. Особенно это удобно при выпуске новых телевизоров, поскольку телевизоры "digital TV Ready" создаются на основе обычных серийных телевизоров у которых на аналоговом шасси предусмотрен специальный разъем (аппаратный интерфейс) для подключения приемной платы DVB-T, а аналоговый селектор каналов заменяется на специальный цифровой (digital tuner) с повышенными требованиями к его амплитудно-фазовой характеристики. Кроме этого в процессор управления телевизора "digital TV Ready" "зашивается" специальное программное обеспечение, предусматривающее дополнительную возможность управления режимами работы платы DVB-T. При этом стоимость гибридного телевизора в варианте "DVB-T Ready" практически не будет отличаться от цены обычного. Цифровая плата обеспечивает большие возможности гибридного телевизора и рассчитана на подключение к современным типам телевизоров, однако она не может быть встроена в значительную часть телевизоров выпуска ранее 1990 года, что ограничивает ее применение.

Применение же специальной приставки позволяет использовать, без каких либо переделок, любой телевизор для приема сигналов цифрового телевидения, что делает ее более универсальной, чем встраиваемые цифровые платы. Поэтому в Узбекистане компанией ООО ПП "TELMAX Elektroniks" было запущено производство абонентских приставок DVB-T 1000 MP4 и TE-D-1001, внешний вид которых представлен на рисунках 8.1 и 8.2, а основные их технические характеристики приведены в таблице 8.1.

В настоящее время в Узбекистане компанией ООО СП «TELECOM

INNOVATIONS» выпускается следующий вариант приставки: тюнер модели TE-6010IR (рис.8.3), технические характеристики которого приведены в таблице 8.2. Также планируется выпуск тюнеров модели IV-2010IR.



Рис.8.1. Внешний вид тюнера DVB-T 1000 MP4



Рис.8.2. Внешний вид тюнера TE-D-1001

Таблица 8.1.

Основные технические характеристики приставок

Модель	1000 MP4	TE-D-1001
Рабочий диапазон частот сигнала DVB-T, МГц	146-862	174 - 862
Уровень входного сигнала, дБ мВт	-87...-20	-87...-20
Полная поддержка стандарта DVB-T	Есть	Есть
Стандарты сжатия видеопотока	MPEG-2 H.264 HP	MPEG-2 H.264/AVC
Ширина полосы, МГц	7, 8	7, 8
Поддержка форматов 4:3 и 16:9	Есть	Есть
Диапазон звуковых частот	20 Гц-20кГц	20 Гц-20кГц
Стандарт видео	NTSC/PAL	NTSC/PAL
Выходы аудио/видео сигналов	Видео TV Scart; RCA; S-VIDEO Mini-D in	Видео TV Scart; RCA;



Рис.8.3. Тюнер TE-6010IR (вид спереди, сзади, сверху и внутри)

Таблица 8.2.

Основные технические характеристики тюнера TE-6010IR

Устройство	Параметры	
Тюнер	Стандарт принимаемого сигнала	DVB-T, DVB-T2
	Частота входного сигнала	VHF 174-230 МГц UHF 470-862 МГц
	Уровень входного сигнала	- 77 ~ - 20 дБмВ
	Входный разъем	IEC 169-2 Female
	Входной импеданс	75 Ом
	Ширина полосы	7; 8 МГц
Демодулятор	Модуляция	COFDM
	Модуляция несущих	QPSK, QAM 16, QAM 64, QAM 256
	Защитный интервал	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
Видеодекодер	Транспортный поток	MPEG-4 Part 10 (H.264), MPEG-2 ISO/IEC 13818
	Формат экрана	4:3, 16:9
	Формат видео	PAL, NTSC
	Разрешение видео	720x576i, 720x480i, 720x576p, 720x480p, 1280x720p, 1920x1080i, 1920x1080p
Аудиодекодер	Стандарт	ISO/IEC13818-3
	Декодирование звука	MPEG-1 и MPEG-2 Layer I & II, Dolby Digital Audio (AC-3)
	Частота дискретизации	32 кГц; 44,1 кГц; 48 кГц

К другим характеристикам приставки TE-6010IR можно отнести следующее:

- Многоязыковой пользовательский интерфейс, в том числе:
 - узбекский (латиница);
 - русский (кириллица)
- Функция «родительский замок» (возрастное ограничение).
- Функция «программа передач» (EPG).
- Режим «Logic Channel Number (LCN)».
- Режим поиска каналов по (NIT)
- Возможность добавление различных приложений и поддержка сервисов оператора.

8.1. Основные узлы и блоки приемных устройств цифрового телевизионного вещания

На рис.8.4 представлена обобщенная структурная схема приемника системы DVB-T. Сигналы стандарта DVB-T передают на метровых или дециметровых каналах с полосой пропускания 8 МГц и системной тактовой частотой f_t , примерно равной 9,14 МГц. В странах, где полоса частот в диапазоне МВ/ДМВ равна 7 МГц, может быть использована такая же обработка сигнала, лишь значение системной тактовой частоты уменьшается до 8 МГц. Если в процессе интерференции из-за отраженных сигналов некоторое число несущих будет подавлено, это практически не ухудшит качество принимаемого изображения. Вместо ретрансляции возможна передача одной и той же программы несколькими разнесенными передатчиками на одном канале.

На рис.8.5. показана структурная схема одного из вариантов приемника DVB-T ранних выпусков. Сигнал с антенны поступает на вход селектора каналов (СК) дециметровых волн. Он близок по устройству к обычному телевизионному селектору, но имеет лучшие параметры (например, селектор TD1344 фирмы PHILIPS). Для управления им в современных телевизорах используют способ синтеза частоты. При этом селектор связан с процессором управления телевизором (ПУТ) через двухпроводную цифровую шину I2C. На выходе селектора выделяется спектр сигнала ПЧ со средней частотой 36,125 МГц (первая ПЧ).

Для того чтобы обеспечить необходимую избирательность, применяют два специальных фильтра на ПАВ (например, X7250d фирмы INFINEON), соединенных последовательно. Между фильтрами включен усилитель компенсирующий вносимое ими затухание.



Рис.8.4. Структурная схема декодирования сигнала DVB-T.

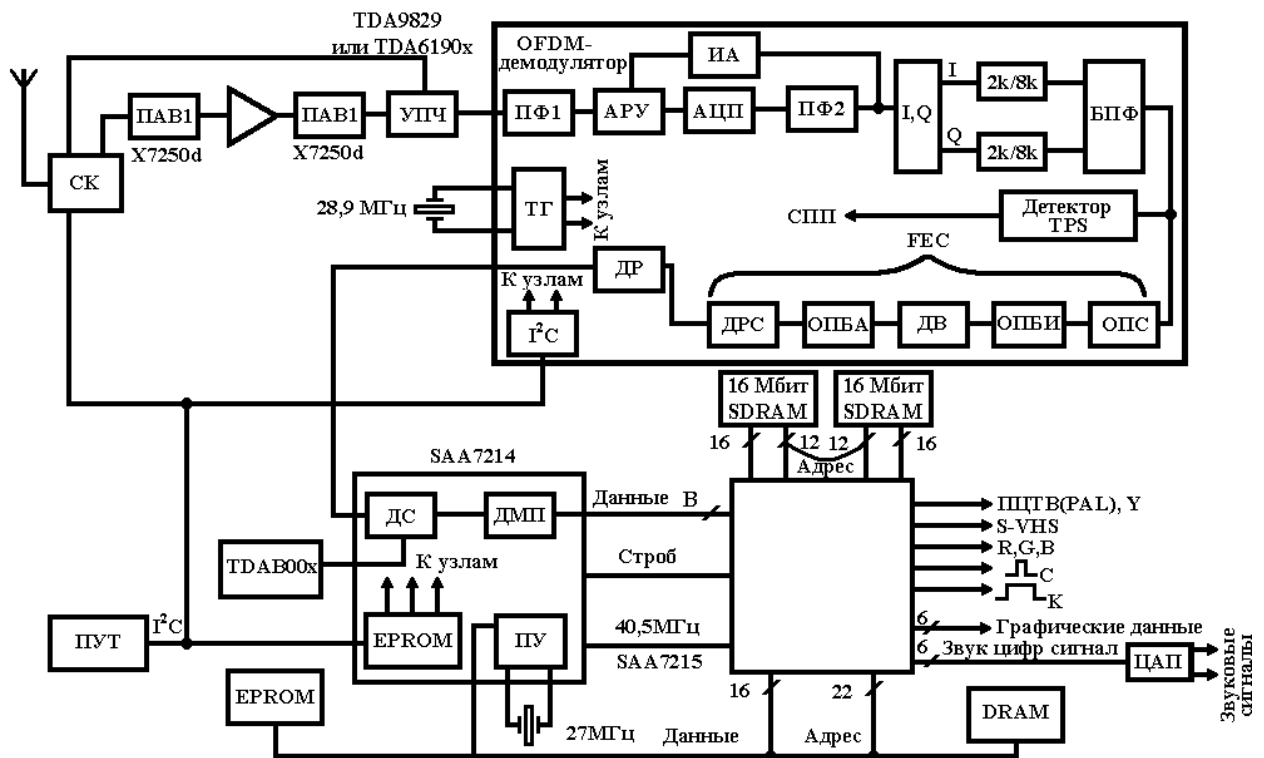


Рис.8.5. Структурная схема варианта приемного устройства стандарта DVB-T

После фильтрации сигнал приходит на вход микросхемы усилителя ПЧ и второго смесителя (УПЧ). Фирма PHILIPS выпускает для этого микросхему TDA9829T. Фирма SIEMENS разработала микросхему TDA6190 для аналогичных функций. В микросхемах применен демодулятор, а также генератор, управляемый напряжением (ГУН), с внешним контуром, настроенным не на удвоенное значение ПЧ, как в обычном УПЧ, а расстроенным так, что на выходе демодулятора, работающего в режиме смесителя, выделяется разностная частота 7,225 МГц, выполняющая функцию второй ПЧ канала. В сигнале на выходе такого УПЧ сохраняются как верхняя, так и нижняя боковые полосы, т. е. весь спектр цифрового сигнала. Микросхема УПЧ имеет вход для подстройки частоты ГУН, что обеспечивается специальным управляющим напряжением с одного из выходов микросхемы демодулятора.

Сигнал с выхода УПЧ через полосовой фильтр ПФ1, подавляющий сигнал зеркального канала, проходит на АЦП с эффективным разрешением в восемь разрядов. АЦП может быть самостоятельным элементом или содержаться в микросхеме демодулятора OFDM. На выходе АЦП включен исполнительный каскад устройства АРУ, обеспечивающего использование всего раствора характеристики АЦП. Управляющий сигнал для исполнительного каскада приходит с одного из последующих цифровых узлов через измеритель амплитуды ИА. На выходе АЦП включен цифровой полосовой фильтр ПФ2, который подавляет компоненты сигнала, лежащие вне номинальной полосы пропускания.

На выходе фильтра ПФ2 включен формирователь комплексных сигналов I и Q. Для этого используют квадратурные составляющие

образцового сигнала, которые умножают на обрабатываемый цифровой сигнал.

Для синхронизации образцового сигнала служит информация, содержащаяся в сигналах параметров передачи (СПП) и выделяемая детектором TPS.

Сигналы I и Q проходят фильтры, управляемые СПП и разделяющие компоненты сигнала в режимах 2к и 8к. В звене БПФ обеспечивается быстрое прямое преобразование Фурье, что соответствует переходу из временной области в частотную. На вход преобразователя поступают восьмиразрядные сигналы I и Q, а на выходах выделяются два 12-разрядных сигнала. В них проводится обратное перемежение символов и битов в узлах ОПС и ОПБИ, а затем — внутреннее сверточное декодирование в декодере Витерби.

При этом возможна обработка всех пяти кодов, которые могут применять на передающей стороне (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 и 7/8). В итоге содержащиеся в битах ошибки устраняются так, что их число уменьшается ниже заданного порогового уровня. Затем производится обратное внешнее перемежение байтов в узле ОПБА, для чего, как и в кодере, в цепь передачи поочередно и циклически включаются 12 регистров сдвига, обеспечивающих задержку сигнала от 0 до 204 бит. В декодере это происходит в обратном по сравнению с кодером порядке. В результате восстанавливается поочередное (в порядке исходных номеров) следование байтов, а байты с ошибками оказываются разнесенными во времени на интервалы около 100 тактов. В таком виде сигнал поступает на декодер Рида-Соломона (ДРС). Он легко корректирует искаженные байты, ориентируясь на 16 проверочных. Узлы ОПС, ОПБИ, ДВ, ОПБА и ДРС называют блоком FEC (forward error correction — опережающей коррекции ошибок).

Сигнал, прошедший блок FEC, подвергается дерандомизации в узле ДР с использованием двоичной псевдослучайной последовательности, для получения которой применяют такой же генератор, как и в кодере. После дерандомизации восстанавливают одинаковую полярность всех синхробайтов и получают последовательность пакетов информации в виде транспортного потока MPEG-2. Остается демодулировать его.

Демодуляторы транспортного потока в декодерах всех трех цифровых систем DVB (DVB-T — наземной, DVB-C — кабельной и DVB-S — спутниковой) одинаковы. Поэтому схемотехника этой части декодера хорошо отработана.

Как видно из приведенной на рис.8.5 структурной схемы DVB-T приставки, она содержит относительно большое количество чипов средней интеграции. В настоящее время разработаны специализированные микропроцессорные БИС, которые позволяют построить DVB приемник практически на нескольких микросхемах. Об этом пойдет речь в следующем разделе.

8.2. Элементная база приемных устройств цифрового телевизионного вещания

В настоящее время на мировом рынке существует множество компаний предоставляющих свои микропроцессоры для кодирования и декодирования видео изображений. В этот список входят Texas Instruments (США), STMicroelectronics (Франция, Италия), Broadcom Corporation (США), NXP (Голландия), Marvell (США).

Одной из передовой разработкой фирмой Texas Instruments является однокристалльный специализированный процессор **TMS320AV7110**, используемый в DVB-T приставках и гибридных телевизорах.

На рис.8.6 представлена функциональная схема современной СБИС TMS320AV7110, содержащая в одной микросхеме все компоненты программно-аппаратной обработки сигналов цифрового телевидения (System-On-Chip):

- анализатор транспортного MPEG-потока со скоростью до 60 Мбит/с и возможностью его демультиплексирования и дескремблирования;
- блоки видео декодера и аудио декодера;
- встроенный блок для вывода на дисплей знакобуквенной информации;
- блок PAL/NTSC кодера с RGB-выходом и выходом композитного сигнала;
- контроллер 16, 20 или 32 Мбайтного ДОЗУ;
- общая интерфейсная 16/32 разрядная шина;
- блок высокоскоростных интерфейсов с возможностью прямого доступа к памяти;
- интерфейс SMART-карты;
- центральный процессорный блок с ОЗУ данных, ПЗУ, шинами управления и интерфейсами ввода-вывода.

Этот неполный список функциональных блоков, а также имеющиеся средств отладки программно-математического обеспечения характеризуют большие возможности изделия **TMS320AV7110**. Поэтому данный чип находит широкое применение для построения абонентских приставок, гибридных и цифровых телевизоров, позволяющих принимать телевизионные сигналы в стандартах DVB-T, DVB-S, DVB-C.

С развитием систем цифрового телевидения особый интерес представляют устройства поддерживающие форматы телевидения высокой четкости и декодирование сигналов стандарта MPEG-4. В настоящее время большинство компаний производителей видео приставок используют микропроцессоры компании STMicroelectronics, так как считается что их продукция обладает наилучшим соотношением цена/качество. STMicroelectronics — европейская компания, одна из крупнейших, занимающихся разработкой, изготовлением и продажей различных полупроводниковых электронных и микроэлектронных компонентов.

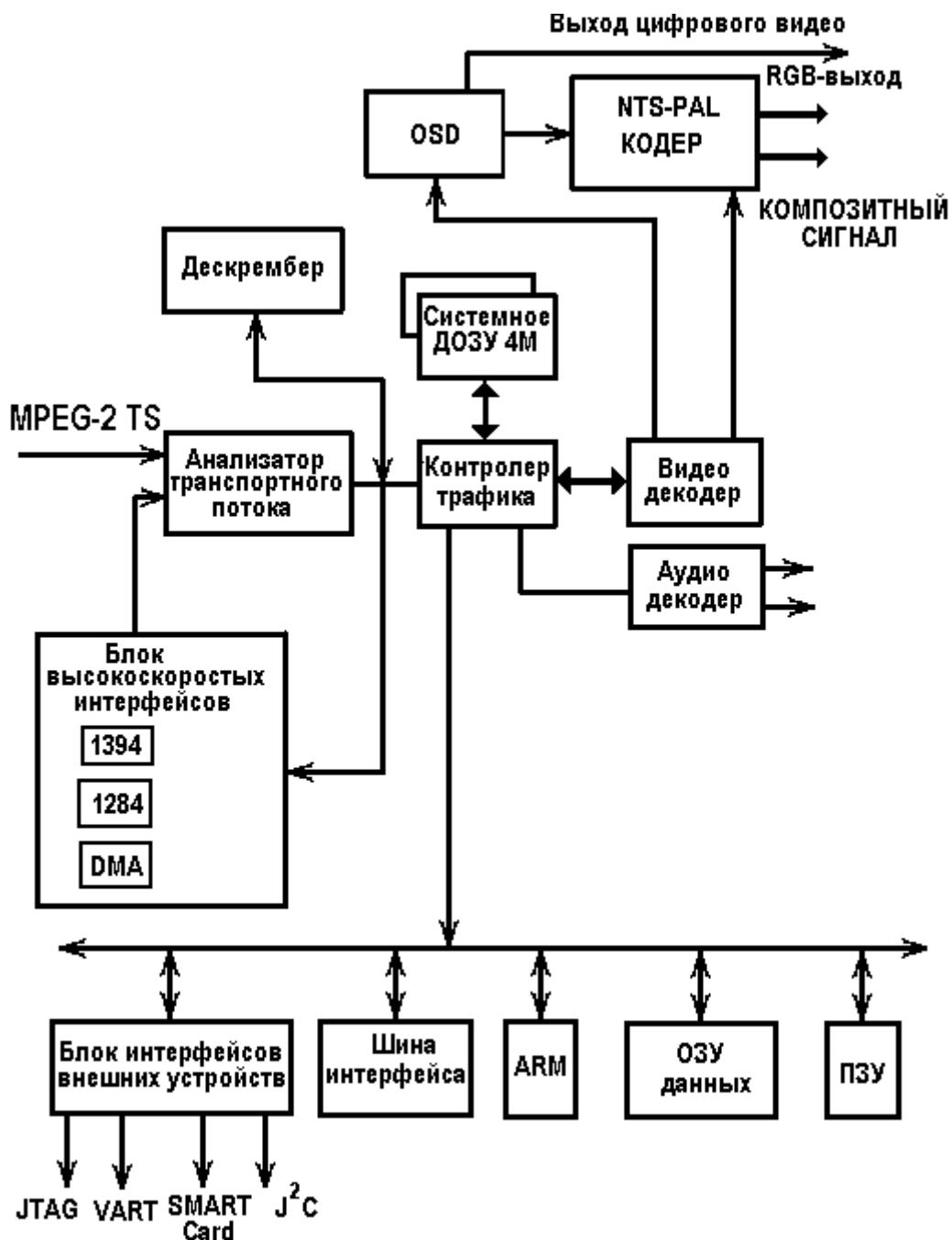


Рис.8.6. Функциональная схема СБИС TMS320AV7110

Рассмотрим перечень продукции для приемных видео устройств с декодером MPEG4 компании STMicroelectronics, представленный в таблице 8.3. Как видно, в таблице приведены микропроцессоры различной сложности и стоимости. Есть несколько вариантов со встроенными демодуляторами. Среди приведенных моделей широкое применение в DVB приставках и гибридных телевизорах нашел микропроцессор STi7109, отличается низкой стоимостью, поддерживающий видео с разрешением HD и стандарт декодирования MPEG4. Недостатком данного устройства является отсутствие встроенного демодулятора COFDM. Рассмотрим данный микропроцессор более подробно.

Таблица 8.3.

Микропроцессоры STMicroelectronics для приемных видео устройств с декодером MPEG4

Маркировка	Общее Описание	Тип декодера	Разрешение видео	Встроенный демодулятор	Поддерживаемые интерфейсы	Формат выхода звука
STi5202	Дешевый декодер для приемников H.264 и Microsoft VC1	H.264; VC-1 MPEG-2	Стандартной четкости (SD)	отсутствует	Ethernet; HDMI; IrDA; SPDIF; UART; USB-2.0	нет
STi5205	Высокоэффективный декодер SD для цифрового приемника	AVS; H.264; MPEG-2; VC-1	SD	отсутствует	Ethernet; HDMI; IrDA; SATA; SPDIF; SPI; UART; USB-2.0; eSATA	Dolby Digital
STi5206	Дешевый SD декодер для цифровых приемников	AVS; H.264; MPEG-2; VC-1	SD	отсутствует	Ethernet; IrDA; SPDIF; SPI; UART; USB-2.	Dolby Digital
STi5262	Передовой SD STB декодер с интегрированным демодулятором DVB-T/DVB-C	H.264; MPEG-2; VC-1	SD	DVB-C; DVB-T	Ethernet; USB-2.0	нет
STi5267	Передовой SD STB декодер с интегрированным демодулятором DVB-T/DVB-C	AVS; H.264; MPEG-2; VC-1	SD	DVB-C; DVB-T	Ethernet; HDMI; SPDIF; USB-2.0; eSATA	Dolby Digital
STi5289	Дешевый демодулятор QPSK и SD декодер для цифровых приемников	AVS; H.264; MPEG-2; VC-1	SD	DVB-S	UART; USB-2.0	Dolby Digital
STi7101	Дешевый декодер цифрового приемника HDTV с кодированием H.264	MPEG-2; H.264	Высокой четкости (HD)	отсутствует	Ethernet; HDMI; SATA; SPDIF; USB-2.0	Dolby Digital
STi7108	Передовой HD AVC декодер с трехмерным графическим ускорением	AVS; H.264; MPEG-2; VC-1	1080p; HD	отсутствует	Ethernet; Giga Ethernet; HDMI	Dolby Digital

Маркировка	Общее Описание	Тип декодера	Разрешение видео	Встроенный демодулятор	Поддерживаемые интерфейсы	Формат выхода звука
STi7109	Дешевый декодер цифрового приемника HDTV для H.264 и Microsoft WMA9	H.264; VC-1; MPEG-2	HD;SD	отсутствует	HDMI; Ethernet; SATA USB-2.0;	Dolby Digital
STi7141	Декодер HD для интерактивного цифрового кабельного приемника	VC-1; MPEG-2; H.264	HD;SD	DVB-C	HDMI; USB-2.0; Ethernet	Dolby Digital
STi7162	Передовой декодер STB с интегрированным демодулятором DVB-T/DVB-C	AVS; H.264; MPEG-2; VC-1	HD	DVB-C; DVB-T	Ethernet; IrDA; SPI; UART; USB-2.0	Dolby Digital
STi7197	Улучшенный декодер цифрового приемника с интегрированным демодулятором QAM	AVS; H.264; MPEG-2; VC-1	1080p	отсутствует	Ethernet; USB-2.0 HDMI	Dolby Digital
STi7200	Тройной показ, цифровой приемник HDTV, двойной декодер для H.264 и VC-1	VC-1; MPEG-2; H.264	HD;SD	отсутствует	Ethernet; HDMI; SATA; USB 2.0; SPDIF	нет

8.2.1. Основные характеристики и алгоритм работы микропроцессора STi7109

STi7109 - поколение, высококачественных цифровых чип декодеров, обеспечивающих очень высокую эффективность для дешевых систем HD, основанный STBus архитектуре. Этот микропроцессор предназначен для цифрового наземного, спутникового, кабельного, DSL и IP телевидения.

Демультимплексор STi7109 расшифровывает потоки HD и SD видео, с многоканальными аудио дорожками.

Связь с телевизором производится через аналоговый выход DAC или через защищенный от копирования цифровой выход DVI/HDMI. Аудио выход обеспечивается через смешанный интерфейс S/PDIF, или через интегрированный в DAC стерео.

Преобразованные в цифровую форму аналоговые программы могут также быть переформатированы для показа с помощью микропроцессора STi7109. Данный чип имеет возможность обрабатывать одновременно до семи потоков от различных источников.

STi7109 имеет центральный процессор ST40-202 работающий на частоте 266 МГц. Интерфейс памяти синхронного динамического ЗУПВ DDR1 используется для более качественной работы, чтобы позволить видео декодеру работать на необходимой полосе пропускания стандартов VC-1/HD H.264.

Обобщенная структурная схема STi7109 показана на рисунке 8.7.



Рис.8.7. Обобщенная структура STi7109

В процессоре используется модуляция 64-QAM, модуляционные символы представляют собой 6-разрядные слова, поэтому входной поток демультимплексируется на шесть субпотоков.

Основу базового декодера представляют собой два цифровых фильтра с конечной импульсной характеристикой, выходные сигналы которых X и Y формируются путем сложения по модулю двух сигналов, снятых с разных точек линии задержки в виде регистра сдвига из шести триггеров

Входные данные последовательно вводятся в регистр сдвига, а из выходных сигналов фильтров после преобразования в последовательную форму создается цифровой поток, в котором биты следуют друг за другом в два раза чаще, чем на входе. Более подробная структурная схема STi7109 представлена на рис.8.8.

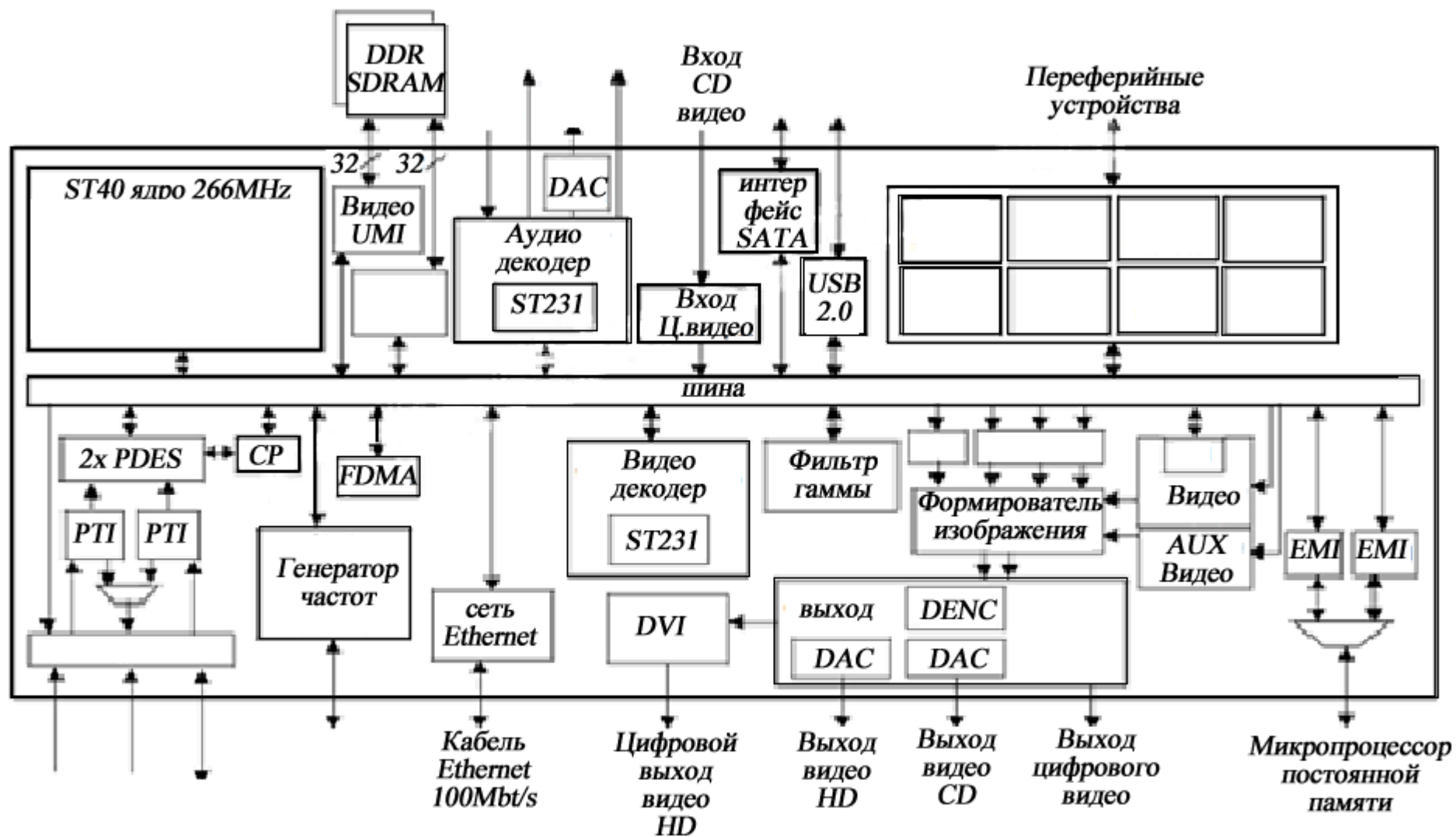


Рис.8.8.Функциональная схема микропроцессора STi7109

В STi7109 декодирование видео производится из форматов VC-1/H.264/MPEG-2, или полученного через цифровой видео интерфейс. Основной процессор получает видео сигнал и выполняет линейно-блочную конверсию, панорамирование и сканирование, а также вертикальные и горизонтальные преобразования формата.

Существует также режим de-interlacer (DEI) для чересстрочной развертки. Вспомогательный процессор получает декодированный сигнал, и выполняет панорамирование и сканирование, вертикальную синхронизацию, горизонтальные преобразования формата, цветности, оттенка и насыщенности. Этот вспомогательный процессор и предназначен для вывода изображения.

Вывод изображения может осуществляться на любом из основных интерфейсов:

- Основной аналоговый выход;
- DVI / HDMI выход

Данный чип обеспечивает поддержку различных разрешений дисплея с поддержкой телевидения стандартной и высокой четкости в числом строк 525i, 525p, 750p, 1125i.

Недостатком микропроцессора STi7109 можно считать отсутствие встроенного демодулятора.

8.2.2. ВЧ блок и COFDM демодулятор

В качестве демодулятора широкое распространение получило законченное устройство от фирмы ZARLINK, объединяющее в себе ВЧ блок DVB-T приемника (Samsung DTOS444PH241B) и COFDM демодулятор на чипе ZL10353, выполненное в виде отдельного модуля (рис.8.9).

Данный блок предназначен для установки:

- приставки DVB-T;
- DVB-T телевизоры;
- DVB-T компьютерные тюнеры
- модули DVB-T, подключаемые через USB прямо к ПК
- портативные DVB-T приемники

Программное обеспечение поддерживается непосредственно фирмой Zarlink Semiconductor и каждая модель сопровождается полным набором документации и результатов тестов. Эта модель, поддерживающая DVB-T, обеспечивает высококачественный сигнал и низкое энергопотребление.

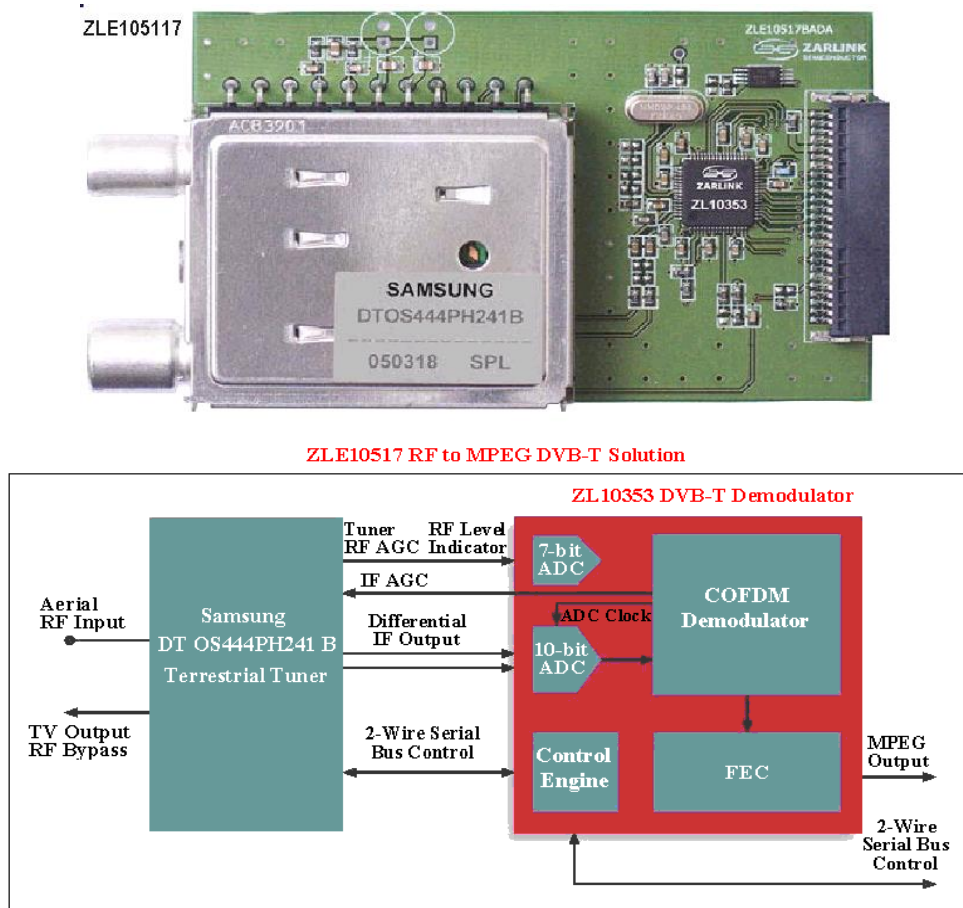


Рис.8.9. Внешний вид и обобщенная структурная схема тюнера ZLE10517

Данное устройство имеет следующие технические характеристики:

- диапазон частот 174-862 МГц;
- уровень сигнала -3 - -82 дБм;
- уровень межканальной интерференции -3 дБ;
- уровень защиты изображения в канале 38 дБ для DVB-T
- отношение сигнал/шум 17,5 дБ
- питающее напряжение +5 В с потребляемой мощностью в рабочем режиме 1 Вт и в режиме ожидания 0,7 Вт;
- настройка на канал и работа АРУ обеспечивается при помощи последовательной 2-проводной шины I2C.

8.2.3. Базовый вариант DVB-T приставки на основе STi7109

- Один из вариантов принципиальной схемы базовой части устройства приема сигнала DVB-T с кодированием в формате MPEG-4 представлен на рисунке 8.10.

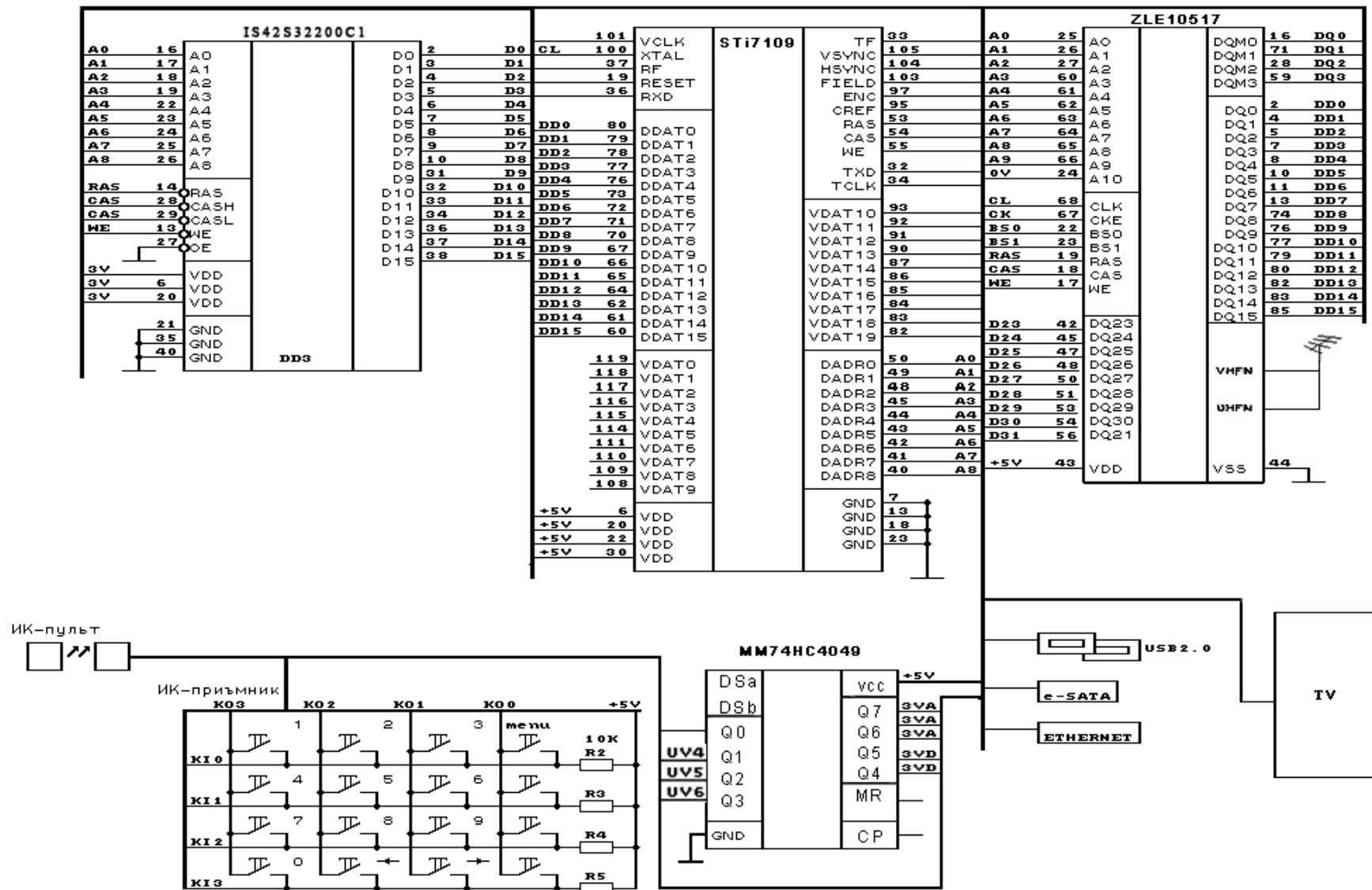


Рис.8.9. Упрощенная принципиальная схема устройства приема DVB-T стандарта H264.

Данная схема содержит следующие компоненты:

- ВЧ блок радиоканала и демодулятор COFDM выполнен на блоке фирмы ZARLINK, объединяющее в себе ВЧ блок DVB-T приемника (Samsung DTOS444PH241B) и COFDM демодулятор на чипе ZL10353. Данный блок содержит два микропроцессора: Тюнер(приемник) и демодулятор потока. Сигнал из антенны поступает на микропроцессор тюнера который обрабатывает сигнал и посылает его на демодулятор, который в свою очередь выделяет нужные символы и посылает сигнал на демультимплексор транспортного потока.
- Демультимплексор транспортного потока и MPEG декодер выполнены на чипе STi7109. Данный элемент осуществляет разделение и выбор из 8 программных потоков нужную ТВ программу, декодирование сжатых данных с последующим цифро-аналоговым преобразованием сигналов изображения и звукового сопровождения
- Для временного хранения видео информации поступающей из MPEG декодера используются внешнее оперативное запоминающее устройство. Динамическое ОЗУ выполнено на микросхеме IS42S32200C1-7TL. Данные на внешнюю динамическую память с декодера поступают по шестнадцатиразрядной шине данных.

Для управления режимами работы необходим микроконтроллер управления, выполненный на микросхеме MM74HC4049. Связь с ним осуществляется через последовательный шестнадцатиразрядного порт. Данный микроконтроллер предназначен для сканирования клавиатуры управления режимами работы приставки и обработки сигналов принимаемых с пульта управления.

9. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ

Как говорилось в 8 главе, в Узбекистане для реализации программы по переходу на цифровое наземное телевидение была образована компания UZDIGITAL TV, которая предоставляет услуги цифрового телевидения для физических и юридических лиц. Для этого перехода был принят стандарт DVB-T/T2 (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) на основе стандарта сжатия MPEG-4-10 (H.264).

Одной из главных задач программы является охват цифровым телевидением всех регионов республики Узбекистан. На сегодняшний день социальный пакет из 12 бесплатных национальных программ доступен во всех регионах Узбекистана. Состояние охвата цифровым телевизионным вещанием по регионам представлено в таблице 9.1.

Таблица 9.1.

Региональный частотный план цифрового ТВ вещания республики Узбекистан

Регион	№ ТВ канала	Частота несущей ТВ канала МГц
Андижанская область	40	623,25
Бухарская область	47	679,25
Джизакская область	45	663,25
Кашкадарьинская область	47	679,25
Самаркандская область	42	639,25
Хорезмская область	27	519,25
Навоийская область	30	543,25
Республика Каракалпакстан	46	671,25
Сурхандарьинская область	47	679,25
Сырдарьинская область	32	559,25
Ферганская область	40	623,25
Ташкентская область, г. Ангрэн	44	655,25
Ташкентская область, г. Бекабад	27	519,25

Дополнительные (платные) пакеты из 48 цифровых телепрограмм доступны в г. Ташкенте на 29, 37, 41, 42., телевизионных каналах, что соответствует 535,25; 599,25; 631,25; и 639,25 МГц.

Как отмечалось ранее для приема цифровых телеканалов используются специальные приемные устройства Set-top box (STB). Существуют STB как для просмотра только незакодированных каналов (Free To Air FTA), так и с поддержкой различных систем условного доступа.

На сегодняшний день для доступа к платным телеканалам абонентам UZDIGITAL TV предоставляются следующие типы оборудования:

- Для телевизоров без встроенного DVB-T тюнера используется абонентский приемник (тюнер) TE-6010IR (рис.9.1)



Рис. 9.1. Цифровой ТВ тюнер TE-6010IR

- Для просмотра платных кодированных телеканалов цифрового телевидения UZDIGITAL TV на современных телевизионных приёмниках со встроенным цифровым тюнером стандарта DVB-T/T2, оснащёнными специальным разъёмом (слотом) CITeleCARD используется устройство TeleCARD от UZDIGITAL TV, представленное на рис.9.2.



Рис. 9.2. Внешний вид карты условного доступа TeleCARD.

Преимущества использования TeleCARD от UZDIGITAL TV:

- отсутствие ТВ-тюнера рядом с телевизором и связанных с ним кабелей соединяющих внешний ТВ-тюнер с телевизором;
- лучшее качество изображения (при наличии в телевизоре встроенного цифрового ТВ-тюнера нет необходимости преобразовывать цифровой сигнал в аналоговый, как происходит в случае с использованием внешнего ТВ-тюнера);
- управление цифровыми каналами осуществляется с ТВ пульта;
- TeleCARD поддерживает стандарт телевидения высокой четкости – HDTV, так как большинство современных телевизоров со встроенным цифровым ТВ-тюнером являются Full HD или HD Ready.

Для приема цифрового сигнала UZDIGITAL TV рекомендует к использованию два типа ДМВ (дециметровых) антенн: комнатные и наружные. Вариант наружной логопериодической антенны представлен на рис.9.3.



Рис.9.3. Внешний вид приемной логопериодической антенны для приема сигналов цифрового ТВ.

С целью регулирования доступа к кодированным (платным) цифровым каналам применяются различные системы условного доступа (Conditional Access System – CAS). Многие из современных систем условного доступа берут свое начало еще в аналоговых системах, в которых они выполняли исключительно роль защиты платных телеканалов от несанкционированного просмотра. В этих системах использовалась достаточно примитивная техника перемешивания строк передаваемого изображения по определенному алгоритму. Данный метод получил название "скремблирование", этот термин используется и в настоящее время. Предполагалось, что только легальные приемники могут восстановить исходное изображение с помощью специального оборудования или программного обеспечения. Однако ошибки и недостатки в используемых алгоритмах, развитие средств вычислительной техники и повышенный интерес множества людей к нелегальному просмотру платных телеканалов привели к взлому большинства этих систем. Дальнейшее развитие систем условного доступа связано с использованием комбинации методов скремблирования и алгоритмов шифрования, что позволило несколько увеличить степень защиты телеканалов.

Перевод телевизионного вещания в цифровые форматы, в частности, появление и развитие стандарта DVB, открыло перед производителями систем условного доступа новые возможности и горизонты развития. Однако также существенно расширился и спектр задач, которые должны решаться системами условного доступа. Наряду с такими традиционными требованиями, как надежность, масштабируемость и низкая стоимость, стали актуальными такие понятия, как универсальность и контекстнезависимость, то есть возможность применения систем условного доступа для защиты широкоэмитерных каналов с различными типами трафика.

В общем случае, современная система условного доступа представляет собой комплекс программно-аппаратных средств, формирующих несколько взаимосвязанных между собой подсистем.

Для предотвращения несанкционированного доступа к платным каналам UZDIGITAL TV выбрало систему условного доступа от компании Irdeto. Нидерландская частная компания Irdeto (Irdeto Access B.V.) разрабатывает и производит смарт-карты, программное обеспечение систем условного доступа для платного телевидения и другие микропроцессорные и программные технологии для широкополосного доступа, средства автоматизации обработки и распространения контента. Технологии Irdeto применяются для защиты мобильных средств коммуникации и ТВ контента в различных стандартах цифрового телевидения.

С апреля 2011 по сентябрь 2014 года UZDIGITAL TV использовала систему условного доступа Irdeto 2, основанную на защите контента путем смарт-карт.

С развитием технологии защиты Cloakware и появлением полнофункциональной бескарточной системы условного доступа Irdeto Cloaked CA, в октябре 2014 г. UZDIGITAL TV был совершен переход на новое решение по защите контента - систему условного доступа Irdeto CAS 3 (Irdeto Conditional Access System version 3). Технология Cloakware обеспечивает целостность системы и позволяет сохранять высокую динамическую безопасность на протяжении всего процесса предоставления услуг. Кроме этого, каждый программный клиент привязан к уникальным регистрационным ключам, которые встраиваются в чипсет приемного устройства при изготовлении.

Новая система является полностью совместимой с предыдущей версией и поддерживает все ранее установленные абонентские карточки (смарт-карты) и приемники.

Управление системой условного доступа осуществляется посредством биллинговой системы UZDIGITAL TV, которая контролирует наличие денежных средств на счету абонента с целью регулирования предоставления услуг.

Использование DVB-T/T2 стандарта цифрового наземного телевидения и современных цифровых приемников помимо предоставления качественного изображения и звука, также позволяет оказывать различного рода интерактивные услуги.

В настоящее время абоненты UZDIGITAL TV имеют возможность пользоваться услугой Электронного расписания программ передач (EPG), дающей возможность просмотреть, какие передачи и когда будут транслироваться на каждом канале, ознакомиться с описанием программ и фильмов. Данная услуга обходится без канала обратной связи, так как вся необходимая информация, включая описания программ, постоянно транслируются передающей стороной. Также современные приемники обладают такими функциями, как:

- Режим «сдвиг во времени», запись и воспроизведение видео при помощи внешнего жесткого диска (USB 2.0);
- Возможность одновременной записи 2 каналов и параллельного просмотра 2 других в режиме «картинка в картинке» (PIP);
- Порт USB 2.0 (MP3-плеер и просмотр изображений в формате JPEG);
- Поддержка различных мультимедиа форматов (в т.ч. воспроизведение Xvid);
- Поддержка порта Ethernet;
- Полноцветная экранная визуализация с максимальным разрешением;
- Возможность создания списка избранных каналов;
- Расширенное управление списками избранных каналов, блокировкой, быстрым просмотром, перемещением, изменением и удалением каналов;
- Функция сортировки по алфавиту;
- Родительский контроль / блокировка доступа к системе / блокировка установочных настроек.

UZDIGITAL TV постоянно следит за мировым опытом развития цифрового телевидения и работает над развитием сети в Республике Узбекистан.

На данный момент одним из проектов UZDIGITAL TV является создание сервиса электронной телегазеты PaperUZ, которая представляет собой информационно-новостной сервис, позволяющий абонентским устройствам принимать данные по эфиру, без использования Интернета или каких-либо иных каналов передачи данных. Вся информация, предоставляемая сервисом PaperUZ, делится на произвольное количество категорий, название и логотип которых может меняться. Категория может содержать произвольное количество статей, каждая из которых делится, в случае необходимости, на несколько страниц.

Одним из основных преимуществ данного сервиса является отсутствие необходимости в доступе к Интернету и использования какого либо дополнительного оборудования.

Таким образом, система является достаточно гибкой для предоставления информации различного типа, такой как новости, справочная информация, реклама, частные объявления и не требует никакого дополнительного оборудования со стороны потребителя.

С целью увеличения числа граждан, имеющих возможность воспользоваться сервисом PaperUZ, сегодня уже ведется разработка приложения для Smart TV устройств.

Также UZDIGITAL TV участвует в научно-исследовательской работе в области телерадиовещания, направленной на разработку механизма, методики и порядка определения рейтинга теле-, радио каналов и/или теле-,

радио программ транслируемых или ретранслируемых на территории Республики Узбекистан. Главной целью выполняемой работы является формирование абсолютно новой технологии определения рейтинга телеканалов, которая позволит вывести рынок телевидения в Узбекистане на более совершенный этап развития, отрасли мониторинга телевидения, контента и рекламы.

Подводя итог можно сказать, что состояние цифрового телевидения в Узбекистане в настоящее время находится в стадии активного внедрения во многом благодаря реализации данного вопроса в рамках принятой Государственной программы по поэтапному переходу. Согласно последним данным охват населения цифровым телевидением на конец 2015 года доведен более 50% за счет установки передатчиков нового стандарта цифрового вещания DVB-T2. Поэтапный переход на формат DVB-T2 позволит вывести технологическую сторону вопроса на новый уровень, а также, с точки зрения пользователей, предоставит возможность просмотра большего количества телеканалов в лучшем качестве.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

- Абонентская карточка** - Устройство в виде пластиковой карточки с встроенной микросхемой (Smartcard). Используется как один из элементов системы условного доступа к платным ТВ- программам в DVB и других системах телевизионного вещания.
- Адаптивное распределение битов** (англ. - adaptive bit allocation) - Распределение битов при квантовании по, например, частотным поддиапазнам, выполняемое в зависимости от параметров кодируемого участка сигнала.
- АДИКМ** - Адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (англ. ADPCM). Разновидность ДИКМ, в которой шаг квантования и параметры предсказания изменяются в зависимости от текущих свойств кодируемого сигнала.
- Амплитудная манипуляция (АМн)** - Один из видов модуляции, применяемый при передачи цифровых сигналов. Заключается в дискретном изменении амплитуды несущей.
- АЦП** - Аналого-цифровой преобразователь.
- БИХ-фильтр** - Фильтр с бесконечной импульсной характеристикой. То же, что рекурсивный цифровой фильтр.
- БПФ** - Быстрое преобразование Фурье. Так называются алгоритмы ускоренного выполнения ДПФ.
- Буферное ЗУ** - Запоминающее устройство для временного хранения данных. В частности, в кодерах и декодерах MPEG используется для согласования этих устройств с каналом передачи кодированных видеоданных с постоянной скоростью.
- Вектор движения** (Вектор смещения) - Пара чисел, выражающих найденные в результате оценки движения смещения блока изображения по двум пространственным координатам.
- Векторное квантование** - Замена группы отсчетов сигнала или группы элементов изображения на наиболее близкую по заданному критерию группу отсчетов (элементов), называемую эталонным вектором. Все эталонные векторы предварительно занесены в кодую книгу.
- Видеоконференцсвязь** - Система видеосвязи, обеспечивающая обмен в реальном времени видеоинформацией и звуком между несколькими абонентами.
- Видео по заказу** (англ. Video-on-Demand) - Один из новых видов систем ТВ-вещания, в которых абонент может заказать передаваемую программу.
- Видеопоследовательность** (video sequence) - Самая крупная структурная единица потока видеоданных MPEG-1,2. Встречается также название - видеоряд».
- Видеостык** - Название интерфейсов для передачи цифровых ТВ-сигналов в соответствии с Рекомендацией ITU-R BT 656, в которой определены параллельный видеостык и последовательный видеостык.

Видеотелефон - Один из видов видеосвязи, обесточивающий обмен в реальном времени видеоинформацией и звуком между двумя абонентами.

Вейвлет-преобразование - Ортогональное одномерное или двумерное преобразование, в результате которого исходный сигнал разделяется на составляющую с низкой разрешающей способностью и составляющую с высокой разрешающей способностью.

Гамма-коррекция - Нелинейное преобразование телевизионных сигналов, выполняемое с целью коррекции нелинейностей передаточных характеристик различных узлов телевизионной системы, например, кинескопа. Одновременно гамма-коррекция способствует уменьшению влияния квантования на качество изображения.

Гибридное кодирование - Метод кодирования движущихся изображений, используемый в MPEG-1, MPEG-2 и MPEG-4 и сочетающее внутрикадровое и межкадровое кодирование.

Деквантование - Операция, обратная квантованию. В результате деквантования увеличивается число уровней квантования, которыми представляются значения отсчетов цифрового сигнала или другой информации.

Декодирование - Операция, обратная кодированию. В результате декодирования информация преобразуется к виду, который она имела до соответствующего кодирования.

Декомпрессия - Операция, обратная компрессии.

Дематрицирование - Операция, обратная матрицированию- Исходные сигналы вычисляются как суммы взятых с определенными коэффициентами сигналов, полученных при матрицировании.

Демодуляция - Операция, обратная модуляции. В результате демодуляции (часто называемой детектированием) восстанавливается модулирующий сигнал.

Депережевание - Операция, обратная пережеванию. Восстановление исходного порядка следования элементов информации.

Дескремблер - Устройство, в котором выполняется дескремблирование.

Дескремблирование - Операция, обратная скремблированию. Расшифровка информации, например, путем вычитания псевдослучайной последовательности из скремблированного сигнала.

Децимация - См. Прореживание.

ДИКМ - Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (англ. DPCM). Также называют «Кодирование с предсказанием». Вид ИКМ, в котором на основе значений одного или нескольких предшествующих отсчетов сигнала формируется предсказанное значение текущего отсчета, а по каналу связи передается ошибка предсказания - разность истинного и предсказанного значений текущего отсчета сигнала.

Дискретизация - Представление непрерывного сигнала последовательностью его значений (отсчетов или выборок), следующих через определенные интервалы времени. В случае дискретизации

изображения, последнее представляется матрицей отсчетов, заданным образом расположенных в плоскости изображения.

Дискретная частота - Частота дискретного сигнала, измеряемая в долях частоты дискретизации.

ДКП - Дискретное косинусное преобразование.

ДПФ - Дискретное преобразование Фурье.

Заголовок (англ. - header) - Начальная часть структурной единицы потока данных. Как правило содержит синхрогруппу - один или более символов, по которым начало заголовка можно распознать в потоке данных.

Иерархическая модуляция - Способ модуляции, применяемый в DVB-T в которой более важная для получения устойчивого изображения информация передается с более высокой помехозащищенностью.

Избыточность изображения - Наличие в изображении составляющих, которые могут быть отброшены без существенного ухудшения визуально воспринимаемого качества воспроизводимого изображения.

ИКМ - Импульсно-кодовая модуляция (англ. PCM). Способ передачи информации в цифровой форме. Цифровой код каждого отсчета сигнала передается по каналу связи в виде последовательности импульсов.

Интерактивное телевидение - ТВ-системы, в которых зритель может воздействовать на получаемую им программу, передавая сигналы по обратному каналу на головную станцию.

Интерполяция - 1. Преобразование дискретного сигнала в непрерывный, путем заполнения по определенному правилу промежутков времени (или в случае изображений - пространства) между отсчетами дискретного сигнала. 2. Увеличение количества отсчетов дискретного сигнала путем введения между отсчетами исходного дискретного сигнала дополнительных отсчетов, значения которых определяются по заданным правилам.

Кадр 1. В телевидении кадрами называются передаваемые и воспроизводимые одно за другим неподвижные изображения. Если частота передачи кадров достаточно велика, зритель воспринимает наблюдаемое изображение как непрерывно движущееся. При передаче кадры раскладываются на строки.

2. во многих случаях кадрами называют структурные единицы потока данных, например, звуковые кадры.

Кадровое кодирование - Один из режимов кодирования видеoinформации с чересстрочной разверткой в стандартах MPEG-1 и MPEG-2. В этом режиме в каждый макроблок входят элементы изображения из обеих полей кадра.

Канальное кодирование - Кодирование, выполняемое непосредственно перед передачей информации по каналу связи, часто совмещаемое с модуляцией. Обычно имеет целью согласование с параметрами канала связи, повышение помехоустойчивости и т.д.

Квадратурная амплитудная манипуляция (КАМн или КАМ) - Один из видов модуляции, применяемый для передачи цифровых сигналов при

которой дискретно изменяются амплитуды двух квадратурных составляющих (\cos и \sin) несущей.

Квантование 1. Преобразование непрерывного или дискретного сигнала путем округления каждого его значения до ближайшего уровня квантования. 2. При квантовании сигнала, уже представленного в цифровой форме, может уменьшаться количество битов на каждый отсчет сигнала.

КИХ-фильтр - Фильтр с конечной импульсной характеристикой. То же, что нерекурсивный цифровой фильтр.

Кодек - Устройство, которое может выполнять как функции кодера, так и функции декодера.

Кодер - Устройство, в котором выполняется кодирование.

Кодирование 1. Представление результата квантования каждого отсчета дискретизированного сигнала двоичным числом по определенному правилу.

2. Преобразование информации с какой-либо целью путем замены групп символов на другие группы символов по определенным правилам. Целями кодирования могут быть сокращение избыточности или сжатие информации, повышение помехоустойчивости, защита информации от доступа нежелательных лиц и т.д.

Кодирование по Хаффману - Вариант кодирования с переменной длиной кодовых слов, обеспечивающий наименьшую избыточность передаваемой информации.

Кодирование с переменной длиной кодовых слов - Один из вариантов энтропийного кодирования. Уменьшение объема передаваемой информации достигается за счет того, что часто встречающиеся символы представляются более короткими кодовыми словами, а редко встречающиеся - длинными.

Кодирование с предсказанием - См. ДИКМ.

Кодовая книга - Перечень всех эталонных векторов, используемых при векторном квантовании.

Коды Рида-Сопомона - Помехоустойчивые корректирующие коды, применяемые, в частности, в системах цифрового ТВ.

Компенсация движения - Сложный механизм уменьшения межкадровых различий за счет поиска местоположения блоков пикселей видеообъектов первого кадра в зонах их предполагаемого смещения в следующих кадрах. Если такие блоки найдены, то вместо их пикселей передаются 1-2 байта новых координат (вектор движения) в которых нужно вставить блок пикселей из предыдущего кадра. Такой механизм обеспечивает основное сжатие видеопотока в видеокодеках стандартов MPEG и им подобным.

Композитное кодирование - Преобразование Полного Цветного Телевизионного Сигнала (ПЦТС) в цифровую форму.

Компонентное кодирование - Раздельное преобразование яркостного и цветоразностных сигналов в цифровую форму.

Компрессия 1. Сжатие информации путем эффективного кодирования, отбрасывания несущественных частей информации и т.д.

2. Сжатие динамического диапазона сигнала с помощью нелинейного преобразования.

Корректирующие коды - Коды, позволяющие обнаруживать и/или исправлять ошибки, возникающие при передаче информации.

Линейное предсказание (англ. - Linear Prediction) - Формирование предсказанного значения сигнала (см. ДИКМ) в виде линейной комбинации нескольких предыдущих значений.

Макроблок - Прямоугольная область изображения размером 16x16 пикселей, являющаяся основной структурной единицей кодирования изображений в стандартах MPEG и др. Для макроблоков выполняются оценка и компенсация движения.

Маскирование звука - Свойство слуха, используемое в MPEG-1 и MPEG-2 Audio и Долби АС-3. При наличии громкого звука с какой-либо частотой, более тихие звуки на близких частотах оказываются неслышимыми.

Маскирование ошибки - Замена группы символов, в которой обнаружена ошибка, на ранее принятую без ошибки группу символов.

Масштабируемость (англ. Scalability) - Свойство методов кодирования и синтаксиса потока данных MPEG-2, позволяющее получать изображение с неполным качеством из части потока видеоданных. В MPEG-4 свойство масштабируемости распространено и на звуковое сопровождение.

Матрицирование - Формирование нескольких выходных сигналов в виде сумм нескольких входных сигналов, взятых с заданными коэффициентами.

МДКП - Модифицированное дискретное косинусное преобразование. Разновидность ДКП. Используется в Долби АС-3, и MPEG-1 и MPEG-2 Audio, Layer III.

Медианная фильтрация - Отсчет выходного сигнала определяется как медиана распределения значений нескольких отсчетов входного сигнала. Медианная фильтрация может быть как одномерная, так и двумерная, т.е. пространственная.

Межкадровое кодирование (англ. - interframe) - Сжатие видеоинформации, основанное на использовании межкадровой корреляции.

МККР - Международный консультативный комитет по радиосвязи. Ныне называется ITU-R.

МККТТ - Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии. Ныне называется ITU-T.

Модем - устройство, в котором выполняются модуляция и демодуляция.

Модуляция - Изменение одного или нескольких параметров электрического сигнала, называемого несущим колебанием или просто несущей, в соответствии со значениями модулирующего сигнала.

Нерекурсивный цифровой фильтр - Цифровой фильтр, в котором значение формируемого отсчета выходного сигнала зависит только от значений отсчетов входного сигнала.

Обратный канал - Канал связи, по которому в интерактивной системе ТВ-вещания осуществляется передача информации от абонента на головную станцию.

Объект - Основное понятие объектно-ориентированного подхода. В MPEG-4 используются понятия видео объекта, которым может быть выделенный по какому-либо признаку фрагмент изображения или целое изображение, аудиообъекта, которым могут быть звуки, создаваемые одним источником, аудиовизуального объекта, в котором объединяются видеообъект и аудиообъект.

Одночастотная сеть (Single Frequency Network - SFN) - Один из вариантов вещания в DVB-T, обеспечивающий синхронную работу на одной частоте нескольких ТВ-передатчиков. При этом их области покрытия вещания перекрываются.

Опорное изображение (Reference Picture) - Кадр или поле, по которому выполняется предсказание с компенсацией движения макроблоков кодируемого изображения.

Оценка движения - Определение смещений отдельных блоков, элементов, фрагментов изображения относительно их положений в другом (опорном) изображении. Найденное смещение выражается вектором движения. По результатам оценки движения может выполняться компенсация движения движущихся фрагментов изображения.

Ошибка предсказания - Разность предсказанного и действительного значений сигнала. При кодировании изображений ошибкой предсказания фрагмента (макроблока) изображения может быть матрица чисел, каждый элемент которой равен разности значения сигналов соответствующих элементов предсказанного и действительного фрагментов.

Пакет - Структурная единица потока данных, представляющая собой группу информационных символов (битов, байтов и т.д.), передаваемых совместно по каналам связи. Как правило, пакет имеет заголовок, содержащий сведения о нем.

Пакетизированный элементарный поток (ПЭП, англ. - Packetized Elementary Stream, PES) - Поток данных, полученный из элементарного потока путем упаковки данных в пакеты.

Пакетные ошибки - Ошибки, поражающие несколько соседних символов (битов) передаваемой информации.

Перемежение - Перестановка порядка следования битов, байтов или более крупных блоков передаваемой информации для защиты от пакетных ошибок.

Пиксел (или пиксель) - от англ. Pixel (элемент картинки). Мельчайший элемент дискретного изображения, яркость и цветность в пределах которого постоянны.

ПК - Персональный компьютер.

Поле - Полукадр при чересстрочной развертке, содержащий нечетные строки кадра (первое поле) или четные строки кадра (второе поле). Поле

передается и воспроизводится за один период вертикальной развертки телевизора.

Полевое кодирование - Один из режимов кодирования видеоинформации с чересстрочной разверткой в стандартах MPEG-1 и MPEG-2. В этом режиме макроблок состоит из элементов изображения только первого или только второго поля.

Поток данных (англ. Bitstream) - Последовательность двоичных символов, передаваемых по каналу связи или записываемых на носитель информации. Состоит из структурных единиц (пакетов, кадров и т.д.), снабженных заголовками.

Преобразование Хаара - Один из видов вейвлет-преобразования.

Программный поток (Program Stream) - Один из видов мультиплексированного (объединенного) потока данных MPEG-2, аналогичный системному уровню MPEG-1. В отличие от Транспортного потока, передает данные только одной ТВ-программы.

Прогрессивная развертка - Вариант развертки, при котором все строки кадра передаются последовательно одна за другой.

Пропущенный макроблок (англ. - skipped) - Макроблок, который не передается, так как совпадает с соответствующим макроблоком опорного изображения.

Прореживание - Уменьшение количества отсчетов цифрового сигнала. В результате прореживания оставляют, например, каждый 2-й, или каждый 3-й, каждый 4-й и т.д. отсчет, а остальные отбрасывают.

Пространственная фильтрация - Преобразование изображения, при котором яркость и цвет каждого элемента формируемого изображения определяются как заданная функция от яркостей и цветов элементов исходного изображения.

Пространственная частота (для непрерывных изображений) - Величина, обратная пространственному периоду. Показывает, сколько периодов изменения какого-либо параметра, например, яркости, укладывается на единицу длины. Размерность m^{-1} .

Пространственный (двумерный) фильтр - Устройство, с помощью которого выполняется пространственная фильтрация.

Профиль - В MPEG-2 и MPEG-4 понятие профиль характеризует сложность используемых методов кодирования и наличие масштабируемости.

Психоакустическая модель (ПАМ) - Алгоритм, учитывающий свойства слуха, по которому в MPEG-1 и MPEG-2 Audio для каждого частотного поддиапазона оценивается маскирование звуками из других поддиапазонов и рассчитывается распределение битов для квантования.

ПЦТС - Полный Цветной Телевизионный Сигнал. Так называется сигнал аналогового цветного телевидения, содержащий сигнал яркости, цветоразностные сигналы на цветовой поднесущей, синхроимпульсы, гасящие импульсы, сигналы цветовой синхронизации и др. необходимые компоненты.

- Распределение битов** (англ. bit allocation) - Операция, применяемая во многих методах сжатия изображений и звукового сопровождения. Заданное количество двоичных разрядов (битов) при квантовании распределяется по нескольким составляющим общего потока данных, например, по частотным поддиапазонам.
- Расширение** (англ. extension) - В MPEG-2 - части потоков видео и аудиоданных, содержащие данные, которые дополняют обязательные (базовые) части потоков.
- Рекомендация 601** - Полное название Рекомендация ITU-R BT 601. Старое название Рекомендация 601 МККР или CCIR-601. Определяет параметры цифрового представления ТВ сигналов телевидения обычной четкости.
- Рекомендация ITU-R BT-709-3** - Документ, определяющий параметры цифрового представления сигналов ТВЧ, общие для Европы, США и Японии.
- Рекурсивный цифровой фильтр** - Цифровой фильтр, в котором значение формируемого отсчета выходного сигнала зависит как от значений отсчетов входного сигнала, так и от значений ранее сформированных отсчетов выходного сигнала.
- Решетчатые коды (trellis code)** - Корректирующие коды, используемые при внутреннем кодировании в системах цифрового ТВ.
- Символ 1**, Общее понятие - элемент алфавита, используемого для представления информации.
2. Канальный символ - состояние несущего колебания, соответствующее передаваемой в данный момент времени комбинации битов.
 3. В COFDM - набор состояний всех несущих в данный момент времени.
- Синхроимпульсы** - Импульсы, входящие в состав полного телевизионного сигнала для синхронизации частоты и фазы разверток в ТВ-приемника с соответствующими развертками в передающей телевизионной камере. Кадровые синхроимпульсы предназначены для синхронизации вертикальной (кадровой) развертки, а строчные синхроимпульсы - для синхронизации горизонтальной (строчной) развертки в телевизионном приемнике.
- Скорость передачи двоичных символов** (англ. - Bitrate). Количество битов информации, передаваемых за секунду. Единицы измерения бит/с, кбит/с, Мбит/с и т.д.
- Скремблер** - Устройство, в котором выполняется скремблирование.
- Скремблирование** - Добавление мешающего сигнала к передаваемому сигналу для защиты информации от несанкционированного доступа.
- Слайс** (англ. slice) - Группа следующих один за другим в процессе кодирования макроблоков. Для всех макроблоков слайса задается одинаковый параметр сжатия, который записывается в заголовок слайса.
- Соответствие блоков** (англ. Block matching) - Один из методов оценки движения, в соответствии с которым для каждого блока (макроблока) кодируемого изображения находят в опорном изображении наиболее

соответствующую по выбранному критерию этому блоку области таких же размеров.

Сотовое ТВ - Системы ТВ-вещания СВЧ-диапазона, например MMDS, в которых используется сеть маломощных передатчиков.

Стаффинг - Передача по каналу связи пустых блоков данных для поддержания заданного значения скорости передачи двоичных символов.

Строка - Часть кадра, обычно представляющая собой горизонтальную или слегка наклонную узкую полосу передаваемого изображения. В процессе передачи кадра строки передаются одна за другой.

Сцена - Одно из понятий MPEG-4. Совокупность аудиовизуальных объектов, наблюдаемых и слышимых зрителем.

ТВЧ - Телевидение высокой четкости.

Текстура - Мелкая структура изображения. Заполнение контуров объектов.

Транспортный поток (англ. Transport Stream - TS) - Мультиплексированный (объединенный) поток данных MPEG-2, состоящий из транспортных пакетов и объединяющий данные нескольких телевизионных программ и служебную информацию.

Уровень (англ. - Layer) - В MPEG-1 и MPEG-2 Audio определены 3 уровня кодирования звукового сопровождения: Layer I, Layer II, Layer III.

Уровень (англ. - Level) - В MPEG-2 определены уровни по разрешающей способности изображения.

Условный доступ (англ. - Conditional access) - Ограничение доступа к телевизионным программам и другой передаваемой информации. Необходим для существования платных услуг в телевизионном вещании.

Фазовая манипуляция (ФМн) — Один из видов модуляции, применяемый при передаче цифровых сигналов. Заключается в дискретном изменении фазы несущей.

ЦАП - Цифроаналоговый преобразователь.

Цветовая поднесущая - Частота, на которую с помощью модуляции переносятся цветоразностные сигналы при формировании ПЦТС в системах аналогового цветного телевидения.

Цветоразностные сигналы - Сигналы в цветном ТВ, несущие информацию о цвете и не влияющие на яркость изображения. Определяются формулами:

$E'_{R-Y} = E'_R - E'_Y$ (красный); $E'_{G-Y} = E'_G - E'_Y$ (зеленый); $E'_{B-Y} = E'_B - E'_Y$ (синий); где E'_R , E'_G , E'_B - сигналы красного, зеленого и синего цветов, соответственно, E'_Y - яркостный сигнал. В системах цветного телевидения, как правило, передаются только сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} , или их линейные комбинации, так как третий цветоразностный сигнал E'_{G-Y} может быть найден из соотношения: $0.30 E'_{B-Y} + 0.59 E'_{G-Y} + 0.11 E'_{R-Y} = 0$.

Цифровой фильтр - Устройство, преобразующее последовательность отсчетов входного цифрового сигнала в последовательность отсчетов выходного цифрового сигнала.

ЦПОС - Цифровой процессор обработки сигналов (англ. - DSP).

Частота дискретизации - Величина, обратная периоду следования отсчетов дискретного сигнала. В соответствии с теоремой Котельникова частота дискретизации должна по меньшей мере в 2 раза превышать верхнюю граничную частоту дискретизируемого сигнала.

Чересстрочная развертка - Вариант развертки, при котором сначала передаются все нечетные строки кадра, составляющие первое поле, а потом - все четные строки кадра, составляющие второе поле. Чересстрочная развертка применяется во всех вещательных системах ТВ-вещания, так как позволяет уменьшить в 2 раза полосу частот занимаемую ТВ сигналом.

Шум квантования - Ошибка, возникающая в результате квантования сигнала или вообще всякой информации.

Элемент изображения - См Пиксел.

Элементарный поток (англ. Elementary Stream - ES) - Поток данных на выходе кодера изображения или кодера звука. Элементарные потоки преобразуются в пакетизированные элементарные потоки (ПЭП или PES), которые объединяются (мультиплексируются) в мультиплексированные потоки, например, в транспортный поток MPEG-2 или MPEG-4.

Энтропийное кодирование - Кодирование информации, позволяющее уменьшить ее объем без необратимых потерь. Основано на использовании статистических свойств источника сообщения. Например, распределении вероятностей появления различных символов, слов и т.п.

Яркостный сигнал (сигнал яркости) - Сигнал, несущий информацию о яркости всех элементов изображения и соответствующий видеосигналу черно-белого телевидения. В цветном ТВ яркостный сигнал формируется из прошедших гамма-коррекцию сигналов основных цветов E'_R (красный), E'_G (зеленый), E'_B (синий) в соответствии с формулой:

$$E'_Y = 0,30 E'_R + 0,59 E'_G + 0,11 E'_B$$

AAC (Advanced Audio Coding - Улучшенное кодирование звука) - Новый уровень кодирования звука в MPEG-2, обеспечивающий более высокое качество звучания при той же степени сжатия по сравнению с Layer III.

AC-3 (Dolby AC-3) - Стандарт сжатия многоканального звука. Используется, в частности, в системе цифрового ТВ ATSC.

Adaptive bit allocation - См. Адаптивное распределение битов.

ADPCM - Adaptive Differential Pulse Code Modulation. См. АД И КМ.

ATM - (Asynchronous Transfer Mode - Асинхронный режим передачи) - Метод передачи в широкополосных цифровых сетях, обеспечивающий высокую пропускную способность.

ATSC (Advanced Television Systems Committee - Комитет по усовершенствованным системам телевидения) - Система цифрового ТВ-вещания, принятая в США.

AVGD - Audio video Graphics Decoding - аудио-, видео- и графический декодер.

BER (Bit Error Rate) - Частота ошибок на 1 бит передаваемой информации.

Bit allocation - См. Распределение битов.

B-frame (В-кадр) - От Bidirectional – кадр двунаправленного предсказания. Кадр, макроблоки которого могут кодироваться с предсказанием по двум опорным изображениям, одно из которых следует до кодируемого В-кадра, а другое - после.

Block matching - См. Соответствие блоков.

BSB- Biggest Significant Bit - старший значащий бит.

CA (Conditional Access) - см. Условный доступ.

CAT- Conditional Access Table - таблица условного доступа.

CCIR - Comite Consultativ International de Radio. См. МККР, ITU-R.

CCIR-601 - См. Рекомендация 601.

CCITT - Comite Consultatji International de Telegraphique et Telephoniqu. См. МККТТ, ITU-T.

CELP (Code Excited Linear Predictive - кодирование возбуждений с линейным предсказанием). Метод сжатия речи, обеспечивающий скорости передачи 6...24 кбит/с при частотах дискретизации 8 кГц или 16 кГц.

CI - Common Interfase - общий интерфейс

CIF - Common Intermediate Format. Формат кадра, содержащий 288 строк по 352 элемента в строке для сигнала яркости и 144 строки по 176 элемента в строке для каждого из цветоразностных сигналов.

CLOCK - тактирование, линия синхронизации цифровой шины

COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) - OFDM, совмещенная с канальным кодированием.

Content-based coding - Кодирование, основанное на содержании. Один из вариантов кодирования изображений в MPEG-4, в котором могут кодироваться объекты сложной формы.

CPU - Central Processing Unit - центральный процессор.

CS - Control Storage - управляющее ЗУ; Control Signal - сигнал активирования.

CVBS - Composite Video Blanking Signal - полный составной (композиционный) сигнал, ПЦТС.

DATA - Данные, линия данных цифровой шины.

D-box - См. Set-Top-Box.

DCT - См. ДКП.

DDS - Digital Data Stream - поток цифровых данных

DMA - Direct Memory Access - прямой доступ к памяти

DMIF (Delivery Multimedia Integration Framework - интегрированная система доставки мультимедиа) - Протокол, обеспечивающий управление потоками данных в MPEG-4.

DPCM - Differential Pulse Code Modulation. См. ДИКМ.

DVB - Digital Video Broadcasting (Цифровое видеовещание). Система цифрового телевидения, развиваемая в Европе. Включает кабельное (DVB-C), спутниковое (DVB-S), наземное (DVB-T), мобильное (DVB-T), а в перспективе и другие виды ТВ вещания.

DVD - Digital Versatile Disk - Цифровой многосторонний диск. Встречается также расшифровка Digital Video Disk - вид оптических дисков, предназначенных, в частности, для записи видеопрограмм обычной четкости (720x576), сжатых по MPEG-2.

EBU (European Broadcasting Union - Европейский Союз Вещания) - Руководящая организация в области радиовещания в Европе.

Elementary Stream (ES) - См. Элементарный поток.

ENABLE - Разрешающий сигнал, линия разрешения цифровой шины (линия отбоя)

Extension - См. Расширение.

Field - См. поле.

Frame - См. кадр.

G.711, G.721, G.722, G.726, G.728, G.729 - Рекомендации ИТУ-Т, описывающие методы сжатия речи для систем связи, в том числе и видеосвязи.

GOP - Group of Pictures - Группа изображений. В MPEG-1 и MPEG-2 группа следующих друг за другом изображений (кадров или полей), начинающаяся с опорного I-кадра.

GP - Gating Pulse - стробирующий импульс; General-purpose Processor - универсальный процессор; Group Processor - групповой процессор.

H.261, H.262, H.263 - Рекомендации ИТУ-Т, описывающие методы кодирования видеoinформации для систем видеосвязи.

HDTV - High-Definition Television. Телевидение высокого разрешения. См. ТВЧ.

I-frame (I-кадр) - От Intraframe - внутрикадровый. Кадр, с которого начинается GOP в стандартах MPEG-1 и MPEG-2. Все макроблоки I-кадра кодируются внутрикадровым методом.

ISDB (Integrated Service Digital Broadcasting - Цифровое вещание с интеграцией услуг) - Стандарт цифрового телевизионного вещания, принятый в Японии.

IDENT - Идентификация, опознавание.

IEEE - Institute of Electrical and Electronical Engineers - институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (США).

IRD - Integrated Resiever-Decoder - интегрированный приемник-декодер.

ISDN (Integrated Services Digital Network - цифровые сети интегрированного сервиса) - Вид цифровых сетей связи с коммутацией каналов.

ISO - International Organization for Standartization. Международная организация по стандартизации. Основана в 1947 г., включает в качестве членов более 100 национальных организаций по стандартизации.

ITU - International Telecommunication Union. Международный союз электросвязи (МСЭ). Одна из функций этой организации - подготовка Рекомендаций, которые фактически являются международными стандартами.

ITU-R - Организация - часть ITU, отвечающая за подготовку рекомендаций в областях радиосвязи и телевидения.

ITU-T - Организация - часть ITU, отвечающая за подготовку рекомендаций в областях телефонии и цифровой передачи данных.

JPEG - Joint Photographic Experts Group - Объединенная группа экспертов по фотографии. Рабочая группа ISO, занимающаяся разработкой носящих такое же название стандартов кодирования и сжатия неподвижных изображений.

JTAG - Joint Test Automation Group - Объединенная группа по автоматизации тестирования.

Layer - См. Уровень.

Level - См. Уровень.

LCD - Liquid-Cristal Display - жидкокристаллический дисплей.

Linear Prediction - См. Линейное предсказание.

LNB - Low-Noise Block - малошумящий блок.

LNC - Low-Noise Converter - малошумящий преобразователь.

Loseless JPEG - JPEG без потерь. Метод сжатия изображений, разработанный группой JPEG и основанный на кодировании с предсказанием. Позволяет получить существенно меньшее сжатие, чем «обычный» JPEG, но сохраняет качество исходного изображения.

LPC - Linear Predictive Coding. Кодирование методом линейного предсказания (См. ДИКМ, Линейное предсказание).

LSB - Least Significant Bit - младший значащий бит. **MDCT**-См. МДКП.

MMDS (Multichannel Microvave Distribution System - Многоканальная система распределения на СВЧ) - См. Сотовое ТВ.

Motion JPEG - Метод сжатия движущихся изображений, в котором каждый кадр сжимается методом JPEG независимо от других кадров. Используется, в частности, в системах видеомонтажа.

MISC - Minimum Instruction Set Computing - вычисления с минимальным набором команд.

MPEG - Moving Picture Expert Group. Группа экспертов по движущимся изображениям. Рабочая группа ISO, занимающаяся разработкой

стандартов кодирования и сжатия видео- и аудио- данных. Название группы присутствует в названиях стандартов.

MPEG-1 - Стандарт сжатия движущихся изображений и звукового сопровождения, утвержденный в 1993 году. В основном используется при записи видеопрограмм формата SIF (352x288) на лазерные диски, обеспечивая сжатие до 1,5 Мбит/с.

MPEG-2 - Стандарт сжатия движущихся изображений и звукового сопровождения, утвержденный в 1994 году. Является основой современных систем цифрового телевидения.

MPEG-3 - Проект группы MPEG по сжатию изображений ТВЧ. Вошел в MPEG-2 и отдельно не существует.

MPEG-4 - Стандарт сжатия движущихся изображений и звука. Принят в 1998 -1999 гг. В первую очередь направлен на передачу аудиовизуальной информации по узкополосным каналам связи и интерактивным ТВ-системам.

MPEG-7 - Проект группы MPEG, основная цель которого - стандартизация средств описания содержания видео- и аудиоинформации.

NBC (Nonbackward compatible) - Один из вариантов кодирования многоканального (более 2 каналов) звука в MPEG-2, не совместимый «назад» с MPEG-1.

NTSC - National Television System Committee. Система цветного телевидения, используемая в США, Канаде, Японии и ряде других стран Азии и Америки. Формат кадра 4:3; число строк 525 из них видимых на экране - 480, частота кадров 30 Гц, частота полей - 60 Гц, развертка чересстрочная. Два цветоразностных сигнала передаются одновременно с помощью квадратурной модуляции цветовой поднесущей, частота которой 3,58 МГц.

N-QAM - N-state Quadrature Amplitude Modulation - N-уровневая квадратурная амплитудная модуляция.

OE - Overflow Error - ошибка переполнения.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) - Ортогональное частотное мультиплексирование. Один из видов модуляции, применяемых в системах цифрового ТВ.

OVL - Overlay - перекрытие. **OVL D** - Overload - перегрузка.

PAL - Phase Alternating Line. Система цветного телевидения используемая во многих странах Европы, Китае и других странах. Формат кадра 4:3, число строк 625 из них видимых на экране - 576, частота кадров 25 Гц, частота полей 50 Гц, развертка чересстрочная. Два цветоразностных сигнала передаются одновременно с применением квадратурной модуляции цветовой поднесущей, частота которой 4,43 МГц.

PAT - Program-Association Table - таблица с перечнем программ потока и их идентификаторами.

PCM - Pulse Code Modulation. См. ИКМ.

P-frame (P-кадр) - От Predictive - предсказанный. Кадр, макроблоки которого могут кодироваться с предсказанием по опорному изображению, в

качестве которого может использоваться предшествующий I-кадр или P-кадр.

PCMCIA - Personal Computer Memory Card International Association - стандарт на средства расширения памяти персональных компьютеров.

PCR - Program Counter - счетчик программ.

PES - Packetized Elementary Stream - пакетированный элементарный поток.

PI - Program Identifier - идентификатор программ; Protocol Identifier - идентификатор протокола; Program Interrupter - блок прерывания программ

PID - Protocol Identification - идентификация протокола.

PIO - Parallel Input/Output - параллельный вход/выход; Programmable Input/Output - программируемый контроллер входа/выхода.

PIP - Picture in picture - Изображение в изображении (кадр в кадре).

Pixel - Picture element - Элемент изображения. См. Пиксел.

PMT - Program-Map Table - таблица структуры программ.

Profile - См. Профиль.

PWM - Pulse Width Modulation - широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

QAM - См. Квадратурная амплитудная манипуляция.

QCIF - Quarter Common Intermediate Format. Формат кадра, составляющий 1/4 от формата CIF, т.е. 176x144 элементов сигнала яркости.

QPSK-См. ФМн.

QSIF - Quarter SIF. Формат кадра, составляющий 1/4 от формата S1F.

R, G, B - Red, Green, Blue - Красный-зеленый-синий - основные цвета в телевидении.

RE - Read Enable - разрешение чтения.

REF - Reference - опорный сигнал.

RISC - Reduced Instruction Set Computer - компьютер с сокращенным набором команд.

RLC - Runlength Coding. Метод кодирования, при котором идущие подряд одинаковые символы сообщения представляются парой чисел, одно из которых показывает количество идущих подряд одинаковых символов, а другое - сам символ.

SCL - Serial Clock Line - последовательная линия синхронизации.

Scalability - См. Масштабируемость.

SDA - Serial Data Adress - последовательная линия передачи данных и адресов.

Skipped macroblock - См. Пропущенный макроблок.

SECAM - Sequentiel Couleur A Memoir. Система цветного телевидения, используемая во Франции, странах бывшего СССР, странах восточной Европы и некоторых странах Африки. Формат кадра 4:3, число строк 625, из них видимых на экране - 576, частота кадров 25 Гц, частота полей 50 Гц, развертка чересстрочная. Два цветоразностных сигнала передаются поочередно, через строку посредством частотная модуляция двух цветовых поднесущих, начальная частота которых 4,406 МГц и 4,250 МГц.

Set-Top-Box - Приставка для приема программ цифрового ТВ.

SIO - Serial Input/Output - последовательный ввод/вывод.

Single Frequency Network (SFN) - см. Одночастотная сеть.

SIF - 1. Standard Interchange Format. Формат кадра, содержащий 288 строк по 352 элемента изображения в строке или 240 строк по 352 элемента изображения в строке.

2. Source Input Format. Формат кадра, содержащий 240 строк по 320 элементов изображения в строке.

Smartcard - см. Абонентская карточка.

SQCIF - Sub-Quarter Common Interchange Format. Формат кадра, содержащий 128x96 элементов сигнала яркости.

S-Video - Стандарт интерфейса телевизионной и видеоаппаратуры, в соответствии с которым по отдельным проводам передаются сигнал яркости с синхроимпульсами (Y) и сигнал цветности, т.е. цветовая поднесущая, промодулированная цветоразностными сигналами (C). Обозначается также Y/C.

SYNCH - Synchronisation – синхронизация.

Transport Stream (TS) - См. Транспортный поток.

UART - Universal Asynchronous Resiever-Transmitter - универсальный асинхронный приемопередатчик.

Video-on-Demand - См. Видео по заказу.

VLBV (Very Low Bitrate Video) - Уровень очень низкой скорости передачи данных в MPEG-4.

VLC - Variable Length Coding. См. Кодирование с переменной длиной кодовых слов.

VSБ - Vestigial side band - Амплитудная модуляция с частично подавленной одной из боковых полос.

Wavelet-Transform - См. Вейвлет-преобразование.

WE - Write Enable - разрешение записи

4:2:2, 4:2:0 и т.д. - варианты форматов дискретизации яркостного и цветоразностных сигналов.

Single Frequency Network (SFN) - см. Одночастотная сеть.

5.1 (или 5,1) - Условная запись в методах кодирования многоканального звукового сопровождения, показывающая, что есть 5 основных каналов звука, и один узкополосный низкочастотный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Е. Джакониа. Телевидение. М.Горячая линия – Телеком 2007. 618 с.
2. Пескин А. Е., Труфанов В. Ф. Мировое вещательное телевидение. Стандарты и системы: Справочник. – 2004.
3. А.В.Смирнов, А.Е.Пескин. Цифровое телевидение: от теории к практике. – 2005. 340 с.
4. Ричард Брайс. Руководство по цифровому телевидению. ДМК. Москва 2002. 278 с.
5. Б.А. Локшин Цифровое вещание: - от студии к телезрителю. от студии к телезрителю - М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. 446 с.
6. Артюшенко В.М., Шелухин О.И., Афонин М.Ю. «Цифровое сжатие видеоинформации и звука» И.: Москва 2003г. 430 с.
7. Ковалгин Ю.А., Вологдин Э.И. «Цифровое кодирование звуковых сигналов» И.: Корона принт. Санкт-Петербург 2004г, 230 с.
8. Теория цифровой обработки видеоизображения. <http://mirazh-std.narod.ru/index2.htm>
9. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. - 384 с.
10. В. Воробьев, В. Грибунин. Теория и практика вейвлет-преобразования. – НИИ В.Г. ВУС, 1999. 204 с.
11. Селомон Д. «Сжатие данных и изображения и звука». Издательство: Техносфера 2004 г. 368с.
12. Бенилов А.И., Погорелый С.Д «Вейвлет-анализ и его применение для сжатия мультимедийной информации». Киевский национальный университет имени Т. Шевченко 2002г. 15 с.
13. И.А. Гаврилов, Т.Г. Рахимов, А.Х. Ахмедова. Анализ методов устранения избыточной информации в ТВ изображениях. Статья в сборнике Республиканской научно-методической конференции “Современные информационные технологии в телекоммуникации и связи”, посвященная 100-летию со дня рождения Исламова Анвара Исламовича, проходившей 24.09.2011 в Ташкенте.
14. Рыбаков Г., Суслов А. JPEG-2000. <http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/theory/data-compression/jpeg-2006>.
15. Константин Гласман «Видеокомпрессия» журнал “625” 1997, №7
16. Константин Гласман. MPEG- это просто. архив журнала "625": 2000 : #3 <http://rus.625-net.ru/625/2000/03/r1.htm>
17. «Информация о MPEG-4 (включая AVC/H.264)» <http://codecs.org.ua/article/mpeg4info.html>;
18. Юрий Ковалгин. Цифровое радиовещание в формате DRM. Кодирование звуковых сигналов. Часть2. // Звукорежиссер №7 2008 г.
19. Денис Кубасов, Дмитрий Ватолин «Обзор методов компенсации движения», http://cgm.graphicon.ru/content/view/76/64/#_Точ104359666

20. Ян Ричардсон. «Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения». // Мир цифровой обработки. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, Wfest Sussex P019 8SQ, England, 2003. Перевод с англ: В.В. Чепыжова. ЗАО «РИЦ» Техносфера, Москва, 2005 г. Стр. 182
21. Гаврилов И.А., Ибраева С.М., Игнатьева О.С. «Особенности передачи ТВ сигналов по каналам сотовой связи» // Труды международной научной конференции «Роль и значение телекоммуникаций и информационных технологий в современном обществе» Ташкент 2006. Том-1 с 138.
22. Игнатьева О.С., Гаврилов И.А. «Особенности сжатия звукового сопровождения телевидения в реальном масштабе времени». // Труды международной научной конференции «Роль и значение телекоммуникаций и информационных технологий в современном обществе» Ташкент 2006. Том-1 с 163.
23. Богданов В.В. Цифровые вокодерные преобразователи : учеб. пособие для студентов / В.В. Богданов. - Пенза : Изд-во Пенз. гос. техн. ун-та, 1996. - 75 с.
24. Gavrilov I.A., Ibraimov R.R., Benilov A.I., Ibraeva S.M., Ignatieva O.S., Chernyshov A.A. «Study of TV-signals over cellular networks transmission possibility», The Second International Conference In Central Asia on Internet The Next Generation of Mobile, Wireless and Optical Communications Networks (ICI2006), 2006, Tashkent
25. Gavrilov I.A., Chernyshov A.A., Ibraeva S.M., Kabanova J.F., Puziy A.N., Suvorova M.J. «Interframe processing of TV images in wavelet-codecs for cellular communication systems», 3-d International Conference In Central Asia on Internet The Next Generation of Mobile, Wireless and Optical Communications Networks (ICI2007), 2007, Tashkent.
26. Суворова М.Ю., Пузий А.Н., Кабанова Ю.Ф. «Применение межкадровой обработки ТВ изображений в кодеках на вейвлет-преобразованиях», сборник статей республиканской женской научно-технической конференции «Ахборот - коммуникация технологиялари ва автоматлашган бошқарув тизимлари» 22 ноября 2007 г Том -3 стр.75-80.
27. Пузий А.Н., Кабанова Ю.Ф., Суворова М.Ю., «Возможности фрактальных методов сжатия ТВ изображений», сборник статей республиканской женской научно-технической конференции «Ахборот - коммуникация технологиялари ва автоматлашган бошқарув тизимлари» 22 ноября 2007 г Том -3 стр.65-70.
28. И.А. Гаврилов, А.А. Чернышёв, Кабанова Ю.Ф., А.Н. Пузий, Д.А. Савицкая, «Выделение объектов в ТВ изображениях для повышения эффективности работы вейвлет-кодеков», сборник трудов Шестой Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов молодых специалистов государств участников РСС «Техника и технологии связи» стр. 103-104, Ташкент 9-10 октября 2008 г.

29. Фёдоров К.Ю. «Анализ методов обработки звуковых сигналов в психоакустических моделях слуха»././Труды Шестой Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и технологии связи», Ташкент, 9-10 октября 2008г.
30. I.Gavrilov, D..Savitskaya, Y. Kabanova, «TV images compression basing on the dynamic objects selection», Статья в сборнике международной конференции IT Promotion in Asia 2009, Ташкенте 21-25 сентября, с.128-133.
31. К.Р. Назарова. Анализ методов и стандартов сжатия звуковых сигналов. Тезисы доклада в сборнике материалов научно-технической конференции аспирантов, магистров и бакалавров АХБОРОТ – КОММУНИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ», проходившей 9-10 апреля 2009 г. с.64-67
32. К.Р. Назарова. Анализ высокоэффективных методов сжатия звуковых сигналов. Статья в сборнике республиканской конференции докторантов, аспирантов, магистрантов и одаренных студентов «Фан ва таълимда ахборот – коммуникация технологиялари», Ташкент 25-26 марта, 2010 г. с 213-219.
33. И.А. Гаврилов, И.Р. Валиев, С.Э. Отто, А.Н. Пузий, Т.Г. Рахимов. «Межкадровая обработка ТВ изображений с компенсацией движения для видеокodeка на вейвлет преобразованиях». Статья в сборнике трудов 4-ой международной НТК “Application of information and communication technologies”, проходившей 12-14 октября 2010 г. в Ташкенте.
34. А.Н. Пузий, И.А.Гаврилов. Устранение межкадровой избыточности ТВ изображений на основе компенсации движения сегментированных объектов сцены. Статья в сборнике Республиканской научно-методической конференции “Современные информационные технологии в телекоммуникации и связи”, посвященная 100-летию со дня рождения Исламова Анвара Исламовича, проходившей 24.09.2011 в Ташкенте.
35. Официальный сайт производителя микрoэлектронных элементов STMicroelectronics в Интернет - www.st.com.
36. Техническая документация микропроцессора STi7109 предоставленная компанией STMicroelectronics.
37. Официальный сайт компании производителя микрoэлектронных элементов Zarlink Semiconductor Inc. в Интернет - www.zarlink.com.
38. Официальный сайт компании производителя интегральных схем Integrated Silicon Solution, Inc. в Интернет - www.ISSI.com.
39. Официальный сайт компании производителя энергонезависимых устройств хранения информации www.macronix.com.
40. Официальный сайт компании производителя электроники Philips www.philips.com.
41. Техническая документация микропроцессора IS42S32200C1-7TL, Integrated Silicon Solution, Inc., 2007 г.

42. Константин Гласман. Методы передачи данных в цифровом телевидении. Часть 2. Стандарт цифрового телевидения ATSC. <http://rus.625-net.ru/625/1999/07/atsc.htm>.
43. Константин Гласман. Методы передачи данных в цифровом телевидении. Часть 3. Концепция DVB-T: архив журнала "625" : 1999 : #9 <http://rus.625-net.ru/625/1999/09/glasman.htm>
44. Константин Гласман. Методы передачи данных в цифровом телевидении. Часть 4. Система цифрового наземного телевизионного вещания ISDB-T <http://rus.625-net.ru/archive/0200/art6.htm>
45. Реализуемость в России технологии мобильного цифрового телевизионного вещания DVB-H. <http://www.rfcmd.ru/analytics/005>.
46. А. Бителева. Система вещания DVB-H. Теле-Спутник - 6(128) Июнь 2006 г
47. Ник Уэллс, Крис Нокс. DVB-T2: Новый стандарт вещания для телевидения высокой четкости. Теле-Спутник - 11(157) Ноябрь 2008 г
48. J.Robert, C. Schaaf, L. Stadelmeier. DVB-C2 – стандарт передачи по сетям КТВ следующего поколения. Теле-Спутник - 12(170) Декабрь 2009 г.
49. Реферат «Технологии беспроводного высокоскоростного распределения мультимедийной информации MMDS и MVDS». <http://www.kunegin.narod.ru/ref2/mmds/index.htm>
50. И.Шахнович. Сети городского масштаба: решения рабочей группы IEEE 802.16 – в жизнь. Электроника: Наука, Технология, Бизнес №8 2003 г.
51. Басюк М.Н., Колотов Р.Б., Чубаров С.А. Архитектура построения абонентских приставок (SET TOP BOX) сигналов цифрового эфирного телевидения. – Тезисы докладов к III Международной конференции «Перспективы развития телерадиовещания и телекоммуникационных услуг» – М.:2001 г. – 19 с.
52. Ануфриев И. К., Соколов В. М., Быструшкин К. Н. Комбинированные телевизоры CDTV/DVB — универсальная платформа для цифрового телевидения и интерактивных служб. — Техника кино и телевидения, 2000, № 12, с. 8—12.

Печатается в соответствии решения Научного совета
Ташкентского университета информационных технологий от 25 июня 2015
года протокол №11(650)
Тираж-100 экземпляров