

Лекція 1

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ.

1.1 Особенности представления видеосигналов в цифровом телевидении

Что дает цифровое телевидение? До массового зрителя практически без искажений доходит сигнал студийного качества, исчезают помехи, характерные для аналогового вещания. Появляется возможность передавать видеоизображение телевидения высокой четкости (ТВЧ, HDTV) с числом строк развертки 720, 1080 (соотношение строк и столбцов 16:9) и выше против стандартных сегодня 480-625 строк (формат 4:3). Однако увидеть эту высокую четкость можно лишь на экране ТВ-приемника с соответствующими характеристиками монитора. ЦТВ позволяет гораздо эффективнее использовать диапазон частот — в полосе одного аналогового ТВ-канала можно передавать несколько цифровых программ. Но цифровая техника порождает и проблемы. Полоса частот цифровых сигналов значительно шире полосы их аналоговых предшественников. Полоса частот, занимаемая телевизионным видеосигналом после аналого-цифрового преобразования, составляет сотни мегагерц и для передачи телевизионного сигнала в цифровой форме требуются каналы связи с пропускной способностью до сотен мегабит в секунду. Использование каналов, не вносящих ошибки в цифровой поток и обладающих столь большой пропускной способностью, может оказаться невозможным или экономически невыгодным. Поэтому сам факт преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму и использование двоичных сигналов в качестве носителя информации еще не гарантирует высокого качества.

Принципиальный способ решения проблем передачи и записи с высокой степенью помехозащищенности заключается в кодировании сигнала. Кодирование выполняется в несколько приемов:

компрессия – кодирование источника информации с целью преобразования сигнала в цифровую форму и его экономного представления путем сжатия;

кодирование с целью обнаружения и исправления ошибок;

канальное кодирование с целью согласования параметров цифрового сигнала со свойствами канала связи и обеспечения самосинхронизации.

В течение уже нескольких десятков лет для обеспечения совместимости записи и редактирования видеосигналов различных стандартов в телевизионных студиях широко используются такие цифровые форматы представления видеосигналов, как *композитный* и *компонентный*.

Композитный телевизионный видеосигнал представляет собой результат сложения яркостного сигнала Y , двух цветowych поднесущих, модулированных сигналами цветности $R-Y$ и $B-Y$, а также синхроимпульсов импульсов цветового распознавания. Причем, частоты цветоразностных сигналов лежат в пределах полосы спектра яркостного сигнала. Композитный сигнал используется для цифрового представления видеосигналов несовместимых систем аналогового телевидения NTSC, PAL и SECAM (рис.1.17, 1.18, 1.19). При декодировании композитных сигналов различных систем неизбежны дополнительные искажения видеосигнала, приводящие к ухудшению качества изображения. Кроме того, широкая полоса и сложность компрессии таких сигналов делает их неудобными для доставки конечному пользователю.

Компонентный видеосигнал представляется суммой яркостного сигнала Y двух цветоразностных сигналов $R-Y$ (C_r) и $B-Y$ (C_b). Это сводит к минимуму обработку в мониторе, однако все же требуется дополнительное матрицирование для получения исходных RGB сигналов. Альтернативой ему является полная передача всех RGB компонент цветного сигнала. Однако

такое представление требует дополнительного ресурса пропускной способности цифровой системы передачи, поэтому используется лишь в специальных системах телевидения. В цифровом же телевидении основным является компонентное представление видеосигнала.

1.2 Форматы преобразования компонентного видеосигнала в цифровую форму

Компонентный телевизионный видеосигнал может быть представлен в цифровой форме в соответствии с Рекомендацией ITU-R601. Эта рекомендация устанавливает правила отдельной дискретизации, квантования и кодирования сигнала яркости Y и двух цветоразностных сигналов $R-Y$ (Cr) и $B-Y$ (Cb). Частота дискретизации для яркостного сигнала Y установлена равной $13,5$ МГц, для цветоразностных сигналов - $6,75$ МГц, т.е. частота дискретизации яркостного сигнала в 2 раза больше частоты дискретизации цветоразностных сигналов. Спектр дискретизированного яркостного сигнала приведен на рис.2.1. При такой частоте дискретизации, как видно из рисунка, имеется защитный интервал между составляющими спектра дискретизированного сигнала, обеспечивающий практически без искажений восстановление исходного сигнала на приемной стороне.

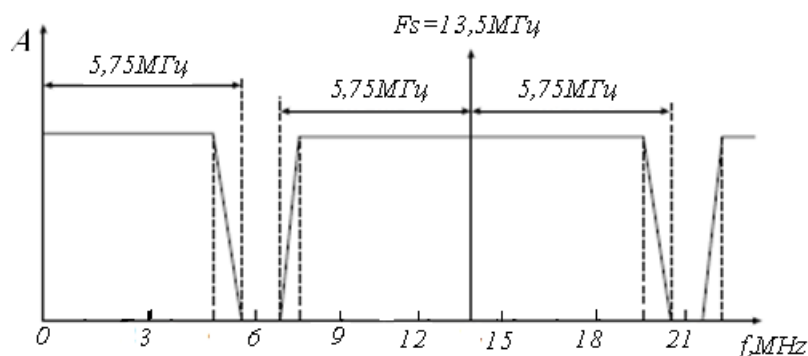


Рисунок 1.1– Спектр дискретизированного яркостного сигнала при $F_s > 2F_{Ymax}$

На рис.2.2 показана дискретизация компонентного телевизионного сигнала на примере сигнала цветных полос. Длина кодового слова $n = 10$

двоичных разрядов - битов), что позволяет перенумеровать 1024 уровня квантования. Однако числа 0...3 и 1020...1023 резервируются для цифровых синхронизирующих сигналов. Для квантования яркостного сигнала выделяется

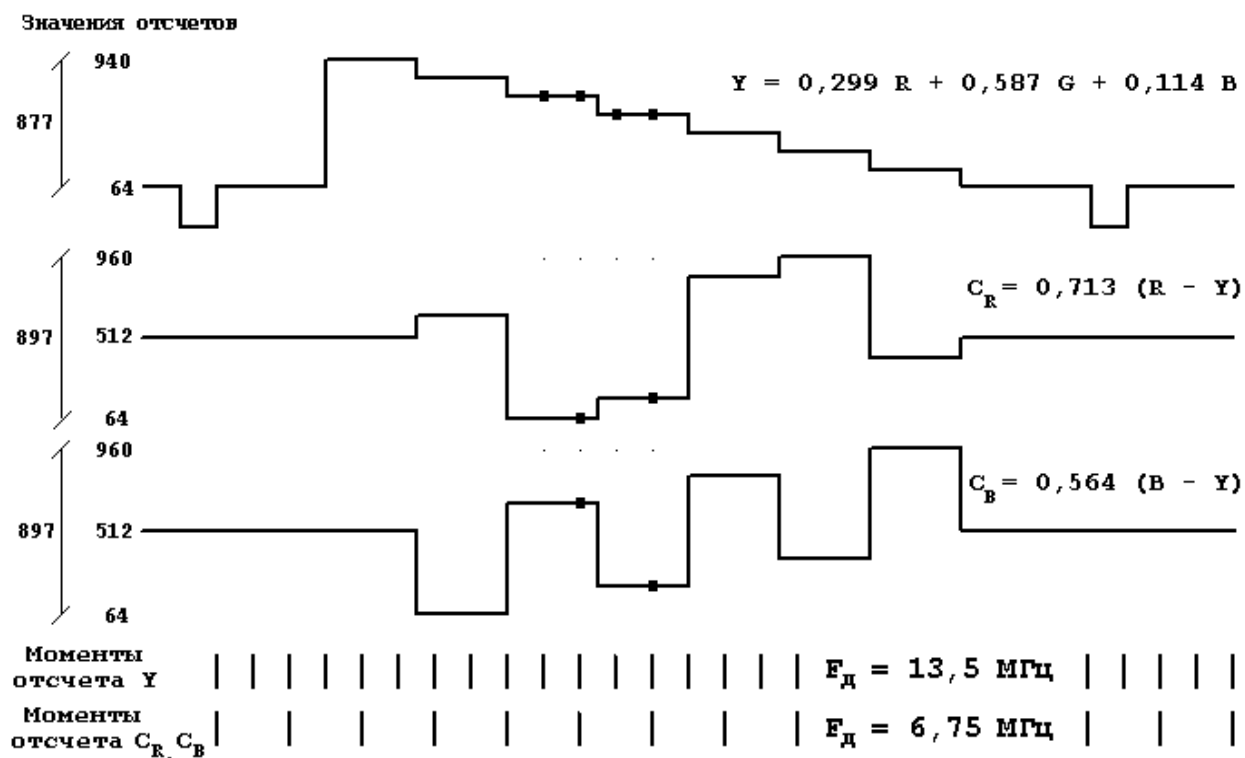


Рисунок 1.2 – Дискретизация компонентного телевизионного сигнала цветных полос

877 уровней (значение черного в видеосигнале соответствует уровню квантования 64, а номинальное значение белого - уровню 940). Для квантования цветоразностных сигналов выделяется 897 уровней, причем нулевому значению аналогового сигнала соответствует уровень квантования 512.

Приведенные диапазоны уровней квантования часто используются при сравнении с другими вариантами квантования. В этом случае на них часто ссылаются как на показатели *динамического диапазона* или *полного разрешения по уровню сигнала*, поскольку число уровней квантования

определяет шум квантования и, соответственно, динамический диапазон. В этом же смысле иногда говорят о 10-битном разрешении.

Если взять в качестве условной (базовой для иерархии цифровых стандартов) единицы частоту $3,375 \text{ МГц}$, то частоты дискретизации яркостного и двух цветоразностных сигналов C (красного C_r и синего C_b) будут находиться в соотношении **4:2:2** (см. рис.2.3), которое и дает часто используемое название формата. Формат **4:2:2** используется в качестве базового при оценке других вариантов дискретизации.

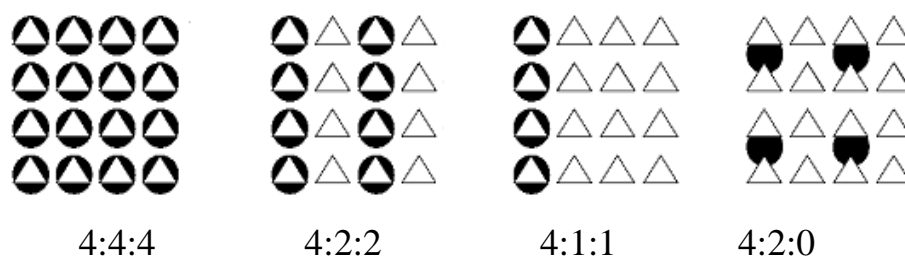


Рисунок 2.3 – Форматы передачи цветоразностных сигналов
 (Δ-значения яркости точек Y , ● - значения цвета точек C_r и C_b)

Частоты дискретизации являются гармониками строчной частоты, что обеспечивает неподвижную ортогональную структуру отсчетов ТВ изображения. Величины $13,5$ и $6,75 \text{ МГц}$ кратны, как частоте строчной развертки стандарта телевизионного разложения $625/50$, так и частоте развертки стандарта $525/60$. Собственно, выбор в качестве базовой именно частоты $3,375 \text{ МГц}$ 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 студийном десятиразрядном ($n=10$, число уровней квантования $N=1024$) амплитудном квантования составляет

$$\begin{aligned} V_{max} &= nF_s + n F_s/2 + n F_s/2 = 10 \times 13,5 + 10 \times 6,75 + 10 \times 6,75 = \\ &= 135 + 67,5 + 67,5 = 270 \text{ Мбит/с}, \end{aligned} \quad (2.1)$$

а требуемая полоса частот канала (при двоичной передаче в полосе Найквиста) – 135 МГц .

Полная скорость передачи цифрового компонентного видеосигнала при кодировании 8 битов/отсчет ($n=8$, число уровней квантования $N=256$) составляет 216 Мбит/сек . Требуемая полоса – 108 МГц .

Находят применение и другие форматы представления компонентного сигнала в цифровом виде ($4:1:1$, $3:1:1$, $4:4:4$), обеспечивающие различное разрешение (качество изображения) и соответственно требующих различной скорости передачи. Например, кодирование в формате $4:4:4$ предполагает использование частоты дискретизации $13,5 \text{ МГц}$ для всех трех компонентов: R , G , B или Y , Cr , Cb . Это означает, что все компоненты передаются в полной полосе. Для каждого компонента в активной части кадра оцифровывается 576 строк по 720 элементов. Скорость цифрового потока при 10-битовом слове составляет 405 Мбит/с , а требуемая полоса – $202,5 \text{ МГц}$.

Таким образом, в результате аналого-цифрового преобразования цветного телевизионного сигнала результирующие цифровые потоки и требуемые для их передачи полосы частот чрезвычайно велики. Требуется сокращение избыточности – компрессирование цифровой информации, позволяющее существенно снизить скорость цифровых потоков, сделать ее приемлемой как для существующей сети телевизионного вещания, так и других общедоступных беспроводных систем цифровой связи.

Современные алгоритмы и стандарты сжатия кодированных изображений базируются на *сокращении следующих видов избыточности:*

- *пространственная*, так как элементы изображения (пиксели) не являются независимыми, а коррелированы в пределах некоторой области изображения, то можно передать значение лишь одного пикселя, а остальные предсказать;

- *временная*, поскольку корреляция между пикселями в последовательности кадров движущегося изображения сохраняется, то предсказание и компенсация движения могут быть распространены и на несколько кадров;

- *энтропийная*, учитывая что изменяющийся видео- или аудиосигнал квантуется, т.е. заменяется дискретно изменяющимся сигналом, то для квантованных уровней можно использовать кодирование Хаффмана, при котором длина кодовой комбинации обратно пропорциональна частоте появления уровней;

- *психовизуальная*, связанная с неспособностью человеческого глаза различать очень мелкие детали и быстрые цветовые переходы.

Таким образом, **кодирующее устройство компонентного ТВ сигнала**, помимо матрицы, преобразующей RGB в $Y C_r C_b$ сигналы, соответствующих

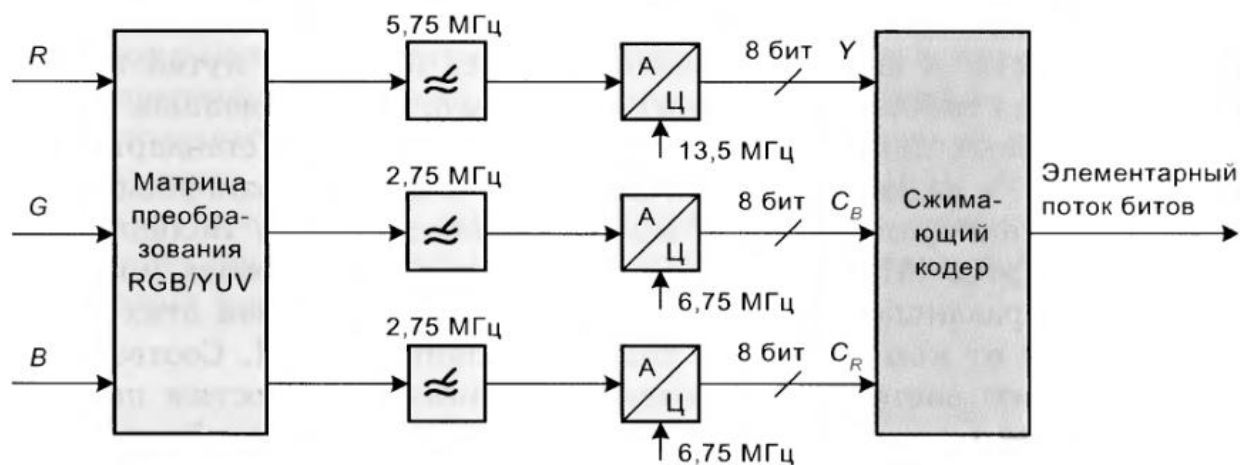


Рисунок 2.4 – Структурная схема кодера компонентного ТВ сигнала

фильтров и АЦП, должно содержать дополнительно **сжимающий кодер**, сокращающий указанные виды избыточности. Обобщенная структурная схема такого устройства приведена на рис.2.4 .

1.3 Принципы сжимающего кодирования

При передаче телевизионного изображения устранение локальной избыточности (избыточности отдельных кадров изображения) достигается методами сжатия статических изображений с использованием дискретного косинусного преобразования (DCT) и квантования. Для устранения межкадровой избыточности, поскольку телевизионное изображение не меняется резко, а соседние кадры достаточно похожи, применяется алгоритм компенсации движения. Изображение делится на блоки и в окрестности каждого из них ищется похожий блок на другом кадре (motion estimation). Так формируется поле векторов движения. А уже при компенсации (motion compensation) учитываются вектора движения, и создается изображение в целом похожее на исходный кадр. Исходная межкадровая разность значительно больше, чем разность между исходным и скомпенсированным кадрами. Затем производится сжатие изображения скомпенсированной межкадровой разности алгоритмом сжатия статических изображений. В силу большой избыточности таких изображений они сжимают очень сильно.

Для повышения степени сжатия с минимальными потерями видеоизображение разбивается на отдельные сцены. Кодер должен быть чувствителен к смене сцен. Кадр начала новой сцены после устранения локальной избыточности логично сохранить “как есть”, поскольку он ни на что ранее встречавшееся не похож. Такие кадры называют опорными **I-кадрами** (I-frame). А далее идут кадры, к которым применялась компенсация движения, то есть они зависят от опорного кадра и друг от

друга. Это могут быть **Р-кадры** (P-frame) или **В-кадры** (B-frame). Первые могут опираться только на предыдущие кадры, а вторые как на предыдущие, так и последующие. I-кадр и все связанные с ним образуют **ГОР** (group of pictures). Использование **В-кадров** существенно ускоряет процессы компрессии и декомпрессии, поскольку предыдущие В-кадры не нужно повторно кодировать (декодировать). Кроме того, они имеют наименьший размер среди всех кадров и наиболее более низкое качество. Но быстрое чередование с более качественными кадрами делает это малозаметным для зрителя.

Даже после выполнения всех сжимающих процедур видеопоток имеет избыточность. Поэтому далее могут применяться разные методы сжатия без потерь. В кодеке х.264, например, есть два варианта алгоритма **САВАС** и **САVLC**, реализующие арифметическое сжатие с мощной вероятностной моделью и метод Хаффмана с более простой моделью.

1.3.1 Особенности стандарта MPEG-2

В 1988 году для разработки методов сжатия и восстановления цифрового видеосигнала была организована специальная группа экспертов – Motion Pictures Expert Group (MPEG). В современных системах цифрового телевидения для сжимающего кодирования и декодирования изображения и звука используется группа алгоритмов, одобренная рабочей группой Moving Pictures Experts Group и имеющих общее наименование – стандарты MPEG. Это не точные стандарты реализации аппаратных средств, а описание возможных путей сжатия и мультиплексирования набора сжатых сигналов видео, аудио и данных в поток, состоящий из цифровых пакетов. Стандарты MPEG одобрены Международной Организацией Стандартизации (ISO) и опубликованы как международный стандарт ISO/IEC 13818 [4].

Стандарт — это спецификация (описание) алгоритма сжатия (например, H.264), конкретная его программная реализация называется кодеком (например, х.264).

Наиболее широко для компрессии видеоизображений и звука в цифровом телевидении DVB используется стандарт MPEG-2. Он сочетает внутрикадровое кодирование, направленное в основном на уменьшение психофизиологической избыточности в отдельных кадрах, и межкадровое кодирование, с помощью которого уменьшается избыточность, обусловленная межкадровой корреляцией. Целые кадры и фрагменты могут кодироваться с применением совместно межкадрового и внутрикадрового кодирования (так называемый *гибридный* метод) или только с применением внутрикадрового кодирования.

Определены три основных части стандарта MPEG-2:

13818-1 Systems – устанавливает правила объединения потоков;

13818-2 Video – регламентирует кодовое представление и процесс декодирования, сжатие потока за счет устранения пространственной и временной избыточности;

13818-3 Audio – определяет кодовое представление сигналов звукового сопровождения.

Представление сигналов в форме MPEG-2 позволяет обращаться с видео и звуковыми потоками как с потоками компьютерных данных.

В случае использования в цифровом телевидении MPEG-2 активно применяется как стандарт, определяющий структуру транспортных потоков и способы передачи данных. Стандарт MPEG-2 намеренно не определяет способы компрессии изображения (звука), он лишь указывает, как должно быть оформлено сжатое изображение (звук). Стандарт не определяет, каким образом должен быть реализован кодер или декодер MPEG-2, он определяет только структуру данных. Это даёт возможность участникам рынка конкурировать друг с другом за создание более качественных устройств и алгоритмов.

Поток видеоданных представляет собой иерархическую структуру, объединенную между собой определенными синтаксическими и семантическими правилами (см. рис.1.5). Иерархическая структура

кодирования MPEG-2 представлена на рис.2.6. Иерархия видеопотока выделяет несколько уровней: собственно сам видеоряд (sequence), группа кадров (GOP, Group Of Pictures), срез или вырезка (slice), макроблок (macroblock) и блок (block).

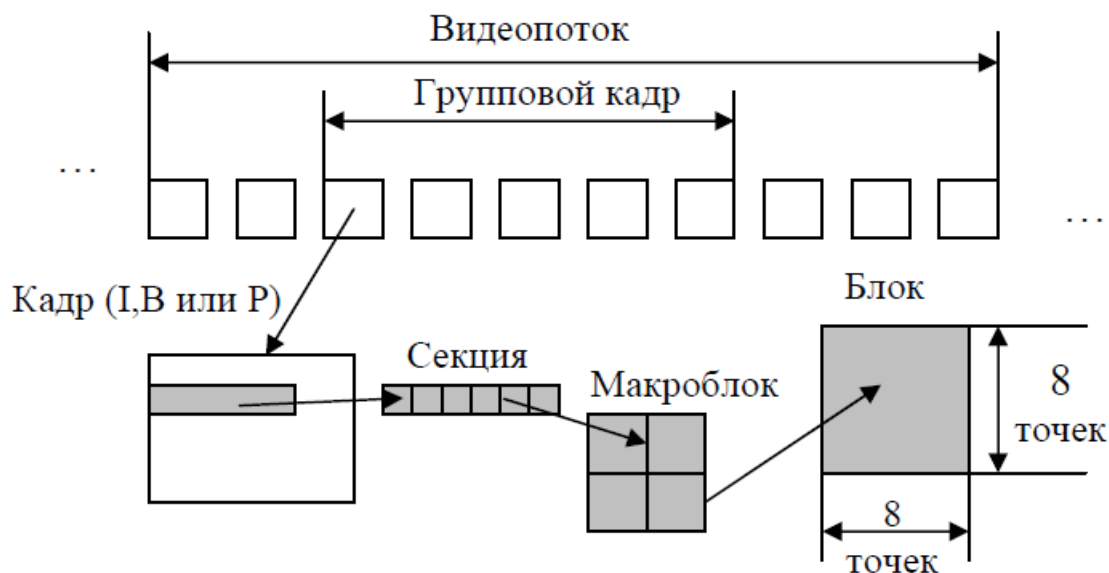


Рисунок 1.5 – Структура видеопотока MPEG-2

Видеоряд (последовательность кадров) – элемент потока видеоданных высшего уровня. Представляет собой серию последовательных кадров телевизионного изображения. MPEG-2 допускает построчные или чересстрочные последовательности, т.е., MPEG-2 поддерживает видео и в прогрессивной, и в чересстрочной развёртке.

Кадр является единицей кодирования информации видеоряда.

Срез – это один или несколько смежных макроблоков, которые упорядочены слева-направо и сверху-вниз. Группирование макроблоков в срез позволяет усилить устойчивость к сбоям и ошибкам в потоке.

Макроблок состоит из 4-х фрагментов кадра - блоков. В свою очередь блок представляет собой квадратную матрицу 8x8 яркости или насыщенности.

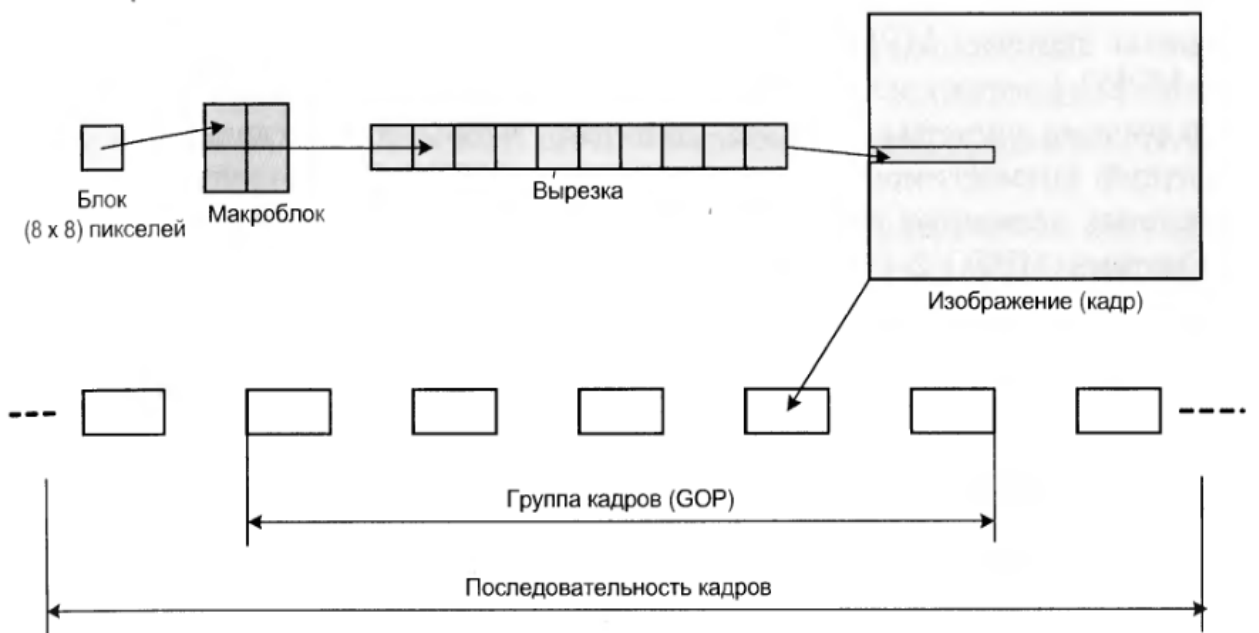


Рисунок 2.6 Иерархическая структура кодирования MPEG-2

Каждое **изображение (кадр)** представляет собой три прямоугольных матрицы отсчетов изображений (см. рис.2.4): яркостную Y и две цветности C_b и C_r . Стандарт MPEG-2 допускает различные структуры матриц (4:2:0; 4:2:2; 4:4:4). Изображение делится на **вырезки (слайсы)**, которые состоят из группы следующих друг за другом **макроблоков**. Макроблок содержит **блоки** размером 8x8 элементов изображения (пикселей); группу из четырех блоков с отсчетами яркости Y и группы блоков с отсчетами цветности C_r и C_b , число которых зависит от формата (по 1, по 2 или по 4 блока). Число макроблоков в слайсе может быть произвольным, главное, чтобы слайсы в изображении не перекрывались. Все структурные элементы потока видеоданных, полученных в результате внутрикадрового и межкадрового кодирования (кроме блока и макроблока), дополняются специальными и уникальными стартовыми кодами («Заголовок – элементы»). В заголовке приводится разнообразная дополнительная информация, например, размеры и соотношение сторон изображения, частота, кодирование, скорости потока,

матрица квантования, формат дискретизации цветного изображения, координаты основных цветов и белого цвета, параметры матрицы для формирования яркости и цветоразностных сигналов и др.

Поскольку последовательность передачи кадров не совпадает с последовательностью их воспроизведения, то на уровне пакетированного элементарного потока добавляются временные метки декодирования (DTS) и представления (PTS), которые несут информацию о необходимых моментах времени декодирования и отображения кадров.

Таким образом, в процессе кодирования создается весьма сложная иерархическая структура: блок, макроблок, слайс, кадр, группа кадров, последовательность кадров.

MPEG-2 используется для общего сжатия движущихся изображений и звука и определяет формат видеопотока, который может быть представлен тремя типами кадров (см. рис.2.7):

I -кадры (Intra-coded picture) – исходные или опорные независимо сжатые кадры кодируются с использованием только той информации, которая содержится в самом изображении. В них устраняется только пространственная избыточность видеоданных;

P-кадры (Predictive-coded picture) – кадры, сжатые с использованием предсказания движения в одном направлении, содержащие разницу между текущим изображением и предыдущим I-кадром или P-кадром и учитывающие смещения отдельных фрагментов. Кодируется разница между исходным изображением и предсказанием, полученным на основе предшествующего или последующего изображения типа I или P;

B-кадры (Bidirectionally-coded picture) – двунаправленные кадры, содержащие отсылки к предыдущим или последующим изображениям (I или P) с учетом смещений отдельных фрагментов. При кодировании используется предсказание, формируемое на основе предшествующего и последующего изображений I или P.

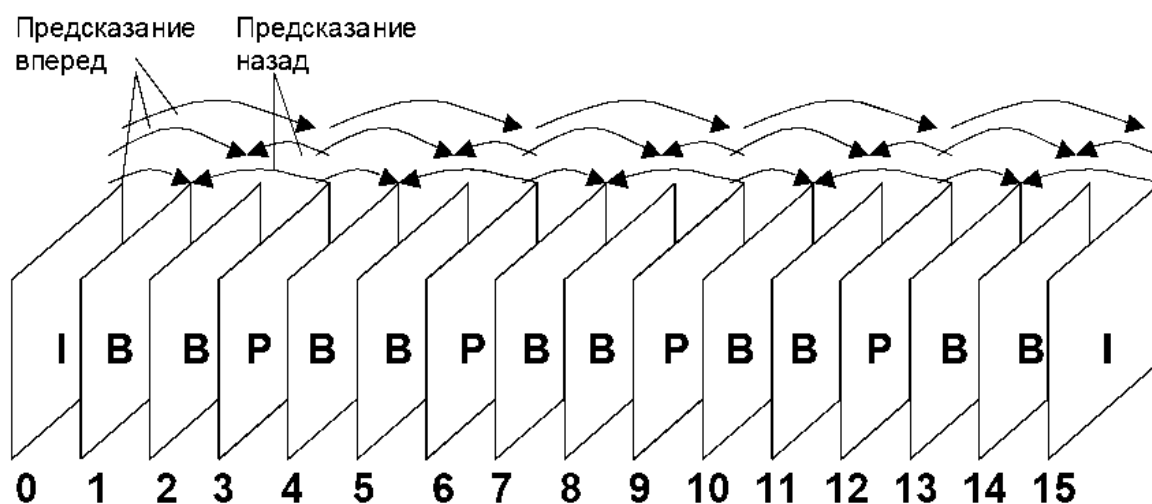


Рисунок 2.7 Видеопоследовательность трех видов изображений с предсказаниями (стрелками указаны направления предсказаний)

Соответствующие группы кадров от одного I-кадра до другого образуют **GOP** (Group Of Pictures) — группу кадров (см. рис.2.6).

Все структурные элементы потока видеоданных, полученных в результате внутрикадрового и межкадрового кодирования (кроме блока и макроблока), дополняются специальными и уникальными стартовыми кодами («Заголовок – элементы»). В заголовке приводится разнообразная дополнительная информация, например, размеры и соотношение сторон изображения, частота, кодирование, скорости потока, матрица квантования, формат дискретизации цветного изображения, координаты основных цветов и белого цвета, параметры матрицы для формирования яркости и цветоразностных сигналов и др.

В видеопотоке основное место занимают **I-кадры**, сжимаемые без использования дополнительной информации, как статические изображения, поэтому рассмотрение проблем сжатия статических изображений является важной задачей в рамках разработки систем видеосжатия. В частности, мировой стандарт MPEG-2 использует стандарт сжатия изображений JPEG для I-кадров. Стандарт MPEG-4 part 10 (AVC) использует уже более сложную схему сжатия I-кадров.

Сокращение пространственной избыточности **I-кадров** изображения выполняется на уровне блока. Набор операций такого кодирования: *дискретное косинусное преобразование; взвешенное квантование; энтропийное квантование* (кодирование серии коэффициентов косинусного преобразования, полученного в результате диагонального сканирования матрицы).

В формате MPEG используется дискретное косинусное преобразование ДКП (DCT - Discrete Cosine Transform) [3]. Например, при квадратном изображении размером $N \times N$, прямое (FDCT - Forward Cosine Transform) и обратное преобразования (IDCT - Invers Cosine Transform) имеют вид:

$$t(i, j) = c(i) c(j) \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} I(k, l) \cos \frac{(2k+1)\pi i}{2N} \cos \frac{(2l+1)\pi j}{2N} \quad ; \quad (1.2)$$

$$I(k, l) = c(i) c(j) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} t(i, j) \cos \frac{(2k+1)\pi i}{2N} \cos \frac{(2l+1)\pi j}{2N} \quad , \quad (1.3)$$

где $i, j = 0 \dots N-1$,

$$c(i) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & i = 0 \\ 1, & i \neq 0 \end{cases} .$$

Перед тем как применить ДКП, изображение разбивается на блоки размером 8×8 пикселей. Затем к ним применяется ДКП. Некоторые коэффициенты можно хранить приближённо, т.к. глаз не сможет заметить достаточно маленьких изменений. Операция округления коэффициентов называется квантованием и выполняется по формуле

$$\begin{pmatrix} q_{11} & \dots & q_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{81} & \dots & q_{88} \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} t_{11} & \dots & t_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{81} & \dots & t_{88} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & \dots & T_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{81} & \dots & T_{88} \end{pmatrix} . \quad (1.4)$$

Далее применяется зигзагообразный обход матрицы для получения длинных последовательностей нулей (см. рис.2.8). Затем используется сжатие без потерь сначала RLE, а затем метод Хаффмана с фиксированной таблицей

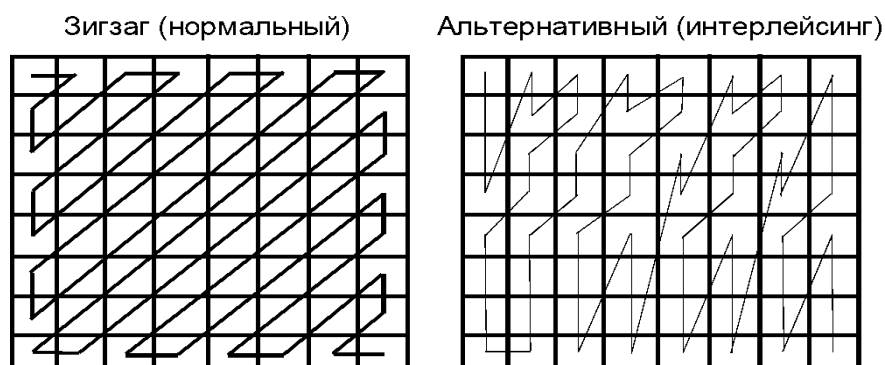


Рисунок 1.8 - Зигзаг упорядочивание

Таким образом, алгоритм сжатия предусматривает следующую последовательность операций:

- разбиение изображения на блоки;
- применение к ним преобразования (FDCT);
- квантование;
- зигзаг упорядочивание;
- RLE+Huffman сжатие.

При восстановлении изображения (декомпрессии) этот же алгоритм реализуется обратном порядке.

Для повышения точности предсказания используется компенсация движения: оценивается скорость перемещения движения объектов от кадров и при определенных предсказаниях производится коррекция в положении опорного изображения, по отношению к которому находится ошибка предсказания. Определение величины и направления смещения (вектор движения) производится на уровне макроблоков. Оценка вектора – сложная процедура, именно она определяет асимметрию кодека MPEG-2, однако в этом направлении ведутся работы, т.к. эта процедура не определена жестко.

Стандарт предполагает сокращение не только пространственной, но и временной избыточности. После компрессии объем изображения Р типичных телевизионных сюжетов составляет 35% от I, В – 25% от I. Т.о., в три раза уменьшается скорость потока данных при приблизительно тех же искажениях. Искажения же связанные с движением (в отличие от JPEG) заметны тем меньше, чем быстрее движутся изображения.

В случае чересстрочной развертки каждый кадр состоит из двух полей. Первое поле содержит нечетные строки кадра, а второе поле – четные строки. При этом возможно два варианта кодирования всего кадра, выбор одного из которых осуществляется на основе оценки движения в нем.

В случае кадрового кодирования кодируемым изображением является полный кадр, который целиком хранится в запоминающем устройстве кодера. Кадровое кодирование выбирается в случаях, когда изменения во втором поле кадра относительно первого поля того же кадра незначительны.

В случае полевого кодирования кодируемым изображением является каждое поле по отдельности. Первое поле кадра может использоваться для предсказания макроблоков второго поля и наоборот.

Режимы работы кодера компрессии. Возможно два основных режима работы кодера компрессии – с *постоянной скоростью потока* и с *постоянным уровнем качества декодируемого изображения*.

Управление степенью компрессии возможно изменением параметров матрицы квантования (более грубое квантования). Однако растут и необратимые искажения изображения из-за шумов квантования.

В режиме с *постоянной скоростью* потока осуществляется непрерывное изменение коэффициентов матрицы квантования. Чем мельче детали и чем более активно изображение, тем более грубое квантование. Поэтому будет больше искажений и артефактов. Такой режим используется при передаче по каналам связи с фиксированной пропускной способностью (цифровые спутниковые, кабельные, наземное телевизионное вещание).

В режиме с *постоянным качеством* используется фиксированная матрица квантования, но при этом скорость потока компрессированных данных является переменной. Соответственно, чем больше деталей, выше активность изображения, тем больше скорость потока. Такой режим можно использовать при записи на дисковые носители в условиях отсутствия ограничения на объем, однако возможны ограничения на скорость воспроизведения – она не может быть произвольно большой.

Если запись компрессионного потока производится не в условиях реального времени, то можно использовать и другие способы управления скоростью. Например, выполнять компрессию в два прохода. На первом подбираются параметры, обеспечивающие максимальное качество; на втором – производится компрессия с найденными параметрами

Профили MPEG-2. Для наибольшей эффективности применения на практике и совместимости оборудования стандарта MPEG-2 от разных производителей, выделено несколько подмножеств синтаксиса и семантики, называемые профилями. Профиль – это подмножество стандарта для специализированного применения, задающее алгоритмы и средства компрессии. Уровни внутри каждого профиля связаны с параметрами компрессии изображения (табл.2. 1). Профили MPEG-2: Simple – простой; Main – основной; SNR (Signal to Noise Ratio) – с масштабируемым квантованием; Spatial – с масштабируемым пространственным разрешением; High– высокий; 422 – студийный. Например, профиль SNR, как и Spatial, поддерживают все типы изображений, используя обычное кодирование на основе предсказания с компенсацией движения; 422 обеспечивает полное разрешение, соответствующее рекомендации ITU-R 601, монтаж с точностью до кадра, допускает многократную перезапись.

Таблица 2.1– Профили стандарта MPEG-2

	Уровень	Simple	Main	SNR	Spatial	High	422
Профиль	Изображения	I и P	I, P и B	I, P и B	I, P и B	I, P и B	I, P и B
	Формат	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0 4:2:2	4:2:2
High	Отсч. в стр.	–	1920	–	–	1920	–
	Стр. в кадре		1152			1152	
	Кадров в сек		60			60	
	V_{max} , Мбит/с		80			100	
High– 1440	Отсч. в стр.	–	1440	–	1440	1440	–
	Стр. в кадре		1152		1152	1152	
	Кадров в сек		60		60	60	
	V_{max} , Мбит/с		60		60	80	
Main	Отсч. в стр.	720	720	720	–	720	720
	Стр. в кадре	576	576	576		576	608
	Кадров в сек	30	30	30		30	30
	V_{max} , Мбит/с	15	15	15		20	50
Low	Отсч. в стр.	–	352	352	–	–	–
	Стр. в кадре		288	288			
	Кадров в сек		30	30			
	V_{max} , Мбит/с		4	4			

Стандарт MPEG-2 не определяет защиту от ошибок, но предусматривает такую возможность. Важной особенностью стандарта является масштабируемость, которая определяется как возможность получения изображения из части полного потока данных.

Предусмотрены следующие виды масштабируемости [1]:

- масштабируемость по пространственному разрешению заключается в получении от одного источника видеoinформации двух телевизионных

сигналов с разными параметрами по разрешающей способности. Базовый слой содержит достаточно информации для воспроизведения обычной четкости, а дополнительный слой содержит данные для воспроизведения изображения в высокой четкости;

- масштабируемость по отношению сигнал/шум дает возможность получить от одного источника информации изображения с двумя уровнями отношения сигнал/шум, фактически с двумя уровнями качества, как это было рассмотрено в 2.2;

- масштабируемость по времени позволяет получать от одного источника видеoinформации с двумя уровнями разрешающей способности по времени – чересстрочной разверткой 25 Гц, или прогрессивной 50 Гц;

- масштабируемость по разделению данных позволяет использовать для передачи два канала связи. По одному из них (более помехозащищенному) передается базовый слой, по другому (соответственно, менее защищенному) менее критичные к ошибкам данные.

Применение стандарта MPEG-2 в вещательном телевидении позволяет значительно снизить объем передаваемых в единицу времени видео и звуковых данных и за счет этого передавать несколько цифровых программ в полосе частот одного стандартного радиоканала эфирного, кабельного или спутникового телевизионного вещания. Например, в системах спутникового телевизионного вещания сжатие ТВ сигнала в стандарте MPEG-2 позволяет передавать по одному каналу до пяти цифровых программ, при профессиональном качестве видеосигнала.

Для цифрового спутникового телевидения, использующего MPEG-2, с разрешением 720 на 576 точек максимальная скорость информационного потока 15 Мбит/сек, а практически используемая скорость потока - 3-4 Мбит/сек. На одном транспондере (приемнике - передатчике) на спутнике обычно умещается 8-12 каналов [5].