

Определение величины эквивалентной изотропной излучаемой мощности сигнала транспондером космического аппарата при передаче одной телевизионной программы.

Содержание:

I. Теоретическая часть.

1. Композитный видеосигнал и его сканирование.
2. Цифровое кодирование телевизионного сигнала.
3. Задачи кодирования и преобразования кодов.
4. Основные принципы и характеристики MPEG.

II. Расчётная часть.

1. Определение требуемой полосы рабочих частот для передачи одной телевизионной программы.
2. Определение величины эквивалентной изотропной излучаемой мощности сигнала транспондером космического аппарата при передаче одной телевизионной программы.
3. Пример.
4. Требования к оформлению.

Контрольные вопросы:

1. Из каких составляющих состоит композитный сигнал?
2. Какая нужна пропускная способность для передачи композитного сигнала без его сжатия?
3. Чем отличается раздельное кодирование телевизионного сигнала от совместного?
4. Из каких операций состоит комплекс - цифровое кодирование телевизионного сигнала?
5. Что такое шаг квантования?
6. Что такое уровни и пороги квантования?
7. Какие виды кодов используются в тракте цифрового ТВ?
8. Дайте оценку необходимой скорости передачи совместного цифрового потока без его сжатия при стандартах 4:2:2 и 4:4:4.
9. Во сколько раз реализуют сжатие информации стандарты MPEG?
10. Как кодируются следующие кадры в MPEG: I-frame, P-frame, B-frame?
11. Из чего состоит «транспортный» поток (MPEG Transport Stream)?

Определение величины эквивалентной изотропной излучаемой мощности сигнала транспондером космического аппарата при передаче одной телевизионной программы.

I. Теоретическая часть.

1. Композитный видеосигнал и его сканирование.

Вся видеотехника базируется на трех главных, или опорных цветах (RGB-сигналы). Вместе с яркостной составляющей они образуют так называемый композитный видеосигнал. Но передавать его на большие расстояния очень накладно: для этого потребуется пропускная способность не менее 540 Мбит/с. [1].

Поэтому применяется кодирование видеосигнала, принцип которого основан на том факте, что мы менее чувствительны к изменениям оттенков цвета, чем к изменениям яркости изображения. Исходный поток разбивается на сигнал, несущий информацию о яркости, и на два цветоразносных сигнала- C_B и C_R . Яркостный компонент определяют путем весового сложения трех цветов по формуле

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

Эти коэффициенты тоже обусловлены физиологией зрения: наибольшая чувствительность палочек приходится на зеленую часть спектра. Цветоразносные составляющие формируются вычитанием яркостного сигнала из сигналов красного и синего цветов. Получаемый в результате видеосигнал называется компонентным. На приемной стороне происходит восстановление композитного сигнала.

Другой особенностью видеосигнала является то обстоятельство, что "картинка" не считывается и не воспроизводится вся сразу. Теоретически такой режим возможен, но это очень неэффективное и чрезвычайно дорогое решение. На практике применяется метод сканирования изображения - слева направо по строкам и сверху вниз по кадру. Для того чтобы человеческий глаз не мог различить мелькание, изображение должно обновляться не менее 50 раз в секунду. В современной видеотехнике применяется чересстрочный режим сканирования каждого кадра: сначала четные, а затем нечетные строки. В таком случае частоту обновления можно снизить до 25 кадров в секунду (теперь это полукадры). Благодаря инерционности зрения человек не замечает такого "подвоха", зато при этом значительно снижаются требования к полосе передачи.

2. Цифровое кодирование телевизионного сигнала.

Если полный цветовой телевизионный сигнал перед преобразованием в цифровую форму разделяется на сигнал яркости и цветоразностные сигналы, такое кодирование телевизионного сигнала называется раздельным. При этом разделенные сигналы (или сигналы R, G, B от источника) кодируются отдельно и затем объединяются в общий цифровой сигнал. Если указанное разделение не производится, т.е. кодируется полный цветовой телевизионный сигнал, используется термин непосредственное или совместное кодирование.

Кодирующее устройство преобразует аналоговый телевизионный сигнал в цифровой. При переходе от аналоговой формы представления сигнала к цифровой можно выделить три наиболее существенных преобразования: дискретизацию (по времени); квантование (по уровню); кодирование (цифровое представление дискретных уровней).

Комплекс операций, связанный с преобразованием аналогового телевизионного сигнала в цифровой (дискретизация, квантование, кодирование), называется цифровым кодированием телевизионного сигнала. Декодирующее устройство телевизионного сигнала осуществляет операции, обратные производимым в кодере.

При дискретизации из аналогового телевизионного сигнала формируется импульсный сигнал (множество отсчетов). В соответствии с теоремой Котельникова выборка мгновенных значений телевизионного сигнала должна производиться с частотой дискретизации по крайней мере в 2 раза выше верхней граничной частоты видеоспектра.

Передать точно все значения размахов отсчетов нет необходимости, поскольку глаз человека обладает конечной разрешающей способностью к малым изменениям яркости. Это позволяет разбить весь диапазон значений отсчетов на конечное число уровней. Если число таких дискретных уровней выбрать достаточно большим, так чтобы разносить между двумя ближайшими в итоге не обнаруживалась зрителем, появляется возможность вместо передачи всех значений отсчетов передавать лишь определенное число их дискретных значений.

Для передачи цветного телевизионного сигнала с высоким качеством необходимо примерно 256 уровней квантования.

Полученные значения отсчетов округляются до ближайшего из набора фиксированных уровней, называемых *уровнями квантования*. Эти уровни разделяют весь диапазон изменения размахов отсчетов на конечное число интервалов, называемых *шагами квантования*. Это преобразование называется

квантованием. Каждому уровню квантования соответствует определенная область значений размахов отсчетов. Границы между этими областями называются *порогами квантования*.

В цифровом телевизионном сигнале каждому элементу изображения соответствует большая группа импульсов, принимающих только два значения - 0 или 1. Из этого вытекает главное преимущество цифровой формы представления - высокая защита от искажений.

Однако главным недостатком цифрового телевидения является необходимость значительно более широкой полосы пропускания канала связи, по сравнению с аналоговым. Это объясняется тем, что скорость передачи цифрового сигнала, измеряется числом двоичных символов в секунду (бит/с), довольно велика.

Компонентный телевизионный видеосигнал может быть представлен в цифровой форме в соответствии с Рекомендацией ITU-R 601. Эта рекомендация устанавливает правила отдельной дискретизации, квантования и кодирования сигнала яркости Y и двух цветоразностных сигналов $R-Y$ (C_r) и $B-Y$ (C_b). Частоты дискретизации представляют гармоники строчной частоты, что обеспечивает неподвижную ортогональную структуру отсчетов. При этом частота дискретизации яркостного сигнала в 2 раза больше частоты дискретизации цветоразностных сигналов, а каждый отсчет передается с помощью восьми импульсов, т.е. по каналу передается около 100 млн. импульсов в секунду (100 Мбит/с). Следовательно, требуется ширина полосы канала более 100 МГц. Как правило, частота дискретизации несколько превышает удвоенную верхнюю граничную частоту телевизионного сигнала, при этом скорость передачи символов цифрового сигнала получается равной 100-120 Мбит/с [2]. Если еще добавить цветовую информацию и служебные сигналы, то можно получить 270 Мбит/с [3].

Исходя из того, что для получения телевизионных изображений высокого качества нужно иметь полосу частот сигнала яркости около 6 МГц, частота дискретизации должна несколько превышать 12 МГц. Частота дискретизации должна быть кратна частоте систем с разложением на 525 и 625 строк. Поэтому для дискретизации сигналов яркости выбрана частота 13,5 МГц. (Подробнее смотри в [2], стр. 54).

Выбранная частота дискретизации цветоразностных сигналов равна половине частоты дискретизации сигнала яркости, т.е. 6,75 МГц. Этот стандарт цифрового кодирования условно обозначается соотношением 4:2:2, что

отражает двоичное соотношение частот дискретизации сигнала яркости и двух цветоразностных сигналов, а также одновременность их передачи.

Суммарный цифровой поток при стандарте цифрового кодирования 4:2:2, получаемый путем объединения потоков сигнала яркости ($13,58 \times 8 = 108$ Мбит/с) и двух цветоразностных сигналов R-Y и B-Y ($6,758 \times 8 \times 2 = 108$ Мбит/с), равен 216 Мбит/с. Для получения более высокого качества изображения необходимости стандарт (4:4:4), тогда скорость будет равна 324 Мбит/с. Примерно такие же градации в цифровом телевидении получается при соотношении частот дискретизации сигналов яркости и цветности, например 4:4:4, 4:2:2, 4:1:1 или 2:1:1 (для видеожурналистики).

Как при непосредственном, так и при раздельном кодировании полного цветового телевизионного сигнала, цифровые телевизионные сигналы получаются чрезвычайно широкополосными и передавать их по существующим линиям связи практически невозможно. [2].

Частота дискретизации для яркостного сигнала Y установлена равной 13,5 МГц, для цветоразностных сигналов - 6,75 МГц. Частоты дискретизации находятся в соотношении 4:2:2 (здесь условной единицей является частота 3,375 МГц).

Существуют и другие форматы представления компонентного сигнала в цифровом виде.

Кодирование по стандарту 4:4:4 предполагает использование частоты 13,5 МГц для всех трех компонентов: R,G,B или Y,Cr,Cb, Это означает, что все компоненты передаются в полной полосе. Для каждого из них в активной части кадра оцифровывается 576 строк по 720 элементов.

Формат 4:4:4:4 описывает кодирование четырех сигналов, три из которых являются компонентами видеосигнала (R,G,B или Y,Cr,Cb), а четвертый (А-канал) несет информацию об обработке сигнала, например, о прозрачности изображения переднего плана при наложении нескольких изображений. 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.

Формат 4:1:1 предлагает двухкратное уменьшение частоты дискретизации цветоразностных сигналов (в сравнении со стандартом 4:2:2), Яркостный сигнал Y дискретизируется с частотой 13,5 МГц, а цветоразностные (Cr и Cb) - 3,375 МГц. Это означает и двухкратное уменьшение горизонтального разрешения в цвете. В активной части кадра 576 строк, каждая

из которых содержит 720 элементов сигнала яркости и по 180 - цветоразностных сигналов.

Формат 4:2:0 предлагает изображение, в котором яркостная компонента Y содержит в активной части кадра 576 строк по 720 отсчетов, а цветоразностные компоненты Cr и Cb - по 288 строк по 360 отсчетов.

Для значительного сокращения скорости потока (например, в CD-ROM приложениях) разрешение яркостной компоненты снижается в 2 раза по вертикали и по горизонтали, а цветоразностных - в 4 раза по вертикали и в 2 раза по горизонтали (в сравнении со стандартом 4:2:2). Такой вид представления описывается форматом CIF (Common Interchange Format). Один кадр этого формата содержит в активной части 288 строк по 352 отсчета для яркостной компоненты и 144 строки по 176 отсчетов для цветоразностных компонент. При передаче только активной части изображения скорость потока составляет около 30 Мбит/с при 8 битах на отсчет.

3. Задачи кодирования и преобразования кодов.

Избыточность.

Центральной проблемой в цифровом телевидении является уменьшение в несколько раз скорости передачи символов цифрового сигнала. Она решается путем устранения избыточности, имеющейся в телевизионном сигнале; и использованием эффективных методов модуляции. Различают структурную, статистическую и физиологическую избыточность телевизионного сигнала.

Структурная избыточность заложена в формате телевизионного сигнала. Избыточными являются периодически вводимые в аналоговый ТВ-сигнал стандартные служебные импульсы — гасящие, синхронизирующие, уравнивающие. При передаче цифрового сигнала необходимость в передаче служебных отпадает, поскольку они легко восстанавливаются при приеме. Для сведения скажем, что удалив из цифрового ТВ-сигнала только гасящие импульсы строк и полей, можно снизить скорость передачи почти на четверть.

Статистическая избыточность — это взаимозависимость между соседними (по вертикали, горизонтали и во времени) отсчетами сигнала. Уменьшение такой избыточности до определенных пределов полностью обратимо, т. е. сигнал может быть восстановлен без потери информации. Статистическая избыточность вызвана корреляционными связями между элементами сигнала в одной строке, в смежных строках и соседних кадрах.

Избыточность по восприятию обусловлена несовершенством нашего зрения, что, к слову, используется для технических целей уже достаточно давно. Например, свойство глаза замечать изменение яркости лучше, чем изменение цвета, учитывается при разработке всех стандартных аналоговых системах кодирования цвета. Для нас незаметны и быстрые смены картинок — именно эта особенность сделала возможным появление кино, а затем и мультипликации. **Физиологическая избыточность** заключается в той части информации которая не воспринимается глазом человека.

Любому третьекурснику института связи известно, что телевизионный сигнал избыточен, поскольку от кадра к кадру меняется только некоторая часть подвижного изображения — как правило, действие происходит на переднем плане, а фон остается достаточно стабильным. Для телевизионного сигнала корреляция означает, что каждый элемент изображения некоторым образом зависит от элементов, соседствующих с ним во времени и пространстве.

При поточном сжатии видеосигнала алгоритм MPEG анализирует динамику изменений изображения и устраняет имеющиеся в нем избыточности.

Спектральная избыточность возникает в результате использования чрезмерно высокой частоты дискретизации. Проинтерполировав определенные группы отсчетов, можно изменить спектральный состав за счет снижения верхней частоты полученного на выходе ЦАП аналогового ТВ-сигнала. Затем сигнал заново оцифровывают с меньшей частотой дискретизации. Однако такая обработка сигнала требует значительного объема вычислений, она необратима, а кроме того, что совсем печально, качество восстановленного изображения почти всегда существенно хуже исходного. В отличие от первых трех видов избыточности, спектральная избыточность при кодировании по MPEG-2 не устраняется.

Борьба с помехами.

Для борьбы с помехами, приводящими к неверному распознаванию символов цифрового сигнала (к ошибкам передачи) в состав тракта цифрового телевидения в общем случае включает **кодек канала — устройство защиты от ошибок**. При этом для передачи по каналу используется помехоустойчивое кодирование. Наиболее распространенным методом помехоустойчивого кодирования является введение в цифровой канал избыточных символов.

Джиттеры.

Кроме ошибок передачи, внешние помехи приводят к временной нестабильности кодовых импульсов. Эту временную нестабильность, называемую **фазовым дрожанием**, также часто называют джиттером. Помехоустойчивость передачи цифрового телевизионного сигнала зависит от вида модуляции и кода, примененных для передачи цифровой информации по каналу, алгоритма декодирования сигнала в декодере и ряда других факторов.

Виды кодов, совместимость, преобразование.

Коды, используемые в тракте цифрового телевидения, можно условно разделить на коды:

- коды для кодирования телевизионного сигнала;
- коды для эффективной передачи по каналу;
- коды, обеспечивающие удобство декодирования и синхронизации на приеме;
- коды для цифровой обработки сигнала в различных звеньях тракта цифрового телевидения.

Процессы кодирования телевизионного сигнала, передачи информации по каналу и декодирования ее на приеме могут быть независимыми и

даже оказаться несовместимыми. Поэтому в цифровом телевидении приходится решать задачу преобразования кодов.

Коррекция ошибок.

Коррекция ошибок заключается в восстановлении поврежденной информации цифровыми методами, а маскирование ошибок — в замене поврежденной информации предыдущими или интерполированными данными. Большое внимание уделяется выбору эффективных корректирующих кодов, в том числе использованию нового класса кодов, исправляющих ошибки, — сверточным кодом, обладающим рядом достоинств.

Преимущества цифровой формы.

Подводя итог всему сказанному выше, отметим преимущества, которые обеспечиваются при переходе к цифровой форме представления и передачи телевизионных сигналов:

- возможность большого числа обработок цифрового сигнала с сохранением высокого качества выходного аналогового сигнала при формировании телевизионного изображения;
- повышение качества передачи телевизионных сигналов по цифровым линиям связи большой протяженности, благодаря значительному уменьшению накопления искажений, по сравнению с аналоговыми, и применению кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки передачи;
- упрощение обмена телевизионными программами при разных стандартах телевидения;
- высокие качественные показатели систем записи воспроизведения изображения за счет значительного снижения уровня нелинейных искажений;
- высокая стабильность тракта, возможность длительного бесподстроечного режима работы оборудования за счет широкого использования методов и технических средств цифровой техники.

4. Основные принципы и характеристики MPEG.

В телевизионном изображении заложена определенная избыточность информации. В кадре телевизионного сигнала может быть много однородных фрагментов с одинаковым уровнем яркости и цветности (например небо, футбольное поле и т.д.), различия между соседними кадрами могут быть очень малы. И, как правило, в изображении остается практически неподвижным фон

или передний план. Цифровой стандарт MPEG позволяет избавиться от такой избыточности с помощью межкадрового и внутрикадрового кодирования и, следовательно, уменьшить объем информации.

MPEG-1 оптимально работает в режиме 1,5—8 Мбит/с, MPEG-2: 2—15 Мбит/с. Работа над стандартом MPEG-3 (скорость передачи до 40 Мбит/с) была прекращена, т.к. в процессе последований стало ясно, что MPEG-2 исключает такую необходимость.

MPEG-4 предназначен для скорости передачи информации до 64 Мбит/с.

Все стандарты MPEG базируются на стандарте CCIR-601 (базовый стандарт цифрового видео) они могут работать со стандартами телевидения 525 строк, 30 кадров/с; 625 строк, 25 кадров/с.

Стандарт MPEG-2 предназначен в основном для телевидения, в то время как MPEG-1 ориентирован на применение в персональных компьютерах и системах мультимедиа. В проекте обеспечивается совместимость вниз, т.е. декодер MPEG-2 может декодировать поток данных формата MPEG-1.

Несмотря на то, что стандарты MPEG осуществляют очень большое сжатие информации (до 200 раз!) в процессе кодирования, качество изображения при декодировании значительно превосходит качество аналогового телевидения.

Стандарт сжатия MPEG разработан Экспертной группой кинематографии (Moving Picture Experts Group - MPEG).

Существуют разные стандарты MPEG (как их еще иногда называют фазы - phase): MPEG-1 MPEG-2, MPEG-3, MPEG-4, MPEG-7.

MPEG состоит из трех частей: Audio, Video, System (объединение и синхронизация двух других).

Как MPEG работает:

В зависимости от некоторых причин каждый frame (кадр) в MPEG может быть следующего вида:

- I (Intra) frame - кодируется как обыкновенная картинка.
- P (Predicted) frame - при кодировании используется информация от предыдущих I или P кадров.
- B (Bidirectional) frame - при кодировании используется информация от одного или двух I или P кадров

Последовательность кадров может быть например такая:

1BVPBVPBVPBVPB1BVPBVPB.

Нужно заметить, что прежде чем декодировать "B" кадр требуется декодировать два "I" или "P" кадра. Существуют разные стандарты на частоту,

с которой должны следовать "I" кадры, приблизительно 1-2 в секунду, соответствующие стандарты есть и для "P" кадров (каждый 3 кадр должен быть P кадром).

Техника кодирования:

Для большего сжатия в "B" и "P" кадрах используется алгоритм предсказания движения (что позволяет сильно уменьшить размер "P" и "B" кадров - Таблица 1) на выходе которого получается:

- Вектор смещения (вектор движения) блока который нужно предсказать относительно базового блока.
- Разница между блоками (которая затем и кодируется).

Так как не любой блок можно предсказать на основании информации о предыдущих, то в "P" "B" кадрах могут находиться "I" блоки (блоки без предсказания движения).

Таблица 1

| Вид кадра | I | P | B | Средний размер |
|--|-----|----|----|----------------|
| Размер кадра для стандарта SIF (kilobit) | 150 | 50 | 20 | 38 |

Метод кодировки блоков (либо разницы, получаемой при методе предсказание движения) содержит в себе:

- Discrete Cosine Transforms (DCT - дискретное преобразование косинусов).
- Quantization (преобразование данных из непрерывной формы в дискретную).
- Кодировка полученного блока в последовательность.

DCT использует тот факт, что пиксели в блоке и сами блоки связаны между собой (т.е. коррелированы), поэтому происходит разбивка на частотные фурье компоненты (в итоге получается quantization matrix - матрица преобразований данных из непрерывной в дискретную форму, числа в которой являются величиной амплитуды соответствующей частоты), затем алгоритм Quantization разбивает частотные коэффициенты на определенное количество значений. Encoder (кодировщик) выбирает quantization matrix которая определяя то, как каждый частотный коэффициент в блоке будет разбит (человек более чувствителен к дискретной разбивке для малых частот чем для больших). Так как в процессе quantization многие коэффициенты получаются нулевыми то применяется алгоритм зигзага для получения длинных последовательностей нулей (Рис. 1).

Звук в MPEG:

Форматы кодирования звука делятся на три части: Layer I, Layer II, Layer III (прообразом для Layer I и Layer II стал стандарт MUSICAM, этим именем сейчас иногда называют Layer II). Layer III достигает самого большого сжатия, но, соответственно, требует больше ресурсов на кодирование.

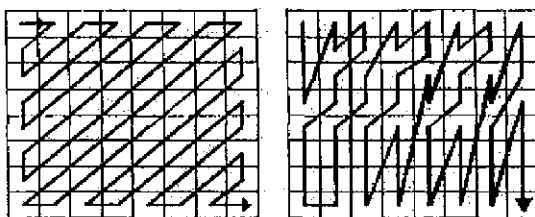


Рис. 1

Принципы кодирования основаны на том факте, что человеческое ухо совершенно и на самом деле в несжатом звуке (CD-audio) передается много избыточной информации. Принцип сжатия работает на эффектах маскировки некоторых звуков для человека (например, если идет сильный звук на частоте 1000 Гц, то более слабый звук частоте 1100 Гц уже не будет слышен человеку, также будет ослаблена чувствительность человеческого уха на период в 100 мс после и 5 мс до возникновения сильного звук Psychoacoustic (психоакустическая) модель используемая в MPEG разбивает весь частотный спектр на части, в которых уровень звука считается одинаковым, а затем удаляет звуки воспринимаемые человеком, благодаря описанным выше эффектам.

В Layer III части разбитого спектра самые маленькие, что обеспечивает самое хорошее сжатие. MPEG Audio поддерживает совместимость Layer'ов снизу вверх, т.е. decoder (декодировщик) для Layer II будет также распознавать Layer I.

Синхронизация и объединение звука и видео Рис.2, осуществляется с помощью системного потока (Рис. 2), который включает в себя:

- Системный поток, содержащий видео и аудио потоки, временную и другую информацию чтобы разделить и синхронизовать видео и аудио.

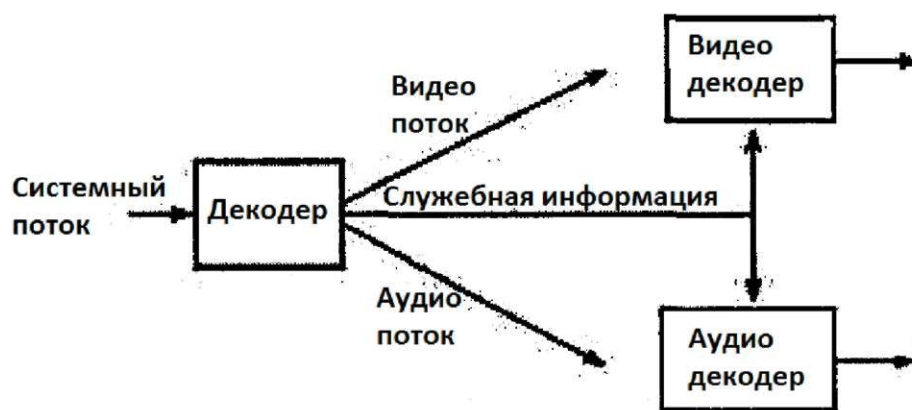


Рис.2

Видео поток содержит заголовок, затем несколько групп картинок (заголовок и несколько картинок необходимы для того, что бы обеспечить произвольный доступ к картинкам в группе в независимости от их порядка).

Звуковой поток состоит из пакетов каждый из которых состоит из заголовка и нескольких звуковых кадров.

Для синхронизации аудио и видео потоков в системный поток встраивается таймер, работающий с частотой 90 КГц (System Clock Reference - SCR, метка по которой происходит включение временного счетчика в декодере и метка начала воспроизведения (Presentation Data Stamp PDS), чтобы объяснить декодеру когда этот кадр воспроизводить.

После того, как кодирование информации произведено, все типы данных соединяются в единый "транспортный" поток (MPEG Transport Stream). Затем производится защита от ошибок с помощью скремблирования и кода Рида-Соломона. Полученный таким образом сложнейший сигнал модулируется и поступает на передатчик.

Структура MPEG-сигнала.

MPEG-сжатие начинается с создания исходного (ключевого) I-кадра или Intra-кадра. I-кадры играют роль опорных при восстановлении основных изображений и размещаются следовательно через каждые 10-15 кадров. В интервале между I-кадрами меняются только некоторые фрагменты изображений, и именно эта разница кодируется. Кроме I-кадров в MPEG последовательности имеются еще типа изображений:

- predicted (P) - предсказанные кадры, описывающие различия между текущим и предыдущим кадрами (типа I или P);
- bi-directional interpolated (B) - интерполированные в двух направлениях (вперед и назад) кадры, содержащие лишь указатели на предыдущие или последующие кадры типа I или P.

Основу файла формата MPEG составляют *I-кадры*, сжатие которых выполняется только с применением внутрикадрового предсказания. Выделение I-кадра - это первый этап, на котором степень компрессии еще относительно невелика, но зато восстановленное изображение почти полностью соответствует исходному, а его качество мало зависит от ошибок, возникающих в процессе кодирования и передачи сигнала по каналу связи.

Вообще MPEG-кодирование - процесс «возвратно-поступательный». Кодирование *P-кадров* выполняется с помощью алгоритмов компенсации движения и межкадрового предсказания вперед по предшествующим I- или P-кадрам до тех пор, пока в блоке не появится новый объект. После его обнаружения опять происходит переход к алгоритмам, используемым для кодирования I-кадров, т. е. к внутри кадровому предсказанию. Заметим, что степень сжатия P-кадров почти втрое превышает этот показатель для I-кадров.

Определим «иерархию»: I-кадры являются основой для предсказания P- и B-кадров, а P-кадры, в свою очередь, используются для создания последующих P- или B-кадров. Очевидно, что ошибки любого кадра распределяются по всем кадрам, созданным на его основе, поэтому при декодировании I- и P-кадров требуется обеспечивать высокую точность восстановления исходного изображения.

Статистическое мультиплексирование.

Основу системы кодирования составляет видеокодер, рассчитанный на работу с постоянной либо переменной скоростью потока. Говоря о статистическом мультиплексировании, необходимо понимать, что взаимосвязь между скоростью потока и картинкой не описывается фиксированным соотношением бит, а зависит от содержимого изображения, точнее - от показателя, который часто называют его сложностью (A). Как правило, качество изображения достаточно хорошее, за исключением случаев, когда степень сложности изображения превышает возможности видеокодера (тогда искажения кодирования становятся заметными).

Технология статистического мультиплексирования, задействуемая, например, в системе StatCast (Philips), позволяет получить выигрыш в использовании полосы (за счет шумоподавления) и реализовать его для достижения лучшего качества изображения и/или понижения «удельной» скорости потока (на канал). Система обеспечивает такое выравнивание (усреднение) качества, что качество картинки остается постоянным на протяжении всей передачи; при этом появляется возможность перераспределить пропускную способность.

Сегодня цифровое телевидение немислимо без стандарта MPEG-2. Можно сказать, что оно вообще смогло выйти за порог студий лишь благодаря методам компрессии, основанным на «схожести» последовательных изображений и несовершенстве нашего зрения. Для цифрового телевидения алгоритмы сжатия MPEG-2 позволяют без заметной потери качества снизить первоначальную скорость передачи приблизительно в 20 раз. Если же не привередничать и не предъявлять высоких требований к качеству, то скорость можно снизить в 50 и даже 100 раз.

Применение компрессии обеспечивает огромную экономию ресурсов, а значит, и средств. Например, в транспондер телевещательного спутника, через который передавался один аналоговый телевизионный канал, можно «упаковать» от двух цифровых каналов с высоким качеством (ТВЧ) до 16 каналов с более низким качеством. И хотя достойно сожаления, что ширина полосы для передачи телевизионных сигналов сегодня определяется не показателями качества, а выкладками бухгалтера, что под давлением финансовых обстоятельств оператор зачастую «набивает» полосу большим числом каналов, чем это допустимо для сохранения приемлемого качества, но без MPEG-2 даже эти «недостойные» действия едва ли имели бы место.

И хотя создан новый кодер в новом стандарте MPEG-4, который предназначен для потоков изображений, передаваемых со скоростями от 16 до 2000 кбит/с, пока можно с уверенностью утверждать, что MPEG-2 - доминирующий алгоритм сжатия для всех приложений цифрового видео.

Давно известный тезис о том, что совершенству нет предела, в ходе развития цифрового телевидения подтверждался неоднократно. Однако мы должны отдавать себе отчет и в том, что методы и устройства цифровой компрессии, доступные для нас сегодня, - это, скорее всего, только самые простые решения, а наилучшим устройством цифровой компрессии, которое было создано природой (или Богом) несколько тысячелетий назад, по-прежнему остается человеческий мозг.

Нормальное цветное изображение на сетчатке глаза представляет собой информационный поток со скоростью 140 Мбит/с. Но электрохимический компьютер, расположенный у нас в голове, не может работать с большими скоростями. Его тактовая частота (альфа-ритм) равна всего 10 Гц. При большем объеме информации человек теряет способность даже к самому простейшему восприятию (и, как правило, к осмысленным действиям), поэтому по зрительному нерву от глаза к мозгу информация передается со скоростью лишь 50-70 бит/с. Следовательно, в системе «глаз-мозг» сигнал сжимается в миллионы раз по неизвестным нам пока алгоритмам.

II. Расчётная часть.

1. Определение требуемой полосы рабочих частот для передачи одной телевизионной программы.

Найти требуемую полосу рабочих частот W (без учета запаса на расфилтрование) и f_c (с учетом запаса на расфилтрование) для передачи одной телевизионной программы. Значения величин K , FEC даны в таблице вариантов №1 лабораторной работы №2.

Таблица вариантов №1.

| № п/п | 4:4:4 | | 4:2:2 | | 4:0:0 | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | MPEG-2 | MPEG-4 | MPEG-2 | MPEG-4 | MPEG-2 | MPEG-4 |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 3 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 4 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |

| № п/п | 4:4:4 | | 4:2:2 | | 4:1:1 | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | MPEG-2 | MPEG-4 | MPEG-2 | MPEG-4 | MPEG-2 | MPEG-4 |
| 5 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 6 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| 7 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 |
| 8 | 43 | 44 | 45 | - | - | - |

Из теоретической части следует, что для получения телевизионных изображений высокого качества частота дискретизации сигнала яркости выбрана частота 13,5 МГц, а для частоты дискретизации цветоразностных сигналов зависит от стандарта качества. В соответствии со стандартом качества и учетом того, что каждый отсчет передается с помощью восьми импульсов, находится битовая скорость суммарного цифрового потока, которая делится на коэффициент сжатия выбранного стандарта сжатия MPEG-2 или MPEG-4. Полученная величина R - битовая скорость потока без учета помехоустойчивого кодирования с избыточностью FEC.

Тогда, требуемая битовая скорость равна $V_c = \frac{R}{FEC}$. Для нахождения символьной скорости воспользуемся выражением: $R_s = \frac{V_c}{K}$.

Занимаемая полоса частот сигнала (без запаса на расфилтровку) равна $W = |R_s|$ [Гц].

2. Определение величины эквивалентной изотропной излучаемой мощности сигнала транспондером космического аппарата при передаче одной телевизионной программы.

Для заданного варианта в предыдущих работах определены ЭИИМ, ЭИИМ^{СП}. Выше определена требуемая полоса рабочих частот W (без учета запаса по полосе частот на расфилтрование).

Величину эквивалентно изотропно-излучаемой мощности сигнала транспондером КА при передаче одной телевизионной программы определим по формуле:

$$\text{ЭИИМ}_{с.вых.ант.}^{КА} = \text{ЭИИМ}^{СП} \cdot W.$$

3. Пример.

Дано:

Вариант №40. Для варианта №40 из таблицы вариантов в лабораторной работе №2 находим: $K=5$; $FEC=3/4$. Из таблицы вариантов в данной работе для варианта №40 имеем: MPEG-4; формат качества – 4:2:2. Из лабораторной работы №1 для варианта №40 имеем: г. Киев; спутник «Hellas-Sat», ЭИИМ=48,55 дБВт.

Решение:

Суммарный цифровой поток при стандарте качества цифрового кодирования 4:2:2, получаемый путем объединения потоков сигнала яркости ($13,58 \times 8 = 108$ Мбит/сек) и двух цветоразностных сигналов R-Y и B-Y ($6,758 \times 8 \times 2 = 108$ Мбит/сек), равен 216 Мбит/сек. Если используется стандарт сжатия MPEG-4, то будем считать коэффициент сжатия равным 100.

Тогда: $R = \frac{216 \text{ Мбит/сек}}{100} = 2,16 \text{ Мбит/сек} =$. После помехоустойчивого кодирования ($FEC=3/4$) в канале потребуется битовая скорость $V_c = \frac{R}{FEC} = \frac{2,16 \text{ Мбит/сек} \cdot 4}{3} = 2,88 \text{ Мбит/сек}$. В нашем случае символьная скорость должна быть: $R_s = \frac{V_c}{K} = \frac{2,88 \text{ Мбит/сек}}{5} = 0,576 \text{ Мбит/сек}$, тогда занимаемая полоса частот таким сигналом (без запаса на расфилтровку сигналов) будет равна: $W = 576 \text{ кГц}$.

Величина эквивалентно изотропно-излучаемой мощности сигнала транспондером КА при передаче одной телевизионной программы равна:

$$\text{ЭИИМ}_{с.вых.ант.}^{КА} = \text{ЭИИМ}^{СП} \cdot W = 0,973 \cdot 10^{-3} [\text{Вт/Гц}] \cdot 576 \cdot 10^3 [\text{Гц}] = 560,5 [\text{Вт}] \rightarrow 27 [\text{дБВт}].$$

Требования к оформлению.

1. На первом листе должны быть указаны:
 - ВУЗ, группа, Ф.И.О., дата, наименование работы, номер варианта.
2. Привести все исходные данные для вашего варианта в разделе "ДАНО".
3. По каждому вопросу из раздела «НАЙТИ» привести содержание вопроса, формулу по которой будет произведен расчёт, значения параметров в формуле для вашего варианта, ответ, размерность.

Примечания.

1. Мощность сигнала передатчика представить в абсолютных единицах [Вт] либо в [мВт], так и в относительных единицах [дБВт] либо в [дБмВт].
2. Все расчеты выполнить на персональном компьютере (ПК).
3. Отчёт представить в виде распечатанном на формате А4 и в электронном виде, позволяющем изменять исходные значения и вести расчёт заново.
4. В конце отчёта поставить личную подпись и дату.