

УДК 621.397.74

В.Г. Абакумов, д-р техн. наук, С.Г. Антошук, д-р техн. наук, Денеш Далми, Амаду Кан, канд. техн. наук, П.В. Попович, Н.В. Шишкова, Я.Е. Яцун

Факторы, влияющие на качество телевизионного изображения в системах цифрового телевизионного вещания

В статье исследованы основные факторы, влияющие на качество изображения в системах цифрового телевизионного вещания на этапе его подготовки, передачи и приема. Определены узлы приемо-передающего тракта систем цифрового телевидения, работа которых может вызывать ухудшение качества телевизионного изображения, отображаемого на экране абонентского приемника. Присутствие таких факторов влечет за собой необходимость постоянного инструментального контроля качества изображения.

Basic factors, effecting on quality of image in the digital television broadcasting systems on the stage of its preparation, transmission and reception, are investigated in the article. The units of transmitting-receiving equipment of the digital television systems which operation can produce quality degradation of TV picture represented on the screen of subscriber receiver are determined. The presence of such factors entails the necessity of permanent instrumental control of image quality.

Введение

Переход к цифровому телевизионному вещанию (ЦТВ) по сравнению с аналоговым предоставляет зрителям возможность получения изображения лучшего качества. При этом система передачи и приема цифрового телевизионного сигнала имеет другую структуру и использует отличающиеся от аналоговой системы методы обработки сигнала [1-4]. В системах аналогового телевидения процедуры и методы контроля качества изображения стандартизованы. Внедрение цифрового телевизионного вещания требует разработки новой методики и стандартов измерения качества формирования, передачи и воспроизведения телевизионных изображений. Поскольку в настоящий момент отсутствуют рекомендации относительно оценки качества изображения в системах цифрового телевизионного вещания, важной является оценка факторов, которые могут приводить к искажениям изображения на этапе его формирования, передачи и воспроизведения.

1. Искажения, вызванные особенностями кодирования цифрового телевизионного сигнала

Для оценки факторов, которые могут ухудшать качество изображения в системах цифрового телевизионного вещания на этапах формирования и передачи, рассмотрим упрощенную структурную схему процесса подготовки и передачи цифровых телевизионных программ (рис.1). Сформированные в аппаратно-студийных блоках (АСБ) телевизионные программы поступают на входы видеокодеров, где происходит сжатие видеоизображений и формирование цифровых транспортных потоков. Сжатые видеосигналы поступают на вход мультиплексора для формирования суммарного транспортного потока. Транспортный поток MPEG-2 с выхода мультиплексора подается на модулятор, в котором осуществляется помехоустойчивое кодирование с использованием кода Рида-Соломона и сверточного кода. После модуляции такой цифровой последовательностью высокочастотного несущего колебания оно подается на передающее устройство [1-3]. Следовательно, используемое оборудование непосредственно влияет на качество передаваемого изображения.

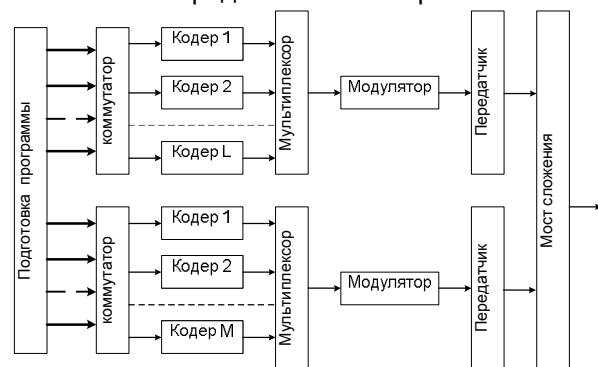


Рис. 1.

При преобразовании цветного телевизионного сигнала из аналоговой формы в цифровую осуществляют его дискретизацию и квантование, после аналого-цифрового преобразования полученный сигнал изображения подлежит кодированию (сжатию) для уменьшения его избыточности.

При сжатии изображения осуществляется переход от традиционного RGB-представления цвета к цветовой схеме $Y C_R C_B$. Частота дискретизации телевизионного сигнала должна не ме-

нее чем вдвое превышать верхнюю частоту спектра телевизионного сигнала, иначе возникают значительные искажения сигнала в процессе аналого-цифрового преобразования.

Известно [1,5], что глаз человека более восприимчив к изменениям градаций яркости, чем к изменениям цвета, потому для уменьшения объема информации, которую содержит полный цветной телевизионный сигнал, во время дискретизации осуществляют прореживание цветных компонентов C_R и C_B . Дискретизация цветных сигналов может происходить в форматах 4:2:2, 4:2:0, 4:1:1, 4:4:4.

Нетрудно подсчитать, что схема 4:1:1 позволяет сократить выходной поток вдвое. Следовательно, использование форматов дискретизации 4:1:1 или 4:2:0 значительно ухудшает передачу цветов. Форматирование цветных сигналов позволяет в широких пределах изменять основные параметры цифровых потоков и качество передаваемого изображения.

В рекомендации ITU-R BT.601 [5] для телевизионного сигнала предусмотрено использование 8-разрядного квантования (256 уровней). В результате процедуры квантования динамический диапазон цветов видеоизображения значительно уменьшается, что может влиять на его восприятие при воспроизведении абонентским оборудованием.

В результате аналогово-цифрового преобразования цветного телевизионного сигнала результирующий поток битов и необходимая для его передачи полоса частот являются достаточно большими, что приводит к необходимости сокращения избыточности информации, которую содержит цветной телесигнал.

Техника сжатия видеоизображений основывается на сокращении следующих видов избыточности [1-3]:

- пространственной избыточности (статистическая – наличие корреляционных связей между значениями отсчетов сигналов соседних элементов изображения);
- временной избыточности (структурная – наличие импульсов гашения в телевизионном сигнале);
- психофизиологической избыточности (наличие информации в сигнале, которая не воспринимается глазом человека).

Исследуем процессы, которые происходят с телевизионным сигналом во время его сжатия, для определения возможных причин возникновения вредных артефактов на передаваемом изображении. Все методы сжатия изображений, которые обеспечивают высокие коэффициенты компрессии, допускают наличие потери инфор-

мации. Эти потери связаны с отказом от передачи тех компонентов изображения, чувствительность к точности воспроизведения которых у человеческого глаза небольшая [5].

В стандарте MPEG-2 используют гибридный способ кодирования, в котором объединены внутрикадровый и межкадровый способы сжатия. Первый способ сжатия направлен на уменьшение психофизиологической избыточности, а второй – на уменьшение избыточности, обусловленной межкадровой корреляцией. Сжатие приводит к появлению ранее не обнаруженных дефектов качества. Ошибки могут возникать в процессе комплексной обработки при мультиплексировании программ в единый поток данных. Ошибки синхронизации и согласования во времени могут нарушить процесс декодирования.

Алгоритм дискретного косинусного преобразования (ДКП), применяемый при внутрикадровом сжатии, осуществляет преобразование блоков изображения в частотные компоненты Фурье (коэффициенты ДКП), устраняя корреляцию между значениями отсчетов сигналов соседних элементов изображения [1,2,3,6]. При этом небольшая часть информации теряется при округлении, однако эти ошибки могут быть сделаны достаточно малыми за счет выбора разрядности вычислительных средств.

После процедуры ДКП полученные коэффициенты подлежат квантованию, для чего используют матрицы квантования [1,2,6], элементами которых являются нормирующие коэффициенты для коэффициентов ДКП цветных сигналов и сигнала яркости.

Основной особенностью матриц квантования является то, что входящие в матрицы коэффициенты увеличиваются слева направо, сверху вниз и по диагонали. Это значит, что коэффициенты ДКП, которые отвечают высоким пространственным частотам, будут квантоваться более грубо (делиться на большее значение коэффициентов квантования). Благодаря квантованию передаваться будут лишь те коэффициенты ДКП, которые отвечают информативной для глаза человека части изображения (фон, общий план, медленное изменение яркости и цвета), и незначительное количество коэффициентов ДКП, которые характеризуют мелкие детали и резкие изменения яркости и цвета на изображении [6].

Можно утверждать, исходя из свойств матриц квантования, что операция квантования вносит потери в передаваемое изображение, а, следовательно, является основным фактором

ухудшения качества воспроизводимого изображения.

Как результат, представим ниже классификацию характерных искажений, возникающих при цифровом кодировании видеосигналов по стандарту MPEG-2 [7].

Искажения MPEG-2, обусловленные **внутрикадровым** кодированием:

- *блокинг-эффект* – характерное разбиение всего изображения на квадратные блоки 8x8 пикселей с заметными границами. Возникает вследствие деления изображения на блоки с последующим их независимым кодированием, в котором используется ДКП и квантование коэффициентов. Характерной особенностью ДКП с учетом квантования коэффициентов является возникновение ненулевых ошибок на границах блоков, которые идентифицируются глазом как скачки яркости от одного блока к другому.
- *мозаичный эффект* также возникает при слишком грубом квантовании коэффициентов ДКП, при котором изображения внутри соседних блоков сильно отличаются друг от друга.
- *размытие изображения* – при большом коэффициенте сжатия наблюдается размытие изображения, обусловленное значительным ограничением либо полным обнулением высокочастотной части спектра ДКП. Мелкие детали становятся либо размытыми, либо полностью пропадают в изображении.
- *окантовки на границах* (возникновение характерных окантовок на резких переходах яркости изображения). Поскольку ступенчатый сигнал содержит большое количество спектральных компонент (амплитуда которых убывает лишь обратно пропорционально их номеру), изменения амплитуд ДКП вследствие квантования могут нарушить монотонность функции вблизи ступеньки, что визуально проявляется как колебания яркости на резких переходах.
- *размытие цветов* имеет такую же причину, что и эффект окантовки на границах, но проявляется на участках изображения с резкими скачками в сигнале яркости.
- *искажения типа ступеньки* – причиной возникновения данного эффекта является использование в качестве базиса разложения функций ДКП, построенных в декартовых координатах. Каждая из базисных функций имеет строго выраженную вертикальную и горизонтальную ориентации. Поэтому при грубом квантовании коэффициентов ДКП на наклонной границе проявляется внутренняя ориентация базисных функций по осям координат.
- *искажения, имеющие вид базисных функций ДКП* – этот эффект проявляется в виде структур, очень похожих по форме на базисные функции ДКП. Искажения MPEG-2, обусловленные **межкадровым** кодированием [7]:
 - *ложные границы* – при больших значениях коэффициентов квантования количество ложных границ увеличивается от кадра к кадру, что приводит к существенной деградации изображения.
 - *флуктуации яркости или цветности* в блоке на границе между движущимся объектом и фоном. Этот эффект обусловлен межкадровым кодированием потока и возникает вследствие различной степени квантования ошибки предсказания от кадра к кадру. Часть блока, который подвергается компенсации движения, может передаваться правильно, но другая часть, соответствующая фону, и ошибка предсказания которой не мала, может передаваться с искажениями вследствие глубокого квантования коэффициентов ДКП.
 - *зернистый шум в стационарной области*. Этот вид искажений возникает по нескольким причинам: во-первых, если коэффициенты преобразования разностей между текущим и опорным кадрами изменяются между соседними кадрами, восстановленный уровень в каждой точке может отличаться от уровня в той же точке соседнего кадра; во-вторых, при очень малом изменении сигнала между соседними кадрами кодер может выбрать неправильный вектор движения макроблока. В результате воспроизведение идентичных пространственно и по времени макроблоков может незначительно отличаться; в-третьих, данные ошибки могут быть обусловлены ограниченными циклами низкоуровневого входа.
 - *неправильные цвета*. Данный тип искажений обусловлен регулярной формой всего макроблока. Наиболее вероятной причиной неправильного цвета является тот факт, что в наиболее популярном критерии для анализа вектора движения используется только сигнал яркости. Поэтому предсказанный блок может иметь высокую корреляцию по сигналу яркости, и при этом иметь совсем другой цвет.
 - *эффект "привидения"*. В зависимости от скорости объектов, участвующих в движении, и алгоритма поиска пропущенных макроблоков, за движущимися объектами возможно образование следов, которые могут сохраняться в течение сравнительно большого промежутка времени.

2. Искажения, вызванные особенностями приема цифрового телевизионного сигнала

Для систематизации факторов, влияющих на характеристики сигнала систем цифрового телевидения на этапе приема, рассмотрим структурные узлы приемного устройства, а также задачи каждого из них. Абонентское приемное устройство имеет конкретную задачу – восстановить после цифрового сжатия исходное изображение и звуковое сопровождение, и подать их в аналоговом виде на ТВ приемник. Соответственно, сигнал в приемнике-декодере проходит следующие этапы обработки – выделение в тюнере нужного канала, демодуляцию, демультимплексирование, декодирование выбранных цифровых потоков, преобразование в аналоговую композитную форму в одном из выбранных стандартов цветности [2].

Приведем упрощенную схему преобразования сигнала на приемной стороне, представленную основными блоками, которые имеют наибольшее влияние на качество принятого сигнала (рис. 2).

В приемнике линейные искажения сигнала и ограничение полосы частот могут приводить к искажениям формы сигнала в виде межсимвольных и квадратурных искажений. Небольшой сдвиг частот несущих нарушает ортогональность между подканалами и ведет к ухудшению характеристик, быстро возрастающему пропорционально значению сдвига и числу пораженных несущих.

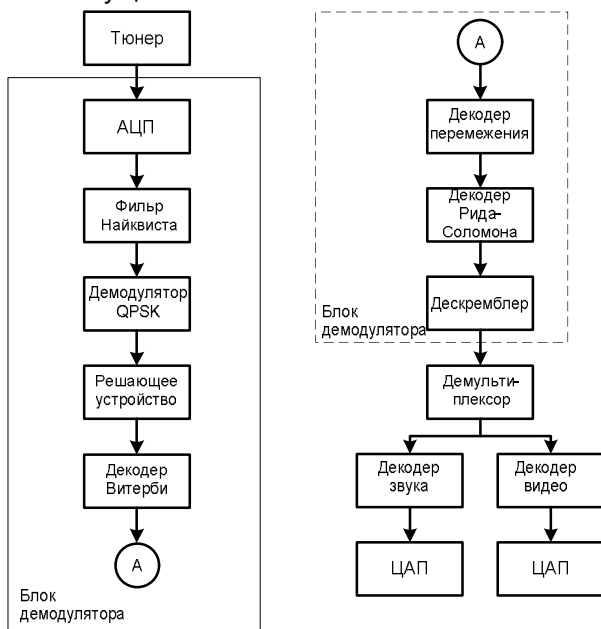


Рис. 2.

Далее рассмотрим факторы, вызывающие искажения сигнала в каждом из функциональных узлов приемного устройства.

Доминирующим искажающим фактором в тюнере приемника является фазовый шум. Возникающие фазовые шумы могут быть вызваны двумя компонентами: обычным компонентом вращения, который вызывает вращение фазы поднесущих OFDM (дисперсионным компонентом), или компонентом взаимных помех между несущими, который, подобно шуму, приводит к размытию точек созвездия каждой из поднесущих. Первый компонент может быть легко прослежен с использованием опорных внутриполосных пилот-сигналов. А второй компенсировать сложно, и он будет ухудшать шумовой порог систем DVB-T и ISDB-T.

В состав демодулятора входит несколько функциональных узлов, работа которых имеет значительное влияние на качество принимаемых видео- и звуковых сигналов. К ним следует отнести аналого-цифровой преобразователь (АЦП), фильтр Найквиста, решающее устройство, декодер Витерби, декодер перемежения и декодер Рида-Соломона. В схеме демодулятора, как и в модуляторе, применяется квадратурная схема и отдельная обработка I и Q компонентов [1-4]. После декодера Витерби, восстановителя перемежения и декодера Рида-Соломона на выходе модуля формируется транспортный поток MPEG-2, который поступает на демультимплексор [2,3]. Факторы, возникающие в демодуляторе: нестабильность частоты, неточность квадратуры, ошибки при восстановлении несущей, – приводят к фазовым ошибкам несущей частоты. Шумовые спектральные составляющие в выходном колебании вызваны, в главной степени, наличием флуктуационной фазы в опорном генераторе и устройстве формирования частоты. Эти флуктуации приводят к изменению взаимных расстояний между символами, которые воспринимаются демодулятором приемника как уменьшение отношения сигнал/шум, что приводит к росту битовой ошибки BER на выходе демодулятора. Величина этих шумовых составляющих не должна превышать 80... 85 дБ/Гц в области частот 0,1...10 кГц и 110 дБ/Гц – в области частот 0,1...1 МГц [4].

Неравномерность группового времени запаздывания (НГВЗ) вызывает сдвиг фаз определенных групп поднесущих относительно их исходного значения, что приводит к изменению взаимных расстояний между символами, которые воспринимаются демодулятором приемника как уменьшение отношения сигнал/шум, что также приводит к росту битовой ошибки на выходе демодулятора. Максимальная неравно-

мерность ГВЗ в цифровой системе не должна превышать 250 нс.

Практический интерес представляет значение отношения сигнал/шум на входе решающего устройства, поскольку работа именно этого узла вызывает появление ошибочных битов. Несмотря на то, что в современных системах вещания применяются сложные методы амплитудно-фазовой модуляции, решение принимается именно о соотношении между уровнем демодулированного импульса и порогом. Дрейф опорного источника и неточность установки зоны решения могут приводить к серьезным искажениям сигнала из-за возникновения дрейфа пороговых уровней решающего устройства.

Важным структурным элементом демодулятора является аналого-цифровой преобразователь (АЦП), поскольку его работа вносит определенные погрешности в обрабатываемый сигнал. Одна из наиболее существенных составляющих ошибки при использовании АЦП – погрешность квантования, определяемая как $1/2$ величины шага квантования.

Фильтр Найквиста обеспечивает минимизацию межсимвольных искажений, благодаря чему часто используется в телекоммуникационных системах. К причинам возникновения ошибок на данном этапе обработки сигнала следует отнести квантование входных и выходных сигналов, квантование коэффициентов фильтра и конечную разрядность операционных устройств. Наиболее весомыми искажениями являются ошибки квантования – усечение и округление чисел. В результате квантования на сигналы накладываются шумы квантования.

При анализе пороговых явлений необходимо учитывать, что в различных системах цифрового телевидения используются противоположные критерии. В системе DVB-T введен очень жесткий критерий оценки. Хотя значение порога отказа в ней не определено, введен порог снижения качества. При нормальной работе в различных условиях система должна обеспечивать так называемый квазибезошибочный прием (QEF), при котором ошибка в изображении на экране должна появляться не чаще одного раза в час. Критерию QEF соответствует значение вероятности битовой ошибки BER на выходе каскадного декодера (выходе декодера Рида-Соломона), равное 10^{-11} . При инструментальных измерениях в системах DVB-T и ISDB-T обычно фиксируют значение коэффициента битовых ошибок (BER) на входе декодера Витерби, которое в случае порога QEF (10^{-11}) должно быть не хуже $2 \cdot 10^{-4}$ [2,4]. Если значение коэффициента ошибок превышает допустимый по-

рог, то макроблоки изображения неправильно декодируются декодером Витерби. Результатом является наличие областей, имеющих иную яркость или цветовую окраску, нежели в переданном изображении. При дальнейшем увеличении коэффициента ошибок декодирование становится невозможным.

Рассмотрим детальнее декодирование сигнала по алгоритму Витерби [2,4]. По существу, декодер Витерби реализовывает алгоритм поиска самого выгодного, максимально правдоподобного пути на графе – решеточной диаграмме кода. Метод декодирования, когда в качестве метрики используют расстояние Хэмминга, называют декодированием с жестким решением. При его использовании каждому символу на выходе демодулятора соответствует одно из двух значений: 0 или 1. Лучшие результаты в смысле восстановления исходного сигнала дает декодирование с мягким решением. В этом случае каждый символ на выходе демодулятора подвергают квантованию.

Важным достоинством декодера Витерби является то, что когда при декодировании сделана ошибка в выборе пути на решетчатой диаграмме кода, т.е. выбран неправильный путь, то за несколько тактов, в течение которых могут происходить ошибки при декодировании, декодер вновь выходит на правильный путь. Это позволяет начать процесс декодирования с любого момента времени, не заботясь о взаимной синхронизации кодера и декодера по началу работы. Отсутствие такой синхронизации эквивалентно нахождению декодера на неправильном пути по решетчатой диаграмме кода. В силу этого свойства декодер, начав декодирование в произвольный момент, через несколько тактов сам выйдет на правильный путь [4].

Для защиты от пакетных ошибок большой длительности необходимо сверточное перемежение данных. Функцией декодера перемежения является восстановление первоначального порядка следования данных.

Код Рида-Соломона устойчиво работает при вероятности ошибок на входе декодера не выше 10^{-4} , устраняя ошибки, с которыми не справился декодер сверточного кода. В результате получаем выходную вероятность ошибок, находящуюся в пределах от 10^{-10} ... 10^{-11} .

Такое высокое требование к вероятности ошибок связано с принятой DVB концепцией, согласно которой цифровой канал должен быть универсальным и пригодным для передачи и приема не только телевидения (как известно, для него достаточно иметь вероятность ошибки $2 \cdot 10^{-6}$... 10^{-8}), но и любых других цифровых сиг-

налов, в том числе и с повышенными требованиями к достоверности.

Если же вероятность ошибки на входе декодера Рида-Соломона выше чем 10^{-4} , то, как было уже отмечено, изображение распадается на части, что связано со спецификой восстановительного алгоритма кода, работающего по принципу “все или ничего”. В то же время представление о степени близости сигнала к обвалу BER может быть очень обманчивым, особенно если потенциальный обвал связан с устойчивым фазовым сдвигом.

Следует отметить, что работа декодеров звука и видео не вносит существенных искажений в сигнал, поскольку ошибки данного этапа обработки сигнала возникают при подготовке контента к передаче, т.е. искажения могут вносить кодеры звука и видеoinформации. При правильном функционировании декодеров погрешностей возникать не должно.

Искажения сигнала, возникающие при работе ЦАП схожи с погрешностями при аналого-цифровом преобразовании.

3 Подходы к контролю качества изображения в системах ЦТВ

Определив факторы, которые могут привести к ухудшению качества изображения в системах ЦТВ, и степень их влияния на передаваемое изображение, представляется возможным перейти к исследованию основных подходов к контролю качества изображений, необходимых для разработки новой методики и стандартов измерения качества в системах ЦТВ.

Все подходы к контролю качества изображений можно разделить на две большие группы методов: субъективные методы оценки качества и объективные методы оценки качества [8,9].

Субъективные методы. Субъективная оценка качества ТВ-изображений предусматривает сравнение изображений, предъявляемых экспертам, одновременно на двух ТВ-экранах или раздельно на одном. Точность сравнения различных участков ТВ-изображения станет выше, если использовать метод полей сравнения или специальных яркостных и цветовых отметок. Для этого в цифровой сигнал вводят сигнал поля сравнения, который позволяет сопоставить на ТВ-экране смежные участки изображения и оценить исследуемый участок изображения или соответствующие ему сигналы. В зависимости от поставленной задачи поле сравнения может иметь равномерную или меняющуюся яркость, быть черно-белым или цветным сюжетом и т.п.

К методам субъективной оценки относятся [8]:

1. Метод шкалы деградации с двумя стимулами (Double Stimulus Impairment Scale).

2. Метод двухсторонней непрерывной шкалы качества (Double Stimulus Continuous Quality Scale) – тип I и тип II.

3. Метод объективного сравнения стимула (Stimulus Comparison Adjectival Categorical Judgement).

4. Метод субъективного оценивания для определения качества видеопоследовательности (Subjective Assessment Method for Video Quality evaluation).

5. Метод непрерывной качественной оценки (Continuous Quality Evaluation).

Поскольку субъективная оценка качества изображения с помощью приведенных методов относится к области психофизических (сенсорных) измерений, результаты измерения качества изображения будут носить субъективный характер, то есть будут зависеть от состава экспертных групп, условий проведения экспериментов, а также от параметров, подлежащих оценке. Следовательно, получение единой интегральной оценки качества изображения будет затруднено. Применение субъективных методов оценки качества в системах ЦТВ возможно только в тех случаях, где нет необходимости в получении результатов оценки качества в режиме реального времени.

Отказаться от субъективных методов оценок качества можно будет только после достоверного и полного исследования влияния различных технических параметров на субъективные характеристики с тем, чтобы определенные сочетания технических параметров гарантировали обеспечение определенного уровня субъективной визуальной оценки.

Объективные методы. Объективные методы измерений – это математические модели, которые моделируют результаты субъективной оценки качества и основаны на критериях и метриках, которые могут быть измерены объективно.

Традиционным методом измерения качества системы обработки цифрового видеоизображения является измерение отношения мощности сигнала изображения к мощности шума изображения или пикового отношения мощности сигнала изображения к мощности шума изображения, полученных для исходного изображения и изображения на выходе системы.

Для получения метрик качества исследуемых изображений используют следующие объективные критерии качества [9]:

1. Среднеквадратическая ошибка (mean square error) или средний квадрат ошибок.

2. Средняя абсолютная ошибка (mean absolute error).

3. Нормированная среднеквадратическая ошибка (normalized MSE).

4. Нормированная абсолютная ошибка (normalized absolute error).

5. Отношение сигнал/шум (signal to noise ratio).

6. Средняя разность (average difference).

7. Максимальная разность (maximum difference).

8. Структурное содержимое (structural content).

Результаты объективных измерений должны хорошо согласовываться с результатами субъективных измерений для одной и той же видеопоследовательности. Это требование обуславливает главную сложность разработки объективных методов.

На практике достаточно часто встречаются ситуации, когда исходное и обработанное изображение кажутся наблюдателю идентичными, в то время как объективные методы для одних и тех же изображений дают очень большую ошибку. Учитывая то, что оценка качества человеком является решающей, подобная погрешность при объективных измерениях может быть просто не допустима.

Выводы

В цифровых телевизионных сигналах информация о видео и звуке представлена в виде дискретных значений величин, следовательно, потеря либо искажение части этой информации вследствие процедур обработки сигнала при его формировании, передаче и приеме может привести к ухудшению качества отображаемого изображения. Установлено, что основным фактором, который влияет на качество изображений на этапе их формирования и передачи в системах ЦТВ, остается сжатие видеоизображений в соответствии с алгоритмом MPEG, поскольку оно содержит необратимые процедуры, влекущие потерю определенной части передаваемой информации.

Возникающие в системе приема информации ошибки могут существенно исказить принятое сообщение или совсем сделать невозможным его использование. Существует много причин, которые могут привести к возникновению ошибок в декодированном сигнале:

- фазовый шум в тюнере приемника;
- нестабильность частоты, неточность квадратуры, неравномерность группового времени запаздывания, ошибки при восстановлении несущей в демодуляторе;
- дрейф опорного источника и неточность установки зоны решения в решающем устройстве;

– погрешности квантования АЦП и фильтра Найквиста.

Обычно, отдельно взятые факторы не носят доминирующий характер, а ошибки чаще всего вызывает совокупность факторов. Для повышения качества изображения в ЦТВ коррекцию сигнала необходимо осуществлять на всех этапах его обработки.

Рассмотренные факторы характеризуют отдельные этапы передачи и приема цифрового телевизионного сигнала, но конечный потребитель – это телезритель, потому оценка качества окончательно может быть подтверждена экспертной оценкой (субъективной или объективной), поскольку восприятие человека является ассоциативным.

Литература

1. *Смирнов А.В.* Основы цифрового телевидения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 224с.
2. *В.Л. Карякин.* Цифровое телевидение. - М.: СОЛОН-ПРЕС, 2008. - 272 с.
3. *А.Е. Пескин, В.Ф. Труфанов.* Мировое вещательное телевидение. Стандарты и системы. Справочник: – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 308 с.
4. *Ю.Б.Зубарев, М.И. Кривошеев, И.Н. Красносельский.* Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы. - М.: Научно-исследовательский институт радио (НИИР), 2001. – 568с.
5. *ITU-R Recommendation BT.601-6.* Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide screen 16:9 aspect ratios.01/07.
6. *Абакумов В.Г., Трапезон К.О., Попович П.В., Ломакіна О.Ю., Антощук С.Г., Кан Амаду.* Основні фактори погіршення якості зображення в системах цифрового телевізійного мовлення// Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології (COMINFO'2009)». – Крим, Ялта-Лівадія, 5-9 жовтня 2009р. – С.134-136.
7. *А.В. Дворкович, В.П. Дворкович, Д.Г. Макаров, Н.Б. Новинский, А.Ю. Соколов.* Испытательные таблицы для измерения качества цифрового и аналогового телевизионного вещания// «625». - 1999.- № 8.
8. *ITU-R. Recommendation BT.500-11* Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures.
9. *Fechter F.* Objective Beurteilung der Qualitaet komprimierter Bildfolgen: Ein heuristisch optimiertes Modell. Fernseh- und Kino-Technik, 1998, N7,s.417.