

Оценка качества изображения в телевизионных системах с видеокompрессией

Г.В. Мамчев

В статье рассматриваются особенности проявления искажений изображений в цифровых телевизионных системах с видеокompрессией. Предложена методика проведения субъективных измерений.

Ключевые слова: цифровое телевидение, видеосжатие, субъективные измерения.

1. Введение

Появление цифровых систем передачи телевизионного сигнала, использующих способы компрессии, основанные на устранении информационной и психофизиологической избыточности, потребовало разработки новых методов оценки качества воспроизводимого изображения в таких системах, учитывающих особенности зрительного восприятия.

Измерения качественных показателей телевизионных изображений могут быть разделены на две группы: объективные и субъективные.

Объективные измерения выполняются с помощью специальных приборов. Целью прямых измерений является непосредственная оценка качества изображений. Косвенные измерения выполняются с использованием испытательных сигналов.

Субъективные измерения предполагают оценку качества изображений наблюдателями, т.е. зрителями. Эти измерения всегда являются прямыми, поскольку мнение зрителей о качестве воспроизведения испытательных сигналов или таблиц с использованием каких-либо шкал субъективных величин не имело бы никакого смысла.

2. Искажения и дефекты телевизионного изображения после компрессии-декомпрессии

Говоря о достоинствах цифрового телевидения, всегда отмечается отсутствие ряда неприятных дефектов на изображении, свойственных аналоговому телевидению. В то же время специфика обработки видеоданных в кодерах цифрового сжатия приводит к появлению дополнительных искажений и помех, отсутствующих в исходном изображении. Искажения, возникающие в цикле компрессии-декомпрессии, существенно зависят от структурных свойств телевизионного изображения. Следовательно, системы цифрового телевидения, в которых используется компрессия, являются нелинейными.

Качество воспроизведения в данном случае не остается постоянным, оно зависит от пространственно-временной структуры телевизионного изображения, т.е. от его насыщенности мелкими деталями и динамичности.

Искажения в телевизионных системах с видеокompрессией гораздо более разнообразны, чем в системах без неё. Многие помехи, возникающие на изображениях в результате ком-

прессии, кажутся чужеродными и искусственными, поэтому их часто называют артефактами [1].

Например, одним из типичных проявлений искажений видеокомпрессии, осуществляемой в соответствии со стандартом MPEG-2, является блочная структура (blockiness) типа шахматной доски, кажущаяся на изображении совершенно неестественной. Компрессия статичных изображений сопровождается меньшими искажениями, чем видеосжатие динамичных телевизионных последовательностей. Трансформации входного изображения кодером видеокомпрессии ведут к уменьшению корреляционных связей соседних пикселей телевизионного кадра или одноимённых пикселей соседних кадров, что приводит к появлению разнообразных артефактов. Причиной этого является то, что устройства компрессии MPEG-2, широко используемые в телевизионном вещании, обеспечивают режим постоянной скорости цифрового потока данных на выходе кодера сжатия.

Как известно, принцип видеокомпрессии основан на последовательном выполнении операций дискретного косинусного преобразования (ДКП), квантования частотных коэффициентов и энтропийного кодирования последовательности квантованных частотных коэффициентов, а также на межкадровом кодировании телевизионного сигнала с предсказанием отдельных кадров на основе предыдущих и последующих кадров. ДКП осуществляется в рамках блока элементов изображения с размером 8×8 пикселей.

Для статичных изображений, в которых яркость и цветность меняются плавно, т.е. для телевизионных кадров с высокой степенью межпиксельной корреляции, число ненулевых частотных коэффициентов косинусного преобразования, которые только и подлежат передаче, невелико. Если телевизионное изображение становится мелкоструктурным и динамичным, когда корреляционные связи между элементами уменьшаются, число ненулевых частотных коэффициентов в блоках увеличивается. Способом, который позволяет уравнивать скорости потоков данных в этих двух случаях, является использование более грубого квантования частотных коэффициентов ДКП (выделение меньшего количества битов на один коэффициент) для мелкоструктурных и динамичных изображений.

Недостаток требуемого числа битов в процессе кодирования и приводит к заметности блоков ДКП. Блочность особенно заметна на одноцветных гладких или мозаичных поверхностях. Причина возникновения данного артефакта объясняется неидентичным преобразованием яркостных значений пикселей по обе стороны границы блоков, что воспринимается глазом как перепад яркости от одного блока к другому. Блочность особенно заметна, если глаз следит за движущимся объектом.

Более грубое квантование частотных коэффициентов ведёт к росту шумов квантования и, соответственно, к большим искажениям и артефактам, а также к потере разрешающей способности. В этом случае мелкие детали либо размываются, либо полностью пропадают в изображении.

Эффект мозаики проявляется подобно блочности, но воспринимается как различие яркости в поле соседних блоков, а не на границе. Данный вид искажений возникает при слишком грубом квантовании частотных коэффициентов ДКП, когда постоянные составляющие пространственных частот в соседних блоках заметно отличаются.

Шумы типа «москито» характерны для всех телевизионных систем с ДКП и квантованием частотных коэффициентов и проявляются на резких границах (например, надписях). При преобразовании из временной в частотную область влияние перепада отсчётов на границе распространяется на весь макроблок, при этом высокочастотные коэффициенты квантуются более грубо, чем низкочастотные. При обратном преобразовании в отсчёты телевизионного сигнала вдоль первоначальной границы образуется характерный узор.

Окантовка на границах проявляется как возникновение окантовок на резких перепадах яркости изображения. При нехватке битов, в первую очередь, обрезаются высокочастотные коэффициенты, и это может повлиять на форму сигнала яркости вблизи ступеньки, т.е. вызвать колебательный процесс на вершине импульса.

Размытие цветов имеет такую же причину, что и эффект окантовки на границах, но проявляется на участках изображения с резкими скачками в сигнале цветности.

Артефакты, связанные с движением, также, как подчеркивание (jerkiness) или неправильное расположение блока пикселей, могут появляться в телевизионной системе, использующей усложнённый алгоритм компенсации движения или просто пропускающей кадры из-за нехватки битов.

Если при компенсации движения в опорном кадре заметна блочность, то она может переноситься в новый кадр со смещением относительно границ блока (из-за неточности компенсации), в результате чего появляются ложные границы.

Эффект «грязного окна» проявляется как штрихи или шумы, которые остаются неподвижными на изображении, в то время как объект движется за ними (как будто рассматриваешь сцену через грязное окно). Данный артефакт является следствием недостатка битов для кодирования межкадровых разностей.

Причиной неправильного цвета макроблока, отличающегося от исходного и от соседних макроблоков, может быть тот факт, что сопряжение блоков ведётся только по сигналу яркости. При этом опорный блок при высокой корреляции по сигналу яркости может иметь совсем другой цвет, и это отражается на цвете предсказанного блока.

Волнообразные шумы видны при медленном панорамировании по очень детализированной сцене. Как и mosquito, это результат грубого квантования высокочастотных коэффициентов, но движение отдельных элементов сцены вызывает рассеяние. Поэтому волнообразные шумы появляются на телевизионном изображении периодически как детали, движущиеся по блоку ДКП.

В зависимости от скорости движения объектов в телевизионном изображении и от алгоритма поиска пропущенных макроблоков, за движущимися объектами возможно образование следов (эффект «привидений»), которые могут сохраняться достаточно долго.

Особо следует отметить, что фактически общей причиной всех артефактов является квантование коэффициентов дискретного преобразования в рамках относительно небольшого блока изображений с размерами 8×8 пикселей. Прямым следствием этого квантования является формирование на изображении блочной структуры, которая является интегральным показателем, характеризующим заметность разнообразных искажений и артефактов в телевизионной системе с видеокompрессией.

При этом необходимо помнить, что качество телевизионного изображения на выходе декодера системы видеокompрессии непостоянно, его значение является функцией содержания телевизионных кадров (более точно – функцией пространственных и временных свойств телевизионного изображения). Это обстоятельство заставило отказаться от применения простых испытательных сигналов в телевизионных системах с компрессией и перейти к широкому использованию субъективных экспертиз с целью оценки качества. Причём только с использованием субъективных измерений, дающих прямую интегральную оценку качественных показателей изображения, можно получить исходные данные для разработки методов объективной оценки качества, результаты которых будут хорошо соответствовать визуальной оценке. Однако субъективные измерения не могут в полной мере использоваться для целей мониторинга, т.е. при измерениях во время передачи телевизионных программ.

3. Особенности проведения субъективных измерений в цифровом телевидении

Как правило, субъективные экспертизы с целью оценки качества телевизионного изображения проводятся с использованием методов, регламентированных рекомендацией ITU-R BT.500 [2].

Группе специально отобранных наблюдателей, получивших детальный инструктаж, обладающих нормальными характеристиками зрения, в течение некоторого промежутка времени (как правило, не более 30 минут) демонстрируются телевизионные изображения с различными значениями качественных показателей. Изображения наблюдаются при оптимальных уровнях яркости ($60 \div 80$ кд/м²) и фона ($20 \div 30$ кд/м²), зрители находятся на оптимальном расстоянии рассматривания от телевизионного монитора ($3 \div 5$ высот экрана). Задача наблюдателей заключается в оценке качества телевизионного изображения с использованием рекомендуемой шкалы оценок. Если тестирование проводится для оценки качества телевизионной системы при оптимальных условиях воспроизведения, используется пятибалльная шкала оценки качества, для оценки ухудшений при неоптимальных условиях применяется шкала ухудшений. Структуры обеих шкал приведены в табл. 1.

Таблица 1. Шкалы Рекомендации ВТ.500 для оценки субъективного качества телевизионного изображения

Баллы	Оценка	
	Качества	Ухудшения
5	отлично	незаметно
4	хорошо	заметно, но не мешает
3	удовлетворительно	слегка мешает
2	плохо	мешает
1	очень плохо	сильно мешает

Надёжность результатов субъективной экспертизы определяется доверительной вероятностью P , гарантирующей, что отличие оценки качества, полученной в результате усреднения экспертных оценок, будет отличаться от действительного значения не более, чем на допустимую величину (погрешность) Δ , являющуюся доверительным интервалом. В экспериментальной психологии установлено, что при проведении статических экспериментов на основе визуальной оценки параметров изображений погрешность Δ и вероятность P достаточно выбирать соответственно 0.1 и 0.9. Для обеспечения требуемой частоты субъективной экспертизы группа наблюдателей должна состоять из 15 человек, каждый эксперт должен давать минимум по 5 оценок на каждое предъявляемое в случайном порядке телевизионное изображение. Сеанс показа изображений не должен превышать 30 минут.

Рекомендация ITU-R ВТ.500 по субъективной оценке качества телевизионных изображений предусматривает сравнение изображений, предъявляемых экспертам, которые одновременно воспроизводятся на двух рядом расположенных экранах, или на одном, разделяемом посередине вертикальной линией. На каждой из половинок экрана воспроизводятся два одинаковых изображения (одно эталонное, а другое с различными значениями качественных показателей). Одинаковый спектральный состав свечения сравниваемых полей телевизионных изображений, находящихся в непосредственной близости, – важное требование субъективной экспертизы. В данном случае оба поля сравнения имеют одну и ту же структуру, определяемую типом воспроизводящего экрана. Существенным моментом является возможность рассматривания сравниваемых полей одновременно двумя глазами, за счёт чего легче обнаруживать различия в яркости и цвете. Все это позволяет различать перепады яркости в предъявляемых изображениях в пределах $2 \div 3$ %, что крайне необходимо для оценки параметров цифровых телевизионных систем. Подобный способ предъявления телевизионных изображений наблюдателям называется методом полей сравнения.

На практике для исследования систем цифрового телевидения в виде исключения допускается динамический метод субъективных экспертиз, при котором в случайном порядке на одном и том же экране последовательно во времени воспроизводятся телевизионные изображения с различными значениями качественных показателей, как эталонные, так и искажённые. Причём предлагаемые наблюдателям изображения должны обязательно содержать

подвижные мелкие и крупные детали, совершающие поступательное и вращательное движения. Для проверки системы предсказания кодера устройства видеокompрессии подвижный фрагмент изображения должен перемещаться в обе стороны от его центрального положения.

Субъективные испытания в рассмотренном виде наиболее широко используются при разработке и исследовании новых телевизионных систем. Причём в цифровом телевидении с видеокompрессией роль субъективных методов оценки качественных показателей изображения возрастает.

Литература

1. Гласман К. MPEG-2 и измерения // 625 (информационно-технический журнал). 2004. № 1. с. 5 – 16.
2. Methodology per the subjective assessment of the quality of television pictures. Recommendation ITU-R BT.500 // International Telecommunication Union. URL: <http://www.itu.int/itudoc/itu-r/archives/rsg/1998-00/rsg11/58614.html> (дата посещения: 08.05.2009; доступен для пользователей TIES).

Статья поступила в редакцию 16.04.2009

Мамчев Геннадий Владимирович

д.т.н., профессор, завкафедрой радиовещания и телевидения, СибГУТИ
тел. (383) 269-82-62; e-mail: mamtchev@sibsutis.ru

Assessment of Picture Quality in Television Systems with Video-Compression

G. V. Mamtchev

We consider the peculiarities of picture distortion in digital television systems with video-compression. A methodology for making subjective assessments is suggested.

Keywords: digital television, video-compression, subjective assessment.