

УДК 621.397

П.В. Попович**О ПОДХОДЕ К УПРАВЛЕНИЮ СКОРОСТЬЮ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА ПО КРИТЕРИЮ КАЧЕСТВА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ**

Исследована проблема управления скоростью транспортного потока в современных системах цифрового телевизионного вещания на этапах подготовки и передачи видеоконтента. Предложен метод управления скоростью по критерию качества видеоизображений, измеряемого с помощью объективных показателей и соответствующего субъективному человеческому восприятию.

Ключевые слова: видеопоток, цифровое телевидение, управление, изображение, качество.

P.V Popovich**ABOUT APPROACH TO TRANSPORT STREAM BITRATE CONTROL BY VIDEO PICTURE QUALITY CRITERIA**

A problem of transport stream bitrate control is carried out for the modern digital television broadcasting systems on the stages of preparation and transmission of video content. A rate control method is offered by the criteria of video pictures quality, measuring by means of objective indexes and corresponding to subjective human perception.

Keywords: video stream, digital television, control, picture, quality.

П.В.Попович**ПРО ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ ЗА КРИТЕРІЄМ ЯКОСТІ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ**

Досліджено проблему управління швидкістю транспортного потоку в сучасних системах цифрового телевізійного мовлення на етапах підготовки та передачі відеоконтенту. Запропоновано метод управління швидкістю за критерієм якості відеозображень, яка вимірюється за допомогою об'єктивних показників і відповідає суб'єктивному сприйняттю людини.

Ключові слова: відеопотік, цифрове телебачення, управління, зображення, якість.

В связи с постоянным ростом потоков видеoinформации в современном мире, разработка эффективных электронных программно-аппаратных комплексов, предназначенных для передачи видеоизображений, является важной и актуальной научно-технической задачей. Практический опыт в сфере цифрового телевизионного вещания и результаты экспериментальных исследований дают возможность сформировать задачу, важную для обеспечения доставки качественного видеоконтента к конечному потребителю, которая заключается в управлении скоростью (битрейтом) транспортного потока (ТП) как на этапе создания видеоконтента, так и в процессе передачи (мультиплексирования) видеопрограмм.

Целью этой работы является разработка методов и моделей управления потоком видеоданных как на этапе создания видеоконтента, так и в процессе его передачи на основании объективного и субъективного измерения качества видеоизображений с учетом применяемых методов сжатия для систем цифрового телевизионного вещания.

Существует несколько методов управления скоростью ТП, общая суть которых сводится к вычислению необходимого битрейта через известные глобальные коэффициенты квантования начального и перекодированного видеопотока и среднеквадратичную разницу остаточного кадра после компенсации движения. Однако эти методы не позволяют изменять скорость ТП в зависимости от текущего качества видеоизображения как в составе элементарного потока, так и в составе мультиплекса [1-3]. Поэтому предложено использовать для управления скоростью видеопотока критерий, основанный на измерении качества передаваемого видеоизображения.

Управление скоростью ТП осуществляется посредством устройства, называемого танскодером, который работает по схемам с обратной связью либо без нее [4]. Последний обладает лучшим быстродействием из-за отсутствия прямого и обратного косинусного преобразования (ДКП) (рис.1,а), но имеет один серьезный недостаток – он позволяет управлять скоростью ТП только в ручном режиме, основываясь на заданном инже-

© Попович П.В., 2011



Рис. 1. Транскодер:

а – без обратной связи; б – с обратной связью (ДКПД – декодер кода переменной длины, ККПД – кодер кода переменной длины, ДКВ – деквантователь, КВ – квантователь, ОДКП – обратное ДКП)

ром значении скорости видеопотока. Часто это значение не отражает реального качества видеокартинки.

Для осуществления анализа качества видеоизображения и использования полученной оценки для регулирования скорости ТП необходимо применить транскодер с обратной связью. В этом случае транскодер должен полностью декодировать видеоданные (рис.1,б), получая дискретные значения отсчетов сигнала яркости и цветоразностных сигналов каждого кадра видеопоследовательности для последующей передачи их в блок анализа качества, который определяет объективный показатель качества Q_i для каждого i -го кадра видеопотока и усредняет его на некотором временном интервале. Усредненный объективный показатель качества Q^{cp} связан со скоростью видеопотока R :

$$Q^{cp} = f(R). \quad (1)$$

Вид зависимости (1) устанавливается экспериментально, исходя из результатов объективного и субъективного измерения качества тестовых последовательностей, сжатых в соответствии с алгоритмом MPEG-2, который применяется в системах цифрового телевидения.

Качество видеоизображения можно измерять с помощью субъективных и объективных методов. Субъективные методы измерения качества дают результат, который максимально отвечает восприятию человека, поскольку они основаны на оценках, предос-

тавленных экспертами в процессе наблюдения за контролируемыми видеоизображениями. В таком случае нельзя говорить об изменении битрейта на этапе создания видеоконтента, но такие эксперименты дают возможность определить соответствие между оценками качества и скоростью видеопотока для разных видеосцен, которые могут иметь место в процессе видеотрансляции.

В табл.1 приведено описание девяти тестовых видеопоследовательностей (ВП), сжатых по алгоритму MPEG-2 с различными скоростями видеопотока (2, 4, 6 и 8 Мбит/с), которые были использованы для проведения экспериментальных субъективных и объективных измерений качества. Каждая ВП, приведенная в табл. 1, отнесена к определенному классу ВП, который характеризуется некоторыми типичными признаками – насыщенностью цвета, изменением масштаба, панорамированием, наличием движения и т.п.

На рис.2 приведены результаты экспериментального измерения качества на основе субъективных оценок для ВП различных классов. Для субъективного оценивания использован метод непрерывной шкалы качества с двойным раздражением (DSCQS)[1,5].

Анализируя результаты эксперимента, можно сделать следующие выводы:

средние оценки качества понижаются с уменьшением скорости цифрового видеопотока;

кодирование видеопоследовательностей со скоростями цифрового потока менее 4 Мбит/с в большинстве случаев приводит к значительному ухудшению качества изображения;

при уменьшении скорости цифрового видеопотока наибольшее ухудшение качества наблюдается в ВП, которые содержат динамический сюжет и широкий диапазон цветов;

наименьшее ухудшение качества наблюдается на искусственно созданных изображениях.

1. Описание тестовых ВП

Класс	Название	Характеристика
1	Барселона	Насыщенный цвет и эффект маскировки
2	Арфа	Насыщенный цвет, изменение масштаба изображения, светлые участки, тонкие детали
3	Подвижная графика	Критическая для Betacam, цвет, подвижный текст, тонкие буквы, искусственная природа изображения
4	Каноз	Движение воды, движение в противоположном направлении, много деталей
5	Болид Ф1	Быстрое движение, насыщенные цвета
6	В кафе	Киноплёнка, цвета кожи, быстрое панорамирование
7	Движущийся текст	Текст с горизонтальным движением
8	Регби	Движение и цвета, много фонового зеленого цвета
9	Календарь	Движение и цвета

Поэтому для улучшения качества изображения на этапе создания контента во время передачи спортивных соревнований или сюжетов, содержащих быстрое движение, панорамирование и широкий диапазон переданных цветов, целесообразно вводить динамическое регулирование скорости транспортного потока путем изменения глобального коэффициента квантования в зависимости от измеренного качества видеоизображения на основе объективных методов.

Поскольку существует большое количество объективных методов измерения качества видеоизображений, целесообразно выяснить, какой из методов дает оценку, максимально приближенную к оценке, отвечающей восприятию человека. Для решения этой задачи введен критерий точности на основе коэффициента линейной корреляции Пирсона r между предвиденным значением объективной метрики и реальной субъективной оценкой.



Рис.2. Результаты субъективного измерения качества

Для сравнения объективных метрик их результаты (VQR – Video Quality Rating) надо привести к единой шкале, т. е. к диапазону субъективных результатов (MOS – Mean Opinion Score) с помощью кубического полинома [5]:

$$MOS_p = A_0 + A_1 \cdot VQR + A_2 \cdot (VQR)^2 + A_3 \cdot (VQR)^3, \quad (2)$$

где MOS_p – предсказанные по результатам аппроксимации значения средних оценок; A_0, A_1, A_2, A_3 – параметры полинома, которые определяются, исходя из минимизации суммы квадратов разницы между MOS_p и MOS.

Максимальное значение коэффициента линейной корреляции Пирсона $r = r_{max}$ означает, что результаты измерения качества, полученные с помощью исследуемого объективного метода, больше всего отвечают

результатам субъективных измерений, поэтому объективный метод, для которого выполняется это условие, можно использовать для контроля качества видеопотока на этапе создания и передачи видеоконтента.

Исследованы три объективных метода измерения качества видеоизображений [1, 6, 7], основой которых являются:

измерения пикового отношения сигнал-шум (PSNR – Peak Signal-to-Noise Ratio);

вычисления индекса сходства изображения (MSSSIM – Multi-Scale Structure Similarity Index Measure);

вычисление дискретного косинусного преобразования от изображения (VQM – Video Quality Measurement).

Значения коэффициента линейной корреляции Пирсона r , полученные для каждого из этих методов, приведены в табл. 2.

2. Значение коэффициента корреляции Пирсона

Метод	PSNR	MSSSIM	VQM
r	0,88	0,92	0,85

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что максимальное значение коэффициента линейной корреляции Пирсона имеет метод MSSSIM. В связи с этим оценку качества видеоизображений, вычисленную согласно этому методу, целесообразно использовать в качестве критерия, в соответствии с которым осуществляется управление скоростью видеопотока. На рис. 3 приведены результаты измерения качества тестовых ВП различных классов, описанных в табл. 1, с помощью метода MSSSIM в зависимости от скорости видеопотока R , а также результаты аппроксимации полученных оценок качества с помощью логарифмической функции.

По результатам экспериментов получен аналитический вид зависимости (1), связывающий объективный показатель качества со скоростью видеопотока:

$$Q^{cp} = a \cdot \ln(R) + b, \quad (3)$$

где Q^{cp} – усредненный объективный показатель качества видеоизображения в соответствии с методом MSSSIM для определенного класса ВП; R – скорость видеопотока; a и b – параметры, определяемые классом ВП (табл. 3).

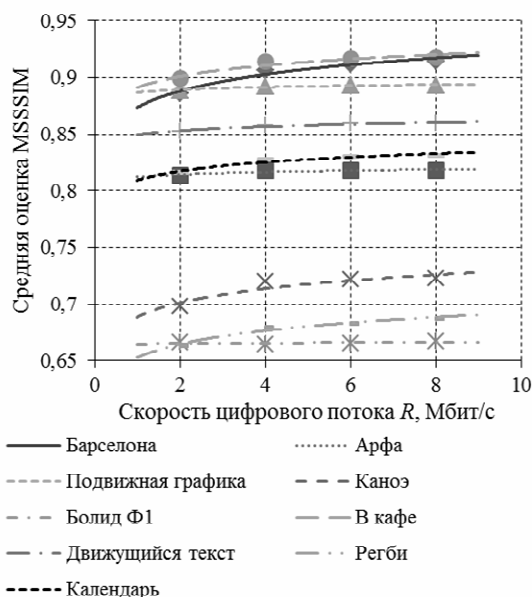


Рис. 3. Зависимость показателя качества MSSSIM для различных классов ВП от скорости видео потока

3. Параметры a и b , точность аппроксимации R^2

Класс ВП	a	b	R^2
1	0,0021	0,8736	0,9452
2	0,0031	0,8123	0,7147
3	0,0033	0,887	0,948
4	0,018	0,6887	0,8502
5	0,0006	0,6648	0,0855
6	0,0139	0,8913	0,9135
7	0,0052	0,8496	0,8982
8	0,0173	0,6527	0,9632
9	0,0113	0,8095	0,9235

Управление скоростью ТП осуществляется путем изменения значения глобального коэффициента квантования $q_{тр}$ в квантователе (рис.1,б), который связан со значением глобального коэффициента квантования исходного видеопотока q_0 выражением [4]

$$q_{тр} = m \cdot q_0, \quad (4)$$

где m – коэффициент, определяющий изменение скорости потока.

С другой стороны, отношение скоростей на выходе и входе транскодера (требуемой скорости $R_{тр}$ к исходной скорости R_0) связано линейной зависимостью с отношением между значениями глобального коэффициента квантования исходного q_0 и транскодированного $q_{тр}$ видеопотока [4]:

$$\frac{R_{\text{тр}}}{R_0} = \alpha \left(\frac{q_0}{q_{\text{тр}}} \right) + \beta, \quad (5)$$

где α и β – параметры модели [4].

Следовательно, используя выражение (3) и связав требуемую скорость видеопотока $R_{\text{тр}}$ с объективным показателем качества Q^{CP} , который зависит от класса видеопоследовательности и её характеристик – насыщенности цвета, изменения масштаба, панорамирования, наличия движения (см. табл. 1), на основании выражений (4) и (5) можно определить необходимый глобальный коэффициент квантования $q_{\text{тр}}$ для изменения скорости ВП этого класса.

Предложенный подход даёт возможность изменять скорость транспортного потока для видеопоследовательностей определенных классов в зависимости от их объективного качества, которое соответствует субъективному восприятию человека, при создании телевизионных программ либо при формировании мультиплекса провайдерами спутникового, кабельного или IP-телевидения.

Список использованной литературы

1. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения / Ян Ричардсон. – М.: Техносфера, 2005. – 368 с.
2. Li Z., Gao W., et al. Adaptive Rate Control with HRD Consideration, ISO/IEC-JTC1/SC29/WGU and ITU-T SG16. Q.6 Document JVT-H014, May 2003.
3. Saw Y.-S. Rate-Quality Optimized Video Coding. Kluwer Academic Publishers, November 1998.
4. V.G. Abakumov, T. Adam, B. Formanek, A. Kane, P.V. Popovych. Rate Control in Open-Loop Video Transcoder // Электроника и связь. – 2010. – № 6. – Ч.2. – С. 172-177.
5. Rec. ITU-R BT.500-12. Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures, September 2009.
6. Z.Wang, P. Simoncelli, A. Bovik. Multi-Scale Structural Similarity for Image Quality Assessment. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://compression.ru/video/quality_measure/msssim.pdf

7. Feng Xiao. DCT-based Video Quality Evaluation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://compression.ru/video/quality_measure/vqm.pdf.

Получено 27.10.2011

References

1. Richardson J. On video. H.264 and MPEG-4 – new generation of standards / Ian Richardson. – Moscow: Technosphere, 2005. – 368 p. [in Russian].
2. Li Z., Gao W., et al. Adaptive Rate Control with HRD Consideration, ISO/IEC-JTC1/SC29/WGU and ITU-T SG16. Q.6 Document JVT-H014, May 2003 [in English].
3. Saw Y.-S. Rate-Quality Optimized Video Coding. Kluwer Academic Publishers, November 1998 [in English].
4. Abakumov V.G., Adam T., Formanek B., Kane A., Popovych P.V. Rate Control in Open-Loop Video Transcoder // Электроника и связь. – 2010. – № 6. – Ч.2. – P. 172–177 [in English].
5. Rec. ITU-R BT.500-12. Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures, September 2009 [in English].
6. Wang Z., Simoncelli P., Bovik A. Multi-Scale Structural Similarity for Image Quality Assessment. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://compression.ru/video/quality_measure/msssim.pdf [in English].
7. Feng Xiao. DCT-based Video Quality Evaluation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://compression.ru/video/quality_measure/vqm.pdf [in English].



Попович
Павел Васильевич,
ассистент каф. звукотехн.
и регистр. информ.
Нац. технич. ун-та Украины
«КПИ»,
e-mail: ppv_ua@rambler.ru