



УДК 621.397

© С. В. Сай, 2005

## АНАЛИЗ ЧЕТКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СТАНДАРТЕ MPEG

Сай С. В. – завкафедрой «Вычислительная техника» д-р техн. наук, проф. (ТОГУ)

В статье предложено решение проблемы анализа качества воспроизведения мелких деталей цветных изображений по объективным критериям. Приводятся результаты экспериментальных оценок качества изображений в стандарте MPEG-4, полученные с помощью программного анализатора.

The solution of the problem of the quality analysis in reproducing the small details of the color video images on the basis of objective criteria is given in the paper. The results of experimental estimation quality of the video images are shown in standard MPEG-4, which has been received by means of the program analyzer.

### Введение

В настоящее время в области кодирования динамических изображений наиболее распространенными являются стандарт MPEG-2, предназначенный для телевизионного вещания, и стандарт MPEG-4, используемый в мультимедийных приложениях.

В стандарте MPEG используются алгоритмы сжатия как статических, так и динамических изображений. Анализ алгоритмов сжатия показывает, что основными источниками искажений являются погрешности операции квантования спектральных коэффициентов DCT и неточность оценки векторов движения. Анализ существующих методов оценок качества декодированных изображений в стандарте MPEG позволяет сделать следующие выводы:

- 1) визуальная оценка качества изображений по степени видности глазом артефактов, возникающих за счет погрешностей внутри- и межкадрового кодирования, является субъективной и требует трудоемких экспертиз;
- 2) известные методы измерений искажений телевизионных сигналов в аналоговом телевидении в случае их использования для оценки качества изображений в цифровых системах могут приводить к неадекватным результатам по отношению к зрительным оценкам;

3) . наиболее часто используемый среднеквадратичный критерий не дает объективных оценок визуальной четкости и резкости, т. к. в процессе восприятия обрабатывает изображение по характеру (локальным) признакам, а не усредняет его поэлементно.

Таким образом, до сих пор проблема поиска объективных критериев качества видеоизображений является актуальной и один из вариантов ее решения приводится ниже.

### Метод анализа

В работе [1] предлагается объективный метод анализа качества видеоизображений, который учитывает особенности зрительного восприятия мелких малоконтрастных деталей и дает адекватные результаты субъективным оценкам.

Для анализа качества кодирования, передачи и воспроизведения мелких деталей *динамических* изображений разработана испытательная тестовая последовательность с форматом  $360 \times 288$  элементов. Последовательность состоит из 12 кадров, которые циклически повторяются с частотой  $f_{\text{кадр}} = 30$  Гц.

Алгоритм синтеза испытательной таблицы позволяет задавать относительный контраст объект-фон непосредственно в значениях минимальных цветовых порогов (МЦП) зрения в равноконтрастной системе координат Вышецки  $W^* U^* V^*$ , что отличается от известных способов синтеза, где относительный контраст изображения задается процентным отношением разности яркости объекта и фона к яркости объекта.

Опорный 1-й кадр представляет собой изображение, которое разбито на 6 одинаковых фрагментов ( $120 \times 144$ ). Объекты изображения расположены на сером неокрашенном фоне. Для 1-го и 2-го фрагментов контраст объект-фон задан числом МЦП по индексу яркости  $\pm \Delta W^*$ . Для 3-го и 4-го фрагментов контраст объект-фон задан по индексу цветности  $\pm \Delta U^*$  и для 5-го и 6-го фрагментов по индексу цветности  $\pm \Delta V^*$ . Каждый фрагмент содержит следующие объекты: а) горизонтальные, вертикальные и наклонные штриховые миры с толщиной штрихов в 1, 2, 3, 4 и 5 элементов раstra – необходимы для оценки визуальной четкости; б) одиночные малоразмерные детали прямоугольной формы – необходимы для оценки ошибки цветопередачи «границы трехцветности»; в) крупные детали треугольной формы – необходимы для оценки резкости границ. В процессе регенерации в детали изображения испытательной таблицы становятся динамическими и перемещаются на заданные вектора движения. На рис. 1 показаны фрагменты изображения для 1-го и 6-го кадров.

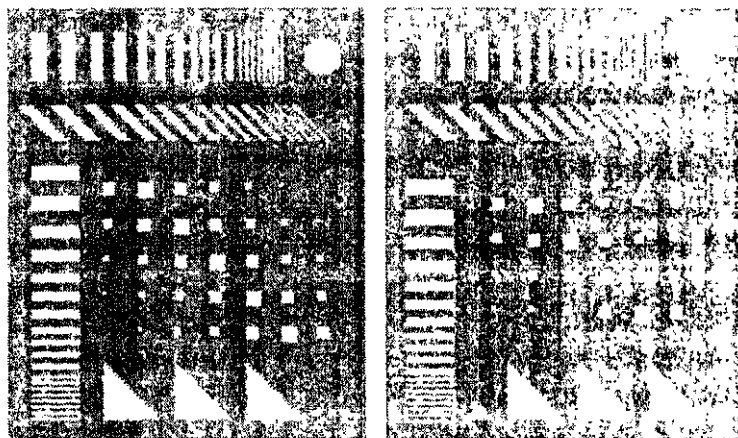


Рис. 1. Фрагменты изображений по индексу яркости

На примере фрагмента первого кадра тестовой последовательности рассмотрим основные принципы работы программного анализатора, который выполняет оценку визуальной четкости.

На первом этапе программа для каждого кадра вычисляет снижение контраста штриховых линий по индексу яркости  $W^*$  в анализируемых «окнах» на основании следующего выражения:

$$\varepsilon_{w^*}(m, \delta) = \frac{|\Delta W^*(\delta) - \Delta \bar{W}^*(m, \delta)|}{\Delta W_{\text{пор}}^*(\delta) f(t)}, \quad (1)$$

где  $m$  – номер кадра;  $\delta = 1, 2, \dots, 5$  – размер (толщина) линий, определяемый числом элементов растра;  $\varepsilon_{w^*}(m, \delta)$  – нормированные к пороговым отклонения контраста от исходных  $\Delta W^*(\delta)$  значений;  $\Delta W_{\text{пор}}^*(\delta)$  – пороги зрительного восприятия (различения) штриховых линий, полученные экспериментальным путем;  $\Delta \bar{W}^*(m, \delta)$  – средние значения контраста в анализируемых «окнах» декодированных изображений, определяемые числом МЦП;  $f(t)$  – значение функции, которая учитывает спад контрастно-чувствительной характеристики зрения в зависимости от времени предъявления объектов. Аналогично вычисляется снижение контраста  $\varepsilon_{v^*}(\delta)$  и  $\varepsilon_{c^*}(\delta)$  по индексам цветности.

Анализируемое окно представляет собой прямоугольную область, охватывающую группу штрихов с одинаковой толщиной. На рис. 2 показан пример пространственного положения анализируемых окон фрагмента изображения (масштаб увеличен) по индексу яркости для размера линий  $\delta = 1$ .

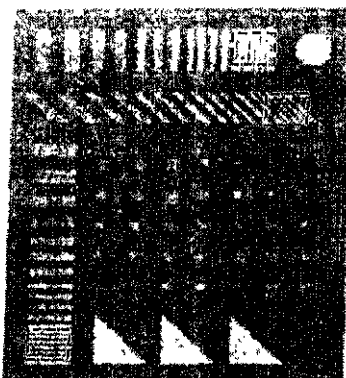


Рис. 2. Анализируемые окна

Средние значения контраста  $\Delta \widetilde{W}^*(\delta)$  вычисляются в пределах каждого окна для штриховых линий вертикальной, наклонной и горизонтальной ориентации.

Далее программа вычисляет  $\varepsilon_w$  для трех окон и выбирает минимальное значение для каждого кадра, что позволяет учесть влияние пространственной ориентации линий на точность декодирования. Отметим, что для тестового изображения, показанного на рис. 2, исходный контраст объектов изменяется нелинейно в зависимости от их размеров и в два раза превышает пороговые значения  $\Delta W_{\text{пор}}^*(\delta)$  для каждой группы штрихов и одиночных деталей с размером  $\delta$ .

После вычислений контраста программа сопоставляет полученные результаты с рейтингом качества по 10-балльной шкале и устанавливает соответствующую оценку. В работе [1] показано, что для обеспечения высокого качества воспроизведения мелких деталей с рейтингом не менее 7 баллов необходимо выполнение следующих условий: 1) снижение контраста штриховых мир по индексу яркости должно быть не более 50 % от пороговых значений для размеров линий в 1 и более элементов растра; 2) снижение контраста штриховых мир по индексам цветности должно быть не более 75 % от пороговых значений для размеров линий в 3 и более элементов растра, т. е.

$$\varepsilon_w(\delta \geq 1) < 0,5, \quad \varepsilon_{u,v}(\delta \geq 3) < 0,75. \quad (2)$$

Выполнение данных критериев, как показывают экспериментальные результаты анализа качества изображений в различных системах сжатия, приводит к тому, что снижение визуальной четкости мелких деталей малозаметно или практически незаметно для глаза.

Отличительной особенностью разработанного метода от известных является то, что контраст мелких деталей на выходе системы оценива-



ется нормированным к пороговому средним значением по площади анализируемого окна изображения штриховой миры, а не по цифровому значению амплитуды первой гармоники яркостного и цветоразностных сигналов. Так же исходный контраст объект-фон задается не его максимальным значением, а величиной, в два-три раза превышающей пороговое значение, что позволяет оценивать работоспособность системы в допороговой области, где искажения могут быть наиболее существенны.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет объективно оценить снижение визуальной четкости подвижных объектов изображения, т. к. учитывает пороги зрительного восприятия мелких деталей, а также возможные флуктуации значений цветовых координат, обусловленные линейными искажениями сигналов и наличием флуктуационных помех в цифровой системе.

В цифровых системах кодирования изображений, где используются нелинейные преобразования, возможен не только линейный спад высокочастотных составляющих декодированных  $\tilde{R}, \tilde{G}, \tilde{B}$  сигналов, но и нелинейные искажения. Поэтому в некоторых случаях оценка снижения контраста штриховой миры по критериям (2) может привести к некорректным результатам.

Для учета влияния нелинейных искажений на объективность оценок предложено следующее решение – дополнительно к оценкам по критериям (2) необходимо оценивать среднеквадратичное отклонение (RMS) воспроизводимых цветовых координат  $W^* U^* V^*$  относительно исходных в анализируемом окне изображения по индексам яркости и цветности:

$$\begin{aligned} \hat{\Delta W^*} &= \frac{1}{W_{\text{пор}}^* N_e} \sum_{i=0}^{N_e} |\tilde{W}_i^* - W_i^*|, \\ \hat{\Delta U^*} &= \frac{1}{U_{\text{пор}}^* N_e} \sum_{i=0}^{N_e} |U_i^* - \tilde{U}_i^*|, \\ \hat{\Delta V^*} &= \frac{1}{V_{\text{пор}}^* N_e} \sum_{i=0}^{N_e} |\tilde{V}_i^* - V_i^*|, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $N_e$  – число элементов изображения в анализируемом окне и знак (^) указывает на то, что выбирается средняя оценка по 12 кадрам.

В работе [1] показано, что для обеспечения высокого качества воспроизведения мелких деталей с субъективными оценками по общей шкале качества не менее «хорошо» и «отлично», соответствующей рейтингу 10-балльной шкалы  $Q \geq 7$ , дополнительно к критериям (2)



необходимо выполнение следующих условий: среднее квадратичное отклонение координат яркости во всех анализируемых «окнах» должно быть не более 30 % и среднее квадратичное отклонение координат цветности в анализируемых «окнах» должно быть не более 50 % для размеров деталей не менее трех элементов раstra, т. е.

$$\Delta_{w^*}(\delta \geq 1) < 0,3; \quad \Delta_{U^*,V^*}(\delta \geq 3) < 0,5. \quad (3)$$

На следующем шаге программа выполняет оценку точности цветопередачи мелких одиночных деталей прямоугольной формы. Для фрагмента испытательного изображения, например, по индексу цветности  $U^*$ , нормированное среднее значение ошибки цветопередачи мелких деталей с фиксированным размером  $\delta$  вычисляется как

$$\eta_{U^*}(\delta) = \frac{|\bar{U}^*(\delta) - U_o^*(\delta)|}{\Delta U_{\text{пор}}^*(\delta)}. \quad (4)$$

Аналогично вычисляются ошибки цветопередачи по координатам  $W^*$  и  $V^*$ .

В отличие от традиционного метода оценки точности цветопередачи крупных деталей в выражении (5) вычисляется среднее значение цветных координат по площади объектов декодированного изображения. Выбор такого способа обусловлен тем, что погрешности алгоритма кодирования влияют не только на искажения цветных координат в центре объекта, но и на искажения его формы. При этом с уменьшением размеров деталей цветные координаты будут «размываться» по площади объекта, что учитывается в выражении (5) и дает более достоверную оценку с точки зрения получателя.

Из экспериментов следует, что для обеспечения высокого качества воспроизведения мелких деталей с рейтингом не менее 7 необходимо выполнение следующих условий: 1) значение ошибки цветопередачи по индексам цветности должно быть не более 0,8 для размеров деталей в 3 и более элементов раstra; 2) значение ошибки цветопередачи по индексу яркости должно быть не более 1,5 для всех деталей, т. е.

$$\eta_{w^*}(\delta \geq 1) < 1,5; \quad \eta_{U^*,V^*}(\delta \geq 3) < 0,8. \quad (6)$$

Таким образом, по критериям (2), (4) и (6) программный анализатор может оценить визуальное качество воспроизведения мелких деталей тестовой последовательности по 10-балльной рейтинговой шкале. В табл. 1 приведена экспериментальная зависимость рейтинга качества от числовых значений анализируемых параметров (1), (3) и (5), полученная на основе 10-балльной шкалы, используемой в системе Adobe



Photoshop при выполнении алгоритма сжатия JPEG после предварительной фильтрации цветоразностных сигналов в соотношении 4:2:0. Результаты получены для тестового изображения с контрастом мелких деталей, в два раза превышающим пороговые значения.

Таблица 1

**Зависимость численных результатов оценок от рейтинга Q**

Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
По яркости ( $\delta = 1$ )										
$\bar{\epsilon}$	1,65	1,62	1,43	0,98	0,85	0,53	0,26	0,09	0,01	0,00
$\Delta$	0,91	0,89	0,83	0,63	0,57	0,37	0,25	0,17	0,11	0,03
$\eta$	2,05	2,00	1,93	1,72	1,68	1,62	1,50	0,67	0,11	0,00
По цветности ( $\delta = 3$ )										
$\bar{\epsilon}$	1,59	1,41	1,37	1,01	0,85	0,75	0,71	0,63	0,57	0,55
$\Delta$	1,01	0,97	0,92	0,76	0,69	0,55	0,47	0,41	0,36	0,33
$\eta$	1,53	1,42	1,34	1,27	1,01	0,81	0,78	0,65	0,63	0,61

Таким образом, после вычисления снижения контраста (1), среднеквадратичного отклонения (3) и ошибки цветопередачи (5) мелких деталей декодированного кадра изображения по данным табл. 1 можно оценить рейтинг для каждого из 6 параметров качества. Средний рейтинг качества каждого кадра испытательной таблицы и всей тестовой последовательности вычисляется следующим образом:

$$Q_m = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 q_i, \quad Q = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M Q_m.$$

**Результаты анализа**

Для анализа качества воспроизведения мелких деталей изображений в стандарте MPEG-4 использовалась следующая методика эксперимента [2].

На первом этапе тестовая последовательность из 12 кадров (360×288) с помощью приложения Adobe Premiere 6.0 преобразовывалась в видеоклип с расширением \*.avi без сжатия видеоданных.

На втором этапе выполнялось сжатие тестового видеоклипа с помощью алгоритма MPEG-4, реализованного в конверторе AVS Video-Convertor 2.2. В качестве компрессора использовался XviD MPEG-4 Codec и в качестве регулируемых параметров качества использован коэффициент  $K_q$  (1...31) настройки матрицы квантования.

На третьем этапе каждый кадр сжатого видеоклипа преобразовывался в BMP формат и подавался на вход программного анализатора качества.

На четвертом этапе устанавливалась рейтинговая оценка качества декодированной последовательности кадров по объективным критериям.

На рис. 3 показаны фрагменты 1-го кадра (120×80) тестовой таблицы по индексу яркости после выполнения алгоритма MPEG-4 для параметров  $K_q = 1$ ,  $K_q = 3$  и  $K_q = 5$  соответственно. В табл. 2 приведены результаты оценок рейтинга качества тестовой последовательности по объективным критериям в зависимости от параметров матриц квантования. Здесь же приведены значения объемов файлов сжать видеоклипов  $V$  в килобайтах и соответствующие коэффициенты сжатия  $R$  по отношению к исходному файлу ( $V = 14,2$  Мбайт).

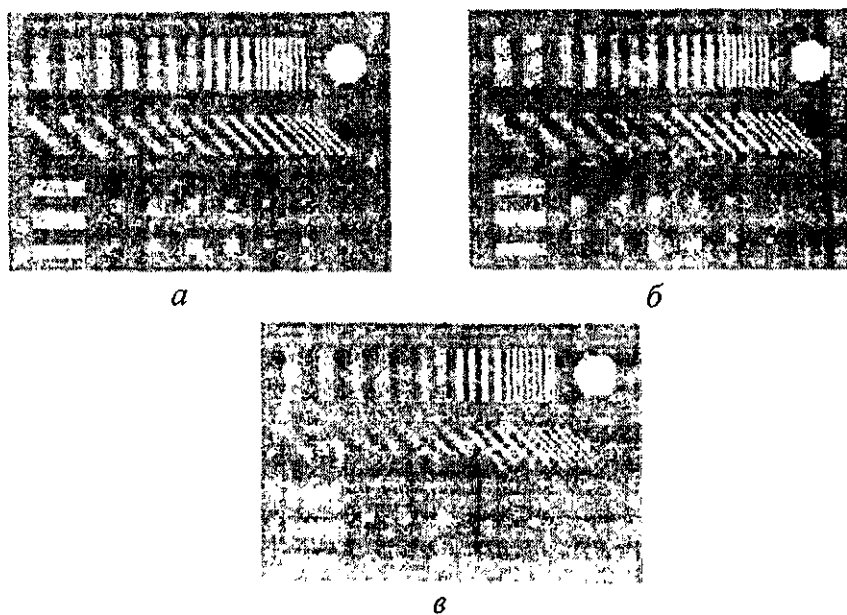


Рис. 3. Фрагменты изображений:  
 $a - K_q = 1$ ;  $b - K_q = 3$ ;  $v - K_q = 5$

Таблица

Зависимость рейтинга качества от параметров кодека

$K_q$	Q	V	R
1	7,6	549	26
2	5,3	236	60
3	4,0	177	80
4	3,5	122	116
5	3,2	101	140





Результаты работы объективного анализатора качества привели к следующим выводам: наибольший рейтинг качества  $Q > 7$  (высокий) соответствует параметру квантователя  $K_q = 1$ ; с увеличением коэффициента квантования качество воспроизведения мелких малоcontrastных деталей изображения снижается и при  $K_q \geq 5$  становится ниже среднего.

Следовательно, для обеспечения высокого ( $Q > 7$ ) или хорошего ( $Q > 5$ ) качества воспроизведения мелких деталей динамических изображений при использовании компрессора XviD MPEG-4 необходимо настроить квантователь на коэффициент  $K_q = 1 \dots 2$ .

В качестве примера на рис. 4 показаны фрагменты кадра видеоклипа с реальным изображением после конвертирования в MPEG-4 (XviD Codec) для разных параметров квантователя. Левый фрагмент соответствует параметру квантователя  $K_q = 1$ , правый фрагмент –  $K_q = 5$ .

Визуальное сравнение полученных изображений показывает, что при высоком рейтинге качества ( $K_q = 1$ , Quality  $\approx 8$ ) искажения малоcontrastных мелких деталей практически незаметны для глаза.

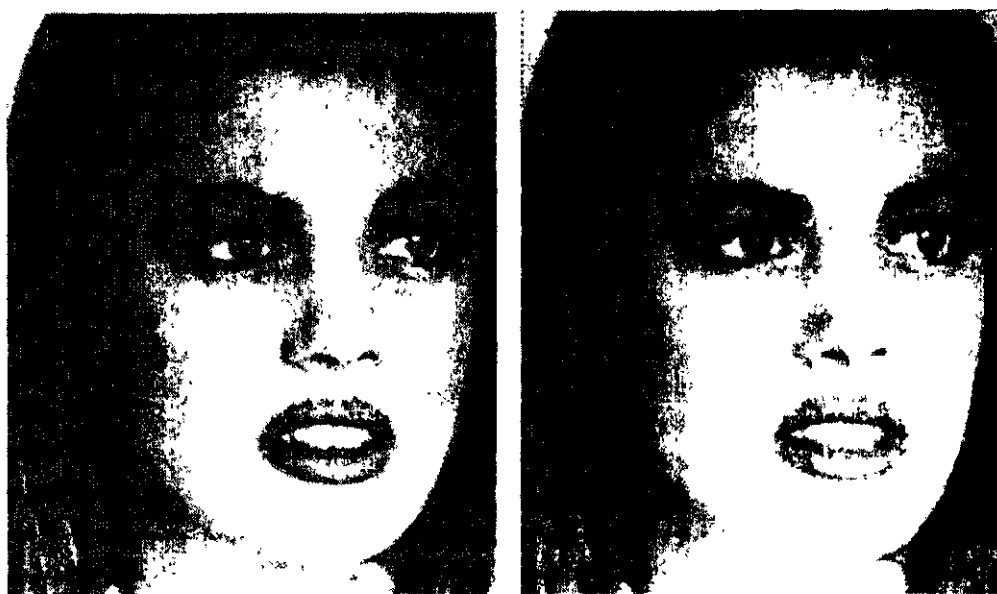


Рис. 4. Фрагменты изображений



### Заключение

Результаты объективного анализа качества видеоизображений, полученных после выполнения алгоритма MPEG-4 с использованием компрессора XviD Codec, показывают, что для обеспечения высокого качества воспроизведения мелких деталей необходимо настроить коэффициент  $K_Q = 1 \dots 2$ .

Результаты анализа качества видеоизображений, полученных после выполнения алгоритма MPEG-4 с применением других компрессоров, показывают, что качество воспроизведения мелких деталей не соответствует высокому рейтингу. Следовательно, для обеспечения высокого рейтинга качества необходимо использовать компрессор XviD Codec или другие более эффективные компрессоры.

В целом результаты исследований доказали обоснованность и эффективность применения разработанных объективных критериев качества динамических изображений.

### Библиографические ссылки

1. Сай С. В. Качество передачи и воспроизведения мелких деталей цветных телевизионных изображений. Владивосток, 2003.
2. Sai S. V. Analysis of Quality of Video Images MPEG-4. 7-th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis New Information Technologies, St. Petersburg, 18-23 October, 2004 // Conference Proceedings 2004. Vol. III.