

Применение новых критериев оценки качества изображений после их сжатия с потерями

Наталья Илюшкина, Михаил Чобану (Москва)

В статье рассматриваются новые критерии оценки качества сжатых изображений – «эталонный» (при наличии исходного изображения) и «слепой» (при его отсутствии). Первый основан на пиковом отношении сигнал–шум и учёте визуального восприятия человеком. Второй критерий основан на анализе артефактов блочной структуры и размытия, которые характерны для блочных алгоритмов с применением дискретного косинусного преобразования. Данные критерии были рассмотрены с точки зрения их применения при оценке качества изображений, сжатых с помощью вейвлет-алгоритмов.

Необходимость хранения и передачи огромных объёмов информации в современных компьютерах и системах связи обуславливает применение сжатия данных во многих областях, от медицины до космонавтики. Сжатием данных называется процесс обработки, направленный на уменьшение их объёма. За последнее время было разработано большое количество эффективных методов сжатия с потерями и без потерь, обладающих рядом совершенно разных свойств [1]. Оценка способов сжатия без потерь обычно является относительно простой задачей, для решения которой используется ряд стандартных критериев (степень сжатия, скорость выполнения и др.).

Одним из способов достижения эффективного сжатия является потеря некоторого количества информации. Однако она должна происходить избирательно, и основным принципом является потеря той части информации, к которой зрительное восприятие человека наименее

чувствительно. Это требует точного знания цветов, их представления и восприятия человеком.

Основную проблему при оценке качества изображений, сжатых с помощью методов сжатия с потерями, представляет сложность описания типа и степени ухудшения качества восстановленных изображений. Из-за свойственных субъективным критериям недостатков особый интерес представляет разработка количественных, объективных критериев, как численных, так и графических, которые можно использовать вместо субъективных оценок. Такая методика необходима не только для оценки качества изображения, полученного в результате выполнения определённого алгоритма, но и для сравнения результатов работы разных алгоритмов, цифровых фильтров и т.д.

Наиболее распространённым объективным критерием оценки является СКО – среднее квадратическое отклонение (mean square error, MSE). Оно

весьма ненадёжно, т.к. не соответствует системе визуального восприятия человека (human visual system, HVS). Следует отметить, что значение СКО может значительно изменяться при существенном ухудшении субъективно воспринимаемого качества сжатого изображения. Поэтому СКО, так же как и пиковое отношение сигнал/шум (PSNR), не может быть взято за основу при построении оптимальных с визуальной точки зрения систем преобразования изображений с целью их сжатия.

Необходимо отметить, что значение PSNR не может в полной мере отражать воздействие на изображение различных видов помех (см. рис. 1), т.е. при наличии в изображении разных видов шумов его значение может оставаться постоянным, а качество изображения существенно изменяться. Особое внимание следует уделять углублённому анализу зрительного восприятия человека. Его невозможно измерить с помощью существующих инструментов, однако применение даже упрощённой модели зрительного восприятия при разработке объективных критериев, по мнению специалистов, значительно улучшает их корреляцию с оценками наблюдателей [2].

В настоящее время широко распространены алгоритмы сжатия статических и видеоизображений на основе блочного кодирования с использованием дискретного косинусного преобразования (ДКП). Таким алгоритмом является JPEG – блочный алгоритм кодирования с потерями, которые возникают вследствие квантования коэффициентов ДКП блоков размером 8×8 пикселей. Эффект размытия границ и другие артефакты, возникающие вследствие независимой обработки блоков изображения, обусловлены квантованием. Из-за различного квантования в низкочастотной и высокочастотной областях возникают различные погрешности округления соответствующих коэффициентов ДКП. Потери в высокочастотной области являются

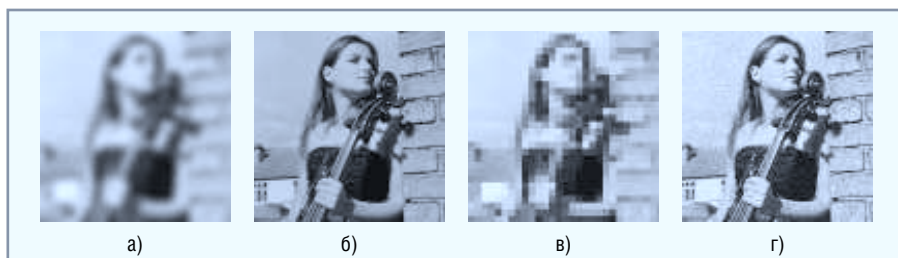


Рис. 1. Тестовое изображение искажённое

(а) гауссовское размытие; (б) затемнение (smoked glass); (в) эффект пикселизации (pixelate); (г) гауссовский шум

главной причиной эффекта размытия границ, смазывая изображение внутри каждого блока. Эффект блочной структуры обусловлен отсутствием непрерывности на границах между блоками, т.к. в алгоритмах JPEG каждый блок обрабатывается независимо.

Для эффективного исследования артефактов необходимо преобразовать сигнал в частотную область. Обозначим входной сигнал как $x(m, n)$, где $m \in [1, M]$ и $n \in [1, N]$. Рассчитаем разностный сигнал вдоль каждой горизонтальной линии:

$$d_b(m, n) = x(m, n+1) - x(m, n), \quad n \in [1, N-1]. \quad (1)$$

Предлагаемый метод не требует больших вычислительных мощностей и значительного объёма памяти. Рассчитываются только вертикальные и горизонтальные параметры. Сначала рассчитывается оценка «блочности», как усреднённая разница между границами блоков:

$$B_b = \frac{1}{M \left[\left\lceil \frac{N}{8} \right\rceil - 1 \right]} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{\lceil N/8 \rceil - 1} |d_b(i, 8j)|. \quad (2)$$

Затем определяется оценка «активности» сигнала. Эффект размытия границ трудно оценить, не имея исходного, т.е. не сжатого изображения. Это является причиной уменьшения мощности сигнала, и совмещение параметров оценки мощности и «блочности» даёт более близкое представление о размытости в соответствующем изображении.

Мощность сигнала зависит от двух факторов. Первый – средняя абсолютная разность между значениями внутри отдельного блока:

$$A_b = \frac{1}{7} \left[\frac{8}{M(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-1} |d_b(i, j)| - B_b \right]. \quad (3)$$

Второй фактор – частота перехода через ноль, определяемая для $n \in [1, N-2]$:

$$z_b(m, n) = \begin{cases} 1 & \text{переход через ноль } d_b(m, n) \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (4)$$

Формулу расчёта Z_b можно записать следующим образом:

$$Z_b = \frac{1}{M(N-2)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-2} z_b(i, j). \quad (5)$$

Аналогично рассчитываются вертикальные параметры B_v, A_v и Z_v . Сум-

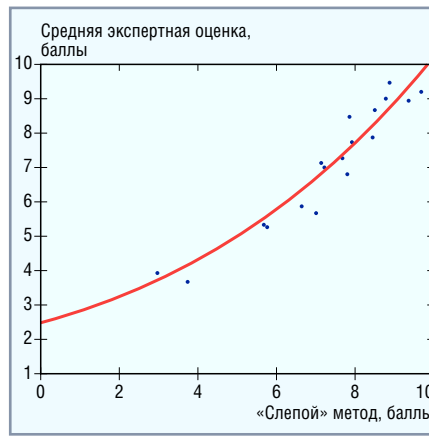


Рис. 2. График рассеяния для тестовых изображений, сжатых с помощью JPEG

марные параметры рассчитываются как среднее значение вертикальной и горизонтальной составляющих:

$$\begin{aligned} B &= \frac{B_b + B_v}{2}, \\ A &= \frac{A_b + A_v}{2}, \\ Z &= \frac{Z_b + Z_v}{2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Существует несколько способов объединения параметров в одну формулу для описания модели оценки качества изображения. Один из методов, который показывает хорошие результаты прогнозирования, представлен формулой:

$$S = \alpha + \beta^{11} A^2 Z^3,$$

где $\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2$ и γ_3 – параметры модели, которые вычисляются на основе данных субъективных тестов. Для отыскания наилучших параметров используется стандартная функция панели инструментов статистики MATLAB – nlinfit. Однако важно не «переобучать» данную систему, иначе, даже если будут достигнуты очень хорошие результаты для экспериментальных изображений, способность к обобщению ухудшается. В результате были получены следующие параметры модели: $\alpha = -245,9, \beta = 261,9, \gamma_1 = -0,0240, \gamma_2 = 0,0160$ и $\gamma_3 = 0,0064$ [3].

Для проверки соответствия данного алгоритма субъективным оценкам было проведено субъективное тестирование, в котором приняли участие более двадцати людей различных специальностей. Исследования показали, что для оценки изображений, сжатых блочными ДКП алгоритмами предложенный критерий показывает очень хорошие результаты (см. рис. 2).

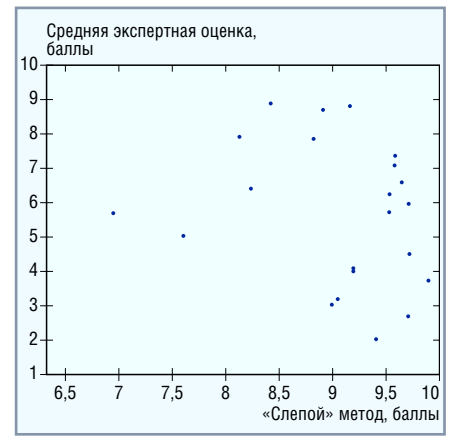


Рис. 3. График рассеяния для изображений, сжатых с применением вейвлет-разложения

Преимуществом этого метода является то, что он не требует больших вычислительных мощностей (поскольку в нём нет сложных преобразований) и сохранения исходного изображения (или его части).

Последнее время активно развиваются алгоритмы, основанные на вейвлет (wavelet)-разложении, например, JPEG2000 и др. При сжатии алгоритмами, использующими вейвлет-разложение, искажения отличаются от искажений методов, основанных на ДКП, характерной особенностью которых является эффект размытия границ. Представленный выше метод ориентирован на распознавание так называемой «блочности» и размытости внутри отдельного блока. При применении его для вейвлет-алгоритмов представленный метод не даёт эффективных результатов (см. рис. 3). В этом случае требуется другой критерий оценки качества сжатия изображений.

С этой целью было исследовано несколько критериев, таких как универсальный индекс качества (UQI) и метод разложения на собственные значения (M-SVD). Ниже описан метод, который показал лучшие результаты.

Для оценки качества новых алгоритмов сжатия используются СКО (MSE) и пиковое отношение сигнал/шум (PSNR):

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (I_{ij} - I_{ij}^o)^2}{IJ}, \quad (7)$$

$$PSNR = 10 \lg(255^2 / MSE), \quad (8)$$

где I_{ij} – значение ij -го пикселя восстановленного изображения, I_{ij}^o соответствует значению ij -го пикселя оригинального изображения, I, J – размер изображения.

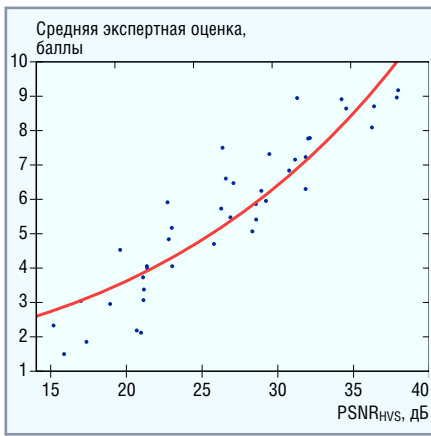


Рис. 4. График рассеяния для критерия PSNR_{HVS}

Меньшее значение MSE или большее значение PSNR соответствует лучшему качеству восстановленного изображения.

Проведённые исследования показали, что система человеческого восприятия (HVS) менее чувствительна к искажениям на низких частотах, чем к искажениям в высокочастотной области, что явилось основной причиной, чтобы учитывать HVS при разработке популярного стандарта сжатия JPEG. В частности, это отражено в специально спроектированной таблице корректирующих величин, которая применяется для квантования коэффициентов ДКП в блоках 8 × 8. Согласно этой таблице, высокочастотные коэффициенты квантуются с большим шагом квантования, что приводит к повышению качества восстановленного изображения.

Предлагается также усовершенствовать MSE и PSNR, используя данную таблицу корректирующих факторов, которая применяется в стандарте JPEG для компоненты интенсивности (Y) в цветовом пространстве YUV. Если использовать равенство Парсевала:

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |b(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |H(f)|^2 df, \quad (9)$$

то MSE, рассчитанные в пространственной и в пространственно-час-

тотной областях, совпадают. Тогда выражение для MSE с плавающим окном 8 × 8 и ДКП примет вид:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{i-7} \sum_{j=1}^{j-7} \sum_{m=1}^8 \sum_{n=1}^8 (X[m, n]_{ij} - X[m, n]_{ij}^e)^2}{(I-7)(J-7)64}, \quad (10)$$

где X_{ij} – коэффициенты ДКП блока 8 × 8, для которого координаты верхнего левого элемента равны i и j , x_{ij}^e – коэффициенты ДКП соответствующего окна оригинального изображения. Таким образом, получено окно, которое при каждом шаге сдвигается на пиксель. Чем меньше размер плавающего окна, тем точнее измерения и больше объём вычислений.

Принимая в рассмотрение HVS, можно переписать выражение (9) следующим образом:

$$MSE_{HVS} = \left[\sum_{i=1}^{i-7} \sum_{j=1}^{j-7} \sum_{m=1}^8 \sum_{n=1}^8 \left((X[m, n]_{ij} - X[m, n]_{ij}^e) T_c[m, n] \right)^2 \right] / [(I-7)(J-7) \times 64], \quad (11)$$

где T_c – матрица корректирующих факторов. В качестве такой матрицы используется таблица квантования стандарта JPEG (см. таблицу). Для каждого шага вычислений коэффициенты ДКП квантуются согласно их значимости для человеческого восприятия.

Матрица T_c обладает следующими свойствами:

- её коэффициенты обратно пропорциональны соответствующим коэффициентам таблицы квантования JPEG;
- суммарный корректирующий фактор матрицы

$$\sum_{m=1}^8 \sum_{n=1}^8 T_c[m, n]^2 / 64$$

равен единице. Это означает, что в случае однородного распределения искажений по всем пространствен-

ным частотам выполняется равенство $MSE_{HVS} = MSE$.

Теперь можно определить значение PSNR, учитывающее HVS:

$$PSNR_{HVS} = 10 \lg(255^2 / MSE_{HVS}). \quad (12)$$

Для анализа методов оценки также были проведены субъективные испытания, в которых приняло участие более сорока людей разного возраста и рода занятий. Искажения были получены с помощью алгоритмов иерархического кодирования SPIHT и блочного кодирования SQR. Результат сравнения с субъективными оценками представлен на рисунке 4.

MSE_{HVS} можно рассчитать при помощи последовательных сдвигов на 8 пикселей, а не на 1, как в (10) (метод без перекрытия), при этом алгоритм будет работать в 64 раза быстрее. Исследования показали, что метод с перекрытием необходимо использовать, когда присутствует эффект блочной структуры, в то время как при эффекте размытия границ метод без перекрытия даёт аналогичные результаты, но работает быстрее [4, 5].

Данный метод показал хорошие результаты благодаря использованию таблицы корректирующих факторов, что и является основой HVS в данном методе. Критерий показывает хорошие результаты и для блочных алгоритмов с применением ДКП, но его недостаток в том, что он подразумевает наличие двух изображений: исходного и искажённого. При блочных артефактах является необходимость использования алгоритма с перекрытием, что значительно увеличивает время вычислений.

Исследуемые в статье критерии были рассмотрены с точки зрения их применения для оценки качества восстановленных после сжатия изображений: для алгоритмов, основанных на ДКП («слепой»), и для вейвлет-преобразования ($PSNR_{HVS}$). Для оценки эффективности методов были проведены субъективные тесты. Результаты показали, что $PSNR_{HVS}$ показал более высокую степень корреляции с оценками наблюдателей и является предпочтительным при выборе объективного критерия качества, близкого к субъективной оценке.

Матрица T_c корректирующих факторов для вычисления MSE_{HVS}

1,6084	2,3396	2,5735	1,6084	1,0723	0,6434	0,5046	0,4219
2,1446	2,1446	1,8382	1,3545	0,9898	0,4437	0,4289	0,4679
1,8382	1,9796	1,6084	1,0723	0,6434	0,4515	0,373	0,4596
1,8382	1,5138	1,1698	0,8874	0,5046	0,2958	0,3217	0,4151
1,4297	1,1698	0,6955	0,4596	0,3785	0,2361	0,2499	0,3342
1,0723	0,7353	0,4679	0,4021	0,3177	0,2475	0,2277	0,2797
0,5252	0,4021	0,3299	0,2958	0,2499	0,2127	0,2145	0,2548
0,3574	0,2797	0,2709	0,2626	0,2298	0,2574	0,2499	0,26

ЛИТЕРАТУРА

1. *Eskicioglu A.M., Fisher P.* Image Quality Measures and Their Performance. IEEE Trans. on Comm. Vol. 43. No. 12. Dec. 1995. P. 29–59.
2. *Roorda A.* Human visual system – image formation. University of Houston College of Optometry. Houston, TX. EIST. P. 539–557.
3. *Wang Z., Sbeikh H., Bovik F.* No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images. IEEE Int. Conf. on Image Processing. Sept. 2002.
4. *Egiazzarian K., Jaakko A., Ponomarenko N., Lukin V., Battisti F., Carli M.* Two new full-reference quality metrics based on HVS. Proc. 2nd Int. Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics. VPQM 2006, Scottsdale, Arizona, USA. 22–24 January 2006.
5. *Илюшкина Н.С., Чобану М.К.* Три эталонных критерия оценки качества сжатия изображений. Труды 9-й Междун. конф. «Цифровая обработка сигналов и её применение» DSPA-2007. Т. 2.



Новости мира News of the World Новости мира

40-дюймовые ЖК-панели продаются лучше плазменных

Согласно данным аналитического агентства Displaybank, в 2006 г. в сегменте 40-дюймовых телеприёмников модели с жидкокристаллическими экранами (LCD) пользовались большей популярностью, чем их плазменные собратья (PDP). Общее количество жидкокристаллических телевизоров указанного размера, проданных за весь прошлый год, составило 7,8 млн. шт., что на 400 тыс. единиц больше, чем моделей с плазменными панелями, количество которых достигло показателя в 7,4 млн. шт.

Анализ результатов, проведённый агентством, показывает, что продажи ЖК-приёмников обошли продажи плазменных панелей ещё в августе 2006 г. и сохраняли лидирующее положение вплоть до конца года. Рост количества проданных ЖК ТВ составлял 5% в месяц, тогда как объём продаж плазменных ТВ испытал 10-% падение за указанный период.

Напомним, что поставки 40-дюймовых ЖК-панелей увеличились с 90 тыс. штук в 2004 г. до 1,2 млн. штук в 2005 г. Прошлый год оказался ещё более удачным – объём продаж крупнопанельных ЖК-телеприёмников увеличился в шесть (!) раз по сравнению с 2005 г.

Аналитическое агентство Displaybank ожидает продолжения роста количества продаж крупнопанельных телевизоров и в 2007 г. Прогнозируется, что количество проданных жидкокристаллических 40-дюймовых приёмников возрастет до 16,4 млн. единиц; количество проданных плазменных панелей с диагональю в 40 дюймов увеличится значительно скромнее и составит 8,1 млн. единиц.

displaybank.com

Падение цен на ЖК-панели продолжилось

Тенденцию к снижению цен исследователи связывают с тем, что производители пытаются удержать на приемлемом уровне складские запасы, поскольку объём выпуска примерно соответствует объёму заказов. Усилия по контролю запасов на-

правлены на то, чтобы избежать дальнейшего падения цен.

Стоимость панелей для мониторов понизилась на 1...3%, причём цены на 17- и 19-дюймовые продукты равнялись соответственно \$110 и \$130. В этом сегменте снижение связано с ценовой конкуренцией между компаниями, владеющими производственными линиями седьмого (7G) и 7.5G поколений. Хотя в январе Китай приступил к производству 19-дюймовых широкоформатных панелей, спрос по-прежнему остаётся высоким. Небольшой дефицит таких панелей привёл к тому, что цены на них снизились всего на 2%, до \$123. В сегменте 22-дюймовых широкоформатных панелей увеличение поставок и агрессивная ценовая стратегия привели к понижению стоимости на 5%.

В сегменте телевизионных панелей отмечалось эффективная «зачистка» складских запасов, накопившихся в предыдущем квартале. Однако рынок ТВ подвержен сезонному влиянию. В начале 2007 г. потребность в панелях уменьшится, и аналитики ожидают дальнейшего падения цен на панели для телевизоров. Среднее снижение цен в первой половине февраля составило 2...3%. При этом средняя цена в 26-дюймовом сегменте упала до \$260. Разница в стоимости 32- и 26-дюймовых продуктов понизилась с \$170 в январе 2006 г. до \$53 в январе 2007 г. Это привело к сокращению спроса на 26-дюймовые панели.

Однако поскольку падение стоимости компонентов не оставило возможностей для дальнейшего снижения, производители панелей разработали 26-дюймовые продукты типа TN. Они надеются, что благодаря более низкой себестоимости смогут сохранить и даже расширить долю этого сектора на рынке.

Среднерыночная цена для 32-дюймовых широкоформатных панелей составляет примерно \$315, вплотную приблизившись к себестоимости выпуска для производителей первого эшелона и преодолев планку себестоимости для компаний второго эшелона.

Несмотря на сезонные факторы, цена не снизилась более чем на 2%. В частно-

сти, в сегменте широкоформатных панелей с диагональю 37 дюймов стоимость упала до \$470, опустившись почти до уровня себестоимости.

Поставками телевизионных панелей 40-дюймов и более в настоящее время в основном занимаются корейские компании. Эти производители ощущают активное ценовое давление со стороны тайваньских производителей. Например, средняя цена в \$600 на 42-дюймовые продукты уже ниже себестоимости. Тем не менее, несмотря на то что производители несут убытки, они по-прежнему стремятся увеличить свою долю на рынке.

itware.com.ua

Sharp утратила лидерство на рынке ЖК-телевизоров

Ближайшие конкуренты сместили Sharp с позиции лидера на рынке жидкокристаллических телевизоров. Согласно отчётам iSuppli и подразделения NPD Group – DisplaySearch, по количеству поставок ЖК-панелей за прошлый год соперники впервые обогнали японскую компанию. Рыночная доля производителя в последнее время сокращалась, но всё же ей удавалось лидировать со значительным отрывом от других игроков. Сейчас обе аналитические компании приписывают лидерство корейской Samsung.

По данным iSuppli, Samsung сейчас принадлежит 14,6% мирового рынка ЖК-телевизоров, 13,4% занимает Philips, Sharp – 13,3%, за ней следует Sony (доля рынка 12,7%), потом LG (7,6%). DisplaySearch оценила долю рынка Samsung в 13,4%, Philips – 13%, Sony – 11,6%, Sharp и LG – в 11,4% и 7,1% соответственно.

Перераспределение позиций вендоров произошло за счёт того, что линейки продуктов Samsung и Sony шире при более низкой стоимости производства. То, что Sharp серьёзно уступила конкурентам, стало ясно ещё по итогам сезона новогодних распродаж. Сама компания Sharp заявила, что планирует строительство нового завода в Мексике и расширение собственной линейки ЖК-телевизоров.

science.compulenta.ru