

УДК 621.397

НЕЭТАЛОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА JPEG ИЗОБРАЖЕНИЙ

Приоров А.Л., Саутов Е.Ю., Хрящев В.В.

Введение

Для оценки искажений цифровых изображений наиболее часто используются: пиковое отношение сигнал/шум (ПОСШ) и среднеквадратическая ошибка (СКО). Однако эти метрики не всегда хорошо определяют визуально воспринимаемое качество [1-4]. Они задаются следующими соотношениями:

$$\text{ПОСШ} = 20 \log_{10} \frac{255}{\sqrt{\text{СКО}}}, \quad \text{СКО} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2,$$

где x_i и y_i – значения пикселей исходного и восстановленного изображений соответственно.

В последнее время предпринимается большое количество попыток разработать новые метрики объективной оценки качества изображений, учитывающие свойства зрительной системы человека [5-8].

Следует отметить, что большинство из предлагаемых методов оценки качества используют исходное (эталонное) изображение. Разработка алгоритма объективного неэталонного измерения качества – сложная задача. В [9] указывается, что эффективная неэталонная модель оценки качества изображения возможна только при наличии априорной информации о типах его искажений.

Анализ работ [10-14] показывает, что при сжатии изображений с использованием стандарта JPEG при дискретном косинусном преобразовании (ДКП) наиболее отчетливо проявляются два вида искажений – блочность и размытие границ. В определении степени влияния каждого из этих искажающих факторов на изображение и заключается идея предложенного ниже неэталонного алгоритма оценки качества.

Схема предлагаемого алгоритма неэталонной оценки качества JPEG изображений приведена на рис. 1. Последовательность вычисления такой оценки состоит из пяти операций.

1. Обозначим исследуемое декодированное изображение, имеющее размеры $M \times N$ пикселей, как $x(m, n)$, где $m \in [1, M]$, $n \in [1, N]$ и вычислим разницу между соседними пикселями в каждой строке $d_h(m, n) = x(m, n+1) - x(m, n)$ и в каждом столбце изображения $d_v(m, n) = x(m+1, n) - x(m, n)$.

2. Определим среднюю разницу между блоками размером 8×8 по формуле:

$$B_h = \frac{1}{M([N/8]-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{[N/8]-1} |d_h(i, 8j)|.$$

Описывается алгоритм неэталонной оценки качества сжатых изображений формата JPEG. Приведенные результаты моделирования показывают хорошую коррелированность получаемых оценок с визуально воспринимаемым качеством декодированных изображений. Описана процедура оптимизации этапа кодирования JPEG с использованием предложенной неэталонной оценки.

3. Оценим энергию сигнала изображения. Оценка проводится в два этапа, т.к. два фактора характеризуют энергию изображения:

а) Первый фактор – отклонение средней абсолютной разности на границе блоков от той же величины, подсчитанной для всего изображения

$$A_h = \frac{1}{7} \left[\frac{8}{M(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-1} |d_h(i, j)| - B_h \right].$$

б) Второй фактор – число переходов через нуль. Пусть функция $z_h(m, n)$ принимает значение равно единице, если функция $d_h(m, n)$ пересекает нуль по горизонтали. В противном случае значение $z_h(m, n)$ равно нулю. Находим значения функции $z_h(m, n)$ для $n \in [1, N-2]$. Тогда количество переходов через нуль по горизонтали определяется как

$$Z_h = \frac{1}{M(N-2)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-2} z_h(m, n).$$

Аналогичным способом вычисляются соответствующие величины B_v , A_v и Z_v по вертикали.

4. Производим усреднение полученных результатов:

$$B = \frac{B_h + B_v}{2}; \quad A = \frac{A_h + A_v}{2}; \quad Z = \frac{Z_h + Z_v}{2}.$$

5. Для получения конечной оценки качества сжатых изображений - JQ (JPEG Quality) используется следующая комбинация величин A, B и Z:

$$JQ = \alpha + \beta B^{\gamma_1} A^{\gamma_2} Z^{\gamma_3},$$

где $\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – параметры, которые подбирались таким образом, чтобы результат как можно точнее учитывал визуально воспринимаемое качество декодированных изображений. Субъективные визуальные оценки изображений, сжатых алгоритмом JPEG, использованы для оптимизации параметров алгоритма. Экспериментально подобраны следующие значения параметров:

$$\alpha = -246, \quad \beta = 262, \quad \gamma_1 = -0.024, \\ \gamma_2 = 0.016, \quad \gamma_3 = 0.064$$

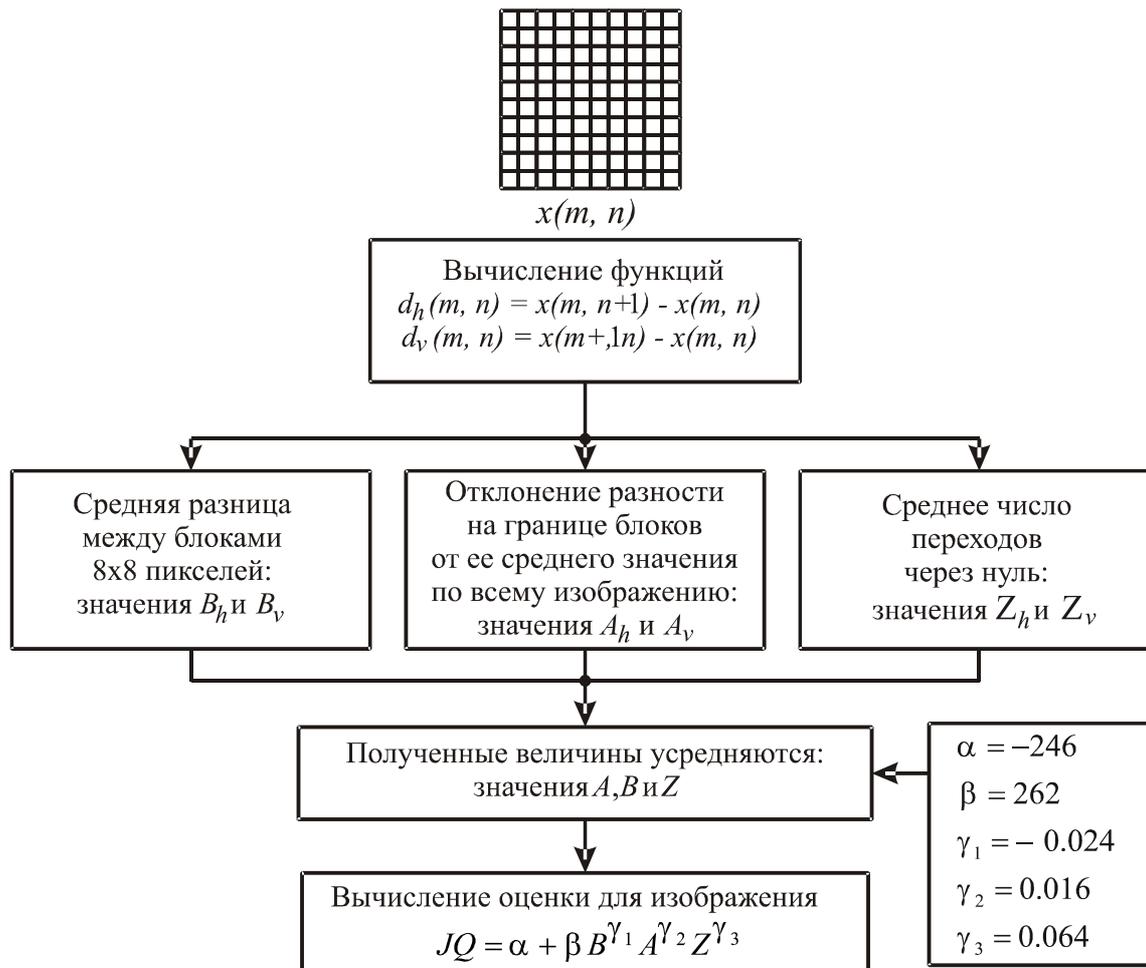


Рис. 1. Алгоритм неэталонной оценки качества JPEG изображений

Этот алгоритм неэталонной оценки качества JPEG изображений реализован в среде математического моделирования Matlab. Для тестирования алгоритма выбраны три полутоновых изображения разрешением 512×512 пикселей с разной степенью детализации: «Перцы», «Лена» и «Бабуин».

Результаты работы алгоритма для изображения «Лена» приведены на рис. 2.

Здесь K и JQ обозначают коэффициент сжатия исходного изображения и полученную неэталонную оценку. При низких коэффициентах сжатия (2-10) JPEG изображение практически полностью соответствует своему оригиналу (искажения незначительные). Как видно из рис. 2б, оценка JQ для таких изображений достаточно высока (находится в области цифры 10). При увеличении степени сжатия качество JPEG изображения ухудшается, проявляются искажающие факторы: блочность и размытие границ. В этом случае оценка JQ уменьшается, отражая воспринимаемое качество изображения (рис. 2в, 2г).

На рис. 3 представлены зависимости оценки JQ от коэффициента сжатия K , полученные для трех указанных тестовых изображений. Отметим, что эти зависимости носят монотонно спадающий, практически линейный характер. Причиной этому служит проявление на изображении искажений, вносимых алго-

ритмом JPEG с ростом коэффициента сжатия.

Для разных изображений зависимости различны, что подчеркивает тот факт, что искажения с различной степенью «эффективности» воздействуют на изображения с разным уровнем детализации. Так, например, из рис. 3 видно, что при одинаковом коэффициенте сжатия качество изображения «Бабуин» на 1,5-2 балла ниже по шкале JQ , чем для изображений «Лена» и «Перцы». Подобные зависимости получены и для других типов тестовых изображений.

Проведенные эксперименты позволили составить примерную шкалу перевода оценок JQ в пятибалльную шкалу визуальных оценок, согласно рекомендациям ITU-R BT.500-11 (табл. 1).

Рекомендательный характер ступеней кодирования позволяет разработчикам оптимизировать алгоритм JPEG с целью получения, например, более высокой скорости кодирования или декодирования, большей степени сжатия или улучшения качества восстановленного изображения. Так, например, в работах [15-17] описывается процедура выбора оптимальной матрицы квантования ДКП; рекурсивный алгоритм, учитывающий локальную статистику изображения, предлагается в [18]; а оптимизация этапа кодирования JPEG с помощью векторного квантования – в [19].

Таблица 1

Шкала соответствия оценок JQ и визуально воспринимаемого качества декодированных JPEG изображений

Оценка JQ	Визуально воспринимаемое качество
8 – 11	отличное
6 – 8	хорошее
4 – 6	удовлетворительное
0 – 4	неудовлетворительное
отрицательная	плохое



а) оригинальное изображение



б) JPEG изображение ($K = 6.92, JQ = 8.993$)



в) JPEG изображение ($K = 19.46, JQ = 5.741$)



г) JPEG изображение ($K = 32.78, JQ = 3.9585$)

Рис. 2. Результаты тестирования предложенного алгоритма на изображении «Лена»

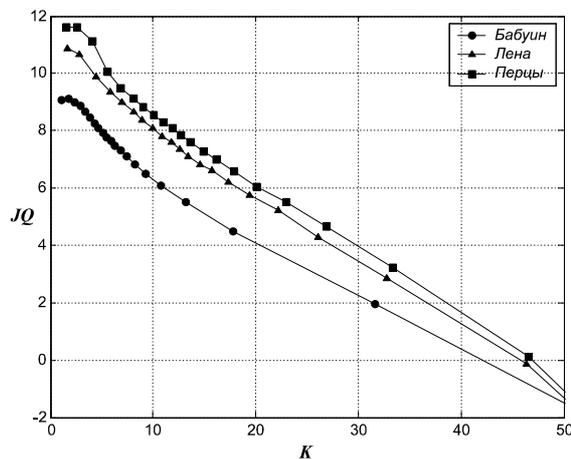


Рис. 3. Зависимость оценки JQ от коэффициента сжатия K

Возможны два способа оптимизации алгоритма JPEG цифровой обработки изображений с использованием оценки JQ .

1 способ. Выбирается единая для всего изображения матрица квантования с учетом значений оценки JQ . На первом этапе применяется наиболее «мягкая» матрица квантования и вычисляется оценка JQ_1 . Затем применяются более «грубые» матрицы квантования и контролируется отклонение оценки JQ_i от JQ_1 . Если значение оценки превышает первоначально заданный порог, повторяется алгоритм кодирования (рис. 4а).

2 способ. Этот способ учитывает тот факт, что различные участки изображения имеют различную детализацию. Учет этого факта позволяет применять к участкам с меньшей детализацией более «грубые» матрицы квантования и, как следствие, сжимать такие участки сильнее. Эта идея лежит в основе второго способа оптимизации.

Матрица квантования для каждого блока размером 8×8 пикселей подбирается индивидуально на основе анализа оценки JQ окрестности сжимаемого блока размером $N \times N$ пикселей. На первом этапе к k -ому блоку применяется наиболее «мягкая» матрица квантования и вычисляется оценка JQ_k^1 . Затем к кодируемому блоку размером 8×8 пикселей применяется матрица квантования с «грубыми» коэффициентами и вычисляется оценка JQ_k^2 . Если отклонение JQ_k^2 от JQ_k^1 не выходит за пределы заданного порога, применяется более «грубая» матрица квантования. В противном случае к блоку применяется матрица квантования, полученная на предыдущем этапе, работа алгоритма для данного блока завершается и происходит переход к следующему блоку. С целью умень-

шения вычислительных затрат, число итераций алгоритма кодирования для каждого из блоков ограничивалось пятью (рис. 4б).

Исследования показали, что наиболее предпочтительным размером области анализа является размер блока 24×24 пикселей. При дальнейшем увеличении размеров указанной области эффективность второго способа оптимизации снижалась и приближалась к значениям, полученным при первом способе оптимизации.

Представленная на рис. 5. зависимость отображает поведение оценки JQ восстановленного изображения «Перцы» от степени сжатия K для обычного (реализация в Matlab) и оптимизированного первым способом JPEG кодирования. Как видно из графика, оптимизация позволяет в среднем на единицу улучшить значения оценок JQ практически во всем диапазоне коэффициентов сжатия K .

На рис. 6 представлены усредненные по трем тестовым изображениям зависимости SKO восстановленного изображения от коэффициента сжатия при стандартной и оптимизированной схемах JPEG кодирования.

Отметим, что второй способ оптимизации позволяет улучшить качество изображения в значениях SKO преимущественно при низких степенях сжатия, при больших коэффициентах сжатия зависимости совпадают. Следовательно, учет участков с различной детализацией эффективнее использовать при небольших коэффициентах сжатия изображения ($K \in [2, 10]$).

Таким образом, рассмотрев возможность оптимизации этапа кодирования стандарта JPEG на основе неэталонной оценки JQ , показано, что процесс оптимизации позволяет улучшить качество изображения в значениях оценки JQ на 1-2 балла, а в значениях SKO восстановленного изображения на 10-15 единиц.

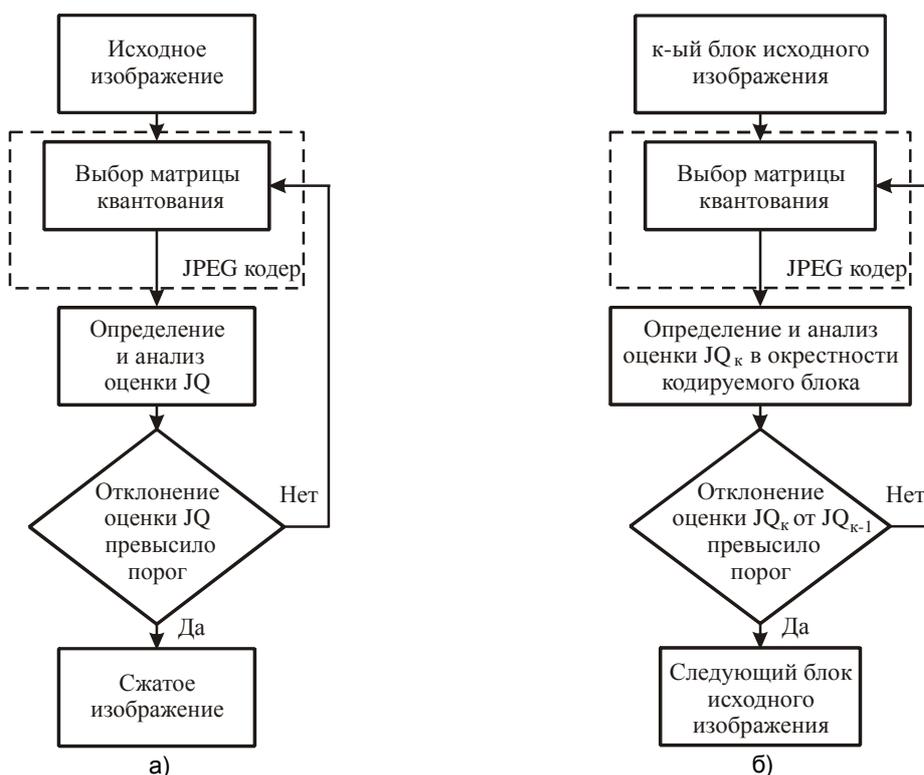


Рис. 4. Оптимизация этапа кодирования алгоритма JPEG: а) 1 способ; б) 2 способ

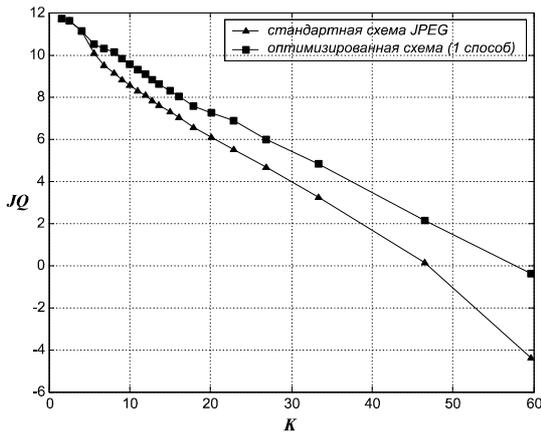


Рис. 5. Зависимость оценки JQ от степени сжатия K для стандартной и оптимизированной схемы JPEG кодирования

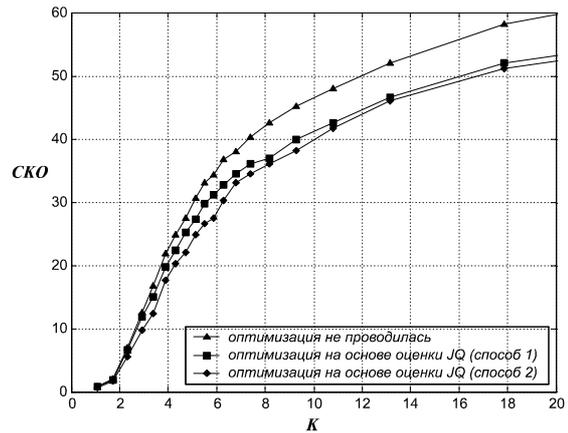


Рис. 6. Зависимость SKO восстановленного изображения от степени сжатия K для различных схем JPEG кодирования

Литература

1. Сэлмон Д. Сжатие данных, изображений и звука. – М.: Техносфера, 2004.
2. Wang, Z., Bovik A. Modern image quality assessment // Synthesis lectures on image, video & multimedia processing. Morgan & Claypool. 2006.
3. Eskicioglu A., Fisher P. Image quality measures and their performance // IEEE Trans. communications. 1995. V. 43, № 12. P. 2959-2965.
4. Mrak M., Grgic S., Grgic M. Picture quality measures in image compression system // Proc. IEEE region 8 int. conf. on computer as a tool. EUROCON 2003. 2003. V. 1, № 9. P. 233-236.
5. Egiazarian K., Jaakko A., Ponomarenko N., Lukin V., Battisti F., Carli M. Two new full-reference quality metrics based on HVS // Proc. of the 2nd int. workshop on video process. and quality metrics for consumer electronics. VPQM. 2006.
6. Ilushkina N., Tchobanou M. Three full reference quality measures for compressed images // In proc. of the 9th int. conf. "Digital Signal Processing and its Applications". 2007. V. 2, P. 497-499.
7. Wang Z., Bovik A., Sheikh H., Simoncelli E. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // IEEE Trans. on image processing. 2004. V. 13, № 4. P. 600-612.
8. Арляпов С.А., Приоров А.Л., Хрящев В.В. Модифицированный критерий оценки качества восстановленных изображений // Цифровая обработка сигналов. 2006. № 2. С. 27-33.
9. Бекренев В.А., Саутов Е.Ю., Куйкин Д.К. Алгоритм неэталонной оценки качества JPEG изображений // Докл. 9-й межд. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (DSPA-2007). Москва. 2007. Т. 2, С. 312-315.
10. Li X. Blind image quality assessment // Proc. IEEE int. conf. image processing. 2002. V. 1, P. 449-452.
11. Wang Z., Bovik A., Evans B. Blind measurement of blocking artifacts in images // Proc. IEEE int. conf. on image processing. Vancouver, Canada. 2000. V. 3, P. 981-984.
12. Bovik A., Liu S. DCT-domain blind measurement of blocking artifacts in DCT-coded images // Proc. IEEE int. conf. acoust., speech, and signal processing. 2001. V. 3, P. 1725-1728.
13. Boev A., Foi A., Egiazarian K., Katkovnik V. Adaptive scales as a structural similarity indicator for image quality assessment // Proc. of the 2nd int. workshop on video processing and quality metrics for consumer electronics. VPQM. 2006.
14. Babu R.V., Perki A. An HVS-based no-reference perceptual quality assessment of JPEG coded images using neural networks // Proc. IEEE int. conf. on image processing. 2005. V. 1, P. 433-436.
15. Ratnakar V., Livny M. Efficient algorithm for optimizing DCT quantization // IEEE Trans. on image processing. 2000. V. 9, № 2. P. 267-270.
16. Watson A. Visually optimal DCT quantization matrices for individual images // Proc. data compression conf. 1993. P. 178-187.
17. Monro D., Sherlock B. Optimum DCT quantization // Proc. data compression conf. 1993. P. 188-194.
18. Wu S., Gersho A. Rate-constrained picture-adaptive quantization for JPEG baseline coders // Proc. int. conf. acoustics, speech, signal processing. 1993. V. 5, P. 389-392.
19. Crouse M., Ramchandran K. JPEG optimization using an entropy-constrained quantization framework // Proc. data compression conf. 1995. P. 342-351.