УДК 004.93

С.В. Сай, Н.Ю. Сорокин, И.С. Сай

Критерий распознавания мелких деталей зашумленных изображений

Предложен объективный критерий распознавания мелких деталей зашумленных изображений в нормализованном равноконтрастном цветовом пространстве. Приводятся результаты сравнения разработанного критерия и стандартного PSNR критерия при оценке качества зашумленных изображений.
Ключевые слова: распознавание изображений, мелкие детали, объективный критерий.

В настоящее время наиболее популярным критерием зашумленности изображений является пиковое отношение сигнал–шум (PSNR) [1]. В соответствии этому критерию вычисляется нормированное среднеквадратичное отклонение цветовых координат пикселей зашумленного изображения от координат пикселей тестового изображения. Чем ближе зашумленное изображение к оригинальному, тем больше значение PSNR и тем лучше его качество. Однако эта и другие подобные метрики позволяют оценивать только среднеквадратичное различие между изображениями, поэтому лучшие результаты не всегда соответствуют лучшему визуальному восприятию. Например, зашумленное изображение, в котором присутствуют мелкие детали с низким контрастом, может иметь высокое значение PSNR даже в том случае, когда мелкие детали не видимы глазом на фоне помех.

В работах [2, 3] описываются методы анализа искажений мелких деталей реальных изображений после сжатия в стандартах JPEG, JPEG 2000 и MPEG-4. Результаты настоящей работы являются развитием исследований объективных критериев качества для зашумленных изображений.

Рассмотрим особенности разработанного критерия для анализа качества распознавания мелких деталей зашумленных изображений.

На первом этапе выполняем алгоритм поиска мелких деталей в тестовом изображении без шума. С этой целью разбиваем все изображение на блоки с размером 3×3 пикселей и для каждого блока вычисляем условие:

$$\Delta\bar{K} = \sqrt{(\Delta\bar{\mathrm{W}}^*)^2 + (\Delta\bar{\mathrm{U}}^*)^2 + (\Delta\bar{\mathrm{V}}^*)^2} > 1, \qquad (1)$$

где $\Delta\bar{K}$ – нормированный контраст блока в цветовом пространстве $W^*U^*V^*$ [4]; $\Delta\bar{W}^* = (W^*_{\max} - W^*_{\min})/\Delta W_{th}$; $\Delta\bar{U}^* = (U^*_{\max} - U^*_{\min})/\Delta U_{th}$; $\Delta\bar{V}^* = (V^*_{\max} - V^*_{\min})/\Delta V_{th}$ – нормированные значения контраста по индексам яркости и цветности; ΔW^*_{th}, ΔU^*_{th}, ΔV^*_{th} – пороговые значения контраста мелких деталей по индексу яркости и цветности [3].

Если условие (1) выполняется, принимается решение о том, что в блоке содержатся различимые для глаза мелкие детали или элементы изображения границ крупных деталей.

Наличие шумов в системе приводит к тому, что цветовые координаты пикселей изображения «размываются». При этом точка в пространстве *RGB* координат преобразуется в эллипсоид с полуосями, значения которых пропорциональны среднеквадратичным значениям (σ_R,σ_G,σ_B) помех в цветоделенных каналах. В процессе преобразования цветовых координат $\{R_i\, G_i\, B_{i,}\} \to \{W_i^*\, U_i^*\, V_i^*\}$ значения равноконтрастных координат становятся случайными величинами со среднеквадратическими отклонениями – σ_{W^*},σ_{U^*},σ_{V^*}. В работе [3] приведены результаты вероятностного анализа преобразования $\{R_i\, G_i\, B_{i,}\} \to \{W_i^*\, U_i^*\, V_i^*\}$ и получен критерий, при котором мелкие детали будут различаться наблюдателем на фоне помех.

Критерий получен в следующем виде:

$$\Delta\bar{K} \geq 3\sqrt{(\bar{\sigma}_{W^*})^2 + (\bar{\sigma}_{U^*})^2 + (\bar{\sigma}_{V^*})^2}, \qquad (2)$$

где $\Delta\bar{K}$ – нормированное значение контраста (1) блока изображения с мелкими деталями; $\bar{\sigma}_{W^*}$,$\bar{\sigma}_{U^*}$,$\bar{\sigma}_{V^*}$ - нормированные к порогам зрения среднеквадратичные отклонения шума.

Определим критерий, при котором шумы в изображении будут не заметны или малозаметны для глаза при наблюдении мелких деталей с самым низким контрастом $\Delta\bar{K} \approx 1$:

$$\bar{\sigma}_{\Sigma} = \sqrt{(\bar{\sigma}_{W^*})^2 + (\bar{\sigma}_{U^*})^2 + (\bar{\sigma}_{V^*})^2} \le 1/3, \quad (3)$$

где $\bar{\sigma}_{\Sigma}$ – суммарное значение шума, вычисленное по всем блокам изображения с мелкими деталями. Значения среднеквадратичных отклонений, например по яркости, вычисляются как

$$\bar{\sigma}_{W^*} = \max_M \left(\frac{1}{W^*_{th} \cdot N} \sum_{i=0}^{N-1} \left| W^*_{j,i} - \tilde{W}^*_{j,i} \right| \right), \quad (4)$$

где $N = 3\times3$ – число элементов в блоке; $j = 1...M$ и M – число блоков. Аналогично (4) вычисляются значения $\bar{\sigma}_{U^*}$ и $\bar{\sigma}_{V^*}$.

Таким образом, для оценки зашумленности мелких деталей изображения необходимо выполнить их поиск и оценить суммарное значение шума $\bar{\sigma}_{\Sigma}$ по критерию (3). Если условие (3) выполняется, принимается решение о том, что изменения контраста мелких деталей не заметны для глаза и наличие шума не ухудшает визуального качества распознавания изображения.

Основные отличия разработанного критерия от стандартного критерия PSNR заключаются в следующем. Во-первых, в новом алгоритме анализ искажений выполняется не по всей площади изображения, а только по фрагментам, которые содержат мелкие детали. Во-вторых, среднеквадратичное различие между исходным и зашумленным изображениями определяется величиной $\bar{\sigma}_{\Sigma}$, которая оценивается числом нормированных порогов зрения. Следовательно, критерий (13) является более объективным, т.к. учитывает особенности зрительного восприятия искажений контраста мелких деталей изображения.

С целью исследования эффективности распознавания мелких деталей зашумленных изображений авторами разработан компьютерный анализатор. В качестве моделей аддитивного шума выбраны: а) флуктуационный гауссовый шум; б) импульсный шум.

В табл. 1 приведены экспериментальные зависимости $\bar{\sigma}_{\Sigma}$ и PSNR (в децибелах) от среднеквадратичного значения шума (σ) для тестового изображения (рис. 1). При этом среднеквадратичное значение (σ) гауссова шума задавалось в процентном отношении к максимальной амплитуде (A) сигнала в предположении, что шумы в сигналах примерно одинаковы ($\sigma \approx \sigma_R \approx \sigma_G \approx \sigma_B$). В табл. 2 приведены экспериментальные зависимости $\bar{\sigma}_{\Sigma}$ и PSNR от вероятности ошибки ($P_{\text{ош}}$) передачи цифровых сигналов изображения. При моделировании импульсного шума значение вероятности ошибки ($P_{\text{ош}}$) задавалась отношением количества искаженных байтов к общему количеству байтов цифрового изображения. На рис. 1 показаны примеры тестового изображения с различным уровнем импульсных помех.

Таблица 1

Зависимости $\bar{\sigma}_{\Sigma}$ и PSNR от σ

σ %	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
$\bar{\sigma}_{\Sigma}$	0,08	0,13	0,19	0,29	0,43
PSNR	46,67	43,96	42,27	41,03	39,32

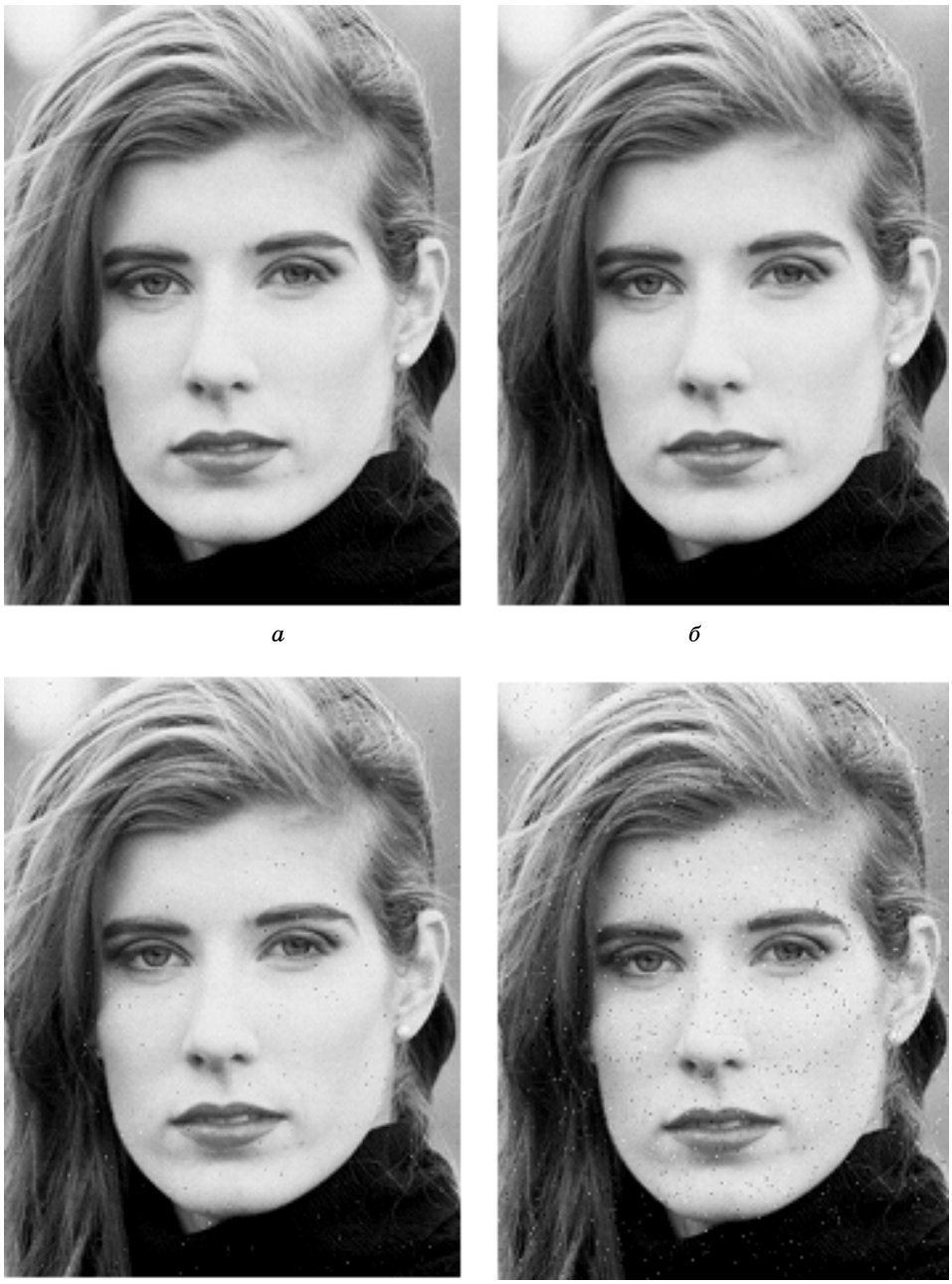
Таблица 2

Зависимости $\bar{\sigma}_{\Sigma}$ и PSNR от $P_{\text{ош}}$

$P_{\text{ош}}$	$5\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-2}$
$\bar{\sigma}_{\Sigma}$	0,24	0,30	0,43	0,58	0,72
PSNR	64,82	61,78	54,48	51,03	43,98

Экспериментальные исследования качества распознавания зашумленных изображений показали, что оценка по критерию PSNR дает разные результаты для флуктуационных и импульсных помех. В частности, по данным табл. 1 и 2, а также по результатам субъективных оценок следует, что «хорошее» качество изображений обеспечивается: для гауссова шума при значении PSNR>40 дБ, а для импульсного шума при PSNR>60 дБ. Следовательно, критерий PSNR не является объективным при анализе качества изображений с разным типом помех. Разработанный критерий является более объективным и

дает адекватные результаты, сопоставимые с субъективными оценками независимо от вида шума, что подтверждается результатами экспериментальных исследований.



а *б*

в *г*

Рис. 1. Примеры изображения с импульсным шумом:
а – оригинальное изображение; *б* – $P_{ош}= 1\cdot10^{-3}$; *в* – $P_{ош}= 1\cdot10^{-2}$; *г* – $P_{ош}= 5\cdot10^{-2}$

Данная работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Литература

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.

2. Sai S.V. Search Algorithm and the Distortion Analysis of Fine Details of Real Images / S.V. Sai, N.Yu. Sorokin // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2009. – Vol. 19, № 2. – P. 257–261.

3. Sai S.V. Methods of the Definition Analysis of Fine Details of Images // Vision Systems: Applications, G. Obinata and A. Dutta, Eds. – Vienna: I-Tech Education and Publishing, 2007. – P. 279–296.

4. Новаковский С.В. Цвет в цветном телевидении. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.

Сай Сергей Владимирович
Д-р техн. наук, зав. каф. вычислительной техники
Тихоокеанского государственного университета (ТОГУ), г. Хабаровск
Тел.: (421-2) 22-43-78
Эл. почта: sai@evm.khstu.ru

Сорокин Николай Юрьевич
Канд. техн. наук, доцент каф. вычислительной техники ТОГУ
Тел.: (421-2) 22-43-53
Эл. почта: nus@mail.ru

Сай Илья Сергеевич
Аспирант каф. автоматики и системотехники ТОГУ
Тел.: (421-2) 22-43-53
Эл. почта: sai1111@rambler.ru

Sai S.V., Sai I.S., Sorokin N.Yu.

A recognition criterion of fine details in noisy images

An objective criterion of fine details recognition in noisy images in the normalized equal contrast color space is suggested. The results of comparison between the standard PSNR criterion and the developed one,for the case of noisy images quality estimation,are presented.
Keywords: image recognition, fine details, objective criterion.
