

УДК 681.325

С.С. Кривенко<sup>1,2</sup>, Н.Н. Пономаренко<sup>1</sup>, В.В. Лукин<sup>1</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского „ХАИ”, Харьков*<sup>2</sup> *ОАО «Укртелеком», Харьков*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ КАРТ ЛОКАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

*Предложен метод вычисления мер качества изображений с использованием карт локальной активности. Показано, что использование таких карт позволяет учитывать локально-активные и локально-пассивные участки с разными весовыми коэффициентами. Предложено для оценки эффективности методов фильтрации использовать карты локальной активности, построенные на основе относительной дисперсии. На примере пикового соотношения сигнал-шум продемонстрирована более высокая адекватность визуальному восприятию человека мер качества, вычисляемых на основе предложенного метода.*

*оптическое изображение, фильтрация, среднеквадратическое отклонение, визуальное восприятие, критерий качества*

### Введение

**Постановка проблемы.** Внедрение и широкое использование цифровой техники неразрывно связано с различными задачами обработки изображений. Самый большой класс изображений – это оптические изображения [1]. В зависимости от поставленных задач приходится применять различную обработку этих изображений. Одна из наиболее актуальных проблем – фильтрация изображений с целью устранения аддитивного шума. Для оценки фильтрации используют различные критерии (метрики) качества. При этом для фильтрации оптических изображений важно получать оценки визуального качества изображений, как можно более полно соответствующие визуальному восприятию человека. Однако, существующие меры качества, например, такая широко используемая мера качества, как пиковое соотношение сигнал шум (ПССШ), слабо соответствуют системе зрительного восприятия человека [2, 3], что обуславливает необходимость разработки новых, более эффективных мер качества.

**Анализ литературы.** Кроме ПССШ, для оценки качества обработанных изображений применяют различные метрики качества [1, 2]. Для оценки визуального качества изображений используют метрики, учитывающие психовизуальный аспект особенности зрения человека [2]. В [4] нами приводятся результаты сравнения различных метрик, как учитывающих, так и не учитывающих вышеуказанный аспект зрения. При этом в [4] отмечалось, что для ряда ситуаций все исследуемые меры качества показывали улучшение качества изображения в результате фильтрации, в то время как визуальное качество изображений явно уменьшалось. В [4] высказывалось предположение, что решить эту проблему

можно, если по-разному (например, с разными весами) учитывать при вычислении меры подобия однородные участки изображений и информативные участки, содержащие текстуры, границы и малоразмерные объекты.

**Цель исследования.** В данной работе мы предлагаем использовать карты локальной активности для определения веса каждого пикселя изображения при вычислении какой-либо меры качества. В параграфе 1 описывается предлагаемый метод вычисления меры качества изображений на примере ПССШ. Параграф 2 посвящен описанию экспериментальной части работы. И, наконец, в параграфе 3 осуществляется анализ полученных экспериментальных данных.

### 1. Предлагаемый метод вычисления меры качества изображения

В задаче оценки эффективности какого-либо метода фильтрации изображений исходными данными являются: истинное изображение, искаженное шумом изображение, параметры шума и отфильтрованное изображение. Параметры шума, в частности, дисперсию аддитивного Гауссовского шума  $\sigma^2$  мы предлагаем использовать для вычисления карты локальной активности, используя для этой цели искаженное шумом изображение. При этом для каждого пикселя изображения  $I_{ij}$  предварительно вычисляется значение локальной дисперсии в скользящем окне  $5 \times 5$  пикселей:

$$y_{rel}^2 = \frac{y_{loc}^2}{y^2},$$

где 
$$y_{loc}^2 = \frac{1}{25} \sum_{k=i-2}^{i+2} \sum_{l=j-2}^{j+2} (I_{kl} - \bar{I})^2,$$

$$\bar{I} = \frac{1}{25} \sum_{k=i-2}^{i+2} \sum_{l=j-2}^{j+2} I_{kl}.$$

Затем строится карта локальной активности, причем значение пикселя этой карты равно 255 для  $\sigma_{rel}^2 > T\gamma$  и 1 для  $\sigma_{rel}^2 \leq T\gamma$ . Нами рекомендуется использовать значение  $T\gamma=2$ , так как большинство однородных участков имеют  $\sigma_{rel}^2 < 1,5$  [5] и такое значение  $T\gamma$  позволяет надежно разделить участки изображения на локально-пассивные и локально-активные.

Полученную карту локальной активности можно использовать для задания различных весов локально-активным и локально-пассивным участкам изображения при вычислении меры подобия. Покажем, как это делается, на примере ПССШ.

Стандартный ПССШ вычисляется в соответствии с выражением:

$$\text{ПССШ} = 10 \lg(255^2 / \text{СКО}),$$

где СКО – среднеквадратическая ошибка, в свою очередь, вычисляющееся по формуле

$$\text{СКО} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I_{ij} - I_{ij}^e)^2},$$

$N, M$  – размеры изображения;  $I_{ij}^e$  – значение  $ij$ -го пикселя эталонного изображения;  $I_{ij}$  – значение пикселя искаженного изображения.

Взвешенное значение ПССШ будем вычислять в соответствии с выражением:

$$\begin{aligned} \text{ПССШ}_{\text{взв}} &= 10 \lg(255^2 / \text{СКО}_{\text{взв}}), \\ \text{СКО}_{\text{взв}} &= \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I_{ij} - I_{ij}^e)^2 \delta_{ij} / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \delta_{ij}}, \end{aligned}$$

где  $\delta_{ij} = K$ , если соответствующий пиксель карты локально-активных участков равен 255, и  $\delta_{ij} = 1$  в противном случае. Нами рекомендуется задавать значение  $K=4$ .

## 2. Эксперименты по оценке эффективности методов фильтрации

В экспериментах использовались стандартные текстовые изображения Baboon, Lena, Peppers, а также тестовое высокотекстурное изображение Grass, полученное нами с цифрового фотоаппарата при хорошем освещении (все в градациях серого, 8 бит на пиксель, 512×512 пикселей). Таким образом, были выбраны изображения с самыми разными характеристиками, отражающими все многообразие характеристик реальных оптических изображений.

Эксперимент состоял из нескольких этапов. На первом этапе производилось искусственное добавление пространственно-некоррелированной гауссовой аддитивной помехи с нулевым математическим

ожиданием и заданной дисперсией  $\sigma^2$ .

На втором этапе осуществлялась фильтрация зашумленных изображений. Из существующих методов фильтрации нами было выбрано 5 фильтров: обычный линейный усредняющий (ЛУФ), обычный медианный (МФ), модификация обычного сигма-фильтра (СФ) для аддитивных помех [6], вариант фильтра Ли (ФЛ) для аддитивных помех [7] и вариант фильтра на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП), также для аддитивных помех [8]. При этом размер скользящих окон для ЛУФ варьировался в пределах 3×3 пикселя, 5×5 пикселей; для МФ – 3×3 пикселя, 5×5 пикселей, 7×7 пикселей; СФ и ФЛ – 5×5 пикселей, 7×7 пикселей, 9×9 пикселей. Для ДКП-фильтра размер блока был задан 8×8 пикселей, использовалось полное перекрытие блоков, а размер порога выбирался равным  $p\sigma$ , где  $p$  – параметр, обычно равный 2,6 [8].

Такой выбор фильтров не является случайным [1], т.к. предложенные методики фильтрации обладают существенно различными свойствами.

Далее для отфильтрованных изображений вычислялись значения ПССШ и ПССШ<sub>взв</sub>.

## 3. Анализ экспериментальных данных

Ниже приведены некоторые наиболее интересные результаты проведенных экспериментов. Они представлены в виде исходных изображений, зашумленных изображений, отфильтрованных изображений и их карт локально-активных участков до фильтрации. В табличном виде (табл. 1) приведены количественные результаты наиболее показательных случаев.

Изображение BABOON (рис. 1) содержит несколько больших текстурных участков, расположенных справа и слева от глаз и чуть ниже носа. Это хорошо видно на карте локально-активных участков. Большинство фильтров имеют свойство сглаживать высокотекстурные области, что хорошо видно на рис. 1, в). Из-за этого обстоятельства ухудшается визуальное качество изображения. Однако при фильтрации изображения в целом ПССШ возрастает на 1,27 дБ. При расчете значения ПССШ<sub>взв</sub> (согласно карте локальной активности) результат получился несколько иной – ПССШ возросло на 0,58 дБ по отношению к зашумленному изображению, что более адекватно соответствует изображению, визуальное качество которого улучшилось незначительно.

Несколько иная ситуация наблюдается для изображения PEPPERS – при обработке изображения МФ ПССШ возрастает на 0,29 дБ, а взвешенное ПССШ визуально ухудшившегося изображения падает на 1,67 дБ. Это связано с тем, что МФ существенно искажает границы объектов, которые в данном случае определяют визуальное качество изображения в целом.

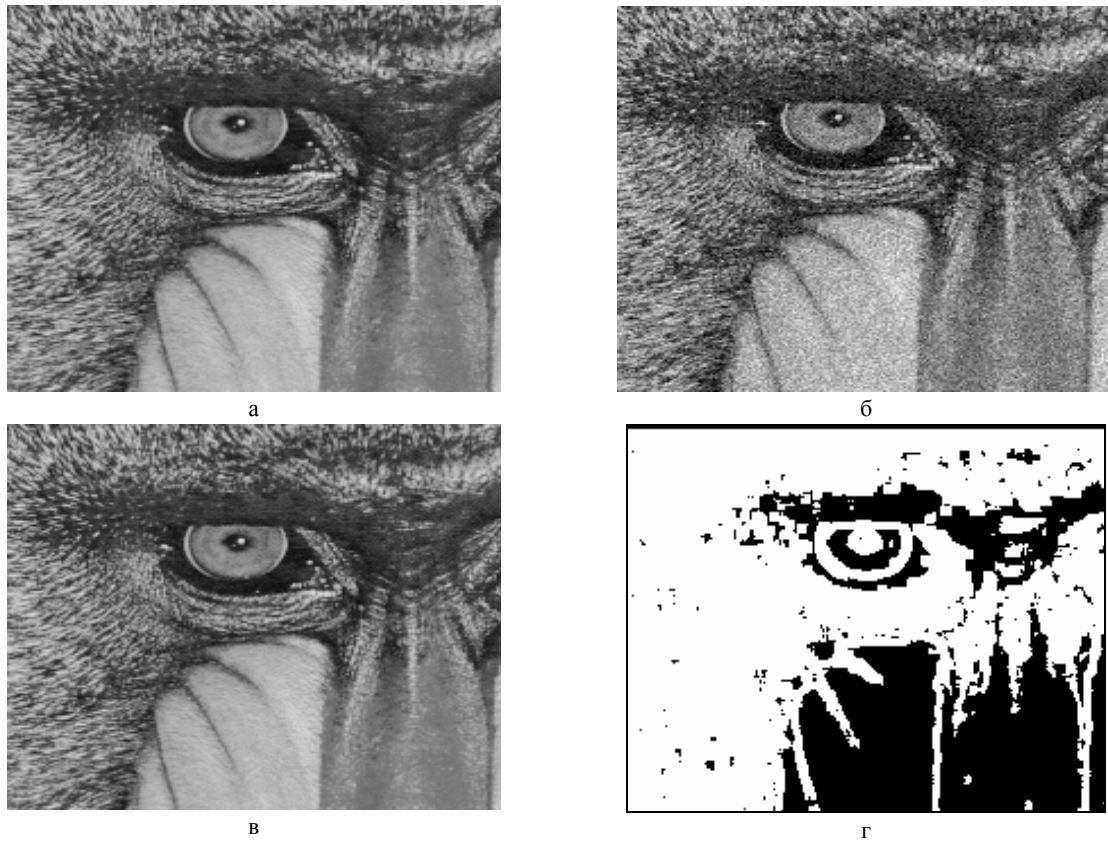


Рис. 1. Фрагмент изображения BABOON: а – истинное изображение; б – зашумленное,  $\sigma^2 = 100$ ; в – отфильтрованное СФ; г – карта локальной активности

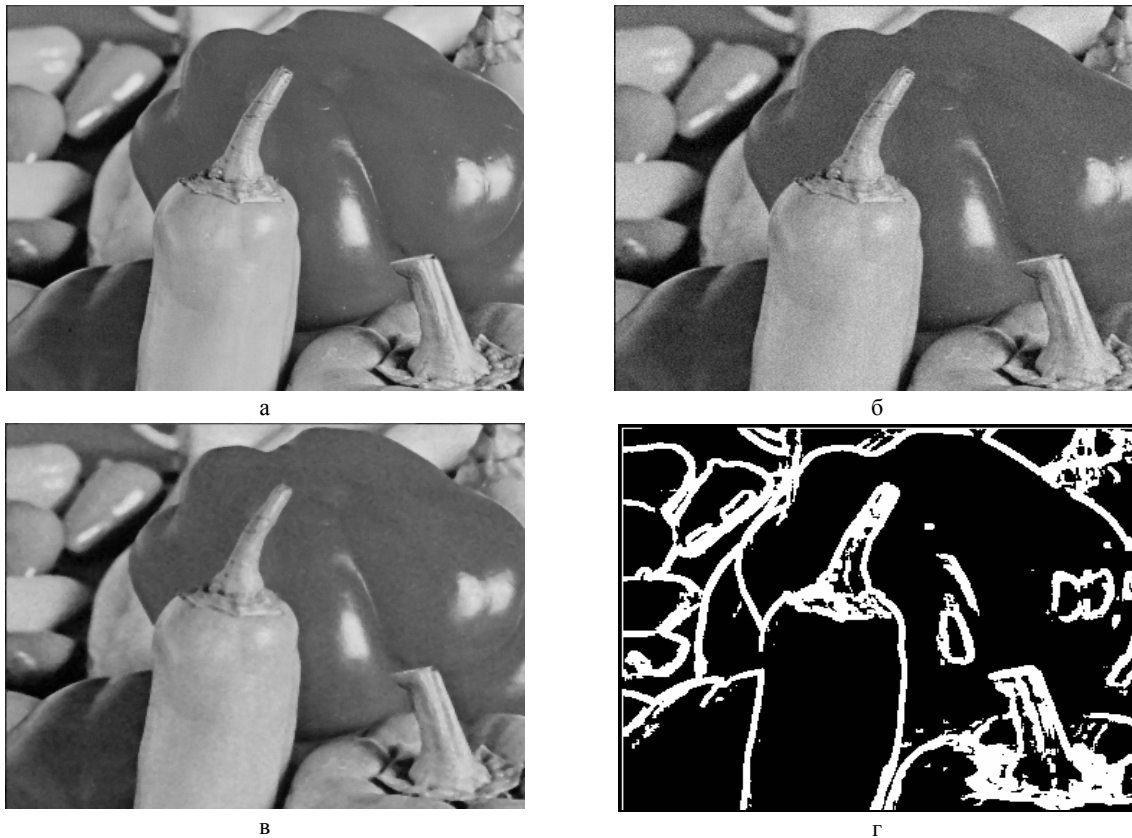


Рис. 2. Фрагмент изображения PEPPERS: а – истинное изображение; б – зашумленное,  $\sigma^2 = 50$ ; в – отфильтрованное МФ; г – карта локальной активности

Некоторые интересные результаты оценки эффективности фильтрации

Критерий / Изображение (фильтр, дисперсия шума)	ПССШ до фильтрации, дБ	ПССШ <sub>взв</sub> до фильтрации, дБ	ПССШ после фильтрации, дБ	ПССШ <sub>взв</sub> после фильтрации, дБ
BABOON (ФЛ, 200)	25,12	25,08	27,46	26,56
BABOON (СФ, 100)	28,12	28,10	29,39	28,70
LENA (ЛУФ, 100)	28,12	28,10	29,38	26,01
LENA (ЛУФ, 50)	31,14	31,11	32,96	30,45
PEPPERS (ФЛ, 200)	25,19	25,17	31,40	29,82
PEPPERS (МФ, 50)	31,18	31,16	31,47	29,49
GRASS (СФ, 400)	22,28	22,27	23,13	22,84
GRASS (ДКП, 100)	28,22	28,22	28,83	28,76

Анализируя результаты, приведенные в табл. 1, можно сделать несколько выводов. ЛУФ и МФ практически всегда приводят к ухудшению визуального качества изображения, что не всегда видно по значению ПССШ, но соответствует изменению ПССШ<sub>взв</sub>. Также можно заметить, что фильтр ДКП даже в самых сложных ситуациях при фильтрации высокотекстурных изображениях с относительно небольшими  $\sigma^2$ , как минимум, не приводит к ухудшению визуального качества обрабатываемого изображения.

### Выводы

Анализ результатов показал, что использование карт локальной активности для оценки эффективности фильтрации оптических изображений позволяет повысить адекватность полученных оценок системе визуального восприятия человека. В то же время целесообразным представляется проведение дополнительного исследования с целью количественной оценки этого повышения. Для этого можно использовать корреляцию полученных результатов с усредненными результатами для большой группы добровольцев, как это было сделано, например, в [2]. В этом же исследовании можно проанализировать эффективность использования карт локальной активности в сочетании с другими метриками. Целесообразным представляется также более подробное исследование вопроса выбора весового коэффициента  $K$  (значение 4, использование в данной работе, было выбрано эвристически).

Одним из других возможных направлений исследований является разработка методов вычисления карт локальной активности, не зависящих от априорного знания значения дисперсии шума. Это позволило бы применять предложенный метод в любых задачах оценки качества изображений.

### Список литературы

1. Furht B., Marques O. *The handbook of video databases: Design and Applications*. – CRC Press, 2003. – 1232 p.
2. Ponomarenko N., Silvestri F., Egiazarian K., Astola J., Carli M., Lukin V. *On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions // CD-ROM Proceedings of the Third International Workshop on Video Processing and Quality Metrics*. – Scottsdale, USA. – 2007. – 4 p.
3. Лукин В.В., Пономаренко Н.Н., Кривенко С.С. *Анализ эффективности методов сжатия изображений в соответствии с различными критериями качества // Радиоэлектроника и информатика*. – Х.: ХНУРЭ, 2007. – Вып. 2. – С. 85-90.
4. Лукин В.В., Пономаренко Н.Н., Кривенко С.С. *Оценка эффективности фильтрации оптических изображений с учетом их визуального восприятия // Системы обработки информации*. – Х.: ХУПС, 2007. – № 9(67). – С. 65-71.
5. Melnik V.P., Lukin V.V., Zelensky A.A., Astola J.T., Kuosmanen P. *Local Activity Indicators: Analysis and Application to Hard-Switching Adaptive Filtering of Images // Optical Engineering Journal*. – 2001. – No 8. – P. 1441-1455.
6. Lukin V.V., Zelensky A.A., Ponomarenko N.N., Kurekin A.A., Astola J.T., Koivisto P.T. *Modified Sigma Filter with Improved Noise Suppression Efficiency and Spike Removal Ability // Proceedings of the 6-th Intern. Workshop on Intelligent Signal Processing and Communication Systems*. – 1998. – P. 849-853.
7. Lee J.S. *Refined Filtering of Noise Using Local Statistics // Computer Graphics and Image Processing*. – 1983. – Vol. 24. – P. 259-269.
8. Lukin V.V., Oktem R., Ponomarenko N.N., Egiazarian K. *Image filtering based on discrete cosine transform // Telecommunications and Radio Engineering*. – Begell House (NY). – 2007. – Vol. 66 (18). – P. 1685-1701.

Поступила в редколлегию 14.12.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.А. Зеленский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.