УДК 004.932

МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КОНТРАСТА ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В.В. Беззубик, Н.Р. Белашенков, В.О. Никифоров

Предложен и обоснован новый метод количественной оценки контраста цифрового изображения на основе представления «центров масс». Приведены результаты сравнительного исследования устойчивости предложенного метода к влиянию пространственных шумов. Показано, что достоверность оценки контраста изображений может быть существенно повышена по сравнению с оценками, получаемыми известными методами. Сформулированы рекомендации по применению метода в оптико-электронных системах автофокусировки тепловизоров и цифровых микроскопов.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, контраст изображения, шумоподавление.

Введение

Одной из важнейших характеристик, определяющих качество изображения, является контраст. Многочисленные методы количественной оценки контраста, описанные в литературе [1–3], основаны, главным образом, на выделении высокочастотных составляющих пространственного спектра изображения и определении их относительного вклада в полный спектр. В оптико-электронных системах контраст получаемого изображения определяется качеством оптических систем, формирующих изображение на приемных площадках матричных фотоприемников, точностью позиционирования фотоприемников относительно плоскости наилучшей фокусировки и разнообразными помехами. Источниками этих помех могут служить неоднородности пространственной структуры фотоприемных устройств, их собственные шумы, шумы преобразователей и каналов связи. При этом оценка контраста изображения, реально формируемого на фотоприемнике, превращается в труднопреодолимую проблему, так как любые известные процедуры его расчета, основанные, например, на выделении контуров, дают завышенный результат, а применение методов шумоподавления неизбежно приводит к заметным искажениям частотного спектра изображения. В тепловизионных системах на основе микроболометрических матричных фотоприемников, в цифровых микроскопах, работающих в режимах наблюдения слабых сигналов при больших увеличениях (например, в люминесцентных микроскопах) отношение сигнал/шум может достигать неприемлемо низких значений. В оптико-электронных комплексах, включающих системы автоматической фокусировки, достоверная оценка контраста реального (не искаженного шумами) изображения лежит в основе точности работы этих комплексов. Таким образом, особую актуальность приобретают поиски методов количественной оценки контраста с максимальной устойчивостью к влиянию пространственных шумов.

Описание метода и эксперимент

Если рассматривать изображение, регистрируемое фотоэлектронным приемником, как суперпозицию сигнальной и шумовой составляющих, то можно сделать ряд предположений и сформулировать на их основе основной принцип количественной оценки контраста изображения, реально формируемого на фотоприемнике до его искажения шумами фотоэлектронных систем. Предположим, что вносимые в изображение шумы пространственно равномерны, а их спектры близки к однородному. Будем считать также, что пространственная плотность шума не превышает плотности сигнала. Если эти условия выполняются, то для произвольного зашумленного цифрового изображения можно определить количественную меру контраста непосредственно без применения предварительной фильтрации, в значительной степени уменьшив вклад шумов в полученный результат.

Рассмотрим цифровое изображение размером $M \times N$ и для каждого его пикселя с координатами (i, j) и яркостью $I^{i,j}$ определим симметричную окрестность $m \times n$, где величины m и n являются нечетными и принимают значения больше 1. Далее рассчитаем величину

$$CM = \sum_{i=(m-1)/2}^{M-(m-1)/2} \sum_{j=(n-1)/2}^{N-(n-1)/2} \sqrt{\left(X_c^{i,j}\right)^2 + \left(Y_c^{i,j}\right)^2},$$

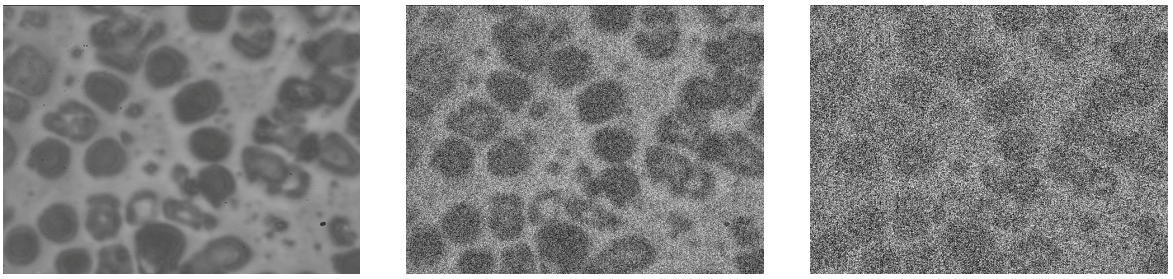
где

$$X_c^{i,j} = \sum_{p=(1-m)/2}^{p=(m-1)/2} \sum_{q=(1-n)/2}^{q=(n-1)/2} p \cdot I^{i+p,j+q} \Bigg/ \sum_{p=(1-m)/2}^{p=(m-1)/2} \sum_{q=(1-n)/2}^{q=(n-1)/2} I^{i+p,j+q},$$

$$Y_c^{i,j} = \sum_{p=(1-m)/2}^{p=(m-1)/2} \sum_{q=(1-n)/2}^{q=(n-1)/2} q \cdot I^{i+p,j+q} \Bigg/ \sum_{p=(1-m)/2}^{p=(m-1)/2} \sum_{q=(1-n)/2}^{q=(n-1)/2} I^{j+p,i+q},$$

значение которой имеет смысл суммы отклонений «центра масс» яркостей окрестности каждого пикселя от ее геометрического центра.

На примере произвольного монохромного изображения клеточной структуры биологического препарата, полученного на цифровом микроскопе при большом увеличении, исследуем зависимости количественной оценки контраста от вклада добавленного шума. На рис. 1, а–в, представлены изображения без шума (а), а также с добавлением 50% (б) и 100% (в) однородного шума, рассчитанного от среднего уровня неискаженного сигнала.



(а) (б) (в)

Рис. 1. Изображение биологического препарата: в исходном виде (а), с добавлением 50% (б) и 100% (в) однородного шума

На рис. 2 приведены нормированные зависимости расчетной величины *CM* при $m=n=3$ (кривая 1), $m=n=5$ (кривая 2) и $m=n=7$ (кривая 3) от вклада добавленного шума. На том же рисунке для сравнения представлены зависимости оценок контраста изображения, полученных известными и широко применяемыми на практике методами выделения контуров с использованием операторов Робертса (кривая 4),

$$R = \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \left| I^{i,j} - I^{i+1,j+1} \right| + \left| I^{i,j+1} - I^{i+1,j} \right|,$$

и Собеля (кривая 5)

$$S = \sum_{i=2}^{M-1} \sum_{j=2}^{N-1} \sqrt{\left(G_x^{i,j}\right)^2 + \left(G_y^{i,j}\right)^2},$$

где

$$G_x^{i,j} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I^{i-1,j-1} & I^{i,j-1} & I^{i+1,j-1} \\ I^{i-1,j} & I^{i,j} & I^{i+1,j} \\ I^{i-1,j+1} & I^{i,j+1} & I^{i+1,j+1} \end{bmatrix},$$

$$G_y^{i,j} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I^{i-1,j-1} & I^{i,j-1} & I^{i+1,j-1} \\ I^{i-1,j} & I^{i,j} & I^{i+1,j} \\ I^{i-1,j+1} & I^{i,j+1} & I^{i+1,j+1} \end{bmatrix}.$$

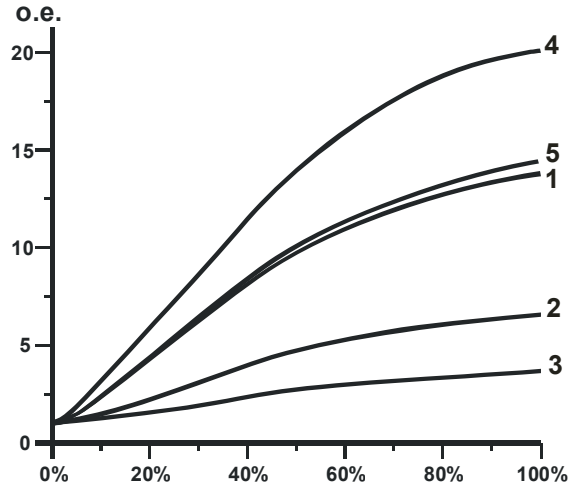


Рис. 2. Зависимости нормированного контраста изображения от вклада добавленного однородного шума, рассчитанные предлагаемым методом с матрицей *3x3* (1), *5x5* (2), *7x7* (3); методами Робертса (4) и Собеля (5)

Результаты и обсуждение

Из рис. 2 видно, что метод «центров масс» (кривые 1–3) обеспечивает существенное снижение чувствительности определения меры контраста изображения к шумам по сравнению с известными методами (кривые 4, 5) в широком диапазоне вкладов добавленного шума. При этом метод, основанный на использовании результатов вычислений в окрестностях размером 3×3 пикселей (кривая 1), не уступает методу Собеля (кривая 5), хотя и весьма близок к нему. Это не удивительно, так как метод Собеля использует матричное преобразование яркостей пикселей изображения того же размера. Переход к вычислениям смещения «центров масс» в окрестностях размером 5×5 пикселей (кривая 2) более чем вдвое уменьшает чувствительность к шумам. Увеличение размеров окрестности до 7×7 пикселей (кривая 3) приводит к дальнейшему улучшению результата. Принимая во внимание, что время вычислений меры контраста возрастает пропорционально квадрату размера выбранной окрестности, в прикладных задачах реального времени разумно считать оптимальным размер окрестности, равный 5×5 пикселей.

Для идеального метода количественной оценки контраста цифрового изображения кривая зависимости на рис.2 должна быть параллельной оси абсцисс. Такой характер зависимости означает, что добавление шумов к изображению не изменяет результат вычисления его контраста. В идеальном случае точность работы автоматизированных систем управления, использующих величину контраста изображения в качестве управляющего сигнала (например, системы автофокусировки), не подвержена влиянию шумов фотоэлектронного тракта.

Предложенный метод оценки контраста был апробирован на цифровых изображениях, полученных на различных приборах с различным исходным качеством. При этом было установлено, что ход зависимостей, аналогичных представленным на рис. 2, на этих изображениях качественно совпадает. В тех случаях, когда пространственный спектр исходного изображения содержал значительную долю высокочастотных компонент, даже незначительное добавление шума существенно снижало достоверность количественной оценки контраста исходного изображения всеми без исключения методами. Для размытых, малоконтрастных изображений наблюдалась строго обратная картина.

Результаты исследований всех рассмотренных в работе изображений дают возможность сформулировать на первый взгляд парадоксальный вывод: чем ниже контраст исходного изображения, тем больший выигрыш по достоверности его количественной оценки при наличии пространственных шумов может быть достигнут за счет применения нового метода. При оценке высококачественных контрастных изображений метод «центров масс» работает, по крайней мере, не хуже известных методов.

Заключение

Ранее подход к анализу изображения с использованием понятия «центров масс» был применен в работе [4] для создания модели фона в задачах детекции движения. Применение этого подхода для количественной оценки контраста изображения в настоящей работе сформулировано впервые. Предложенный метод может быть положен в основу алгоритмов автофокусировки оптико-цифровых комплексов на базе тепловизионных матричных фотоприемников и цифровых микроскопов [5], так как именно в этих комплексах формируемое изображение может существенно отличаться от регистрируемого из-за наличия шумовых составляющих.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Bueno-Ibarra M.A., Alvarez-Borrego J., Acho L., Chavez-Sanchez M.C. Fast autofocus algorithm for automated microscopes // Optical Engineering. – 2005. – V. 44. – № 6. – 063601.
2. Вудс Р., Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
3. Жирков В.Ф., Новиков К.В., Сушкова Л.Т. Проблема автоматической фокусировки видеомикроскопа при сканировании цитологических препаратов // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2000. – № 6. – С.55–60.
4. Oral M., Deniz U. Centre of mass model – A novel approach to background modelling for segmentation of moving objects // Image and Vision Computing. – 2007. – V. 25. – P. 1365–1376.
5. Беззубик В.В., Белашенков Н.Р., Устинов С.Н. Оптимизация алгоритмов автофокусировки цифрового микроскопа // Оптический журнал. – 2009. – Т.76. – № 10. – С. 16–22.

Беззубик Виталий Вениаминович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, научный сотрудник, bezzubik@mail.ru

Белашенков Николай Романович – ОАО «ЛОМО», помощник технического директора, кандидат физ.-мат. наук, belashenkov@gmail.com

Никифоров Владимир Олегович – ОАО «ЛОМО», доктор технических наук, профессор, технический директор, nikiforov@mail.ifmo.ru