

УДК 004.93

БЕЗЭТАЛОННЫЙ ИНТЕГРАЛЬНО-МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Сычев А.С., магистрант кафедры РТС РГПТУ; alekseisichev2203@gmail.com;

Холопов И.С., к.т.н., доцент кафедры РТС РГПТУ; kholopov.i.s@rsreu.ru.

NO-REFERENCE INTEGRATED-MULTIPLICATIVE QUALITY INDEX FOR DIGITAL GRAYSCALE IMAGES

Sychev A.S., Kholopov I.S.

The aim of the work is the development of a no-reference integrated-multiplicative normalized quality index of digital grayscale images for evaluating the efficiency of algorithms for improving vision and selecting channels for fusion of images from different sensors. The introduced index operates with estimates of the average brightness, standard deviation of the high-frequency components brightness, standard deviation of noise, mean values of the local contrasts of analyzed image and local contrasts of its low-frequency component. The results of the semi-real experiment showed that, unlike the known integral quality index, the proposed integral-multiplicative index for images decreases rather than increases with a high power of additive white noise.

Key words: no-reference quality index, integral quality index, brightness, standard deviation, histogram, contrast, brightness levels, entropy.

Ключевые слова: безэталонный критерий качества, интегральный показатель качества, яркость, среднеквадратическое отклонение, гистограмма, контраст, уровни яркости, энтропия.

Введение

В различных информационных системах применяется представление результатов обработки данных в виде изображения, выводимого на устройство отображения для использования наблюдателем (человеком-оператором) – визуализация. Выводимому изображению при этом желательно обеспечить такие качества, благодаря которым его восприятие человеком было бы по возможности комфортным, усилив информативные особенности наблюдаемой сцены с целью улучшения ее восприятия [1]. Под сценой понимают все объекты, попадающие в кадр фото- и/или видеокамеры [2].

Субъективность восприятия качества изображений затрудняет разработку формализованного критерия для его количественной оценки. Поэтому при обработке изображений с целью их визуализации получили распространение методы, в которых часто отсутствуют строгие математические критерии оптимальности: их заменяют качественные представления о целесообразности тех или иных преобразований, опирающиеся на субъективные оценки результата [1].

Качество изображения зависит от ряда факторов [2]:

- освещенности и контрастности сцены,
- смаза изображения в результате движения камеры или объекта съемки,
- глубины резкости,
- разрядности квантования зарегистрированного сигнала,
- способа кодирования и степени сжатия при записи в файл.

Цель работы – разработка безэталонного интегрально-мультипликативного нормированного показателя качества цифровых полутоновых изображений для оценки эффективности работы алгоритмов улучшения видения и выбора каналов при комплексировании информации от разносектральных сенсоров. Введенный показатель оперирует оценками средней яркости, среднеквадратического отклонения яркости высокочастотных компонент и шума, а также средними значениями локальных контрастов анализируемого кадра и его низкочастотной составляющей. Результаты полунатурного эксперимента показали, что в отличие от известного интегрального показателя качества предложенный интегрально-мультипликативный показатель для изображений с высокой мощностью аддитивного белого шума снижается, а не повышается.

Численные оценки показателей качества цифровых полутоновых изображений, помимо собственно ранжирования, могут применяться для выбора алгоритмов и параметров преобразований, ориентированных на улучшение визуализации изображений [3, 4], а также выбора наиболее информативных каналов в разносектральных системах улучшенного видения [5, 6].

Меры оценки качества цифровых изображений

Показатели качества изображений можно условно разделить на два класса [2]:

- меры сравнения с эталоном, в которых одно изображение X считается эталонным, а второе Y – преобразованным;
- безэталонные меры, оперирующие статистиками только текущего анализируемого изображения.

К мерам первого класса относят:

- пиковое отношение сигнал-шум (ПОСШ),

$$q_{\text{п}} = 20 \log(L_{\text{max}} / \sigma_{\text{ш}}),$$

где L_{max} – максимальное значение яркости, $\sigma_{\text{ш}}$ – сред-

неквадратическое отклонение (СКО) шума,

$$\sigma_{ш} = \left[\frac{1}{WH} \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H (Y(i, j) - X(i, j))^2 \right]^{0.5},$$

Y – изображение с аддитивным белым гауссовским шумом (БГШ) с нулевым математическим ожиданием, W и H – ширина и высота изображения;

- норму Минковского,
- меру структурного подобия SSIM [7],
- статистику Пьеллы [8].

Меры сравнения с эталоном применимы при анализе алгоритмов сжатия изображений и их искусственного искажения при имитационном моделировании, поскольку в обоих случаях имеется исходное изображение-оригинал (эталон).

Во многих практических приложениях эталонное изображение отсутствует: например, в обзорных оптико-электронных системах необходимо выполнить преобразование для улучшения визуализации зафиксированного камерой изображения и сразу вывести его на устройство отображения. В этом случае количественными показателями качества изображения могут выступать [9]:

- 1) средняя яркость

$$\bar{L} = \sum_{i=0}^{255} ih(i) \quad (1)$$

- 2) СКО яркости по полю изображения

$$\sigma = \sum_{i=0}^{255} (i - \bar{L})^2 h(i), \quad (2)$$

- 3) нормированный контраст L_{cp}

где L_{\min} и L_{\max} – соответственно минимальное и максимальное значения яркости изображения, $L_m = 2^8 - 1 = 255$ – максимально возможная яркость полутонового восьмибитного изображения;

- 4) количество информационных уровней яркости

$$N_x = \sum_{i=0}^{255} \delta(i), \quad \delta(i) = \begin{cases} 1, & h(i) > 0, \\ 0, & h(i) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

- 5) энтропия

$$\varepsilon = - \sum_{i=0}^{255} \log_2 [h(i)] h(i) \quad (5)$$

и другие [2, 10]. Показатели (1) – (5) могут быть оценены по гистограмме изображения h , где $h(i)$ – значения гистограммы, соответствующие уровню яркости i .

Под нормированным контрастом изображения могут также пониматься:

- 1) контраст Вебера (Вебера-Фехнера)

$$K_{nW} = |L_o - L_\phi| / L_\phi,$$

где L_o и L_ϕ – яркости объекта и фона, на котором объект наблюдается;

- 2) контраст Михельсона [11]

$$K_{nM} = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min}), \quad (6)$$

где L_{\min} и L_{\max} – минимальное и максимальное значения яркости изображения;

- 3) контраст Воробеля [12]

$$K_{nV} = \frac{\sum_{i=0}^{255} h(i) |2L_i + L_m - |2L_i - L_m||}{2L_m}, \quad (7)$$

где $L_i = i - \bar{L}$.

В то же время оценка визуального качества изображения по отдельным мерам не является объективной. Так, в [13] отмечается, что ПОСШ при оценке качества изображений может давать отклонения, выявляемые при субъективной оценке изображения, поскольку не учитывает особенностей визуального восприятия. В [9] также делается заключение, что отношение сигнал/шум, кроме наличия ярко выраженного структурного шума, слабо влияет на визуальное восприятие изображений за счет реализуемой человеческим глазом низкочастотной фильтрации. Авторы [14] отмечают, что СКО яркости может слабо меняться при существенном ухудшении субъективно воспринимаемого качества при сжатии изображения, так как, наряду с ПОСШ, не соответствует системе визуального восприятия человека, и потому не может являться объективным критерием качества. Увеличение энтропии реального изображения не всегда эквивалентно увеличению его информативности [15], так как может быть вызвано, например, увеличением СКО шума и не учитывает пространственных зависимостей яркости элементов изображения и особенностей их зрительного восприятия.

По этим причинам целесообразно при оценке визуального качества оперировать комплексными критериями.

Комплексные безэталонные критерии качества цифровых полутоновых изображений

Комплексные критерии качества формируют единственный (как правило, нормированный на интервале [0, 1]) показатель качества Q из n частных показателей α_i , $i = 1..n$, и могут представлять собой их произведение (мультипликативный показатель качества, МПК)

$$Q = w_n \prod_{i=1}^n \alpha_i,$$

либо весовую сумму (интегральный показатель качества, ИПК)

$$Q = \sum_{i=1}^n w_i \alpha_i,$$

где нормирующий множитель w_n приводит Q к диапазону [0, 1], а для весовых коэффициентов w_i справедливо

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Примером МПК является эмпирический критерий качества Воробеля [12]:

$$Q_V = w_n L_Q K_Q R_Q K_{nV},$$

где w_n – весовой коэффициент, нормирующий Q_V , $Q_V \in [0, 1]$, L_Q – оценка уровня адаптации зрительной системы,

$$L_Q = 1 - \frac{\bar{L} - L_m / 2}{L_m / 2}; \quad (8)$$

K_Q – полнота градаций яркости,

$$K_Q = S / L_m,$$

где S – количество уровней яркостей, для каждого из которых на изображении присутствует не менее чем b_{WH} количество пикселей с данной яркостью, b – некоторая константа; R_Q – резкость изображения RO [16], нормированная к максимальной яркости:

$$R_Q = RO / L_{max},$$

K_{NV} – контраст Воробеля (7).

В [12, 16] приводится формула для вычисления резкости непрерывной функции яркости $f(x)$:

$$RO = \frac{\int_a^b \left(\frac{df}{dx}\right)^2 dx}{f(a) - f(b)},$$

где a и b – точки, которые расположены на противоположных краях перепада яркости.

Для цифрового изображения вычисление второй производной яркости реализуется с помощью лапласиана [17] с маской

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \text{ или } \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Недостатком МПК Воробеля является равный вес всех входящих в него частных показателей и близость к нулю Q_V даже при величине каждого показателя качества около 0,5 (действительно, неравенство $Q_V < 0,1$ выполняется уже при $L_Q = K_Q = R_Q = K_{NV} < 0,5$).

В работе [9] проблема выбора весов пяти частных показателей (1) – (5) решена предварительным их разбиением на три группы с убывающим приоритетом (математическое ожидание и СКО яркости, контраст, количество градаций яркости и энтропия) и последующим применением метода экспертных оценок и критерия Фишберна. В результате в [9] получено следующее эмпирическое выражение для ИПК:

$$Q_{ИПК} = 0,33L_n + 0,27s_n + 0,2K_n + 0,13N_n + 0,07\varepsilon_n, \quad (9)$$

где K_n – нормированный контраст (3), а L_n , s_n , N_n и ε_n – соответственно нормированные средняя яркость, СКО, количество уровней и энтропия:

$$L_n = \begin{cases} \bar{L} / 128, \bar{L} \leq 107, \\ (255 - \bar{L}) / 128, \bar{L} > 147, \\ 1, \bar{L} \in (107...147), \end{cases} \quad (10)$$

$$N_n = N_n / 255, \quad (11)$$

$$\varepsilon_n = \varepsilon / 8, \quad (12)$$

$$\sigma_n = \begin{cases} \sigma / 50, \sigma \leq 50, \\ (100 - \sigma) / 50, 50 < \sigma \leq 100, \\ 0, \sigma > 100. \end{cases} \quad (13)$$

ИПК применяется в работах [3, 4, 9] для оценки качества результатов работы алгоритмов улучшения видения.

Модифицированный интегрально-мультипликативный показатель качества полутонных изображений

Значения ИПК при анализе изображений с низким уровнем шума в целом совпадают с субъективными

оценками их качества. Однако в случае увеличения СКО шума на изображении статистика (9) стремится к значениям 0,9...1 независимо от сюжета сцены, так как шум увеличивает все входящие в неё частные показатели. В частности, для аддитивной смеси белого гауссовского шума (БГШ) с нулевым математическим ожиданием и СКО $\sigma = 50$ и серого фона с яркостью $L = 128$, не несущих никакой информации, выполняется $Q_{ИПК} = 1$.

Вторым недостатком ИПК является то, что оценка СКО (2) является показателем резкости изображения только в том случае, если форма его гистограммы хорошо аппроксимируется гауссовской кривой.

Также к недостаткам ИПК можно отнести разрыв функции $L_n(\bar{L})$ (10) в точках $\bar{L} = 107$ и $\bar{L} = 147$ и статистическую зависимость частных показателей N_n и ε_n (с ростом количества уровней яркости будет увеличиваться и энтропия).

Авторы предлагают оценивать качество полутонных изображений по частным показателям, для которых можно минимизировать влияние шума сенсора. Для этого принимаются следующие гипотезы:

1) шум сенсора описывается математической моделью аддитивного БГШ с нулевым математическим ожиданием;

2) формат изображений – полутонные с глубиной цвета 8 бит.

При принятии данных гипотез вводится интегрально-мультипликативный показатель качества (ИМПК), который записывается в виде:

$$Q_{ИМПК} = L_Q (w_1 w(q) \sigma_{ВЧн}^* + w_2 K_{лок}^* + w_3 K_{локИЧ}^*) \quad (14)$$

Частные показатели в (14) рассчитываются следующим образом.

СКО высокочастотной составляющей $\sigma_{ВЧ}$ оценивается по разности исходного изображения и оценки фоновой составляющей, полученной путем свертки с весовой функцией окна большой апертуры, после чего корректируется с учётом оценки СКО собственного шума $\sigma_{ш}$:

$$\sigma_{ВЧ}^* = \begin{cases} (\sigma_{ВЧ}^2 - \sigma_{ш}^2)^{0,5}, \sigma_{ВЧ} > \sigma_{ш}, \\ 0, \sigma_{ВЧ} < \sigma_{ш}. \end{cases}$$

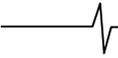
Для оценки яркости фоновой составляющей в работе применяется процедура быстрого сглаживания исходного изображения ВОХ-фильтром [18] с апертурой 128×128 .

Для вычисления нормированного показателя $\sigma_{ВЧн}^*$ по аналогии с [9] применяется формула (13), где в качестве σ подставляются $\sigma_{ВЧ}^*$.

СКО шума $\sigma_{ш}$ оценивается по минимуму локального СКО в секторах $N \times N$ пикселей и умножается на поправочный коэффициент $w_{ш}$:

$$\sigma_{ш} = w_{ш} \min_{i,j} \{ \sigma_{лок ij} \} \quad (15)$$

где $i = 1, 2, \dots, W/N, j = 1, 2, \dots, H/N$. При вычислении (15) из двумерного массива олок ij для предотвращения формирования заниженного значения СКО $\sigma_{ш}$ исклю-



чаются локальные оценки $s_{локij}$, не удовлетворяющие одному из условий:

$$2,5s_{локij} < m_{локij} < L_m - 2,5s_{локij},$$

$$m_{локij} \neq 0, \quad m_{локij} \neq L_m.$$

где $m_{локij}$ – локальное математическое ожидание яркости, $L_{пор1}$, $L_{пор2}$ – соответственно нижний и верхний пороги яркости. Необходимость введения дополнительных условий продиктована ограниченным диапазоном значений яркости сенсоров с глубиной цвета 8 бит: от 0 до L_m .

В работе оценка $\sigma_{ш}$ выполнялась в секторах 16×16 пикселей с $w_{ш} = 1,2$, а пороги яркости $L_{пор1}$, и $L_{пор2}$ были заданы как 0,1 и 0,9 от L_{max} .

Весовой коэффициент $w(q)$, зависящий от глобального отношения сигнал-шум (ОСШ) $q = \sigma_{ВЧ}^* / \sigma_{ш}$, учитывает степень искажения шумом малоразмерных деталей изображения. В работе он задан монотонно возрастающей сигмоидальной функцией:

$$w(q) = 1 - \exp(-0,2q^2).$$

Среднее значение локального контраста $\overline{K_{лок}}$ определяется по аналогии с [19]:

$$\overline{K_{лок}} = \overline{LC_{ij}}, \quad (16)$$

где $\overline{LC_{ij}}$ – значение локального контраста, вычисляемое по формуле (3), в секторе с номером ij размером $N \times N$ пикселей, $i = 1, 2, \dots, W/N, j = 1, 2, \dots, H/N$.

При расчете $\overline{LC_{ij}}$ локальные контрасты $LC_{ij} < LC_{пор}$ не учитываются (в работе [19] принят порог $LC_{пор} = 0,1$). При расчете $\overline{LC_{ij}}$ на изображениях от камер с широкоугольными объективами, для которых характерно виньетирование, также не учитываются секторы, расположенные вблизи границ кадра.

Для изображений с низким контрастом фона, но содержащих в то же время малоразмерные высококонтрастные объекты, (16) можно модифицировать:

$$\overline{K_{лок}} = \begin{cases} \max_{i,j} \{LC_{ij}\}, \max_{i,j} \{LC_{ij}\} < L_{пор}, \\ [LC_{ij} \max_{i,j} \{LC_{ij}\}]^{0,5}, \max_{i,j} \{LC_{ij}\} \geq L_{пор}. \end{cases} \quad (17)$$

Поскольку БГШ с нулевым математическим ожиданием увеличивает контраст (16) на $6\sigma_{ш} / L_m$, необходимо дополнительно выполнять коррекцию оценок локальных контрастов:

$$K_{лок}^* = LC_{ij}^*,$$

$$\text{где } LC_{ij}^* = LC_{ij} - 6\sigma_{ш} / L_m.$$

Известно [20], что пространственно-частотные характеристики глаза объясняются частично оптическими и частично нервными механизмами. Как оптический инструмент глаз имеет ограниченную разрешающую способность из-за конечных размеров апертуры линзы, оптических aberrаций и конечных размеров палочек и колбочек. Эти эффекты в модели одноцветного зрения

могут быть представлены фильтром нижних пространственных частот, поскольку наибольший вклад в частотную характеристику глаза вносит механизм латерального торможения [21]. Этим объясняется то, что даже при низких отношениях сигнал-шум наблюдатель хорошо различает протяженные объекты на изображении [9, 22]. По этой причине в ИМПК вводится средний контраст низкочастотной (НЧ) составляющей изображения $\overline{K_{локНЧ}}$, которую в свою очередь получают кратномасштабным разложением по базисным функциям Хаара [17]. Поскольку НЧ составляющая кратности M имеет в 2^M раз меньшие по сравнению с исходным изображением ширину и высоту, то локальный контраст LC_{ij} для подстановки в (16) или (17) оценивается только для соседних пикселей (по сектору 2×2 пикселя).

При $\sigma_{ВЧ}^* = 0$ собственный шум будет увеличивать локальный контраст НЧ составляющей кратномасштабного разложения. Преобразование Хаара кратности M уменьшит СКО шума в 2^M раз, а вычисление разности яркостей соседних пикселей для оценки контраста по (3) – увеличит в $\sqrt{2}$ раз. Предполагая также, что в секторе 2×2 пикселя максимальное значение разности числителя (3) не превысит $(4 \dots 5)\sigma_{ш}$, получим следующую приближенную формулу для $\overline{K_{локНЧ}}$ с учетом коррекции воздействия шума:

$$\overline{K_{локНЧ}}^* = \begin{cases} \overline{K_{локНЧ}}, \sigma_{ВЧ}^* > 0, \\ \overline{K_{локНЧ}} - \frac{(4 \dots 5)\sqrt{2}\sigma_{ш}}{255 \cdot 2^M}, \sigma_{ВЧ}^* = 0. \end{cases}$$

Для анализируемого в работе уровня кратномасштабного разложения $M = 3$ справедливо приближенное равенство:

$$\overline{K_{локНЧ}}^* \approx \begin{cases} \overline{K_{локНЧ}}, \sigma_{ВЧ}^* > 0, \\ \overline{K_{локНЧ}} - 0,003\sigma_{ш}, \sigma_{ВЧ}^* = 0. \end{cases}$$

Коэффициенты w_1 , w_2 и w_3 определяют вес частных показателей в ИМПК (14). При проведении экспериментов авторами приняты значения $w_1 = 0,5$, $w_2 = w_3 = 0,25$.

Принятие гипотезы об аддитивном характере БГШ ограничивает применение ИМПК к изображениям, полученным при малом ОСШ от сенсоров инфракрасного (ИК) диапазона длин волн. Для них характерен регулярный геометрический шум [23, 24], обусловленный неоднородным усилением сигнала в столбцах (строках) матрицы сенсора и образующий характерный рисунок, состоящий из темных или светлых вертикальных (горизонтальных) полос. ИМПК дает для таких изображений завышенную оценку качества из-за увеличения СКО $\sigma_{ВЧ}^*$. Завышенное значение ИМПК также характерно при анализе изображений, полученных в результате нелинейных преобразований яркости (например, Multiscale Retinex [25, 26]): для них оценка СКО шума по формуле (15) является заниженной.

Результаты полунатурных экспериментов

Одной из областей применения безэталонных показателей качества является динамический выбор того

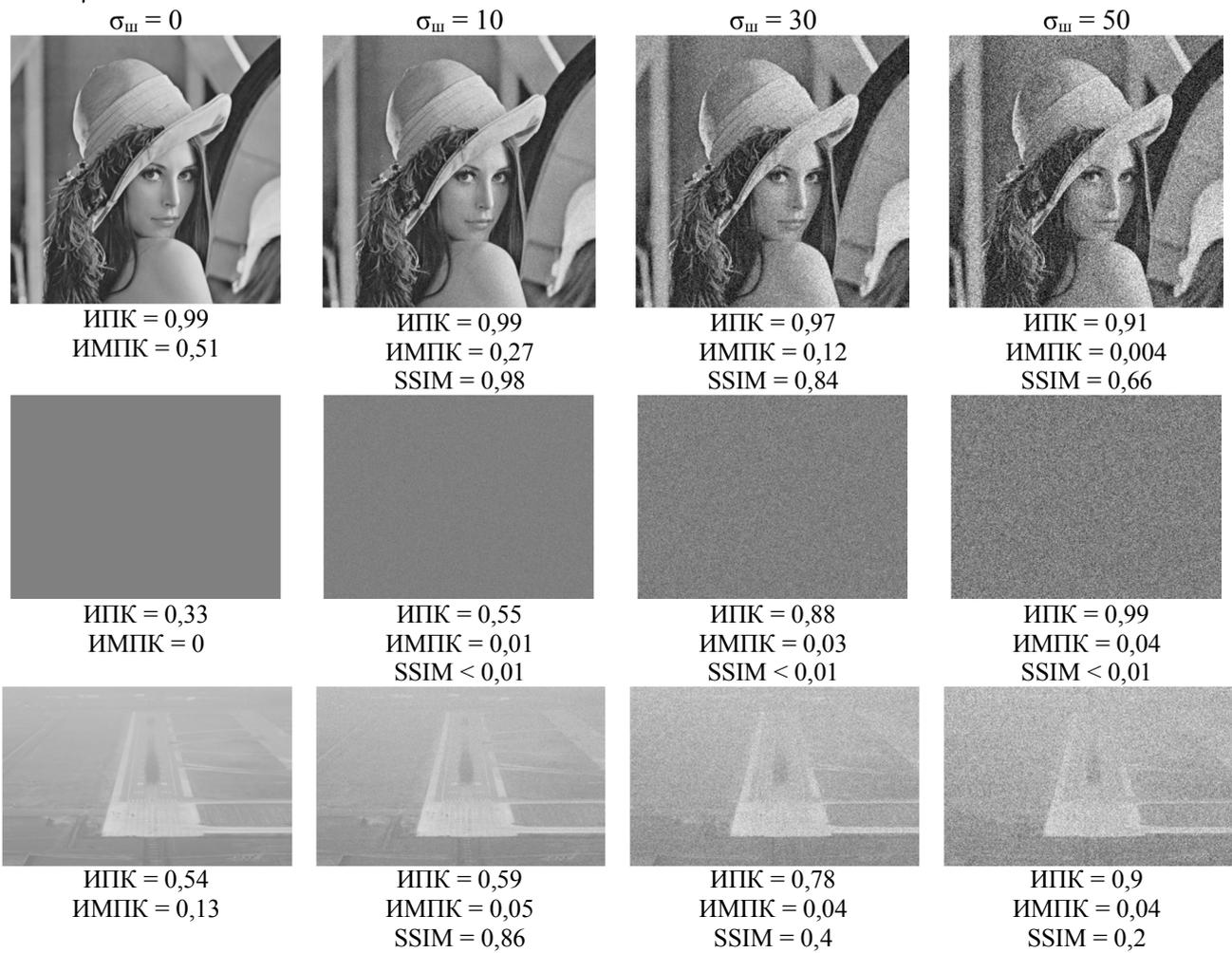


Рис. 1.

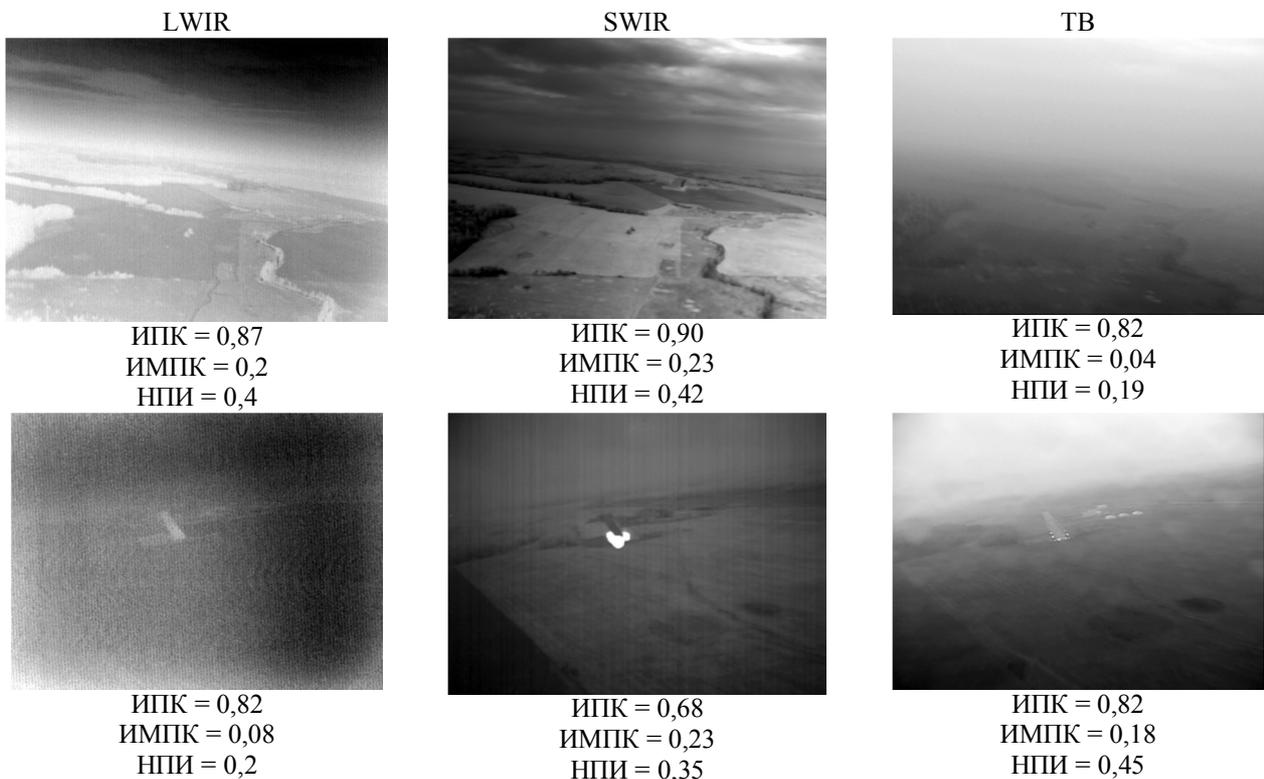
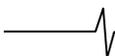


Рис. 2.



или иного метода улучшения визуализации изображений и/или объединения кадров различных спектральных диапазонов [3-6]. Поэтому при проведении экспериментальных исследований выполнялось сравнение ИМПК (14) как с ИПК (9), так и с нормированным показателем информативности (НПИ) разносектральных изображений $Q_{НПИ}$ из работ [5, 6], основанным на анализе протяжённых перепадов яркости.

Сравнение ИМПК с ИПК выполнялось по тестовым изображениям «Лена», серому фону с яркостью 128 и изображению взлетно-посадочной полосы (рис. 1) с наложенным на них аддитивным БГШ с СКО $\sigma_{ш}$. Численные значения показателей качества, а также меры SSIM приведены под изображениями.

Из полученных результатов видно, что с ростом СКО шума ИМПК уменьшается. Исключение составляет серый фон, на котором шум ошибочно принимается за полезную ВЧ составляющую, поэтому значение ИМПК медленно растёт с ростом СКО шума, оставаясь близким к нулю.

Сравнение ИМПК как с ИПК, так и с НПИ, выполнялось по наборам изображений от телевизионной камеры (ТВ) и двух камер ИК диапазонов (коротковолнового – SWIR и длинноволнового – LWIR) с совмещёнными полями зрения (рис. 2), полученных в ходе лётных испытаний мультиспектральной системы улучшенного видения, выполненных ФГУП «ГосНИИАС» [5].

Из полученных результатов видно, что значения и НПИ, и ИМПК приблизительно совпадают с субъективным восприятием качества. Также следует отметить, что отношение значений ИМПК для кадров различных спектральных диапазонов одной и той же сцены лучше коррелирует с субъективным восприятием изменения качества: например, для ТВ и SWIR изображений первой строки рис. 2 $Q_{НПИ_SWIR}/Q_{НПИ_ТВ} = 2,21$, в то время как $Q_{ИМПК_SWIR}/Q_{ИМПК_ТВ} = 5,75$. В то же время для ИК изображений без предварительной обработки (наличие «битых» пикселей, выраженный геометрический шум) значение ИМПК относительно субъективного восприятия качества является завышенным (рис. 2, вторая строка, SWIR диапазон).

Заключение

При гауссовском распределении шума результаты оценки качества тестовых изображений с использованием разработанного безэталонного интегрально-мультипликативного показателя приблизительно совпадают с субъективной оценкой информативности изображения и позволяет ранжировать цифровые изображения по данному критерию. Показано, что с увеличением СКО шума значение ИМПК, в отличие от ИПК, снижается, что также соответствует субъективному восприятию.

В то же время для кадров с низким отношением сигнал-шум, полученных от сенсоров ИК диапазона длин волн, ИМПК дает завышенные по сравнению с НПИ значения. Это связано с отнесением пикселей характерного для ИК сенсоров геометрического шума к высокочастотной составляющей полезного сигнала.

Направлением дальнейшего развития ИМПК является

его применение для обработки данных с использованием машинного интеллекта: распознавания классов имеющихся на изображении объектов, что потребует введения целевых функций в зависимости от решаемой задачи. Это позволит дополнительно корректировать ИМПК, увеличивая его для изображений, содержащих представляющие целевой интерес объекты: например, людей и автомобили – для поисково-спасательных задач; взлетно-посадочные полосы, трубы, высотные здания и линии электропередач – для систем повышения безопасности полетов и т.п.

Благодарности

Авторы выражают благодарность научному сотруднику ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ» Бондаренко М. А. за предоставленные наборы изображений видимого и инфракрасного диапазонов для проведения сопоставительного анализа ИМПК с нормированным показателем информативности [5, 6].

Литература

1. Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П., Перетягин Г. И., Спектор А. А. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. 352 с.
2. Старовойтов В. В., Старовойтов Ф. В. Сравнительный анализ безэталонных мер оценки качества цифровых изображений // Системный анализ и прикладная информатика. 2017. № 1. С. 24-32.
3. Колчаев Д. А., Муратов Е. Р., Никифоров М. Б. Математическое обеспечение системы динамического выбора метода улучшения изображений в реальном времени // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. Вып. 2. С. 83-89.
4. Колчаев Д. А., Муратов Е. Р., Никифоров М. Б. Автоматическая настройка конвейера обработки изображений // Информационные технологии и нанотехнологии: сборник трудов III международной конференции и молодежной школы. Самара: Новая техника, 2017. С. 624-628.
5. Бондаренко А., Бондаренко М. Аппаратно-программная реализация мультиспектральной системы улучшенного видения // Современная электроника. 2017. № 1. С. 32-37.
6. Бондаренко М. А., Дрынкин В. Н., Набоков С. А., Павлов Ю. В. Адаптивный алгоритм выбора информативных каналов в бортовых мультиспектральных видеосистемах // Программные системы и вычислительные методы. 2017. № 1. С. 46-52.
7. Wang Z., Bovik A. C., Sheikh H. R., Simoncelli E. P. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // IEEE Trans. on Image Processing. 2004. Vol. 13, Iss. 4. P. 600-612.
8. Piella G., Heijmans H. A new quality metric for image fusion // Proc. IEEE International Conference in Image Processing ICIP-2003. V. 3. P. 173-176.
9. Богданов А. П., Романов Ю. Н. Оценка качества цифровых изображений // Техническое зрение в системах управления – 2012: тезисы докладов. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 218-226.
10. Pertuz S., Puig D., Garcia M. A. Analysis of focus measure operators for shape-from-focus // Pattern Recognition.

2013. Vol. 46, No. 5. P. 1415-1432.

11. Michelson A. A. Studies in optics. Chicago: The University of Chicago Press, 1927. 164 p.

12. Воробель Р. А., Журавель И. М., Опыр Н. В., Попов Б. О., Дереча В. Я., Равлик Я. М. Метод количественной оценки качества рентгенографических изображений // Неразрушающий контроль и техническая диагностика: труды 3-й украинской научно-технической конференции. Днепропетровск, 2000. С. 233-236.

13. Илюшкина Н., Чобану М. Применение новых критериев оценки качества изображений после их сжатия с потерями // Современная электроника. 2007. № 3. С. 66-69.

14. Конюхов А. Л., Костевич А. Г., Курячий М. И. Критерии оценки отношения сигнал/шум в активно-импульсных телевизионно-вычислительных системах // Доклады ТУСУРа. 2012. № 2. Ч. 1. С. 111-115.

15. Космическое земледование: информационно-математические основы / под ред. Садовниченко В. А. М.: МГУ, 1998. 576 с.

16. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений: пер. с англ. под. ред. Л. С. Лебедева. М.: Мир, 1972. 232 с.

17. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006. 1072 с.

18. Jähne B. Digital image processing / 6th ed, revised

and extended. New York: Springer, 2005. 585 p.

19. Tai Yu-W., Brown M. S. Single image defocus map estimation using local contrast prior // 16th IEEE Int. Conf. on image processing (ICIP-2009). Cairo, 2009. P. 1797-1800.

20. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. Кн.1. М.: Мир, 1982. 312 с.

21. Ratliff F., Hartline H. K., Miller W. H. Spatial and temporal aspects of retinal inhibitory interaction // J. Opt. Soc. Am. 1963. Vol. 53, No. 1. P. 110-120.

22. Травникова Н. П. Эффективность визуального поиска. М.: Машиностроение, 1985. 128 с.

23. Грузевич Ю. К. Оптико-электронные приборы ночного видения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 276 с.

24. Бехтин Ю. С. Комплексирование зашумленных мультиспектральных изображений с использованием пространственно-ориентированных деревьев вейвлет-преобразования // Цифровая обработка сигналов. 2012. № 1. С. 27-31.

25. Jobson D. J., Rahman Z., Woodell G. A. A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes // IEEE Trans. on image processing. 1997. Vol. 6, No. 7. P. 965-976.

26. Jobson D. J., Rahman Z., Woodell G. A. Properties and performance of a center/surround retinex // IEEE Trans. on image processing. 1997. Vol. 6, Is. 3. P. 451-462.

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в формировании тематических выпусков журнала «Цифровая обработка сигналов» и размещению рекламы продукции (услуг) Вашей организации на его страницах. В случае положительного решения просим представить в редакцию журнала Ваши предложения по плановому размещению информационных материалов и макет рекламы продукции (услуг) с указанием желаемого её месторасположения: обложка (2-я, 3-я или 4-я стр.), цветная внутренняя полоса (объем полосы).

Журнал «Цифровая обработка сигналов» издается с 1999 года. Выходит ежеквартально, тиражом – 700 экз. Распространяется по подписке через агентство «Роспечать» в России (индекс 82185), СНГ и странах Балтии (индекс 20630), а также на Конференции: «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA».

Научно-технический журнал «Цифровая обработка сигналов» включен в Перечень изданий, рекомендуемый ВАК РФ для публикации результатов научных исследований соискателями ученой степени доктора и кандидата технических наук в области радиотехники, связи, вычислительной техники, электроники, приборостроения, информационных технологий, информационно-измерительных и управляющих систем. По предварительным итогам за 2016 год по рейтингу Science Index базы РИНЦ (3,394) журнал «Цифровая обработка сигналов» занимает 344-ю позицию из почти 3000 представленных изданий. Импакт-фактор журнала за 5-летний период цитируемости составил 0,535!

Планируемые сроки издания отдельных номеров журнала:

- № 4 декабрь 2018 г. Тематический выпуск: «ЦОС в радиотехнике и системах телекоммуникаций».
- № 1 март 2019 г. Тематический выпуск: «ЦОС в инфокоммуникационных системах».
- № 2 июнь 2019 г. Тематический выпуск по материалам 20-й Международной научно-технической конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение-DSPA»
- № 3 сентябрь 2019 г. Тематический выпуск: «Цифровая обработка изображений».

Ориентировочная стоимость рекламных услуг:

- 4-я (внешняя) страница цветной обложки – 25 тысяч рублей.
- 2-я и 3-я (внутренние) страницы цветной обложки – 15 тысяч рублей.
- 1\2 цветной внутренней полосы – 8 тысяч рублей.

Ждем Ваших предложений.

С наилучшими пожеланиями, зам. главного редактора

д.т.н., профессор Витязев Владимир Викторович, телефон 8-903-834-81-81.

Предложения прошу направлять по адресу: E-mail: vityazev.v.v@rsreu.ru или info@dspa.ru