

В. В. Инсаров, д-р техн. наук, зам. начальника подразделения, wiliam@gosniias.ru,
В. А. Сафонов, инженер, vladislav.safonov@gosniias.ru, **С. В. Тихонова**, вед. инженер, svetico@yandex.ru,
Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, Москва

Использование безэталонных метрик для оценки качества текущих изображений многообъектных стационарных наземных сцен. Часть 1*

Рассматривается представительный набор безэталонных метрик оценки качества изображения, подразделенный на три класса: метрики, основанные на вычислениях производных яркостей, на статистической обработке изображений, на вычислениях различных преобразований изображений (вейвлет-преобразования, дискретные косинусные преобразования и Фурье-преобразования). Приведен пример значений метрик применительно к полутоновым изображениям многообъектных наземных сцен промышленно-городской застройки.

Ключевые слова: обработка изображений, оценка качества изображений, безэталонные метрики, многообъектные стационарные сцены, влияние погодных и временных условий, состава сцены, корреляционные взаимосвязи

Введение

В современном мире к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) предъявляются жесткие требования как по кругу решаемых задач, так и по условиям, в которых они должны работать. К задачам, которые должны решать БПЛА, можно отнести все виды мониторинга объектов инфраструктуры наземных сцен, например типа промышленно-городской застройки, состояния газо- и нефтепроводов, объектов мобильной связи, проведения миротворческих операций и т.д. и т.п. Требования, связанные с условиями применения, включают в себя возможности автоматического управления БПЛА, работу в разное время суток и в разных погодных условиях, работу при наличии естественных и искусственных помех разной природы и т.д.

Для удовлетворения всех этих требований на борту БПЛА должны быть реализованы технические средства для получения и обработки информации об окружающей среде. При этом все операции, связанные с получением, обработкой информации и принятием решений о дальнейших действиях, должны происходить в реальном или близком к реальному масштабе времени.

Одним из таких технических средств получения и обработки информации является система технического зрения (СТЗ). В качестве входной информации в такой системе, как правило, используется полутоновое текущее изображение (ТИ) наземной многообъектной стационарной сцены, получаемое в процессе полета. Одной из начальных операций,

проводимых с этим изображением, является оценка его качества для принятия решения о принципиальной возможности или невозможности его использования в дальнейших операциях обработки, о выборе процедур такой обработки. Предварительная оценка качества изображения позволяет существенно сократить вычислительные ресурсы при решении задач обнаружения, распознавания и селекции объектов наземных сцен.

Для оценки качества поступающей информации используются различного рода метрики, которые можно подразделить на несколько групп:

- эталонные метрики (full-reference, FR), в которых используется некоторый эталон для вычисления меры степени сходства характеристик исходного изображения и характеристик этого эталона;
- псевдоэталонные (reduce-reference, RR) метрики, в которых используется некоторая априорная информация, например математическое ожидание и дисперсия изображения;
- безэталонные метрики (non-reference), в которых не предполагается наличие какой-либо дополнительной информации о текущем изображении.

Специфика решения задач оценки качества текущих изображений многообъектных стационарных наземных сцен состоит в том, что для рассматриваемых изображений характерно большое разнообразие сцен (городские застройки, промышленные зоны, объекты военной техники и т.д.), различие регистрирующих устройств (телевизионные (ТВ), тепловизионные (ТПВ) датчики и т.д.), изменчивость погодных и временных условий, наличие естественных и искусственных помех.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 17-08-00584 а.

Ранее в работах [1–3] были рассмотрены вопросы, связанные с получением качественной оценки текущих изображений с помощью преимущественно эталонных метрик.

Использование эталонных или псевдоэталонных метрик для оценки вышеописанных изображений сопряжено со многими трудностями. Для эталонных метрик это относится к возможности получения эталона и его выбора, для псевдоэталонных метрик трудности связаны с получением априорной информации.

Этих недостатков лишены безэталонные метрики, использующие только само изображение в различных его представлениях: в виде поля яркости, полей градиентов, Лапласиана, дискретного косинусного и Фурье-преобразования, статистических полей и т.д.

Данная работа состоит из двух частей. В первой части рассматривается набор безэталонных метрик [4–7] оценки качества изображения. Во второй части рассматривается чувствительность безэталонных метрик к изменениям на изображениях, вызванным погодными условиями и временами суток, типом и составом сцены, типом регистрирующих датчиков изображений (ТВ и ТПВ датчики), а также к изменениям изображений, связанным с наличием шумов и с размытием. Рассматриваются корреляционные зависимости метрик внутри класса и между классами.

Описание безэталонных метрик для оценки качества изображений

Рассматриваемый набор безэталонных метрик предлагается разделить на три класса: метрики, основанные на вычислениях производных яркостей; основанные на статистической обработке изображений; основанные на вычислении различных преобразований изображений, таких как вейвлет-преобразования, дискретные косинусные преобразования (ДКП) и Фурье-преобразования.

Примем следующие обозначения $I(x, y)$ — матрица текущего полутонового изображения; x, y — пространственные переменные; M, N — горизонтальный (число строк) и вертикальный (число столбцов) размеры текущего изображения соответственно.

Метрики, основанные на вычислении производной изображения

Энергия градиента (GRAE). В качестве метрики рассматривается сумма квадратов отклонений в горизонтальном ($I_x(x, y)$) и вертикальном ($I_y(x, y)$) направлениях:

$$M_{GRAE} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^{N-1} (I_x(x, y)^2 + I_y(x, y)^2),$$

где $I_x(x, y) = I(x, y) - I(x+1, y)$, $I_y(x, y) = I(x, y) - I(x, y+1)$.

Пороговый абсолютный градиент (GRAT). Метрика основана на суммировании абсолютных значений градиента $|I_x(x, y)|$ (и/или $|I_y(x, y)|$), удовлетворяющих условию $|I_x(x, y)| \geq T$, где T — заданный порог, т.е.

$$M_{GRAT} = \frac{1}{Z} \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^{N-1} |I_x(x, y)|,$$

где Z — число пикселей, прошедших порог.

В работе рассматриваются градиенты в горизонтальном и вертикальном направлениях, из которых при суммировании учитывается максимальный.

Квадрат градиента (GRAS). Рассматривается сумма квадратов градиентов $I_x(x, y)$:

$$M_{GRAS} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^{N-1} I_x(x, y)^2.$$

Пространственная частота (SFRQ). Пространственная частота вычисляется следующим образом:

$$M_{SFRQ} = \sqrt{RF^2 + CF^2},$$

где

$$RF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=2}^N [I(x, y) - I(x, y-1)]^2};$$

$$CF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=2}^N [I(x, y) - I(x-1, y)]^2}.$$

Фокусное измерение Бреннера (BREN). В основе метрики лежит вычисление разности между пикселем и его соседом в горизонтальном или вертикальном направлении, находящимся на расстоянии в 2 пикселя, т.е.

$$M_{BREN} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^{M-2} \sum_{y=1}^{N-1} |I(x, y) - I(x+2, y)|^2,$$

где $I(x, y)$ — значение яркости в точке (x, y) .

В данной работе рассматривается разность в двух направлениях, и при суммировании выбирается максимальное значение.

Контраст изображения (CONT). Метрика вычисляется как среднее значение контрастов $C(x, y)$ изображения, т.е.

$$M_{CONT} = \frac{1}{MN} \sum_{x=2}^{M-1} \sum_{y=2}^{N-1} C(x, y),$$

где значение контраста $C(x, y)$ для каждой точки (x, y) изображения $I(x, y)$ вычисляется по формуле

$$C(x, y) = \sum_{i=x-1}^{x+1} \sum_{j=y-1}^{y+1} |I(x, y) - I(i, j)|.$$

Среднее значение Хелмли и Шерера (HELM).

Для изображения $I(x, y)$ метрика вычисляется следующим образом:

$$M_{HELM} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N R(x, y),$$

где

$$R(x, y) = \begin{cases} \frac{\mu(x, y)}{I(x, y)} & \text{при } \mu(x, y) \geq I(x, y); \\ \frac{I(x, y)}{\mu(x, y)} & \text{в остальных случаях,} \end{cases}$$

$\mu(x, y)$ — среднее значение для окна с центром в точке с координатами (x, y) и размером по горизонтали и вертикали 15×15 пикселей.

Измерения, основанные на локальных бинарных шаблонах (LBPA). Метрика, основанная на локальных бинарных шаблонах (ЛБШ), вычисляется следующим образом:

$$M_{LBPA} = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} LBP_{contrast}(x, y),$$

где $LBP_{contrast}(x, y) = \sum_{k=0}^7 S(I_k - I(x, y))$ вычисляется

для окна 3×3 с центром в точке $I(x, y)$; I_k — интенсивность k -го пикселя из восьми рассматриваемых;

$$S(p) = \begin{cases} 1 & \text{при } p \geq 0 \\ 0 & \text{при } p < 0. \end{cases}$$

Производная функции Гаусса (GDER). Данная метрика основана на вычислении свертки изображения с производными двумерной функции Гаусса, т.е.

$$M_{GDER} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (I(x, y) \Gamma_x(x, y))^2 + (I(x, y) \Gamma_y(x, y))^2,$$

где $\Gamma_x(x, y)$, $\Gamma_y(x, y)$ — первые частные производные функции Гаусса по компонентам x и y соответственно:

$$\Gamma_x(x, y) = \frac{-x}{\sigma^2} \Gamma(x, y, \sigma); \quad \Gamma_y(x, y) = \frac{-y}{\sigma^2} \Gamma(x, y, \sigma),$$

$$\Gamma(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right).$$

Управляемые фильтры (SFIL). Метрика вычисляется по формуле

$$M_{SFIL} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I_f(x, y),$$

где

$$I_f(x, y) = \max\{R_{(x, y)}^{\theta_1}, R_{(x, y)}^{\theta_2}, \dots, R_{(x, y)}^{\theta_n}\},$$

$$R^{\theta_n} = \cos(\theta_n)(I(x, y)\Gamma_x(x, y)) + \sin(\theta_n)(I(x, y)\Gamma_y(x, y)).$$

Мера кривизны изображения (CURV). Метрика основана на аппроксимации изображения $I(x, y)$ некой средней поверхностью, кривизна которой рассматривается как мера качества изображения:

$$M_{CURV} = |c_0| + |c_1| + |c_2| + |c_3|,$$

где c_0, c_1, c_2, c_3 — коэффициенты аппроксимирующей поверхности, которая задана следующим образом: $f(x, y) = c_0x + c_1y + c_2x^2 + c_3y^2$. Коэффициенты c_0, c_1, c_2, c_3 вычисляются с помощью свертки исходного изображения $I(x, y)$ с масками M_1, M_2 :

$$c_0 = M_1 I(x, y); \quad c_1 = M_1^T I(x, y);$$

$$c_2 = \frac{3}{2} M_2 I(x, y) - M_2^T I(x, y);$$

$$c_3 = \frac{3}{2} M_2^T I(x, y) - M_2 I(x, y);$$

$$M_1 = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_2 = \frac{1}{5} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Метрика Tenengrad (TENG). Вычисляется среднее значение суммы квадратов градиентов изображения в горизонтальном $G_x(x, y)$ и вертикальном $G_y(x, y)$ направлениях:

$$M_{TENG} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2),$$

где градиенты $G_x(x, y)$, $G_y(x, y)$ вычисляются с помощью свертки исходного изображения $I(x, y)$ и оператора Собеля O_S , т.е.

$$G_x(x, y) = I(x, y) O_S, \quad G_y(x, y) = I(x, y) O_S^T;$$

$$O_S = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Дисперсия Tenengrad (TENV). Вычисляется дисперсия для арифметического корня от суммы квадратов градиентов:

$$M_{TENV} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (G(x, y) - \overline{G(x, y)}),$$

где $G(x, y) = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2}$;

$$\overline{G(x, y)} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N G(x, y).$$

Энергия Лапласиана (LAPЕ). В качестве метрики рассматривается энергия лапласиана изображения:

$$M_{LAPЕ} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \Delta I(x, y)^2,$$

где лапласиан $\Delta I(x, y)$ получен сверткой исходного изображения $I(x, y)$ и маски L :

$$\Delta I(x, y) = I(x, y)L;$$

$$L = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & -20 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{pmatrix}.$$

Модифицированный лапласиан (LAPM). Рассматривается сумма абсолютных значений модифицированного лапласиана, т.е.

$$M_{LAPM} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N |I(x, y)L_X| + |I(x, y)L_Y|,$$

где L_X, L_Y — маски, заданные вектором-строкой и вектором-столбцом:

$$L_X = [-1 \ 2 \ -1], \quad L_Y = L_X^T.$$

Диагональный Лапласиан (LAPD). Данная метрика отличается от модифицированного лапласиана учетом дополнительных составляющих, которые вычисляются сверткой исходного изображения и масок L_{D1} и L_{D2} :

$$M_{LAPD} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N |I(x, y)L_X| + |I(x, y)L_Y| + |I(x, y)L_{D1}| + |I(x, y)L_{D2}|,$$

$$\text{где } L_{D1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 2 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad L_{D2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Отклонение Лапласиана (LAPV). Вычисляется дисперсия оператора Лапласа:

$$M_{LAPV} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (\Delta I(x, y) - \overline{\Delta I(x, y)})^2,$$

где $\overline{\Delta I(x, y)} = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} \Delta I(x, y)$; $\Delta I(x, y) = I(x, y)L$;

$$L = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & -20 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{pmatrix}.$$

Метрики, основанные на статистической обработке изображения

Абсолютный центральный момент (АСМО). Метрика вычисляется следующим образом:

$$M_{АСМО} = \sum_{k=0}^{L-1} |k - \mu| p_k,$$

где $p_k = \frac{h(k)}{MN}$ — вероятность появления пикселя со значением яркости k (k измеряется в пределах от $[0; 255]$); $\mu = \sum_{k=1}^L k p_k$ — среднее значение гистограммы; L — число уровней яркости.

Автокорреляция Воллатха (VOLА). Вычисляется следующим образом:

$$M_{VOLА} = \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^N I(x, y)I(x+1, y) - \sum_{x=1}^{M-2} \sum_{y=1}^N I(x, y)I(x+2, y).$$

Корреляция изображения, основанная на среднем квадратическом отклонении (STDC). Вычисляется по формуле

$$M_{STDC} = \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^N I(x, y)I(x+1, y) - MN\mu^2.$$

Дисперсия уровней яркости (GLVA). В качестве метрики берется дисперсия уровней яркости:

$$M_{GLVA} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (I(x, y) - \overline{I(x, y)})^2,$$

где $\overline{I(x, y)} = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} I(x, y)$.

Нормализованная дисперсия изображения (GLVN). В качестве метрики рассматривается также дисперсия яркостей, но нормализованная с помощью среднего значения яркости, т.е.

$$M_{GLVN} = \frac{1}{MNI(x, y)} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (I(x, y) - \overline{I(x, y)})^2.$$

Локальная дисперсия яркости (GLLV). Вычисляется следующим образом:

$$M_{GLLV} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (L_v(x, y) - \overline{L_v})^2,$$

где $L_v(x, y)$ — локальная дисперсия для окна размером $W_x \times W_y$ с центром в точке (x, y) ; $\overline{L_v}$ — среднее значение всех локальных дисперсий изображения.

Модифицированная дисперсия изображения (GLVM). В основе данной метрики лежит вычисление локальных средних значений яркости $\mu(x, y)$ изображения $I(x, y)$:

$$M_{GLVM} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (I(x, y) - \mu(x, y))^2,$$

где $\mu(x, y)$ — среднее значение яркости для окна размером 15×15 пикселей с центром в точке с координатами (x, y) .

Метрики, использующие моменты Чебышева (CHEB). Метрика, основанная на вычислении моментов Чебышева T_{mn} порядка $(m + n)$ для изображения $I(x, y)$, вычисляется следующим образом:

$$M_{CHEB} = \frac{\|H(\tilde{f}; P)\|_2}{\|L(\tilde{f}; P)\|_2},$$

где $H(\tilde{f}; P)$ — это множество, состоящее из моментов T_{mn} Чебышева, чей порядок больше заданного числа P ($H(\tilde{f}; P) = \{T_{kl} | k + l > P\}$), а $L(\tilde{f}; P)$ — множество, состоящее из моментов, чей порядок меньше либо равен P ($L(\tilde{f}; P) = \{T_{kl} | k + l \leq P\}$); момент Чебышева T_{mn} порядка $(m + n)$ вычисляется как

$$T_{mn} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \tilde{t}_m(x; M) \tilde{t}_n(y; N) I(x, y);$$

$$\tilde{t}_n(x; N) = \frac{t_n(y; N)}{\sqrt{\rho(n; N)}},$$

где $t_m(x; M)$ — дискретный полином Чебышева, а $\rho(n; N) = (2n)! \binom{N+n}{2n+1}$.

Метрики, использующие собственные значения ковариационной матрицы изображения (EIGV). Формула метрики

$$M_{EIGV} = \sum_{i=1}^k \Lambda_{ii},$$

где $\Lambda = \Sigma^T \Sigma$ — матрица собственных значений, вычисляемая на основе диагональных матриц Σ , полученных с помощью сингулярного разложения матрицы $S_{\tilde{g}} = \frac{1}{N-1} (\tilde{I}(x, y) - \mu)(\tilde{I}(x, y) - \mu)^T$,

здесь $\mu = \frac{1}{MN} \sum_{(x, y)} \tilde{I}(x, y)$; $\tilde{I}(x, y)$ — нормализованное исходное изображение, т.е.

$$\tilde{I}(x, y) = \frac{I(x, y)}{\sqrt{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x, y)^2}}.$$

Энтропия изображения (HISE). Вычисляется следующим образом:

$$M_{HISE} = - \sum_{k=0}^{L-1} p_k \log(p_k),$$

где $p_k = \frac{h(k)}{MN}$ — вероятность появления пикселя со значением яркости k (k измеряется в пределах от

$[0; 255]$); $h(k)$ — значение гистограммы изображения для k -го уровня яркости; L — число уровней яркости.

Метрики, основанные на преобразовании исходного изображения

При вычислении метрик данного класса рассматриваем следующие преобразования: ДКП, Фурье-преобразование и вейвлет-преобразование. При рассмотрении метрик этого класса используем следующие обозначения: $C(u, v)$ — результат дискретного косинусного преобразования изображения $I(x, y)$; $F(u, v)$ — результат прямого дискретного Фурье-преобразования изображения $I(x, y)$ (u, v — частотные переменные); W_{LHi} , W_{HLi} , W_{HHi} , W_{LLi} — три матрицы деталей (матрицы горизонтальных, вертикальных и диагональных деталей) и одна матрица приближения i -го масштаба.

Энергетический коэффициент ДКП (DCTE). В качестве метрик рассматривается среднее значение отношения компоненты $C(0, 0)$ и суммы всех остальных компонент $C(u, v)$ (для всех u, v , одновременно не равных нулю) ДКП для подвижного окна заданного размера, т.е.

$$M_{DCTE} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N r(x, y),$$

где $r(x, y) = \frac{\sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u, v)^2}{C(0, 0)^2}$; ДКП $C(u, v)$ и, соответственно, отношение $r(x, y)$ вычисляются для подвижного окна (например, размером 8×8) с центром в точке (x, y) .

Упрощенный коэффициент ДКП (DCTR). Данная метрика является вариацией предыдущей метрики и вычисляется как

$$M_{DCTR} = \frac{C(0, 1)^2 + C(1, 0)^2 + C(2, 0)^2 + C(1, 1)^2 + C(0, 2)^2}{C(0, 0)^2}.$$

Модифицированный метод ДКП (DCTM). Рассматривается среднее значение результата свертки исходного изображения $I(x, y)$ и маски M :

$$M_{DCTM} = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (I(x, y) M)^2,$$

где $M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$.

Математическое ожидание амплитудного спектра Фурье (FTMV). В этом методе в качестве метрики качества изображения используется математическое ожидание амплитудного спектра Фурье:

$$M_{FTMV} = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} |F(u, v)|,$$

где $|F(u, v)|$ — модуль спектра Фурье.

Модифицированное математическое ожидание амплитудного спектра Фурье (FTMM). Данная метрика вычисляется следующим образом:

$$M_{FTMM} = \frac{-2}{(M-1)(N-1)} \sum_{u=0}^{(N-1)/2} \sum_{v=0}^{M-1} PS(u, v),$$

где $PS(u, v) = \frac{\log(1 + |F(u, v)|^2)}{\log(1 + |F(0, 0)|^2)}$.

Фурье-оценка качества изображения (FTFM). Метрика основана на отношении числа Фурье-компонент выше заданного порога T к общему числу компонент

$$M_{FTFM} = \frac{\sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} R(u, v)}{MN},$$

где

$$R(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{при } |F(u, v)| \geq T; \\ 0 & \text{при } |F(u, v)| < T. \end{cases}$$

Сумма вейвлет-коэффициентов (WAVS)

$$M_{WAVS} = \sum_{i=1}^{M/2} \sum_{j=1}^{N/2} |W_{LH1}(i, j)| + |W_{HL1}(i, j)| + |W_{HH1}(i, j)|.$$

Дисперсия вейвлет-коэффициентов (WAVV)

$$M_{WAVV} = \sum_{i=1}^{M/2} \sum_{j=1}^{N/2} |W_{LH1}(i, j) - \mu_{LH1}|^2 + |W_{HL1}(i, j) - \mu_{HL1}|^2 + |W_{HH1}(i, j) - \mu_{HH1}|^2,$$

где μ_{LH1} , μ_{HL1} , μ_{HH1} — средние значения соответствующих областей/полос ДВП внутри области.

Отношение вейвлет-коэффициентов (WAVR). Рассматривается отношение

$$M_{WAVR} = \frac{M_H^2}{M_L^2},$$

где $M_H^2 = \sum_{k=1}^L \sum_{(i,j) \in \Omega_k} W_{LHk}(i, j)^2 + W_{HLk}(i, j)^2 + W_{HHk}(i, j)^2$; $M_L^2 = \sum_{k=1}^L \sum_{(i,j) \in \Omega_k} W_{LLk}(i, j)^2$; L —

максимальный масштаб разложения; Ω_k — область суммирования, зависящая от рассматриваемого масштаба k .

Отношение курвилет-коэффициентов (WAVC). В основе метода лежит использование курвилет-коэффициентов, т.е.

$$M_{WAVC} = \sum_{(i,j) \in \Omega_D} F_\theta(x, y),$$

где $F_\theta(x, y) = \frac{\sum C_k(x, y)}{\sum C_{k-1}(x, y)}$ — отношение сумм ко-

эффициентов k -го и $k-1$ -го уровня курвилет разложения. В данной работе рассматривается два уровня разложения ($k=2$) в восьми направлениях.

Пример вычисления метрик оценки качества изображений

Приведем пример вычисления рассмотренных метрик оценки качества применительно к двум полутоновым изображениям многообъектных наземных сцен. На рис. 1 приведено изображение промышленно-городской сцены, полученной при настильных углах визирования в дневное время суток при хороших погодных условиях. На рис. 2 приве-



Рис. 1



Рис. 2

Таблица 1

Метрики, основанные на вычислении производной изображения

Изображения	Рис. 1	Рис. 2
GRAE	50,176	298,561
GRAT	4,188	10,281
GRAS	21,673	143,157
SFRQ	4,049	11,206
BREN	134,485	628,940
CONT	24,175	63,037
HELM	1,037	1,129
LBPA	4,999	4,353
GDER	3,134	10,399
SFIL	4,116	9,315
CURV	200,686	166,373
TENG	2227,210	8645,633
TENV	1501,104	4916,771
LAPE	53,516	550,381
LAPM	4,720	17,513
LAPD	10,539	35,183
LAPV	53,517	550,385

Таблица 2

Метрики, основанные на статистической обработке изображения

Изображения	Рис. 1	Рис. 2
ACMO	33,331	33,425
VOLA	$1,551 \cdot 10^7$	$2,543 \cdot 10^7$
STDC	$1,938 \cdot 10^8$	$1,851 \cdot 10^8$
GLVA	39,750	39,587
GLVN	9,656	11,987
GLLV	44799,156	217579,794
GLVM	82,939	303,231
CHEB	0,004	0,036
EIGV	$4,716 \cdot 10^{13}$	$1,922 \cdot 10^{13}$
HISE	6,350	6,970

Таблица 3

Метрики, основанные на преобразовании исходного изображения

Изображения:	Рис. 1	Рис. 2
DCTE	0,004	0,025
DCTR	0,003	0,016
DCTM	567,622	4632,329
FTMV	5,675	7,480
FTMM	-0,612	-0,909
FTFM	0,007	0,027
WAVS	1,358	5,724
WAVV	2,977	21,633
WAVR	0,001	0,004
WAVC	-88,815	-75,012

дено изображение транспортной инфраструктуры, полученное при съемке в нади́р в дневное время суток при хороших погодных условиях. В табл. 1—3 приведены значения рассматриваемых в работе метрик.

Заключение

В данной статье (часть 1) рассмотрен представительный набор безэталонных метрик четырех классов, основанных на вычислении производных яркости, статистической обработке, вычислении различных преобразований (вейвлет-преобразования, дискретные косинусные преобразования (ДКП) и Фурье-преобразования); вычислении полиномов, энтропии и других характеристик. Приведен пример значений метрик применительно к полутонным изображениям многообъектных наземных сцен промышленно-городской застройки.

Рассмотренный в данной работе набор безэталонных метрик в дальнейшем (часть 2) тестируется на представительном наборе реальных полутонных изображений наземных многообъектных стационарных сцен для того, чтобы оценить чувствительность метрик к различным факторам (изменения на изображениях, вызванные погодными условиями и временем суток, типом и составом сцены, типом регистрирующих датчиков изображений; чувствительность к изменениям изображений, связанным с наличием шумов и с размытием), а также выявить корреляционные зависимости метрик внутри класса и между классами.

Анализ результатов тестирования позволит в дальнейшем упростить процедуру оценки качества изображения в реальном времени и повысить ее эффективность за счет исключения взаимосвязанных метрик и выбора из них наиболее адекватных и эффективных с вычислительной точки зрения.

Список литературы

1. **Avcibas I.** Image Quality Statistics and their use in steganalysis and compression. Ph. D. Thesis. Bogazichi Univ., 2001.
2. **Piella G., Heijmans H.** A new quality metric for image fusion // IEEE Conference on Image Processing. 2003. Vol. 3. P. 173—176.
3. **Инсаров В. В., Тихонова С. В., Михайлов И. И.** Проблемы построения систем технического зрения, использующих комплексирование информационных каналов различных спектральных диапазонов // Приложение к журналу "Информационные технологии". 2014. № 3.
4. **Said Pertuz, Domenec Puig, Miguel Angel Garcia.** Analysis of focus measure operators for shape-from-focus // Pattern Recognition. 2013. Vol. 46, Iss. 5. P. 1415—1432.
5. **Sun Y., Duthaler S., Nelson B. J.** Autofocusing algorithm selection in computer microscopy // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2005. P. 419—425.
6. **Fulton J. R., Fraser C. S.** Automated Reconstruction of Buildings Using a Hand Held Video Camera // Innovations in Remote Sensing and Photogrammetry. 2009. P. 393—404.
7. **Kanjar De, Masilamani V.,** Image Sharpness Measure for Blurred Images // Frequency Domain International Conference on Design and Manufacturing (IConDM2013). 2013. Vol. 64. P. 149—158.

Application of the Non-reference Metrics for the Quality Estimation of the Current Images of the Multi-object Stationary Ground Scenes. Part 1

W. V. Insarov, wiliam@gosniias.ru✉, **V. A. Safonov**, vladislav.safonov@gosniias.ru,
S. V. Tikhonova, svetlana.tikhonova@gosniias.ru
State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, 125319, Russian Federation

Corresponding author: **Insarov Wiliam V.**, D. Sc., Professor, Deputy Head of a Subdivision,
State Research Institute of Aviation Systems, State Scientific Centre of the Russian Federation,
Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: wiliam@gosniias.ru

Received on January 23, 2017

Accepted on February 04, 2017

In the modern world there are strict requirements to the unmanned aerial vehicles (UAV) in terms of the range of their tasks and the operating conditions. In order to solve this kind of tasks, it is necessary to produce technical resources for obtaining and processing of the information about the environment. One of these technical means for obtaining and processing of information about the environment is the machine vision system (MVS). The input information in the MVS is a current half-tone image (CI) of the stationary ground multi-object scenes produced in an air flight. Quality estimation is one of the first operations done with this image. This operation allows one to take decisions about the possibility of image processing and to choose the procedures for this processing. Such kind of operations made with the use of a metric of quality can be divided into three groups: full-reference, reduced-reference and non-reference metrics of quality. The representative set of the non-reference metrics of quality, revived in the tasks like those, was divided into three groups: derivative-based, statistical-based and transform based metrics (wavelet transform, discrete cosine transform and Fourier transform (FT). The set of the non-reference metrics considered in this work requires further tests connected with the use of the banks of the real half-tone images of the stationary ground multi-object scenes.

Keywords: image processing, image quality estimation, non-reference metrics, multi-object stationary scenes, time of day effects, weather effects, scene composition effects, correlation relationships

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 17-08-00584 a.

For citation:

Insarov W. V., Safonov V. A., Tikhonova S. V., Application of the Non-reference Metrics for the Quality Estimation of the Current Images of the Multi-object Stationary Ground Scenes. Part 1. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 8, pp. 550—557.

DOI: 10.17587/mau.18.550-557

References

1. **Avcibas I.** Image Quality Statistics and their use in steganalysis and compression, *PhD Thesis*, Bogazichi Univ., 2001.

2. **Piella G., Heijmans H.** A new quality metric for image fusion, *IEEE Conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 173—176, 2003.

3. **Insarov V. V., Tikhonova S. V., Mikhaylov I. I.** Application to Journal "Information Technologies", 2014, no. 3 (in Russian).

4. **Said Pertuz, DomenecPuig, Miguel Angel Garcia.** Analysis of focus measure operators for shape-from-focus, *Pattern Recognition*, 2013, vol. 46, iss. 5, pp. 1415—1432.

5. **Sun Y., Duthaler S., Nelson B. J.** Autofocusing algorithm selection in computer microscopy, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2005, pp. 419—425.

6. **Fulton J. R., Fraser C. S.** Automated Reconstruction of Buildings Using a Hand Held Video Camera, *Innovations in Remote Sensing and Photogrammetry*, 2009, pp. 393—404.

7. **Kanjar De, Masilamani V.** Image Sharpness Measure for Blurred Images, *Frequency Domain International Conference on Design and Manufacturing (IConDM2013)*, 2013, vol. 64, pp. 149—158.



NDT Russia

17-я Международная выставка
оборудования для неразрушающего
контроля и технической диагностики

24–26 октября 2017

Москва, Крокус Экспо

Подробнее о выставке
NDT-RUSSIA.RU

