

## УЛУЧШЕНИЕ РАЗЛИЧИМОСТИ ИНФОРМАТИВНЫХ ФРАГМЕНТОВ МОНОХРОМНЫХ ИК-ИЗОБРАЖЕНИЙ

**А. А. Востриков<sup>а</sup>**, канд. техн. наук, доцент

**Н. В. Кучин<sup>а</sup>**, канд. техн. наук, доцент

**Е. А. Петренко<sup>а</sup>**, заведующая лабораторией

**А. М. Сергеев<sup>а</sup>**, старший преподаватель

**Н. В. Соловьев<sup>а</sup>**, канд. техн. наук, доцент

**Т. Н. Соловьева<sup>а</sup>**, канд. техн. наук, доцент

<sup>а</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

**Цель:** показать возможность улучшения различимости информативных фрагментов монохромных изображений в ИК-диапазоне. **Методы:** применяются методы увеличения контрастности и резкости изображений с учетом вариативности параметров и соответствующих затрат времени на обработку ИК-изображений различных размеров. **Результаты:** на основе проведенного анализа локальной контрастности ИК-изображений, алгоритмической сложности и возможности использования в автоматическом режиме различных методов повышения различимости фрагментов делаются выводы о необходимости использования для улучшения различимости, в первую очередь, подбора аппаратных средств, оптических систем и узкополосных ИК-фильтров, а в случае необходимости улучшения различимости программными средствами — применения методов повышения контрастности попиксельным преобразованием. **Практическая значимость:** для ИК-изображений, полученных в сложных условиях, улучшение различимости информативных фрагментов обеспечивается тонкими настройками регулируемых параметров используемых методов повышения контрастности, что демонстрируется результатами программного повышения различимости объектов на представленных примерах.

**Ключевые слова** — системы видеомониторинга, видеосистемы, аэрокосмические снимки, ИК-диапазон, монохромное изображение, фрагмент монохромного изображения, улучшение различимости.

### Введение

В настоящее время все более широкое распространение в гибридных системах видеонаблюдения и контроля объектов, в системах аэрокосмического мониторинга и др. получают видеокамеры инфракрасного (ИК) диапазона.

Путем обоснованного выбора спектрального и интегрального коэффициентов пропускания объектива ИК-камеры, а также учета на этапе проектирования геометрооптических параметров, функции рассеяния и разрешения объектива можно повысить различимость объектов на ИК-снимках. Известные разработки классических и гибридных объективов [1, 2] с минимизированным числом оптических элементов, формирующих ИК-поток, позволяют не только улучшить контрастные характеристики, снизить световые потери и уменьшить искажения, но и сформировать заданный спектр пропускания [3].

Именно за счет правильного выбора спектра пропускания можно существенно увеличить различимость объектов на этапе получения ИК-снимков. Проблема в широком ИК-диапазоне заключается в близости температур объектов и фона, составляющих в большинстве случаев около 300 К, в сопоставимости их отражающих и поглощающих способностей, а также близости особенностей их спектров. Как известно [4], тепловой

контраст объекта и фона определяется отношением разности интегральных плотностей потоков излучения объекта и фона к их сумме. В свою очередь интегральная плотность потока излучения в спектральном диапазоне ИК-приемника зависит от температуры излучающего объекта, спектральных характеристик его материала, а также расстояния между объектом и ИК-камерой, их взаимной ориентации и полосы пропускания объектива.

Построение кривых изменения теплового контраста интересующих наблюдателя объектов на различном фоне и их последующий анализ позволяют выбрать полосу пропускания объектива, при которой достигается максимальный тепловой контраст [5]. Для слабоконтрастных объектов, имеющих спектральную кривую с несколькими пиками, возможно применение многополосных оптических систем фильтрации. Например, спектральный коэффициент излучения кожи человека имеет максимум на длине волны 3 мкм, провал — на длине 4 мкм и значение, близкое к максимуму, на интервале 6–14 мкм [4]. Узкополосные интерференционные фильтры, позволяющие ограничить спектр пропускания оптической системы ИК-камеры, достаточно известны и вполне доступны [6].

Следует отметить, что минимизация шумов электронного тракта ИК-камеры, учет требова-

ний к точности фокусировки объектива, разрешающей способности и частотно-контрастных характеристик растровой матрицы также позволяют существенно повысить различимость объектов на ИК-снимках [7–9].

Если использование перечисленных выше методов не привело к желаемой различимости малозаметных объектов на ИК-снимке, то в таком случае необходимо применять методы увеличения локальной контрастности и резкости, а также методы подавления шума на полученном ИК-изображении. Следует отметить, что современные видеокамеры снабжены достаточно эффективными средствами подавления шума на аппаратном уровне в автоматическом режиме, поэтому эти методы далее рассматриваться не будут. Методы повышения контрастности и резкости, как правило, применяются в интерактивном режиме, т. е. требуют от оператора программного обеспечения установки ряда параметров, существенно влияющих на результат обработки изображений.

В настоящей работе будут рассмотрены получаемые в среднем ИК-диапазоне (1,5–5,1 мкм) монохромные растровые изображения, на которых, в силу их специфики и действия внешних факторов, часто нельзя достаточно надежно и быстро распознавать интересующие наблюдателя объекты [10, 11]. На таких изображениях различие в яркости соседних фрагментов может составлять всего одно или два значения от полного диапазона 0...255, что не позволяет ни автоматически, ни полуавтоматически идентифицировать объект, особенно в режиме реального времени. Повысить различимость объектов на ИК-снимках можно как за счет подбора оптической системы и выбора диапазона фиксируемого ИК-излучения непосредственно в процессе получения ИК-изображения, так и за счет последующей цифровой обработки полученных ИК-снимков.

### Основные понятия и определения

Под контрастностью изображения  $C$  понимают [12]

$$C = z_{\max} - z_{\min}, \quad (1)$$

где  $z_{\max}$  и  $z_{\min}$  — соответственно максимальная и минимальная яркость пикселей на изображении. Относительная контрастность  $C_{\text{отн}} = \frac{C}{z_m}$ , где  $z_m = 255$  — максимально возможная яркость пикселя на изображении. Контрастность может быть оценена как для всего изображения (глобальная контрастность), так и для какой-то части изображения (локальная контрастность). В последнем случае  $z_{\max}$  и  $z_{\min}$  представляют собой яркости соседних фрагментов, контраст которых и оценивается.

Резкость изображения  $R$  является локальной характеристикой [12], так как

$$R = \left| \frac{z_{\max} - z_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \right|, \quad (2)$$

где  $z_{\max}$  и  $z_{\min}$  — максимальная и минимальная яркость пикселей с координатами  $l_{\max}$ ,  $l_{\min}$  соответственно, совпадающих с границей зоны изменения яркости между фрагментами, т. е. контурной линией. Можно сказать, что резкость определяется производной функции яркости, т. е. чем шире контурная линия между фрагментами, тем меньше резкость.

Из (1) и (2) следует, что увеличение контрастности всего изображения всегда приводит к увеличению резкости его фрагментов и, как следствие, к улучшению их различимости. Надо отметить, что за счет увеличения контрастности увеличивается или уменьшается яркость всех пикселей фрагмента, в то время как увеличение резкости не изменяет яркость пикселей фрагмента, за исключением тех пикселей, которые находятся вблизи его границы.

### Методы увеличения контрастности

Большинство методов основано на преобразовании шкалы яркости, при котором яркость пикселя преобразованного изображения  $z'(x, y)$  зависит от яркости только соответствующего пикселя исходного изображения  $z(x, y)$ , что позволяет перед обработкой сформировать массив соответствия яркостей согласно заданной функции преобразования  $z' = f(z)$ . Такой массив значительно сокращает время обработки, так как после его формирования собственно обработка текущего пикселя исходного изображения сводится к присвоению соответствующему пикселю преобразованного изображения яркости, равной значению элемента массива с номером, равным яркости текущего пикселя исходного изображения.

При функциональном преобразовании яркости пикселей преобразованного изображения не зависят от гистограммы яркости исходного изображения, и формирование значений  $z'$  массива соответствия яркостей производится последовательной подстановкой целочисленных значений яркости  $z$  в функцию преобразования шкалы яркости  $f(z)$ .

При гистограммном преобразовании вид функции  $f(z)$  зависит от значений гистограммы яркости исходного изображения, и перед формированием массива соответствия яркостей необходимо построить нормализованную гистограмму яркости исходного изображения. Заметим, что нормализованная гистограмма изображения  $p(z)$

является дискретной функцией, значение которой для  $z_i$  представляет собой оценку вероятности того, что яркость случайно выбранного пикселя равна  $z_i$ .

Если глобальная контрастность изображения меньше, чем максимально возможная, то увеличение контрастности изображения можно получить линейным растяжением шкалы яркости [13] в виде  $z' = \frac{z - z_{\min}}{C_{\text{отн}}}$ , где  $z, z'$  — яркость пикселя до и после преобразования.

При  $C_{\text{отн}}$ , близкой к единице, линейное растяжение шкалы яркости не приведет к заметному увеличению контраста, но если известно, что плохо различимые фрагменты имеют среднюю яркость, то можно выполнить усечение шкалы яркости до требуемого диапазона с последующим кусочно-линейным преобразованием полученной шкалы [12]. В результате пиксели, яркость которых находится выше или ниже выбранного диапазона, получают соответственно максимально и минимально возможную яркость. Недостатком этого метода является полное слияние фрагментов, находящихся вне выбранного диапазона яркости.

Нелинейное преобразование шкалы яркости [14] позволяет увеличить контрастность в локальном диапазоне яркостей за счет снижения контрастности в других диапазонах. Например, если известно, что плохо различимы фрагменты низкой яркости, то повышение контрастности темных фрагментов за счет понижения контрастности ярких фрагментов можно получить в результате применения гамма-коррекции (степенного преобразования) яркости  $z' = z_m z_{\text{отн}}^n$  при  $n = 0,1 \dots 0,9$ , где  $z_{\text{отн}} = \frac{z}{z_m}$  — относительная яркость. Обратный результат дает преобразование при  $n = 2 \dots 10$ .

Одновременно увеличить контрастность темных и светлых фрагментов изображения за счет частичного слияния фрагментов средней яркости можно степенным преобразованием со смещенным нулем [12]  $z' = 0,5z_m(1 + (2z_{\text{отн}} - 1)^n)$  для  $n$  нечетной степени.

Другим методом, позволяющим одновременно увеличить различимость как темных, так и светлых фрагментов, является соляризация [13], при которой преобразование шкалы яркости имеет вид

$$z' = 4z_{\text{отн}}(z_m - z). \quad (3)$$

Функция (3) является квадратичной параболой относительно  $z$ , параметры которой подобраны так, чтобы  $z' = z_m$  для  $z = 0,5z_m$ . В результате преобразования пиксели, имеющие на исходном изображении яркость, симметричную относительно середины шкалы, приобретают одинако-

вую яркость, т. е. фрагменты, имеющие близкую яркость как в темной, так и в светлой области шкалы, разнесутся по шкале на достаточное для увеличения их различимости расстояние, а фрагменты средней яркости приобретают яркость, близкую к максимальной, и частично сливаются. Метод называется «соляризация», так как создается впечатление, что светлые фрагменты «загорели» на солнце.

Увеличение различимости фрагментов изображения можно получить и путем эквализации [15], или выравнивания, гистограммы, т. е. такого преобразования шкалы яркости, при котором гистограмма результирующего изображения будет приближаться по форме к равномерной. Метод эквализации гистограммы основан на предположении, что наибольшая контрастность достигается на изображении, гистограмма которого представляет равномерное распределение пикселей по яркостям на всем возможном диапазоне. Дискретное преобразование шкалы яркости имеет вид  $z'_i = z_m \sum_{k=0}^i p(z_k)$ , где  $z'_i$  — значение элемента

преобразованной шкалы яркости, соответствующее  $i$ -й яркости исходной шкалы;  $p(z_k)$  — нормализованная гистограмма яркости исходного изображения ( $k = 0 \dots 255$ ). В результате эквализации гистограммы изображения происходит повышение контрастности некоторых фрагментов за счет частичного слияния других фрагментов, причем заранее предсказать результат достаточно сложно, однако в большинстве случаев различимость улучшается.

Существуют и другие методы увеличения контраста, например, преобразование гистограммы к заданному виду на основе кумулятивных гистограмм [15] или адаптивное увеличение контрастности на основе локальных статистических характеристик [15]. Однако эти методы требуют ввода большого числа параметров и значительных временных затрат на обработку изображения.

В качестве примеров изображений с недостаточной различимостью фрагментов представлены изображения пластикового контейнера (рис. 1) и транспондерной карты (рис. 2), полученные камерой FLIR SC7600 Orion (размер матрицы  $640 \times 512$  пикселей) в среднем спектральном ИК-диапазоне  $1,5 \dots 5,1$  мкм без использования ИК-фильтра. Оба изображения являются 8-битными и занимают весь диапазон яркости ( $0 \dots 255$ ), но контрастность объектов внутри контейнера и текста на транспондерной карте недостаточны.

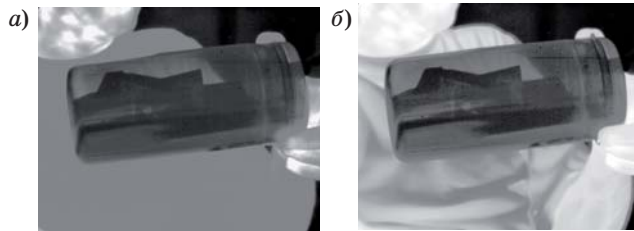
Результаты увеличения контрастности степенным преобразованием со смещенным нулем и эквализацией гистограммы изображения, показанного на рис. 1, приведены на рис. 3, а и б.



■ **Рис. 1.** Исходное изображение контейнера, полученное в ИК-диапазоне



■ **Рис. 2.** Исходное изображение карты, полученное в ИК-диапазоне



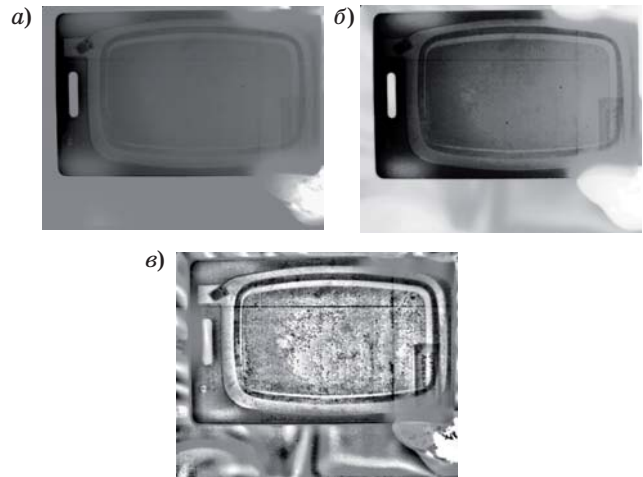
■ **Рис. 3.** Результат увеличения контрастности изображения (рис. 1) степенным преобразованием со смещенным нулем (а) и эквализацией гистограммы яркости (б)

В данном случае первый метод позволил увеличить контрастность больше, чем второй, но естественность изображения за счет сохранения складок одежды лучше сохранил второй метод.

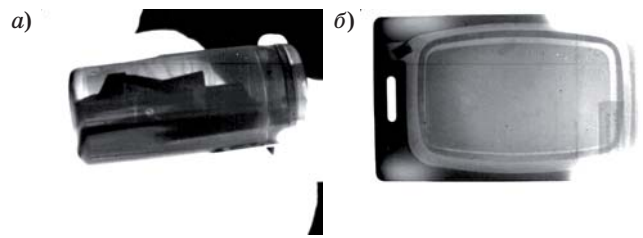
Результат увеличения контрастности степенным преобразованием со смещенным нулем изображения, показанного на рис. 2, приведен на рис. 4, а. В данном случае, хотя контрастность и повысилась, различимость текста недостаточна.

Результат увеличения контрастности эквализацией гистограммы изображения, показанного на рис. 2, приведен на рис. 4, б. По сравнению с изображением на рис. 4, а, различимость текста несколько возросла.

Результат адаптивной эквализации изображения, показанного на рис. 2, приведен на рис. 4, в. Данный метод позволил существенно повысить различимость текста, но потребовал значительно больше времени на обработку, как и большинство адаптивных методов.



■ **Рис. 4.** Результат увеличения контрастности изображения (рис. 2) степенным преобразованием со смещенным нулем (а); эквализацией гистограммы яркости (б); адаптивной эквализацией гистограммы яркости (в)



■ **Рис. 5.** Результат увеличения контрастности фрагмента (текста): а — на рис. 1; б — на рис. 2 — кусочно-линейным преобразованием шкалы яркости

Проанализировав на гистограмме распределение яркостей по пикселям в области, различимость которой желательно повысить, можно выполнить кусочно-линейное преобразование шкалы яркости в заданном диапазоне. Результат обработки для изображений, показанных на рис. 1 и 2, представлен соответственно на рис. 5, а (диапазон 5...30) и 5, б (диапазон 10...40), из которых видно, что увеличилась контрастность фрагментов, плохо различимых на исходных изображениях. Применение данного метода в автоматическом режиме затруднено, так как диапазон преобразования шкалы яркости зависит от яркости пикселей, расположенных в интересующей нас области.

### Методы увеличения резкости

Из выражения (2) следует, что увеличение резкости возможно и при уменьшении толщины линии границы  $l_{\max} - l_{\min}$ . Этот результат можно получить, уменьшая размер изображения [12].



Однако данный подход неприменим для мало-размерных фрагментов, так как значительное уменьшение их размеров может привести к снижению различимости или даже к их исчезновению.

Другой способ визуального увеличения резкости без изменения контрастности заключается в подчеркивании границ контурной линии, отделяющей фрагменты друг от друга, т. е. изменении яркости тех пикселей, которые находятся на границе линии контура, отделяющей один фрагмент от другого. Если яркость темных граничных пикселей понижается, а яркость светлых — повышается, то в результате локальной контрастности  $S$  увеличивается при сохранении толщины контура. Ясно, что увеличение резкости таким способом возможно только при условии, что яркость граничных пикселей находится в среднем диапазоне шкалы яркости.

Основная проблема, возникающая при использовании данного подхода, заключается в следующем. С одной стороны, требуется увеличить резкость информативных фрагментов с малой разностью яркостей, а с другой — не изменять резкость хорошо различимых фрагментов и не увеличивать шум, если он имеется.

Для вычисления уровня увеличения резкости можно использовать вторую производную функции яркости изображения [12], т. е. лапласиан. В разностной форме лапласиан центрального пикселя для окрестности  $3 \times 3$  определяется матрицей  $\mathbf{H}_L = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ . Тогда

$$z' = z - k_L z_L, \quad (4)$$

где  $k_L$  — коэффициент усиления резкости лапласианом ( $k_L = 0 \dots 5$ );  $z_L$  — результат свертки окрестности  $3 \times 3$  пикселя яркостью  $z$  с  $\mathbf{H}_L$ . Если перепадов яркости в окрестности нет, то  $z_L = 0$  и  $z' = z$ . Если центр окрестности находится в начале границы перехода от низкой яркости к высокой, то  $z_L > 0$  и, согласно (4),  $z' < z$ . Если центр окрестности — в конце этой границы, то  $z_L < 0$  и, соответственно,  $z' > z$ . Следовательно, диапазон яркости границы увеличивается приблизительно на  $2k_L z_L$ .

Подчеркивания границ фрагментов можно получить, используя метод нечеткого маскирования [15]. Например, в результате свертки изображения с усредняющей матрицей гауссиана можно получить размытое изображение. Матрица

гауссиана имеет вид  $\mathbf{H}_G = C_G \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ . Нормирующий коэффициент  $C_G = 1/16$  сохраняет яр-

кость пикселя без изменений, если перепадов яркости в его окрестности нет. Тогда

$$z' = z_G + k_G(z - z_G), \quad (5)$$

где  $k_G$  — коэффициент усиления резкости гауссианом ( $k_G = 1 \dots 10$ );  $z_G$  — яркость соответствующего пикселя изображения, полученного в результате свертки изображения с гауссианом.

Если перепадов яркости в окрестности центрального пикселя яркостью  $z$  нет, т. е.  $z = z_G$ , то  $z' = z$  и изменений яркости пикселя не происходит. Если центр окрестности — в начале границы перехода от низкой яркости к высокой, то  $z_G > 0$  и, согласно (5),  $z' < z$ . Если центр окрестности — в конце этой границы, то  $z_G < 0$  и, соответственно,  $z' > z$ . Следовательно, диапазон яркости границы увеличивается приблизительно на  $2(k_G - 1)(z_G - z)$ .

Недостатком определения яркости текущего пикселя по выражениям (4) и (5) для увеличения резкости является постоянство коэффициента усиления для всего изображения. В результате степень усиления резкости остается одинаковой при любом перепаде яркости в окрестности текущего пикселя. Желательно иметь возможность изменять коэффициент усиления резкости в зависимости от величины разброса яркостей в окрестности, т. е. использовать методы адаптивного вычисления коэффициента для каждого пикселя обрабатываемого изображения.

Коэффициент усиления резкости в (5) можно изменять в зависимости от дисперсии яркости окрестности [12], например:  $k_z = \frac{k_0}{\sqrt{D_z}}$ , где  $k_0$  —

задаваемая оператором константа ( $k_0 = 1 \dots 255$ );  $D_z$  — дисперсия яркости окрестности текущего пикселя обрабатываемого изображения. Размер окрестности следует выбирать так, чтобы статистическая оценка яркости была достоверной. В общем случае чем меньше  $D_z$ , тем больше коэффициент усиления. Если  $D_z = 0$ , то следует установить  $k_z = 1$ , и тогда яркость равномерных участков изображения не будет изменяться.

Хорошие результаты дает адаптивное увеличение резкости на основе локального контраста,

который вычисляется как [12]  $C_z = \frac{|z - z_c|}{z + z_c}$ , где

$z_c$  — средняя яркость некоторой окрестности пикселя яркостью  $z$ . Нелинейное усиление локального контраста задается как  $C_z^* = f(C_z)$ , где  $f(C_z)$  — нелинейная, монотонная функция, которая удовлетворяет условиям  $f(C_z) > C_z$ ,  $C_z = 0 \dots 1$  и  $f(C_z) = 0 \dots 1$ . В качестве функции  $f$  можно выбрать логарифмическую функцию  $C_z^* = \ln(C_z)$  или степенную  $C_z^* = C_z^n$ , где  $n = 0, 1 \dots 1, 0$ . Результирующую

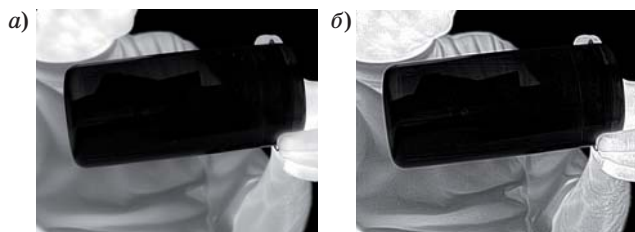
щая яркость центрального пикселя окрестности вычисляется как

$$z' = \begin{cases} z_c \frac{1 - C_z^*}{1 + C_z^*}, & z < z_c \\ z_c \frac{1 + C_z^*}{1 - C_z^*}, & z > z_c \end{cases} \quad (6)$$

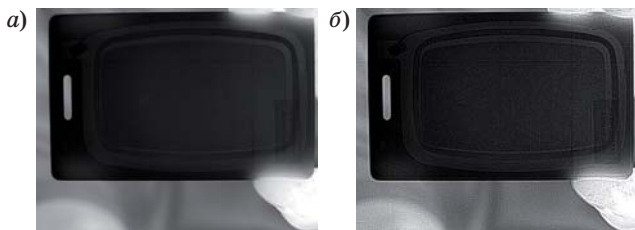
Из (6) следует, что при  $n = 1$   $C_z^* = C_z$  и, соответственно,  $z' = z$ . Чем меньше  $n$ , тем больше  $C_z^*$  относительно  $C_z$ , а два варианта вычисления  $z'$  в зависимости от соотношения  $z$  и  $z_c$  позволяют увеличить резкость границы между фрагментами с близкой яркостью.

Результаты повышения резкости с применением гауссиана и локального контрастирования изображений, показанных на рис. 1 и 2, приведены соответственно на рис. 6, а и б и 7, а и б. Если обработка изображения, показанного на рис. 1, указанными методами несколько повышает различимость содержимого контейнера (рис. 6), то результат обработки изображения, показанного на рис. 2, скорее снижает различимость текста (рис. 7) за счет излишнего повышения резкости окружающих его фрагментов.

Оценить результаты повышения различимости можно как визуально, так и используя различные метрики качества, из которых наиболее популярной в последнее время является мера структурного подобия SIMM [16]. Эта мера требует для сравнения наличия двух изображений одной и той же сцены и сочетает в себе оценку корреляции, сходство средних значений и сход-



■ **Рис. 6.** Результат увеличения резкости изображения (рис. 1) гауссианом (а) и локальным контрастированием (б)



■ **Рис. 7.** Результат увеличения резкости изображения (рис. 2) гауссианом (а) и локальным контрастированием (б)

ство контрастов сравниваемых изображений. Применение количественной оценки качества обработанного изображения дает возможность повысить объективность оценки эффективности применения различных методов, а также автоматизировать процесс выбора наиболее подходящего метода и настройки его параметров.

Хотя увеличение резкости и может повысить различимость фрагментов изображения, требуется тщательный подбор параметров обработки, так как излишнее подчеркивание может привести к ухудшению различимости. Кроме этого, при увеличении резкости время обработки изображения существенно больше, чем при увеличении контрастности. Это объясняется выполнением операции свертки, а для адаптивных методов — вычислением локальных статистических характеристик.

Необходимо отметить, что наряду с приведенными выше методами повышения различимости известны и другие подходы, дающие аналогичные результаты. Например, метод сверхразрешения [17] и метод слепой деконволюции [18]. Однако для реализации указанных методов необходима дополнительная априорная информация о функции рассеяния точки, геометрических размерах и статистических характеристиках яркости фрагментов. Кроме того, данные методы реализуются с применением преобразования Фурье, что требует значительного времени на обработку изображений большого размера.

### Заключение

Повышения различимости фрагментов изображений, полученных с видеокamer, работающих в ИК-диапазоне электромагнитного излучения, следует в первую очередь добиваться путем подбора узкополосных ИК-фильтров. При необходимости улучшения различимости фрагментов изображений программными средствами наиболее перспективными можно считать методы повышения контрастности.

Решение вопросов, связанных с выбором наиболее эффективных методов повышения контрастности изображений, как и вопросов автоматизации выбора параметров в этих методах, требует исследования зависимости качества исходных изображений от условий съемки.

### Литература

1. Анитропов Р. В. и др. Анализ параметрической модели обобщенного триплета и его применение в оптико-информационных системах / Р. В. Анитропов, И. Г. Бронштейн, В. Н. Васильев, В. А. Зверев,

- И. Л. Лившиц, М. Б. Сергеев, Унчун Чо // Информационно-управляющие системы. 2010. № 1. С. 6–13.
2. **Анитропов Р. В.** и др. Упрощение оптической системы приемного объектива в цифровых камерах за счет аппаратной и программной компенсации аберраций / Р. В. Анитропов, В. Н. Васильев, В. А. Зверев, И. Л. Лившиц, М. Б. Сергеев, Унчун Чо // Информационно-управляющие системы. 2011. № 1. С. 57–61.
  3. **Васильев В. Н.** и др. Гибридный микрообъектив для оптико-информационных систем комбинационного рассеяния / В. Н. Васильев, И. Л. Лившиц, М. Б. Сергеев, Е. М. Соколова // Информационно-управляющие системы. 2012. № 5. С. 2–6.
  4. **Gaussorgues Gilbert.** La Thermographie Infrarouge. Principes, Technologie, Applications. 4<sup>ème</sup> éd. — Tec & Doc, 1999. — 587 p.
  5. **Трухачев В. В., Поляков С. А.** Повышение различимости объектов на изображениях, формируемых ИК-системами // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 55–58.
  6. Beratung und Lieferung von OEM-Komponenten. <http://www.eureca.de/neu-german/index.html> (дата обращения: 20.09.2016).
  7. **Бронштейн И. Г.** и др. Теория и практика расчета малогабаритных объективов для оптико-информационных систем / И. Г. Бронштейн, И. Л. Лившиц, М. Б. Сергеев, Унчун Чо // Информационно-управляющие системы. 2007. № 5. С. 52–55.
  8. **Лившиц И. Л.** и др. Характеристики программного обеспечения для проектирования дифракционно-ограниченных оптико-электронных систем / И. Л. Лившиц, М. А. Пашковский, И. Г. Бронштейн, М. Б. Сергеев, Унчун Чо // Информационно-управляющие системы. 2008. № 3. С. 19–22.
  9. **Васильев В. Н.** и др. Адаптация схем классических широкоугольных объективов для использования в цифровых камерах / В. Н. Васильев, А. И. Драгунов, И. Л. Лившиц, М. Б. Сергеев, Е. М. Соколова // Информационно-управляющие системы. 2012. № 6. С. 2–6.
  10. **Колбанев М. Ю., Рогачев В. А.** Анализ проблемы обнаружения в инфракрасных системах // Информационно-управляющие системы. 2010. № 5. С. 51–54.
  11. **Безбородов В. Г., Дукарский О. М., Серебряков В. Г.** Развитие технологий информационного обеспечения и мониторинга для задач управления территориями // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2015. Т. 7. № 4. <http://naukovedenie.ru/PDF/122EVN415/pdf> (дата обращения: 20.09.2016). doi:10.15862/122EVN415.
  12. **Соловьев Н. В., Сергеев А. М.** Улучшение качества растровых изображений. — Lambert Academic Publishing, 2015. — 104 с.
  13. **Сергеев М. Б., Соловьев Н. В., Стадник А. И.** Методы повышения контрастности растровых изображений для систем цифровой обработки видеoinформации // Информационно-управляющие системы. 2007. № 1. С. 2–7.
  14. **Ерош И. Л., Сергеев М. Б., Соловьев Н. В.** Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности: учеб. пособие. — СПб.: ГУАП, 2005. — 154 с.
  15. **Richard E. Woods, Rafael C. Gonzalez.** Digital Image Processing. Second Ed. — Prentice Hall, 2002. — 813 p.
  16. **Wang Z., Bovik A. C.** A Universal Image Quality Index // IEEE Signal Processing Letters. Mar. 2002. Vol. 9. P. 81–84.
  17. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В. А. Сойфера. — М.: Физматлит, 2003. — 784 с.
  18. **Журавель И. М.** Краткий курс теории обработки изображений. <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php> (дата обращения: 22.09.2016).

UDC 004.042

doi:10.15217/issn1684-8853.2016.6.2

### Improving the Legibility of Informative Fragments of Monochrome Infrared Images

Vostrikov A. A.<sup>a</sup>, PhD, Tech., Associate Professor, [vostricov@mail.ru](mailto:vostricov@mail.ru)

Kuchin N. V.<sup>a</sup>, PhD, Tech., Associate Professor, [nick.kuchin@yandex.ru](mailto:nick.kuchin@yandex.ru)

Petrenko E. A.<sup>a</sup>, Acting Head of Labs, [petrenko\\_elene@mail.ru](mailto:petrenko_elene@mail.ru)

Sergeev A. M.<sup>a</sup>, Senior Lecturer, [asklab@mail.ru](mailto:asklab@mail.ru)

Solovyev N. V.<sup>a</sup>, PhD, Tech., Associate Professor, [famsol@yandex.ru](mailto:famsol@yandex.ru)

Solov'eva T. N.<sup>a</sup>, PhD, Tech., Associate Professor, [al2tn@yandex.ru](mailto:al2tn@yandex.ru)

<sup>a</sup>Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaia St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Purpose:** We demonstrate the ways to improve the legibility of informative fragments of monochrome images in the infrared range. **Methods:** We increase the contrast and sharpness of the images, taking into account the parameter variability and the time necessary to process infrared images of various sizes. **Results:** After analyzing the local contrast of infrared images, algorithmic complexity and the possibility to implement various methods of automatically improving the legibility of the fragments, we conclude that the best way to improve the legibility is choosing proper hardware, optical systems and narrowband infrared filters. When necessary, the legibility

can be improved by software tools, namely by the methods of improving the contrast by per-pixel conversion. **Practical relevance:** For infrared images obtained under difficult conditions, the legibility of informative fragments can be improved by fine-tuning the adjustable parameters of the methods used to enhance the contrast. This is demonstrated by the results of software-based improvement of the object legibility on the sample images.

**Keywords** — Video Monitoring Systems, Video Systems, Aerospace Imagery, IR Range, Monochrome Image, Monochrome Image Fragment, Legibility Improvement.

## References

- Anitropov R. V., Bronshtein I. G., Vasilev V. N., Zverev V. A., Livshits I. L., Sergeev M. B., Cho Unchung. Analysis of a Parametric Model of the Generalized Triplet and its Application in Optical Information Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2010, no. 1, pp. 6–13 (In Russian).
- Anitropov R. V., Vasilev V. N., Zverev V. A., Livshits I. L., Sergeev M. B., Cho Unchung. Simplifying Optical Scheme of the Digital Camera Receiving Lens Using Hardware and Software Aberration Compensation. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2011, no. 1, pp. 57–61 (In Russian).
- Vasilev V. N., Livshits I. L., Sergeev M. B., Sokolova E. A. Hybrid Microscope Objective for Optical Information Systems of Raman Scattering. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2012, no. 5, pp. 2–6 (In Russian).
- Gaussorgues Gilbert. *La Thermographie Infrarouge. Principes, Technologie, Applications*. 4<sup>ème</sup> éd. Tec & Doc, 1999. 587 p. (In French).
- Trukhachev V. V., Polyakov S. A. Increase Visibility of the Objects on the Images Produced by the IR Systems. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2013, no. 10, pp. 55–58 (In Russian).
- Beratung und Lieferung von OEM-Komponenten*. Available at: <http://www.eureca.de/neu-german/index.html> (accessed 20 September 2016).
- Bronshtein I. G., Livshits I. L., Sergeev M. B., Cho Unchung. The Theory and Practice of the Design of Small-Size Lenses for Television Information Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2007, no. 5, pp. 52–55 (In Russian).
- Livshits I. L., Pashkovskii M. A., Bronshtein I. G., Sergeev M. B., Cho Unchung. Characteristic Properties of Optics-Electronics Design Software for Diffraction-Limited Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2008, no. 3, pp. 19–22 (In Russian).
- Vasilev V. N., Dragunov A. I., Livshits I. L., Sergeev M. B., Sokolova E. A. Adaptation of Classical Wide Angle Lenses for their Application in Digital Cameras. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2012, no. 6, pp. 2–6 (In Russian).
- Kolbanev M. O., Rogachev V. A. An Analysis of the Detection Problem in Infrared Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2010, no. 5, pp. 51–54 (In Russian).
- Bezborodov V. G., Dukarsky O. M., Serebryakov V. G. Development of Information and Monitoring Technologies for the Management of Territories. *Internet-zhurnal "NAUKOVEDENIE"*, 2015, vol. 7, no. 4. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/122EVN415/pdf> (accessed 20 September 2016) (In Russian). doi:10.15862/122EVN415
- Solovjov N. In., Sergeev A. M. *Uluchshenie kachestva rastrovyykh izobrazhenii* [Improving the Quality of Raster Images]. Lambert Academic Publishing, 2015. 104 p. (In Russian).
- Sergeev M. B., Solovjov N. V., Stadnik A. I. Methods to Increase Raster Image Contrast for Systems of Digital Video Processing. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2007, no. 1, pp. 2–7 (In Russian).
- Erosh I. L., Sergeev M. B., Solovjov N. V. *Obrabotka i raspoznavanie izobrazhenii v sistemakh preventivnoi bezopasnosti* [Processing and Image Recognition in Systems Preventive Security]. Saint-Petersburg, GUAP Publ., 2005. 154 p. (In Russian).
- Richard E. Woods, Rafael C. Gonzalez. *Digital Image Processing*. Second Ed. Prentice Hall, 2002. 813 p.
- Wang Z., Bovik A. C. A Universal Image Quality Index. *IEEE Signal Processing Letters*, Mar. 2002, vol. 9, pp. 81–84.
- Metody komp'yuternoi obrabotki izobrazhenii* [Methods of Computer Image Processing]. Ed. by V. A. Soifer. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 784 p. (In Russian).
- Zhuravel I. M. *Kratkii kurs teorii obrabotki izobrazhenii* [Short Course in the Theory of Image Processing]. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php> (accessed 22 September 2016).