

В. Б. Бокшанский, В. Е. Карасик,
М. А. Таранов

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ СВЕТОВОЗВРАЩАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Приведен алгоритм автоматического обнаружения световозвращателей на сложном высококонтрастном фоне в широком поле зрения с помощью лазерных локационных систем. В основе алгоритма лежит вычисление межкадровой разности после цифровой фильтрации и последующая пороговая обработка локационного изображения по заданным вероятностным параметрам обнаружения.

E-mail: vassily@rl2.bmstu.ru; emitter2006@yandex.ru

Ключевые слова: лазерная локационная система, эффект световозвращения, цифровой фильтр, пороговая обработка, локационная картина.

Обнаружение световозвращателей (СВ) таких, как снайперский прицел, бинокль и других, ведущих встречное наблюдение, в настоящее время является актуальной задачей. С этой целью разработан целый ряд систем, позволяющих обнаруживать такие СВ дистанционно с расстояний от нескольких метров до нескольких километров и более. Их принцип действия основан на использовании эффекта световозвращения при зондировании области предполагаемого размещения СВ оптическим, как правило лазерным, излучением. Структурно локационные системы (ЛС) обнаружения СВ содержат приемный и передающий каналы, а также индикатор наличия/отсутствия СВ в поле зрения обнаружителя.

Первое поколение лазерных локационных систем (ЛЛС) обнаружения СВ было построено с использованием одноэлементного приемника излучения, высокочастотного полупроводникового лазерного излучателя и оптико-механической системы сканирования, осуществлявшей развертку узкого углового поля зрения (1...2 угл. мин) в пространстве предметов. При этом основным недостатком подобных ЛЛС являлось отсутствие возможности визуализации локационной картины, а также большое время поиска СВ. С развитием элементной базы электронных приборов и появлением высокочувствительных матричных приемников излучения на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС) появилась возможность создания ЛЛС с низкочастотным импульсным подсветом в достаточно широком угловом поле зрения (градусы). Такие ЛЛС позволяют оператору наблюдать блик от СВ непосредственно на экране видеомонитора на фоне подстилающей поверхности. Однако зачастую малый контраст изображения блика от

СВ на высококонтрастном фоне, а также малое время, предоставляемое для наблюдения, сильно затрудняют обнаружение СВ человеком-оператором. Поэтому для обеспечения уверенного обнаружения СВ требуется реализация автоматических режимов (без участия человека-оператора), основанных на широком применении методов и алгоритмов цифровой обработки видеоизображений в реальном масштабе времени.

Целью настоящей статьи является разработка и исследование эффективного помехоустойчивого алгоритма автоматического обнаружения СВ на различных дальностях при различных фоновых условиях с учетом конечного отношения сигнал/помеха на выходе приемного канала.

В общем случае после аналого-цифрового преобразования видеосигнала (для современных цифровых камер ЛЛС такое преобразование не требуется) на вход цифрового блока последовательно поступают кадры $x_k(m, n)$, представляющие собой распределение интенсивности по дискретным координатам m, n в кадре под номером k . При этом объект подсвечивается лазерным передающим каналом при регистрации каждого второго кадра. Другими словами, кадры разделяются на два типа: активные $x_{ak}(m, n) = x_{2k+1}(m, n)$ и пассивные $x_{pk}(m, n) = x_{2k}(m, n)$. Активные кадры помимо изображения фона содержат локационное изображение, включающее блики от обнаруженных СВ, и изображения диффузно отражающих элементов наблюдаемой сцены. Напротив, пассивные кадры несут в себе информацию только о подстилающем фоне. Необходимо отметить, что отличие между соседними кадрами заключается еще и в шумовой реализации $R_k(m, n)$, которая аддитивно добавляется к детерминированному изображению $E_k(m, n)$. С учетом сказанного, можно записать для k -го кадра: $x_k(m, n) = E_k(m, n) + R_k(m, n)$. Алгоритм обработки входного сигнала $x_k(m, n)$ содержит 7 основных этапов.

1. Цифровая фильтрация входного сигнала:

$$y_k(m, n) = \sum_{i=m-(L_i-1)}^m \sum_{j=n-(L_j-1)}^n h(m-i, n-j)x_k(m, n),$$

где $h(i, j)$ — матрица фильтра размера $L_i \times L_j$, $y_k(m, n)$ — выходное изображение после фильтрации. После фильтрации активного кадра $x_{ak}(m, n) \rightarrow y_{ak}(m, n)$, пассивного — $x_{pk}(m, n) \rightarrow y_{pk}(m, n)$.

Цифровая фильтрация входного сигнала преследует две цели:

— повышение отношения сигнал/шум вследствие частичного подавления шумовой составляющей $R_k(m, n)$ в высокочастотной области спектра;

— повышение помехоустойчивости ЛЛС (уменьшение вероятности появления ложных изображений СВ).

Очевидно, что сужение полосы фильтра приведет к уменьшению заметности шума на экране с одновременным подавлением изображения блика СВ. Поэтому необходимо найти оптимальное сочетание порядка фильтра с его типом. С учетом больших вычислительных затрат при использовании матрицы $h(i, j)$ большого порядка (3-го и выше), использование фильтров 3×3 либо 5×5 наиболее приемлемо. Представляется целесообразным рассмотреть фильтры двух типов:

$$\sigma^2: h(i, j) = \frac{1}{2\sigma^2} \exp \left[-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2} \right] - \text{гауссов фильтр с дисперсией};$$

$h(i, j) = \frac{1}{L^2} \text{rect} \left[\frac{i}{L}, \frac{j}{L} \right] - \text{усредняющий (rect-образный) фильтр}$ (L — длина фильтра), поскольку остальные виды фильтров в той или иной степени могут быть аппроксимированы перечисленными типами. В табл. 1 приведены результаты оценки аппаратно реализуемого отношения сигнал/шум μ в зависимости от типа и размера фильтра. Все вычисления выполнены в среде MATLAB по реальным изображениям, полученным с помощью макетного образца ЛЛС, разработанного в НИИ РЛ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Таблица 1

Результаты вычисления отношения сигнал/шум в зависимости от типа и размера цифрового фильтра

Тип фильтра	Матрица $h(i, j)$	μ
Усредняющий, 3×3 $h(i, j) = \frac{1}{9} \text{rect} \left[\frac{i}{3}, \frac{j}{3} \right]$	$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	27,6
Усредняющий, 5×5 $h(i, j) = \frac{1}{25} \text{rect} \left[\frac{i}{5}, \frac{j}{5} \right]$	$\frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	25,7
Гауссов, 3×3 , $\sigma = 0,8$ $h(i, j) = \frac{1}{4,02} \exp \left[-\frac{i^2 + j^2}{1,28} \right]$	$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	26,5
Гауссов, 3×3 , $\sigma = 0,5$ $h(i, j) = \frac{1}{1,57} \exp \left[-\frac{i^2 + j^2}{0,5} \right]$	$\frac{1}{12} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 8 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	14,6

Анализ данных, представленных в табл. 1, позволяет заключить, что наибольший эффект с точки зрения максимизации отношения сиг-

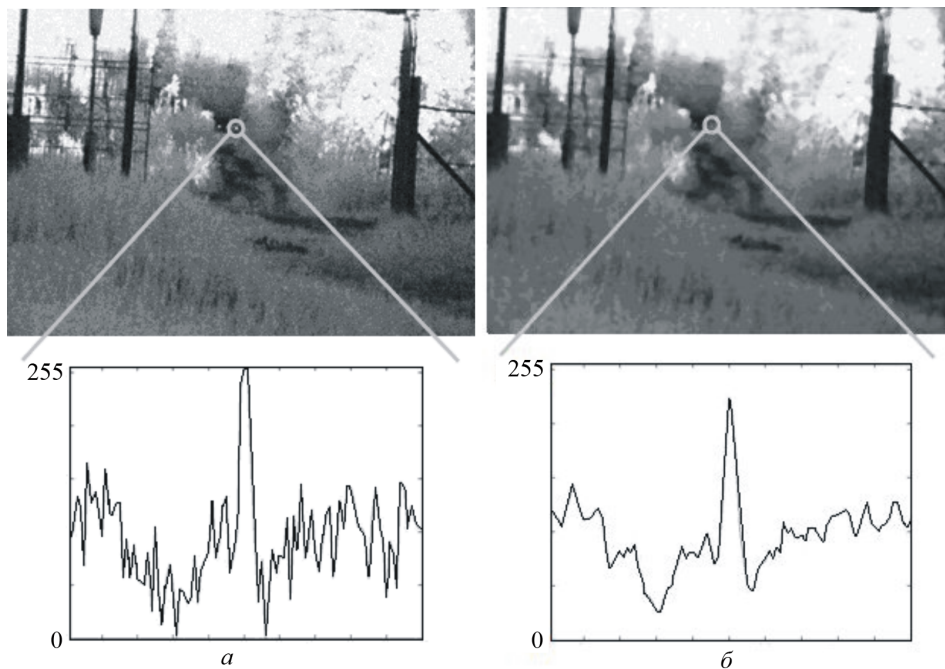


Рис. 1. Видеокадр, содержащий изображения СВ до фильтрации (а) и после фильтрации (б) усредняющим фильтром 3×3

нал/шум оказывает усредняющий фильтр 3×3 . Сужение полосы пропускания фильтра (усредняющий, 5×5) не приводит к существенному изменению отношения сигнал/шум, но является более ресурсоемким. Напротив, применение более широкополосного фильтра (гауссова, 3×3 , $\sigma = 0,5$) снижает отношение сигнал/шум за счет менее эффективного подавления шумов в ВЧ-области спектра. На рис. 1 представлены видеокадры, содержащие изображения СВ до и после фильтрации усредняющим фильтром 3×3 . Под каждым изображением представлено горизонтальное сечение интенсивности, позволяющее оценить результат фильтрации.

Кроме увеличения отношения сигнал/шум цифровая фильтрация обеспечивает уменьшение вероятности появления ложного изображения СВ вследствие вибраций и флуктуаций поля зрения ЛЛС. Требование к идентичности фонового изображения в активном и пассивном кадрах вытекает вследствие покадрового вычитания (см. далее, п. 2 алгоритма). Очевидно, что если попиксельная разность превысит заданный порог при отсутствии СВ в поле зрения ЛЛС, произойдет определение ложного изображения СВ, причем вероятность подобного события выше именно в области резких перепадов интенсивности в кадре.

Пусть произвольный одномерный перепад интенсивности C описывается с помощью ступенчатой функции Хевисайда:

$$E(m) = CH(m), \text{ где } H(m) = \begin{cases} 0 & |m| < 0; \\ 1 & |m| \geq 0. \end{cases}$$

Тогда при смещении изображения $E(m)$ на один пиксель в $(k+1)$ -м кадре матрица разности $s_{k+1}(m)$ будет иметь вид

$$s_{k+1}(m) = E_k(m-1) - E_{k+1}(m) = \delta(m),$$

где $\delta(m)$ — дельта-функция. Очевидно, что максимальное значение $s_{k+1}(m) = C$ получается при $m = 0$, т.е. в месте перепада интенсивности, тогда как при других значениях m и $s_{k+1}(m) = 0$. На рис. 2, а приведены графики $E(m)$ и $E(m-1)$, поясняющие изложенное.

Использование цифровой фильтрации позволяет сделать перепады интенсивности в изображении более плавными. Так, использование усредняющего фильтра 3×3 приведет к появлению ступенчатого размытия функции Хевисайда:

$$E_{\Phi}(m) = E(m) \otimes h(m) = \frac{C}{3} [H(m) + H(m-1) + H(m-2)],$$

где $h(m)$ — одномерная матрица $\frac{1}{3}[1, 1, 1]$ усредняющего фильтра; $E_{\Phi}(m)$ — результирующее изображение после фильтрации. Если теперь внести сдвиг $(k+1)$ -го кадра на один пиксель относительно k -го, функция разности примет вид

$$\begin{aligned} s_{k+1}(m) &= E_{\Phi-k}(m-1) - E_{\Phi-(k+1)}(m) = \\ &= \frac{C}{3} [H(m) - H(m-3)] = \frac{C}{3} \text{rect} \left[\frac{m-1,5}{3} \right]. \end{aligned}$$

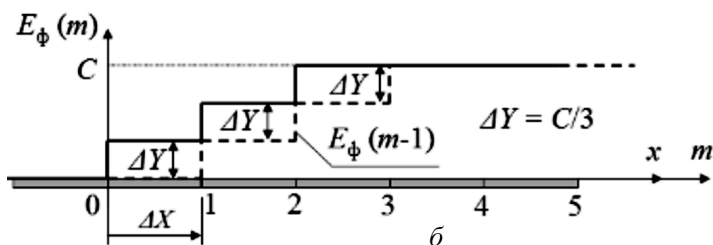
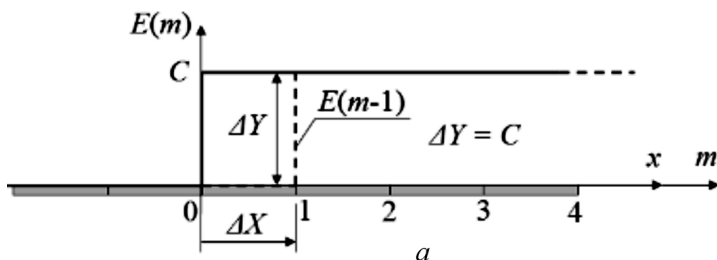


Рис. 2. Зависимость межкадровой разности ΔY от смещения ΔX до цифровой фильтрации (а) и после (б)

Анализ полученного выражения позволяет заключить, что для отсчетов в пределах длительности перепада интенсивности $m = 1 \dots 3$ значения разности равны $C/3$, что в 3 раза меньше, чем до фильтрации. На рис. 2, б показан случай сдвига изображения $E_{\text{ф}}(m)$ на один пиксель после цифровой фильтрации, поясняющий полученный результат. Если для выбранного порога $U_{\text{пор}}$ при проведении пороговой обработки (см. далее, п. 3 алгоритма) выполняется условие $\frac{C}{3} < U_{\text{пор}} < C$, то при анализе нефильтрованного изображения произойдет детектирование ложных СВ, а после фильтрации — ложных СВ не возникнет. Аналогично можно показать, что при сдвиге на два пикселя ошибка в разностном сигнале составит уже $\frac{2}{3}C$. Соответственно, предельный сдвиг, приводящий к уменьшению ошибки, для рассмотренного случая определяется размером матрицы цифрового фильтра. Данный пример демонстрирует положительное влияние цифровой фильтрации на устойчивость ЛЛС к небольшим сдвигам изображения фона при вибрации.

2. Покадровое вычитание отфильтрованного сигнала:

$$s_k(m, n) = y_{ak}(m, n) - y_{пк}(m, n),$$

где $s_k(m, n)$ — матрица разности, содержащая локационный сигнал и шумовое поле.

3. Пороговая обработка разностной матрицы $s_k(m, n)$:

$$\bar{s}_k(m, n) = \begin{cases} s_k(m, n) & | s_k(m, n) \geq U_{\text{пор}}; \\ 0 & | s_k(m, n) < U_{\text{пор}}, \end{cases}$$

где $\bar{s}_k(m, n)$ — выходная разностная матрица; $U_{\text{пор}}$ — константа, задающая пороговое значение для сравнения.

Еще одним важным этапом при реализации автоматического обнаружения СВ является пороговая обработка. Несмотря на простоту данной операции, выбор порога во многом определяет эффективность работы ЛЛС. По сути, именно на данной стадии принимается решение о наличии/отсутствии СВ в поле зрения ЛЛС. Следуя теории обнаружения, выбор порога $U_{\text{пор}}$ связан с заданной вероятностью правильного обнаружения/ложной тревоги, среднеквадратическим значением шума и выбранным вероятностным критерием.

Отсутствие у наблюдателя априорной информации о наличии СВ в поле зрения ЛЛС, а при его наличии — информации о его местоположении на экране монитора существенно снижает вероятность правильного обнаружения при росте вероятности ложной тревоги. Это необходимо учитывать при выборе критерия, позволяющего определить пороговое значение воспринимаемого отношения сигнал/шум $\mu_{\text{в-пор}}$. Критерий Неймана–Пирсона наиболее полно удовлетворяет условиям

поставленной задачи, поскольку не требует априорной информации об объекте и вероятностных характеристиках его обнаружения. Задав вероятность обнаружения цели $P_{обн} = 0,9999$ при вероятности ложной тревоги $P_{л.т} = 10^{-4}$, можно рассчитать пороговое значение отношения сигнал/шум [1]

$$\mu_{пор} = [\Phi^{-1}(1 - P_{л.т}) - \Phi^{-1}(1 - P_{обн})]^2,$$

где $\Phi^{-1}(\xi)$ — функция, обратная функции Лапласа

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$$

В результате проведенных расчетов пороговое отношение сигнал/шум, соответствующее указанным условиям, составит $\mu_{пор} = 54,8$. Так, при 8-битном кодировании отсчетов яркости изображения и среднеквадратическом значении шума $\sigma = 1,3$ единиц разрядной сетки соответствующее значение порога составит $U_{пор} \sim 70$.

4. Выделение полутоновых подмножеств заданного размера и формы путем морфологической обработки:

$$D_{kz}(m, n) = [\bar{s}_k^1(m, n) \ominus B(p, r)] \cap [\bar{s}_k^0(m, n) \ominus (W \setminus B(p, r))],$$

где $B(p, r)$ — полутоновое множество точек, формирующих изображение СВ (по форме и размерам); W — множество точек, составляющих изображение несколько больших размеров, чем $B(p, r)$; $\bar{s}_k^1(m, n)$ — ненулевые элементы разностной матрицы; $\bar{s}_k^0(m, n)$ — нулевые элементы разностной матрицы; “ \ominus ” — операция эрозии множества $\bar{s}_k^1(m, n)$ по множеству $B(p, r)$ и множества $\bar{s}_k^0(m, n)$ по разности множеств $W \setminus B(p, r)$. В литературе [2] данная операция называется “успех/неудача”.

Основной целью операции п. 4 приведенного алгоритма является выделение в выходной разностной матрице $\bar{s}_k(m, n)$ областей, по форме и размерам близким к изображению СВ. Как показывают исследования, проведенные в работе [3], форма изображения СВ близка к кругу. Для оценки размеров изображений СВ можно воспользоваться законами геометрической оптики.

В ЛЛС объектив приемного канала формирует абберрационно-дифракционное изображение входного зрачка объектива обнаруживаемого СВ в своей фокальной плоскости, совмещенной с плоскостью матричного приемника. На это изображение частично накладывается изображение индикатрисы отраженного от СВ зондирующего излучения. В табл. 2 приведены линейные размеры изображения блика от СВ (диаметр пятна d_0) в плоскости ПЗС-матрицы при использовании объектива AVENIR SE-5013 с фокусным расстоянием 50 мм

Зависимость размера изображения СВ от диаметра зрачка СВ при локации с дальности 20 м

Диаметр зрачка СВ (прицела), мм	Диаметр изображения зрачка, мкм
10	25
15	37,5
20	50
25	62,5
30	75

(учитываются только геометрические эффекты) и обнаружении оптических прицелов с разными диаметрами входного зрачка с расстояния $l = 20$ м ($l \approx 15 \dots 20$ м — ближняя граница применимости прибора) в качестве СВ. С ростом расстояния до СВ размер изображения СВ стремится к одному пикселю.

Сравнивая данные табл. 2 с размерами корреляционной ячейки шума, которая для матричного ПЗС-приемника равна размерам одного элемента ПЗС, можно заключить, что геометрический размер изображения блика от СВ в несколько раз больше размера $A_{эл}$ одного элемента ПЗС-матрицы ($8,6 \times 8,3$ мкм для камеры WAT-902H фирмы WATEC). Для учета влияния дальности l на число элементов ФПЗС-матрицы, занимаемое изображением СВ, удобно ввести функцию

$$N_{эл}(l) = \begin{cases} n_{эл} = \frac{\pi D_0^2 f'^2}{4l^2 A_{эл}} & | n_{эл} > 1; \\ 1 & | n_{эл} \leq 1, \end{cases}$$

где D_0 — диаметр СВ; f' — фокусное расстояние приемного объектива.

Кроме описанных эффектов на размер изображения блика от СВ на ПЗС-матрице оказывают влияние дифракционные эффекты, а также усредняющее воздействие входного зрачка приемного объектива, регистрирующего индикатрису отраженного излучения с некоторой угловой шириной.

Линейный размер дифракционного пятна определяется известным выражением $d = (2,44\lambda f')/D_{пр}$, что при длине волны $\lambda = 0,8$ мкм, фокусном расстоянии объектива $f' = 50$ мм и диаметре входного зрачка приемной системы $D_{пр} = 28$ мм составляет 3,61 мкм. Другими словами, при работе на малых дальностях дифракция не будет оказывать существенного влияния на размер изображения СВ в фокальной плоскости приемного объектива.

Таким образом, учитывая все перечисленные особенности формирования пятна, можно считать, что весь ретроотраженный поток будет сосредоточен на одном–двух элементах ПЗС-матрицы для случая дальности $l > 160$ м. Это означает, что множество $B(p, r)$ должно

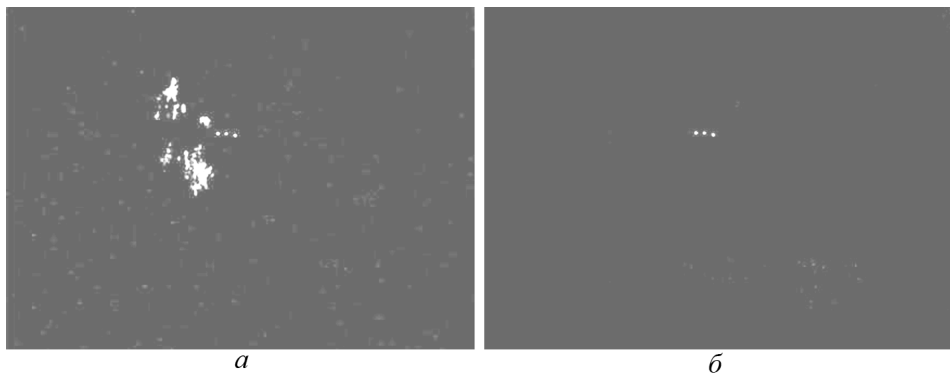


Рис. 3. Изображение после пороговой обработки, но до морфологической обработки (*а*) и после морфологической обработки (*б*)

содержать от ~ 20 (на малых дальностях) до 1–2 элементов (на больших дальностях). Соответственно, множество W будет отличаться от $B(p, r)$ по числу элементов на 10...20%.

На рис. 3, *а* приведено изображение после пороговой (см. п. 3 алгоритма), но до морфологической (см. п. 4 алгоритма) обработки. Легко заметить, что помимо выделенных малоразмерных областей, соответствующих изображениям СВ, присутствует обширная область неопределенной формы, обусловленная диффузным отражением лазерного излучения ЛЛС от близкорасположенных объектов (кустов). Благодаря морфологической процедуре над выделенными множествами на рис. 3, *б* видны только изображения СВ.

5. Вычисление энергетического центра тяжести для каждой z -й области $D_{kz}(m, n)$:

$$m_{ц-z} = \frac{\sum_{m \in D_{kz}} \sum_{n \in D_{kz}} m D_{kz}(m, n)}{\sum_{m \in D_{kz}} \sum_{n \in D_{kz}} D_{kz}(m, n)},$$

$$n_{ц-z} = \frac{\sum_{m \in D_{kz}} \sum_{n \in D_{kz}} n D_{kz}(m, n)}{\sum_{m \in D_{kz}} \sum_{n \in D_{kz}} D_{kz}(m, n)}.$$

Вычисление координат энергетического центра тяжести изображения каждого СВ имеет своей целью локализовать конкретный СВ с последующим измерением его параметров. Данная операция используется не всегда. Следует отметить, что погрешность определения координат увеличивается с ростом расстояния до СВ, что является следствием уменьшения числа пикселей, занимаемых изображением СВ.

6. Формирование изображения подстилающей поверхности $y_{\text{фн}-k}(m, n)$:

$$y_{\text{фн}-k}(m, n) = x_k(m, n)\rho,$$

где $\rho = 0 \dots 1$ — коэффициент ослабления фонового изображения.

7. Формирование результирующего компилированного изображения $y_{\text{вых}-k}(m, n)$:

$$y_{\text{вых}-k}(m, n) = y_{\text{фн}-k}(m, n) \cup D_{kz}(m, n).$$

Таким образом, в результате выполнения приведенного алгоритма для каждого второго кадра k формируются области $D_{kz}(m, n)$, занимаемые обнаруженными СВ, а также определяются энергетические центры каждой области (т.е. вычисляются координаты каждого СВ). Наличие таких областей свидетельствует о факте автоматического обнаружения СВ. Для индикации факта обнаружения найденных областей — изображений бликов от СВ может быть применено цветовое кодирование обнаруженных системой СВ на изображении, т.е. обозначение $D_{kz}(m, n)$, например, красным цветом на черно-белом фоне подстилающей поверхности. Также может быть применено графическое кодирование, т.е. обозначение $D_{kz}(m, n)$ графическим цветным символом. На рис. 4, а приведено изображение активного кадра без обработки, а на рис. 4, б — после обработки с применением графического кодирования.

Приведенный в настоящей работе алгоритм автоматического обнаружения СВ на сложном фоне был апробирован с помощью изготовленных на кафедре РЛД приборов “Антисвид-4” и “Антиснайпер”. Результаты испытаний показали высокую эффективность указанных приборов при обнаружении СВ с малым показателем световозвращения (до $10 \text{ м}^2/\text{ср}$) на дальностях до 1,5 км. При этом приведенный алгоритм был реализован на программируемой логической интегральной схеме серии Cyclone-3 фирмы Altera.

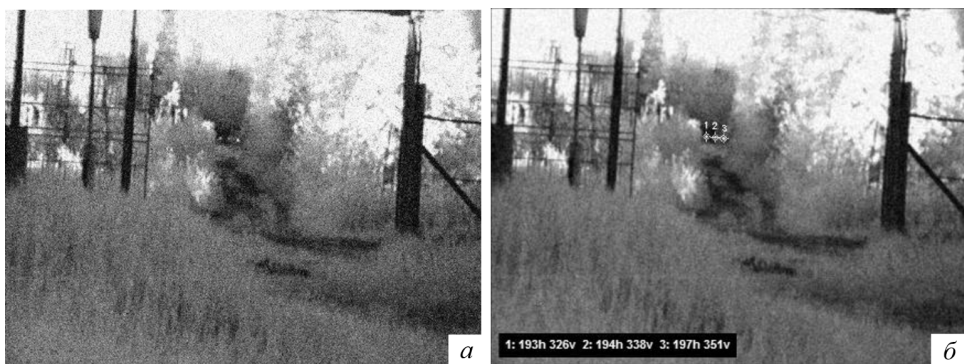


Рис. 4. Изображение активного кадра без обработки (а) и после обработки с применением графического кодирования (б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карасик В. Е., Орлов В. М. Лазерные системы видения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Проектирование лазерных локационных изображающих систем: Учеб. пособие / Н.В. Барышников, В.Б. Бокшанский, В.Е. Карасик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 55 с.

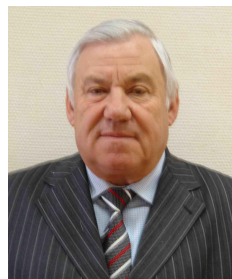
Статья поступила в редакцию 15.07.2010

Василий Болеславович Бокшанский родился в 1969 г., окончил в 1993 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук, начальник сектора, доцент кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 научных работ в области лазерной локации и оптико-электронных приборов и систем.

V.V. Bokshanskiy (b. 1969) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 1993. Ph. D. (Eng.), head of sector, assoc. professor of "Laser and Optic-Electronic Systems" department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 40 publications in the field of laser location and optic-electronic devices and systems.

Валерий Ефимович Карасик родился в 1939 г., окончил в 1964 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р техн. наук, профессор кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 120 научных работ в области лазерного зондирования, локации и дальнометрии.

V.E. Karasik (b. 1939) graduated from Bauman Moscow Higher Technical School in 1964. D. Sc. (Eng.), professor of “Laser and Optic Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 120 publications in the field of laser sounding, location, laser ranging.



Таранов Михаил Александрович родился в 1986 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2010 г. Инженер НИИ “Радиоэлектроники и лазерной техники” МГТУ им. Н.Э. Баумана, автор ряда научных работ в области лазерных систем видения.

M.A. Taranov (b. 1986) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2010. Engineer of “Radio-Electronics and Laser Technology” Research Institute of the Bauman Moscow State Technical University. Author of several publications in the field of laser systems of viewing.

