

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ, СИГНАЛОВ И РЕЧИ

УДК 621.391.268

В.М. Артемьев, А.О. Наумов, Л.Л. Кохан

ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ
НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Решается задача одноканального обнаружения объектов конечных размеров в условиях неопределенности параметров полезного сигнала. Учитываются шумы фотоприемника и наличие гладкого фона в пределах апертуры пространственного фильтра. Методом максимального правдоподобия находится алгоритм и характеристики обнаружения.

Введение

Пассивные оптико-электронные системы (ОЭС) видимого и инфракрасного диапазонов с матричными фотоприемниками находят применение в наземных комплексах наблюдения и управления движением воздушных объектов [1, 2]. Они подразделяются на системы смотрящего типа [3] и обзорно-поисковые [4]. В первом случае используются фотоприемники с матричными датчиками, позволяющими в настоящее время получать изображения размерностью до $10^3 \times 10^3$ элементов и частотой сканирования 25–50 кадров в секунду. В обзорных системах применяются фотоприемники с линейными датчиками, осуществляющие круговое или секторное сканирование наблюдаемого пространства с периодом обзора 0,5–3,5 с. В результате образуется панорамный кадр с шириной полосы до 10^3 и протяженностью до нескольких десятков тысяч элементов изображения. В ОЭС используется пространственно-временная обработка изображений, состоящая из этапов фильтрации, обнаружения, кластеризации, построения траекторий движения объектов и распознавания. Однако технологии обработки изображений в указанных классах систем могут быть различными. Так, в системах смотрящего типа, как правило, производится обработка сразу нескольких кадров с одновременным решением задач обнаружения, кластеризации и построения траекторий (*tracking before detection*). В обзорных системах вследствие низкой частоты повторения кадров и их большой размерности используется раздельная обработка. Пространственная обработка, включающая этапы фильтрации, обнаружения и кластеризации, осуществляется в пределах отдельного кадра (внутрикадровая обработка), а временная, состоящая из этапов построения траекторий и распознавания, реализуется по числовым данным от нескольких предыдущих кадров (межкадровая обработка).

В настоящей работе рассматривается задача внутрикадрового обнаружения в обзорных ОЭС. Исходя из способа получения информации технология ее решения в реальном времени основывается на принципе «скользящего окна», согласованном с текущим положением линейного детектора изображения. Поскольку ОЭС должна решать задачи обнаружения как пространственно-разрешенных точечных, так и объектов конечных размеров, используется процедура поточечного обнаружения сигналов с последующим формированием изображений объектов на этапе кластеризации. Объекты конечных размеров на выходе матричного детектора образуют многоточечные изображения.

Вопросам обнаружения точечных и многоточечных изображений объектов посвящен ряд публикаций. Так, в работе [5] рассмотрена задача обнаружения и построения траекторий нескольких точечных объектов с учетом предварительной фильтрации изображения. Задача решается методом максимального правдоподобия с итерационной процедурой нахождения решения. В статье [6] получены и исследованы алгоритмы совместного обнаружения и сопровождения группы движущихся точечных объектов с учетом сигналов фона и шумов фотоприемника, для чего использован метод максимизации показателя качества ожидаемого результата (*expectation-maximization*

method). В работе [7] изложена методика использования теории вейвлет-фильтрации для нахождения алгоритма обнаружения нескольких точечных объектов на фоне шумов. В имеющихся работах задачи обнаружения решаются для совокупности изображений разрешенных в пространстве точечных объектов. При этом значительное внимание уделяется методу максимального правдоподобия, поскольку он приводит к достаточно простым алгоритмам обработки, что важно при работе в реальном масштабе времени. Задача обнаружения многоточечных объектов, пространственно не разрешенных в пределах апертуры фильтра, в литературе не обсуждалась.

В настоящей работе решается также задача обнаружения объекта конечных размеров на изображении, содержащем сигналы объекта, фона и шумы фотоприемника в виде гауссового случайного белого поля с известной дисперсией. Учитывается предварительная обработка изображения пространственным фильтром, подавляющим фон в окрестностях изображения объекта. Предполагается, что в апертуре фильтра могут находиться сигналы от нескольких точек изображения объекта. Обнаружение производится путем обработки каждого элемента выходного изображения фильтра в отдельности. Задача решается методом максимального правдоподобия в предположении статистической неопределенности характеристик амплитуд сигналов объекта.

1. Алгоритмы и характеристики обнаружения

На этапе фильтрации осуществляются подавление сигналов фона и сглаживание шумов фотоприемника. Эти операции могут быть реализованы с использованием линейных и нелинейных пространственных фильтров. Ниже рассматривается лишь случай линейных фильтров, среди которых нашли применение фильтры лапласианного, градиентного, разностно-гауссового типов, вейвлет-фильтры [8]. Среди них наиболее эффективными с точки зрения подавления фона являются фильтры лапласианного типа, позволяющие компенсировать не только постоянную, но и линейно изменяющуюся составляющую фона [9] в пределах апертуры фильтра. Размерность фильтра определяет разрешающую способность системы и степень сглаживания шумов. Чем выше размерность, тем лучше степень сглаживания, однако разрешающая способность при этом ухудшается. Выбор размерности фильтра производится из компромисса между степенью сглаживания и разрешающей способностью.

Положим, что фильтр охватывает S_ϕ элементов изображения. Проведем их последовательную нумерацию и первым номером обозначим центральную точку фильтра, а для остальных элементов нумерация произвольная. Сигнал на выходе i -го элемента ($i = 1, 2, \dots, S_\phi$) внутри апертуры фильтра обозначим через x_i . Тогда выходной сигнал y может быть представлен уравнениями [10]

$$y = \sum_{i=1}^{S_\phi} h_i x_i = \sum_{i=1}^{S_\phi} h_i (q_i + v_i + w_i), \quad q_i = u_i - v_i; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^S h_i = 0, \quad h_1 = 1, \quad (2)$$

где h_i – весовые коэффициенты фильтра; h_1 – весовой коэффициент центральной точки фильтра; v_i – сигналы фона; w_i – шумовые сигналы фотоприемника; u_i – амплитуды сигналов объекта; q_i – разность между амплитудами сигналов объекта и фона. Условия (2) обеспечивают подавление постоянной составляющей фона [8, 9]. Введем обозначения для векторов, коэффициентов и сигналов, входящих в уравнение (1):

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= [x_1, x_2, \dots, x_{S_\phi}]^T; \quad \mathbf{q} = [q_1, q_2, \dots, q_{S_\phi}]^T; \quad \mathbf{v} = [v_1, v_2, \dots, v_{S_\phi}]^T; \\ \mathbf{w} &= [w_1, w_2, \dots, w_{S_\phi}]^T; \quad \mathbf{h} = [h_1, h_2, \dots, h_{S_\phi}]^T. \end{aligned} \quad (3)$$

В итоге уравнение (1) в векторной форме записывается следующим образом:

$$\mathbf{x} = \mathbf{q} + \mathbf{v} + \mathbf{w}; \quad (4)$$

$$y = \mathbf{h}^T \mathbf{x}. \quad (5)$$

Алгоритм обнаружения находится в предположении того, что характеристики вектора \mathbf{q} статистически не определены, т. е. неизвестны его размерность, положения точек и значения их амплитуд. Считаем, что коэффициенты фильтра удовлетворяют условиям (2) и фон в пределах его апертуры полностью подавляется. В результате вектор \mathbf{v} в уравнении (4) можно полагать равным нулю. Шум фотоприемника \mathbf{w} считаем статистически однородным белым гауссовым шумом с нулевым математическим ожиданием и известной дисперсией σ^2 , что допустимо из-за возможности проведения ее предварительных экспериментальных измерений. Вектор коэффициентов фильтра \mathbf{h} является заданным. При сделанных предположениях задача может быть решена методом максимального правдоподобия на основе методики, изложенной в [11].

Функция плотности распределения вероятности (ПРВ) вектора шумов находится из выражения

$$p(\mathbf{w}) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{S_\phi}{2}} \exp\left(-\frac{\mathbf{w} \cdot \mathbf{w}^T}{2\sigma^2}\right). \quad (6)$$

При фиксированном значении вектора \mathbf{q} условная функция ПРВ вектора \mathbf{x} является функцией правдоподобия и с учетом уравнения (4) будет иметь вид

$$p(\mathbf{x} | \mathbf{q}) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{S_\phi}{2}} \exp\left(-\frac{(\mathbf{x} - \mathbf{q})^T \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{q})}{2\sigma^2}\right). \quad (7)$$

На следующем этапе необходимо иметь функцию правдоподобия $p(y | \mathbf{q})$ для выходного сигнала фильтра y при заданном векторе \mathbf{q} . Она находится по известному правилу преобразования функции ПРВ (7) случайного вектора \mathbf{x} в случайную величину y , заданную функцией (5) [12]. В итоге получаем следующее выражение:

$$p(y | \mathbf{q}) = (2\pi a\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{(y - \mathbf{h}^T \cdot \mathbf{q})^2}{2a\sigma^2}\right), \quad (8)$$

где $a = \mathbf{h}^T \cdot \mathbf{h}$ – коэффициент преобразования шума пространственного фильтра, определяющий величину дисперсии на его выходе. Если $u_i = v_i$, то $\mathbf{q} = \mathbf{0}$ и эта функция преобразуется к виду

$$p(y) = (2\pi a\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2a\sigma^2}\right). \quad (9)$$

Логарифм отношения правдоподобия $\Lambda(y | \mathbf{q}) = p(y | \mathbf{q}) / p(y)$ с учетом формул (8) и (9) принимает следующую форму:

$$\ln \Lambda(y | \mathbf{q}) = \frac{2y\mathbf{h}^T \mathbf{q} - (\mathbf{h}^T \cdot \mathbf{q})^2}{2a\sigma^2}.$$

В соответствии с методологией теории максимального правдоподобия в это выражение вместо значения $\mathbf{h}^T \mathbf{q}$ подставляется его максимально правдоподобная (МП) оценка $\widehat{\mathbf{h}^T \mathbf{q}} = y$, следую-

щая из условия максимума функции правдоподобия (8). В результате логарифм отношения правдоподобия становится зависящим только от выходного сигнала фильтра и имеет вид

$$\ln \Lambda(y) = y^2 / 2a\sigma^2.$$

В соответствии с известным положением теории обнаружения [10] алгоритм обнаружения определяется формулой

$$z = \frac{y^2}{2a\sigma^2} > \mu, \quad (10)$$

где μ – порог обнаружения.

Условная функция ПРВ сигнала z при заданной величине y находится по известной методике определения ПРВ квадратичного преобразования (10) при гауссовой функции ПРВ входа (8) [11]. В результате получаем следующую функцию:

$$p(z|\mathbf{q}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(z + \frac{(\mathbf{h}^T \cdot \mathbf{q})^2}{a\sigma^2}\right)\right] \text{ch} \sqrt{\frac{(\mathbf{h}^T \cdot \mathbf{q})^2}{a\sigma^2}} z. \quad (11)$$

Поскольку МП-оценка $\widehat{\mathbf{h}^T \mathbf{q}} = y$, после ее подстановки в (11) находим МП условную функцию ПРВ $p(z|y)$ сигнала z на входе порога при измеренном значении y :

$$p(z|y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(z + \frac{y^2}{a\sigma^2}\right)\right] \text{ch} \sqrt{\frac{y^2}{a\sigma^2}} z.$$

Вероятность правильного обнаружения D полезного сигнала в элементе изображения определяется формулой

$$D = \int_{\mu}^{\infty} p(z|y) dz. \quad (12)$$

График зависимости этой вероятности от порога μ при различных отношениях квадрата амплитуды выходного сигнала к дисперсии шума на выходе фильтра $\rho = y^2/a\sigma^2$ показан на рис. 1, а.

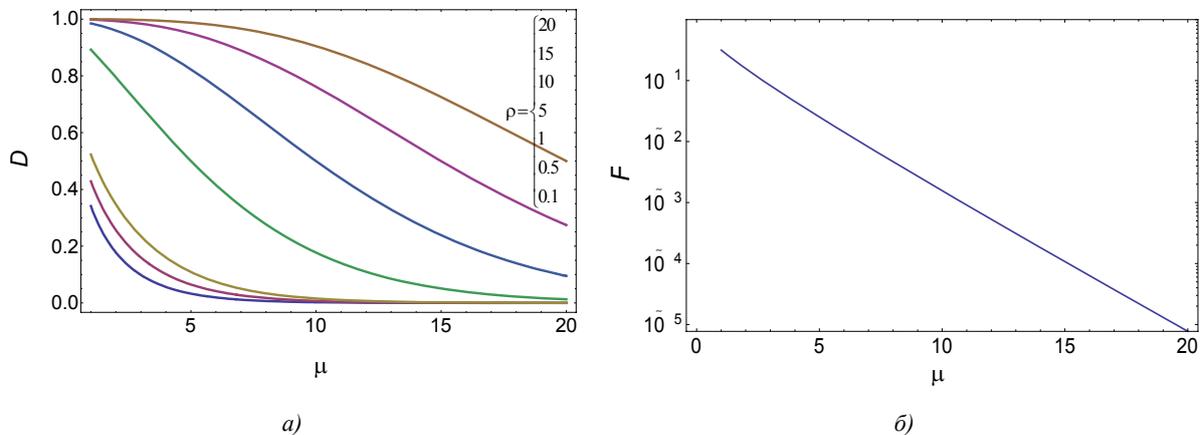


Рис. 1. Графики зависимостей правильного обнаружения и ложных тревог от величины порога μ

В отличие от случая полной априорной определенности, когда вероятность правильного обнаружения зависит от отношения сигнала к шумам [10], в рассматриваемой задаче она зависит от текущего значения выходного сигнала фильтра y и выражается через параметр ρ . Таким образом, эта вероятность меняется от одного элемента изображения к другому и характеризует текущее качество их обнаружения.

Вероятность ложных тревог F определяется при условии отсутствия полезного сигнала $\mathbf{q} = \mathbf{0}$. Для этого случая из выражения (11) находится функция ПРВ сигнала z :

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left(-\frac{z}{2}\right).$$

Вероятность ложных тревог определяется интегралом

$$F = \int_{\mu}^{\infty} p(z) dz. \quad (13)$$

График функции вероятности ложных тревог показан на рис. 1, б. Если в исходных данных задается желаемая вероятность ложной тревоги F , по этому графику находится требуемое значение величины порога μ , затем по графикам на рис. 1, а определяется диапазон изменения вероятности правильного обнаружения D в зависимости от текущих значений параметра ρ . Например, для величины $F = 10^{-3}$ получаем значение порога $\mu = 15$, для которого приведена зависимость вероятности правильного обнаружения D в диапазоне изменения ρ от 0 до 50 (рис. 2).

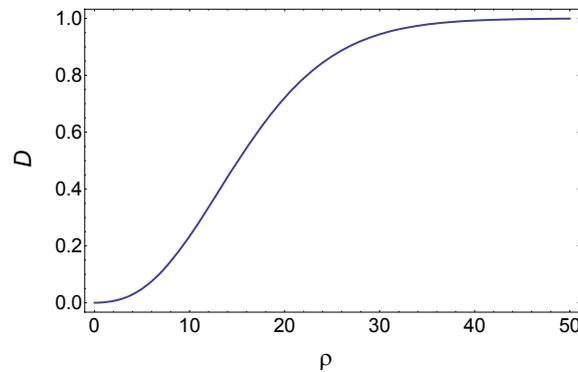


Рис. 2. Зависимость вероятности правильного обнаружения D при пороге $\mu = 15$, соответствующем вероятности ложных тревог $F = 10^{-3}$

Поскольку в апертуре фильтра могут находиться несколько элементов многоточечного изображения, то в силу условия (2) уровень сигнала на его выходе будет ниже по сравнению со случаем одноточечного сигнала, находящегося в центре апертуры, и тем самым будет уменьшаться вероятность правильного обнаружения. Дадим приближенную оценку такой вероятности. Полагаем элементы вектора \mathbf{q} неизвестными постоянными величинами q . При этом условии сигнал y на выходе фильтра (с учетом подавления фона) находим из выражения

$$y = \mathbf{h}^T \mathbf{q} + w_y = q \sum_{i=1}^{S_r} h_i + w_y = \alpha q + w_y, \quad (14)$$

где w_y – шумовая составляющая на выходе фильтра; $S_r \leq S_\phi$ – число элементов изображения объекта в апертуре фильтра. Поскольку это число случайно, а также случайно положение сигналов в апертуре, то и сумма $\sum_{i=1}^{S_r} h_i = \alpha$ будет случайной величиной, находящейся в диапазоне $-1 \leq \alpha \leq 1$, с некоторой функцией ПРВ $p(\alpha)$. Значение $\alpha = 0$ соответствует полному заполнению апертуры, $\alpha = -1$ – полному заполнению за исключением центральной точки, $\alpha = 1$ – заполнению только центральной точки.

Обращаясь к формуле (8), находим условную функцию ПРВ сигнала y при заданных значениях q и α , которая принимает вид

$$p(y|q) = (2\pi a\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{(y - \alpha q)^2}{2a\sigma^2}\right]. \quad (15)$$

Условная функция ПРВ $p(z|q)$ сигнала z в алгоритме обнаружения (10) находится как распределение взвешенного квадрата случайной величины y , имеющей гауссову функцию ПРВ (15) [11]. В итоге получаем следующее выражение:

$$p(z|q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(z + \frac{(\alpha q)^2}{a\sigma^2}\right)\right] \operatorname{ch}\sqrt{\frac{(\alpha q)^2}{a\sigma^2}} z.$$

Для случая точечного сигнала в центре фильтра ($\alpha = 1$) условная вероятность правильного обнаружения $D_T(q)$ будет определяться интегралом

$$D_T(q) = \int_{\mu}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(z + \frac{q^2}{a\sigma^2}\right)\right] \operatorname{ch}\sqrt{\frac{q^2}{a\sigma^2}} z dz. \quad (16)$$

Условная вероятность правильного обнаружения при многоточечном сигнале имеет вид

$$D_{MT}(\alpha q) = \int_{\mu}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(z + \alpha^2 \frac{q^2}{a\sigma^2}\right)\right] \operatorname{ch}\sqrt{\alpha^2 \frac{q^2}{a\sigma^2}} z dz. \quad (17)$$

В многоточечном сигнале из-за большого количества возможных комбинаций коэффициентов h_i в формуле (14) допустимо использовать функцию ПРВ $p(\alpha)$, имеющую равномерный закон распределения в диапазоне $-1 \leq \alpha \leq 1$. Тогда, усредняя по α функцию (17), приходим к следующему интегралу для усредненной условной вероятности правильного обнаружения многоточечного сигнала в элементе изображения:

$$\bar{D}_{MT}(q) = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 D_{MT}(\alpha q) d\alpha.$$

Сравнивая графики на рис. 3, можно оценить степень снижения усредненной условной вероятности правильного обнаружения элементов изображения многоточечного объекта $\bar{D}_{MT}(q)$ по отношению к одноточечному случаю $D_T(q)$.

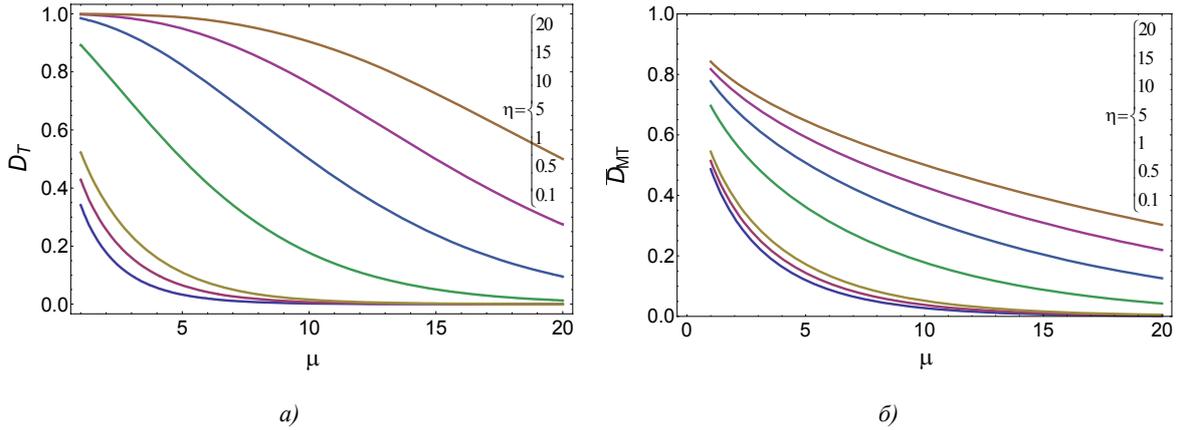


Рис. 3. Сравнительная оценка условных вероятностей правильного обнаружения точечного $D_T(q)$ и многоточечного $\bar{D}_{MT}(q)$ сигналов в зависимости от значений порога μ и различных величин параметра $\eta = \frac{q^2}{a\sigma^2}$

2. Способ повышения вероятности правильного обнаружения многоточечных объектов

Текущее измерение вероятности правильного обнаружения в каждом элементе изображения открывает определенные возможности по ее коррекции. Поскольку при попадании в апертуру фильтра нескольких точек изображения вероятность правильного обнаружения снижается, предлагается один из возможных способов ее увеличения.

Предположим, что на некотором шаге k сигнал z_k больше порога μ и принимается решение об обнаружении на основе алгоритма (10). Если для следующего шага $(k+1)$ окажется, что $z_{k+1} < \mu$, то возможно, что в апертуре фильтра число элементов изображения увеличилось и за счет этого уменьшился уровень z_{k+1} . Для увеличения вероятности правильного обнаружения можно снизить порог обнаружения до уровня $\mu_{k+1} < \mu$ так, чтобы вероятность D_{k+1} на $(k+1)$ -м шаге осталась равной D_k , как на предыдущем шаге. При этом будут наблюдаться потери в виде увеличения вероятности ложных тревог за счет снижения уровня порога. Поскольку эта процедура выполняется только на один шаг вперед, то вероятность ложных тревог возрастет лишь в одном элементе изображения. Рассмотрим методику определения порога μ_{k+1} .

Используя формулу (12), находим МП-вероятность правильного обнаружения на k -м шаге:

$$D_k = \int_{\mu_k}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(z + \frac{y_k^2}{a\sigma^2}\right)\right) \text{ch}\sqrt{\frac{y_k^2}{a\sigma^2}} z dz.$$

На $(k+1)$ -м шаге она изменится до величины

$$D_{k+1} = \int_{\mu_{k+1}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(z + \frac{y_{k+1}^2}{a\sigma^2}\right)\right) \text{ch}\sqrt{\frac{y_{k+1}^2}{a\sigma^2}} z dz. \quad (18)$$

Обозначим $\mu_{k+1} = \mu - \Delta\mu$ и $y_{k+1} = y_k - \Delta y$. Раскладывая функцию (18) в ряд Тейлора по приращениям $\Delta\mu$, Δy и ограничиваясь линейными членами разложения, получаем

$$D_{k+1} \approx D_k + \left. \frac{\partial D_{k+1}}{\partial \Delta\mu} \right|_{\substack{\Delta\mu=0 \\ \Delta y=0}} \cdot \Delta\mu + \left. \frac{\partial D_{k+1}}{\partial \Delta y} \right|_{\substack{\Delta\mu=0 \\ \Delta y=0}} \cdot \Delta y.$$

Для сохранения вероятности правильного обнаружения на прежнем уровне порог обнаружения следует изменить на величину

$$\Delta\mu = - \left[\frac{\partial D_{k+1}}{\partial \Delta y} / \frac{\partial D_{k+1}}{\partial \Delta\mu} \right]_{\substack{\Delta\mu=0 \\ \Delta y=0}} \cdot \Delta y. \quad (19)$$

Производя необходимые операции с выражением (18) и подставляя результаты в (19), получаем следующую формулу:

$$\Delta\mu = 2\sqrt{\frac{\mu}{a\sigma^2}} \operatorname{th} \left[\sqrt{\frac{y_k^2}{a\sigma^2}} \mu \right] \Delta y. \quad (20)$$

По условию задачи на k -м шаге произошло обнаружение, поэтому согласно (10) $\frac{y_k^2}{2a\sigma^2} > \mu$. При

пороге $\mu \gg 1$ справедливо неравенство $\frac{y_k^2}{a\sigma^2} \mu \gg 1$ и допустимо приближение $\operatorname{th} x \approx 1$ при $x \gg 1$.

Тогда формула нахождения величины порога на $(k+1)$ -м шаге примет вид

$$\mu_{k+1} = \mu - 2\sqrt{\frac{\Delta y^2}{a\sigma^2}} \mu, \quad \Delta y = y_k - y_{k+1}, \quad \Delta y < 0. \quad (21)$$

Полученный алгоритм коррекции величины порога работает при $\Delta y < 0$. В противном случае, когда $\Delta y \geq 0$, порог следует оставить равным μ , поскольку вероятность правильного обнаружения согласно (10) будет выше, чем на предыдущем шаге. Переменный порог с указанными свойствами будем называть условно управляемым. Эффективность предложенного способа покажем на результатах моделирования.

3. Результаты моделирования

В качестве примера рассмотрим изображения объекта и облачного фона в присутствии шумов фотоприемника (рис. 4, а). Сканирование линейным датчиком происходит слева направо, горизонтальные линии на изображении появились вследствие различной чувствительности его элементов.

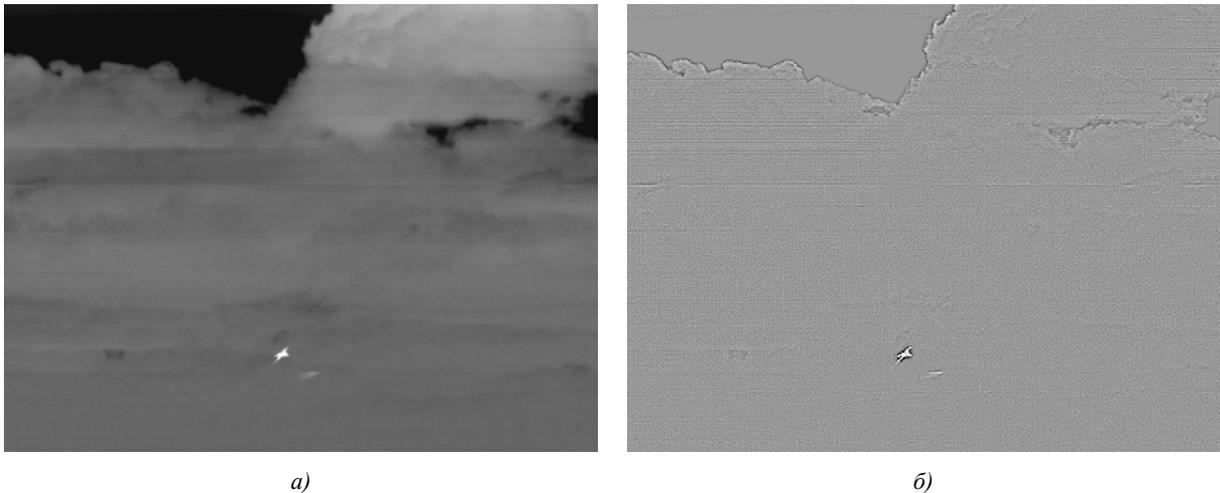


Рис. 4 Изображения фрагмента панорамного кадра обзорной ОЭС с угловыми размерами 7×7 градусов:
а) исходное; б) после пространственной фильтрации

При использовании 8-разрядного АЦП измеренное среднеквадратическое значение шумов оказалось равным $\sigma = 3$ единицам уровней яркости. С целью подавления изображения фона исходное изображение подверглось обработке пространственным фильтром лапласианного типа размерности 3×3 [6] со структурой, изображенной на рис. 5. Значения коэффициентов фильтра удовлетворяют условиям (2).

0	-1/4	0
-1/4	1	-1/4
0	-1/4	0

Рис. 5. Структура пространственного фильтра

На рис. 4, б показан результат фильтрации, содержащий изображения объекта и границ облачного фона. Яркость изображения нормирована по отношению к условному нулевому уровню, имеющему на изображении светло-серый цвет. Оценить качество фильтрации объекта можно по рис. 6.

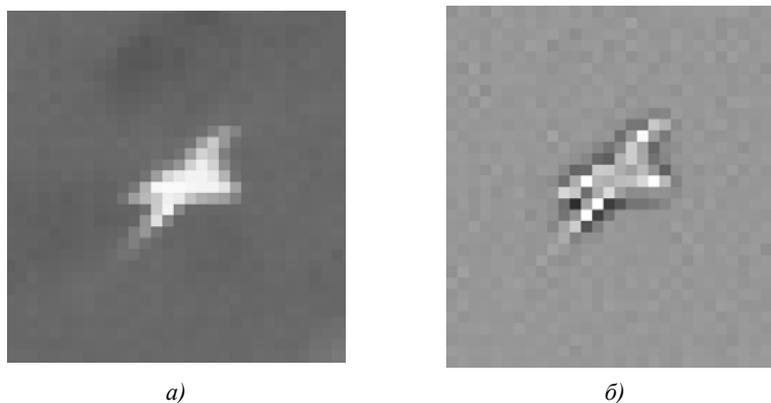


Рис. 6. Изображения объекта в увеличенном масштабе:
а) исходное; б) после пространственной фильтрации

Исходное изображение объекта содержит 64 элемента с диапазоном изменения разностей яркостей q от 2 до 240. После фильтрации диапазон изменения параметра p лежит в пределах от нуля до 10^3 . Это изображение подвергается обработке согласно алгоритму обнаружения (10) с порогом $\mu = 15$, обеспечивающим вероятность ложных тревог $F = 10^{-3}$. Результаты обнаружения с постоянным порогом в виде бинарного изображения показаны на рис. 7, а.

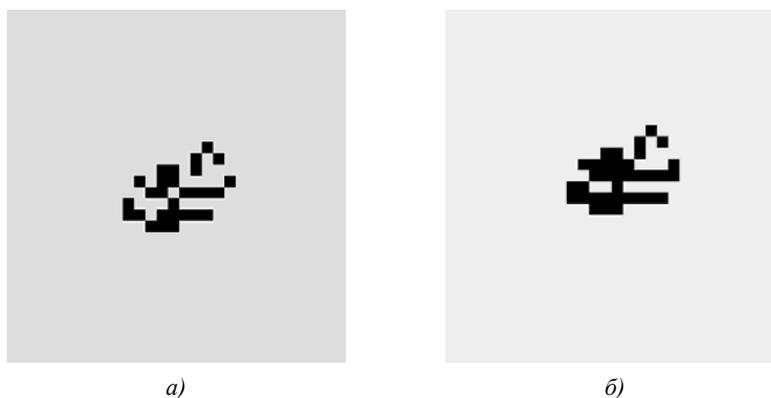


Рис. 7. Результаты поэлементного обнаружения объекта:
а) с постоянным порогом; б) с условно управляемым порогом

Вследствие различий яркостей элементов исходного изображения (см. рис. 6, *a*) и соответственно различных значений p вероятности их правильного обнаружения также различны (см. рис. 2). В итоге бинарное изображение на рис. 7, *a* содержит лишь 28 точек – почти вдвое меньше, чем на исходном. Использование условно управляемого порога приводит к изображению объекта на рис. 7, *б*, которое содержит 36 обнаруженных точек. В данном примере их число увеличилось на 12,5%, что говорит о целесообразности применения управляемого порога.

Заключение

Априорная неопределенность статистических характеристик сигналов объекта конечных размеров на изображении является естественным фактором, который необходимо учитывать при решении задачи его обнаружения. Она может решаться путем обработки каждого из элементов изображения в отдельности, что позволяет обнаруживать как одноточечные, так и многоточечные изображения объектов. На следующем этапе производится кластеризация результатов для формирования изображения объекта в целом. В работе предложен алгоритм обнаружения объектов конечных размеров по их изображениям на выходе матричного фотоприемника в условиях статистической неопределенности характеристик амплитуд сигналов. Задача решается методом максимального правдоподобия, приводятся результаты ее моделирования.

Список литературы

1. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов [и др.]. – М. : Радиотехника, 2008. – 176 с.
2. Third generation imaging sensor system concepts / D.A. Rengo [et al.] // SPIE Proc. – 1999. – Vol. 3701. – P. 108–117.
3. Тарасов, В.В. Инфракрасные системы «смотрящего типа» / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенок. – М. : Логос, 2004. – 444 с.
4. Госсорг, Ж. Инфракрасная термография / Ж. Госсорг. – М. : Мир, 1988. – 399 с.
5. Zaveri, M.A. A combined PMHT and IMM approach to multiple-point target tracking in infrared image sequence / M.A. Zaveri, S.N. Merchant, U.D. Desai // EURASIP Journal on Image and Video Processing. – 2007. – Vol. 2007, Article ID 19139. – 14 p.
6. Molnar, K.J. Application of EM-algorithm for the multitarget/multisensor tracking problem [Electronic resource]. – Mode of access : <http://dSPACE.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/3434/P-2346-35197594.pdf>. – Date of access : 06.05.2010.
7. Zaveri, M.A. Wavelet based detection and modified pipeline algorithm for multiple point targets tracking in infrared image sequence [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.ee.iitb.ac.in/~icvgip/PAPERS/206.pdf>. – Date of access : 06.05.2010.
8. Image pre-processing algorithms for detection of small/point airborne targets / H.B. Srivastava [et al.] // Defense Science Journal. – 2009. – Vol. 59, № 2. – P. 166–174.
9. Prewitt, J. Object enhancement and extraction / J. Prewitt // In Picture Processing and Psychopictories / B. Liphin, A. Rosenfeld eds. – N.Y. : Academic Press, 1970. – P. 77–149.
10. Артемьев, В.М. Обнаружение изображений точечных объектов в условиях неопределенности / В.М. Артемьев, А.О. Наумов, Л.Л. Кохан // Информатика. – 2010. – № 2 (22). – С. 15–24.
11. Репин, В.Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. – М. : Сов. радио, 1977. – 432 с.
12. Пугачев, В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В.С. Пугачев. – М. : Физматлит, 1960. – 884 с.

Поступила 17.05.10

*Институт прикладной физики
НАН Беларуси,
Минск, Академическая, 16
e-mail: naumov@iaph.bas-net.by*

V.M. Artemiev, A.O. Naumov, L.L. Kokhan

**LIMITED-SIZE OBJECT DETECTION ON IMAGES
UNDER CONDITION OF UNCERTAINTY**

The problem of limited-size object detection in case of uncertainty of the useful signal parameters in single-channel images is considered. Noise of the photodetector and presence of a smooth background within the aperture of the spatial filter are taken into account. The algorithm and detected characteristics are found by a method of the maximum likelihood.