

УДК 621.391.268

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

**ОБНАРУЖЕНИЕ ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Методом максимального правдоподобия решается задача обнаружения изображений сигналов точечных объектов на фоне облаков и шумов фотоприемника. Учитываются влияние пространственного фильтра подавления гладкого фона и априорная неопределенность статистических характеристик амплитуд сигналов объектов. Анализируются характеристики обнаружения и оцениваются текущие значения вероятностей правильного обнаружения и ложных тревог.

Введение

Задача обнаружения малоразмерных объектов на сложном фоне является важной для оптико-электронных систем (ОЭС), работающих в составе систем управления или наблюдения за воздушной обстановкой [1, 2]. Решению этой задачи посвящен ряд публикаций. Их характерная особенность состоит в том, что рассматриваются системы с высокой частотой следования кадров (25–50 Гц), и это в значительной степени обуславливает выбор метода исследования. В работах [3, 4] задача обнаружения решается на основе анализа последовательности кадров, для чего используется метод динамического программирования. Межкадровая обработка изображений для обнаружения объектов рассмотрена и в работах [5, 6], где предложено использование метода на основе потоковых алгоритмов. Оба этих подхода привели к появлению концепции совместного решения задач обнаружения и сопровождения (tracking before detect) [7], которая лежит в основе построения современных ОЭС с высокой частотой следования кадров.

Настоящая работа отличается от упомянутых прежде всего тем, что в ней изучаются ОЭС обзорного типа с большим периодом поступления данных (0,5–3 с). Это приводит к необходимости решения задачи обнаружения в пределах каждого кадра в отдельности. Обнаружение объектов на максимальных дальностях требует рассмотрения случаев одиночных пикселей изображений, что в дальнейшем определяется термином «точечный объект». Наличие шумов фотоприемника и сигналов фона (в первую очередь облаков) делает необходимым учет предварительной фильтрации изображений.

Особенностью работы является также рассмотрение задачи одновременной фильтрации и обнаружения изображений точечных объектов с неопределенной амплитудой на облачном фоне. Полагается, что в пределах апертуры пространственного фильтра находится не более одного изображения объекта.

1. Пространственная фильтрация

Фильтрация изображения в кадре используется с целью подавления помех и основана на различии пространственных спектральных свойств помех и объектов. Протяженность изображений элементов фона, как правило, больше размеров изображений объектов, поэтому спектр фоновых помех лежит в низкочастотной области, в то время как спектр полезного точечного сигнала значительно шире. Кроме фона изображение искажается шумами фотоприемника (включая оптику), спектр которых шире или близок к спектру полезного сигнала. В результате для выделения полезного сигнала на фоне изображений облаков и в присутствии шумов фотоприемника следует использовать полосовой пространственный фильтр, подавляющий как низкочастотные, так и высокочастотные составляющие спектра.

Яркость изображения в точке с координатами (i, j) обозначим через x_{ij} . В общем случае эта величина содержит составляющие полезного сигнала, фона и шумов. Комбинация полезного сигнала и фона происходит по схеме замещения, а шумы считаются аддитивными. Такая смесь отображается формулой $x_{ij} = u_{xij} \wedge v_{xij} + w_{xij}$, где u_{xij} – яркость изображения объекта; v_{xij} –

яркость составляющей фона; w_{xij} – шумовая составляющая с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ_{xij}^2 . Символ операции замещения \wedge означает, что при наличии объекта $u_{xij} \wedge v_{xij} = u_{xij}$, а при отсутствии – $u_{xij} \wedge v_{xij} = v_{xij}$. Назовем контрастом разность яркостей полезного сигнала и составляющей фона:

$$q_{ij} = u_{xij} - v_{xij}, \quad (1)$$

в результате чего смесь сигнала, фона и помех приводится к виду

$$x_{ij} = q_{ij} + v_{xij} + w_{xij}. \quad (2)$$

Обнаружение может осуществляться как при положительном, так и при отрицательном контрастах.

Для подавления низкочастотной составляющей фона используются линейные и нелинейные пространственные фильтры. Среди линейных наиболее широкое применение получили лапласианные фильтры [8, 15] и разностно-гауссового типа [9], среди нелинейных – разностно-медианные [10, 14]. В настоящей работе рассматриваются лишь линейные пространственные фильтры. Основное требование к ним заключается в том, что они должны подавлять постоянную составляющую фона, которая может изменяться в широких пределах. В результате на выходе фильтра имеет место центрированное по яркости изображение, которое в точке (i, j) определяется выражением [13]

$$y_{ij} = \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m x_{i+l, j+r} h_{i+l, j+r}, \quad (3)$$

где $x_{i+l, j+r}$ – значения яркостей входного изображения; $h_{i+l, j+r}$ – весовые коэффициенты; $(2n+1) \times (2m+1)$ – размерность фильтра. Для подавления постоянной составляющей и сохранения величины амплитуды точечного сигнала в центре фильтра весовые коэффициенты должны удовлетворять условиям

$$\sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m h_{i+l, j+r} = 0; \quad h_{ij} = 1. \quad (4)$$

Заметим, что эти выражения выполняются везде, кроме краевых точек изображения. Различные типы линейных фильтров характерны тем, что для них помимо основных условий (4) выполняются и некоторые дополнительные.

Шумовое поле фотоприемника на входном изображении допустимо полагать белым с гауссовым законом распределения, нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ_{ij}^2 . Данное допущение является общепринятым (в частности, в упомянутых выше работах), однако могут иметь место случаи необходимости учета негауссова закона распределения помех. При этом решение задачи существенно усложняется и требует специального исследования.

Дисперсия шума σ_{yij}^2 на выходе фильтра будет определяться выражением

$$\sigma_{yij}^2 = \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m \sigma_{ij}^2 h_{i+l, j+r}^2. \quad (5)$$

При однородном белом шумовом поле с дисперсией σ^2 выходная дисперсия $\sigma_y^2 = a \sigma^2$, где коэффициент преобразования шума будет следующим:

$$a = \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m h_{i+l, j+r}^2. \quad (6)$$

Тип фильтра выбирается с учетом особенностей решаемой задачи. Для случая обнаружения целесообразно потребовать минимизацию дисперсии шумов на его выходе при дополнительных условиях подавления фона.

Рассмотрим методику нахождения параметров фильтра с минимизацией дисперсии шумов и подавлением гладкого фона. Гладким полагается поле, которое в пределах апертуры фильтра может быть аппроксимировано плоскостью с произвольными углами наклона и ориентации. Пересечения такого поля с вертикальными плоскостями вдоль координатных осей фильтра будут прямыми линиями. Для компенсации гладкого фона приходится использовать фильтр с коэффициентами, отличными от нуля лишь вдоль координатных осей. Задача оптимизации сводится к выполнению следующих соотношений:

$$\sum_{l=-n}^n h_{i+l,j}^2 + \sum_{r=-m}^{-1} h_{i,j+r}^2 + \sum_{r=1}^m h_{i,j+r}^2 \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$\sum_{l=-n}^n h_{i+l,j} + \sum_{r=-m}^{-1} h_{i,j+r} + \sum_{r=1}^m h_{i,j+r} = 0; \quad h_{i,j} = 1; \quad (8)$$

$$\sum_{l=-n}^n l h_{i+l,j} = 0; \quad \sum_{r=-m}^m r h_{i,j+r} = 0. \quad (9)$$

Условие (7) обеспечивает минимизацию дисперсии шума, (8) – подавление постоянной составляющей, а (9) – подавление линейно изменяющихся составляющих фона вдоль координатных осей. Оптимизация осуществляется методом Лагранжа [16], для которого лагранжиан записывается в виде

$$F(h_{i+l,j+r}, \lambda) = \sum_{r=-m}^m h_{i,j+r}^2 + \sum_{l=-n}^{-1} h_{i+l,j}^2 + \sum_{l=1}^n h_{i+l,j}^2 + \lambda_1 \left(\sum_{r=-m}^m h_{i,j+r} + \sum_{l=-n}^{-1} h_{i+l,j} + \sum_{l=1}^n h_{i+l,j} \right) + \\ + \lambda_2 \sum_{r=-m}^m r h_{i,j+r} + \lambda_3 \sum_{l=-n}^n l h_{i+l,j} + \lambda_4 (h_{i,j} - 1).$$

Минимизация лагранжиана приводит к нахождению оптимальных коэффициентов фильтра, имеющих следующие значения:

$$\begin{cases} h_{i,j+r} = -\frac{1}{2(m+n)}; & r = -m, \dots, -1, 1, \dots, m; \\ h_{i+l,j} = -\frac{1}{2(m+n)}; & l = -n, \dots, -1, 1, \dots, n; \\ h_{i,j} = 1. \end{cases}$$

При этом минимальное значение коэффициента преобразования шума $a = \frac{2(m+n)+1}{2(m+n)}$.

В качестве примера на рис. 1, а изображена структура фильтра размерности 3×3 . Для него величина коэффициента преобразования шума $a = 1,25$. На рис. 1, б показан результат фильтрации варианта исходного изображения (рис. 1, в) этим типом фильтра. Исходное изображение содержит облачный фон и три искусственных изображения точечных объектов. Объект 1 расположен на гладком фоне с положительным контрастом $q_1 = 68$; объект 2 также на гладком фоне, но имеет отрицательный контраст $q_2 = -61,25$; третий объект – на границе облака с контрастом $q_3 = 76,25$. Исходное изображение искажено белым шумовым полем с дисперсией $\sigma^2 = 64$. На рис. 1, в виден характер подавления фона, от которого сохраняются остатки,

соответствующие границам облаков. Участки гладкого фона подавляются практически полностью. Выходные изображения объектов содержат боковые лепестки, соответствующие структуре фильтра на рис. 1, а. Этот пример используется в дальнейшем для иллюстрации качества работы алгоритма обнаружения.

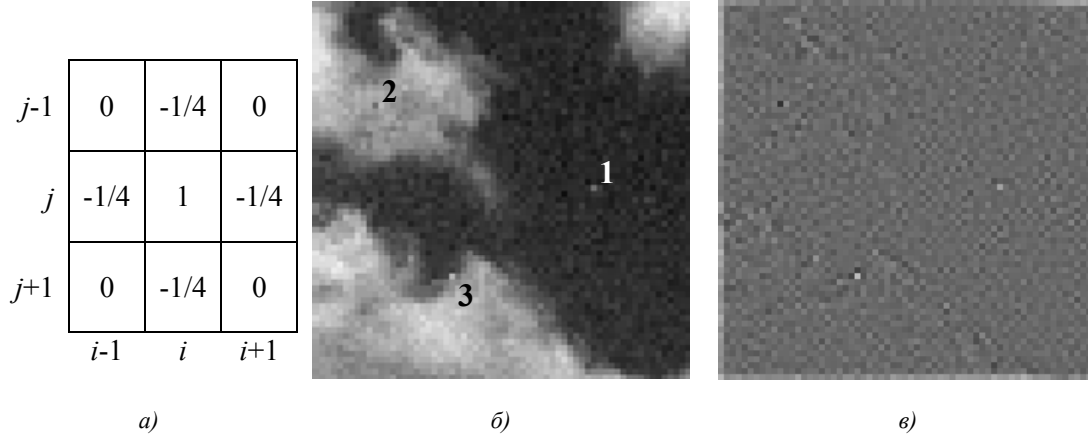


Рис. 1. Пример пространственной фильтрации изображения: а) структура и весовые коэффициенты фильтра; б) исходное изображение; в) изображение на выходе фильтра

2. Алгоритм и характеристики обнаружения точечных объектов на гладком фоне

Рассмотрим задачу обнаружения точечного объекта на фоне облаков с учетом шумов фотоприемника и предварительной пространственной линейной фильтрации изображения. Задачу целесообразно решать в предположении статистической неопределенности амплитуд сигналов объекта, поэтому в дальнейшем для решения используется метод максимального правдоподобия [12] с учетом ряда предположений.

Обнаружение осуществляется путем сканирования изображения на выходе фильтра и принятия решения о наличии объекта в каждом отдельном пикселе. Шумы фотоприемника на входном изображении считаются однородным гауссовым белым полем с известной дисперсией σ^2 , что допустимо из-за возможности проведения его предварительных экспериментальных измерений. Рассматриваются три случая решения сформулированной задачи. Первый – когда точка обнаружения с координатой (i, j) совпадает с координатой точечного изображения объекта. В этом случае задача сводится к определению вероятности правильного обнаружения. Второй – когда объект отсутствует в пределах апертуры фильтра, что приводит к задаче нахождения вероятности ложной тревоги. Третий соответствует случаю совпадения координат точки обнаружения с одной из координат бокового лепестка изображения объекта.

Найдем алгоритм правильного обнаружения при гладком фоне. Учитывая формулы (1) – (4), при положении точечного объекта в центре фильтра величина яркости изображения в точке обнаружения определяется выражением

$$y_{ij} = u_{xij} - v_{xij} + \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m h_{i+l, j+r} v_{xi+l, j+r} + w_{yij} = q_{ij} + w_{yij}, \quad (10)$$

где однородное гауссово шумовое поле w_{yij} на выходе фильтра имеет дисперсию $a\sigma^2$, а сигнал

за счет гладкого фона $\sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m h_{i+l, j+r} v_{xi+l, j+r} = 0$ согласно свойствам фильтра, рассмотренным в

разд. 1. Решаемая задача соответствует случаю обнаружения одномерного сигнала с неизвестной амплитудой в присутствии гауссовых шумов с известной дисперсией и рассмотрена в [12]. В дальнейшем условимся для сокращения записей опускать индексы (i, j, x) .

Функция плотности распределения вероятности (ПРВ) шума в точке обнаружения представляется формулой

$$p(w_y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi a \sigma^2}} \exp\left(-\frac{w_y^2}{2a\sigma^2}\right). \quad (11)$$

С учетом (10) и (11) находится функция правдоподобия величины контраста q :

$$p(y|q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi a \sigma^2}} \exp\left(-\frac{(y-q)^2}{2a\sigma^2}\right). \quad (12)$$

Используя критерий максимального правдоподобия, вычисляем оценку величины контраста $\hat{q} = y$. Следуя методике, изложенной в [12], получаем алгоритм максимально правдоподобного обнаружения гладкого фона в виде

$$z = \frac{y^2}{a \sigma^2} > \mu, \quad (13)$$

где μ – порог обнаружения.

Найдем вероятность правильного обнаружения, когда в точке обнаружения присутствует сигнал объекта. С учетом выражений (12) и (13) условная функция ПРВ величины z при фиксированном q будет иметь форму закона распределения типа χ^2 [11]:

$$p(z|q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(z + \frac{q^2}{a \sigma^2}\right)\right) \text{ch} \sqrt{\frac{q^2}{a \sigma^2} z}, \quad z \geq 0. \quad (14)$$

При использовании метода максимального правдоподобия значение q заменяется его оценкой \hat{q} и находится максимально правдоподобная условная функция ПРВ переменной z :

$$p(z|y) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(z|\hat{q}) p(\hat{q}|y) d\hat{q} = \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(z + \frac{y^2}{a \sigma^2}\right)\right) \text{ch} \sqrt{\frac{y^2}{a \sigma^2} z}. \quad (15)$$

Вводя обозначение $\rho = y^2 / (a \sigma^2)$ для текущего отношения сигнала к шумам на выходе фильтра, находим максимально правдоподобную вероятность правильного обнаружения D в виде

$$D = \int_{\mu}^{\infty} p(z|\rho) dz = \int_{\mu}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left(-\frac{1}{2}(z + \rho)\right) \text{ch} \sqrt{\rho z} dz. \quad (16)$$

Для избежания недоразумений подчеркнем, что в этой формуле z играет роль переменной интегрирования, а ρ – текущего измеренного значения выходного отношения сигнала к шумам.

Вследствие использования метода максимального правдоподобия функции (15) и (16) зависят не от априорных статистических характеристик значений контраста, а от текущих величин наблюдения y , выраженных через ρ . Графики функций (16) вероятности правильного обнаружения в зависимости от величины порога μ при различных значениях ρ изображены на рис. 2, а.

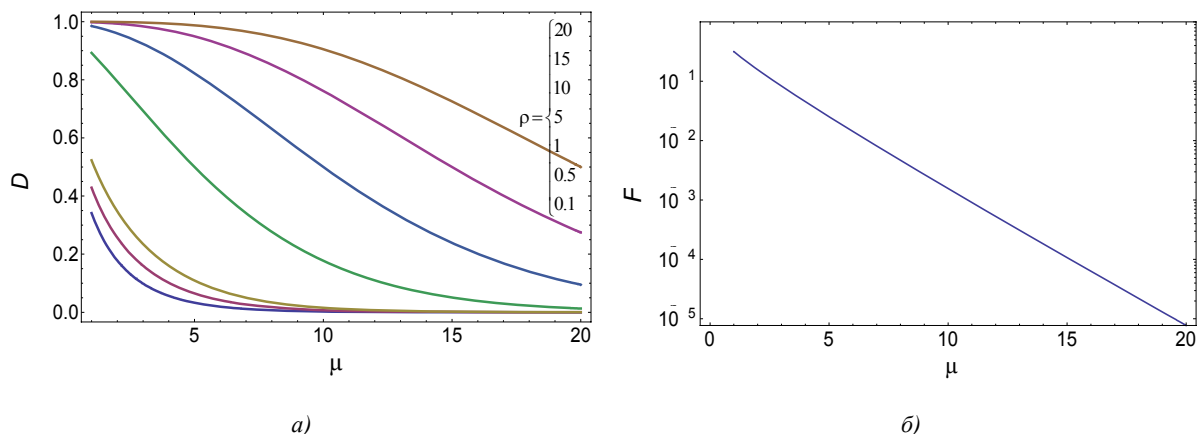


Рис. 2. Максимально правдоподобные вероятности:
 а) правильного обнаружения точечного объекта; б) ложной тревоги

Нетрудно заметить, что вероятность ложной тревоги F находится из выражения

$$F = \int_{\mu}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left(-\frac{1}{2}z\right) dz = 1 - \operatorname{Erf}\left(\sqrt{\mu/2}\right), \quad (17)$$

где $\operatorname{Erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y^2} dy$. Графики этой функции (рис. 2, б) при заданной величине F позволяют определять необходимый порог обнаружения μ . Например, при $F = 10^{-4}$ получаем значение $\mu = 15,1$.

Приведенные графики используются для текущей оценки максимально правдоподобной вероятности правильного обнаружения, если в точке (i, j) появилась отметка об обнаружении объекта. Тогда по измеренному значению ρ в этой точке находится текущая вероятность правильного обнаружения с использованием графиков на рис. 2, а. Так, при $a = 1,25$, $\sigma^2 = 9$, $y = 20$ получаем $\rho = 35,6$ и соответствующую ему вероятность правильного обнаружения $D = 0,98$.

Полученные характеристики обнаружения зависят от текущих значений наблюдений ρ , что отличает их от соответствующих характеристик в задачах с известными априорными данными [11].

Изображение точечного объекта на выходе фильтра содержит центральную составляющую и боковые лепестки. Найдем вероятность обнаружения в случае попадания точки наблюдения (i, j) на один из них. Используя формулы (1)–(4), получим, что яркость в этой точке будет равна $y = hq + w_y$, где h – весовой коэффициент фильтра бокового лепестка. Дисперсия шумовой составляющей w_y , как и раньше, полагается равной $a\sigma^2$. Выполнив последовательность операций, аналогичную предыдущему случаю, получим следующую формулу максимально правдоподобной вероятности B обнаружения бокового лепестка сигнала объекта:

$$B = \int_{\mu}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left(-\frac{1}{2}(z + h^2\rho)\right) \operatorname{ch}\sqrt{h^2\rho z} dz. \quad (18)$$

Максимально правдоподобные рабочие характеристики обнаружения боковых лепестков при значениях $h \pm 0,25$ и $\pm 0,5$ (рис. 3) позволяют оценить степень уменьшения вероятности обнаружения боковых лепестков относительно сигнала объекта в центральной точке фильтра.

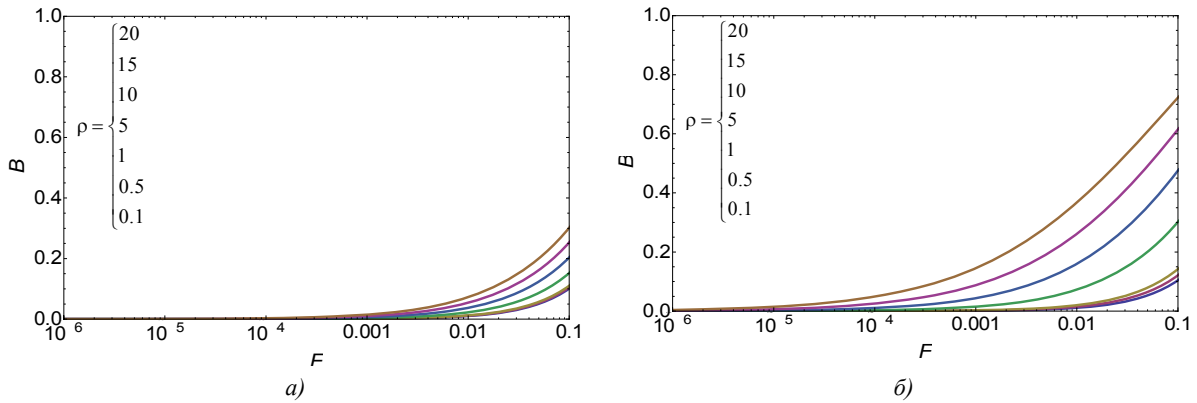


Рис. 3. Максимально правдоподобные рабочие характеристики обнаружения точечного объекта на боковых лепестках фильтра с различными весовыми коэффициентами: а) $h = \pm 0,25$; б) $h = \pm 0,5$

3. Характеристики обнаружения точечных объектов на границе гладкого облачного фона

Резкие изменения фона в пределах апертуры фильтра, например на границе облаков, влияют на вероятность правильного обнаружения и ложных тревог. Рассмотрим задачу обнаружения точечных объектов на границе облачного фона, используя алгоритм обнаружения (13). Полагаем, что изображение точечного объекта с яркостью u находится на границе постоянного облачного фона v со скачкообразным его изменением до нуля вдоль вертикальной оси изображения. С учетом формул (2)–(4) при положении объекта в центральной точке фильтра яркость выходного сигнала будет определяться выражением

$$y = u - 0,5v + w_y = q + 0,5v + w_y = (1 + \frac{1}{2}\alpha^{-1})q + w_y, \tag{19}$$

где коэффициент $\alpha = q/v$ есть отношение величины контраста к яркости фона. Максимально правдоподобная вероятность правильного обнаружения D_r объекта на границе фона будет определяться формулой, аналогичной (16), и примет вид

$$D_r = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(z + \left(1 + \frac{1}{2}\alpha^{-1}\right)^2 \rho\right)\right) \operatorname{ch} \sqrt{\left(1 + \frac{1}{2}\alpha^{-1}\right)^2 \rho z} dz. \tag{20}$$

Графики этих функций (рис. 4) приведены для двух значений коэффициентов: $\alpha = -0,75$ (отрицательный контраст) и $\alpha = 2$ (положительный контраст).

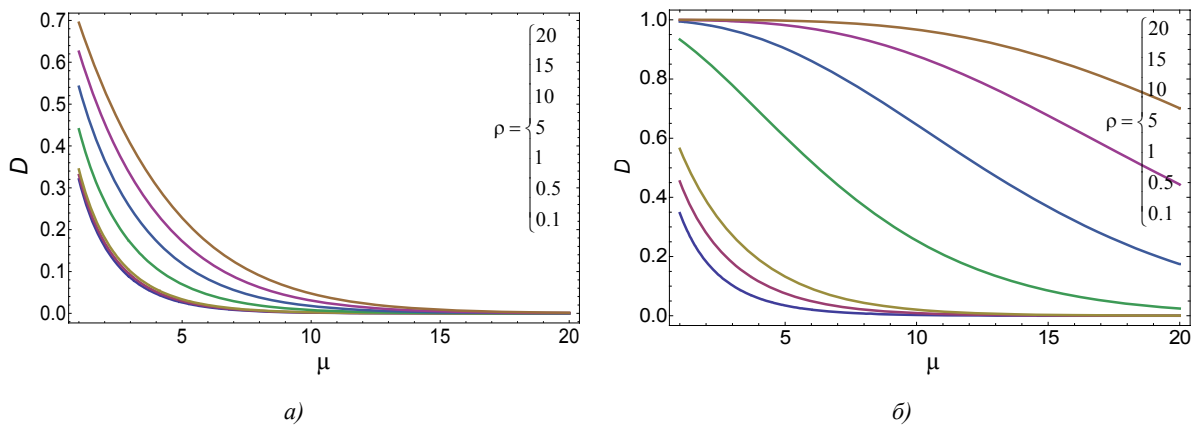


Рис. 4. Максимально правдоподобные вероятности обнаружения точечного объекта на границе фона: а) при $\alpha = -0,75$; б) $\alpha = 2$

Следуя изложенной выше методике, можно получить следующее выражение для вероятности ложной тревоги на границе:

$$F_r = \int_{\mu}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(z + \frac{1}{4}\beta^{-1}\right)\right) \operatorname{ch} \sqrt{\frac{1}{4}\beta^{-1}z} dz, \quad (21)$$

где $\beta = a\sigma^2/v^2$ – отношение дисперсии шумов на выходе фильтра к квадрату яркости фона. График этой функции изображен на рис. 5.

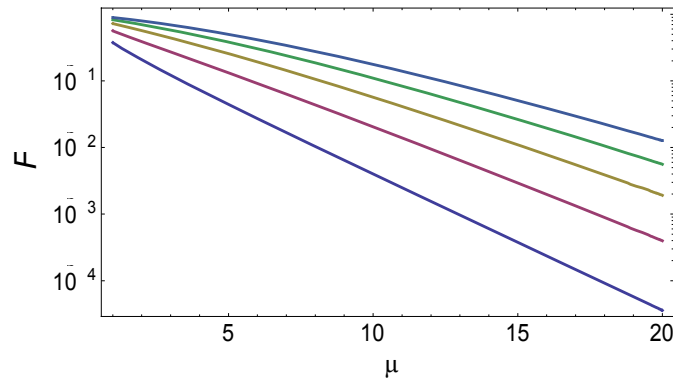


Рис. 5. Вероятности ложных тревог на границе фона

На границе фона вероятности ложных тревог возрастают и благодаря ее протяженности могут привести к появлению ряда отметок ложного обнаружения. На рис. 6 приведен пример результатов обнаружения трех объектов алгоритмом гладкого фона для исходного изображения (см. рис. 1, б). Видно, что на изображении помимо отметок трех объектов (1, 2, 3) имеются проявления боковых лепестков фильтра (3) и отметки ложных тревог (4, 5), соответствующие положению границ облаков. По описанной выше методике определены текущие максимально правдоподобные вероятности правильного обнаружения истинных объектов: первого – 0,996, второго – 0,987, третьего – 0,999 и ложных объектов: четвертого – 0,553, пятого – 0,773. Данные значения могут быть использованы в качестве весовых коэффициентов при последующей межкадровой обработке, в частности для устранения отметок ложных объектов.

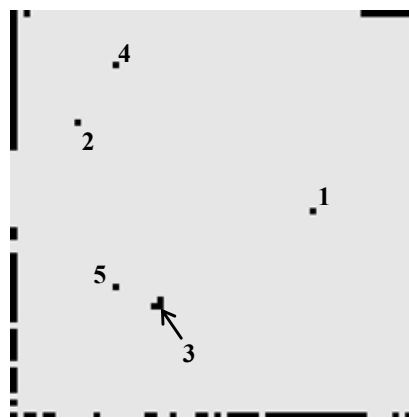


Рис. 6. Результаты обнаружения точечных объектов

Заключение

Наличие ложных тревог от границ фона является характерной особенностью внутрикадровой обработки изображений ОЭС при обнаружении точечных объектов. Снижение вероятности появления ложных объектов продолжает оставаться важной задачей. Один из путей ее решения состоит в разработке более эффективных алгоритмов подавления фона и обнаружения и является предметом дальнейших исследований авторов.

Список литературы

1. Тарасов, В.В. Инфракрасные системы «смотрящего типа» / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенок. – М. : Логос, 2004. – 444 с.
2. Third-generation infrared imagers / P. Norton [et al.] // SPIE Proc. – 2000. – Vol. 4130. – P. 226–235.
3. Barniv, Y. Dynamic programming solution for detecting dim moving targets / Y. Barniv // IEEE Trans. AES (Aerospace and Electronic Systems). – 1985. – Vol. 21, № 3. – P. 144–156.
4. Barniv, Y. Dynamic Programming Solution for Detecting Dim Moving Targets, PART II: Analysis / Y. Barniv, O. Kella // IEEE Trans. AES (Aerospace and Electronic Systems). – 1987. – Vol. 23, № 6. – P. 776–788.
5. Gan-Wang, E.S.M. A pipeline algorithm for detection and tracking of pixel-sized target trajectories / E.S.M. Gan-Wang, R.M. Inigo // SPIE Signal and Data Processing of Small Targets. – 1990. – Vol. 1305. – P. 167–177.
6. Reed, I.S. A recursive moving-target-indication algorithm for optical image sequences / I.S. Reed, R.M. Gagliardi, L.B. Stott // IEEE Trans. AES (Aerospace and Electronic Systems). – 1990. – Vol. 26, № 3. – P. 434–440.
7. Nichtern, O. Parameter adjustment for a dynamic programming track-before-detect-based target detection algorithm / O. Nichtern, S.R. Rotman // Journ. on Advances in Signal Processing. – 2008. – № 1D146925. – P. 1–19.
8. Robinson, D.Z. Methods of background description and their utility / D.Z. Robinson // Proc. IRE. – 1959. – Vol. 47, № 9. – P. 1554–1561.
9. Reiss, D. Spatial signal processing for infrared detection / D. Reiss // SPIE. – 1994. – Vol. 2235. – P. 38–51.
10. Barnett, J.T. Statistical analysis of median subtraction filtering with application to point-target detection in infrared backgrounds / J.T. Barnett // SPIE Proc. Infrared Systems and Components III. – 1989. – Vol. 1050. – P. 10–18.
11. Шахтарин, Б.И. Обнаружение сигналов / Б.И. Шахтарин. – М. : Гелиос, 2006. – 488 с.
12. Репин, В.Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. – М. : Сов. радио, 1977. – 432 с.
13. Методы компьютерной обработки изображений ; под ред. В.А. Сойфера. – М. : Физматлит, 2003. – 784 с.
14. Цифровая обработка сигналов. Лекции и практикум на ПК [Электронный ресурс]. – Минск, 2009. – Режим доступа : <http://www.prodav.narod.ru/dsp/dsp16.htm>. – Дата доступа : 30.10.2009.
15. Hwang, S. Spatial filter performance on point-target detection in various clutter conditions: thesis ... М. Е. : 28.05.07 / S. Hwang. – Massachusetts Institute of Technology, USA, 2007. – 88 p.
16. Банди, Б. Методы оптимизации. Вводный курс / Б. Банди. – М. : Радио и связь, 1988. – 128 с.

Поступила 02.11.09

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

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

POINT OBJECTS DETECTION IN THE CASE OF UNCERTAINTY

The problem of synthesis of an optimal detection algorithm for images of point objects against the clouds background and noise of the photodetector is solved by maximum-likelihood method. Particularity of the problem consists in considering the influence of the spatial filter for smooth background attenuation and in prior uncertainty of statistical characteristics of amplitudes of object signals. Characteristics of the detection process which in the conditions of uncertainty give the possibility to estimate current values of correct detection and false alarms probabilities are obtained.