

А.А. Бычков, В.А. Понькин, В.Н. Поветко

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ФОНАХ ПЯТНИСТОЙ СТРУКТУРЫ

На основе теории статистических решений синтезирован алгоритм обнаружения пространственно-протяженных затеняющих фон объектов на фонах пятнистой структуры при моделировании изображений объекта и фона случайными гауссовскими полями. Проведена оценка эффективности обнаружения объекта прямоугольной формы при экспоненциальной аппроксимации корреляционных связей в изображениях объекта и фона. Выявлена информативность наиболее устойчивых текстурных демаскирующих признаков.

1. В большинстве известных работ ([1 ... 5] и др.) эффективность обнаружения пространственно-протяженных объектов (ППО) исследуется применительно к эвристическим алгоритмам обработки изображений. При этом общие закономерности обнаружения изображений ППО в многообразии реальных ситуаций оказываются изученными недостаточно. Исследование потенциальных возможностей обнаружения изображений ППО развитыми и широко используемыми в литературе методами теории статистических решений позволяет выявить резервы и пути повышения эффективности существующих алгоритмов обработки изображений.

В данной статье рассмотрены закономерности обнаружения изображений ППО на фонах пятнистой структуры, проведен синтез оптимальных (в смысле отношения правдоподобия) алгоритмов обнаружения пространственно-протяженных затеняющих фон объектов при моделировании изображений объекта и фона гауссовскими полями. Ввиду сложности анализа полученных алгоритмов характеристики обнаружения ППО определены применительно к объектам прямоугольной формы и экспоненциальной аппроксимации корреляционных связей в изображениях объекта и фона.

2. Предъявляемое к обработке изображение представляется в виде дискретной функции потенциального рельефа $Y = \{Y(\mathbf{r}_1), Y(\mathbf{r}_2), \dots, Y(\mathbf{r}_n)\}$, где \mathbf{r}_i — координатный вектор i -го элемента области наблюдения D . По гипотезе H_0 во всей области анализа D присутствует изображение фона $F = \{f(\mathbf{r}_i)\}$, $\mathbf{r}_i \in D$, описываемое гауссовским полем с математическим ожиданием $\mathbf{M}_f = \{M_f(\mathbf{r}_i)\}$, $\mathbf{r}_i \in D$ и тензором межэлементной корреляции $\mathbf{R}_f = \{R_f(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)\}$, $(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \in D$ [6]. Пространственная протяженность объектов наблюдения в большинстве встречающихся на практике случаев приводит к затенению объектом фона. С учетом этого по гипотезе H_1 матрица \mathbf{Y} в области предполагаемого расположения объекта формируется изображением обнаруживаемого ППО $S = \{S(\mathbf{r}_i)\}$, $\mathbf{r}_i \in G$. Последнее представляет собой реализацию гауссовского случайного поля с математическим ожиданием $\mathbf{M}_s = \{M_s(\mathbf{r}_i)\}$, $\mathbf{r}_i \in G$ и тензором межэлементной корреляции $\mathbf{R}_s = \{R_s(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)\}$, $(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \in G$. В дополнительной области G наблюдается фрагмент реализации фона $\{F(\mathbf{r}_i)\}$, $\mathbf{r}_i \in \bar{G}$. Используя координатную функцию объекта $\mathbf{V} = \{V(\mathbf{r}_i)\}$, принимающую значения $V(\mathbf{r}_i) = 1$ в области предполагаемого расположения объекта ($\mathbf{r}_i \in G$) и равную нулю вне этой области ($\mathbf{r}_i \in \bar{G}$), обрабатываемое изображение можно представить в виде

$$Y(\mathbf{r}_i) = \begin{cases} V(\mathbf{r}_i)S(\mathbf{r}_i) + (1 - V(\mathbf{r}_i))F(\mathbf{r}_i), & \mathbf{r}_i \in D : H_1, \\ F(\mathbf{r}_i), & \mathbf{r}_i \in D : H_0. \end{cases}$$

Для описанной модели обрабатываемое изображение \mathbf{Y} по обеим гипотезам является реализацией гауссовского случайного процесса с математическим ожиданием

$$M_1(\mathbf{r}_i) = V(\mathbf{r}_i)M_s(\mathbf{r}_i) + (1 - V(\mathbf{r}_i))M_f(\mathbf{r}_i), \quad \mathbf{r}_i \in D,$$

$$M_0(\mathbf{r}_i) = M_f(\mathbf{r}_i), \quad \mathbf{r}_i \in D,$$

и элементами тензоров межэлементной корреляции

$$K_1(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) = V(\mathbf{r}_i)R_s(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)V(\mathbf{r}_k) + (1 - V(\mathbf{r}_i))R_f(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)(1 - V(\mathbf{r}_k)),$$

$$K_0(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) = R_f(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k), \quad (\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \in D$$

по гипотезам H_1 и H_0 соответственно. В дальнейшем полагается, что тензоры \mathbf{R}_s и \mathbf{R}_f положительно определены.

На основе методики, изложенной в [7], можно записать решающее правило для обнаружения объекта

$$L(\mathbf{Y}) = \frac{1}{2} \sum_i^D \sum_k^D (Y(\mathbf{r}_i) - M_0(\mathbf{r}_i)) \Theta_0(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) (Y(\mathbf{r}_k) - M_0(\mathbf{r}_k)) - \frac{1}{2} \sum_i^D \sum_k^D (Y(\mathbf{r}_i) - M_1(\mathbf{r}_i)) \Theta_1(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) (Y(\mathbf{r}_k) - M_1(\mathbf{r}_k)) + \frac{1}{2} \ln \frac{\det(\mathbf{K}_0)}{\det(\mathbf{K}_1)} \frac{H_1}{H_0} \stackrel{?}{\geq} C, \quad (1)$$

где $\Theta_l(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)$, $l = 0, 1$ – элементы тензора Θ_l , обратного тензору межэлементной корреляции K_l , являющиеся решениями уравнения $\sum_j^D \Theta_l(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) K_l(\mathbf{r}_j, \mathbf{r}_k) = \delta(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)$, $(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \in D$; $\delta(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)$ – символ Кронекера, C – порог принятия решения. Суммирование в (1) производится по области, указанной над знаком суммы. Определители находятся для матриц, получаемых из соответствующих тензоров путем упорядоченного просмотра зоны анализа.

В связи с тем что по гипотезе H_1 обрабатываемое изображение является реализацией составного гауссовского поля, получение соотношений для определения значений элементов тензора Θ_1 является достаточно сложной задачей. Учитывая свойство положительной определенности тензоров \mathbf{R}_s и \mathbf{R}_f можно показать, что тензор Θ_1 структурно подобен межэлементной корреляции \mathbf{K}_1 :

$$\Theta_1(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) = V(\mathbf{r}_i) \Theta_{11}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) V(\mathbf{r}_k) + (1 - V(\mathbf{r}_i)) \Theta_{10}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) (1 - V(\mathbf{r}_k)), \quad (\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \in D. \quad (2)$$

Коэффициенты $\Theta_{11}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)$ и $\Theta_{10}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)$ в (2) есть элементы обратных тензоров межэлементной корреляции Θ_{11} и Θ_{10} в областях изображения G и \bar{G} соответственно, являющиеся решениями уравнений

$$\sum_j^G \Theta_{11}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) R_s(\mathbf{r}_j, \mathbf{r}_k) = \delta(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k), \quad (\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \in G; \quad \sum_j^{\bar{G}} \Theta_{10}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) R_f(\mathbf{r}_j, \mathbf{r}_k) = \delta(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k), \quad (\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \in \bar{G}. \quad (3)$$

Используя структуру тензора Θ_1 (2), выражение (1) после несложных преобразований, приводящих к изменению величины порога C^* , можно записать в виде

$$L(\mathbf{Y}) = \frac{1}{2} \sum_i^G \sum_k^G [(Y(\mathbf{r}_i) - M_f(\mathbf{r}_i)) \Theta_0(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) (Y(\mathbf{r}_k) - M_f(\mathbf{r}_k)) - (Y(\mathbf{r}_i) - M_s(\mathbf{r}_i)) \Theta_{11}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) (Y(\mathbf{r}_k) - M_s(\mathbf{r}_k))] + \sum_i^G \sum_k^{\bar{G}} (Y(\mathbf{r}_i) - M_f(\mathbf{r}_i)) \Theta_0(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) (Y(\mathbf{r}_k) - M_f(\mathbf{r}_k)) + \frac{1}{2} \sum_i^{\bar{G}} \sum_k^{\bar{G}} (Y(\mathbf{r}_i) - M_f(\mathbf{r}_i)) (\Theta_0(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) - \Theta_{10}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)) \times \times (Y(\mathbf{r}_k) - M_f(\mathbf{r}_k)) \stackrel{?}{\geq} C^*. \quad (4)$$

Полученное соотношение описывает алгоритм оптимальной обработки изображения при обнаружении пространственно-протяженных затеняющих фон объектов при моделировании текстуры объекта и фона гауссовскими случайными полями. В соответствии с (4) оптимальный обнаружитель осуществляет весовое суммирование попарных произведений отсчетов наблюдаемого изображения и сравнение полученной величины с порогом. Содержательная часть алгоритма заключается в правильном выборе значений коэффициентов весового суммирования. В основе их определения лежит обращение тензоров межэлементной корреляции изображения фона во всей зоне анализа и в области, не занятой объектом, а также тензора межэлементной корреляции объекта.

3. С целью выявления информативности наиболее устойчивых текстурных демаскирующих признаков ППО дальнейшее рассмотрение проведено при равных нулю математических ожиданиях объекта и фона $\mathbf{M}_s = \mathbf{M}_f = 0$. Для исследования физической сущности компонентов алгоритма обработки (4) целесообразно его представить иначе, записав обратные корреляционные тензоры Θ_{11} и Θ_{10} в виде суммы регулярных $\mathbf{U}_{1\infty}$, $\mathbf{U}_{0\infty}$ и сингулярных $\mathbf{U}_{1\delta}$, $\mathbf{U}_{0\delta}$ решений уравнений (3)

$$\Theta_{11}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) = U_{1\infty}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) + U_{1\delta}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k), \quad (\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \in G, \quad \Theta_{10}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) = U_{0\infty}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) + U_{0\delta}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k), \quad (\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \in \bar{G}. \quad (5)$$

При этом регулярная составляющая совпадает с обратным корреляционным тензором соответствующего гауссовского поля, определенного на бесконечной решетке, в то время как сингулярная описывает эффекты, связанные с ограниченностью области наблюдения этого поля. Так, вид тензора \mathbf{U}_{08} зависит от формы границы области предполагаемого расположения объекта G . Его элементы отличны от нуля лишь в определяемой интервалом корреляции окрестности этой границы. Поскольку при обработке изображения в области G используется разность тензоров Θ_0 и Θ_{10} :

$$\Theta_0(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) - \Theta_{10}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) = -\mathbf{U}_{08}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k), \quad (\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \in \bar{G}, \quad (6)$$

и сингулярные составляющие на границе зоны анализа D для этих тензоров совпадают, то в дальнейшем полагается, что тензор \mathbf{U}_{08} описывает граничные эффекты только во внешней окрестности области G .

Следует заметить, что при условии многократного превышения размеров зоны анализа по сравнению с размерами объекта и величиной интервала корреляции фона, весовые коэффициенты $\Theta_0(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)$, входящие в первое и второе слагаемые выражения (5), определяются, в основном, регулярной составляющей тензора Θ_0 :

$$\Theta_0(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) \approx \Theta_{0\infty}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k), \quad \mathbf{r}_i \in G, \quad \mathbf{r}_k \in D. \quad (7)$$

Используя сделанные выше предположения (5)–(7), решающее правило (4) можно преобразовать к виду

$$L(\mathbf{Y}) = \frac{1}{2} \sum_i^G \sum_k^G Y(\mathbf{r}_i) (\Theta_{0\infty}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) - U_{1\infty}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)) Y(\mathbf{r}_k) + \left[\sum_i^G \sum_k^G Y(\mathbf{r}_i) H_{0\infty}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) Y(\mathbf{r}_k) - \frac{1}{2} \sum_i^G \sum_k^G Y(\mathbf{r}_i) U_{18}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) Y(\mathbf{r}_k) - \frac{1}{2} \sum_i^G \sum_k^G Y(\mathbf{r}_i) U_{08}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) Y(\mathbf{r}_k) \right] \frac{H_1}{H_0} \geq C^*. \quad (8)$$

В соответствии с выражением (8) алгоритм оптимального обнаружения объекта на фоне пятнистой структуры включает процедуры: различения изображений объекта и фона путем анализа корреляционных свойств (текстуры) реализации изображения в области предполагаемого расположения объекта [1] (первое слагаемое) и выделения границы изображения объекта (слагаемое в скобках). Выделение границы объекта, в свою очередь, обеспечивается путем выявления разладки по вероятностным характеристикам (корреляции) между элементами принятой реализации, расположенными во внутренней и внешней окрестностях этой границы.

При совпадении корреляционных свойств изображений объекта и фона из $R_s(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) = R_f(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)$ следует равенство $\Theta_{0\infty} = U_{1\infty}$ и первое слагаемое (8) обращается в нуль. Обнаружение объекта в этом случае обеспечивается только за счет выделения его границы с фоном.

4. В связи со значительными трудностями получения аналитических соотношений для распределения функционала правдоподобия $L(\mathbf{Y})$ вида (8) оценка качества обнаружения пространственно-протяженных объектов на фонах пятнистой структуры проводилась методом статистического моделирования на ЭВМ.

Характеристики обнаружения рассчитаны для изображений ППО прямоугольной формы при экспоненциальной аппроксимации корреляционных связей:

$$R_s(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) = \sigma_1^2 \rho_1^{|\alpha-\beta|} \rho_1^{|\gamma-\delta|}; \quad (9)$$

$$R_f(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k) = \sigma_0^2 \rho_0^{|\alpha-\beta|} \rho_0^{|\gamma-\delta|} \quad (10)$$

в изображениях объекта и фона соответственно. Здесь σ_1^2 и σ_0^2 — дисперсии отсчетов, а ρ_1 и ρ_0 — коэффициенты корреляции между соседними элементами соответствующих изображений, $\alpha, \gamma, \beta, \delta$ — прямоугольные координаты элементов кадра. На основе подхода, изложенного в [6], найдены выражения для элементов тензоров $\Theta_{0\infty}$ и $U_{1\infty}$ в форме 9-элементных операторов, характеризующих обработку реализации в окрестности каждого отсчета изображения, и определены значения весовых коэффициентов $U_{18}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)$ и $U_{08}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_k)$. Полученный оператор выделения границы объекта действует лишь в области изображения, окаймляющей эту границу (на рис. 1 жирные точки). Значения элементов операторов ввиду громоздкости последних в статье не приводятся.

Алгоритм определения характеристик обнаружения заключался в следующем. Первоначально в соответствии с известными методами [8] формировались реализации однородного гауссовского поля, моделирующего фон с нулевым средним и корреляционной функцией вида (10). Каждая из реализаций подвергалась обработке в соответствии с алгоритмом (8). На основе полученных значений функционала правдоподобия определялся порог обнаружения C^* по критерию Неймана—Пирсона с применением метода экстремальных статистик [9]. Затем генерировались реализации составного централизованного гауссовского поля (по гипотезе H_1) с корреляционной функцией вида (9) — в области, занимаемой объектом, и корреляционной функцией фона (10) — во внешней области. Полученные изображения обрабатывались в соответствии с алгоритмом (8), а результат обработки сравнивался с порогом C^* для определения факта обнаружения или необнаружения объекта и оценки вероятности обнаружения.

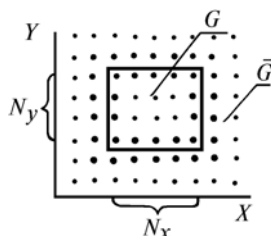


Рис. 1. Информативная область изображения для выделения границы объекта

В процессе расчетов установлено, что качество обнаружения изображения ППО зависит от коэффициентов межэлементной корреляции ρ_1 и ρ_0 , отношения дисперсий полей, описывающих текстуры объекта и фона $\varepsilon^2 = \sigma_1^2/\sigma_0^2$, а также от размеров объекта по координатным осям X и Y (в пикселах) $N_x \times N_y$ (рис. 1). Зависимости вероятности обнаружения объекта P_D от этих параметров для уровня ложной тревоги $P_F = 10^{-3}$ с доверительным интервалом 10 ... 15% представлены на рис. 2—4.

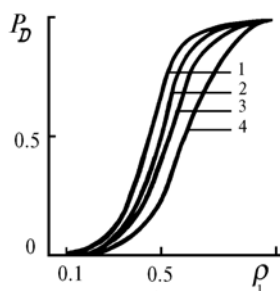


Рис. 2. Зависимость вероятности обнаружения ППО от величины коэффициента межэлементной корреляции $\rho = \rho_0 = \rho_1$ при равных дисперсиях объекта и фона ($\varepsilon^2 = 1$) и различных размерах объекта: 10×10 (кривая 1), 12×2 (2), 5×5 (3), 3×3 (4)

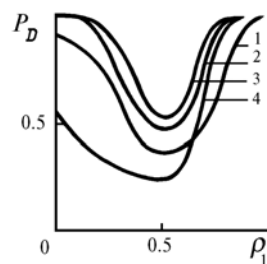


Рис. 3. Зависимость вероятности обнаружения ППО от величины коэффициента межэлементной корреляции объекта ρ_1 при значениях: размеров объекта 7×7 (кривые 2, 3), 5×5 (1, 4); отношения дисперсий объекта и фона $\varepsilon^2 = 1$ (1, 3), 0,8 (2), 0,5 (4); коэффициента межэлементной корреляции фона $\rho_0 = 0,5$

На рис. 2 приведена зависимость вероятности обнаружения объекта P_D от коэффициента межэлементной корреляции ρ , равного для изображений объекта и фона ($\rho_1 = \rho_0 = \rho$) при равенстве дисперсий отсчетов объекта и фона ($\varepsilon^2 = 1$). Варьируемыми параметрами являются размеры объекта. Как ранее отмечалось, обнаружение ППО в этом случае обеспечивается за счет выделения на изображении границы объекта с фоном. Из анализа графиков следует, что эффективность обнаружения ППО существенным образом зависит от величины коэффициента межэлементной корреляции ρ . При этом малым значениям (слабокоррелированные изображения) соответствует малая вероятность обнаружения, что объясняется сравнимостью величин перепадов интенсивности на границе фон — объект с разностью между значениями соседних отсчетов изображения и объекта, и фона. С усилением корреляционных связей по изображениям объекта и фона (при увеличении ρ) граничные эффекты проявляются отчетливее, что приводит к соответствующему увеличению вероятности обнаружения ППО. Увеличение периметра изображения объекта за счет увеличения площади, или, при постоянной площади, за счет изменения соотношения длин сторон, приводит к увеличению вероятности обнаружения для любых значений ρ .

Зависимости вероятности обнаружения ППО от коэффициента межэлементной корреляции изображения объекта ρ_1 при различных размерах объекта, отношения дисперсий ε^2 и коэффициента межэлементной корреляции изображения фона ρ_0 представлены на рис. 3. Как и следовало ожидать, независимо от площади изображения объекта кривые обнаружения имеют минимум при равенстве коэффициента корреляции объекта и фона $\rho_1 = \rho_0$ и монотонно возрастают по мере увеличения рассо-

гласования $|\rho_1 - \rho_0|$. Улучшение качества обнаружения объясняется, главным образом, повышением достоверности различения изображений ППО и фона в области предполагаемого расположения объекта по текстуре изображения (корреляционным характеристикам).

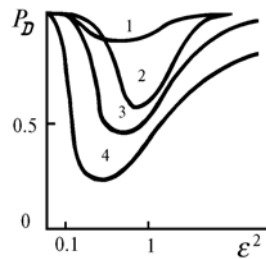


Рис. 4. Зависимость вероятности обнаружения ППО от величины отношения дисперсий объекта и фона ϵ^2 при значениях коэффициента межэлементарной корреляции $\rho = \rho_0 = \rho_1 = 0,7$ (кривая 1), 0,5 (2–4), и размерах объекта 5×5 (кривые 1, 4), 7×7 (3), 10×10 (2)

Рис. 4. иллюстрирует зависимость вероятности обнаружения ППО от отношения дисперсий отсчетов изображений объекта и фона ϵ^2 при равенстве коэффициентов межэлементарной корреляции $\rho_1 = \rho_0 = \rho$ для различных фиксированных значений ρ и размеров объекта. Сравнительный анализ представленных графиков позволяет заключить, что кривые обнаружения имеют минимум в точке $\epsilon_*^2 < 1$. Причем значение ϵ_*^2 существенным образом зависит от числа степеней свободы (независимых отсчетов) изображений в области предполагаемого расположения объекта, определяемого соотношением площади объекта $N_x \times N_y$ и коэффициента корреляции ρ . Так, для объекта с размерами 5×5 при $\rho = 0,5$ вероятность обнаружения минимальна при $\epsilon_*^2 = 0,5$, а при $\rho = 0,7$ $\epsilon_*^2 = 0,75$. Данное явление объясняется различным характером влияния на качество выделения изображений объекта текстуры и границы изображения объекта. При уменьшении величины ϵ^2 в интервале $[\epsilon_*^2, 1]$ качество обнаружения ППО по его границе с фоном существенно снижается вследствие уменьшения перепада значений изображения объекта и фона на границе, в то время как различие текстуры объекта и фона проявляется незначительно. При дальнейшем уменьшении ϵ^2 ниже порога ϵ_*^2 в процессе обработки реализации начинает преобладать различие по корреляционным свойствам изображений объекта и фона, что приводит к увеличению вероятности обнаружения ППО.

Таким образом, информативными признаками наличия пространственно-протяженного объекта на фоне пятнистой структуры являются нарушение текстурных характеристик изображения в области возможного расположения ППО, а также перепад интенсивности изображения на границе этой области. Вклад каждой из этих составляющих зависит от значений параметров ППО и фона, неучет одной из них может привести к принципиальным ошибкам в оценке качества обнаружения изображений ППО на фонах пятнистой структуры.

1. Ярославский Л. П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику. М.: Радио и связь, 1987, 427 с.
2. Потапов А. А., Галкина Т. В., Орлова Т. И., Хлявич Я. Л. // Радиотехника и электроника 1990. Т. 35. № 11. С. 2295–2301.
3. Битюцкий О. И., Киричук В. С., Перетягин Г. И. // Автометрия. 1988. № 5. С. 42–47.
4. Васюков В. Н., Дейхин Л. Е. // Межвуз. сб. науч. тр. Ульяновск: Ул. ПИ. 1987. С. 21–20.
5. Дейхин Л. Е., Райфельд М. А., Спектор А. А. // Радиотехника и электроника. 1989. Т. 34. № 10. С. 2112–2117.
6. Башаринов А. Е., Ананов Н. И. // Радиотехника и электроника. 1964. Т. 9. N 7. С. 1119–1120.
7. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции/Пер. с англ. под ред. В.И. Тихонова. М.: Сов. радио, 1972. Т. 1. 744 с.
8. Шалыгин А. С., Палагин Ю. И. Прикладные методы статистического моделирования. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение. 1980. 320 с.
9. Поляк Ю. Г., Филимонов Ю. А. Статистическое машинное моделирование средств связи. М.: Радио и связь. 1988. 175 с.

Поступила в редакцию
13 мая 1992 г.

A. A. Bychkov, V. A. Pon'kin, V. N. Povetko. Efficiency of Detection of Spatially Extended Objects Against the Background of a Spotty Structure.

Based on the theory of statistical solutions an algorithm of detecting spatially extended objects against the background of a spotty structure is synthesized for modeling images and background by Gaussian fields.