

# РАДИОТЕХНИКА

Radioengineering XXI век

**12 2016**

**В номере:**

## **РАДИОСИСТЕМЫ**

### **Выпуск 209**

Синтез и анализ алгоритмов и устройств  
обработки сигналов, № 3

РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

и др.



тел./факс: (495) 625-9241  
e-mail: [info@radiotec.ru](mailto:info@radiotec.ru)  
<http://www.radiotec.ru>

УДК 621.391

## Обнаружение изображения при наличии пространственного шума и аппликативного фона

© Авторы, 2016

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2016

**А.П. Трифонов** – Засл. деятель науки РФ, д.т.н., профессор, зав. кафедрой радиофизики, Воронежский государственный университет  
E-mail: trifonov@phys.vsu.ru

**В.Н. Верещагин** – аспирант, кафедра радиофизики, Воронежский государственный университет  
E-mail: Slawa-W@mail.ru

**В.К. Маршаков** – к.ф.-м.н., доцент, кафедра радиофизики, Воронежский государственный университет  
E-mail: mvk@phys.vsu.ru

Рассмотрены максимально правдоподобный и квазиправдоподобный алгоритмы обнаружения изображения пространственно-протяженного объекта на фоне пространственного гауссовского белого шума при наличии аппликативного фона с неизвестными интенсивностями изображения и фона. Исследована степень влияния аппликативного фона на эффективность обнаружения изображения.

**Ключевые слова:** изображение, аппликативный фон, пространственный шум, алгоритм обнаружения, реализация наблюдаемых данных, индикаторная функция, ОСШ.

Considered the most plausible and quasimandatory algorithms to detect images of a spatially extended object against a background of spatial Gaussian white noise in the presence of applicative background with unknown intensity image and background. Investigated the degree of influence of applicative background on the detection efficiency of the image.

**Keywords:** image, applicative background, the spatial noise, detection algorithm, the realization of observed data, the indicator function, SNR.

В настоящее время активно развиваются методы дистанционного наблюдения, учитывающие пространственную протяженность реальных объектов, что объясняется существенно возросшей разрешающей способностью систем дистанционного наблюдения. Вопросы обработки изображений пространственно протяженных объектов рассматривались в [1–5, 8–10] и др. В некоторых работах предполагалось, что интенсивность изображения описывается гладкой (непрерывной и непрерывно дифференцируемой) функцией координат, например, в работе [1]. Такими свойствами обычно обладают изображения пространственно-протяженных объектов, формируемые системами дистанционного наблюдения с низким разрешением. По мере улучшения разрешения изображения пространственно-протяженных объектов обладают все более резкими и четко выделенными границами. Это позволяет аппроксимировать интенсивность изображения пространственно-протяженных объектов функциями, которые изменяются скачком на границах изображения [2–5]. Обнаружение таких изображений с неизвестным местоположением без наличия фона рассматривалось в [4, 5]. Представляет интерес рассмотрение более общего случая – обнаружение изображений при наличии фона.

Цель работы – провести синтез и анализ максимально правдоподобного и квазиправдоподобного алгоритмов обнаружения двумерного сигнала (изображения) с неизвестной интенсивностью при наличии фона с неизвестной интенсивностью, а также исследовать влияние аппликативного фона на эффективность обнаружения.

Пусть в плоской двумерной области  $\Omega$  доступна наблюдению (обработке) реализация гауссовского случайного поля  $\xi(\mathbf{r})$ , которая в случае отсутствия фона при известном местоположении изображения записывается следующим образом:

$$\xi(\mathbf{r}) = \gamma_0 a_0 s_1(\mathbf{r}) I(\mathbf{r}) + n(\mathbf{r}), \quad (1)$$

где  $\xi(\mathbf{r})$  – реализация гауссовского случайного поля;  $\mathbf{r} = (x, y)$  – радиус-вектор точки, принадлежащей области  $\Omega$ ;  $\gamma_0$  – параметр, значение которого описывает отсутствие или наличие изображения в реализации случайного поля  $\xi(\mathbf{r})$  ( $\gamma_0 = 0$  (гипотеза  $H_0$ ), если изображения в реализации нет,  $\gamma_0 = 1$  (гипотеза

$H_1$ ), если изображение в реализации есть);  $a_0$  – истинное значение амплитуды интенсивности изображения;  $s_1(\mathbf{r})$  – нормированное распределение интенсивности изображения ( $\max s_1(\mathbf{r}) = 1$ ), которое занимает область  $\Omega_s$ ;  $I(\mathbf{r})$  – индикаторная функция ( $I(\mathbf{r}) = \{1 \text{ при } x, y \in \Omega_s, 0 \text{ при } x, y \notin \Omega_s\}$ );  $n(\mathbf{r})$  – аддитивный пространственный гауссовский белый шум с нулевым математическим ожиданием и односторонней спектральной плотностью  $N_0$ ;  $\Omega$  – область наблюдения.

По результатам наблюдения надо вынести решение о наличии или отсутствии изображения в области  $\Omega$ , то есть в реализации случайного поля (1). Таким образом, надо вынести решение о значении параметра  $\gamma_0$ . Для решения задачи обнаружения изображения необходимо формировать логарифм функционала отношения правдоподобия (ФОП) [2, 6]

$$L_1 = \frac{2a_0}{N_0} \iint_{\Omega} \xi(\mathbf{r}) s_1(\mathbf{r}) I(\mathbf{r}) d\mathbf{r}. \quad (2)$$

Максимально правдоподобный алгоритм обнаружения (максимально правдоподобное обнаружение, максимально правдоподобный обнаружитель – МПО) имеет следующий вид [6]:

$$L_1 \underset{\gamma_0=0}{<} h, \quad L_1 \underset{\gamma_0=1}{>} h, \quad (3)$$

где  $h$  – порог, определяемый выбранным критерием оптимальности обнаружения.

Для вероятностей ошибок ложной тревоги и пропуска изображения можно записать следующие выражения [6]:

$$\alpha = P[H_1 | H_0] = P[L_1 > h | \gamma_0 = 0], \quad \beta = P[H_0 | H_1] = P[L_1 < h | \gamma_0 = 1],$$

где  $\alpha$  – вероятность ошибки ложной тревоги (ошибки первого рода);  $\beta$  – вероятность ошибки пропуска изображения (ошибки второго рода);  $P[H_i | H_j]$  – вероятность принятия решения о справедливости гипотезы  $H_i$ , в то время как верна гипотеза  $H_j$  ( $i, j = 0$  или  $1$ ).

Поскольку логарифм ФОП (1) представляет собой линейное преобразование гауссовского случайного поля, то величина  $L_1$  подчиняется гауссовскому закону распределения. Следовательно, вероятности ошибок первого и второго рода запишутся как

$$\alpha = 1 - \Phi\left(\frac{h - m_0}{\sigma_0}\right), \quad \beta = \Phi\left(\frac{h - m_1}{\sigma_1}\right), \quad (4), (5)$$

где  $\Phi(u)$  – интеграл вероятности  $\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \exp(-t^2 / 2) dt$ ;  $m_i$  – математическое ожидание логарифма

ФОП (2) при гипотезе  $H_i$ ;  $\sigma_i^2$  – дисперсия логарифма ФОП (2) при гипотезе  $H_i$  ( $i = 0$  или  $1$ ):

$$m_i = \langle L_1 | H_i \rangle, \quad \sigma_i^2 = \langle [L_1 - m_i]^2 | H_i \rangle. \quad (6), (7)$$

Порог  $h$  определяется выбранным критерием оптимальности. Выберем критерий Неймана–Пирсона [6], тогда с учетом (4) можно записать выражение для порога (при заданном уровне вероятности ложной тревоги  $\alpha$ )  $h_\alpha = \sigma_0 \Phi^{-1}(1 - \alpha) + m_0$ . Если заменить  $h$  в (5) на  $h_\alpha$ , то получим формулу

$$\beta = \Phi\left[\frac{\sigma_0 \text{arc}\Phi(1 - \alpha) - \frac{m_1 - m_0}{\sigma_1}}{\sigma_1}\right], \text{ где отношение } \frac{m_1 - m_0}{\sigma_1} \text{ имеет смысл отношения сигнал/шум (ОСШ) [6]:}$$

$$z^2 = \frac{(m_1 - m_0)^2}{\sigma_1^2}. \quad (8)$$

При обработке реализации (1) с помощью алгоритма (3) ОСШ при МПО определяется путем подстановки  $m_0, m_1, \sigma_1$ , рассчитанных по формулам (2), (6), (7), в выражение (8):

$$z_{sn}^2 = \frac{2}{N_0} a_0^2 E_{1s}, \quad (9)$$

где  $E_{1s} = \iint_{\Omega_s} s_1^2(\mathbf{r}) I(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$  – энергия сигнала с единичной амплитудой интенсивности.

Рассмотрим ситуацию, когда в наблюдаемых данных появился фон, а алгоритм обработки остался прежним. В этом случае формула для реализации наблюдаемых данных записывается следующим образом:

$$\xi(\mathbf{r}) = \gamma_0 a_0 s_1(\mathbf{r}) I(\mathbf{r}) + [1 - \gamma_0 I(\mathbf{r})] b_0 v_1(\mathbf{r}) + n(\mathbf{r}) = \gamma_0 [a_0 s_1(\mathbf{r}) - b_0 v_1(\mathbf{r})] I(\mathbf{r}) + b_0 v_1(\mathbf{r}) + n(\mathbf{r}), \quad (10)$$

где  $b_0$  – истинное значение амплитуды интенсивности фона;  $v_1(\mathbf{r})$  – нормированная интенсивность фона ( $\max v_1(\mathbf{r}) = 1$ );  $\Omega = \Omega_s \cup \Omega_f$ , где  $\Omega_f$  – область фона, не затеняемая изображением.

Таким образом, рассматривается обнаружение изображения в реализации (10) с помощью алгоритма (3), где  $L_1$  определяется формулой (2). В этом случае ОСШ, полученное путем подстановки  $m_0, m_1, \sigma_1$ , рассчитанных по формулам (2), (6), (7), в выражение (8), принимает вид

$$z_{\text{МПО}}^2 = z_{sn}^2 \left[ 1 - \frac{z_{vn}}{z_{sn}} R_{sv} \right]^2 = z_{sn}^2 \left[ 1 - \frac{1}{\chi} R_{sv} \right]^2 \equiv z_1^2, \quad (11)$$

где  $z_{vn}^2 = \frac{2b_0^2}{N_0} E_{1v}$  – отношение фон/шум (ОФШ), которое представляет собой удвоенное отношение энергии участка фона, затеняемого изображением, к односторонней спектральной плотности гауссовского белого шума;  $R_{sv} = \frac{1}{\sqrt{E_{1s} E_{1v}}} \iint_{\Omega_s} s_1(\mathbf{r}) v_1(\mathbf{r}) I(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$  – коэффициент корреляции изображения и участка фона,

затеняемого изображением;  $z_{sv}^2 \equiv \chi^2 = \frac{z_{sn}^2}{z_{vn}^2} = \frac{a_0^2 E_{1s}}{b_0^2 E_{1v}}$  – отношение сигнал/фон (ОСФ), равное отношению

энергии сигнала и энергии участка фона, затеняемого изображением;  $E_{1v} = \iint_{\Omega_s} v_1^2(\mathbf{r}) I(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$  – энергия фона

с единичной амплитудой интенсивности на участке, затеняемом изображением.

В целях сравнения эффективности обнаружения при использовании алгоритма (3) для реализаций (1) и (10), то есть в случаях отсутствия и наличия фона в реализации наблюдаемых данных, введем функцию, характеризующую изменение ОСШ с учетом (9), (11):

$$K_1(\chi) = \frac{z_1^2}{z_{sn}^2} = (1 - R_{sv}/\chi)^2, \quad (12)$$

где  $K_1(\chi)$  – функция, характеризующая влияние наличия аппликативного фона в наблюдаемых данных на ОСШ для алгоритма обнаружения без учета фона (3).

На рис. 1 представлены графики функции (12) для различных значений параметра  $R_{sv}$ , из кото-

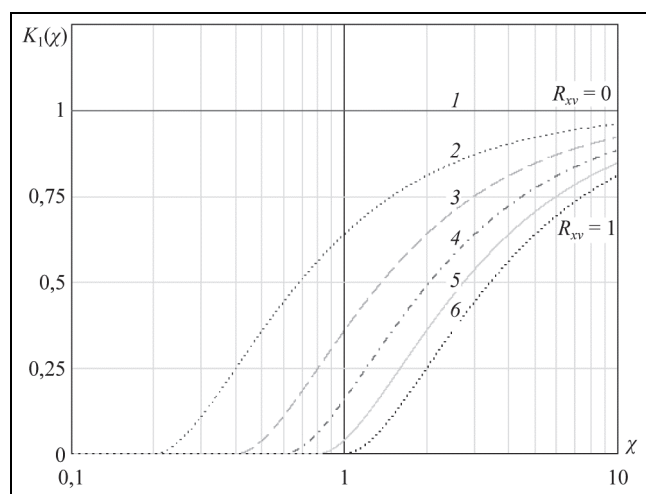


Рис. 1. Графики функции  $K_1(\chi)$  (изменения ОСШ вследствие наличия фона) для различных значений параметра  $R_{sv}$ : 0 (1); 0,2 (2); 0,4 (3); 0,6 (4); 0,8 (5); 1 (6)

рых видно, что проигрыш в эффективности обнаружения при появлении фона уменьшается с увеличением ОСФ  $\chi$ . При  $\chi \rightarrow +\infty$ ,  $K_1(\chi) \rightarrow 1$ , то есть для больших ОСФ, эффективность обнаружения почти одинакова как при наличии, так и при отсутствии фона. Если изображение и участок фона, затеняемый изображением, не коррелированы, эффективность обнаружения одинакова на всем множестве значений ОСФ, наличие фона не влияет на эффективность обнаружения. При увеличении коэффициента корреляции  $R_{sv}$  кривые начинают проходить все ниже, то есть проигрыш в эффективности обнаружения увеличивается. Для каждого значения корреляции  $R_{sv} > 0$  существуют такие значения ОСФ  $\chi_0$ , для которых при  $\chi \leq \chi_0$  обнаружение невозможно, потому что ОСШ в случае обработки реализации при наличии аппликативного фона равно нулю.

Улучшить характеристики обнаружения можно, если при синтезе алгоритма обнаружения учесть наличие фона. Рассмотрим ситуацию, когда в алгоритме обнаружения учтено наличие фона в наблюдаемых данных. В этом случае обнаружитель формирует логарифм ФОП вида [2]

$$L_2(a, b) = \frac{2}{N_0} \iint_{\Omega} \xi(\mathbf{r}) I(\mathbf{r}) [as_1(\mathbf{r}) - bv_1(\mathbf{r})] d\mathbf{r}. \quad (13)$$

Алгоритм МПО определяется формулой

$$L_2(a_0, b_0) \underset{\gamma_0=1}{\overset{\gamma_0=0}{>}} h', \quad (14)$$

где  $a_0, b_0$  – истинные значения амплитуд интенсивностей изображения и фона соответственно, если они известны.

Если истинные значения интенсивности изображения и фона не известны, то в алгоритме используются предполагаемые значения интенсивностей, отличающиеся от истинных значений. В этом случае получаем алгоритм квазиправдоподобного обнаружения (КПО):

$$L_2(a^*, b^*) \underset{\gamma_0=1}{\overset{\gamma_0=0}{>}} h', \quad (15)$$

где  $a^*, b^*$  – предполагаемые значения амплитуд интенсивностей изображения и фона соответственно.

Отношение сигнал/шум при КПО, полученное путем подстановки  $m_0, m_1, \sigma_1$ , рассчитанных по формулам (6), (7), (13), в выражение (8), определяется формулой

$$z_{\text{КПО}}^2 = \left( \frac{a^*}{a_0} z_{sn}^2 - \frac{b^*}{b_0} R_{sv} z_{sn} z_{vn} - \frac{a^*}{a_0} R_{sv} z_{sn} z_{vn} + \frac{b^*}{b_0} z_{vn}^2 \right)^2 \left( \frac{a^{*2}}{a_0^2} z_{sn}^2 - \frac{2a^* b^*}{a_0 b_0} R_{sv} z_{sn} z_{vn} + \frac{b^{*2}}{b_0^2} z_{vn}^2 \right)^{-1}. \quad (16)$$

Отношение сигнал/шум при МПО, полученное путем подстановки  $m_0, m_1, \sigma$ , рассчитанных по формулам (6), (7), в выражение (8), определяется формулой (16) при  $a^* = a_0, b^* = b_0$ :

$$z_{\text{МПО}}^2 = z_{sn}^2 (1 - 2R_{sv} / \chi + 1 / \chi^2) \equiv z_2^2. \quad (17)$$

Для сравнения эффективности обнаружения изображения при наличии фона в реализации (10) с помощью алгоритмов (3) и (14) введем функцию, характеризующую изменение ОСШ, используя (11), (17):

$$K_2(\chi) = \frac{z_2^2}{z_1^2} = \frac{1 - 2R_{sv} / \chi + 1 / \chi^2}{(1 - R_{sv} / \chi)^2}, \quad (18)$$

где  $K_2(\chi)$  – функция, характеризующая увеличение выходного ОСШ приемника за счет учета аппликативного фона при синтезе алгоритма обнаружения (при замене алгоритма обнаружения (3) на алгоритм (14)).

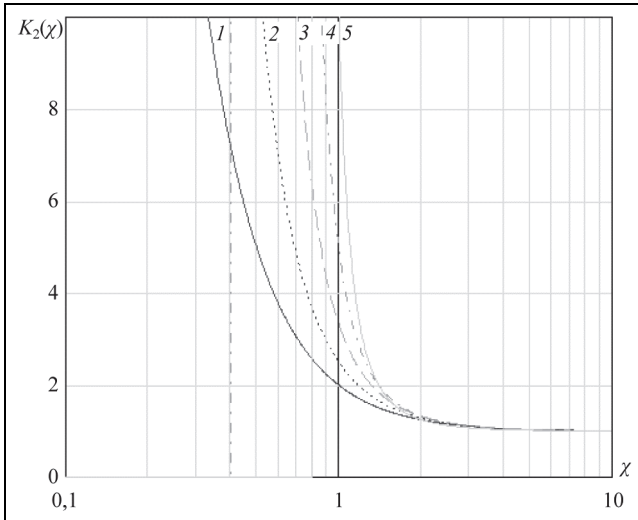


Рис. 2. Графики функции  $K_2(\chi)$  (изменения ОСШ вследствие учета фона при синтезе обнаружителя) для различных значений параметра  $R_{sv}$ : 0 (1); 0,2 (2); 0,4 (3); 0,6 (4); 0,8 (5)

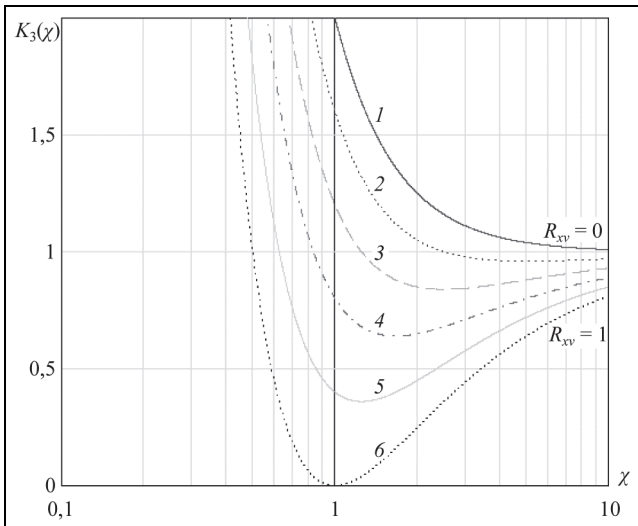


Рис. 3. Графики функции  $K_3(\chi)$  (изменение ОСШ вследствие наличия фона для оптимальных обнаружителей) для различных значений параметра  $R_{sv}$ : 0 (1); 0,2 (2); 0,4 (3); 0,6 (4); 0,8 (5); 1 (6)

корреляции изображения и участка фона, затеняемого изображением, а также от ОСФ. При малых значениях  $R_{sv}$  (около нуля) и малых  $\chi$  (меньше 10) наблюдается выигрыш в величине ОСШ обнаружения при наличии фона относительно обнаружения при отсутствии фона. При увеличении  $\chi$  выигрыш уменьшается, и при больших значениях  $\chi$  (больше 10) эффективность обнаружения становится одинаковой. При больших значениях  $R_{sv}$  и малых  $\chi$  при увеличении  $\chi$  выигрыш в величине ОСШ уменьшается до тех пор, пока эффективность обнаружения становится одинаковой. При дальнейшем увеличении  $\chi$  наблюдается проигрыш в величине ОСШ, который становится максимальным при  $\chi = \chi_0$  ( $K_3(\chi_0) = \min$ ). При  $\chi > \chi_0$  с увеличением  $\chi$  проигрыш уменьшается, и при больших  $\chi$  эффективность становится одинаковой. Таким образом, при больших значениях ОСФ зависимость от корреляции изображения и участка фона, не затеняемого изображением, ослабевает, и эффективности обнаружения при наличии фона и его отсутствии становятся равными (при  $\chi \rightarrow +\infty$  и  $K_3(\chi) \rightarrow 1$ ). При  $R_{sv} = 1$   $K_3(\chi_0 = 1) = 0$ , то есть обнаружение изображения в (10) с помощью алгоритма (14) невозможно.

На рис. 2 представлены графики функции (18) для различных значений параметра  $R_{sv}$  (при  $R_{sv} = 1$   $K_2(\chi) = 1$ ), из которых видно, что выигрыш в величине ОСШ обнаружения изображения в реализации (10) с помощью алгоритма (14) относительно обнаружения в реализации (1) с помощью алгоритма (3) уменьшается при увеличении ОСФ. При  $\chi \rightarrow +\infty$ ,  $K_2(\chi) \rightarrow 1$ , то есть при больших значениях ОСФ эффективность обнаружения при учете и без учета наличия фона одинаковая. Эффективность обнаружения зависит также от корреляции изображения и участка фона, затеняемого изображением: при малых ОСФ (меньше двух) эффективность алгоритма (14) по сравнению с (3) при увеличении  $R_{sv}$  возрастает (кривые проходят выше).

Для сравнения эффективности обнаружения изображения в реализации (1) с помощью алгоритма (3) при отсутствии фона и в реализации (10) с помощью алгоритма (14) введем функцию, характеризующую изменение ОСШ, используя (9), (17):

$$K_3(\chi) = \frac{z_2^2}{z_{sn}^2} = 1 - 2R_{sv} / \chi + 1 / \chi^2, \quad (19)$$

где  $K_3(\chi)$  – функция, описывающая влияние наличия аппликативного фона в наблюдаемых данных на ОСШ максимально правдоподобных обнаружителей.

На рис. 3 представлены графики функций (19) для различных значений параметра  $R_{sv}$ , из которых видно, что соотношение эффективности обнаружения изображения в реализации (10) с помощью алгоритма (14) и эффективности обнаружения изображения в реализации (1) при отсутствии фона с помощью алгоритма (3) зависит от корреляции изображения и участка фона, затеняемого изображением, а также от ОСФ. При малых значениях  $R_{sv}$  (около нуля) и малых  $\chi$  (меньше 10) наблюдается выигрыш в величине ОСШ обнаружения при наличии фона относительно обнаружения при отсутствии фона. При увеличении  $\chi$  выигрыш уменьшается, и при больших значениях  $\chi$  (больше 10) эффективность обнаружения становится одинаковой. При больших значениях  $R_{sv}$  и малых  $\chi$  при увеличении  $\chi$  выигрыш в величине ОСШ уменьшается до тех пор, пока эффективность обнаружения становится одинаковой. При дальнейшем увеличении  $\chi$  наблюдается проигрыш в величине ОСШ, который становится максимальным при  $\chi = \chi_0$  ( $K_3(\chi_0) = \min$ ). При  $\chi > \chi_0$  с увеличением  $\chi$  проигрыш уменьшается, и при больших  $\chi$  эффективность становится одинаковой. Таким образом, при больших значениях ОСФ зависимость от корреляции изображения и участка фона, не затеняемого изображением, ослабевает, и эффективности обнаружения при наличии фона и его отсутствии становятся равными (при  $\chi \rightarrow +\infty$  и  $K_3(\chi) \rightarrow 1$ ). При  $R_{sv} = 1$   $K_3(\chi_0 = 1) = 0$ , то есть обнаружение изображения в (10) с помощью алгоритма (14) невозможно.

Для исследования влияния на эффективность обнаружения предполагаемых значений амплитуд интенсивностей при КПО введем относительные величины отклонений выбранных значений амплитуд интенсивностей сигнала и фона от их истинных значений:

$$\delta a = \frac{a^* - a_0}{a_0} \Rightarrow a^* = a_0(1 + \delta a), \quad \delta b = \frac{b^* - b_0}{b_0} \Rightarrow b^* = b_0(1 + \delta b), \quad (20), (21)$$

где  $\delta a, \delta b$  – относительные величины отклонений предполагаемых значений интенсивностей изображения и фона соответственно от истинных значений (в дальнейшем величины  $\delta a, \delta b$  будем называть относительной расстройкой амплитуд интенсивностей сигнала и фона);  $a^*, b^*$  – предполагаемые значения амплитуд интенсивностей изображения и фона соответственно.

С учетом введенных выше обозначений (20), (21) формулу (16) можно переписать в виде

$$z_{\text{кпо}}^2 = z_{\text{sn}}^2 \frac{[(1 + \delta a) + (1 + \delta b) / \chi]^2 - (1 + \delta a)R_{\text{sv}} / \chi - (1 + \delta b)R_{\text{sv}} / \chi}{(1 + \delta a)^2 - 2(1 + \delta a)(1 + \delta b)R_{\text{sv}} / \chi + (1 + \delta b)^2 / \chi^2} \equiv z_a^2(\delta a, \delta b). \quad (22)$$

Для исследования зависимости эффективности обнаружения с помощью алгоритма (15) от относительных величин отклонения выбранных значений интенсивностей изображения и фона введем функцию  $K_a(\chi, R_{\text{sv}}, \delta a, \delta b)$ :

$$K_a = \frac{z_2^2}{z_a^2(\delta a, \delta b)}. \quad (23)$$

С учетом формулы (22) выражение (23) можно представить в следующем виде:

$$K_a = \frac{\{1 - 2R_{\text{sv}} / \chi + 1 / \chi^2\} \times \{(1 + \delta a)^2 - 2(1 + \delta a)(1 + \delta b)R_{\text{sv}} / \chi + (1 + \delta b)^2 / \chi^2\}}{[(1 + \delta a) + (1 + \delta b) / \chi]^2 - (1 + \delta a)R_{\text{sv}} / \chi - (1 + \delta b)R_{\text{sv}} / \chi}. \quad (24)$$

Графики функции (24) для различных значений параметров  $\delta a$  при  $\chi = 1, R_{\text{sv}} = 0,5$  представлены на рис. 4, а графики функции (24) для различных значений параметров  $R_{\text{sv}}$  при  $\chi = 1, \delta b = 0$  представлены на рис. 5.

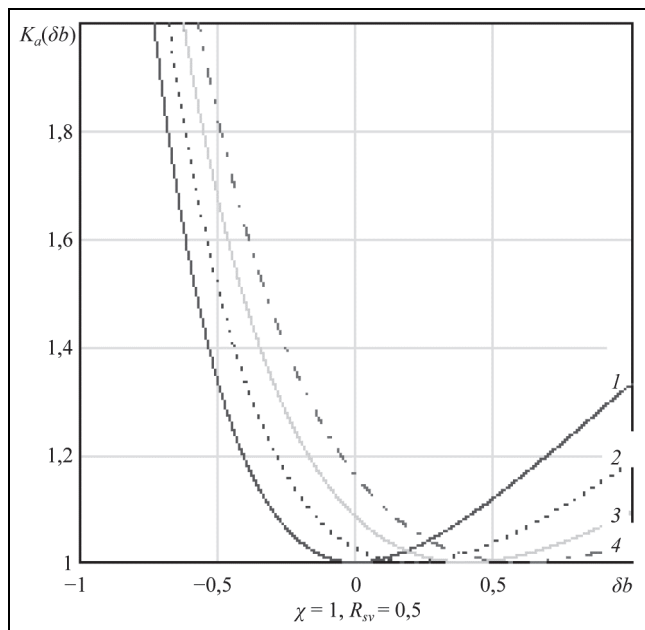


Рис. 4. Графики функции  $K_a(\delta b)$  (влияния незнания интенсивности фона) для различных значений параметра  $\delta a$ : 0 (1); 0,2 (2); 0,4 (3); 0,6 (4)

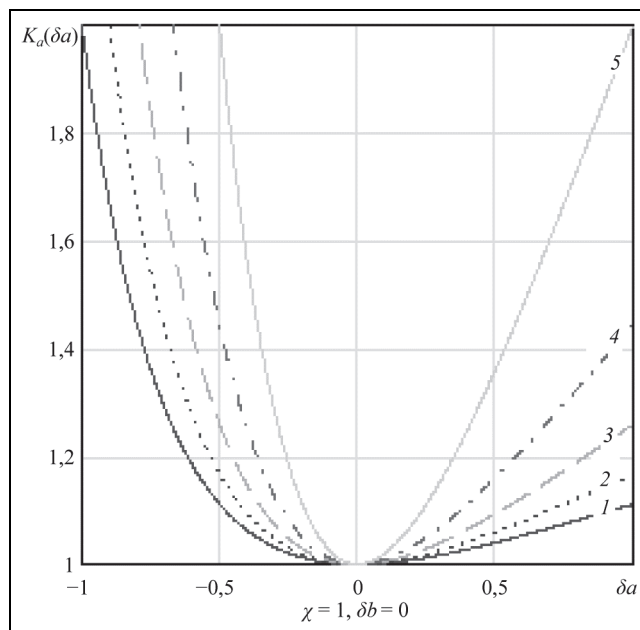


Рис. 5. Графики функции  $K_a(\delta a)$  (влияния незнания интенсивности изображения) для различных значений параметра  $R_{\text{sv}}$ : 0 (1); 0,2 (2); 0,4 (3); 0,6 (4); 0,8 (5)



Из рис. 4 видно, что значения  $\delta b = \delta b_0$ , в которых проигрыш отсутствует ( $K_a(\delta b_0) = 1$ ), могут быть отличны от нуля и зависят от значения относительной расстройки амплитуды интенсивности фона  $\delta a$ :  $\delta b_0 = \delta a$ , то есть кривая (при увеличении  $\delta a$  от нуля) смещается вправо вдоль оси абсцисс на величину, равную  $\delta a$ . Чем меньше модуль разницы  $|\delta a - \delta b|$  (чем меньше разница значений относительных расстроек амплитуд интенсивностей сигнала и фона), тем меньше проигрыш обнаружения при незнании амплитуд интенсивностей изображения и фона.

Из рис. 5 видно, что проигрыш в ОСШ алгоритма, при котором интенсивность сигнала и (или) фона неизвестна, относительно алгоритма, при котором интенсивности сигнала и фона известны, увеличивается при отклонении относительной расстройки амплитуды интенсивности сигнала  $\delta a$  от нуля при  $\delta b = 0$  ( $K_a(\delta a = 0, \delta b = 0) = K_{\min}$ ), причем симметрия по  $\delta a$  нарушается:  $K_a(\delta a_1 < 0, \delta b = 0) \neq K_a(\delta a_2 > 0, \delta b = 0)$

при  $|\delta a_1| = |\delta a_2|$ . При увеличении  $R_{sv}$  скорость роста функции увеличивается:  $\frac{dK_a(\delta a, R_{sv}^1)}{d(\delta a)} < \frac{dK_a(\delta a, R_{sv}^2)}{d(\delta a)}$

при  $R_{sv}^1 < R_{sv}^2$ . Наиболее благоприятные условия для обнаружения при незнании интенсивности сигнала соответствуют минимуму корреляции сигнала и участка фона, затеняемого изображением.

- Проведенные исследования рассмотренных алгоритмов обнаружения при различных моделях реализаций наблюдаемых данных позволили оценить их эффективность при различных значениях параметров обнаружения в случаях наличия аппликативного фона и учета этого факта при синтезе алгоритма обнаружения приемника.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-11-10022).*

## Литература

1. Трифонов А.П., Зюльков А.В. Характеристики обнаружения и оценки положения источника сигнала, модулирующего пуассоновское случайное поле // Известия ВУЗов. Сер. Радиоэлектроника. 1981. № 1. С. 32–38.
2. Трифонов А.П., Прибытков Ю.И. Обнаружение квазидетерминированного изображения при наличии фона с неизвестными параметрами // Автометрия. 2002. Т. 38. № 4. С. 19–31.
3. Бычков А.А., Понькин В.А. Обнаружение изображений пространственно-протяженных затеняющих фон объектов // Автометрия. 1992. № 4. С. 33–40.
4. Трифонов А.П., Савин С.А. Эффективность обнаружения изображения с неизвестным местоположением // Известия ВУЗов. Сер. Радиоэлектроника. 2006. Т. 49. № 9. С. 3–13.
5. Трифонов А.П., Савин С.А. Эффективность обнаружения и оценки местоположения неоднородного изображения // Известия ВУЗов. Сер. Радиоэлектроника. 2007. Т. 50. № 12. С. 3–15.
6. Акимов П.С., Бакут П.А., Богданович В.А. и др. Теория обнаружения сигналов / Под ред. П.А. Бакута. М.: Радио и связь. 1984. 440 с.
7. Трифонов А.П., Нечаев Е.П., Парфёнов В.И. Обнаружение стохастических сигналов с неизвестными параметрами. М.: Воронеж. ВГУ. 1991. 246 с.
8. Трифонов А.П., Прибытков Ю.И. Обнаружение стохастического объекта по изображению с неизвестными параметрами при наличии фона // Известия ВУЗов. Сер. Радиоэлектроника. 2014. Т. 57. № 2 (620). С. 43–54.
9. Островитянов Р.В., Басалов В.Ф. Статистическая теория радиолокации протяженных объектов. М.: Радио и связь. 1982. 232 с.
10. Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений // М.: Радио и связь. 1986. 248 с.

Поступила 11 ноября 2016 г.

## Detection image in the presence of spatial noise and applicative background

© Authors, 2016  
© Radiotekhnika, 2016

**A.P. Trifonov** – Honored Scientist of RF, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of Department of Radiophysics, Voronezh State University  
E-mail: trifonov@phys.vsu.ru



**V.N. Vereschagin** – Post-graduate Student, Department of Radiophysics, Voronezh State University  
E-mail: Slawa-W@mail.ru

**V.K. Marshakov** – Ph. D. (Phys.-Math.), Associate Professor, Department of Radiophysics, Voronezh State University  
E-mail: mvk@phys.vsu.ru

The article contains (discusses) the maximum likelihood and quasi-likelihood detection algorithms image space-extended object against the background of spatial white Gaussian noise in the presence of applicative background with unknown intensity image and background. Considered three cases: optimal detection in the absence of background, quasi-likelihood detection in the presence of background, the optimal detection in the presence of background. A study of the impact of applicative background on the detection efficiency of the image. The analysis of the impact of various parameters on detection efficiency image.

#### References

1. *Trifonov A.P., Zyl'kov A.V.* Charakteristiki obnaruzheniya i ocenki polozheniya istochnika signala, moduliruyushhego puassonovskoe sluchajnoe pole // *Izvestiya VUZov. Ser. Radioelektronika.* 1981. № 1. S. 32–38.
2. *Trifonov A.P., Pribytkov Yu.I.* Obnaruzhenie kvazideterminirovannogo izobrazheniya pri nalichii fona s neizvestny'mi parametrami // *Avtometriya.* 2002. T. 38. № 4. S. 19–31.
3. *By'chkov A.A., Pon'kin V.A.* Obnaruzhenie izobrazhenij prostranstvenno-protyazhenny'x zatenyayushhix fon ob'ektov // *Avtometriya.* 1992. № 4. S. 33–40.
4. *Trifonov A.P., Savin S.A.* E'ffektivnost' obnaruzheniya izobrazheniya s neizvestny'm mestopolozhением // *Izvestiya VUZov. Ser. Radioelektronika.* 2006. T. 49. № 9. S. 3–13.
5. *Trifonov A.P., Savin S.A.* E'ffektivnost' obnaruzheniya i ocenki mestopolozheniya neodnorodnogo izobrazheniya // *Izvestiya VUZov. Ser. Radioelektronika.* 2007. T. 50. № 12. S. 3–15.
6. *Akimov P.S., Bakut P.A., Bogdanovich V.A. i dr.* Teoriya obnaruzheniya signalov / Pod red. *P.A. Bakuta.* M.: Radio i svyaz'. 1984. 440 s.
7. *Trifonov A.P., Nechaev E.P., Parfyonov V.I.* Obnaruzhenie stoxasticheskix signalov s neizvestny'mi parametrami. M.: Voronezh. VGU. 1991. 246 s.
8. *Trifonov A.P., Pribytkov Yu.N.* Obnaruzhenie stoxasticheskogo ob'ekta po izobrazheniyu s neizvestny'mi parametrami pri nalichii fona // *Izvestiya VUZov. Ser. Radioelektronika.* 2014. T. 57. № 2 (620). S. 43–54.
9. *Ostrovityanov R.V., Basalov V.F.* Statisticheskaya teoriya radiolokaczii protyazhenny'x ob'ektov. M.: Radio i svyaz'. 1982. 232 s.
10. *Krasil'nikov N.N.* Teoriya peredachi i vospriyatiya izobrazhenij // M.: Radio i svyaz'. 1986. 248 s.

## Уважаемые читатели!

В Издательстве «Радиотехника» Вы можете приобрести книгу



**Лавров А.А.**

### **РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ СКОРОСТНОЙ ПОРТРЕТ. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.**

Рассмотрены принципы построения и потенциальные характеристики авиационных и космических радиолокационных систем обзора морской поверхности в режиме формирования скоростного портрета, а также алгоритмы формирования изображений, некоторые требования к аппаратуре, пространственная разрешающая способность и точность измерения скорости. Представлены результаты экспериментальных исследований отражений когерентного радиолокационного сигнала от МП при высоком пространственном разрешении.

*Для специалистов, занимающихся авиационными и космическими системами обзора поверхности Земли. Может быть полезна аспирантам и студентам, обучающимся по соответствующим дисциплинам.*

По вопросам заказа и приобретения книг обращаться по адресу: 107031 г. Москва, Кузнецкий мост, 20/6  
Тел./факс (495) 625-92-41, тел.: (495) 625-78-72, 621-48-37

Полный перечень книг, выпускаемых Издательством «Радиотехника», размещен на сайте  
<http://www.radiotec.ru>; e-mail: [info@radiotec.ru](mailto:info@radiotec.ru)