

УДК 621.397

DOI: 10.25559/SITITO.15.201901.115-123

Качество многопараметрической селекции на основе комплексного критерия

Д. Б. Егоров, В. М. Понятский*

Акционерное общество «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А.Г. Шипунова», г. Тула, Россия

*kbkedr@tula.net

Аннотация

В данной статье рассмотрена задача селекции полезного источника излучения по его нескольким слабо-выраженным параметрам. Для реализации алгоритма селекции, а также расчета вероятности обнаружения полезного источника, в известных методах селекции используются интегрирование многомерных плотностей вероятности случайных величин. Такой расчет требует высоких вычислительных затрат, а также знания законов распределения плотностей вероятности случайных величин, используемых для селекции, что при реализации на практике затруднительно. С целью упрощения многомерной селекции предлагается использовать метод селекции на основе комплексного критерия. Метод селекции по комплексному критерию заключается в вычислении функционалов источников на основе их параметров с учетом взвешенных коэффициентов. Такой функционал по сути является применением метода наименьших квадратов для получения оценки степени соответствия рассматриваемых объектов заданным условиям. А при использовании взвешенных коэффициентов для расчета значения комплексного критерия менее выраженные параметры полезного сигнала вносят меньший вклад при принятии решения об обнаружении полезного сигнала. В данной статье основное внимание уделено проведению анализа влияния набора параметров, использованных для селекции по комплексному критерию.

Ключевые слова: комплексный критерий, многопараметрическая селекция.

Для цитирования: Егоров Д. Б., Понятский В. М. Качество многопараметрической селекции на основе комплексного критерия // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 1. С. 115-123. DOI: 10.25559/SITITO.15.201901.115-123

© Егоров Д.Б., Понятский В.М., 2019



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Quality of Multiparametric Selection by Complex Criterion

D. B. Egorov, V. M. Ponyatsky*

KBP Instrument Design Bureau, Tula, Russia

*kbkedr@tula.net

Abstract

This article discusses the problem of selecting a useful radiation source according to its several weakly expressed parameters. For the implementation of the selection algorithm, as well as the calculation of the probability of finding a useful source, the known methods of selection use the integration of multidimensional probability densities of random variables. Such a calculation requires high computational costs, as well as knowledge of the laws of probability density distribution of random variables used for breeding, which is difficult to implement in practice. In order to simplify multidimensional selection, it is proposed to use a selection method based on a complex criterion. The method of selection according to a complex criterion consists in calculating the functionals of the sources on the basis of their parameters, taking into account the weighted coefficients. Such a functional is essentially an application of the ordinary least squares method to obtain an estimate of the degree of compliance of the objects under consideration with specified conditions. And when using weighted coefficients to calculate the value of a complex criterion, less pronounced parameters of the useful signal make a smaller contribution when making the decision about the detection of a useful signal. This article focuses on analyzing the impact of a set of parameters used for selection according to a complex criterion.

Keywords: complex criterion, multiparametric selection.

For citation: Egorov D.B., Ponyatsky V.M. Quality of Multiparametric Selection by Complex Criterion. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(1):115-123. DOI: 10.25559/SITITO.15.201901.115-123



Введение

В настоящее время телевизионные информационно-измерительные системы широко используются для слежения за объектами. При этом стоит задача селекции изображения полезного источника излучения на фоне помех. Если источник полезного излучения имеет ярко выраженные характеристики, существуют простые пороговые методы для его селекции с высокой вероятностью обнаружения. Однако, если характеристики помех схожи с характеристиками источника, такие как яркость, форма, размер, скорость, данные методы не дают приемлемой вероятности обнаружения. В данной статье предлагается метод селекции с использованием комплексного критерия, который позволяет улучшить качество обнаружения в таких условиях.

Известно, что решение об обнаружении полезного сигнала, имеющего ярко выраженный параметр, принимается, если величина параметра превышает пороговое (ожидаемое) значение. Вероятность обнаружения для селекции по одному параметру рассчитывается как интеграл от плотности вероятности распределения параметра полезного источника от порогового значения до бесконечности [5]. Рис. 1 графически иллюстрирует эту зависимость.

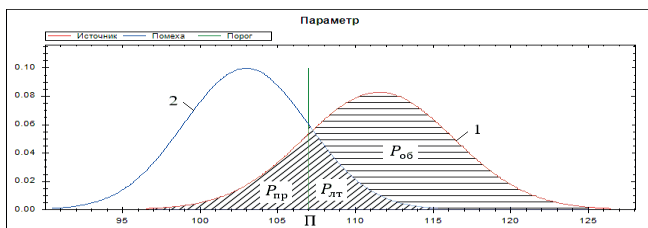


Рис. 1. Плотность распределения вероятностей параметров полезного сигнала и помехи (1 – плотность распределения вероятности параметра источника, 2 – плотность распределения вероятности параметра помехи)

Fig. 1. Probability density function of useful signal parameters and interference (1 is the probability density function of the source parameter, 2 is the probability density function of the interference parameter)

Вероятность обнаружения ($P_{об}$) для нормального закона распределения рассчитывается как

$$P_{об} = \frac{1}{\sigma_{ПС} \sqrt{2\pi}} \int_{\Pi}^{\infty} e^{-\frac{(x-m_{ПС})^2}{2\sigma_{ПС}^2}} dx.$$

Вероятность ложной тревоги ($P_{лт}$):

$$P_{лт} = \frac{1}{\sigma_{помехи} \sqrt{2\pi}} \int_{\Pi}^{\infty} e^{-\frac{(x-m_{помехи})^2}{2\sigma_{помехи}^2}} dx.$$

Вероятность пропуска ($P_{пр}$):

$$P_{пр} = \frac{1}{\sigma_{ПС} \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\Pi} e^{-\frac{(x-m_{ПС})^2}{2\sigma_{ПС}^2}} dx,$$

где $\sigma_{ПС}$ – СКО параметра полезного сигнала; $m_{ПС}$ – математиче-

ское ожидание параметра полезного сигнала; $\sigma_{помехи}$ – СКО параметра помехи; $m_{помехи}$ – математическое ожидание параметра помехи; Π – пороговое значение параметра.

В общем случае вероятность обнаружения ($P_{об}$) рассчитывается как $P_{об} = \int_{\Pi}^{\infty} \omega_{ПС} dx$.

Вероятность ложной тревоги ($P_{лт}$): $P_{лт} = \int_{\Pi}^{\infty} \omega_{П} dx$.

Вероятность пропуска ($P_{пр}$): $P_{пр} = \int_{-\infty}^{\Pi} \omega_{ПС} dx$,

где $\omega_{ПС}$ – плотность распределения вероятности параметра полезного сигнала; $\omega_{П}$ – плотность распределения вероятности параметра помехи; Π – пороговое значение параметра.

Селекция полезного источника по многокритериальному критерию

Когда полезный сигнал не имеет одного выраженного параметра, для селекции полезного сигнала используется набор нескольких параметров. При этом возможно использование различных методов.

При известных многомерных плотностях вероятности случайных параметров вероятности обнаружения, ложной тревоги и пропуска цели могут быть определены на основе интегрирования многомерных плотностей вероятности. Но данный метод отличается высокими вычислительными затратами и, кроме того, требует априорной информации о многомерных плотностях вероятности некоррелированных случайных параметров, что на практике затруднительно.

При известных многомерных плотностях вероятности случайных параметров вероятности обнаружения, ложной тревоги и пропуска цели могут быть определены на основе интегрирования многомерных плотностей вероятности:

$$P_{об} = \int_{\Pi}^{\infty} w_{nc}(\vec{H}) d\vec{H};$$

$$P_{лт} = \int_{-\infty}^{\Pi} w_n(\vec{H}) d\vec{H};$$

где \vec{H} – вектор параметров.

Но данный метод отличается высокими вычислительными затратами и, кроме того, требует априорной информации о многомерных плотностях вероятности некоррелированных случайных параметров, что на практике затруднительно.

Для повышения качества селекции полезного источника на фоне помех бы предложен метод селекции по комплексному критерию [18]. Для селекции по комплексному критерию рассчитывается функционал вида:

$$\Phi_j = \sum_{i=1}^n \left| k_i \frac{(p_{ij} - p_{i0})^2}{p_{ij} p_{i0}} \right|,$$



где k_i – коэффициент влияния i -го критерия (параметра объекта); p_{ij} – текущее значение i -го критерия для j -го объекта; p_{i0} – номинальное значение i -го критерия; n – общее количество критериев; Φ_{max} – пороговое значение функционала, соответствующее полезному источнику. В качестве номинальных значений обычно используется математическое ожидание параметра полезного источника, а в качестве коэффициента влияния – число, обратное коэффициенту вариации параметра. Коэффициенты влияния должны быть нормированы:

$$p_{i0} = m_i,$$

$$k_i = 1 / \frac{\sigma_i}{m_i} = \frac{m_i}{\sigma_i},$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1.$$

Принятие решение об обнаружении объекта осуществляется при выполнении условия:

$$\min_j \Phi_j < \Phi_{max}.$$

Если функционалы всех объектов превышают пороговое значение, принимается решение об отсутствии полезного источника. Иначе объект с минимальным значение функционала считается выделенным. Если наименьшее значение функционала соответствует полезному источнику, принимается решение о верном обнаружении полезного источника. В противном случае, принимается решение о ложной тревоге.

Тогда вероятность обнаружения рассчитывается как

$$P_{об\ j} = \int_{-\infty}^{\Phi} w_{nc}(\Phi_j) dx,$$

вероятность ложной тревоги:

$$P_{лт\ j} = \int_{-\infty}^{\Phi} w_n(\Phi_j) dx,$$

а вероятность пропуска:

$$P_{пр\ j} = \int_{\Phi}^{\infty} w_{nc}(\Phi_j) dx.$$

Если функционалы всех объектов превышают пороговое значение, принимается решение об отсутствии полезного источника. Иначе объект с минимальным значение функционала считается выделенным. Если наименьшее значение функционала соответствует полезному источнику, принимается решение о верном обнаружении полезного источника. В противном случае, принимается решение о ложной тревоге.

В связи со сложностью расчета вероятности обнаружения для метода селекции по комплексному критерию с использованием аналитических методов, целесообразно использовать метод Монте-Карло для расчета вероятности обнаружения полезного источника. Данный метод заключается в генерации случайных величин некоторое число раз по заданному закону распределения, расчета функционалов объектов и принятии решения об обнаружении объекта.

Анализ набора параметров на качество селекции

Интерес представляет анализ набора параметров полезного источника на вероятность обнаружения для метода селекции по комплексному критерию. Так, допустим имеются следующие параметры полезного источника и помехи:

Таблица 1. Значения параметров полезного источника и помехи

Table 1. Values of parameters of the useful source and interference

Параметр	$m_{\text{источника}}$	$\sigma_{\text{источника}}$	$m_{\text{помехи}}$	$\sigma_{\text{помехи}}$
Яркость	171,2	30,54	255	5
Угловая скорость, рад/с	122,59	35,32	64,37	12,96
Скорость, пикс/с	371,79	157,86	156	78,51
Площадь, пикс	87,98	13,01	111,57	24,83
Коэффициент формы	1,18	0,29	1,05	0,1

В качестве пороговое значения предлагается использовать оптимальный порог обнаружения [5]. Оптимальным порогом обнаружения считается тот, при котором сумма вероятности ложной тревоги и пропуска минимальна.

В связи со сложностью расчета вероятности обнаружения для метода селекции по комплексному критерию с использованием аналитических методов, целесообразно использовать метод Монте-Карло для расчета вероятности обнаружения полезного источника. Данный метод заключается в генерации случайных величин некоторое число раз по заданному закону распределения, расчета функционалов объектов и принятии решения об обнаружении объекта.

Оценим вероятность обнаружения полезного источника по двум параметрам: *площадь* и *коэффициент формы*. Весовые коэффициенты параметров приведены в таблице 2.

Таблица 2. Весовые коэффициенты параметров площади и коэффициента формы

Table 2. Weighting factors for area and shape factors

Параметр	k_i
Площадь	0,63
Коэффициент формы	0,37

В таблице 3 приведены вероятности обнаружения, ложной тревоги и пропуска при пороговом значении функционала $\Phi_{max} = 0,06$.

Таблица 3. Вероятности обнаружения, ложной тревоги и пропуска при использовании двух параметров

Table 3. Probabilities of detection, false alarm and omission when using two parameters

$P_{об}$	$P_{лт}$	$P_{пр}$
0,78	0,52	0,21

Плотность вероятности распределения значений функционалов помехи и полезного источника приведены на рисунке 2.



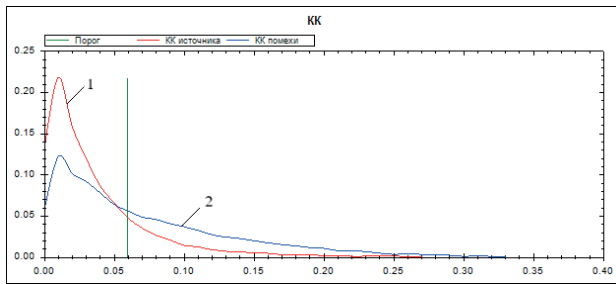


Рис. 2. Плотность вероятности распределения функционалов полезного источника и помехи при селекции по площади и коэффициенту формы (1 – плотность распределения вероятности функционала источника, 2 – плотность распределения вероятности функционала помехи)

Fig. 2. Probability density function of the distribution of functionals of the useful source and interference in the selection by area and shape factor (1 - probability density function of the source functional, 2 - probability density function of the interference functional)

Статистические параметры функционалов полезного источника и помехи приведены в таблице 4.

Таблица 4. Мат. ожидание и СКО функционалов полезного источника и помехи при селекции по двум параметрам

Table 4. Mathematical expectation and standard deviation of functionals of the useful source and interference with selection by two parameters

$m_{\text{источника}}$	$\sigma_{\text{источника}}$	$m_{\text{помехи}}$	$\sigma_{\text{помехи}}$
0,038	0,042	0,071	0,064

Как можно видеть из приведенных данных, плотность вероятности распределения функционала помехи практически совмещена с плотностью вероятности распределения полезного источника. Это усложняет определение оптимального значения порогового значения функционала и существенно увеличивает вероятность ложной тревоги, что понижает качество селекции. Для улучшения качества селекции, желательно иметь график плотности вероятности распределения, расположенный правее порогового значения.

Для улучшения качества селекции добавил третий параметр – скорость. В таблице 5 приведены весовые коэффициенты параметров селекции.

Таблица 5. Весовые коэффициенты параметров площади, коэффициента формы и скорости

Table 5. Weighting coefficients for area, shape and speed parameters

Параметр	k_i
Площадь	0,51
Коэффициент формы	0,31
Скорость	0,18

При пороговом значении функционала $\Phi_{\text{max}} = 0,1$ рассчитанные вероятности обнаружения, ложной тревоги и пропуска приведены в таблице 6.

Таблица 6. Вероятности обнаружения, ложной тревоги и пропуска при использовании трех параметров

Table 6. Probabilities of detection, false alarm and omission when using three parameters

$P_{\text{об}}$	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{пр}}$
0,8	0,2	0,2

На рисунке 3 приведен график плотности вероятности распределения функционала полезного источника и помехи, а их математические ожидания и среднеквадратичное отклонения в таблице 7.

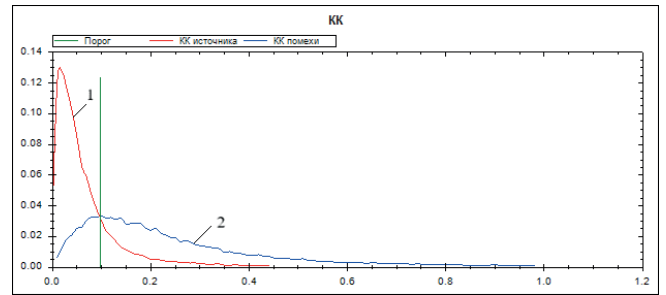


Рис. 3. Плотность вероятности распределения функционалов полезного источника и помехи при селекции по площади, коэффициенту формы и скорости (1 – плотность распределения вероятности функционала источника, 2 – плотность распределения вероятности функционала помехи)

Fig. 3. Probability density function of the distribution of functionals of the useful source and interference in the selection by area, shape and velocity factor (1 - probability density function of the source functional, 2 - probability density function of the interference functional)

Таблица 7. Мат. ожидание и СКО функционалов полезного источника и помехи при селекции по трем параметрам

Table 7. Mathematical expectation and standard deviation of functionals of the useful source and interference with selection by three parameters

$m_{\text{источника}}$	$\sigma_{\text{источника}}$	$m_{\text{помехи}}$	$\sigma_{\text{помехи}}$
0,068	0,07	0,25	0,2

Как можно видеть, плотность вероятности распределения функционала помехи начинает расходиться с плотностью вероятности распределения функционала полезного источника. Это значительно снизило вероятность ложной тревоги. Однако, плотности вероятности распределения функционала полезного источника и помехи все еще накладываются друг на друга.

Для дальнейшего улучшения качества селекции будем использовать еще один параметр – угловую скорость. В таблице 8 приведены весовые коэффициенты параметров. В таблице 9 приведены вероятности обнаружения, ложной тревоги и пропуска при $\Phi_{\text{max}} = 0,13$.

Таблица 8. Весовые коэффициенты параметров площади, коэффициента формы, скорости и угловой скорости

Table 8. Weighting coefficients for area, shape, speed and angular velocity parameters

Параметр	k_i
Площадь	0,41
Коэффициент формы	0,24
Скорость	0,14
Угловая скорость	0,21

Таблица 9. Вероятности обнаружения, ложной тревоги и пропуска при использовании четырех параметров

Table 9. Probabilities of detection, false alarm and omission when using four parameters

$P_{\text{об}}$	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{пр}}$
0,84	0,1	0,16



График и статистические характеристики функционалов полезного источника и помехи представлены на рисунке и в таблице 10 соответственно.

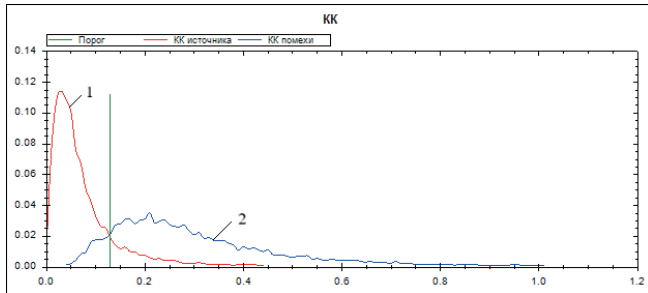


Рис. 4. Плотность вероятности распределения функционалов полезного источника и помехи при селекции по площади, коэффициенту формы, скорости и угловой скорости (1 – плотность распределения вероятности функционала источника, 2 – плотность распределения вероятности функционала помехи)

Fig. 4. Probability density function of the distribution of functionals of the useful source and interference in the selection by area, shape, velocity and angular velocity factor (1 - probability density function of the source functional, 2 - probability density function of the interference functional)

Таблица 10. Мат. ожидание и СКО функционалов полезного источника и помехи при селекции по четырём параметрам

Table 10. Mathematical expectation and standard deviation of functionals of the useful source and interference with selection by four parameters

$m_{\text{источника}}$	$\sigma_{\text{источника}}$	$m_{\text{помехи}}$	$\sigma_{\text{помехи}}$
0,075	0,07	0,3	0,2

График плотности вероятности распределения значения функционала помехи еще больше отделился от графика функционала полезного источника, что увеличило вероятность обнаружения.

Для расчета комплексного критерия будем использовать пятый параметр – яркость. Весовые коэффициенты параметров, используемых для селекции, приведены в таблице 11. Вероятности обнаружения, ложной тревоги и пропуска при пороге $\Phi_{\text{max}} = 0,12$ представлены в таблице 12.

Таблица 11. Весовые коэффициенты параметров площади, коэффициента формы, скорости, угловой скорости и яркости

Table 11. Weighting coefficients for area, shape, speed and angular velocity and brightness

Параметр	k_i
Площадь	0,3
Коэффициент формы	0,18
Скорость	0,11
Угловая скорость	0,16
Яркость	0,25

Таблица 12. Вероятности обнаружения, ложной тревоги и пропуска при использовании пяти параметров

Table 12. Probabilities of detection, false alarm and omission when using five parameters

$P_{\text{об}}$	$P_{\text{лт}}$	$P_{\text{пр}}$
0,86	0,04	0,14

Рисунок 5 иллюстрирует графики плотности вероятности распределений полезного источника и помехи. А их статистические характеристики приведены в таблице 13.

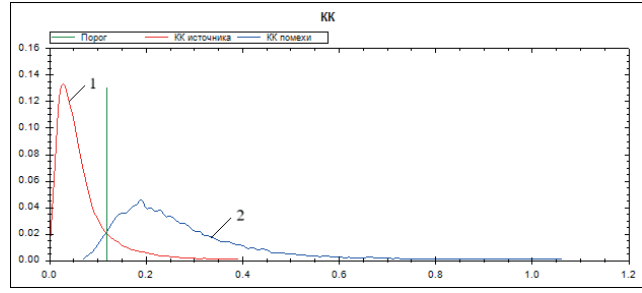


Рис. 5. Плотность вероятности распределения функционалов полезного источника и помехи при селекции по пяти параметрам (1 – плотность распределения вероятности функционала источника, 2 – плотность распределения вероятности функционала помехи)

Fig. 5. Probability density function of the distribution of functionals of the useful source and interference in the selection by five parameters (1 - probability density function of the source functional, 2 - probability density function of the interference functional)

Таблица 13. Мат. ожидание и СКО функционалов полезного источника и помехи при селекции по четырём параметрам

Table 13. Mathematical expectation and standard deviation of functionals of the useful source and interference with selection by four parameters

$m_{\text{источника}}$	$\sigma_{\text{источника}}$	$m_{\text{помехи}}$	$\sigma_{\text{помехи}}$
0,067	0,06	0,28	0,15

Добавление пятого параметра еще больше разделило графики плотностей вероятностей распределений полезного источника и помехи, что позволило еще больше повысить вероятность обнаружения полезного источника.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что увеличение числа параметров, используемых для вычисления комплексного критерия, увеличивает вероятности обнаружения полезного источника. Это объясняется тем, что принцип работы метода селекции по комплексному критерию заключается в уменьшении значения функционала полезного источника (стремление его к нулю) и увеличении значения функционала помехи. Чем больше параметров используется для селекции, тем больше разниц значений параметров полезного источника и помехи вносится в функционал помехи, увеличивая его значение.

Список использованных источников

- [1] Андреев А.Л., Кортаев В.В., Пашковский Д.М. Селекция изображений малоразмерных объектов на неоднородном фоне в условиях помех // Приборостроение. 2013. № 10. С. 88-93. URL: <http://pribor.ifmo.ru/file/article/6422.pdf> (дата обращения: 13.12.2018).
- [2] Болотова Ю.А., Спицын В.Г., Рудометкина М.Н. Распознавание автомобильных номеров на основе метода связанных компонент и иерархической временной сети // Компьютерная оптика. 2015. Т. 39, № 2. С. 275-280. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-2-275-280
- [3] Борисов В.Н. Многопараметрическая селекция импульсно-кодовых сигналов телекоммуникационных систем



- при воздействии негауссовских импульсных и шумовых помех: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань, 2006. 151 с.
- [4] *Борисова И.В., Легкий В.Н., Кравец С.А.* Применение ориентации градиента яркости для систем автосопровождения объектов // Компьютерная оптика. 2017. Т. 41, № 6. С. 931-937. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-6-931-937
- [5] *Ван Трис Г.* Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. 1. М.: Советское радио, 1972. 744 с.
- [6] *Галантэ А.И., Макарецкий Е.А., Понятский В.М.* Методика селекции изображения подвижного источника излучения на фоне помех // Труды Международной конференции «Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации». Курск, 2013. С. 37-39.
- [7] *Горбунов Ю.Н.* Принцип стохастического обеления пассивных коррелированных помех в задаче оптимизации систем селекции движущихся целей // Информационно-управляющие системы. 2015. № 2(75). С. 15-22. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2015.2.15
- [8] *Жердев Д.А., Казанский Н.Л., Фурсов В.А.* Распознавание объектов на радиолокационных изображениях с использованием показателей сопряженности и опорных подпространств // Компьютерная оптика. 2015. Т. 39, № 2. С. 255-264. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-2-255-264
- [9] *Заболотский В.П., Харинов М.В.* Технология квазиоптимального машинного зрения // Управление экономическими системами. 2015. № 12(84). С. 20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25622285> (дата обращения: 13.12.2018).
- [10] *Костоглотов А.А., Костоглотов А.И., Лазаренко С.В., Андраштов Д.С.* Многопараметрическая идентификация конструктивных параметров методом объединенного принципа максимума // Инженерный вестник Дона. 2011. № 1(15). С. 208-218. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16523302> (дата обращения: 13.12.2018).
- [11] *Костоглотов А.А., Кузнецов А.А., Лазаренко С.В., Дерябкин И.В.* Метод структурной адаптации дискретных алгоритмов объединенного принципа максимума в задачах оценки параметров движения // Информационно-управляющие системы. 2016. № 6(85). С. 10-15. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2016.6.10
- [12] *Костоглотов А.А., Кузнецов А.А., Лазаренко С.В., Лосев В.А.* Синтез фильтра сопровождения со структурной адаптацией на основе объединенного принципа максимума // Информационно-управляющие системы. 2015. № 4(77). С. 2-9. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113100> (дата обращения: 13.12.2018).
- [13] *Костоглотов А.А., Лазаренко С.В., Андраштов Д.С.* Регуляризованный алгоритм многопараметрической вариационной идентификации динамических систем // Сервис в России и за рубежом. 2011. № 8(27). С. 25-36. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17228448> (дата обращения: 13.12.2018).
- [14] *Костоглотов А.А., Костоглотов А.И., Лазаренко С.В., Ценных Б.М.* Метод оценки параметров движения управляемого летательного аппарата на основе объединенно-го принципа максимума с построением опорной траектории // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. № 6. С. 61-66. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17830838> (дата обращения: 13.12.2018).
- [15] *Кочкин В.А.* Автоматическое выделение динамических объектов на фоне подстилающей поверхности // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 12. С. 889-901. DOI: 10.7463/1214.0749279
- [16] *Кочкин В.А.* Автоматическое обнаружение динамических объектов в обзорно-поисковых опτικο-электронных системах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2011. № S2. С. 104-113. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17837771> (дата обращения: 13.12.2018).
- [17] *Галантэ А.И., Понятский В.М., Макарецкий Е.А.* Особенности проектирования алгоритмов обработки изображений в телевизионных измерительных системах // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем» (12-14 апреля 2011 г.). Москва: ГосНИИАС, 2011. С. 121-127.
- [18] *Понятский В.М., Галантэ А.И., Егоров Д.Б., Макарецкий Е.А.* Селекция изображений полезного источника излучения на фоне помех по комплексному критерию // Вестник ТулГУ. Сер. Радиотехника и радиооптика. 2013. Т. XIII. С. 131-136.
- [19] *Понятский В.М., Карамов С.В., Макарецкий Е.А.* Выделение координат полезного источника излучения на фоне помех с фотоприемника матричного типа // Труды 8-ой Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (29-31 марта 2006 г.). М: РНТОРЭС, 2006. Т. 2. С. 450-453. URL: <http://www.autex.spb.su/download/dsp/dspa/dspa2006/t2/2-32.pdf> (дата обращения: 13.12.2018).
- [20] *Понятский В.М.* Восстановление параметров движения источника излучения по последовательности телевизионных изображений с использованием квазиоптимальной фильтрации. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2010. № 1. С. 68-81. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13501472> (дата обращения: 13.12.2018).
- [21] *Понятский В.М.* Комплексирование оценок координат подвижного объекта, полученных разными методами обработки последовательности видеоизображений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 2. С. 77-89. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23574402> (дата обращения: 13.12.2018).
- [22] *Потапов А.А.* Физические основы и принципы построения фрактальных радаров и фрактальных сенсоров: фрактальный анализ и его применение в теории статистических решений и в статистической радиотехнике // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. 2017. Т. 9, № 2. С. 129-138. DOI: 10.17725/engsis.2017.09.129
- [23] *Профатилова Г.А., Соловьев Г.Н., Ефремов В.С., Соловьев А.Г.* Спектральная обработка информации в радиолокационных станциях систем управления воздушным движением // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2017. № 5(116). С. 99-113. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-5-99-113
- [24] *Проценко В.И., Казанский Н.Л., Серафимович П.Г.* Анализ



параметров систем детектирования множественных визуальных объектов в режиме реального времени // Компьютерная оптика. 2015. Т. 39, № 4. С. 582-591. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-4-582-591

- [25] Рубис А.Ю., Лебедев М.А., Визильтер Ю.В., Выголов О.В. Морфологическая фильтрация изображений на основе взаимного контрастирования // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40, № 1. С. 73-79. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-73-79
- [26] Солонар А.С., Хмарский П.А., Михалковский А.А., Цуприк С.В., Иванюк В.С. Оптико-локационный координатор системы самонаведения беспилотного летательного аппарата // Доклады БГУИР. 2018. № 3(113). С. 19-25. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35061424> (дата обращения: 13.12.2018).
- [27] Тупинов В.А., Павлова В.А., Александров В.А., Бондаренко В.А. Способ автоматического обнаружения объектов на морской поверхности в видимом диапазоне // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. № 11-3. С. 105-121. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27510561> (дата обращения: 13.12.2018).
- [28] Филиппов А.А., Бажин Д.А., Хлобыстов А.Н. Повышение эффективности управления беспилотного летательного аппарата в условиях помех // Информационно-управляющие системы. 2014. № 6(73). С. 45-50. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22829312> (дата обращения: 13.12.2018).
- [29] Червяков Н.И., Ляхов П.А., Оразаев А.Р. Новые методы адаптивной медианной фильтрации импульсного шума в изображениях // Компьютерная оптика. 2018. Т. 42, № 4. С. 667-678. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-4-667-678
- [30] Шерстобитов А.И. Метод и алгоритмы выделения полезного сигнала на фоне шумов при ограничениях на объем выборки и в условиях априорной неопределенности: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Ростовский государственный университет. Шахты, 2008. 155 с.

Поступила 13.12.2018; принята к публикации 20.01.2019;
опубликована онлайн 19.04.2019.

Об авторах:

Егоров Дмитрий Борисович, магистр, аспирант, Акционерное общество «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А. Г. Шипунова», (300001, Россия, г. Тула, ул. Щегловская засека, д. 59), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3883-6722>, gosha_fighten@mail.ru

Понятский Валерий Мариафович, начальник отдела, Акционерное общество «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А. Г. Шипунова» (300001, Россия, г. Тула, ул. Щегловская засека, д. 59), кандидат технических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8326-165X>, kbkedr@tula.net

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Andreev A.L., Korotaev V.V., Pashkovsky D.M. Selection of small objects images against an inhomogeneous background under noise conditions. *Journal of Instrument Engineering*. 2013; 10:88-93. Available at: <http://pribor.ifmo.ru/file/article/6422.pdf> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [2] Bolotova Yu.A., Spitsyn V.G., Rudometkina M.N. License plate recognition algorithm on the basis of a connected components method and a hierarchical temporal memory model. *Computer Optics*. 2015; 39(2):275-280. (In Russ.) DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-2-275-280
- [3] Borisov V.N. Multi-parameter selection of pulse-code signals of telecommunication systems when exposed to non-Gaussian pulse and noise interference: dis. ... Ph.D. (Engineering). Kazan, 2006. (In Russ.)
- [4] Borisova I.V., Legkiy V.N., Kravets S.A. Application of the gradient orientation for systems of automatic target detection. *Computer Optics*. 2017; 41(6):931-937. (In Russ.) DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-6-931-937
- [5] Van Trees H.L. Detection, Estimation, and Modulation Theory. Part I: Detection, Estimation, and Linear Modulation Theory. New York: John Wiley and Sons, 1968. (In Eng.)
- [6] Galante A.I., Makaretsky E.A. Ponyatsky V.M. Methods of selection of the image of a mobile radiation source in the background noise. Proceedings of theses of the XI International Scientific Conference on Optoelectronic Equipment and Devices in Systems of Pattern Recognition, Image and Symbol Information Processing (RECOGN 2013). Kursk, 2013. (In Russ.)
- [7] Gorbunov Yu. N. Stochastic Whitewash of Passive Correlated Interference for the Optimization of Moving Target Selection Systems. *Information and Control Systems*. 2015; 2(75):15-22. (In Russ.) DOI: 10.15217/issn1684-8853.2015.2.15
- [8] Zherdev D.A., Kazanskiy N.L., Fursov V.A. object recognition in radar images using conjugation indices and support subspaces. *Computer Optics*. 2015; 39(2):255-264. (In Russ.) DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-2-255-264
- [9] Zabolotskiy V.P., Kharinov M.V. Technology of quasi-optimal machine vision. *Management of Economic Systems*. 2015; 12(84):20. Available at: <http://uecs.ru/innovacii-investicii/item/3891-2015-12-30-14-02-03> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [10] Kostoglotov A.A., Kostoglotov A.I., Lazarenko S.V., Andrashitov D.S. Multi-parameter identification of design parameters using the combined maximum principle. *Engineering journal of Don*. 2011; 1(15):208-218. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16523302> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [11] Kostoglotov A.A., Kuznetsov A.A., Lazarenko S.V., Deryabkin I.V. Structural Adaptation of Discrete Algorithms of Combined-Maximum Principle in Assessment of Movement Parameters. *Information and Control Systems*. 2016; 6(85):10-15. (In Russ.) DOI: 10.15217/issn1684-8853.2016.6.10
- [12] Kostoglotov A.A., Kuznetsov A.A., Lazarenko S.V., Losev V.A. Synthesis of Filter Support with Structural Adaptation Based on Combined Maximum Principle. *Information and Control Systems*. 2015; 4(77):2-9. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113100> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)



- [13] Kostoglotov A.A., Lazarenko S.V., Andrashitov D.S. Regularized variational algorithm of multi-parameter identification of dynamic systems. *Services in Russia and abroad*. 2011; 8(27):25-36. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17228448> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [14] Kostoglotov A.A., Kostoglotov A.I., Lazarenko S.V., Tsennih B.M. Method of an estimation of parameters of movement of the operated flying machine on the basis of an combined-maximum principle with construction of a basic trajectory. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki = Achievements of Modern Radioelectronics*. 2012; 6:61-66. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17830838> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [15] Kochkin V.A. Automatic dynamic objects allocation on the underlying surface background. *Science and Education of the Bauman MSTU*. 2014; 12:889-901. (In Russ.) DOI: 10.7463/1214.0749279
- [16] Kochkin V.A. Automatic Detection of Dynamical Objects in the Surveillance and Search Optic-Electronic Systems. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*. 2011; S2:104-113. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17837771> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [17] Galante A.I., Ponyatsky V.M., Makaretsky E.A. Features of the design of image processing algorithms in television measuring systems. Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference «Simulation of aircraft systems». M.: GosNIAS, pp. 121-127, 2011. (In Russ.)
- [18] Ponyatsky V.M., Galante A.I., Egorov D.B., Makaretsky E.A. Selection of images of a useful radiation source against the background of interference by a complex criterion. *Izvestiya Tula State University. Seriya Radiotekhnika i radiooptika = Izvestiya TulGU. Radio Engineering and Radio Optics series*. 2013; XIII:131-136. (In Russ.)
- [19] Ponyatsky V.M., Karamov S.V., Makaretsky E.A. Separation of coordinates of a useful stimulus source on a noise background from a photodetector of a matrix type. Proceedings of the International conference Digital signal processing and its applications (DSPA-2006). M: RNTORES, Vol. 2, pp. 450-453, 2006. Available at: <http://www.autex.spb.su/download/dsp/dspa/dspa2006/t2/2-32.pdf> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [20] Ponyatsky V.M. Radiation source motion recovery according to the sequence of television images using quasioptimal filtration. *Voprosy Atomnoy Nauki i Tekhniki (VANT). Series "Mathematical Modeling of Physical Processes"*. 2010; 1:68-81. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13501472> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [21] Ponyatsky V.M. Integration (complexation) the estimations of coordinates of mobile object received by different methods of processing of sequence of video images. *Izvestiya Tula State University. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya TulGU. Technical sciences*. 2015; 2:77-89. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23574402> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [22] Potapov A.A. Physical bases and principles of construction of fractal radars and fractal sensors: a new direction - fractal analysis and its application in the theory of statistical solutions and in statistical radio engineering. *Radioelectronics. Nanosystems. Information Technologies*. 2017; 9:2:129-138. (In Eng.) DOI: 10.17725/rensit.2017.09.129
- [23] Profatilova G.A., Soloviev G.N., Yefremov V.S., Soloviev A.G. Spectral Processing of Information in Radar Systems of Air Traffic Control. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*. 2017; 5(116):99-113. (In Russ.) DOI: 10.18698/0236-3933-2017-5-99-113
- [24] Protsenko V.I., Kazanskiy N.L., Serafimovich P.G. Real-time analysis of parameters of multiple object detection systems. *Computer Optics*. 2015; 39(4):582-591. (In Russ.) DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-4-582-591
- [25] Rubis A.Yu., Lebedev M.A., Yu.V. VizilterVygolov O.V. Morphological image filtering based on guided contrasting. *Computer Optics*. 2016; 40(1):73-79. (In Russ.) DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-73-79
- [26] Solonar A.S., Khmarski P.A., Mihalkovki A.A., Tsuprik S.V., Ivanuk V.S. Optical-location coordinator of the homing system of an unmanned aerial vehicle. *Doklady BGUIR*. 2018; 3(113):19-25. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35061424> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [27] Tupikov V.A., Pavlova V.A., Alexandrov V.A., Bondarenko V.A. Automatic object detection method for marine scenes in visible range. *Izvestiya Tula State University. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya TulGU. Technical sciences*. 2016; 11:3:105-121. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27510561> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [28] Filippov A.A., Bazhin D.A., Khlobystov A.N. Improving Drone Aircraft Control Efficiency under Interference. *Information and Control Systems*. 2014; 6(73):45-50. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22829312> (accessed 13.12.2018). (In Russ.)
- [29] Chervyakov N.I., Lyakhov P.A., Orazaev A.R. New methods of adaptive median filtering of impulse noise in images. *Computer Optics*. 2018; 42(4):667-678. (In Russ.) DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-4-667-678
- [30] Sherstobitov A.I. Method and algorithms for extracting a useful signal against noise with restrictions on the sample size and under conditions of a priori uncertainty. dis. ... Ph.D. (Engineering). Shahty, 2008. (In Russ.)

Submitted 13.12.2018; revised 20.01.2019;
published online 19.04.2019.

About the authors:

Dmitry B. Egorov, master, graduate student, KBP Instrument Design Bureau (59 Shcheglovskaya Zaseka St., Tula 300001, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3883-6722>, gosha_fighten@mail.ru

Valeriy M. Ponyatsky, Head of the Department, KBP Instrument Design Bureau (59 Shcheglovskaya Zaseka St., Tula 300001, Russia), Ph.D. (Engineering), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8326-165X>, kbkedr@tula.net

All authors have read and approved the final manuscript.

