

УДК 621.383

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.36.1.014](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.36.1.014)

Оценка эффективности пространственной интерполяции при обработке совмещенных разнодиапазонных изображений

А.Н. Ветров✉, А.Ю. Потлов

*Тамбовский государственный технический университет,
Тамбов, Российская Федерация
avetrov@yandex.ru✉*

Резюме. В статье показаны методика и результаты лабораторных испытаний по определению показателей эффективности работы операторов с совмещенными разнодиапазонными изображениями, а именно видео и тепловыми изображениями, полученными от одного объекта в одинаковом масштабе и с одинаковыми параметрами развертки. Изображения были представлены в двух вариантах. В одном варианте проводились испытания по обнаружению заданных объектов на совмещенном изображении от видео и тепловизионной камер. Во втором варианте та же процедура обнаружения проводилась на интерполированных изображениях, когда каждый пиксел результирующего изображения содержал информацию от обоих датчиков. Актуальность проделанной работы заключается в практическом получении вероятностных характеристик обнаружения заданных объектов по просто совмещенным изображениям и изображениям, подвергнутым пространственной интерполяции, что подтверждает теоретическое повышение информативности интерполированного изображения, но в практических значениях. Испытания проводились с привлечением большого количества операторов, каждый из которых работал с изображениями только один раз. В результате проведенных испытаний были получены данные по времени обнаружения объекта каждым оператором и посчитаны вероятностные характеристики обнаружения. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с целью определения эффективности работы с интерполированными и не интерполированными изображениями. Доказана достаточность проведенных опытов.

Ключевые слова: лабораторные испытания, совмещенные изображения, интерполированные изображения, время обнаружения, вероятностные характеристики обнаружения, практическое повышение информативности.

Для цитирования: Ветров А.Н., Потлов А.Ю. Оценка эффективности пространственной интерполяции при обработке совмещенных разнодиапазонных изображений. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(1). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1094> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.014

Evaluation of the Spatial Interpolation Efficiency in the Processing of Combined Different-Range Images

A.N. Vetrov✉, A.Yu. Potlov

*Tambov State Technical University,
Tambov, Russian Federation
avetrov@yandex.ru✉*

Abstract: The article shows the methodology and results of laboratory tests to determine the performance indicators of operators with combined multi-band images, namely, video and thermal images acquired from the same object at the same scale and with the same sweep parameters. The

images were presented in two versions. In the first one, tests were carried out to detect specified objects in a combined image from video and thermal imaging cameras. In the second one, the same detection procedure was undertaken on interpolated images, when each pixel of the resulting image contained information from both sensors. The relevance of the work done lies in obtaining the probabilistic characteristics of a given object detection from simply superimposed images and images subjected to spatial interpolation, which confirms the increase in the information content of the interpolated images, but in practical terms. The tests were run with the involvement of a large number of operators, each of which worked with images only once. As a result of the tests, data were collected on the time of object detection by each operator and the probabilistic characteristics of detection were calculated. A comparative analysis of the findings was carried out in order to ascertain the efficiency of operations with interpolated and non-interpolated images. The sufficiency of the conducted experiments is proved.

Keywords: laboratory tests, combined images, interpolated images, detection time, probabilistic characteristics of detection, practical increase in information content.

For citation: Vetrov A.N., Potlov A.Yu. Evaluation of the Spatial Interpolation Efficiency in the Processing of Combined Different-Range Images. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(1). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1094> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.014 (In Russ).

Введение

Изображения, полученные от датчиков, работающих в разных диапазонах излучений, несут в себе информацию только определенного свойства. Поэтому объединение разнородных (разнодиапазонных) изображений в общее изображение дает возможность для получения более полной информации об исследуемом объекте. Однако простое совмещение изображений одинаковых объектов от разнородных датчиков не всегда приводит к максимальной информативности полученных изображений. Увеличения информативности совмещенных изображений можно достичь путем определенной обработки полученного массива [5]. Полученные данные в указанной литературе обосновываются теоретическими выкладками, в частности, в [6] доказывается, что информативность совмещенных и далее интерполированных разнодиапазонных изображений повышается в 6 раз относительно исходных изображений. Анализ литературы по схожей тематике подтверждает тезис о повышении информативности интерполированных изображений [7]. Это утверждение не подвергается сомнению при условии отсутствия таких факторов, как наличие помеховых составляющих в изображениях, квалификация и физическое состояние оператора, состояние аппаратуры визуализации [8, 9]. Однако реальное значение повышения информативности совмещенных и далее интерполированных изображений можно оценить только практическим путем при проведении натурных испытаний. Новизной в предлагаемой работе является определение практическим путем вероятностных характеристик распознавания заданных объектов отдельно на совмещенных разнодиапазонных изображениях и далее на интерполированных изображениях. Проведен сравнительный анализ полученных данных, который показал реальное повышение информативности интерполированных изображений в практических значениях.

Постановка задачи

Методика обработки изображений, показанная в работе [6], реализует теоретически значительное повышение информативности интерполированных изображений. Задачей предлагаемого исследования является оценка практической эффективности процедуры пространственной интерполяции с целью повышения информативности изображений. Указанная задача может решаться путем лабораторных

испытаний совмещенных и обработанных изображений посредством определения операторами заданных объектов на изображениях. Целью настоящей работы является определение реального повышения информативности интерполированных изображений при лабораторных испытаниях.

Материал и метод исследования

В ходе лабораторных испытаний для определения эффективности восприятия совмещенных интерполированных изображений было необходимым использовать видео и тепловые изображения общего объекта в одинаковом масштабе. При этом исходные изображения должны были иметь общий стандарт развертки по числу строк в кадре. При совмещении разнодиапазонных изображений резко проявляется строчная структура по причине того, что исходные изображения имеют существенные различия по показателю яркости. После реализации пространственной интерполяции различие в яркости исходных изображений сглаживается, и помеховая строчная структура практически визуально не проявляется. Это один из факторов, влияющих на повышение эффективности.

Известно, что временные характеристики – это основной фактор, влияющий на эффективность работы оператора наблюдения [8]. В связи с этим методика лабораторных испытаний сводилась к фиксированию времени обнаружения операторами заданных объектов на изображении. Лабораторные испытания делились на две части. В первой части испытаний операторам давались совмещенные, но не обработанные изображения, а во второй части – изображения после обработки посредством интерполяции, сформированной по методике, изложенной в [6].

Для проведения эксперимента было привлечено 182 студента университета (операторы). В первой части испытаний было задействовано 84 оператора, во второй части – 98 операторов. Каждый оператор участвовал в наблюдении только один раз.

Предварительно операторам словесно описывалось изображение и указывалось, что конкретно необходимо обнаружить. Изображения в видео и тепловизионном формате представлены на Рисунках 1 и 2. Совмещенные и интерполированные изображения приведены на Рисунках 3 и 4. На рисунке 3 заданием было определить, присутствует или нет пассажир на переднем сиденье автомобиля (пассажира нет). На Рисунке 4 заданием было указать число отражений фигуры человека в окне (два отражения).

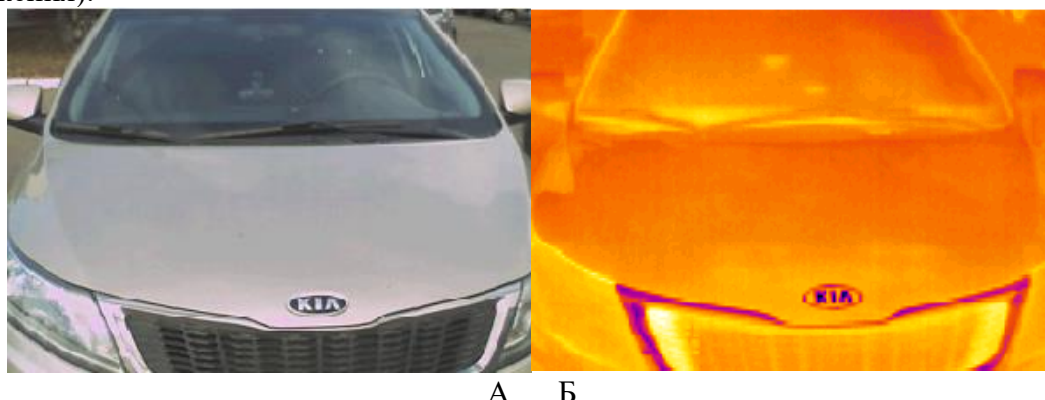


Рисунок 1 – Исходные изображения первой части испытаний. А – видеоизображение;
 Б – тепловизионное изображение

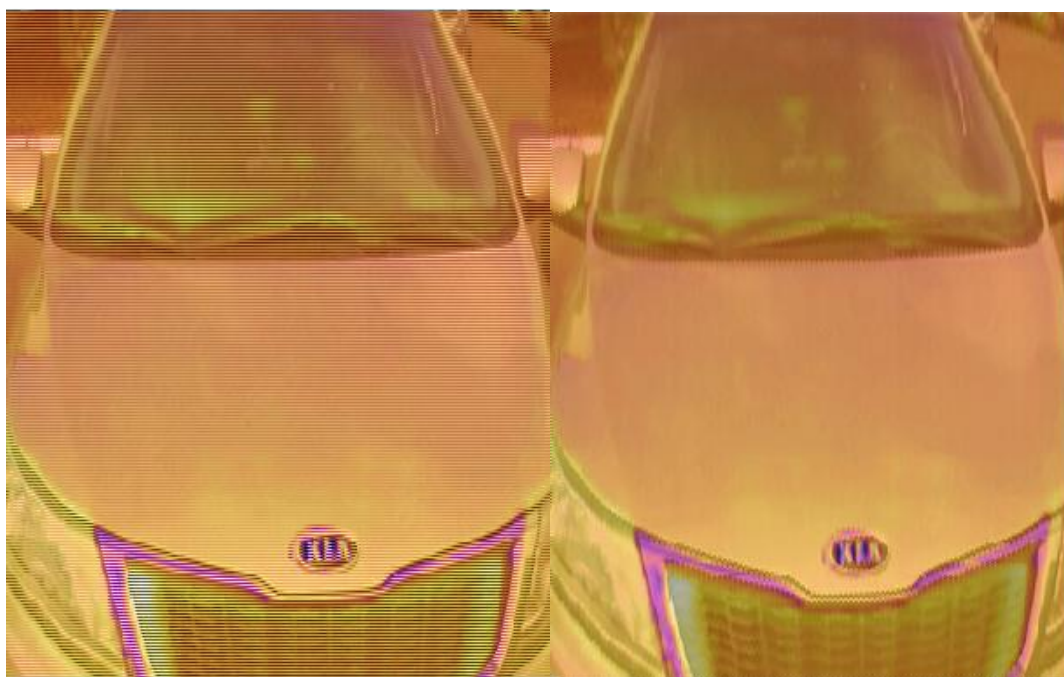
Figure 1 – Initial images of the first part of the tests. A – video image;
 B – thermal imaging image



А

Б

Рисунок 2 – Исходные изображения второй части испытаний. А – видеоизображение;
Б – тепловизионное изображение
Figure 2 – Initial images of the second part of the tests. A – video image;
B – thermal imaging image



А

Б

Рисунок 3 – Изображения первой части испытаний. А – совмещенное изображение
Б- обработанное изображение
Figure 3 – Images of the first part of the tests. A – composite image
B – processed image

При проведении эксперимента операторы находились на фиксированном расстоянии от монитора, куда выводились изображения. Оператор сообщал о готовности, на экран выводилось изображение и одновременно включался секундомер. Оператор давал команду на остановку секундомера и говорил о результате.



Рисунок 4 – Изображения второй части испытаний. А – совмещенное изображение
Б – обработанное изображение
Figure 4 – Images of the second part of the tests. A – composite image
B – processed image

Результат исследований

При проведении испытаний на обнаружение заданных объектов или неверное их определение составило всего 1,5 %, что позволило исключить этот показатель из анализа исследования.

В результате группировки по четырем (два совмещенных и два интерполированных) изображениям и объединения результатов в каждой группе по времени обнаружения заданных объектов были построены четыре гистограммы, показывающие распределение плотности вероятности. То есть, на координатных осях гистограмм по оси абсцисс откладывалось значение текущего времени, а по оси ординат – значение вероятности обнаружения объекта. Вероятность обнаружения конкретного объекта по конкретному изображению определялась по отношению количества фактов обнаружения этого объекта на данном интервале времени Δt (интервалы брались равными 1 секунде) к общему количеству фактов обнаружения этого объекта по данному изображению.

Гистограммы приведены на Рисунках 5 и 6. Для сравнительного анализа эффективности работы операторов были определены числовые характеристики: выборочное среднее m_t и среднее квадратическое отклонение σ_t . Результаты показаны в поле соответствующих гистограмм.

Анализ полученных данных показал, что у изображений, подвергнутых обработке путем интерполяции, выборочная средняя m_t приняла существенно меньшие значения при общем снижении значений для среднего квадратического отклонения σ_t . Конкретно для первого изображения на 36,8 %, а для второго изображения на 10,8 %.

Для более наглядного отображения результатов лабораторных испытаний на основе полученных значений времени обнаружения объектов были сформированы

функции распределения вероятности обнаружения, показанные на Рисунке 7. Здесь синими линиями показаны функции распределения вероятности для просто совмещенных изображений. Красными линиями показаны функции распределения вероятности для интерполированных изображений.

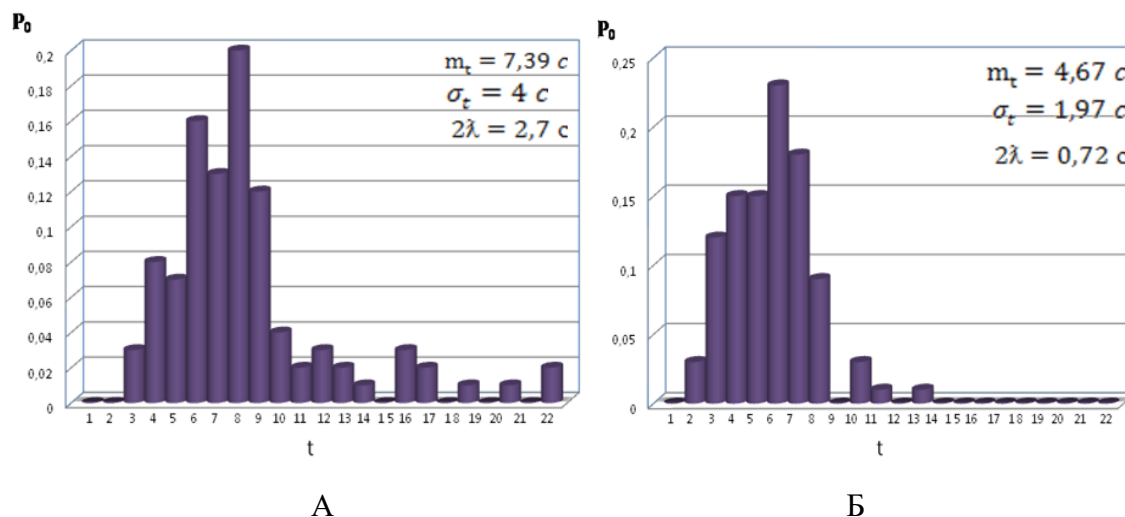


Рисунок 5 – Гистограмма для совмещенных изображений (А) и интерполированных изображений (Б) № 1

Figure 5 – Histogram for combined images (А) and interpolated images (Б) № 1

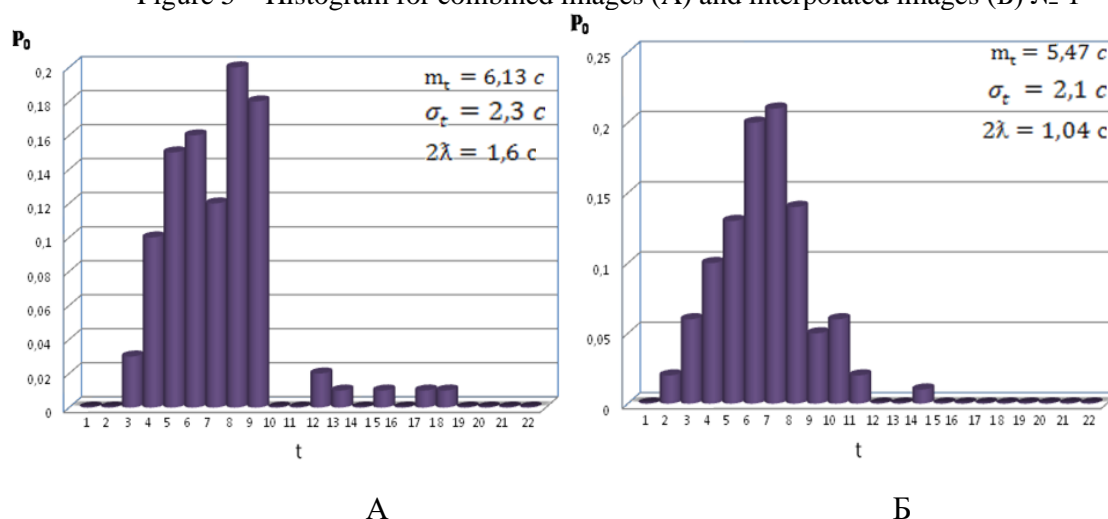


Рисунок 6 – Гистограмма для совмещенных изображений (А) и интерполированных изображений (Б) № 2

Figure 6 – Histogram for combined images (А) and interpolated images (Б) № 2

Сравнение полученных характеристик показывает, что для обработанных изображений эффективность работы операторов выше. Действительно, для моментов времени более 20 секунд вероятность обнаружения $P_0 = 1$ для обоих случаев. Но при меньших значениях времени вероятность обнаружения выше для обработанных изображений.

Оценка достоверности результатов статистической обработки проводилась по методике, приведенной в [10-12]. Была выбрана величина доверительной вероятности практически достоверного события $\alpha = 0,995$, на основе которого вычислялось значение доверительного интервала 2λ . Во всех случаях доверительный интервал не выходил за

рамки значений выборочного среднего m_t . Полученные значения доверительного интервала 2λ приведены в полях Рисунков 5 и 6.

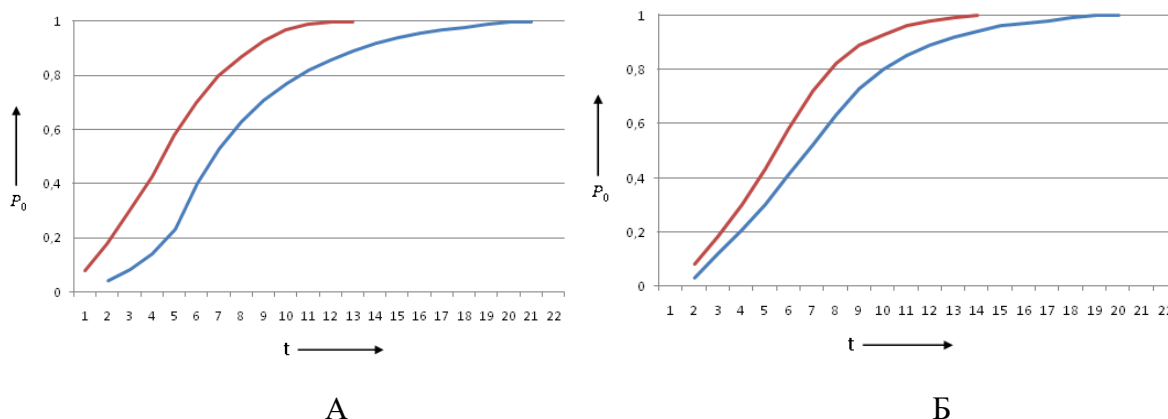


Рисунок 7 – Функции распределения вероятности обнаружения для изображений № 1 (А) и № 2 (Б)

Figure 7 – Functions of the detection probability distribution for images No. 1 (А) and No. 2 (Б)

Кроме того, для всех четырех изображений, с которыми работали операторы, оказалось, что $2\lambda < \beta_t$. На основании данных, полученных в результате статистической обработки, можно утверждать, что количество проведенных опытов было достаточным.

Заключение

В результате проведенных лабораторных испытаний было практически подтверждено, что совмещенные разнодиапазонные изображения, обработанные посредством пространственной интерполяции по методике, изложенной в источнике [6], обладают большей информативностью, чем просто совмещенные изображения. Статистическая обработка результатов испытаний дала численные значения данных, доказывающих это утверждение. Обосновано, что количества проведенных опытов было достаточно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бендицкий А.А. Патент 2305320 Российская Федерация, МПК G06Т 3/00. *Способ формирования матричного объекта*. Заявитель и патентообладатель Бендицкий А.А. Заявл. 02.07 2004; опубл. 28.07.2007.
2. Богданов А.П., Костяшкин Л.Н., Морозов А.В., Павлов О.В., Романов Ю.Н., Рязанов А.В. Патент 2451338 Российская Федерация, МПК G06Т5/00. *Способ комплексирования цифровых полутоновых телевизионных и тепловизионных изображений*. Заявитель и патентообладатель ОАО «Государственный Рязанский приборный завод». Заявл. 23.12.2010; опубл. 20.05.12.
3. Ерош И.Л., Сергеев М.Б., Соловьев Н.В., Филатов Г.П., Козлов А.А., Литвинов М.Ю. Патент 2435221 Российская Федерация, МПК G06Т 3/00. *Способ совмещения изображений, полученных от различных фотодатчиков, и устройство для его реализации*. Заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. Заявл. 10.12.2007; опубл. 27.11.2011.
4. Гектин Ю.М., Ефремов И.Ф., Калюжный В.И., Ковалёв А.О., Кузнецов А.Е. Патент 2258204 Российская Федерация, МПК G01С 11/00/. *Способ дистанционного*

- обследования объектов электрических сетей с помощью тепловидеосъемочного устройства. Заявитель и патентообладатель ЗАО «Центр перспективных наукоёмких технологий». Заявл. 16.02.2004; опубл. 10.08.2005.
5. Ветров А.Н., Артюхин И.Ю., Ошурков В.Ю., Гахзар М.А. Многофункциональное использование матричных приборов с зарядовой связью в системе поиска пострадавших. *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2013;19(2):298–303.
 6. Ветров А.Н., Потлов А.Ю. Повышение информативности совмещённых разнодиапазонных изображений в медицинской диагностике. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2021;17(4):36–42.
 7. Трубаков А.О., Селейкович М.О. Сравнение интерполяционных методов масштабирования растровых изображений. *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*. 2017;1:92–98.
 8. *Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений*. Под ред. Л.А. Школьного. М.: изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского; 2008: 513 с.
 9. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В., Ососков М.В., Моржин А.В. *Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий*. М.: Физматкнига; 2010. 672 с.
 10. Крылов Е.Н. *Статистические методы анализа и планирования эксперимента*. Иваново; 2004.
 11. Левин Б.Р. *Теоретические основы статистической радиотехники*. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь; 1989. 656 с.
 12. Тихонов В.И. *Статистическая радиотехника*. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь; 1982. 624 с.

REFERENCES

1. Benditskiy A.A. Patent 2305320 Russian Federation, IPC G06T 3/00. *A method of forming a matrix object*. Applicant and patentee Benditskiy A.A. Declared. 02.07 2004; publ. July 28, 2007. (In Russ.)
2. Bogdanov A.P., Kostyashkin L.N., Morozov A.V., Pavlov O.V., Romanov Yu.N., Ryazanov A.V. Patent 2451338 Russian Federation, IPC G06T 5/00. *A method for integrating digital halftone television and thermal imaging images*. Applicant and patentee of JSC Ryazan State Instrument Plant. Declared. 12.23.2010; publ. 05.20.12. (In Russ.)
3. Erosh I.L., Sergeev MB, Soloviev N.V., Filatov G.P., Kozlov A.A., Litvinov M.Yu. Patent 2435221 Russian Federation, IPC G06T 3/00. *A method of combining images obtained from various photosensors and a device for its implementation*. Applicant and patentee St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. Declared. 10.12.2007; publ. 11/27/2011. (In Russ.)
4. Gektin Yu.M., Efremov I.F., Kalyuzhny V.I., Kovalev A.O., Kuznetsov A.E. Patent 2258204 Russian Federation, IPC G01C 11/00/. *Method for remote inspection of electrical network objects using a thermal video recording device*. Applicant and patentee of CJSC «Center for Advanced Science-Intensive Technologies». Declared. 02.16.2004; publ. 10.08.2005. (In Russ.)
5. Vetrov A.N., Artyukhin I.Yu., Oshurkov V.Yu., Gakhzar M.A. Multifunctional use of charge-coupled matrix devices in the victim search system. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tambov State Technical University*. 2013;19(2):298–303. (In Russ.)

6. Vetrov A.N., Potlov A.Yu. Increasing the information content of combined multirange images in medical diagnostics. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Voronezh State Technical University Bulletin*. 2021;17(4):36–42. (In Russ.)
7. Trubakov A.O., Seleikovich M.O. Comparison of interpolation methods for scaling bitmaps. = *Scientific and technical bulletin of the Bryansk State University*. 2017;1:92–98. (In Russ.)
8. *Radar systems of aerial reconnaissance, decoding of radar images*. Ed. L.A. School. M.: ed. VVIA them. prof. NOT. Zhukovsky; 2008. 513 p. (In Russ.)
9. Vizilter Yu.V., Zheltov S.Yu., Bondarenko A.V., Ososkov M.V., Morzhin A.V. *Image processing and analysis in machine vision tasks: A course of lectures and practical exercises*. M.: Fizmatkniga; 2010. 672 p. (In Russ.)
10. Krylov E.N. *Statistical methods of analysis and planning of experiment*. Ivanovo; 2004. (In Russ.)
11. Levin B.R. *Theoretical foundations of statistical radio engineering*. 3rd ed., Rev. and add. M.: Radio and communication; 1989. 656 p. (In Russ.)
12. Tikhonov V.I. *Statistical radio engineering*. 2nd ed., Rev. and add. M.: Radio and communication; 1982. 624 p. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ветров Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Биомедицинская техника» Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, Российская Федерация.
e-mail: avetrov@yandex.ru

Vetrov Alexander Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering of the Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation.

Потлов Антон Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Биомедицинская техника» Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, Российская Федерация.
e-mail: zerner@yandex.ru

Potlov Anton Yuryevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering of the Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 25.11.2021; одобрена после рецензирования 03.02.2022; принята к публикации 25.02.2022.

The article was submitted 25.11.2021; approved after reviewing 03.02.2022; accepted for publication 25.02.2022.