

СПОСОБ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

С. В. ЖУРАВЛЕВ¹, А. В. ПОПОВ¹, В. А. ПОПОВ²

¹Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, 197198, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: vka@mil.ru

²Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова,
197022, Санкт-Петербург, Россия,
E-mail: info@ispbgtmu.ru

Рассматривается способ обработки изображений с использованием технических средств диагностики, в том числе медицинской, автоматики, технической кибернетики, систем искусственного интеллекта и метрологии. Этот способ также может быть использован при разработке систем автоматического поиска, обнаружения, селекции, распознавания и классификации объектов по их изображениям. Апробирование технического решения на основе макета программно-алгоритмической реализации подтвердило высокую степень эффективности автоматического распознавания изображений посредством выделения вектора признаков для сигналов, регистрируемых в различных диапазонах электромагнитного спектра дешифрируемых изображений высокой разрешающей способности.

Ключевые слова: изображение, поиск, обнаружение, селекция, распознавание и классификации объектов, дешифрирование изображений, техническое зрение, искусственный интеллект

Согласно базовым принципам существующих и перспективных информационных технологий, их непреложную основу составляют системы технического зрения, обладающие эффективными способами автоматической обработки цифровых данных, получаемых по изображениям различных объектов [1—4]. Основным способом унифицированных информационных технологий в этой области является широкий класс автоматически выполняемых вероятностно-статистических операций — от поиска и обнаружения объектов исследования до их идентификации. Достоверность объективно полученных результатов указанных операций, особенно в такой социально значимой области, как медицина, или в сфере разработок перспективных робототехнических комплексов с использованием искусственного интеллекта, гарантирует эффективность заданной структуры базовых элементов и цифровой технологии в целом.

В работе [5] предложен способ выделения вектора признаков для распознавания изображений объектов. Этот способ относится к области обработки изображений с использованием технических средств диагностики, в том числе медицинской, автоматики, технической кибернетики, а также систем искусственного интеллекта и метрологии. Данный способ может быть использован при разработке систем автоматического поиска, обнаружения, селекции, распознавания и классификации объектов по их изображениям.

Научно-технической задачей разработанного способа является повышение вероятности распознавания изображений объектов с различными контрастами в условиях сложного фона за счет выделения вектора признаков изображения объектов по их изображениям в различных диапазонах электромагнитного спектра [6—9]. Решение поставленной задачи достигается посредством автоматического формирования вектора признаков и выполнения вероятностно-статистических операций [10—14]. Математическая модель операции обнаружения

объектов также представима рассматриваемой ниже вероятностно-статистической операцией распознавания различий между фоном и объектом.

Часть растрового изображения (как правило, ортотрансформированного), сформированного в каждом диапазоне электромагнитного спектра и выделенного для дешифрирования, интерпретируется множеством вида

$$A: m \times n \rightarrow K \quad (1)$$

или матрицей, представляющей прямоугольный массив значений энергетических характеристик (яркостей) в виде поля K :

$$a_{i,j} = A(i, j), \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad \text{или} \quad A = (a_{i,j}).$$

Эта дешифрируемая часть изображения представляет собой фрагменты

$$X = (x_{i,j}), \quad X \in A, \quad (2)$$

где $i = \overline{1, k}$, $j = \overline{1, l}$, а значения k и l выбираются из условия не менее чем двойного превышения минимальных линейных размеров объектов дешифрирования, но всегда $k \leq m$ и $l \leq n$.

Предварительно подготовленное для распознавания исходное изображение содержит рамку (матрицу) фона

$$Y = (y_{i,j}), \quad Y \in X, \quad i = \overline{1, k}, \quad j = \overline{1, l}, \quad (3)$$

с рассчитанным по ней средним значением яркости фона

$$\bar{y} = \sum_{i,j}^{k,l} y_{i,j} \quad (4)$$

и помещенное в центре рамки окно с эталонным изображением дешифрируемого объекта:

$$Z = (z_{i,j}), \quad Z \in X, \quad i = \overline{1, k_{\text{об}}}, \quad (k_{\text{об}} < k), \quad j = \overline{1, l_{\text{об}}}, \quad (l_{\text{об}} < l). \quad (5)$$

Вероятностно-статистическая операция распознавания [7, 11] объекта представляет собой сканирование дешифрируемого изображения $A = (a_{i,j})$ по его фрагментам $X = (x_{i,j})$, выделение каждого из дискретных элементов для указанных фрагментов с принятием положительного решения о принадлежности этого элемента к изображению дешифрируемого объекта или его части $x(i, j) = y(i, j)$ в соответствии с заранее принятым правилом

$$\|q\| = |x(i, j) - \bar{y}| \geq h_1, \quad (6)$$

где h_1 — устанавливаемый порог первого уровня, а $(x(i, j) - \bar{y})$ — элементы вектора невязок — вектора признаков для распознавания изображений исследуемых объектов, являющегося основой для выполнения вероятностно-статистических операций их распознавания.

В противном случае принимается решение о неизменности дискретного элемента $x(i, j)$.

Затем определяется набор элементов $x(i, j)$, удовлетворяющих условию (6) для каждого фрагмента $X = (x_{i,j})$ с принятием положительного решения о принадлежности этого набора к изображению самого дешифрируемого объекта $x(i, j) = z(i, j)$ в соответствии с заранее принятым правилом

$$\|Q\| = |X: \forall x(i, j), \|q\| \geq h_1| \geq h_2, \quad (7)$$

где h_2 — устанавливаемый порог второго уровня.

При выполнении условия (7) формируется матрица $A = (a_{i,j})$ дешифрованных объектов $A_{\text{об}}$ одинакового размера с матрицей $A = (a_{i,j})$:

$$A_{\text{об}} : m \times n \rightarrow K, \quad (8)$$

путем замены в исходной матрице $A = (a_{i,j})$ ее элементов, удовлетворяющих условию (7), на элементы эталонного изображения

$$A(i, j) = Z(i, j) \quad (9)$$

для соответствующих координат и представления всех оставшихся элементов любым одинаковым наперед заданным, например для обеспечения контрастности, минимальным или максимальным значением яркости.

Параметры $\|q\|$ и $\|Q\|$ могут быть нормированы по их максимальной величине для дешифрируемого изображения, при этом пороговые уровни устанавливаются в диапазоне от нуля до единицы.

Для исключения априорной неопределенности ракурса объектов на дешифрируемом изображении целесообразно использовать простейшие центроаффинные преобразования — поворот осей координат X и Y циклически на дискретное значение угла α для эталонного изображения дешифрируемого объекта:

$$\left. \begin{aligned} x &= X \cdot \cos \alpha - Y \cdot \sin \alpha, \\ y &= X \cdot \sin \alpha + Y \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Научно-техническая разработка одного из вариантов, реализующего рассматриваемую модель распознавания, представлена в виде соответствующих способа и устройства [5].

Апробирование варианта технического решения с использованием макета его программно-алгоритмической реализации подтвердило высокую степень эффективности автоматического распознавания при выделении вектора признаков разработанным способом для сигналов, регистрируемых в различных диапазонах электромагнитного спектра (рентгеновских, ультразвуковых, оптических, СВЧ, в том числе радиолокационных, используемых в компьютерной и магнито-резонансной томографии) [15—17] дешифрируемых изображений высокой разрешающей способности.

Полученные результаты проиллюстрированы на рис. 1—3.

Так, на рис. 1 приведено исходное ортотрансформированное радиолокационное изображение в масштабе топографической карты (фрагмент 1), его увеличенная часть (фрагмент 2) и результат автоматического выделения элементов объектов гидрографического слоя (фрагмент 3), сформированный с целью обновления рассматриваемого фрагмента карты.

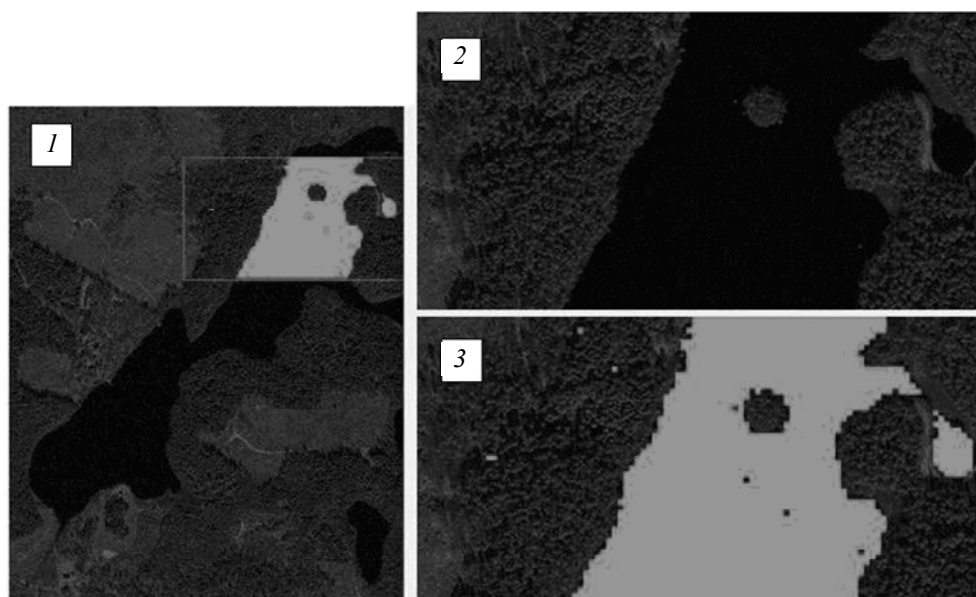


Рис. 1

На рис. 2 показано исходное фотоизображение корабля на неравномерном фоне морской поверхности и облаков для видимого диапазона (фрагмент 1), его увеличенная часть (фрагмент 2) и результат автоматического распознавания элементов характерных частей корабля (фрагмент 3), сформированный в целях поиска мест кораблекрушения.

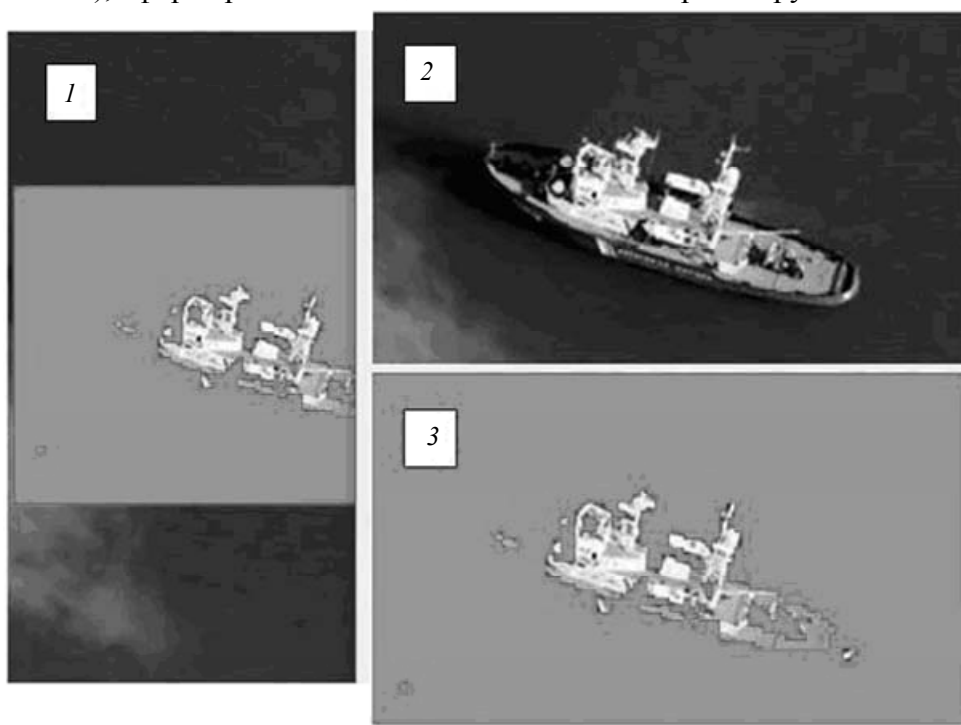


Рис. 2

На рис. 3 представлено исходное изображение результатов компьютерной томографии с контрастированием внутренних органов человека при предоперационном контроле (фрагмент 1), его увеличенная часть (фрагмент 2) и объективно подтвержденный результат автоматического распознавания прорастания новообразования к стенке брюшной аорты (фрагмент 3, место прорастания выделено кружком).

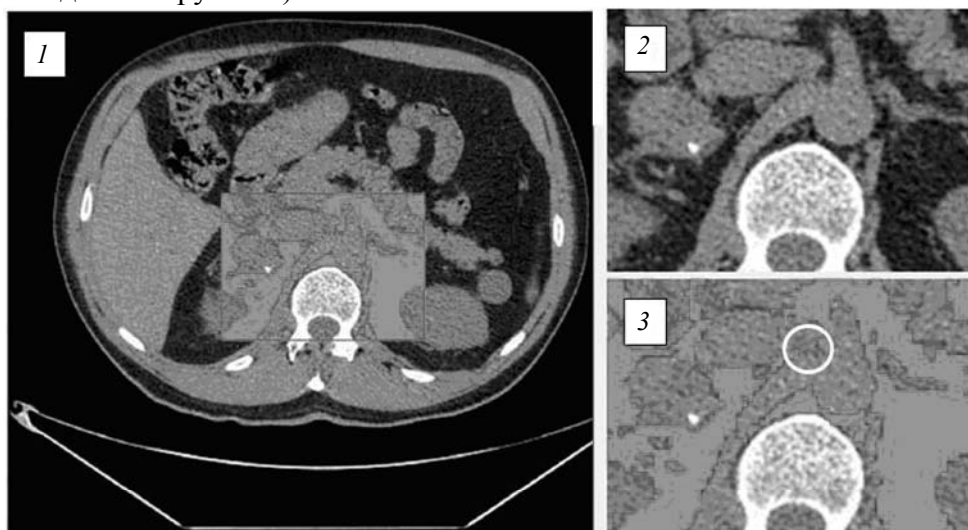


Рис. 3

Использование разработанного способа в медицинской диагностике позволяет эффективно выделять структуру и аномальные области внутренних органов человека при автоматическом распознавании сложных образований в условиях функционирования объективных средств обследования, использующих различные диапазоны электромагнитного спектра.

Предложенный способ также применим для обучения медперсонала, подготовки принятия решений и объективного контроля их качества.

Применение доведенных до инновационного уровня рассмотренных способа и его программных реализаций при автоматической, в том числе и дистанционной, обработке изображений, полученных с использованием средств диагностики, обеспечит повышение достоверности, чувствительности и надежности средств обследования пациентов, а также позволит повысить уровень медицинского обеспечения, доступности и качества медицинской помощи [18].

Аналогично, может быть осуществлено, например, автоматическое распознавание разлива/утечки газонефтепродуктов с использованием инфракрасных или гиперспектральных средств дистанционного зондирования. Подобным образом могут быть получены результаты разведки полезных ископаемых по косвенным признакам дешифрирования (невидимым для человека-оператора) с применением той же аппаратуры [19].

Таким образом, предложенная модель и использование разработанных способа и устройства на основе известного метода матричного исчисления [20, 21] позволяют выделять изображение объекта с размерами, соответствующими размерам искомого объекта, имеющего контраст относительно близлежащего окружающего фона в различных диапазонах электромагнитного спектра.

Разработанные способ и устройство [5] повышают вероятность распознавания многоцветных объектов и обеспечивают возможность распознавания полутонных объектов при знакопеременном контрасте на сложном фоне в условиях помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационные аналитические системы / Под ред. В. В. Дика. М.: Ун-т „Синергия“, 2013. 384 с.
2. Моделирование радиолокационных изображений подстилающей поверхности для видеоподдержки обнаружения малоразмерных объектов / Е. Э. Филиппских, А. В. Попов, В. В. Кузьмин, В. В. Владимиров // Информация и космос. 2016. Вып. 3(6) С. 124—131.
3. Формирование прогнозных изображений видимого диапазона на основе трехмерных цифровых моделей местности с текстурным покрытием / Е. Э. Филиппских, А. В. Попов, Ф. А. Галкин, А. В. Захарчук // Информация и космос. 2018. Вып. 4. С. 121—128.
4. Анализ состояния и перспектив развития бортовых средств радиолокационного зондирования земной поверхности для беспилотных летательных аппаратов различных классов / А. В. Попов, Д. А. Изергин, Е. Э. Филиппских // Тр. XXVIII Всерос. симп. „Радиолокационное исследование природных сред“ / Под общ. ред. С. С. Суворова. СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2013. Т. 1, вып. 10. С. 161—165.
5. Пат. 2616575 РФ, МПК G06K 9/46, G06T 1/00, G06R 9/62. Способ выделения вектора признаков для распознавания изображений объектов и устройство для его осуществления / А. В. Гурбо, С. В. Журавлев, А. В. Попов, Е. Э. Филиппских // Оpubл. 17.04.2017. Бюл. № 11.
6. Аковецкий В. Н. Дешифрирование снимков. М.: Недра, 1983. 373 с.
7. Бакут П. А., Колмогоров Г. С. Сегментация изображений: Методы выделения границ областей // Зарубежная радиоэлектроника. 1987. № 10. С. 25—47.
8. Выбор показателей и критериев эффективности систем радиолокационных исследований природных сред / Ф. А. Галкин, А. А. Громов, Д. А. Изергин, С. Н. Панин, А. В. Попов, Е. Э. Филиппских, А. С. Широнин // Тр. XXIX Всерос. симп. „Радиолокационное исследование природных сред“ / Под общ. ред. М. М. Пенькова. СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2015. Вып. 11. С. 64—69.
9. Априорная оценка характеристик наблюдаемости групповых объектов для видовых данных дистанционного зондирования / А. В. Попов, Е. Э. Филиппских, О. А. Фуженко // Тез. докл. III Междунар. науч.-техн. конф. „Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли“. М.: Корпорация „ВНИИЭМ“, 2015. С. 172—173.
10. Прэтт У. К. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. Т. 1, 2.
11. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: Бином, 2006. 752 с.

12. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Соифера. М.: Физматлит, 2003. 784 с.
13. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов: Пер. с англ. М.: Наука, 1979. 368 с.
14. Чабан Л. Н. Теория и алгоритмы распознавания образов. М.: МИИГАиК, 2004. С. 3, 8, 19, 26—29.
15. Рожанский Д. А. Курс физики. Колебания и волны. Звук. Свет. М.: Либроком, 2013. 248 с.
16. Чапурский Л. И. Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400—2500 нм. М.: МО СССР, 1986. 160 с.
17. Линденбратен Л. Д., Королюк И. П. Медицинская радиология (основы лучевой диагностики и лучевой терапии). М.: Медицина, 2000. 672 с.
18. Основы профилактической деятельности: Учебник / Н. Г. Петрова, В. А. Попов, А. Б. Филенко, М. А. Мамаева, А. Л. Пастушенков // ПМГМУ им. И. М. Сеченова. Ростов-на Дону: Феникс, 2016. 285 с.
19. Викторов С. В., Востокова Е. А., Вышивкин Д. Д. Введение в индикационную геоботанику. М.: Изд-во МГУ, 1962. 227 с.
20. Ланкастер П. Теория матриц. М.: Наука, 1973. 280 с.
21. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М.: Физматлит, 2004. 560 с.

Сведения об авторах

- Сергей Викторович Журавлев** — канд. техн. наук, ст. научный сотрудник; ВКА им. А. Ф. Можайского, военный институт (научно-исследовательский);
E-mail: vka@mil.ru
- Анатолий Васильевич Попов** — канд. техн. наук, ст. научный сотрудник; ВКА им. А. Ф. Можайского, военный институт (научно-исследовательский);
E-mail: vka@mil.ru
- Василий Анатольевич Попов** — канд. биол. наук; Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, кафедра сестринского дела; E-mail: info@ispbgmu.ru

Поступила в редакцию
09.04.19 г.

Ссылка для цитирования: Журавлев С. В., Попов А. В., Попов В. А. Способ распознавания объектов на разно-спектральных изображениях // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 7. С. 647—653.

METHOD OF OBJECTS RECOGNITION IN DIFFERENT SPECTRAL IMAGES

S. V. Zhuravlev¹, A. V. Popov¹, V. A. Popov²

¹A. F. Mozhaysky Military Space Academy, 197198, St. Petersburg, Russia
E-mail: vka@mil.ru

²Pavlov First St. Petersburg State Medical University,
197022, St. Petersburg, Russia,
E-mail: info@ispbgmu.ru

A method of image processing using technical means of diagnostics, including medical, automation, technical cybernetics, artificial intelligence systems and metrology is considered. The proposed method can also be used in development of systems for automatic search, detection, selection, recognition and classification of objects by their images. Testing of the technical solution carried out using a model software-algorithmic implementation of the approach confirmed a high degree of efficiency of automatic image recognition by means of feature vector selection for high-resolution images recorded in different ranges of the electromagnetic spectrum.

Keywords: image, search, detection, selection, recognition and classification of objects, image decoding, technical vision, artificial intelligence

REFERENCES

1. Dik V.V., ed., *Informatsionnyye analiticheskiye sistemy* (Information Analytical Systems), Moscow, 2013, 384 p. (in Russ.)
2. Filippskikh E.E., Popov A.V., Kuz'min V.V., Vladimirov V.V. *Information and Space*, 2016, no. 3(6), pp. 124–131. (in Russ.)
3. Filippskikh E.E., Popov A.V., Galkin F.A., Zakharchuk A.V. *Information and Space*, 2018, no. 4, pp. 121–128. (in Russ.)
4. Popov A.V., Izergin D.A., Filippskikh E.E. *Radiolokatsionnoye issledovaniye prirodnykh sred* (Radar Survey of Natural Media), Proceedings of the XXVIII All-Russian Symposium, St. Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy, 2013, no. 10(1), pp. 161–165. (in Russ.)
5. Patent RU 2616575, *Sposob vydeleniya vektora priznakov dlya raspoznavaniya izobrazheniy ob'yektov i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya* (A Method for Extracting a Feature Vector for Recognizing Images of Objects and a Device for Its Implementation), Gurbo A.V., Zhuravlev S.V., Popov A.V., Filippskikh E.E. Priority 21.07.2015, Published 17.04.2017, Bulletin 11. (in Russ.)
6. Akovetskiy V.N. *Deshifirovaniye snimkov* (Image Decryption), Moscow, 1983, 373 p. (in Russ.)
7. Bakut P.A., Kolmogorov G.S. *Zarubezhnaya radioelektronika*, 1987, no. 10, pp. 25–47. (in Russ.)
8. Galkin F.A., Gromov A.A., Izergin D.A., Panin S.N., Popov A.V., Filippskikh E.E., Shironin A.S. *Radiolokatsionnoye issledovaniye prirodnykh sred* (Radar Survey of Natural Media), Proceedings of the XXIX All-Russian Symposium, St. Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy, 2015, no. 11, pp. 64–69. (in Russ.)
9. Popov A.V., Filippskikh E.E., Fuzhenko O.A. *Aktual'nyye problemy sozdaniya kosmicheskikh sistem dstantsionnogo zondirovaniya Zemli* (Actual Problems of Creating Space Systems for Remote Sensing of the Earth), Proceedings of the III International Scientific and Technical Conference, Moscow, 2015, pp. 172–173. (in Russ.)
10. Pratt W.K. *Digital image processing*, NY, 1978.
11. Shapiro L., Stockman G. *Computer Vision*, Pearson Education, 2001.
12. Soyfer V.A., ed., *Metody komp'yuternoy obrabotki izobrazheniy* (Methods of Computer Image Processing), Moscow, 2003, 784 p. (in Russ.)
13. Fukunaga K. *Introduction to statistical pattern recognition*, Academic Press, 1990, 607 p.
14. Chaban L.N. *Teoriya i algoritmy raspoznavaniya obrazov* (Theory and Pattern Recognition Algorithms), Moscow, 2004, pp. 3, 8, 19, 26–29. (in Russ.)
15. Rozhanskiy D.A. *Kurs fiziki. Kolebaniya i volny. Zvuk. Svet* (Physics Course. Oscillations and Waves. Sound. Light), Moscow, 2013, 248 p. (in Russ.)
16. Chapurskiy L.I. *Otrazhatel'nyye svoystva prirodnykh ob'yektov v diapazone 400–2500 nm* (Reflective Properties of Natural Objects in the Range of 400–2500 nm), Moscow, 1986, 160 p. (in Russ.)
17. Lindenbraten L.D., Korolyuk I.P. *Meditsinskaya radiologiya (osnovy luchevoy diagnostiki i luchevoy terapii)* (Medical Radiology (Basics of Radiation Diagnosis and Radiotherapy)), Moscow, 2000, 672 p. (in Russ.)
18. Petrova N.G., Popov V.A., Filenko A.B., Mamayeva M.A., Pastushenkov A.L. *Osnovy profilakticheskoy deyatel'nosti* (Basics of Preventive Activity), Rostov-on-Don, 2016, 285 p. (in Russ.)
19. Viktorov C.B., Vostokova E.A., Vyshivkin D.D. *Vvedeniye v indikatsionnyu geobotaniku* (Introduction to Indicative Geobotany), Moscow, 1962, 227 p. (in Russ.)
20. Lankaster P. *Theory of matrices*. NY, London, 1969.
21. Gantmacher F.R. *The Theory of Matrices*, AMS Chelsea Publishing: Reprinted by American Mathematical Society, 2000, 660 p.

Data on authors

- | | |
|----------------------------|--|
| Sergey V. Zhuravlev | — PhD, Senior Scientist; A. F. Mozhaysky Military Space Academy, Military Research Institute; E-mail: vka@mil.ru |
| Anatoly V. Popov | — PhD, Senior Scientist; A. F. Mozhaysky Military Space Academy, Military Research Institute; E-mail: vka@mil.ru |
| Vasilii A. Popov | — PhD; Pavlov First St. Petersburg State Medical University, Department of Nursing; E-mail: info@ispbgmu.ru |

For citation: Zhuravlev S. V., Popov A. V., Popov V. A. Method of objects recognition in different spectral images. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 7. P. 647—653 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-7-647-653