

В. Ю. Волков¹, А. А. Бахтурин¹

¹ АО «НПП «Радар ммс»»

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОЧЕК ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ВЫДЕЛЕННЫХ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ СЕГМЕНТОВ

Представлен метод выделения объектов на цифровых изображениях, который применим при сравнении различных изображений одной и той же сцены, получаемых от одного или разных источников. Метод включает направленную фильтрацию градиентного изображения и выделение прямолинейных сегментов в каждом направлении с последующим группированием сегментов на основе их пересечений и геометрических свойств. Приводятся примеры описания и выделения объектов на реальных изображениях.

Ключевые слова: распознавание образов, геометрические примитивы, детектор кромки, совмещение изображений, группирование признаков, выделение зданий, мостов и дорог.

Введение

Обнаружение объектов на изображениях является центральной проблемой компьютерного видения. Оно важно при слежении за подвижным объектом и сопоставлении изображений, получаемых в разные моменты времени или получаемых от разных источников [1]. При решении таких задач один из подходов сводится к поиску точек и областей интереса как возможных объектов для сопоставления изображений [2]. Другой подход включает выделение объектов определенного класса, при этом класс объектов может описываться некоторой моделью либо быть представлен эталонными изображениями. Форма выделяемого объекта в этом случае играет первостепенную роль [3, 4].

Большинство эффективных алгоритмов обнаружения объектов на изображениях используют геометрические примитивы, которые соответствуют особенностям кромок и контуров. Другое направление основано на использовании свойств локальных областей и текстурных особенностей. Однако это требует предварительной сегментации изображения, что определяет важность использования кромок, линий и контуров на изображении при выделении объектов.

Прямолинейные кромки и контуры свойственны изображениям искусственных объектов (строений, мостов, дорог). Один из практически эффективных методов обнаружения и распознавания таких объектов основан на выделении прямолинейных сегментов, соответствующих прямолинейным участкам кромок интенсивности на изображениях [5–10].

Для выделения прямолинейных сегментов, соответствующих кромкам интенсивности, имеется

целый ряд алгоритмов, подробно рассмотренных в работах [8–11]. Качество выделения прямолинейных сегментов можно оценивать по-разному, однако наиболее важными требованиями являются отсутствие фрагментации линий и возможность получить явные точки пересечения отрезков. Последнее требование представляется ключевым для группирования сегментов в простые структуры.

Геометрическое описание формы объектов с помощью линий широко известно, возможности использования прямолинейных сегментов для этой цели исследовались в работах [12, 13]. Найденные там ограничения (параллельность, близость, замыкание отрезков и др.) позволяют ввести условия группирования отрезков в структуры, которые в общем случае имеют полигональный вид.

Применение этой теории для выделения искусственных объектов, в частности, зданий и мостов, широко используется [5–10, 14–17]. Большинство авторов отмечают существенные трудности, возникающие при практическом использовании развитых алгоритмов. Качество обнаружения и распознавания объектов зависит от качества выделения прямолинейных сегментов. Разрывы в линиях, их фрагментация приводят к нарушению структур объектов и к их потере на изображении. Проблемы возникают при изменениях масштаба изображения, что вынуждает производить многомасштабную обработку.

Появление лишних сегментов, обусловленных фоном и шумами, дает фиктивные структуры, которые могут накладываться на объекты, искажая их, и объекты в результате также теряются. Важными факторами являются изменение формы объектов

при появлении теней, а также наложение изображений разных объектов. Все это приводит к невысокой достоверности обнаружения и выделения объектов заданного класса.

Представляются возможным несколько путей повышения достоверности обнаружения и выделения объектов на изображениях. Один из путей предлагает использование более широкого набора ограничений при описании модели искомого объекта. Альтернативный путь заключается в обнаружении простых фрагментов, входящих в состав сложного объекта. Тогда при решении задачи выделения и распознавания добавляется еще один шаг, связанный с группированием фрагментов объекта.

Таковыми фрагментами объекта могут быть, в частности, простые объекты прямоугольной (и близкой к ней) формы.

Постановка задачи и метод обнаружения объектов на изображениях

Обнаружение объектов на изображениях включает три последовательных этапа. Сначала пиксели группируются, образуя простейшие области, обычно геометрические примитивы, и в данном случае прямолинейные сегменты. На следующем шаге сегменты группируются в структуры, в результате чего образуются контуры объектов, и производится предварительная сегментация. На заключительном шаге отбираются те контуры, которые удовлетворяют условиям, принятым для данной модели объекта.

Исходными данными для решения задачи обнаружения объектов является список координат упорядоченных прямолинейных сегментов, полученных с использованием метода ориентированной фильтрации, который описан в работах [8–10]. Метод позволяет упорядочить сегменты по выходному значению ориентированного фильтра, а также различить кромки интенсивности с разными знаками градиентов интенсивности.

В случае обнаружения объектов прямоугольной формы задача решается на основе использования точек пересечений полученных упорядоченных прямолинейных сегментов. Поэтому первым шагом является вычисление координат всех точек пересечения. Далее каждый отрезок, имеющий точки пересечения с другими отрезками, проверяется как возможный кандидат на участие в простой структуре из трех отрезков и выделяются все возможные простые структуры, включающие этот отрезок как главную линию и пересекающие ее две другие линии. Простые структуры также оказываются упорядоченными в соответствии с номером главной линии.

Из списка всех возможных простых структур отбираются те, которые удовлетворяют условиям антипараллельности линий. Это означает, что два отрезка, пересекающие главный сегмент, должны

иметь разницу в углах ориентации, близкую к 180° . Величина отклонения разницы углов представляет один из параметров, который задается в алгоритме и определяет в дальнейшем степень прямоугольности полученного объекта.

Другой параметр, который используется для селекции простых структур, представляет степень близости двух антипараллельных отрезков. Для этого вычисляется расстояние между ними, а относительный параметр близости определяется как отношение этого расстояния к длине самого короткого из двух отрезков.

Третий параметр определяет степень сдвига одного из двух отрезков по отношению к другому, для этого один из сегментов проектируется на направление другого и вычисляется часть проекции, захватывающая другой сегмент. Отношение полученной величины к минимальной длине также используется для селекции простых структур.

На следующем шаге осуществляется группирование отселектированных простых структур в целях получения замкнутых прямоугольных сложных структур. После их выделения следует отсечь выступающие концы сегментов. Таким образом осуществляется предварительная сегментация объектов прямоугольной формы.

Полученные объекты оказываются упорядоченными по номеру самой главной линии. Их положение и ориентация вычисляются с целью последующего группирования в более сложные объекты с учетом этих параметров и взаимного расположения.

Задачей работы является исследование алгоритмов обнаружения объектов прямоугольной формы на зашумленной модели, а также исследование обработки реальных изображений, полученных от телевизионной системы и с помощью радиолокатора.

Обнаружение прямоугольных объектов на зашумленной модели

Рассмотрим выделение объектов прямоугольной формы на фоне нормального шума. Входное изображение представлено на рис. 1а. Значения отношения сигнал–шум постоянны в каждом ряду объектов и возрастают от ряда к ряду следующим образом: 0,582 1,163 2,326 3,49 4,653 5,816 6,979 8,143 9,306 1,632.

На рис. 1б показан результат выделения прямолинейных кромок и их точек пересечения. На рис. 1в приведен результат выделения всех возможных простых структур.

На рис. 2а приведены результаты выделения объектов. Были установлены следующие параметры: $\gamma=40^\circ$; $\delta=0,1$; $\Delta_{\min}=0,1$; $\Delta_{\max}=5$. На рис. 2в показано выходное изображение, полученное с помощью детектора Рэнделла [11]. Рис. 2б представляет экспериментальные характеристики обнаружения объектов

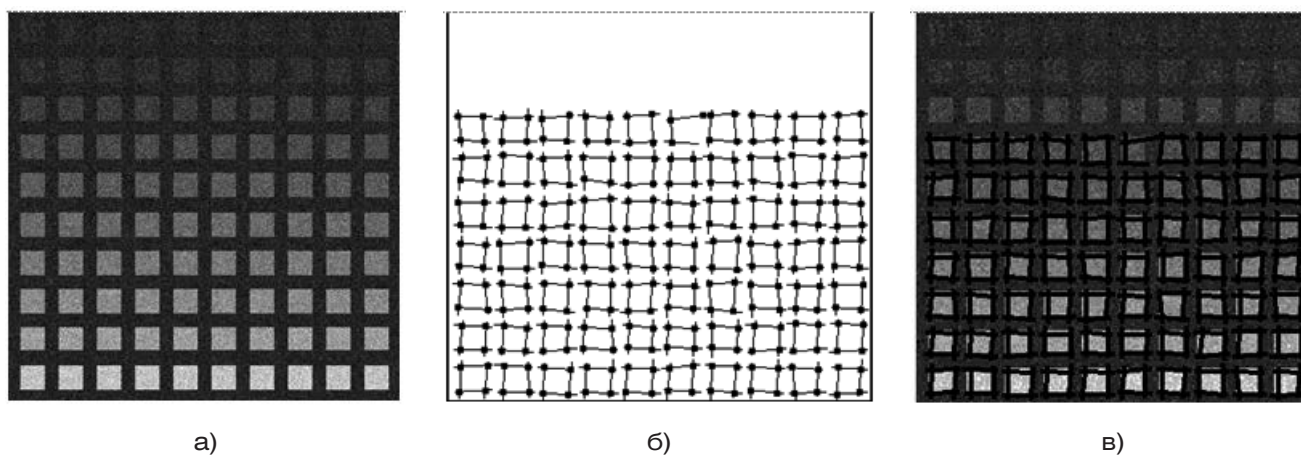


Рисунок 1. Обнаружение простых структур на зашумленном изображении: а – входное изображение; б – результат выделения прямолинейных кромок и их точек пересечения; в – результат выделения всех возможных простых структур

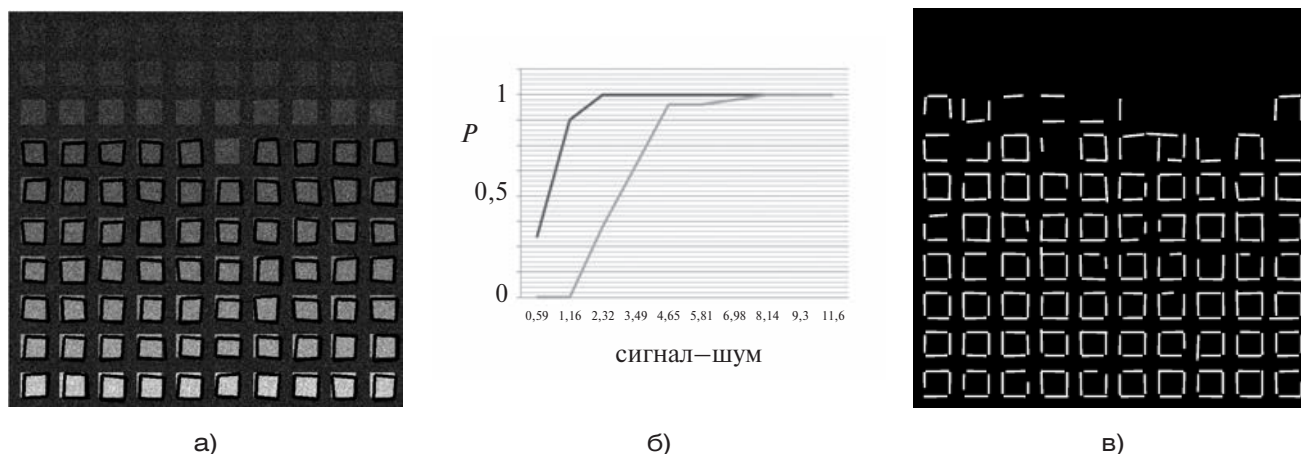


Рисунок 2. Обнаружение объектов прямоугольной формы: а – результат, полученный предложенным методом; б – сравнительные характеристики обнаружения объектов; в – выход детектора Рэнделла

для двух алгоритмов, которые показывают выигрыш в отношении сигнал-шум для предложенного метода.

Обнаружение прямоугольных структур объектов на реальных изображениях

Рассмотрим работу алгоритма на примере двух самолетных изображений одной и той же местности, полученных от радиолокатора с синтезированной апертурой, работающего в миллиметровом диапазоне, и от телевизионной системы наблюдения. Исходные изображения приведены на рис. 3а и 4а. Результаты выделения объектов показаны на рис. 3б и 4б, на рис. 3в и 4в приведен один из объектов, который определяется на обоих изображениях.

Выводы

Развит метод обнаружения объектов прямоугольной формы на изображениях, получаемых от радиотехнических систем наблюдения. Метод использует выделение прямолинейных сегментов кромок интенсивности и основан на свойствах пересекающихся отрезков линий. Алгоритм позволяет определить координаты центра объекта и его ориентацию в целях последующего группирования объектов в более сложные структуры. Характеристики предложенного алгоритма исследованы на зашумленной модели, и результаты показали его преимущества перед известным алгоритмом Рэнделла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Визильтер Ю.В. Желтов С.Ю. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах // Сб. трудов НТ семинара «Техническое зрение в системах управления мобильными объектами 2010». М: Механика, управление и информатика, 2011.
2. Brown M., Hua G., Winder S. Discriminative learning of local image descriptors. IEEE Trans., Vol. PAMI-33, no. 1, pp. 1–14, 2011.

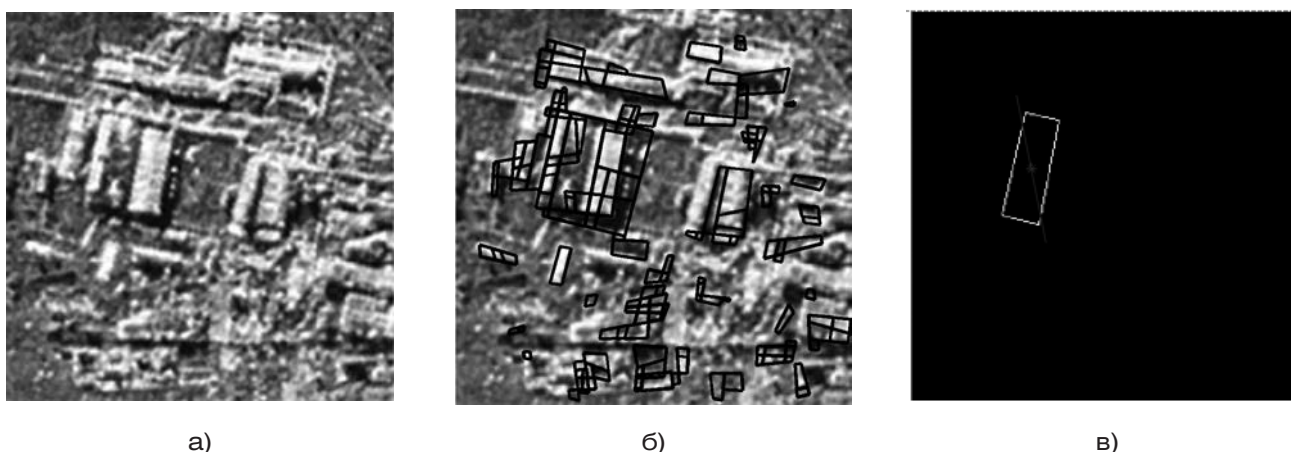


Рисунок 3. Результат обнаружения объекта на радиолокационном изображении: а – исходное изображение; б – результаты выделения объектов; в – определенный объект

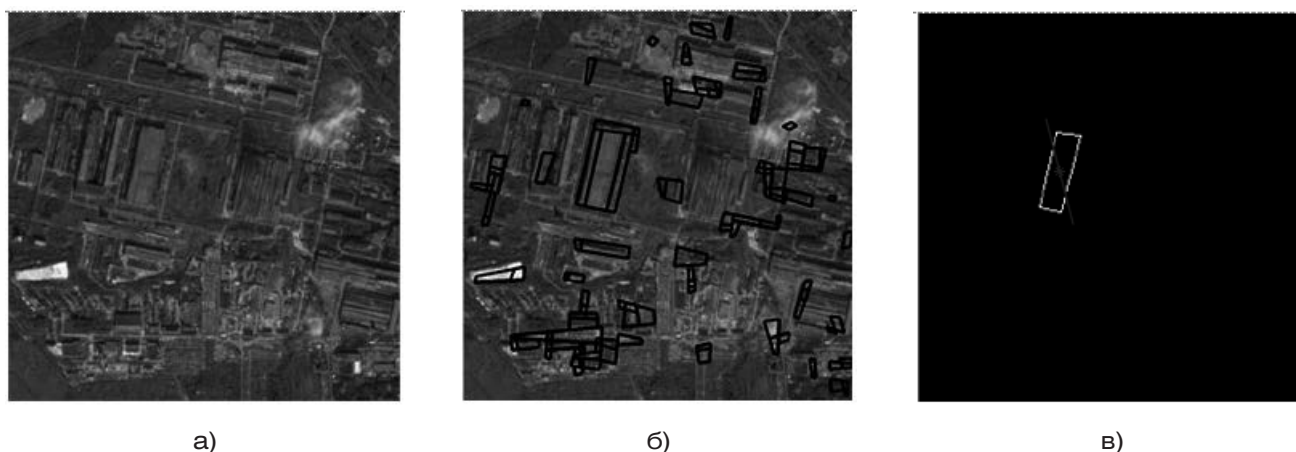


Рисунок 4. Результат обнаружения объекта на телевизионном изображении: а – исходное изображение; б – результаты выделения объектов; в – определенный объект

3. Belongie S., Malik J., Puzicha J. Shape matching and object recognition using shape contexts, *IEEE Trans.*, Vol. 24, no. 2, 2002, pp. 509–521.
4. Ferrari V., Fevrier L., Schmid C. Groups of Adjacent Contour Segments for Object Detection, *IEEE Trans.* Vol. PAMI-30, 2008, pp. 36–51.
5. Shao J., Mohr R., Fraser C. Multi-image matching using segment features. *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. XXXIII, Part B3. Amsterdam, 837–844, 2000, pp. 97–102.
6. Park D.C., Huong V.T.L., Woo D.-M., Lee Y. Extraction of rectangular boundaries from aerial image data. *Proceedings – 2009 International Conference on Computer Engineering and Technology, ICCET 2009*, 2, art. no. 4769647, pp. 473–477.
7. Fu Z., Sun Z. An algorithm of straight line features matching on aerial imagery; *The Int. Arch. Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inf. Sciences*, Vol. XXXVII, Part B3b, Beijing, 2008.
8. Метод описания и выделения объектов с использованием прямолинейных сегментов на цифровых изображениях / Г.В. Анцев, В.Ю. Волков, Л.С. Турнецкий, Е.Б. Бойкова // Труды 14-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение». М., 2012. С. 319–322.
9. Volkov V., Germer R., Oneshko A., Oralov D. Objects Description and Extraction by the Use of Straight Line Segments in Digital Images. *Computer Technology and Application*. Vol. 2, no. 12, December 2011 (Serial Number 13), pp. 939–947.
10. Волков В.Ю., Турнецкий Л.С., Онешко А.В. Описание и выделение объектов на изображениях с использованием прямолинейных сегментов // *Информационно-управляющие системы*. 2012. Вып. 5 (54). С. 7–14.
11. Grompone von Gioi C., Jakubovich J., Morel J.-M., Randall G. LSD: A Line Segment Detector, *IEEE Trans.*, Vol. PAMI-32, no. 4, 2010, pp. 722–732.
12. Horaud R., Veillon F., Skordas T. Finding geometric and relational structures in an image, *First European Conf. Computer Vision*, France April 23–27, 1990.
13. Kim S.K., Ranganah H.S., Efficient algorithms to extract geometric features of edge images, *Proc. IPCV'10*, Vol. II, Las Vegas, Nevada, USA, 2010, pp. 519–525.
14. Li Y., Shapiro L.G. Consistent Line Clusters for Building Recognition in CBIR. *IPCR2002*.
15. Hedau H. Ahuja A.N. Matching images under unstable segmentations, *Proc. 6th Euro Conf. on Comp. Vision*, 2008, pp. 551–563.

16. Shan J., Lee D. S. Generalization of building polygons extracted from IKONOS imagery. Proc. ISPRS, Ottawa, 2002.
17. Tretyak E., Barinova O., Kohli P., Lempitsky V. Geometric Image Parsing in Man-Made Environments. International Journal of Computer Vision, 2011.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Волков Владимир Юрьевич, д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник, АО «НПП «Радар ммс»», 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А, e-mail: vl_volk@mail.ru.

Бахтурин Алексей Алексеевич, инженер, АО «НПП «Радар ммс»», 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А.

For citation: Volkov V. Yu., Bakhturin A.A. Object localization in images by the use of crossing points on extracted straight line segments. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 1, pp. 52–56.

V. Yu. Volkov, A. A. Bakhturin

OBJECT LOCALIZATION IN IMAGES BY THE USE OF CROSSING POINTS ON EXTRACTED STRAIGHT LINE SEGMENTS

A novel method of object extraction in digital images is presented which can be applied for comparing images from the same scene but from different sources. Method includes oriented filtering of gradient image and extraction of straight line segments in each direction with grouping segments on the base of their crossings and geometrical properties. Examples are given for object description and extraction in real images.

Keywords: pattern recognition, geometrical primitives, edge detector, image matching, feature grouping, building, bridges and road extraction.

REFERENCES

1. Vizilter Yu. V. Zheltov S. Yu. The problems of machine vision systems in modern aircraft. *Sbornik trudov NT seminarov «Tekhnicheskoe zrenie v sistemah upravleniya mobil'nymi ob'ektami 2010»*. Moscow, Mekhanika, upravlenie i informatika, 2011. (In Russian).
2. Brown M., Hua G., Winder S. Discriminative learning of local image descriptors. *IEEE Trans.*, Vol. PAMI-33, no. 1, pp. 1–14, 2011.
3. Belongie S., Malik J., Puzicha J. Shape matching and object recognition using shape contexts, *IEEE Trans.*, Vol. 24, no. 2, 2002, pp. 509–521.
4. Ferrari V., Fevrier L., Schmid C. Groups of Adjacent Contour Segments for Object Detection, *IEEE Trans.* Vol. PAMI-30, 2008, pp. 36–51.
5. Shao J., Mohr R., Fraser C. Multi-image matching using segment features. *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. XXXIII, Part B3. Amsterdam, 837–844, 2000, pp. 97–102.
6. Park D. C., Huong V. T. L., Woo D. – M., Lee Y. Extraction of rectangular boundaries from aerial image data. *Proceedings – 2009 International Conference on Computer Engineering and Technology, ICCET 2009*, 2, art. no. 4769647, pp. 473–477.
7. Fu Z., Sun Z. An algorithm of straight line features matching on aerial imagery. *The Int. Arch. Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inf. Sciences*, V. XXXVII, Part B3b, Beijing, 2008.
8. Antsev G. V., Volkov V. Yu., Turnetskiy L. S., Boykova E. B. Description of methods and selection of objects with the use of straight-line segments on digital images. *Trudy 14 Mezhdunarodnoj konferencii «Cifrovaya obrabotka signalov i ee primenenie»*. Moscow, 2012, pp. 319–322. (In Russian).
9. Volkov V., Germer R., Oneshko A., Oralov D. Objects Description and Extraction by the Use of Straight Line Segments in Digital Images. *Computer Technology and Application*. Vol. 2, no. 12, December 2011 (Serial Number 13), pp. 939–947.
10. Volkov V. YU., Turneckij L. S., Oneshko A. V. Description and selection of objects on images with the use of straight-line segments. *Informacionno-upravlyayushchie sistemy*, 2012, no. 5(54), pp. 7–14. (In Russian).
11. Grompone von Gioi C., Jakubovich J., Morel J-M., Randall G. LSD: A Line Segment Detector, *IEEE Trans.*, Vol. PAMI-32, no. 4, 2010, pp. 722–732.
12. Horaud R., Veillon F., Skordas T. Finding geometric and relational structures in an image, *First European Conf. Computer Vision*, France April 23–27, 1990.
13. Kim S. K., Ranganah H. S., Efficient algorithms to extract geometric features of edge images, *Proc. IPCV'10*, Vol. II, Las Vegas, Nevada, USA, 2010, pp. 519–525.
14. Li Y., Shapiro L. G. Consistent Line Clusters for Building Recognition in CBIR. *IPCR2002*.
15. Hedau H. Ahuja A. N. Matching images under unstable segmentations, *Proc. 6th Euro Conf. on Comp. Vision*, 2008, pp. 551–563.
16. Shan J., Lee D. S. Generalization of building polygons extracted from IKONOS imagery. Proc. ISPRS, Ottawa, 2002.
17. Tretyak E., Barinova O., Kohli P., Lempitsky V. Geometric Image Parsing in Man-Made Environments. *International Journal of Computer Vision*, 2011.

AUTHORS

Volkov Vladimir, Doctor of in Technical Sciences, Associate Professor, senior research fellow, «NPP «Радар ммс»» JSC, 37A, Novoselkovskaya st., Saint-Petersburg, 197375, e-mail: vl_volk@mail.ru.

Bakhturin Aleksey, engineer, «NPP «Радар ммс»» JSC, 37A, Novoselkovskaya st., Saint-Petersburg, 197375.