

УДК 621.391

ПОИСК АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ АЭРОИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНТУРОВ ГОМОГЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ

О.Г. ШЕВЧУК, В.Ю. ЦВЕТКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 13 февраля 2018

Аннотация. Предлагается алгоритм поиска антропогенных объектов аэроизображений на основе анализа геометрических параметров контуров гомогенных областей. Алгоритм позволяет уменьшить ошибки первого и второго рода в сравнении с алгоритмом поиска пространственных аномалий за счет определения принадлежности к антропогенным объектам сегментов с равномерной яркостью на основе значений форм-факторов и концентрации изломов и концевых точек нормализованных по толщине контуров.

Ключевые слова: антропогенный объект, геометрические характеристики, аэроизображение.

Abstract. An algorithm for searching for anthropogenic objects of air image on the basis of analysis of geometric parameters of the edges of homogeneous regions features is proposed. It is shown that the proposed algorithm makes it possible to reduce the errors of the first and second kind with respect to the algorithm for searching for spatial anomalies due to taking into account the values of multi-segment form factors and the concentration of corners and end points of normalized in thickness edge of segments with uniform brightness with a decrease in speed.

Keywords: anthropogenic object, geometric characteristics, air image.

Doklady BGUIR. 2018, Vol. 111, No. 1, pp. 84-90
Detection of anthropogenic objects of aero-images
based on geometric parameters of the edge of homogeneous areas
A.G. Shauchuk, V.Yu. Tsviatkou

Введение

Одним из направлений использования геоинформационных систем (ГИС) является поиск и анализ объектов на аэроизображениях [1]. Наибольший интерес представляют рукотворные (антропогенные) объекты. Для реализации задачи поиска антропогенных объектов в ГИС чаще всего используются методы из одной или нескольких следующих групп.

1. Методы на основе искусственных нейронных сетей [2], недостатком которых является высокая вычислительная сложность, связанная с необходимостью предварительного обучения.

2. Методы на основе анализа периодических текстур [3] – узконаправленные методы, ориентированные на обнаружение распределенных объектов (например, городских кварталов), что не позволяет их эффективно использовать для поиска сосредоточенных антропогенных объектов (например, дорог, отдельных строений).

3. Методы на основе спектральных параметров (вегетационный индекс, индекс влагосодержания, индикатор теней) [4], требующие наличия мультиспектральных камер на внешней стороне воздушного комплекса.

4. Методы на основе пространственных параметров (характеристик окрестностей ключевых точек изображений) [5], использующие в основном поиск аномалий (отклонений)

распределения яркостей на аэроизображениях, что приводит во многих случаях к принятию неоднозначных решений.

Для устранения рассмотренных недостатков необходимо использовать набор геометрических характеристик (параметров) антропогенного объекта в пространственной области, что позволит произвести их выборку на аэроизображениях.

Цель работы: разработка алгоритма поиска антропогенных объектов аэроизображений на основе анализа геометрических параметров контуров гомогенных областей.

Геометрические характеристики антропогенных объектов

Под антропогенным объектом (греч. anthropos – человек, genesisum – происхождение) понимается объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов [6]. Такими объектами могут быть: здание, транспортное средство, дорога, аграрный объект и др. Для таких объектов характерно: наличие относительно ровного геометрического контура, состоящего из небольшого количества фрагментов; отсутствие скопления мелких фрагментов в контуре; отсутствие большого количества углов и концевых точек контура [7]. Исходя из данных особенностей, сформированы следующие геометрические характеристики присутствия антропогенных объектов на аэроизображениях.

1. Количество выделенных фрагментов контура $K_0 \in [1, 50]$ сегмента аэроизображения. Из них количество длинных фрагментов контура должно удовлетворять условию $K_{L_b} \in [1, 50]$. При этом под длинным фрагментом контура понимается фрагмент, размер которого превышает 10 пикселей.

2. Отношения суммарного пиксельного размера длинных фрагментов контура L_b к общему количеству пикселей в нем L_0 должно удовлетворять условию $L_b/L_0 > 0,8$.

3. Для антропогенного объекта должно выполняться следующее условие:

$$\begin{cases} O_E \leq 3, \text{ при } K_{L_b} > 0, \\ O_C \leq 0,1, \text{ при } K_{L_b} = 1 \cup O_E \neq 0, \\ \overline{O_C} \leq 0,1, \text{ при } K_{L_b} > 1, \\ O_L \in [0,6, 1,7], \text{ при } K_{L_b} = 2, \end{cases}$$

где $O_E = E_b/K_{L_b}$ – отношение общего числа концевых точек длинных фрагментов контура E_b сегмента к их количеству K_{L_b} , $O_C = C_{b_1}/L_{b_1}$ – отношение количества точек излома длинного

фрагмента контура C_{b_1} к его пиксельной длине L_{b_1} , $\overline{O_C} = \frac{\sum_{i=1}^{K_{L_b}} C_{b_i}/L_{b_i}}{K_{L_b}}$ – среднее арифметическое

стека значений C_{b_i}/L_{b_i} , для которых $O_E \neq 0$, $O_L = L_{b_1}/L_{b_2}$ – отношение пиксельного размера двух длинных фрагментов контура относительно друг друга.

Алгоритм поиска антропогенных объектов на основе анализа геометрических параметров контуров гомогенных областей

Предлагается алгоритм поиска антропогенных объектов аэроизображений на основе анализа геометрических параметров контуров гомогенных областей (сегментов с равномерной яркостью). Алгоритм отличается от известных алгоритмов на основе пространственных параметров [5] определением принадлежности к антропогенным объектам сегментов, имеющих равномерную яркость, площадь более 0,1 % от размера аэроизображения и суммарную протяженность длинных (более 10 пикселей) фрагментов контуров более 80 % от их общей протяженности, на основе значений многосегментных форм-факторов

и концентрации изломов и конечных точек нормализованных по толщине контуров этих сегментов.

Структурная схема процесса поиска антропогенных объектов на аэроизображениях с использованием геометрических параметров представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема процесса поиска антропогенных объектов на аэроизображениях с использованием геометрических параметров

Алгоритм поиска антропогенных объектов аэроизображений на основе анализа геометрических параметров контуров гомогенных областей состоит из следующих основных шагов.

1. Низкочастотная фильтрация. Осуществляется с использованием фильтра Гаусса [8].

2. Сегментация. Осуществляется с использованием алгоритма выращивания областей (Region Growing – RG) [9]. При этом в качестве ключевых используются пиксели, содержащие в области Мура более 3 пикселей, не превосходящих порог разности яркостных составляющих $p = 2$ относительно ключевого.

3. Высокочастотная фильтрация. Для каждого однородного по яркости сегмента аэроизображения осуществляется высокочастотная фильтрация алгоритмом детектирования краев Кани [10].

4. Сегментация контуров аэроизображения. Осуществляется для контура каждого сегмента аэроизображения алгоритмом Брайса-Феннема [11], основанным на выборе простых правил роста и бинарном значении пиксела, равным 1.

5. Нормализация фрагментов контуров однородных по яркости сегментов аэроизображений по толщине осуществляется алгоритмом, описанным в [12].

6. Выделение прямых двухконцевых фрагментов (линий) по форм-фактору. Осуществляется на основе алгоритма выделения изолированных прямых линий на основе многосегментного форм-фактора [13]. Недостатком метода на основе форм-фактора [14] является пропуск некоторых линий при условии наличия у них скопления более 3 пикселей в области Мура. Для устранения данного недостатка в алгоритме на основе многосегментного форм-фактора длина контурной линии рассчитывается как сумма геометрических образующих ее контурных точек:

$$v_2(n) = \sum_{i=0}^{K-2} \sqrt{(x(i) - x(i+1))^2 + (y(i) - y(i+1))^2}.$$

где n – количество двухконцевых линий контура сегмента аэроизображения, (x, y) – координаты пиксела линии, i – порядковый номер пикселя линии.

7. Поиск изломов (углов) контуров сегментов. Для поиска изломов контуров сегментов C_{b_i} используется алгоритм геометрической идентификации углов на основе расширяемых масок [15]. Данный алгоритм применяется для выделенных контуров со значением форм-фактора $f < 0,8$ [16].

8. Формирование дескриптора сегмента. Для каждого j -го сегмента аэроизображения

на основе представленных геометрических параметров формируются дескриптор D_j в зависимости от количества длинных фрагментов контура сегмента [7]:

$$\begin{cases} D = \{K_0, L_0, K_{L_b}, L_b, O_E, O_C\}, \text{ при } K_{L_b} = 1 \cup O_E \neq 0; \\ D = \{K_0, L_0, K_{L_b}, L_b, O_E\}, \text{ при } K_{L_b} = 1 \cup O_E = 0; \\ D = \{K_0, L_0, K_{L_b}, L_b, O_E, \overline{O_C}, O_L\}, \text{ при } K_{L_b} = 2; \\ D = \{K_0, L_0, K_{L_b}, L_b, O_E, \overline{O_C}\}, \text{ при } K_{L_b} > 2. \end{cases}$$

9. Идентификация антропогенных объектов. Осуществляется путем анализа сформированного дескриптора D_j j -го сегмента аэроизображения на основе предложенных геометрических параметров антропогенных объектов.

В результате выполнения алгоритма формируется стек координат сегментов аэроизображения, описывающих найденные антропогенные объекты.

Оценка эффективности алгоритмов поиска антропогенных объектов

Разработанный алгоритм реализован на языке C++ с использованием библиотеки OpenCV 3.0. Для сравнительной оценки использован алгоритм поиска пространственных аномалий [5]. Эксперимент проведен на ЭВМ со следующими техническими характеристиками: процессор Intel(R) Core(TM) i5-2320 CPU @ 3,0 ГГц; ОЗУ – 4 ГБ; тип системы – 64-разрядная операционная система Windows 7.

Для первичного тестирования алгоритмов использованы 4 выборки аэроизображений, полученных в разное время года и погодных условиях со следующими выделенными видами антропогенных объектов:

- строения различного назначения (рис. 2, а);
- коммуникации различного вида (рис. 2, б);
- измененная почва (рис. 2, в);
- транспортные средства различного вида (рис. 2, г).

Для вторичного тестирования была сформированная выборка аэроизображений без антропогенных объектов (рис. 2, д).



Рис. 2. Примеры тестовых аэроизображений

В качестве критериев эффективности алгоритмов детектирования антропогенных объектов на аэроизображениях использованы ошибки первого и второго рода, а также среднее t_a , минимальное t_{\min} и максимальное t_{\max} время работы.

Ошибка первого рода для каждого вида антропогенного объекта определяется с помощью выражения $N_1 = \frac{I_e}{I_0}$, где I_e – количество аэроизображений с пропущенными антропогенными объектами, I_0 – общее количество аэроизображений выборки с заданным видом антропогенного объекта.

Ошибка второго рода определяется с помощью выражения $N_2 = \frac{I_e}{I_0}$, где I_e – количество аэроизображений с детектированными ложными антропогенными объектами, I_0 – общее количество аэроизображений выборки без антропогенных объектов.

Результаты сравнительного анализа алгоритмов детектирования антропогенных объектов на аэроизображениях представлены в табл. 1.

Таблица 1. Ошибка первого и второго рода при поиске антропогенных объектов

Наименование алгоритма детектирования антропогенных объектов	N_1				N_2
	Объекты вида 1	Объекты вида 2	Объекты вида 3	Объекты вида 4	
Алгоритм поиска антропогенных объектов на основе анализа геометрических параметров контуров гомогенных областей	0,24	0,46	0,5	0,18	0,46
Алгоритм поиска пространственных аномалий	0,5	0,76	0,94	0,42	0,52

Из табл. 1 видно, что разработанный алгоритм поиска антропогенных объектов по сравнению с алгоритмом поиска пространственных аномалий позволяет уменьшить вероятность ложного обнаружения в 2,1 раза для объектов типа «строения различного назначения», в 1,7 раз – для объектов типа «коммуникаций различного вида», в 1,9 раз – для объектов типа «измененная почва» и в 2,3 раза – для объектов типа «транспортные средства различного вида». При этом ошибка второго рода уменьшается в 1,1 раза. Увеличению ошибки первого рода для предлагаемого алгоритма способствует отсеивание сегментов площадью менее 1 % от пиксельного размера аэроизображения. В табл. 2 приведена оценка времени работы алгоритмов.

Таблица 2. Оценка времени работы алгоритмов, с

Наименование алгоритма детектирования антропогенных объектов	t_a	t_{\min}	t_{\max}
Алгоритм поиска антропогенных объектов на основе анализа геометрических параметров контуров гомогенных областей	10,6	0,05	900
Алгоритм поиска пространственных аномалий	5,1	0,86	73,3

Из табл. 2 следует, что предложенный алгоритм проигрывает в быстродействии алгоритму поиска пространственных аномалий примерно в 2 раза с усреднением по аэроизображениям. При этом для предложенного алгоритма характерна значительная дисперсия времени обработки – на некоторых аэроизображениях он выигрывает в скорости до 17,2 раза в сравнении с алгоритмом пространственных аномалий.

Заключение

Разработан алгоритм поиска антропогенных объектов на аэроизображениях на основе анализа геометрических параметров контуров гомогенных областей. Показано, что по сравнению с алгоритмом поиска пространственных аномалий разработанный алгоритм позволяет уменьшить ошибки первого и второго рода в 2,3 и 1,1 раз соответственно за счет определения принадлежности к антропогенным объектам сегментов, имеющих равномерную яркость, площадь более 0,1 % от размера аэроизображения и суммарную протяженность длинных (более 10 пикселей) фрагментов контуров более 80 % от их общей протяженности, на основе значений многосегментных форм-факторов и концентрации изломов и концевых точек нормализованных по толщине контуров этих сегментов. При этом разработанный алгоритм имеет в 2,1 раза меньшую среднюю скорость работы.

Список литературы

1. Weng Q. Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications: Theory, Methods, and Applications. McGraw-Hill Education, 2009. 416 p.
2. Вежневцев А.П. Методы классификации с обучением по прецедентам в задаче распознавания объектов на изображениях // Международная конференция компьютерной графики и зрения [Электронный ресурс]. – URL: http://graphicon.ru/html/2006/proceedings/papers/fr10_34_VezhnevetsA.pdf (дата обращения: 13.02.2018).

3. Старовойтов В.В. Локальные геометрические методы цифровой обработки и анализа изображений // Минск: ИТК НАН Беларуси, 1997. 284 с.
4. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Обнаружение антропогенных зон на основе поиска пространственных аномалий в крупномасштабных спутниковых изображениях // Автометрия. 2012. № 5. С. 104–111.
5. Борзов С.М., Потатуркин А.О. Исследование эффективности пространственных признаков при классификации спутниковых изображений различного масштаба // Вест. НГУ. Сер. Информ. технологии. 2012. № 3. С. 58–65.
6. Ст. 1. Закон Респ. Бел. «Об охране окружающей среды» от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII.
7. Шевчук О.Г., Зеленин А.С. Система геометрических признаков антропогенных объектов // Матер. междунар. науч.-техн. семинара «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных». Минск, апр.–дек. 2017 г. Минск, 2017. С. 5–9.
8. Бондина Н.Н., Калмычков А.С., Кривенцов В.Э. Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации // Информатика і моделювання. Вып. 38. Х.:НТУ ХПИ. 2012. С. 15–19.
9. Shih F.Y., Cheng S. Automatic seeded region growing for color image segmentation // Image and Vision Computing. Newark. 2005. № 23. P. 877–886.
10. Canny J.A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. 8, № 6. P. 679–698.
11. Brice C.R., Fenema C.L. Scene Analysis Using Regions // Artificial Intelligence. 1970. № 1. P. 205–226.
12. Шевчук О.Г., Цветков В.Ю. Нормализация контурных линий по толщине на основе масочного анализа локальных ориентаций их фрагментов // Информатика. 2016. № 51. С. 14–24.
13. Шевчук О.Г., Крамков Д.А. Детектирование прямых линий на изображении с использованием евклидова форм-фактора // Докл. XVI Междунар. конф. «Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2017)». Минск, 16 нояб. 2017 г. Минск, 2017. С. 167–173.
14. Бородина О.Г., Цветков В.Ю. Выделение изолированных прямых линий на изображениях с использованием форм-фактора // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 1. С. 41–45.
15. Шевчук О.Г., Цветков В.Ю. Поиск изломов контуров изображений на основе расширяемых масок // Докл. БГУИР. 2016. № 7 (101). С. 221–225.
16. Шевчук О.Г. Детектирование прямых линий на основе форм-фактора // Матер. междунар. науч.-техн. семинара «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных». Ч. 2. Минск, апр.–дек. 2016 г. Минск, 2016. С. 5–10.

References

1. Weng Q. Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications: Theory, Methods, and Applications. McGraw-Hill Education, 2009. 416 p.
2. Vezhnevets A.P. Metody klassifikacii s obucheniem po precedentam v zadache raspoznavanija ob'ektov na izobrazhenijah // Mezhdunarodnaja konferencija komp'juternoj grafiki i zrenija [Electronic resource]. – URL: http://graphics.ru/html/2006/proceedings/papers/fr10_34_VezhnevetsA.pdf (access date: 13.02.2018). (in Russ.)
3. Starovojtov V.V. Lokal'nye geometricheskie metody cifrovoj obrabotki i analiza izobrazhenij // Minsk: ИТК НАН Беларуси, 1997. 284 с. (in Russ.)
4. Borzov S.M., Potaturkin O.I. Obnaruzhenie antropogennyh zon na osnove poiska prostranstvennyh anomalij v krupnomasshtabnyh sputnikovyh izobrazhenijah // Avtometrija. 2012. № 5. S. 104–111. (in Russ.)
5. Borzov S.M., Potaturkin A.O. Issledovanie jeffektivnosti prostranstvennyh priznakov pri klassifikacii sputnikovyh izobrazhenij razlichnogo masshtaba // Vest. NGU. Ser. Inform. tehnologii. 2012. № 3. S. 58–65.
6. St. 1. Zakon Resp. Bel. «Ob ohrane okruzhajushhej sredy» ot 26 nojabrja 1992 g. № 1982-XII. (in Russ.)
7. Shevchuk O.G., Zelenin A.S. Sistema geometricheskih priznakov antropogennyh ob'ektov // Materialy mezhdunar. nauch.-tehn. seminarov «Telekommunikacii: seti i tehnologii, algebraicheskoe kodirovanie i bezopasnost' dannyh». Minsk, apr. – dek. 2017 g. Minsk, 2017. S. 5–9. (in Russ.)
8. Bondina N.N., Kalmychov A.S., Krivencov V.Je. Sravnitel'nyj analiz algoritmov fil'tracii // Informatika i modeljuvannja. Vyp. 38. H.:NTU HPI. 2012. S. 15–19. (in Russ.)
9. Shih F.Y., Cheng S. Automatic seeded region growing for color image segmentation // Image and Vision Computing. Newark. 2005. № 23. P. 877–886. (in Russ.)
10. Canny J.A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. 8, № 6. P. 679–698. (in Russ.)
11. Brice S.R., Fenema S.L. Scene Analysis Using Regions // Artificial Intelligence. 1970. № 1. P. 205–226. (in Russ.)
12. Shevchuk O.G., Cvetkov V.Ju. Normalizacija konturnyh linij po tolshhine na osnove masochnogo analiza lokal'nyh orientacij ih fragmentov // Informatika. 2016. № 51. S. 14–24. (in Russ.)
13. Shevchuk O.G., Kramkov D.A. Detektirovaniye pryamykh liniy na izobrazhenii s ispol'zovaniem yevklidova form-faktora // Dokl. XVI Mezhdunar. konf. «Razvitie informatizacii i gosudarstvennoj sistemy nauchno-

- tehnicheskoy informacii (RINTI-2017)». Minsk, 16 nojab. 2017 g. Minsk, 2017. S. 167–173. (in Russ.)
14. Borodina O.G., Cvetkov V.Ju. Vydelenie izolirovannyh prjamyh linij na izobrazhenijah s ispol'zovaniem form-faktora // Izv. SPbGJeTU «LJeTI». 2015. № 1. С. 41–45. (in Russ.)
 15. Shevchuk O.G., Cvetkov V.Ju. Poisk izlomov konturov izobrazhenij na osnove rasshirjaemyh masok // Dokl. BGUIR. 2016. № 7 (101). С. 221–225. (in Russ.)
 16. Shevchuk O.G. Detektirovanie prjamyh linij na osnove form-faktora // Mater. mezhdunar. nauch.-tehn. seminara «Telekommunikacii: seti i tehnologii, algebraicheskoe kodirovanie i bezopasnost' dannyh». Ch. 2. Minsk, apr.–dek. 2016 g. Minsk, 2016. S. 5–10. (in Russ.)

Сведения об авторах

Шевчук О.Г., ассистент кафедры инфокоммуникационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Цветков В.Ю. д.т.н., доцент, заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный
университет информатики и радиоэлектроники
тел. +375-17-293-23-19;
e-mail: o.shevchuk@bsuir.by
Шевчук Оксана Геннадьевна

Information about the authors

Shauchuk A.G., assistant of the department of information and communication technologies of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Tsviatkou V.Yu., PhD, associate professor, head of the department of information and communication technologies of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian state university
of informatics and radioelectronics
tel. +375-17-293-23-19;
e-mail: o.shevchuk@bsuir.by
Shauchuk Aksana Gennad'yevna