

Исследование сегментации изображений дистанционного зондирования Земли методом Краскала и поиск одинаковых сегментов с использованием технологии перцептивного хэширования

С.В. Потапов¹, А.В. Куприянов^{1,2}, Р.А. Парингер^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

²Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН», ул. Молодогвардейская, 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация. Одним из наиболее частых способов сегментации изображений является подход, ориентированный на методы построения графа по изображению. Среди прочих, как один из качественных алгоритмов, выделяют метод поиска минимального остовного дерева (MST). В данной статье представлено описание процесса сегментации изображения методом Краскала для поиска MST на изображениях дистанционного зондирования Земли с последующим выявлением «похожих» сегментов. В основной части статьи анализируется качество разделения на сегменты в зависимости от заданного параметра сегментации. Также исследуется зависимость качества сегментации от радиуса фильтра Гаусса для размытия изображений при заданном параметре сегментации. Выявляется оптимальное значение описанных выше параметров для сильно масштабированных изображений поверхности Земли, полученных со спутника. Приводятся иллюстрации результатов разбиения.

1. Введение

Сегментация изображений является одной из широко распространённых задач, в частности, методы сегментации применяются при обнаружении дефектов поверхности, выделения объектов на медицинских изображениях, в распознавании образов, также сегментация применяется при выделении дорожных карт, в задачах классификации [1,2,3,4]. Одним из распространённых методов анализа изображений является подход, ориентированный на построение графа [1]. Обычно, классификация, в основе которой лежит значение пикселей, используется для распознавания и определения категорий (видов) растительного покрова. Способы классификации на основе пикселей используют содержание пикселей изображений и не используют в работе пространственные отношения между объектами, в то время как традиционные алгоритмы классификации не всегда позволяют определить необходимый объект и его положение в пространстве для определения его границ. Для того, чтобы данный недостаток, используются традиционные методы визуальной интерпретации. В этой статье рассматриваются принципы компьютерного зрения для определения границы между двумя областями объектов и сегментации путем представления изображения в виде графов.

2. Сегментация изображений

Алгоритмы компьютерного зрения позволяют представить изображение в виде неориентированного графа $G(V, E)$, где узлы (V) принадлежат пикселям, а рёбра (E) соединяют узлы, принадлежащие соседним пикселям. В качестве расстояния между пикселями используется адаптированная под изображения формула Евклидова расстояния:

$$\sqrt{(r_i - r_j)^2 + (g_i - g_j)^2 + (b_i - b_j)^2},$$

где r_i, g_i, b_i – значения цветовых компонент r, g, b для заданного пикселя по индексам.

Для выявления различных сегментов, вычисляется максимальный перепад внутри сегмента так, что рёбра между двумя вершинами в одном и том же компоненте будут иметь низкие веса, а ребра между вершинами в разных компонентах – более высокие. Для определения различия между сегментами, с каждым уже построенным сегментом ассоциируется некоторая величина – максимальный перепад интенсивностей внутри сегмента, т.е. самое длинное ребро MST:

$$Int(C) = \max_{e \in MST} (w(e));$$

Решающее правило для сегментов C_1 и C_2 выглядит следующим образом:

$$D = \begin{cases} true, & Diff(C_1, C_2) > Mint(C_1, C_2); \\ false, & merge\ segments \end{cases},$$

где D – признак, разграничивать сегменты или нет, $Diff(C_1, C_2)$ – текущее ребро минимальной длины, соединяющее два разрозненных сегмента:

$$Diff(C_1, C_2) = \min_{v_i \in C_1, v_j \in C_2} (weight(v_i, v_j));$$

$$Mint(C_1, C_2) = \min(Int(C_1) + T(C_1), Int(C_2) + T(C_2)), \quad (1)$$

где $T(C)$ – величина, зависящая от размера построенного сегмента, она рассчитывается по формуле:

$$T(C) = \frac{k}{|C|}.$$

$|C|$ – мощность рассматриваемого сегмента, k – параметр сегментации, задаваемый вручную и являющийся одной из целей данного исследования.

Формула (1) является выражением меньшего (из больших) перепада интенсивностей внутри одного из рассматриваемых сегментов. Существует большое количество алгоритмов, основанных на построении графов по пикселям изображений. В данной работе метод, разработанный Педро Ф.Фельзенсвальбом в 2004 году, был реализован для сегментации фрагментов увеличенных изображений дистанционного зондирования Земли [2].

3. Результаты эксперимента

Для удаления артефактов, а также стирания резких перепадов яркости пикселей, был использован фильтр Гаусса с различными параметрами с тем, чтобы определить зависимость группировки сегментов от значений радиуса фильтра. Данный выбор обусловлен возможностью подбора параметров размытия, поскольку выбор необходимого радиуса эмпирический [6]. В качестве значения параметра сегментации для данного теста выбрано значение $k = 250$. Стоит отметить, что для данного эксперимента результаты сегментации важны только в разрезе наблюдения за изменением количества сегментов в зависимости от значения радиуса фильтра. Результаты эксперимента для $\sigma = 0,2$, $\sigma = 0,4$ представлены на рисунках 1,2. Видно, что с увеличением радиуса фильтра Гаусса, количество сегментов уменьшается. Такой эффект объясняется размытием границ изображения, а также небольшим выравниванием интенсивности, что увеличивает области с небольшим перепадом цвета.

Был проведен эксперимент, в ходе которого выявлялось качество разбиения данного изображения на сегменты в зависимости от значения параметра сегментации. Цель эксперимента – выявление подходящего параметра для данного изображения. Оптимальным параметром будем называть такой, при котором визуально определенные разные объекты будут в большинстве случаев относиться к разным сегментам.

Таблица 1. Выявление оптимального значения радиуса фильтра.

№ эксперимента	σ	k value	Число сегментов
1	0,1	250	21
2	0,2	250	25
3	0,3	250	14
4	0,4	250	11
5	0,5	250	9
6	0,6	250	8
7	0,7	250	8
8	0,8	250	7
9	1	250	6

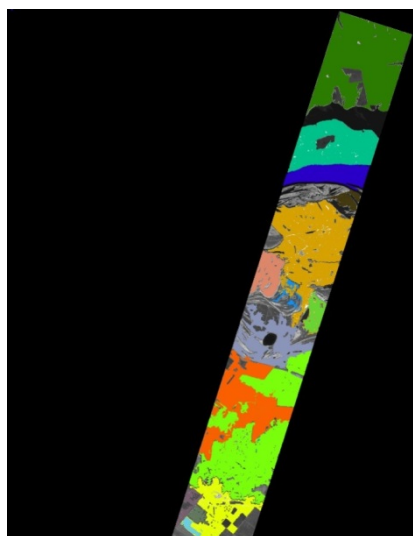


Рисунок 1. Сегментация исходного изображения без предобработки.

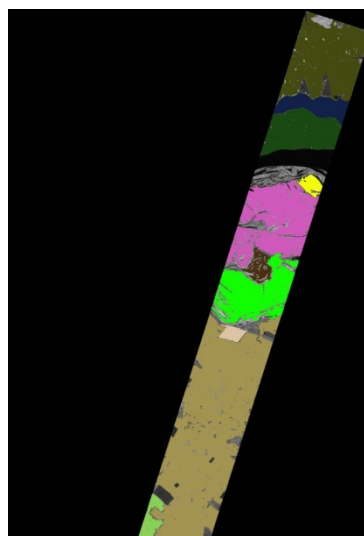


Рисунок 2. $\sigma = 0,2, k=250$.



Рисунок 3. $\sigma = 0,4, k=250$.

Таблица 2. Поиск оптимального параметра сегментации.

№ эксперимента	σ	k value	Число сегментов
1	0,2	150	48
2	0,2	185	34
3	0,2	200	32
4	0,2	225	30
5	0,2	250	25
6	0,2	275	20
7	0,2	300	15
8	0,2	325	7
9	0,2	350	6

Результаты приведены на рисунках 4-7.

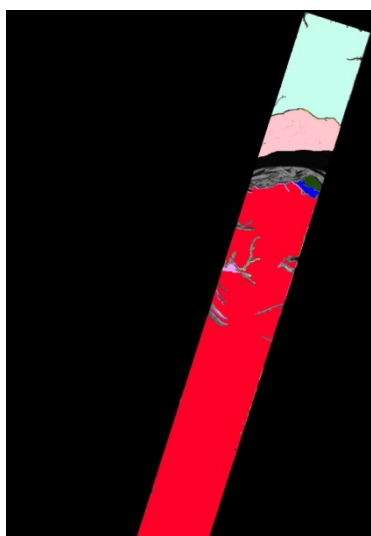


Рисунок 4. $\sigma = 0,2$ k = 350.

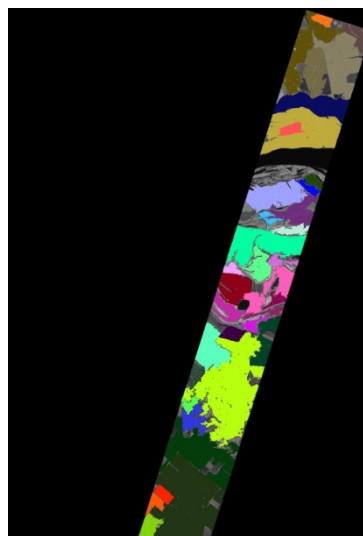


Рисунок 5. $\sigma = 0,2$ k = 200.

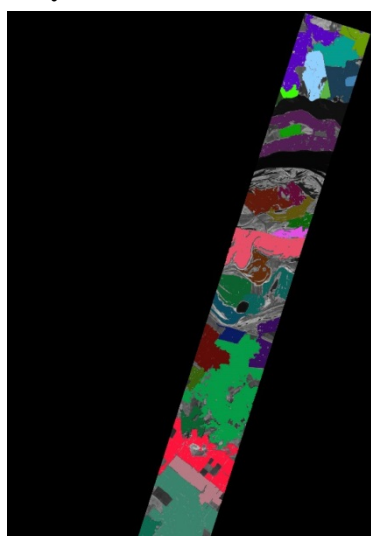


Рисунок 6. $\sigma = 0,2$ k = 185.

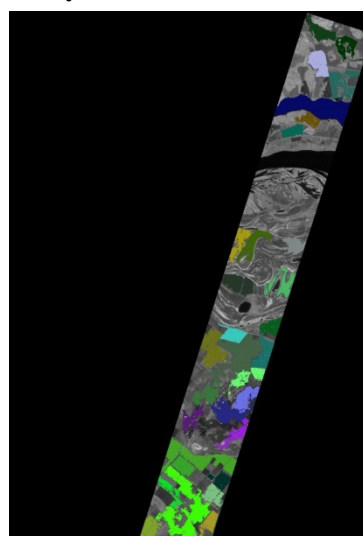


Рисунок 7. $\sigma = 0,2$ k = 100.

Оптимальное значение параметра сегментации k равно 185. Можно заметить, что некоторые участки изображения не разбились на сегменты. Это объясняется тем, что данные участки обладают слишком резким перепадом, либо они слишком малы, чтобы считать их сегментом, а не артефактом.

4. Поиск похожих сегментов с использованием перцептивного хэширования

Перцептуальные хэш-алгоритмы генерируют хэши, предназначенные для сравнения исходных данных [6,7]. Чем ближе хэш-значения таких алгоритмов, тем данные считаются более «похожими». В данной статье близость хэш-значений проверяется с использованием расстояния Хэмминга. Реализован алгоритм aHash, преимуществом которого является нечувствительность к изменению яркости или контрастности исходного изображения. Из-за высокой чувствительности к изменению цветового баланса полученных сегментов, данный алгоритм выявил необходимые «похожие» в смысле размера изображения. Результаты поиска похожих изображений среди сегментов представлены на рисунках 1-3.



Рисунок 8. «Похожие» сегменты, HammingDistance = 6.

Рисунок 9. HammingDistance = 4.

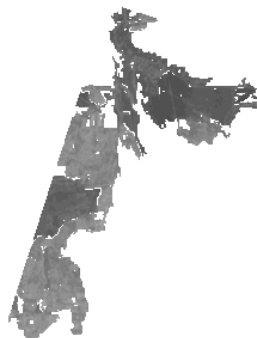


Рисунок 10. HammingDistance = 8.

Рисунок 11. - HammingDistance = 0.

Из примеров видно, что расстояние Хэмминга равно нулю не только для совершенно одинаковых изображений, но также для «похожих» в смысле их бинарного значения после пороговой обработки.

5. Заключение

Реализован метод Краскала для сегментации изображений дистанционного зондирования Земли. Найдено оптимальное значение радиуса фильтра Гаусса для изображений, выявлено значение параметра сегментации, при котором разделение на разные объекты происходит наиболее лучшим образом. Поскольку разовое применение на изображении данного алгоритма не гарантирует нужной для данной задачи сегментации, рекомендуется применять данный алгоритм несколько раз с небольшими отклонениями от выявленного оптимального значения, таким образом появившийся набор сегментов и их дальнейшая сортировка методом перцептивного хэширования, представленная в работе, выявят необходимые для любой задачи, «похожие» сегменты.

6. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства научных организаций (соглашение № 007-ГЗ/ЧЗ363/26).

7. Литература

- [1] Цапаев, А.П. Анализ aberrаций роговицы человеческого глаза / А.П. Цапаев, О.В. Кретинин // Компьютерная оптика. – 2012. – Vol. 36(3). – С. 448-450.
- [2] Felzenszwalb, P.F. Efficient graph-based image segmentation / P.F. Felzenszwalb, D.P. Huttenlocher // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 59(2). – P. 167-181.
- [3] Ravali, K. Graph-Based High resolution satellite image segmentation for object recognition / K. Ravali, M.V. Ravi Kumar, K. Venudopala Rao // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatioal Information Sciences. – 2014. – Vol. XL-8. – P. 913-917.
- [4] Pathak, P. Image Compression Algorithms for Fingerprint System / P. Pathak // IJCSI International Journal of Computer Science. – 2010. – Vol. 7(9).
- [5] Волков, А.В. Методы оценки качества фильтрации цифровых изображений / А.В. Волков // Молодёжный научно-технический вестник. – 2014. – Т. 7, № 3. – С. 2-4.
- [6] Monga, V. Perceptual Image Hashing via feature points: performance evaluation and tradeoffs / V. Monga, B.L. Evans // IEEE Trans Image Process. – 2006. – Vol. 15(11). – P. 3452-3465.
- [7] Korsunov, N.I. Recognition Method of Near-Duplicate Images Based on the Perceptual Hash and Image Key Points Using / N.I. Korsunov, D.A. Toropchin // IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing System: Technology and Applications. – 2015. – P. 262-264.
- [8] Boori, M.S. Use of AMSR-E microwave satellite data for land surface characteristics and snow cover variation / M.S. Boori, R.R. Ferraro, K. Choudhary, A. Kupriyanov // Data in Brief. – 2016. – Vol. 9. – P. 1077-1089.

Investigation of the segmentation of images of Earth remote sensing using the Kruskal method and searching for the same segments using perceptual hashing technology

S.V. Potapov¹, A.V. Kupryanov^{1,2}, R.A. Paringer^{1,2}

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

²Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

Abstract. One of the most common methods of image segmentation is the approach, oriented on methods of cutting a graph. Among others, as one of the qualitative algorithms, the method of searching for a minimal spanning tree is distinguished. This article describes the process of segmenting an image using the Kruskal method to search for MST on geo-pictures, and then identify "similar" segments. In the main part of the article, the quality of the division into regions is analyzed depending on the given segmentation threshold. Also, the dependence of the segmentation quality on the radius of the Gaussian filter for the blurring of images for a given segmentation parameter is investigated. The optimal value of the parameters described above for the highly scaled images of the Earth's surface obtained from the satellite is determined. Illustrations of the results of the decomposition are given.

Keywords: Kruskal, Graph, Perceptual hashing.