

УДК 004.9

АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ ПОЛЕЙ НА ЦИФРОВЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В.А. КОВАЛЕВ, А.А. КАЛИНОВСКИЙ, А.А. ДМИТРУК, В.А. ЛЕВЧУК

*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
Сурганова, 6, Минск, 220012, Беларусь*

Поступила в редакцию 28 октября 2015

Приведены описания функций интерактивного выделения границ сельскохозяйственных земель на аэрокосмических снимках, реализованных в разрабатываемой системе оперативного дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных земель. В основе функций лежат алгоритмы GrabCut, Watershed, LiveWire и SLIC.

Ключевые слова: космические снимки, дистанционное зондирование Земли, сегментация изображений, автоматизация.

Введение

Одной из наиболее важных задач в мире, в том числе и в Республике Беларусь, является совершенствование системы планирования использования земель и разработка региональных стратегий и программ, нацеленных на рост сельскохозяйственной продукции [1]. Реализация этих целей требует осуществления таких работ как: инвентаризация земель, создание и обновление карт земельного покрова и использования земель, отображающих современное состояние территории. Для обеспечения рационального использования сельскохозяйственных земель необходимо осуществление мониторинга земельного фонда. Оперативного решения этой задачи можно добиться при применении современных технологий, базирующихся на использовании мультиспектральных аэрокосмических данных и геоинформационных систем [2]. Методология картографирования и мониторинга земель сельскохозяйственного назначения может основываться на использовании:

- данных дистанционного зондирования Земли (ДЗ), полученных различными авиационными и спутниковыми системами;
- геоинформационных технологий, обеспечивающих возможность комплексной обработки и тематической интерпретации разновременной и разномасштабной информации из различных источников на единой пространственной основе.

Одно из заданий программы союзного государства «Мониторинг-СГ» посвящено созданию экспериментального образца системы оперативного дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных земель. Основным ее назначением является информационное обеспечение мониторинга земель и принятия управленческих решений в сфере сельскохозяйственного производства и планирования на различных уровнях.

Данная работа посвящена решению одной из задач тематического дешифрирования и классификации сельскохозяйственных земель по цифровым снимкам, а именно выделению контуров сельскохозяйственных земель, которое является первым этапом мониторинга. Разработанные функции направлены на ускорение процесса выделения контуров полей за счет автоматизации, а также улучшения ее точности. Как показал опыт использования автоматических алгоритмов выделения контуров, результат их работы на реальных аэрокосмических снимках зачастую оказывается неприемлемым, поскольку последующее

ручное уточнение результатов сегментации оператором не дает выигрыша во времени по сравнению с ручным выделением контуров полей. С другой стороны, выделение контуров полей на изображениях является субъективной задачей и, учитывая большое разнообразие видов сельскохозяйственных земель, не может быть осуществлено полностью автоматически. Указанные причины обусловили выбор интерактивных алгоритмов сегментации. В процессе программной реализации функций использовалась библиотека OpenCV [3].

Функция на основе алгоритма GrabCut

Алгоритм GrabCut [4] является развитием известного метода GraphCut [5]. Главной целью создания алгоритма было уменьшение взаимодействия с пользователем путем задания ограничивающего прямоугольника вокруг объекта интереса. Затем, исходя из цветового распределения внутри и снаружи ограничивающего прямоугольника, строится первоначальная цветовая статистика объекта и фона. В качестве цветовой модели используется смесь гауссиан со статически заданным количеством компонент. Затем поочередно производится сегментация, использующая цветовую статистику, и уточнение цветовой статистики. После каждого уточнения граф, в котором ищется минимальный разрез, перевзвешивается. Если пользователь не удовлетворен получившейся сегментацией, он может отметить некоторые пиксели, принадлежащие объекту или фону. Чем больше отличаются цвета соседних пикселей, тем вес ребра между ними меньше, а значит больше вероятность того, что разрез графа пройдет между ними. Это стимулирует прохождение разреза графа по наиболее контрастной границе.

На рис. 1, *а* показан результат сегментации космического снимка, когда в качестве фона автоматически выбрана рамка вокруг области видимости, а объект (поле) отмечен пользователем с помощью линии. На рис. 1, *б* показана окончательная сегментация, когда пользователь с помощью второй линии уточнил фон.

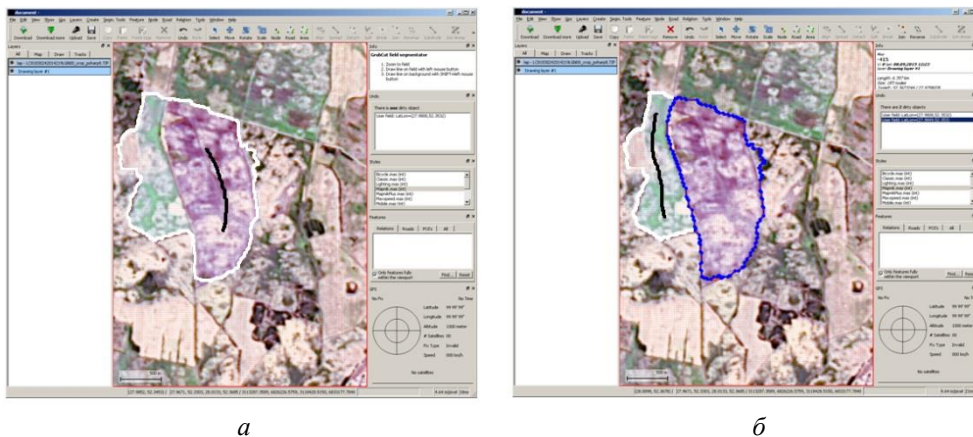


Рис. 1. Результаты сегментации земель с помощью алгоритма GrabCut:
а – предварительный; *б* – окончательный

Функция на основе алгоритма Watershed

Функция разрабатывалась для случая, когда в задаче сегментации нет явного фона. При этом может присутствовать несколько объектов интереса. Алгоритм Watershed [6] на начальном этапе конвертирует линии изображения в «горы», а однородные регионы – во «впадины». Для построения карты «гор» и «впадин» алгоритм вычисляет градиент яркости изображения. Затем последовательно заливаются водоемы, начиная от указанных пользователем (или алгоритмом) точек, пока эти регионы не сольются. Регионы, соответствующие одному маркеру, объединяются, последовательно заполняя все пиксели изображения. Таким образом, водоемы, связанные с точкой-маркером, считаются относящимися маркеру. Затем изображение сегментируется на соответствующие отмеченные регионы. Алгоритм Watershed позволяет размечать сразу несколько маркеров, выделяя множество объектов на одном изображении. Пример работы алгоритма приведен на рис. 2.

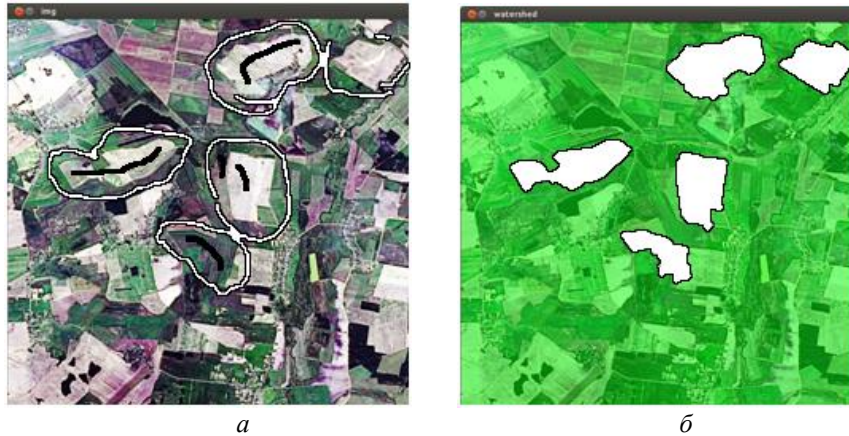


Рис. 2. Результаты сегментации земель с помощью алгоритма Watershed:
а – разметка изображения маркерами; *б* – результат работы алгоритма с выделенными полями

Функция на основе алгоритма LiveWire

Алгоритм был разработан для более эффективного интерактивного выделения границ объектов сложной (не ограничивающейся прямыми линиями формы) [7]. Работа алгоритма заключается в построении оптимального пути на графе связности изображения. Веса графа определяет функция стоимости, обратная локальному градиенту изображения (может варьироваться). В качестве точек, между которыми прокладывается маршрут, выступает точка старта (затравочная точка), которую пользователь должен выбрать самостоятельно, и текущее положение курсора мыши (рис. 3). Для облегчения точного построения оптимального пути используется автоматическое позиционирование положения курсора в локальный минимум функции стоимости.

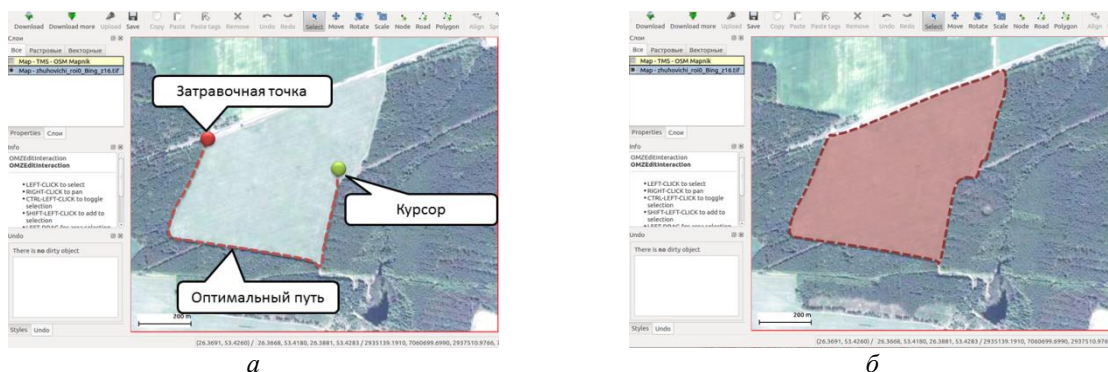


Рис. 3. Интерактивное выделение поля с использованием алгоритма LiveWire:
а – положение затравочной точки и текущее положение курсора;
б – автоматически проложенный путь между точками старта и положением курсора

Функция на основе суперпикселей SLIC

Данная функция основана на разбиении изображения на суперпикселы – небольшие относительно однородные участки, целиком покрывающие все исходное изображение. В настоящее время суперпиксельное представление используется в различных задачах, таких как локализация объектов [8], скелетизация структур [9], распознавание сцен [10]. Однако благодаря своей способности адаптивно разбивать изображение на участки, границы которых часто совпадают с очертаниями объектов на изображении, наибольшее применение суперпикселы находят в задачах сегментации изображений различных типов, от уличных сцен до медицинских снимков [11–13].

Функция сегментации участков на основе суперпикселей предполагает выполнение двух основных этапов: автоматическое разбиение изображения на сравнительно мелкие

суперпиксели (пересегментация) и последующее объединение суперпикселов в большие по размерам участки. Автоматическое разбиение изображения на суперпиксели производилось при помощи алгоритма SLIC [14], основанного на методе кластеризации k -means. Алгоритм SLIC имеет два основных управляющих параметра: начальный размер суперпикселов S_z (определяет также их количество на изображении) и параметр регуляризации Reg (определяет способность суперпикселов к деформации). Во время работы алгоритм стремится оптимальным образом разбить все множество пикселей изображения на кластеры, количество которых определяется размером изображения и параметром S_z . Управляющий параметр Reg при этом регулирует «компактность» полученных кластеров. Примеры работы алгоритма SLIC представлены на рис. 4.



Рис. 4. Результаты разбиения снимка на суперпиксели с использованием алгоритма SLIC с различными параметрами: $a - S_z = 32, Reg = 4$; $б - S_z = 64, Reg = 4$; $в - S_z = 32, Reg = 2$

Одним из важнейших свойств суперпиксельного представления изображения является согласованность границ суперпикселов с границами объектов, присутствующих на изображении. Чем лучше границы объектов на изображении совпадают с границами суперпикселов, тем проще и качественнее можно произвести сегментацию этих объектов путем объединения суперпикселов, покрывающих выбранный объект, в более крупные сегменты. В работе [14] было показано, что в общем случае с увеличением количества суперпикселов на изображении мера согласованности границ суперпикселов с заранее размеченными границами на изображениях закономерно растет. Данная мера вычисляется как отношение количества пикселей, являющихся граничными одновременно для суперпикселов и объектов, к общему количеству граничных пикселей объектов. С другой стороны, уменьшение характерного размера суперпиксела и соответствующее увеличение их количества осложняет дальнейшую работу с ними. С уменьшением размеров суперпикселов падает их информативность, а отсегментировать объект, состоящий из слишком большого числа маленьких суперпикселов, зачастую сложнее, чем в случае больших участков.

Для демонстрации влияния управляющих параметров алгоритмов на согласованность границ был использован цифровой космический снимок размером 468×701 пиксел (рис. 5, a) и соответствующая ему разметка земельных участков (рис. 5, $б$).

Мера согласованности границ вычислялась следующим образом. Для каждой комбинации параметров исходное изображение разбивалось на суперпиксели, строилось бинарное изображение их границ (рис. 5, $в$). К полученному бинарному изображению трижды применялась морфологическая процедура дилатации. Таким образом, границы, отстоящие друг от друга на менее чем на три пиксела, считались совпадающими. Карта совпадений границ строилась путем конъюнкции карты границ земельных участков и дилатированной карты границ суперпикселов (рис. 5, $д$). Величина меры согласованности вычислялась как отношение количества ярких пикселей карты совпадений к количеству ярких пикселей карты границ земельных участков. Вычисленная таким образом величина могла принимать значения в пределах от 0 до 1.

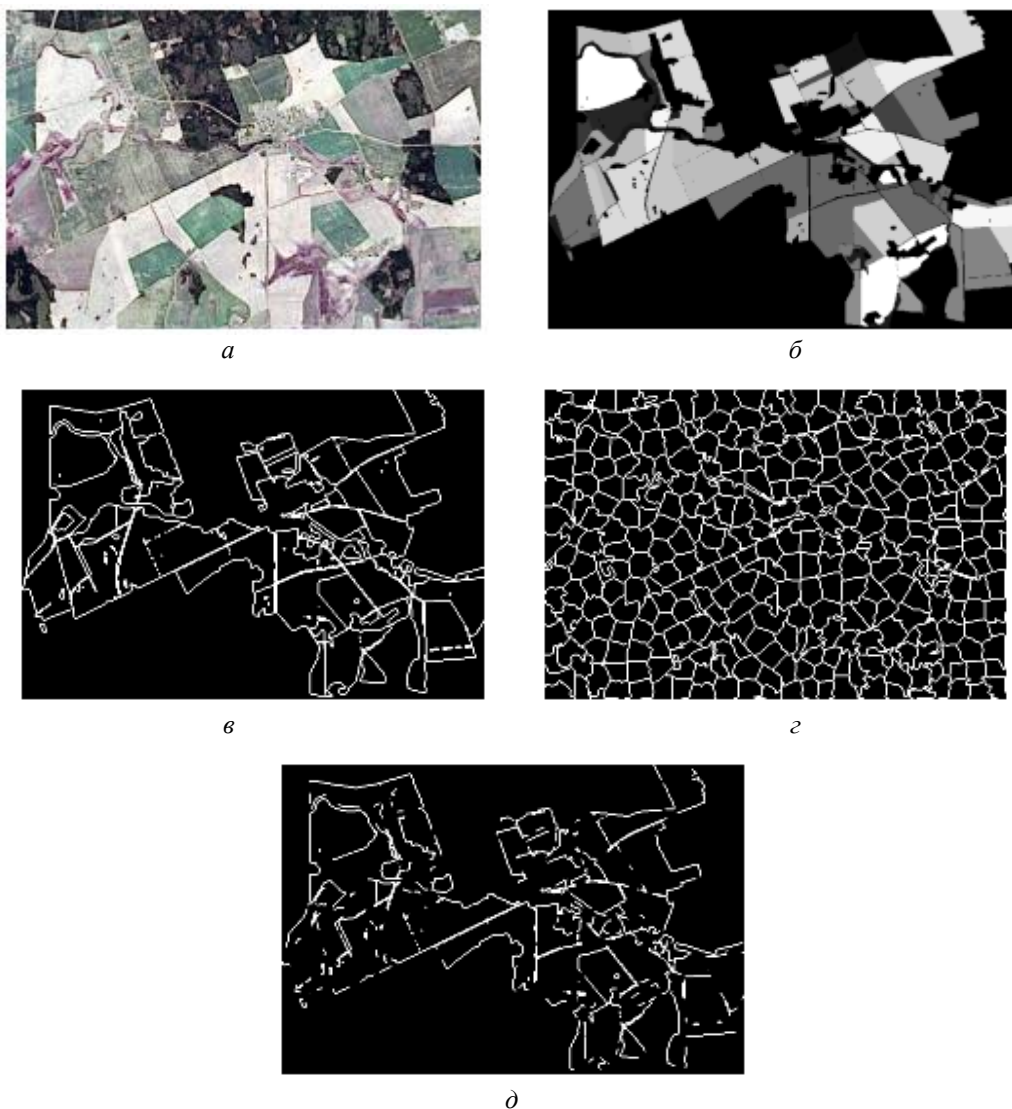


Рис. 5. Данные, использованные для экспериментов: *a* – исходное изображение; *б* – разметка земельных участков; *в* – границы земельных участков; *г* – границы суперпикселей изображения; *д* – совпадение границ суперпикселей с границами земельных участков

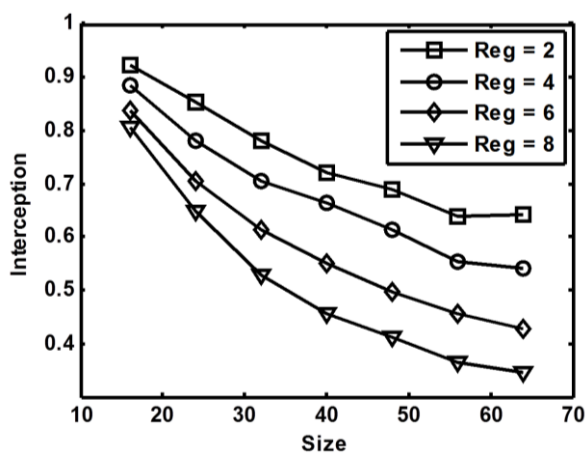


Рис. 6. Зависимости согласованности границ от управляющих параметров

На рис. 6 приведены графики зависимости меры согласованности границ от управляющих параметров алгоритма. Из приведенных графиков можно сделать вывод, что

согласованность границ в общем случае ухудшается при увеличении характерного размера суперпиксела (уменьшении их количества), а также при увеличении значения параметра регуляризации. С другой стороны, при уменьшении значений упомянутых выше параметров меняется сам характер границ суперпикселей, что не отражается на значении величины согласованности границ. При использовании экстремальных значений управляющих параметров границы суперпикселей могут стать чрезмерно неровными, что значительно затруднит работу с ними.

Заключение

В представленной работе описаны функции полуавтоматической сегментации границ сельскохозяйственных земель на аэрокосмических снимках. Их использование позволит существенно ускорить выделение контуров полей, а также повысить его точность.

AUTOMATIC ALGORITHMS OF AGRICULTURAL FIELDS SEGMENTATION ON AERIAL IMAGES FOR REMOTE SENSING AND ENVIRONMENTAL MONITORING

V.A. KOVALEV, A.A. KALINOVSKY, A.A. DMITRUK, V.A. LIAUCHUK

Abstract

The purpose of this paper is to present functions for interactive segmentation of agricultural fields on aerial images which were implemented in a specialized software package for remote sensing and environmental monitoring. The functions are based on GrabCut, Watershed, LiveWire and SLIC algorithms.

Список литературы

1. *Александрович Я.М., Глушень М.Т.* // Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. 2015. № 4. С. 32–49.
2. *Головатый С.Е., Савченко С.В., Позняк С.С. и др.* Мониторинг и использование земельных ресурсов: учебное пособие. Минск, 2009.
3. Open Source Computer Vision Library. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://opencv.org>. – Date of access: 09.09.2015.
4. *Rother C., Kolmogorov V., Blake A.* // ACM Transactions on Graphics (TOG). 2004. № 3. P. 309–314.
5. *Boykov Y.Y., Jolly M.P.* // Proc. of the 8-th IEEE International Conference ICCV. 2001. № 1. P. 105–112.
6. *Osma-Ruiz V., Godino-Llorente J., Sáenz-Lechón N. et al.* // Pattern Recognition. 2007. № 3. P. 1078–1090.
7. *Barrett W.A., Mortensen E.N.* // Medical image analysis. 1997. № 4. P. 331–341.
8. *Fulkerson B., Vedaldi A., Soatto S.* // Proc. of the 12-th Int. Conf. on Computer Vision. 2009. Kyoto, Japan. P. 670–677.
9. *Levinshtein A., Sminchisescu C., Dickinson S.* // Proc. of the 12-th Int. Conf. on Computer Vision. 2009. Kyoto, Japan. P. 117–134.
10. *Li X., Guo Y.* // Proc. of the British Machine Vision Conference. 2012. P. 1–11.
11. *Gao Q., Asthana A., Tong T. et al.* // Proc. of SPIE 9034, Medical Imaging 2014: Image Processing. 2014. Vol. 9034. P. 903407–903407-6.
12. *Micusik B., Kosecka J.* // IEEE Workshop on Video-Oriented Object and Event Classification (VOEC). Japan. 2009. P. 625–632.
13. *He X., Zemel R., Ray D.* // Proc. of the 9-th European Conference on Computer Vision. Austria. 2006. P. 338–351.
14. *Achanta R., Shaji A., Smith K. et al.* SLIC Superpixels Compared to State-of-the-art Superpixel Methods // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2012. Vol. 34(11). P. 2274–2282.