

Ф.Р. ГАЛЬЯНО, М.С. ПЕЛЕВИН, В.И. ЕРМОЛАЕВ, М.В. ЦВЕТКОВ
**УСКОРЕННОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ
СЕКМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ НЕКУМУЛЯТИВНЫХ
КРИТЕРИЕВ СЛИЯНИЯ СЕКМЕНТОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ
ДАННЫХ О ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКЕ**

Гальяно Ф.Р., Пелевин М.С., Ермолаев В.И., Цветков М.В. **Ускоренное вычисление иерархической сегментации изображений для некумулятивных критериев слияния сегментов при обработке данных о ледовой обстановке.**

Аннотация. В статье предлагается метод ускорения алгоритмов сегментации изображения для класса алгоритмов наращивания областей в случае, когда функционал, определяющий необходимость слияния сегментов, не требует пересчёта признаков сегмента на каждой итерации.

Ключевые слова: сегментация, минимальное остовное дерево, алгоритм Крускала.

Galiano P.R., Pelevin M.S., Ermolaev V.I., Thvetkov M.V. **The fast computation of hierarchic image segmentation for uncumulative segments union criterions while processing ice situation data.**

Abstract. The method of an acceleration of algorithms for hierarchic image segmentation is proposed. The algorithm is applied when functionality of the decision rule does not need segments features recalculation on an each iteration.

Keywords: segmentation, minimal spanning tree, Kruskal algorithm.

1. Введение. В задачах обработки данных дистанционного зондирования Земли с целью оценивания ледовой обстановки одним из ключевых этапов обработки является анализ изображений полученных с помощью различных технических средств. Анализ изображений включает три этапа [1, 2]:

- 1) сегментацию изображения;
- 2) описание сегментов;
- 3) классификацию сегментов.

Этап сегментации требует наибольших временных затрат в силу большого объёма данных, предоставляемых на обработку. Современные алгоритмы сегментации позволяют за конечное время получать некоторое разбиение на области при заданном параметре, другими словами, получать только одно из возможных разбиений. Однако, как правило, для последующего анализа требуется иметь возможность получать информацию о виде разбиений, полученных после применения алгоритма сегментации с различными параметрами.

Решение задачи повышения оперативности и информативности процесса обработки данных дистанционного зондирования Земли лежит в плоскости совершенствования существующих алгоритмов

сегментации за счет использования более эффективных методов (алгоритмов) формирования массива исходных данных для их последующего анализа.

Целью статьи является описание таких усовершенствованных методов (алгоритмов) и анализ их преимуществ.

2. Алгоритм ускоренных вычислений. Во многих случаях используемые алгоритмы сегментации являются иерархическими, т.е. при увеличении некоторого параметра алгоритма обработки области, полученные при меньшем параметре, либо сохраняют форму, либо объединяются с соседними областями. К таким алгоритмам относят, например, алгоритм «заливки», который объединяет соседние точки изображения, когда разность между яркостями смежных точек не превышает заданного значения порога. Графическая интерпретация иерархии приведена на Рис. 1.

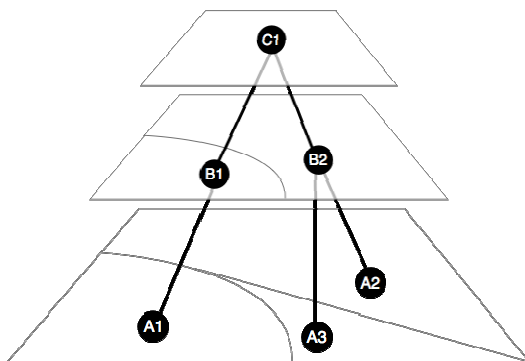


Рис. 1. Иерархия разбиений.

Хранение одного разбиения изображения возможно в структуре данных, получившей название *системы непересекающихся множеств*, на которой определены три основных операции [4] (Рис. 2):

1. Создание множества, содержащего единственный элемент, который не может появиться ни в каком другом множестве.
2. Определение множества, т.е. возможность определить по некоторому элементу то множество, к которому он принадлежит. Как правило, идентификатором множества выступает один из элементов множества.
3. Объединение двух множеств в одно с назначением нового идентификатора этому множеству (обычно новый

идентификатор выбирается из двух идентификаторов предыдущих множеств).

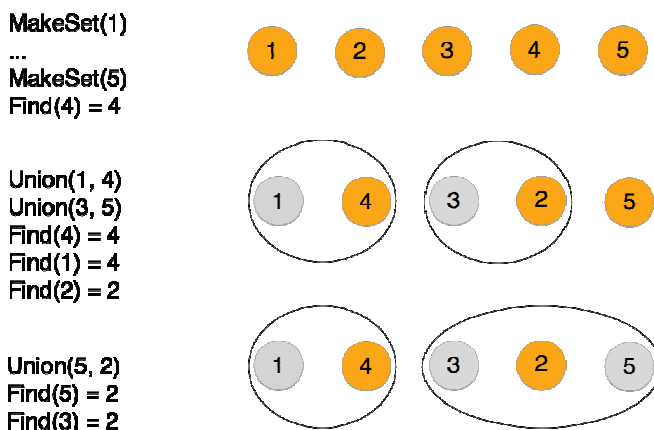


Рис. 2. Операции на системе непересекающихся множеств.

Таким образом, система непересекающихся множеств позволяет естественным образом сохранять информацию о разбиениях изображения. Для реализации такой структуры обычно используют индексированные динамические деревья, реализация которых представляет массив, каждый элемент которого указывает на индекс элемента, являющийся для него родителем в терминах деревьев. Корень дерева — точка изображения, ссылающаяся на собственную линейную координату. В силу этого определения появляется возможность за один проход массива определить количество множеств и их идентификаторы [4].

Если добавить к массиву индексов дополнительный массив [3], указывающий значения параметра, при котором два элемента множества были объединены, то полученная реализация позволит за один проход определить вид разбиения, сформированного при определённом значении параметра. Это достигается путём «сброса» индексов у тех элементов, элементов дерева, для которых номер иерархии превышает заданную величину.

Для построения иерархии изображения достаточно, начав с минимально доступного значения параметра, постепенно его увеличивая, получать разбиения для этого значения, фиксируя

в системе непересекающихся множеств значения этого параметра вместе с теми элементами, которые объединяются в одно множество.

В алгоритмах сегментации, которые соответствуют требованиям иерархичности, каждое значение массива индексов меняется не более одного раза при построении всех уровней сегментации. Эта особенность и позволяет использовать описанный алгоритм для получения определённого разбиения из иерархии.

При таком построении иерархии алгоритм полностью повторяет алгоритм Крускала, который находит минимальное остовное дерево на связанном графе. Для исходного изображения при этом используется четырёхсвязанность — каждая точка изображения, кроме граничных, связана с точками слева, справа, сверху и снизу. Сами точки изображения являются при этом вершинами.

К определённому классу алгоритмов сегментации, который можно определить как некумулятивный, применим алгоритм поиска минимального остовного дерева для построения иерархии изображения.

Некумулятивным алгоритм сегментации является тогда, когда решение об объединении двух точек может быть принято независимо от того, какие объединения были сделаны до этого. Алгоритм заливки относится к классу некумулятивных, так как решающее правило, которое используется при его реализации, основано на сравнении некоторого порога разности известных в любой момент времени параметров двух точек.

Исходный алгоритм, предложенный в начале статьи, зависит от количества допустимых значений параметров, поэтому изображение приходится обходить столько же раз, сколько существует различных допустимых значений параметра алгоритма сегментации. Предлагаемый алгоритм поиска минимального остовного дерева позволяет за один проход по изображению собрать всю необходимую информацию, после чего возможно построение иерархии.

3. Вычислительный эксперимент. Алгоритм вычисления минимального остовного дерева требует дополнительно хранить в памяти информацию о рёбрах графа. Поэтому программа, реализующая предложенный алгоритм, расходует примерно в 4 раза больше памяти, чем программа, реализующая исходный алгоритм (Рис. 3):

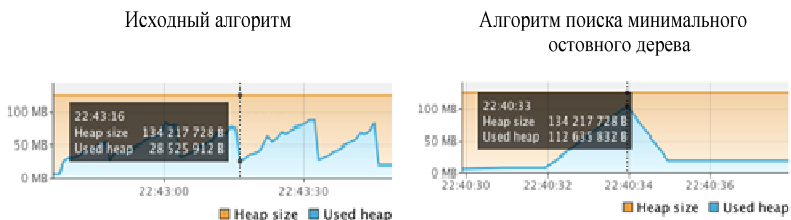


Рис. 3. Сравнение объёма занимаемой памяти.

Однако скорость работы предложенного алгоритма значительно выше из-за того, что программе нет необходимости проходить по изображению несколько раз. На небольших изображениях, где количество рёбер не так велико, ускорение, которое определяется как отношение времени работы исходного алгоритма к скорости работы предложенного алгоритма, выше. Ускорение медленно уменьшается при увеличении размеров изображения, но остаётся весьма значимым даже для изображения, размеры которого достигают 4000×4000 точек.

На Рис. 4 приведены оценки ускорения (вертикальная ось) в зависимости от размера изображения, имеющего форму квадрата (размеры стороны квадрата — горизонтальная ось). Кривой зелёного цвета обозначены результаты теоретической оценки, окружностями красного цвета — результаты вычислительного эксперимента.

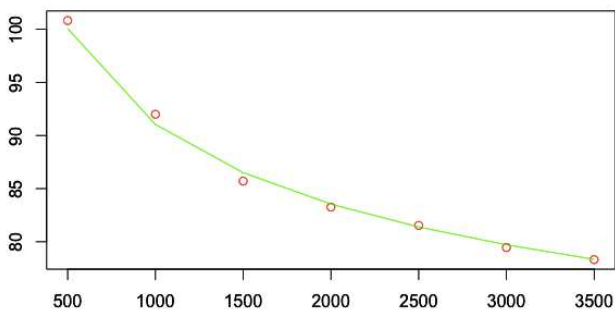
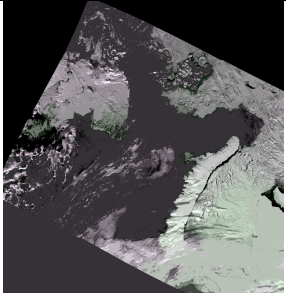
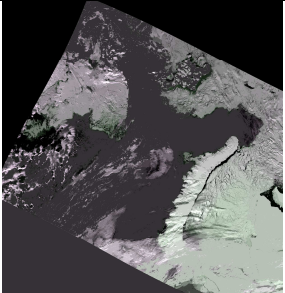


Рис. 4. Оценка скорости работы алгоритма.

На небольших изображениях (до 500×500 точек) величина ускорения, получаемого за счёт использования предложенного алгоритма — более чем на 2 порядка. В таблице приведены

результаты работы алгоритма для изображения размером 512×512 точек.

Таблица 1. Пример работы различных алгоритмов

	Обычная заливка	Алгоритм Крускала
Общее время построения	277.53 сек.	3.74 сек.
Ускорение	74.29	
Сравнение изображений с разных уровней		
		

Заключение. Описанный в статье усовершенствованный алгоритм сегментации позволяет существенно снизить требования ко времени выполнения сегментации, которая занимает в большинстве случаев менее 1 с., что предоставляет возможность использовать данный алгоритм в системах реального времени. Использование индексированных динамических деревьев позволяет при небольшом объёме доступной оперативной памяти эффективно хранить и вычислять иерархию.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982. 480 с.
3. Харинов М. В. Запоминание и адаптивная обработка информации цифровых изображений. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006. 138 с.
4. Jeff Erickson. Algorithms, Department of Computer Science University of Illinois at Urbana-Champaign. URL: <http://www.cs.uiuc.edu/~jeffe/teaching/algorithms> (дата обращения: 12.06.2013).

Гальяно Филипп Робертович — к.т.н.; сотрудник ЗАО СПИИРАН-НТБВТ. Область научных интересов: обработка изображений и распознавание образов. Число научных публикаций — 13. galiano@oogis.ru; СПИИРАН-НТБВТ, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; р. тел.: +7 911 835-26-59.

Galiano Philip Robertovich — Ph.D.; specialist, "Hi Tech Research and Development Office Ltd." (HTR&DO). Research interests: image processing and pattern recognition. The number of publications — 13. galiano@oogis.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7 911 835-26-59.

Пелевин Максим Сергеевич — аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Санкт-Петербургского электротехнического университета «ЛЭТИ». Область научных интересов: обработка и анализ цифровых изображений, разработка алгоритмов обработки изображений и структур для их хранения. Число научных публикаций — 1. maks.pelevin@oogis.ru; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, РФ; п. тел.: +7 911 835-26-59. Научный руководитель — Н.А.Мустафин.

Pelevin Maksim Sergeevich — Ph.D. student, faculty of Computer Technology and Informatics, St.Petersburg electrotechnical university «LETI». Research interests: digital image processing and analyzing, designing and development algorithms and data structures. The number of publications — 1. maks.pelevin@oogis.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7 911-835-26-59. Scintific advisor — N.A. Mustafin.

Ермолаев Виктор Иванович — к.т.н.; старший научный сотрудник лаборатории объектно-ориентированных геоинформационных систем СПИИРАН. Область научных интересов: теория построения интеллектуальных геоинформационных систем. Число научных публикаций — 48. ermolaev@oogis.ru; СПИИРАН, 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; п. тел.: +7(812)355-9682, факс +7(812)355-9674.

Ermolaev Viktor Ivanovich — Ph.D., senior researcher, Laboratory of Object-Orient Geoinformation Systems, SPIIRAS. Research interests: intelligent geographic information systems building theory. The number of publications — 48. ermolaev@oogis.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; +7(812)355-9682, fax +7(812)355-9674.

Цветков Михаил Владимирович — к.т.н.; старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский электротехнический университет «ЛЭТИ». Область научных интересов: теория построения интеллектуальных геоинформационных систем. Число научных публикаций — 19. tmv@oogis.ru; СПбГЭТУ «ЛЭТИ», ул. Профессора Попова, д.5., РФ; п. тел.: +7(812)355-9682, факс +7(812)355-9674.

Thvetkov Mihail Vladimirovich — Ph.D., senior researcher, St.Petersburg electrotechnical university «LETI». Research interests: intelligent geographic information systems building theory. The number of publications — 19. tmv@oogis.ru; SPb ETU "LETI", 5, str. prof. Popova, St.Petersburg, Russia; +7(812)355-9682, fax +7(812)355-9674.

Поддержка исследований. Работа выполнена в СПбГЭТУ при финансовой поддержке работ по проекту Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках договора № 02.G25.31.0058 от 12.02.2013 г.

Рекомендовано лабораторией объектно-ориентированных геоинформационных систем, заведующий лабораторией Попович В.В., д.т.н., проф.
Статья поступила в редакцию 13.09.2013.

РЕФЕРАТ

Гальяно Ф.Р., Пелевин М.С., Ермолаев В.И., Цветков М.В. **Ускоренное вычисление иерархической сегментации изображений для некумулятивных критериев слияния сегментов при обработке данных о ледовой обстановке.**

В задачах обработки данных дистанционного зондирования Земли с целью оценивания ледовой обстановки одним из ключевых этапов анализа данных является анализ изображения, состоящий из трёх этапов:

- 1) сегментации изображения;
- 2) описания сегментов;
- 3) классификации сегментов.

Этап сегментации требует наибольших временных затрат в силу большого объёма данных, предоставляемых на обработку, поэтому сокращение времени выполнения сегментации позволяет снизить общее время обработки данных ДДЗ.

Сегментатор в ходе работы формирует так называемую иерархию приближений, которая может быть сохранена в структуре данных, получившей название «система непересекающихся множеств». Замечено, что последовательное создание иерархии совпадает с алгоритмом Крускала или поиском минимального остовного дерева (МОД).

В процессе исследования был определён класс сегментаторов, для которых возможно применение алгоритмов поиска МОД.

Такой подход позволил существенно увеличить скорость работы сегментации, а использование системы непересекающихся множеств — сократить потребление памяти вычислительной системы.

Планируется дальнейшая работа для снятия определённых ограничений, таких как:

1. Алгоритм применим только к определённому классу сегментаторов.
2. Результат работы является исключительно иерархией, что несколько ограничивает класс применимых алгоритмов.

SUMMARY

Galiano P.R., Pelevin M. S., Ermolaev V.I., Thvetkov M.V. **The fast computation of hierarchic image segmentation for uncumulative segments union criterions while processing ice situation data.**

In problems of Earth remote sensing data processing for the purpose of ice situation estimation the key image analysis stages are:

1. image segmentation;
2. segments description;
3. segments classification.

The segmentation stage demands the greatest processing time due to large volume of the data provided for processing, therefore reduction of segmentation time allows to significantly lower the total time of remote sensing data processing.

During work the segmentation algorithm forms so-called hierarchy of approximations which can be kept in the so-called "disjoint set data structure". It is noticed that consecutive creation of hierarchy coincides with Kruskal's algorithm of minimum spanning tree (MST) calculation.

During the study, the segmentators class, for which is possible to use MST calculation algorithms was defined. Such approach allowed to increase significantly the speed of work of segmentation, and use of disjoint set system — to reduce memory consumption of the computing system.

Is planned further work for removal of certain restrictions, such as:

1. The algorithm is applicable only to a certain class of segmentator.
2. The result of work is only hierarchy, that limits the class of useful algorithms.