УДК 004.932.2

АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Хатеневич А.А.[1], магистрант гр.455801

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники[1]
г. Минск, Республика Беларусь

Перцев Д.Ю. – канд. техн. наук, доцент

Аннотация. В статье рассмотрены основные алгоритмы сегментации изображений. Проведен анализ и сравнение этих алгоритмов, выбран алгоритм, подходящий для решения задачи сегментации спутниковых снимков.

Ключевые слова. сегментация, спутниковые снимки, метод водораздела, алгоритм сдвига среднего значения, метод разрастания областей.

Сегментация в контексте обработки изображений – это процесс разделения цифрового изображения на несколько сегментов, так называемых суперпикселей (множество пикселей). Целью ставится изменение изображения таким образом, чтобы упростить процесс анализа и сделать его более эффективным [1]. Также метод сегментации используется для выделения объектов, границ, линий, кривых на изображениях. Результатом является множество сегментов, которые вместе покрывают все изображение, или множество контуров, выделенных из изображения. Отличительным свойством сегмента является схожесть пикселей по одной или нескольким специфическим характеристикам (цвет, яркость, текстура). Соседние множества пикселей, в свою очередь, имеют значительные отличия по этим характеристикам.

Для осуществления процесса сегментации изображений разработан ряд универсальных алгоритмов и методов. Из-за того, что универсального решения задачи сегментации изображений не существует, при работе в определенной предметной области необходимо проведение анализа существующих методов и понимание специфики данных этой области, на основе чего производится разработка решения поставленной задачи.

Целью данной статьи является анализ существующих методов в контексте решения задачи сегментации спутниковых изображений, проведение сравнительных тестов на реальных данных и последующий выбор метода, подходящего для прикладного применения.

В качестве тестовых данных использовались реальные спутниковые снимки снятые на аппаратуру с разрешением 2 метра (1 пиксель отражает 2 метра земной поверхности). Исходное изображение выполнено в градациях серого, глубина цвета составляет 10 бит/пиксель, что позволяет получить более подробное изображение с точки зрения цветовых деталей.

Алгоритм сегментации по водоразделам (WaterShed). Данный метод основан на представлении изображения как некоторой топографической поверхности, где высоты относительно некоторого уровня представлены значениями яркости пикселей. Такой подход позволяет поделить изображение на «вершины» и «равнины». Равнинами называются области изображения, где отсутствуют перепады яркости пикселей. Вершины же появляются в местах перепада интенсивности, то есть абсолютное значение градиента яркости минимально [2]. После этого определяются координаты глобального минимума яркости на изображении и начинается постепенное «заполнение водой», что подразумевает поочередное добавление слоев пикселей к сегментам. В местах соприкосновения данных сегментов (вершинах) происходит построение перегородок, которые называются водоразделами и препятствуют объединению отдельных участков в единый сегмент.

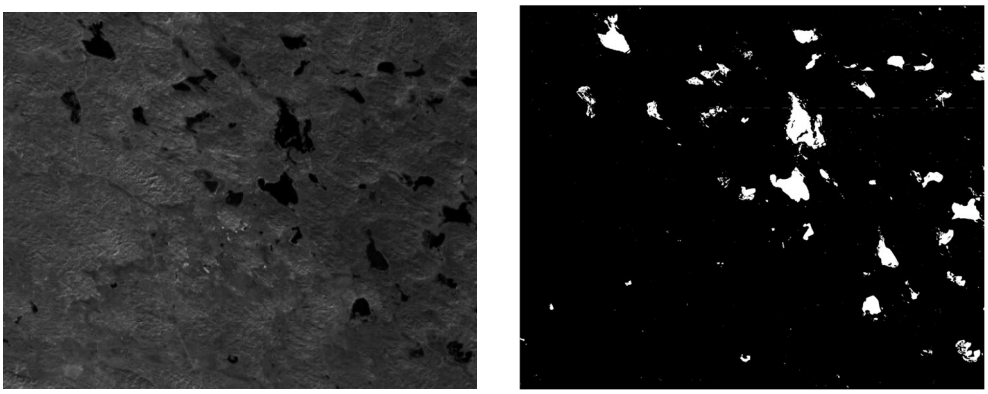
Вышеописанный алгоритм является базовым описанием метода водоразделов, который корректно работает лишь при наличии небольшого количества локальных минимумов на изображении, что подразумевает отсутствие мелких деталей. Большое количество деталей приводит к избыточному разбиению на сегменты в тех местах, где результат обработки должен выглядеть как единый сегмент. Для решения данной проблемы существуют следующие способы:

1. Применение последовательных шагов эрозии и дилатации перед началом работы алгоритма, с целью избавления от мелких деталей.

2. Применение так называемого маркерного водораздела.

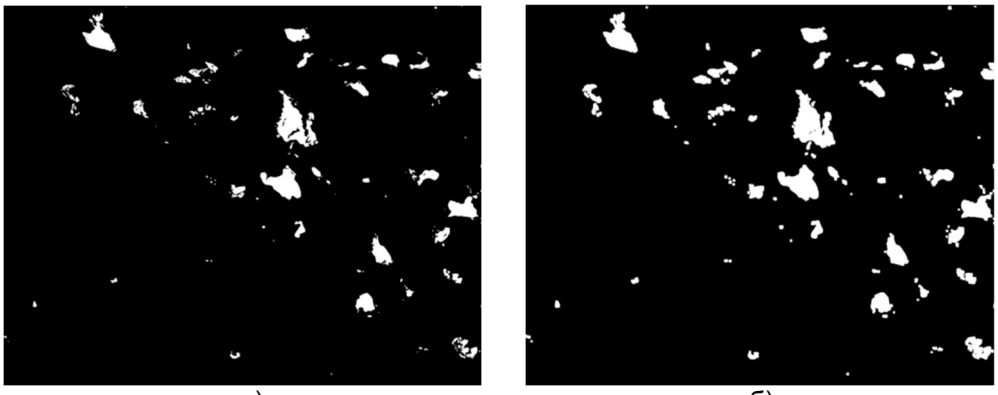
Маркерный водораздел подразумевает заблаговременное нанесение маркеров на изображение. Наносимые метки имеют значения яркости равные глобальному значению минимума, что приводит к тому, что делиться на сегменты будут только области, имеющие маркера, а прочие участки будут объединены. С целью проведения экспериментов метод водоразделов был применен к изображению, которое перед этим прошло этапы эрозии и дилатации, что позволило убрать шумы и избавиться от мелких деталей, и дополнительно были нанесены маркеры на изображение, что помогло достичь

удовлетворительного результата. На рисунке 1 приведены исходные тестовые данные и их представление в бинарном виде, которое было получено путем установки некоторого порога яркости (в примере порог яркости составил 10) и последующего присваивания каждому пикселю либо значения 0 (черный) при превышении порогового значения, либо значения 255 (белый) при меньшем значении. На рисунке 2 представлены промежуточные шаги алгоритма: этап эрозии и этап дилатации. Применение данных методов позволило убрать с изображения шумы и мелкие детали, которыми в контексте поставленной задачи можно пренебречь. Полученные маркеры изображения и результат работы метода водоразделов изображены на рисунке 3. При тестировании метод применялся для решения задачи поиска водных массивов на поверхности Земли.



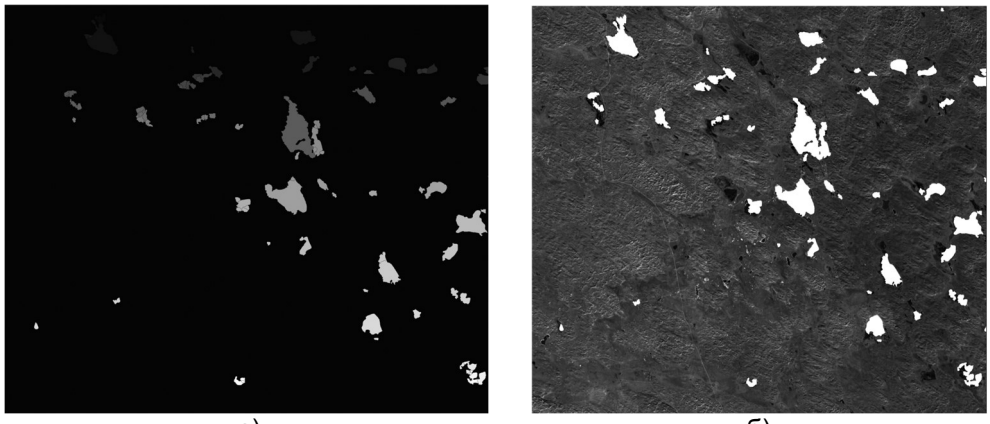
а) б)

Рисунок 1 – Исходные данные метода водоразделов: а – данные в градациях серого; б – данные в бинарном виде



а) б)

Рисунок 2 – Результат применения эрозии и дилатации к входным данным: а – данные после эрозии; б – данные после дилатации



а) б)

Рисунок 3 – Маркеры сегментов и результат работы алгоритма водоразделов: а – маркеры сегментов; б – результат работы алгоритма

Алгоритм сдвига среднего значения (MeanShift). MeanShift – это техника анализа пространства признаков для определения местоположения максимума плотности вероятности, иначе именуемый алгоритмом поиска моды. Данный метод основан на группировке объектов со схожими признаками. Пиксели, имеющие близкие значения своих характеристик объединяются в один сегмент, что позволяет получить на выходе изображение с однородными областями. Например, если в качестве координат в пространстве признаков взять координаты пикселя (x, y) и компоненты RGB пикселя, то изобразив пиксели в пространстве признаков, можно заметить сгущения в определенных местах, которые и являются сегментами изображения (см. рисунок 4).

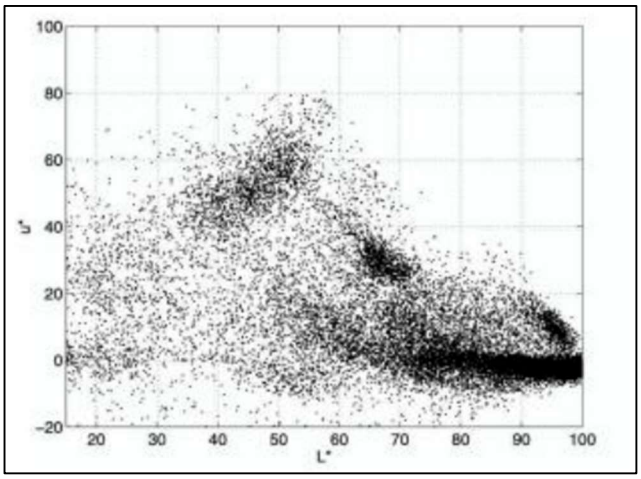
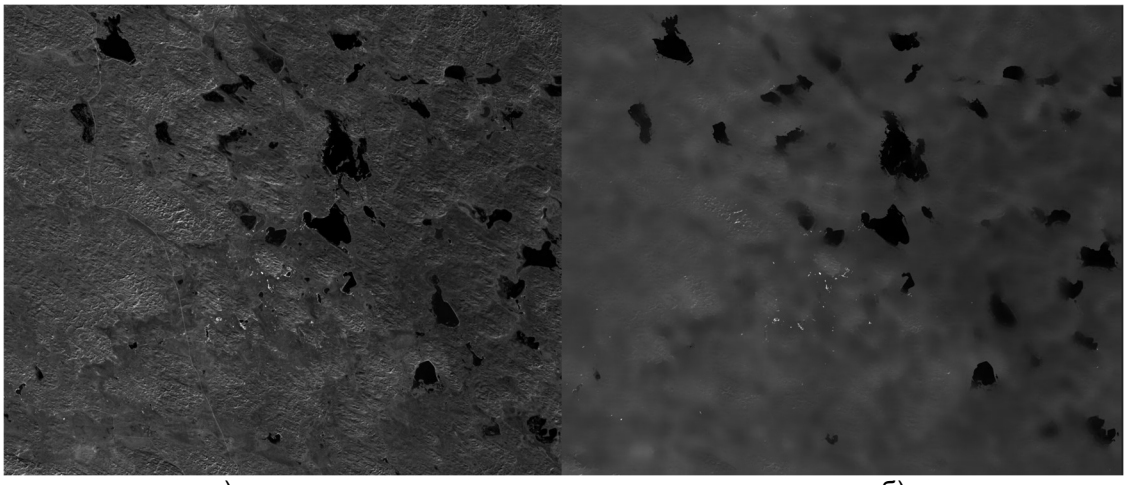


Рисунок 4 – Сгущения пикселей в пространстве признаков

Для упрощения описания сгущения точек была введена функция плотности f(x), где x – это вектор признаков пикселей. Максимумы функции f(x) расположены в точках сгущения пикселей изображения в пространстве признаков. Пиксели, которые принадлежат одному локальному максимуму, объединяются в один сегмент. В итоге, для нахождения центра сгущения отдельной точки, надо двигаться по градиенту функции f(x) для нахождения ближайшего локального максимума.

Дополнительно при работе с данным алгоритмом необходимо выбрать вектор признаков под конкретную задачу. Если в качестве признаков выбираются координаты пикселей и интенсивность цвета, то в один сегмент будут объединяться пиксели с близким цветом и расположением. Соответственно, при выборе другого вектора признаков, деление на сегменты на идентичном изображении изменится.

Недостатком этого способа сегментации является то, что алгоритм не справится с задачей при попытке объединения в один сегмент нескольких областей, которые имеют сильное различие по характеристикам из пространства признаков. Преимущество MeanShift заключается в том, что он хорошо справляется с выделением однородного по цвету объекта на пестром фоне. Результат работы метода представлен на рисунке 5.



а) б)

Рисунок 5 – Результат работы метода сдвига среднего значения: а – исходные тестовые данные; б – результат работы метода MeanShift

Метод разрастания областей или метод «наводнения» (FloodFill). Данный метод используется для выделения однородных по цвету областей. Для выполнения этого алгоритма выбирается начальный пиксель и задается интервал изменения цвета соседних пикселей относительно исходного. Процесс объединяет пиксели в один сегмент путем заливки их одним цветом при условии их попадания в заданный диапазон. В результате работы получается сегмент, залитый определенным цветом. Данный алгоритм полезен для заливки областей со слабым перепадом цвета и однородным фоном. Одним из способов применения метода FloodFill является выявление повреждений на краях объекта. К примеру, если, заливая однородные области определенным цветом, алгоритм заполняет соседние регионы, то это указывает на то, что целостность границы между двумя областями нарушена.

При решении задач в контексте обработки спутниковых снимков данный алгоритм может быть полезен, например, при определении границ озер и поиске точек контакта нескольких водоемов на карте, так как при наличии пересечений, они будут окрашиваться в один цвет. Для корректной работы FloodFill требуется передача координат пикселей, расположенных в сегментах, границы которых необходимо найти (см. рисунок 6). По этой причине для тестирования данного алгоритма в качестве входных данных были переданы координаты точек лишь некоторых областей.

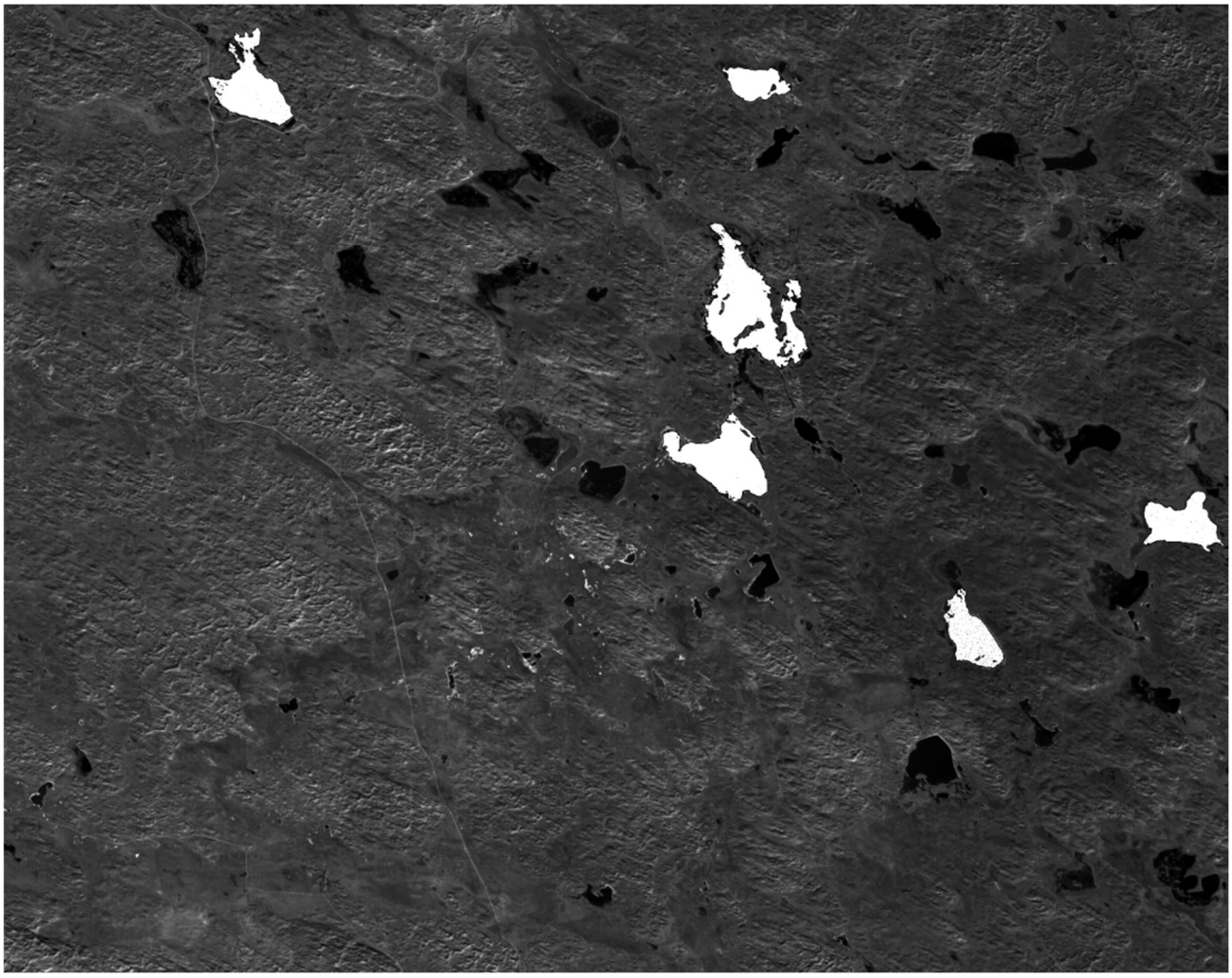


Рисунок 6 – Результаты работы FloodFill

Сравнительный анализ результатов работы методов. Метод разрастания областей удовлетворительным образом решает свою задачу по поиску границ водоемов. Алгоритм относительно точно выделяет мелкие детали по типу участков суши, расположенных посреди выделяемых сегментов. При оценке результатов работы можно заметить некоторое количество шума на выделенных кластерах в виде неокрашенных пикселей посреди кластера. Данные шумы убираются путем небольшой корректировки начальных параметров алгоритма. Главным недостатком этого метода является необходимость реализации поиска координат пикселей, которые будут располагаться на необходимых кластерах. Решением является либо вмешательство человека как посредника между

процессами сбора данных и их обработки, либо внедрение дополнительного алгоритма сегментации, который будет осуществлять выделение необходимых сегментов.

Алгоритмы водораздела и среднего сдвига имеют схожий результат при сегментации с общими слабыми местами: оба метода склонны к пренебрежению мелкими сегментами, что приводит к их последующей потере на итоговых результатах. При работе с обоими алгоритмами необходима качественная дополнительная предобработка, если техническими требованиями определена высокая детализация результатов сегментации.

Метод водоразделов при определенных условиях может создавать избыточную сегментацию: места, которые должны считаться одним кластером, делятся на множество мелких, что малозаметно на итоговых результатах из-за плотности расположения этих «субкластеров». Этот недостаток можно обнаружить при рассмотрении рисунка с маркерами.

Метод среднего сдвига имеет достаточно приемлемые результаты. Недостатком этого метода является так называемое «смазывание» сегментов. Это происходит в местах, где градиент функции яркости пикселей недостаточно большой из-за чего водоем может начать сливаться в один сегмент с прилегающей областью суши, схожей по цветовой характеристике. Данная проблема решается понижением допустимого разброса яркости цвета при сегментации, но в дальнейшем это также может спровоцировать появление лишних шумов в нужных сегментах, что потребует дополнительной обработки.

Заключение. Таким образом решение о применении каждого алгоритма необходимо принимать на основе специфики задачи и условий получения каждого изображения. Космическая съемка – это процесс с большим количеством нестабильных условий, под которые постоянно необходимо подстраиваться и минимизировать их последствия. Поэтому оптимальным выбором при решении задач по сегментации снимков является комбинирование всех алгоритмов для осуществления каждым из них этапов сегментации, в которых они справляются лучше всего.

Список использованных источников:

1. What is image segmentation [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.ibm.com/think/topics/image-segmentation – Дата доступа: 07.04.2025.

2. Watershed Algorithm and its Application For Image Segmentation [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://www.aegissofttech.com/articles/watershed-algorithm-and-limitations.html – Дата доступа: 06.04.2025.

UDC 004.932.2

SEGMENTATION ALGORITHMS IN SATELLITE IMAGE PROCESSING

Khatsianevich A.A.[1]

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]*, Minsk, Republic of Belarus*

Pertsau D.Y. – PhD in Technical Sciences

Annotation. The article discusses the main algorithms for image segmentation. An analysis and comparison of these algorithms is presented, and an algorithm suitable for solving the problem of segmentation of satellite images is selected.

Keywords. segmentation, satellite image, watershed algorithm, meanshift algorithm, floodfill algorithm.