Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.932.2

Хатеневич
Артемий Александрович

АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени магистра

по специальности 7-06-0611-05 Компьютерная инженерия. Хранение и обработка данных

_____

Научный руководитель
Перцев Дмитрий Юрьевич
кандидат технических наук,
доцент кафедры ЭВМ, БГУИР

_____

Минск 2026

ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологий дистанционного зондирования Земли привело к значительному росту объемов спутниковых данных, используемых в научных исследованиях, метеорологических прогнозах и промышленности. Современные спутниковые системы наблюдения обеспечивают получение изображений высокого спектрального, пространственного и временного разрешения, что позволяет решать целый перечень задач, таких как мониторинг природных ресурсов, контроль экологического состояния территорий, своевременное обнаружение чрезвычайных ситуаций и их прогнозирование. Однако увеличение объемов поступающих данных делает невозможным их эффективную обработку исключительно способом визуального анализа, что обуславливает необходимость разработки и применения автоматизированных методов обработки изображений.

Одним из ключевых этапов анализа спутниковых изображений является выделение структурных элементов снимка, позволяющее перейти от набора пикселей к структурированному представлению наблюдаемой территории. Данная задача решается при помощи использования алгоритмов сегментации и кластеризации изображений, сфокусированных на выявление однородных областей и закономерностей распределения признаков в данных. В контексте обработки изображений сегментация и кластеризация хоть и являются взаимосвязанными, но все же представляют собой различные подходы к анализу данных.

Кластеризация относится к классу методов анализа данных без процесса обучения и предназначена для автоматического группирования элементов изображения на основе сходства их признаков. В контексте спутниковых снимков такими признаками могут стать спектральные характеристики пикселей, пространственные координаты, текстурные параметры, а также производные признаки, полученные в результате предварительной обработки информации. Применение алгоритмов кластеризации позволяет выявлять скрытую структуру данных без использования предварительно размеченных выборок, что приобретает особый приоритет для задач дистанционного зондирования, где создание обучающих наборов данных является трудоемким занятием, а сам процесс зондирования имеет весьма ограниченные временные ресурсы.

В свою очередь сегментация изображений направлена на разбиение изображения на пространственно связные области, соответствующие однородным или значимым элементам снимка: водные объекты, массивы растительности, урбанизированные территории, сельскохозяйственные угодья. В отличие от кластеризации, сегментация учитывает не только сходство признаков, но и пространственную структуру изображения, обеспечивая формирование геометрически целостных регионов. Таким образом, кластеризация часто выступает вычислительным инструментом, используемым в составе алгоритмов сегментации.

Такие особенности спутниковых изображений как высокая размерность спектральных данных, наличие шумов и атмосферных искажений, неоднородность освещения, сезонные изменения анализируемых объектов существенно усложняют задачи автоматической обработки. Кроме того, один и тот же тип поверхности может обладать различными спектральными характеристиками в зависимости от условий съемки, что затрудняет применение простых пороговых методов обработки изображений. Как раз для решения данных проблем используются методы кластеризации и сегментации, способные учитывать многомерную структуру данных и выявлять сложные закономерности в пространстве признаков.

К числу наиболее распространенных алгоритмов кластеризации, применяемых при обработке изображений, относятся методы *k*-средних, иерархическая кластеризация, алгоритм *MeanShift* и спектральные алгоритмы кластеризации. Данные подходы позволяют группировать пиксели на основе спектрального сходства и широко используются для предварительной сегментации изображений, уменьшения размерности данных и выделения однородных регионов. В свою очередь методы сегментации включают алгоритмы, ориентированные на работу с регионами, графовые методы и преобразования на основе водораздела.

Актуальность исследования алгоритмов сегментации и кластеризации спутниковых изображений обусловлена необходимостью повышения точности автоматического анализа данных и снижении вычислительных затрат.

Целью данной работы является исследование и анализ алгоритмов сегментации и кластеризации спутниковых изображений, а также оценка их применимости к данным дистанционного зондирования поверхности планеты. Для достижения поставленной цели предполагается рассмотреть теоретические основы кластерного анализа и сегментации изображений, проанализировать существующие алгоритмические подходы и провести сравнительный анализ эффективности при их применении к спутниковым данным.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью исследования является исследование и анализ алгоритмов сегментации и кластеризации изображений, а также оценка их применимости к данным дистанционного зондирования поверхности планеты.

Актуальность диссертационной работы заключается в необходимости исследования способов проведения анализа спутниковых снимков в условиях малых вычислительных ресурсов и отсутствия человеческого вмешательства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– Анализ существующих алгоритмов сегментации изображений.

– Анализ существующих алгоритмов кластеризации.

– Создание набора экспериментальных данных в виде выборки спутниковых снимков, содержащих необходимую для исследования информацию.

– Постановка эксперимента путем применения изученных алгоритмов к имеющейся выборке изображений.

– Сравнительный анализ результатов эксперимента.

Объектом исследования являются снимки земной поверхности, полученные средствами систем дистанционного зондирования.

Предметом исследования являются алгоритмы автоматической сегментации и кластеризации спутниковых снимков земной поверхности.

Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики

Работа соответствует п.1 «Цифровые технологии и искусственный интеллект» (подпункты «технологии искусственного интеллекта», «математические теории и методы, высокопроизводительные вычислительные системы, цифровые модели и двойники») и п.2 «Инновационные технологии в промышленности» (подпункт «космические и авиационные технологии») приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026-2030 годы.

Личный вклад соискателя

Результаты, приведенные в диссертации, и положения, выносимые на защиту, получены соискателем лично. Вклад научного руководителя доцента Д. Ю. Перцева связан с постановкой цели и задач исследования, определением возможных путей решения и обсуждением результатов исследований, проводимых автором.

В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертации результатов.

Апробация диссертации и информация об использовании результатов

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 3 конференциях: 17-я Международная конференция по распознаванию образов и обработке информации (Минск, ОИПИ НАН Беларуси, 2025), 61-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, БГУИР, 2025), XV Международная научная конференция «Информационные технологии и системы» (Минск, БГУИР, 2025).

Опубликование результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 3 печатные работы в сборниках трудов и материалов международных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора. В первой и второй главах представлен анализ существующих алгоритмов сегментации и кластеризации, выявлены основные существующие проблемы в рамках тематики исследования, показаны направления их решения. Третья глава описывает процесс создания набора данных для исследования, их предварительной обработки, последующее проведение эксперимента и анализ информации, представленной в данной главе, и формулирование выводов магистерской диссертации на основе проведенной работы.

Общий объем работы составляет 63 страницы, из которых основного текста – 52 страница, 35 рисунков на 28 страницах, список использованных источников из 30 наименований на 3 страницах.

Проверка на уникальность

Проведена экспертиза диссертационной работы на корректность использования заимствованных материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат» (адрес доступа: https://antiplagiat.ru) в on-line режиме.

В результате проверки установлена корректность использования заимствованных материалов. Оригинальность диссертационной работы составляет 83.99 %

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе диссертационной работы выполнен анализ существующих методов сегментации изображений. Рассмотрены как классические алгоритмы машинного обучения (*Watershed, Flood Fill*), так и нейросетевые инструменты сегментации изображений (*U-Net, R-CNN*). Особое внимание уделено алгоритмам и инструментам, применение которых возможно при обработке спутниковых снимков. Был проведен сравнительный анализ описанных методов на основе их выделенных преимуществ и недостатков. На основе сравнения были сделаны предварительные выводы о перспективах использования алгоритмов при работе с спутниковыми изображениями.

Во второй главе представлен анализ методов кластеризации, применимых для обработки изображений (*MeanShift, k-means*, агломеративная иерархическая кластеризация, спектральная кластеризация). Были проанализированы принципы их работы, вытекающие из них преимущества и недостатки. На фоне этого был сделан сравнительный анализ и соответствующие выводы об их применимости на объекте исследования.

В третьей главе представлено проведение эксперимента, которое включает в себя описание исходных данных и используемых метрик оценки качества результатов эксперимента, постановка задачи и последующее ее решение. Описание решения задачи состоит из применения к начальным данным алгоритмов, описанных в первых двух главах, дальнейшей оценки результатов по заданным метрикам и анализа возможных способов улучшения имеющихся результатов. На основе полученных данных было сделано сравнение итогов работы используемых методов и с его помощью в конце эксперимента были представлены выводы о целесообразности и перспективности использования каждого метода в прикладных задачах обработки спутниковых снимков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной магистерской диссертации был проведен анализ существующих алгоритмов сегментации и кластеризации, применимых при обработке спутниковых снимков, и было показано, что данные алгоритмы имеют возможность применения в сфере автоматизированной обработки данных, полученных системами дистанционного зондирования Земли.

На основе анализа существующих методов был поставлен эксперимент по решению прикладной задачи обработки спутниковых изображений, которая заключалась в выделении водных объектов на поверхности планеты. В качестве исходных данных использовалась выборка из реальных спутниковых снимков в градациях серого.

Решение задачи осуществлялось как с помощью традиционных методов машинного обучения, так и при помощи нейросетевых моделей. Для использования нейронных сетей был подготовлен обучающий набор данных, произведена его предварительная обработка и разметка. В ходе эксперимента были вычислены метрики качества результатов сегментации и на их основе сделаны выводы о наилучшем методе в контексте решения данной задачи.

Результаты эксперимента показали как перспективную возможность применения таких алгоритмов как *Flood Fill*, *k-means* и нейросетевой модели *U-Net*, так и невозможность применения алгоритмов агломеративной иерархической и спектральной кластеризации из-за слишком больших вычислительных сложностей и неприемлемого объема потребления рабочих ресурсов.

Дополнительно был сделан вывод о необходимости работы с мультиспектральными спутниковыми данными при проведении дальнейших исследований с целью повышения качества сегментации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1] Хатеневич А.А. Алгоритмы сегментации при обработке спутниковых снимков / Хатеневич А.А. // Компьютерные системы и сети: сборник материалов 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22 – 26 апреля 2025 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2025 (в печати).

[2] Pertsau, D. Segmentation Algorithms in Processing Satellite Images / D. Pertsau, A. Khatsianevich // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP2025): Proceedings of the 17th International Conference, September 16-18, 2025, Minsk, Belarus / UIIP NASB. – Minsk, 2025.– pp. 354-358.

[3] Хатеневич А.А. Алгоритмы сегментации при обработке спутниковых снимков / Хатеневич А.А., Перцев Д.Ю. // Информационные технологии и системы 2025 : материалы междунар. науч. конф., Минск, 19 нояб. / редкол. Л.Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР,2025. – 306 с.