

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института динамики систем
и теории управления имени В.М. Матросова
СО РАН, академик



И.В. Бычков

2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу СИНЯВСКОГО Юрия Николаевича
«Непараметрические методы и программно-алгоритмический инструментарий
для сегментации мультиспектральных спутниковых изображений»,
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.18 – математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертационной работы. В настоящее время средства и технологии дистанционного зондирования Земли стремительно развиваются. Постоянно увеличивается число активных спутниковых систем, позволяющих получать мульти- и гиперспектральные изображения, необходимые для решения задач, связанных исследованием и оценкой состояния территорий. Несмотря на то, что эти данные часто являются единственным источником оперативной и объективной информации об объекте исследования, наблюдается перманентное отставание методов и алгоритмов тематической обработки снимков. Одним из важнейших этапов анализа цифровых изображений является сегментация, результаты которой зачастую являются основой для дальнейшего анализа данных и принятия решений. При обработке спутниковых изображений задачу сегментации зачастую приходится решать при отсутствии каких-либо априорных сведений о количестве и характеристиках классов. Это существенно ограничивает спектр применяемых методов и алгоритмов. Для описания реальных структур данных, представленных на спутниковых изображениях, наиболее подходящими являются скользящие локально-параметрические модели, лежащие в основе непараметрических методов кластеризации. Однако их существенным недостатком является неприемлемо высокая вычислительная трудоёмкость.

При решении задач для сегментации спутниковых изображений зачастую используются традиционные, но устаревшие методы обработки, включённые в распространённые программные пакеты для обработки спутниковых данных. Эти методы реализуют лишь некоторые из стандартных подходов к кластеризации и не учитывают характерные особенности спутниковых данных. В то же время более эффективные алгоритмы обработки остаются невостребованными из-за сложностей, связанных с их внедрением.

В диссертационной работе Синявского Ю.Н. представлены новые вычислительно эффективные непараметрические алгоритмы для сегментации спутниковых изображений и способ организации доступа к ним в виде веб-сервисов. В связи с этим тема диссертационной работы Синявского Ю.Н. является актуальной и имеет существенное научное и практическое значение.

Содержание работы. Диссертация изложена на 151 странице и состоит из введения, пяти глав, заключения и трёх приложений.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель и поставлены задачи исследования. Показаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена содержательной постановке задачи кластеризации данных и анализу известных алгоритмов кластеризации. Сформулированы характерные особенности задачи сегментации мультиспектральных спутниковых изображений и требования к алгоритмам кластеризации. Перечислены наиболее перспективные пути для разработки алгоритмов.

Вторая глава посвящена описанию и исследованию непараметрического алгоритма кластеризации MeanSC на основе оценок плотности Розенблатта – Парзена, предложенного в диссертационной работе. Сформулирована формальная постановка задачи кластеризации в рамках вероятностно-статистического подхода. Предложен ряд оптимизаций, позволивших значительно снизить трудоёмкость разработанного алгоритма и повысить качество результата. Глава завершается результатами экспериментального исследования алгоритма MeanSC методом статистического моделирования на модельных данных и реальных изображениях.

В третьей главе описаны подход к построению ансамбля непараметрических алгоритмов кластеризации и ансамблевый алгоритм EMeanSC, разработанный Автором. Предполагается, что использование ансамблевого подхода позволит упростить процедуру поиска оптимальных значений параметров алгоритма.

В четвёртой главе проводится экспериментальное сравнение разработанных алгоритмов с известными алгоритмами, включёнными в пакеты ENVI, ELKI и Smile. Продемонстрировано, что разработанные алгоритмы при кластеризации модельных данных не уступают включённым в сравнение известным алгоритмам по качеству, но работают быстрее их. Далее сравнивается время работы алгоритмов при обработке реальных изображений. Показано, что разработанные алгоритмы также работают быстрее включённых в сравнение известных алгоритмов и обладают достаточной производительностью для обработки изображений размером до 14 млн пикселей в диалоговом режиме.

Пятая глава посвящена описанию разработанного программного обеспечения и решению практических задач. Представлена технология публикации алгоритмов обработки спутниковых данных в виде веб-сервисов с доступом по протоколу WPS. Описан механизм внедрения алгоритмов в виде модулей в геоинформационную систему с открытым исходным кодом GRASS GIS. Представлены созданный Автором пакет программ «Image Processing Toolkit» и технологии решения двух практических задач.

В заключении сформулированы основные результаты работы. Список цитируемой литературы состоит из 154 наименований, что свидетельствует о большом объёме работы, выполненной соискателем по изучению материала, относящегося к теме диссертации.

В приложениях представлены описание графических пользовательских интерфейсов пакета «Image Processing Toolkit», свидетельства о государственной регистрации пяти программ и акт об использовании результатов исследования в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН.

Научная новизна диссертационной работы Синявского Ю.Н. заключается в следующем.

1. Разработан новый вычислительно эффективный непараметрический алгоритм кластеризации MeanSC на основе оценок плотности Розенблатта – Парзена, позволяющий осуществлять сегментацию мультиспектральных спутниковых изображений. Эффективность алгоритма достигается за счёт введения сеточной структуры в пространстве признаков и переходу к рабочей выборке значительно меньшего объёма, в которой гарантированно содержатся представители всех классов, присутствующих на изображе-

нии. Сеточная структура впервые использована для повышения вычислительной эффективности поэлементного алгоритма кластеризации.

2. Предложен подход к построению ансамбля непараметрических алгоритмов кластеризации, основанных на оценках плотности Розенблатта – Парзена, с помощью согласованной матрицы различий. В рамках этого подхода на основе непараметрического алгоритма MeanSC создан ансамблевый алгоритм кластеризации EMeanSC, позволяющий нивелировать влияние случайных факторов на результаты кластеризации и упростить подбор параметров алгоритма при обработке мультиспектральных спутниковых изображений в диалоговом режиме.
3. На основе предложенных алгоритмов кластеризации разработаны методы разделения формаций лесной растительности с близкими спектрально-яркостными характеристиками и обнаружения усыхающих древостоев по мультиспектральным изображениям. Эти методы позволяют обеспечить качественное выделение мелких и сильно пересекающихся классов, которые не обнаруживаются при использовании традиционных методов автоматизированной обработки.

Практическая ценность полученных результатов обуславливается тем, что разработанные алгоритмы превосходят описанные в литературе по качеству классификации и/или вычислительной эффективности, что позволяет повысить эффективность сегментации спутниковых изображений в условиях малой априорной информации при решении задач, связанных с исследованием и оценкой состояния территорий по данным дистанционного зондирования Земли. Алгоритмы внедрены в геоинформационную систему с открытым исходным кодом GRASS GIS, а также оформлены в виде стандартизованных веб-сервисов с доступом по протоколу WPS, что позволяет использовать их при проведении научных исследованиях и решении практических задач. Представляют особый интерес предложенные приёмы работы с частично размеченными данными, позволяющими автоматически расширять обучающую выборку и, в том числе, создавать примеры для неразмеченных данных.

Результаты диссертационной работы используются в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН при крупномасштабном моделировании пространственной организации степной растительности с целью выявления важных закономерностей формирования растительного покрова.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов диссертационной работы подтверждена проведенными проведёнными экспериментальными исследованиями на модельных данных, а также успешным применением разработанных алгоритмов при решении прикладных задач. Выводы, сделанные в диссертации, хорошо аргументированы и обоснованы и не противоречат общепринятым научным представлениям. Все основные результаты диссертационной работы опубликованы в 29 печатных работах, в том числе 7 – в изданиях из перечня ВАК и 3 – в изданиях, индексируемых в WoS и Scopus. Имеется 5 свидетельств о государственной регистрации программ. Результаты обсуждались на конференциях, в том числе международных.

По содержанию диссертации можно сделать следующие **замечания**.

1. В работе задача «сегментации изображений» вместо выделения отдельных объектов на изображении рассматривается, как задача попиксельной классификации. Только один раз упоминается алгоритм SPMeanSC, как один из реализованных в Image Processing Toolkit, в котором всё-таки учитываются пространственные отношения между обрабатываемыми пикселями. В остальных случаях выполняется кластеризация в пространстве значений спектральных каналов пикселей. Также не рассматривается использование каких-либо более сложных характеристик, например, LBP (Local Binary Patterns) – непонятно, как будут рабо-

тать предлагаемые алгоритмы кластеризации при наличии атрибутов, не являющихся спектральными значениями.

2. Не описано, какие виды атрибутов пикселей рассматриваются при кластеризации, и каким образом кластеризацию надо использовать для сегментации изображений.

3. Обзор современного состояния проблемы излишне подробный (до 30 страниц) и включает описание технологий, не имеющих отношения к выполненной работе, например, нейронных сетей.

4. В описании итерационной процедуры (Определение 2.3) не рассматривается возможность задания какого-нибудь коэффициента перед $mh(\dots)$, как это обычно делается при решении задач методом градиентного спуска.

5. Не реализован адаптивный выбор параметра сглаживания h (стр. 48). Автор обосновывает, что «это трудоёмко для задачи сегментации изображений». Однако, изображения обрабатываются доли секунды на не очень мощном компьютере автора, поэтому реализация этого метода вполне целесообразна.

6. При рассмотрении модельных наборов данных не хватает иллюстраций с изображением используемых при генерации областей, вид которых долго описывается в тексте, например, на стр. 57.

7. Результат «сегментации» на Рис. 2.6 выглядит не совсем убедительно. Гораздо лучше получалось ещё в 90-е годы при сохранении в форматы с палитрой с 16 (или 256) цветами, при этом, тоже использовались алгоритмы кластеризации.

8. На ряде рисунков, например, Рис. 2.8, приводятся названия выделенных классов («темнохвойные насаждения», «водная поверхность»), которые были даны в результате дополнительной экспертной обработки результатов кластеризации и не имеют отношения к самому алгоритму.

9. Требуется дополнительного обоснования идея алгоритма EMeanSC, состоящая в том, что надо усреднить результаты работы алгоритмов кластеризации с разными значениями параметров, если неизвестны хорошие значения этих параметров. Примеры, рассмотренные в работе, не смогли подтвердить целесообразность использования алгоритма EMeanSC. Например, в Таблице 4.1 EMeanSC превосходит MeanSC только по времени работы. Все приведённые тесты EMeanSC выполнены на очень близких значениях параметров, попадающих в диапазон хороших значений ($m=\{13,14\}$ на стр.74, $m=\{5,7\}$ на стр.75). Возможно, что EMeanSC имеет смысл использовать для устранения влияния случайных факторов при запусках на одинаковых наборах параметров, но он явно не позволит получить наилучший результат, не зная этих параметров.

10. Из текста про обнаружение усыхающих кедровых древостоев осталось непонятно: можно ли применять результаты кластеризации по одному снимку для обработки других снимков, или кластеризацию требуется начинать с нуля для каждого нового снимка?

Заключение. Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Кандидатская диссертация Синявского Ю.Н. «Непараметрические методы и программно-алгоритмический инструментарий для сегментации мультиспектральных спутниковых изображений» является законченной научно-квалификационной работой. Содержание диссертации соответствует специальности 05.13.18, по которой она представлена к защите. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных экспериментальных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а соискатель, Синявский Юрий Николаевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Настоящий отзыв на диссертацию заслушан и утверждён на заседании научного семинара «Информационные технологии» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук, протокол № 4 от 2 июня 2021 г. На заседании присутствовало 16 человек, из них 4 доктора наук и 11 кандидатов наук.

Отзыв подготовил главный научный сотрудник, заведующий отделением информационных технологий и систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук, доктор технических наук Ружников Геннадий Михайлович.

Заведующий отделением
информационных технологий и систем
ИДСТУ СО РАН, д.т.н.

Г.М. Ружников

Ружников Геннадий Михайлович

Д.т.н. по специальности 05.25.05 – Информационные системы и процессы

Почтовый адрес: Россия, 664033, гор. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 134, ИДСТУ СО РАН

Телефон (раб.): +7(3952) 45-30-06

e-mail: rugnikov@icc.ru

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук.

Должность: зав. отделением №4, г.н.с. лаборатории 4.1 Комплексных информационных систем.



Подпись заверяю
Нач. отдела делопроизводства
и организационного обеспечения
ИДСТУ СО РАН

Г.Б. Кононенко
02.06.2021