ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Каляева Игоря Анатольевича,

доктора технических наук, профессора, академика РАН,
научного руководителя направления Южного федерального университета,
на диссертационную работу Мурынина Александра Борисовича
«Методы анализа данных дистанционных измерений для исследования объектов земной поверхности и океана»,
представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы»

Актуальность работы

В настоящее время проблема получения достоверной информации о процессах и явлениях на поверхности Земли и в акваториях Мирового океана с помощью средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) становится все более актуальной. Развитие методов спутникового мониторинга способствует противодействию угрозам, в том числе связанным со взаимодействием природы и человека, а также повышению качества жизни и снижению негативных воздействий на здоровье населения. С помощью данных ДЗЗ производятся мониторинг стихийных бедствий и катастроф, картографирование, наблюдение за состоянием атмосферы и мирового океана, а также другие исследования.

Неуклонное повышение требований к качеству и информативности данных, получаемых с помощью ДЗЗ, требует развития методов обработки аэрокосмических изображений, в первую очередь методов повышения их пространственного разрешения для обеспечения возможности изучения наблюдаемых объектов с большей детализацией, а также методов извлечения структурной информации о наблюдаемых объектах из одиночных спутниковых изображений.

Поэтому диссертационная работа А. Б. Мурынина, посвящённая разработке научных основ и новых методов обработки и анализа

аэрокосмических данных с целью увеличения их информативности и восстановления структуры исследуемых объектов, в том числе в автоматическом и автоматизированном режимах, несомненно актуальна и представляет большой научный и практический интерес.

Новизна результатов диссертационной работы

В диссертационной работе автором предложена совокупность новых методов и алгоритмов для повышения информативности спутниковых изображений, получаемых при космическом мониторинге, в том числе повышения пространственного разрешения спутниковых изображений для обеспечения возможности изучения наблюдаемых объектов с большей детализацией; извлечения структурной информации о наблюдаемых антропогенных и природных объектах из одиночных аэрокосмических изображений; восстановления характеристик поверхности по изображениям с учётом физических условий формирования поля яркости, регистрируемого космической аппаратурой.

Автором разработаны:

- Новый метод и алгоритм повышения разрешающей способности космической аппаратуры, основанные на пространственно-спектральном анализе улучшаемых изображений и синтезе изображения высокого разрешения, отличающиеся от известных использованием специально разработанных алгоритмов восполнения энергетических и фазовых спектров в области высоких пространственных частот, экстраполяцией спектров улучшаемых изображений в область высоких пространственных частот с использованием известных эмпирических закономерностей.
- Новый метод повышения пространственного разрешения изображений, отличающийся от известных объединением метода сверхразрешения на основе искусственных нейронных сетей, в том числе генеративно-состязательных, и метода слияния, который обеспечивает

высокое качество детализации с использованием алгоритмов, основанных на вероятностном анализе.

- Оригинальный подход для автоматического восстановления структурных моделей антропогенных ригидных объектов по результатам сегментации спутниковых изображений свёрточными нейронными сетями.
- Метод восстановления пространственных спектров уклонов и возвышений поверхностного волнения по аэрокосмическим оптическим изображениям, отличающийся от известных применением восстанавливающих операторов, учитывающих нелинейную модуляцию поля яркости уклонами морской поверхности и представляемых в виде пространственно-частотных фильтров с параметрами, зависящими от условий формирования изображений и волнообразования.
- Пространственно-частотные фильтры для восстановления спектров поверхностного волнения по спектрам оптических изображений, полученные путем минимизации меры расхождения спектров волнения, измеренных по спутниковым изображениям, с данными подспутниковых измерений.

Все представленные в диссертации методы и алгоритмы получены автором лично, реализованы в программных комплексах и прошли проверку работоспособности на экспериментальных данных.

Основные результаты диссертации Мурынина А. Б. докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях, отражены в 35 печатных работах, опубликованных в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК, и/или индексируемых в системах Web-of-Science/Scopus. По результатам диссертации получены патенты РФ, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Объём и содержание публикаций отражает основные защищаемые положения диссертации.

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждается результатами сравнения разработанных методов с известными, результатами численного моделирования исследуемых физических процессов, результатами экспериментальных исследований, а также практическим применением полученных результатов при решении различных прикладных задач аэрокосмического мониторинга.

Научная и практическая ценность результатов работы

Научная ценность работы состоит в развитии научных основ обработки и анализа спутниковых изображений для исследования объектов земной поверхности и океана. В работе используется единые подходы к обработке аэрокосмических изображений объектов различной физической природы, основанные на совместном использовании пространственного спектрального анализа, статистического анализа, численном моделировании физических процессов, синтезе изображений и машинном обучении.

Практическая ценность состоит в том, что разработанные методы и алгоритмы были использованы при создании программных комплексов, которые внедрены в ряде организаций. Наибольший интерес представляют описанные в работе программные реализации:

- исследовательский программный комплекс, реализующий в интерактивном и пакетном режимах полный цикл обработки спутниковых изображений, включающий следующие последовательно выполняемые стадии обработки: сверхразрешение на основе искусственных нейросетей, паншарпенинг с возможностью выбора метода слияния изображений, нейросетевая сегментация, оценка трехмерных моделей антропогенных объектов;

- исследовательское программное обеспечение для восстановления спектров морской поверхности по космическим изображениям с использованием многопроцессорных аппаратно-программных комплексов, создаваемых для обработки данных дистанционного зондирования океанских акваторий в масштабе времени, близком к реальному.

Содержание работы

Работа включает введение, пять глав, заключение, библиографию и имеет общий объём 361 страницу. Библиография содержит 367 наименований.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследований, аргументирована их научная новизна и практическая значимость, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе описаны базовые методы повышения пространственного разрешения изображений. Приведена классификация подходов, используемых для повышения пространственного разрешения изображений при дистанционных измерениях. Рассмотрены критерии качества повышения пространственного разрешения изображений, используемые в настоящей работе. Предложен подход к повышению пространственного разрешения спутниковых изображений, основанный на методах дистанционных измерений пространственных спектров объектов суши и океана с использованием специально разработанных способов экстраполяции энергетических и фазовых спектров в области высоких пространственных частот. Представлен метод повышения разрешения космических изображений, заключающийся в экстраполяции энергетических спектров улучшаемого изображения в область высоких пространственных частот с использованием известных эмпирических закономерностей (в том числе с помощью степенной аппроксимации), а также синтезе изображений высокого разрешения в заданном спектральном диапазоне с использование фазовых спектров,

полученных из опорных изображений. Предложен вероятностный метод повышения разрешения мультиспектральных изображений, основанный на использовании опорных панхроматических изображений, учёте статистических закономерностей, связывающих панхроматические изображения с мультиспектральными на локальных участках поверхности.

Во второй главе автором разрабатываются методы получения информации об антропогенных объектах на аэрокосмических изображениях, в том числе:

- метод повышения пространственного разрешения космических изображений с использованием векторной модели представления априорной информации, предназначенный для повышения чёткости границ, а также для выявления расположения и измерения геометрических размеров и площадей объектов при мониторинге различных территорий;

- метод выделения антропогенных объектов известной формы, таких как автомобили, на аэрокосмических изображениях, основанный на выделении областей с близкими цветовыми характеристиками, и позволяющий найти заданные объекты и оценить их положение, ориентацию, размеры.

Предложен комплексный подход к применению искусственных нейронных сетей для извлечения и интерпретации пространственной информации о ригидных объектах из спутниковых изображений, который включает повышение пространственного разрешения изображений на основе генеративно-состязательных нейросетей и нейросетевую сегментацию изображений для выделения объектов.

В третьей главе описаны методы реконструкции трёхмерной поверхности объектов по двумерным изображениям и трёхмерных моделей этих объектов по совокупности признаков. Проведен анализ состояния развития систем трёхмерного машинного зрения с точки зрения возможности их применения при решении задач дистанционного измерения трёхмерных характеристик объектов и восстановление карт высот местности по одному или нескольким её снимкам. Предложен метод и алгоритмы восстановления

трёхмерной поверхности объекта, основанные на корреляционном алгоритме стереореконструкции. Предложен метод восстановления трехмерной поверхности по серии изображений, полученных одной камерой при движении объекта относительно камеры. Предложен подход к решению задачи измерения геометрических размеров наблюдаемых объектов в трёхмерном пространстве по двумерным данным, представленным в спутниковом изображении, основанный на комплексировании традиционных методов обработки изображения с методами, основанными на машинном обучении с применением искусственных нейронных сетей. Предложен численный метод извлечения трёхмерной информации о наземных объектах из одиночного спутникового изображения, включающий применение нейросетевой модели семантической сегментации спутникового изображения и извлечения трёхмерных пространственных данных о наземных объектах с привлечением данных об условиях спутниковой съёмки.

В четвертой главе представлены методы и алгоритмы, позволяющие восстанавливать достоверную информацию о пространственных спектрах морского волнения по оптическим изображениям в широком диапазоне условий. Дано описание взволнованной морской поверхности как поля возвышений (волновых аппликат) и приведён сравнительный анализ методов определения спектров волнения. Предложено представление восстанавливающего оператора, позволяющего перейти от спектра оптического изображения к спектру уклонов морской поверхности, и представлен модифицированный восстанавливающий оператор в виде суперпозиции двух пространственно-частотных фильтров. Разработан алгоритм регистрации спектров морской поверхности по космическим изображениям .

В пятой главе описаны результаты валидации метода дистанционного измерений спектров морского волнения, с использованием результатов измерений, выполняемых на месте с помощью решётки струнных волнографов, дрейфующих волновых буёв, а также путём обработки

стереоизображений, снятых со стационарной платформы. Путём численной оптимизации подобраны значения параметров восстанавливающих фильтров, эффективно работающих в условиях ветрового волнения, а также в присутствии волн зыби. Экспериментально подтверждена адекватность дистанционного измерения как средних по времени спектров морской поверхности, так и аномалиями морской поверхности, связанными с антропогенными воздействиями

Диссертация соответствует специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы». Автореферат соответствует содержанию и структуре диссертации, правильно передаёт смысл представленных результатов.

Замечания по диссертационной работе

1. Во введении в качестве цели диссертационной работы объявлена разработка эффективных методов и алгоритмов увеличения информативности данных ДЗЗ. Однако при этом не объяснено, что является критерием информативности данных ДЗЗ.

2. В качестве важного практического результата автор выносит на защиту «создание высокопроизводительного метода и алгоритмов». Однако ни метод, ни алгоритм не могут быть «высокопроизводительными», поскольку производительность определяется только вычислительным ресурсом, реализующим эти методов и алгоритмы, и измеряется числом операций в секунду. Метод и алгоритмы могут измеряться только вычислительной сложностью (или сложностью по Колмогорову), т. е. количеством операций, необходимых для их реализации, но никак ни производительностью.

3. В диссертации показано, что разработанный автором метод повышения разрешения мультиспектрального изображения на основе вероятностного анализа исходного мультиспектрального и опорного панхроматического превосходит известные аналоги по выбранным мерам (Q,

SAM, ERGAS), однако автор не провел сравнение разработанного им метода с известными по вычислительной сложности, что не позволяет сделать однозначный вывод о его эффективности.

4. При разработке ряда алгоритмов повышения разрешения космических изображений автором не проанализированы ограничения на их применение при решении практических задач космического мониторинга.

5. В главе 2 предложен алгоритм обнаружения антропогенных объектов, в т. ч. транспортных средств. Однако при тестировании данного алгоритма было получено около 60 % ложных срабатываний и 28 % пропусков цели, что вызывает сомнения в возможности его практического использования.

6. В главе 2 автором предложен метод повышения пространственного разрешения спутниковых изображений на основе генеративно-состязательных нейросетей. Однако, поскольку технологии нейросетевой обработки данных, в том числе с помощью генеративно-состязательных сетей, давно известны и широко применяются на практике, непонятно в чем научная новизна предложенного автором метода.

7. При описании методов повышения пространственного разрешения изображений не указаны ограничения на условия их применимости.

Отмеченные замечания не снижают качества проведенных исследований и уровня научных и практических результатов, полученных автором.

Заключение

В целом, диссертационная работа Мурынина А. Б. является завершённой научно-исследовательской работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие страны. Работа соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Мурынин Александр Борисович, заслуживает присуждения ему

учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы».

Официальный оппонент,
научный руководитель направления
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Южный федеральный университет»
доктор технических наук, профессор
академик РАН,

_____ Игорь Анатольевич Каляев
«19» 09 2023 года

Адрес: 347922, Ростовская обл., Таганрог, ул. Чехова, 2
Телефон: +7 (8634) 36-03-76
E-mail: kaliaev@niimvus.ru

Согласен на обработку персональных данных

_____ Игорь Анатольевич Каляев
«19» 09 2023 года

Подпись официального оппонента Каляева И.А. заверяю:

Зам. директора – учёный секретарь НИИ МВС
Южного федерального университета

канд. техн. наук _____ Анатолий Павлович Кухаренко

М.П.

«19» 09 2023 года