Минобрнауки России

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4 | тел.: +7 499 158-92-09 | www.mai.ru | e-mail: mai@mai.ru
ОГРН 1037739180820 | ИНН 7712038455

ОТЗЫВ
официального оппонента
Старкова Александра Владимировича

на диссертационную работу Егина Максима Михайловича на тему «Математическое и алгоритмическое обеспечение обработки данных площадной съёмки от высокодетальных систем ДЗЗ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

1. Актуальность темы

Современная космическая система дистанционного зондирования Земли представляет собой сложную организационно-техническую систему, конечной целью функционирования которой является своевременное предоставление потребителю готового информационного продукта по поступившей заявке. Наращивание орбитальных группировок и рост производительности целевой аппаратуры закономерно обуславливают значительное увеличение объёмов принимаемых и обрабатываемых данных, и в этих условиях критическое значение приобретает производительность и оперативность технологических процессов наземного сегмента. Высокодетальные оптические системы в силу узкой полосы захвата вынуждены вести наблюдение обширных регионов интереса в режиме площадной (широкозахватной) съёмки, формируя на одном витке несколько перекрывающихся изображений при сложном угловом движении космического аппарата. Тем самым основная вычислительная и алгоритмическая нагрузка по объединению таких материалов в единый геометрически и радиометрически согласованный продукт переносится на наземный комплекс приёма, обработки и распределения информации.

Очевидно, что традиционный путь создания обрабатывающих средств по отдельности, в рамках каждой вновь вводимой космической системы, ведёт к нерациональному расходованию ресурсов и к отсутствию технической и информационной совместимости компонентов. В этой связи разработка

унифицированного математического и алгоритмического обеспечения, опирающегося на модель рациональных полиномов, аппроксимирующую строгую физическую модель съёмки, и обеспечивающего полностью автоматическое формирование мозаичных продуктов без привлечения опорной информации, является важнейшим условием обеспечения конкурентоспособных уровней оперативности выпуска информационных продуктов. Таким образом, тема диссертации актуальна и практически значима, а её результаты непосредственно встраиваются в технологический цикл создания готовых продуктов в наземной космической инфраструктуре.

2. Оценка структуры и содержания работы

Работа по своей структуре отражает полный технологический цикл обработки и характеризуется логической завершённостью. Она состоит из введения, четырёх глав, заключения, двух приложений и списка использованных источников; объём, иллюстративный материал и распределение содержания по главам соразмерны решаемым задачам.

В первой главе выполнен системный анализ задачи обработки изображений земной поверхности, получаемых в режиме площадной съёмки. Приведена характеристика отечественных и зарубежных космических аппаратов, поддерживающих данный режим, описана технологическая схема формирования информационных продуктов уровней обработки от L0 до L3, представлена унифицированная модель геопривязки на основе рациональных полиномов. На основе анализа существующих подходов определён перечень направлений, обеспечивающих повышение качества синтеза, и сформулированы задачи исследования. Содержание главы формирует корректную системную постановку и обоснованно определяет облик предлагаемой технологии.

Во второй главе изложены модели и алгоритмы геометрической обработки. Рассмотрены представление строгой модели съёмки в унифицированном виде и статистические показатели точности аппроксимации, алгоритм фильтрации одноимённых точек на основе гибридной интеллектуальной технологии классификации, а также математическая модель и численно устойчивый алгоритм блочного уравнивания с двухкомпонентной поправкой в отсутствие опорной информации. Изложенный в главе материал служит методической базой исследования.

В третьей главе решены задачи синтеза и оценки качества мозаичных снимков: построение карт диспаратности, модифицированный алгоритм проведения линии пореза с комбинированной стоимостной функцией, алгоритм оценки качества линии пореза и методика оценки точности координатной привязки мозаичных изображений на основе вероятностных статистических показателей. Глава демонстрирует переход от анализа отдельных снимков к оценке системы формирования продукта в целом.

В четвёртой главе представлены практическая реализация разработанного обеспечения в виде программного комплекса на базе соответствующей инструментальной платформы и результаты экспериментальной отработки на натурных и модельных данных. Описаны структура комплекса, декомпозируемая на самостоятельные операции, схема обработки, допускающая многосерверное исполнение, а также автоматический и автоматизированный режимы функционирования. Содержание глав соответствует заявленным цели и задачам, а соотнесение этапов технологии с положениями, выносимыми на защиту, облегчает восприятие материала.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает основное содержание работы и суть выносимых на защиту положений.

3. Степень обоснованности научных положений

Научные положения диссертации обоснованы корректно и опираются на проведённую автором декомпозицию общей задачи на ряд взаимосвязанных частных подзадач, совместное решение которых обеспечивает достижение поставленной цели.

Обоснованным является предложенный в первом положении подход к отбраковке одноимённых точек, в котором первичное сопоставление дополняется классификацией на основе совместного использования метода опорных векторов и окна Парзена с автоматически формируемой обучающей выборкой; привлечение модели съёмки и цифровой модели рельефа в составе признакового описания закономерно учитывает специфику площадной съёмки. Во втором положении двухкомпонентная модель поправок к уравнениям геопривязки и введение виртуальных опорных точек логически вытекают из анализа структуры остаточных невязок, а обеспечение численной устойчивости достигается ограничением области поиска решения, что не вызывает возражений по существу. В третьем положении обоснован переход от стоимостных функций, оперирующих исключительно радиометрической

информацией, к учёту трёхмерной геометрии наблюдаемой сцены посредством карт диспаратности и формируемой нейронной сетью маски рассогласований. Положения, относящиеся к критериям и методике оценки качества, согласованы с требованиями действующих нормативных документов формирования мозаичных покрытий.

Выводы и рекомендации, сформулированные в работе, непосредственно следуют из полученных результатов и подкреплены количественными оценками на каждом этапе технологии.

4. Достоверность

Достоверность полученных результатов обеспечена корректным использованием аппарата системного анализа, цифровой обработки изображений, математической статистики, оптимизации, фотограмметрии и методов искусственного интеллекта. Результаты подтверждены математическим и имитационным моделированием, экспериментальной отработкой на натурных данных действующих и модельных данных перспективных отечественных космических аппаратов, а также сопоставлением альтернативных подходов. Внедрение результатов в действующие наземные комплексы предприятий ракетно-космической отрасли служит дополнительным подтверждением их состоятельности.

5. Научная новизна

Научная новизна работы состоит в том, что предложенная совокупность решений впервые обеспечивает комплексное, в рамках единого технологического цикла, формирование мозаичных продуктов из материалов площадной съёмки без привлечения опорной информации. Новыми являются алгоритм отбраковки одноимённых точек на основе гибридной интеллектуальной технологии классификации; математическая модель блочного уравнивания с двухкомпонентной поправкой и численно устойчивый алгоритм поиска её параметров за счёт виртуальных опорных точек; модифицированный алгоритм проведения линии пореза с комбинированной стоимостной функцией, объединяющей морфологический градиент и формируемую свёрточной нейронной сетью маску рассогласований по радиометрическим признакам и картам диспаратности; а также критерии и методика автоматической оценки качества синтезируемых мозаичных снимков.

6. Теоретическая и практическая значимость работы

Практическая значимость определяется тем, что предложенные решения доведены до уровня специального программного обеспечения, реализованного в виде модулей программных комплексов формирования информационных продуктов в составе наземных комплексов приёма, обработки и распространения данных, и допускают эксплуатацию в автоматическом и автоматизированном режимах. Унификация обработки на основе модели рациональных полиномов создаёт предпосылки для распространения технологии на разнотипные космические аппараты и орбитальные группировки и для снижения совокупных затрат на создание и сопровождение составных частей наземного сегмента. Подтверждённое сохранение точностных характеристик при синтезе, при котором вероятностная оценка точности геопривязки мозаичного изображения не превышает соответствующей оценки для входящих в его состав одиночных снимков, обеспечивает пригодность мозаичных продуктов для измерительных и тематических задач.

7. Замечания

1. Решение о переходе с уровня L1 на L2A (раздел 2.1 диссертации) ставится в зависимость от достигнутой точности аппроксимации, однако чувствительность характеристик итогового продукта к выбору порогового значения не показана. Поскольку решение принимается автоматически для всего потока материалов, обоснование устойчивости технологии к выбору порога представляется существенным.

2. Методика назначения весового коэффициента α (раздел 3.2 диссертации, положение 3), регулирующего вклад геометрической составляющей в стоимостную функцию линии пореза, и устойчивость результата к его вариации в работе не раскрыты. Не приведены ни рекомендуемый диапазон значений, ни характер деградации результата при его изменении.

3. Производительность конвейера обработки (раздел 4.1 диссертации) охарактеризована по отдельным этапам выборочно, без сводной поэтапной оценки. Для технологии оперативной потоковой обработки это затрудняет суждение об узких местах и о соответствии требованиям по оперативности.

4. При декларируемой декомпозируемости обработки (раздел 4.1 диссертации) не получили количественной оценки масштабируемость многосерверного исполнения и накладные расходы на обмен промежуточными результатами через обменную директорию. Именно эти показатели определяют

реальный выигрыш от распараллеливания при встраивании технологии в территориально-распределённую инфраструктуру.

5. Экспериментальная апробация (раздел 4.4 диссертации) проведена на ограниченном наборе натурных сюжетов. Расширение перечня за счёт территорий с различным характером поверхности и застройки, а также различных сезонных условий съёмки сделало бы выводы о работоспособности технологии более убедительными.

6. Высокоточная геопривязка без опорной информации по существу опирается на своевременную штатную геометрическую калибровку бортовой аппаратуры, однако эта зависимость обсуждена недостаточно. Не охарактеризованы влияние устаревания параметров калибровки на итоговую точность и порядок действий при их рассогласовании.

Высказанные замечания не носят принципиального характера, не затрагивают существа полученных результатов и не снижают общей положительной оценки работы.

8. Опубликование результатов

Полнота опубликования сомнений не вызывает: результаты отражены в 33 печатных работах (5 – в изданиях перечня ВАК, 4 – в международных базах цитирования, 22 – в материалах конференций) и подтверждены 2-мя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ. Положения диссертации достаточно полно раскрыты в рецензируемых изданиях.

9. Соответствие критериям, установленным Положением

Содержание и результаты работы соответствуют паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика в части:

– пункта 3 «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»,

– пункта 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»,

– пункта 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта».

10. Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложен ряд новых научно-обоснованных технических решений, имеющих существенное значение для развития отечественных высокодетальных систем ДЗЗ. Технические решения представлены в виде математического и алгоритмического обеспечения комплексной технологии формирования мозаичных изображений по оптическим данным одновитковой площадной съёмки.

Работа отвечает требованиям, установленным Положением о присуждении учёных степеней для диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Егин Максим Михайлович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Официальный оппонент:
И.о. заведующего кафедрой 604
«Системный анализ и управление»,
доктор технических наук, доцент

Старков
Александр Владимирович
«09» 07 2026 г.

Подпись д.т.н., доцента, и.о. заведующего кафедрой
«Системный анализ и управление» А.В. Старкова заверяю:
Директор института № 6 «Аэрокосмический»,
к.т.н., доцент

О.В. Тушавина

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
Адрес: Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993
Адрес электронной почты: StarkovAV@mai.ru
Телефон: +7(499)-158-43-55

С отзывом ознакомлен
22.07.2026