

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Фурсова Владимира Алексеевича на диссертационную работу Мартемьянова Бориса Викторовича «Теоретические основы и методология построения информационно-измерительных систем идентификации параметров движения изображений», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.16 - Информационно-измерительные и управляющие системы (технические системы).

Актуальность для науки и практики

В последние годы, в связи с развитием систем дистанционного зондирования Земли с использованием средств наблюдения, размещаемых на космических аппаратах (КА) постоянно возрастает потребность в решении различных задач, связанных с обработкой изображений: создание и обновление топографических планов и тематических карт, построение цифровых моделей местности, исследование состояния сельскохозяйственных угодий и лесного покрова, экологические исследования и др. Одним из ключевых этапов большинства технологий обработки космических снимков при решении указанных и многих других задач является сопоставление локальных фрагментов и/или глобальное сопоставление изображений. В ситуации, когда изображения формируются в виде последовательности кадров, поступающих с достаточно большой частотой, эта задача формулируется как задача определения параметров движения изображения.

Задача идентификации движения изображений возникает при решении задач построения трехмерных моделей и рельефа местности по стереоизображениям, ориентации в пространстве беспилотных летательных аппаратов, распознавания визуальных образов и во многих других приложениях. Отдельный круг задач идентификации движения изображений связан с особенностями космических изображений, в частности, задачи комплексирования цветных и спектральных изображений, комплексирования панхромных изображений высокого разрешения с цветными и гиперспектральными изображениями с целью повышения разрешения последних. Все перечисленные задачи сводятся к задаче совмещения изображений, т.е. к задаче идентификации параметров оптического потока, создаваемого динамическими изображениями. Задача совмещения группы плоских изображений является фундаментальной проблемой, которая до сих пор не нашла своего полного решения.

В настоящее время разработано большое число программных средств определения параметров движений изображений, основанных на сопоставлении фрагментов изображений. Наиболее эффективными считаются технологии, основанные на поиске соответствий с использованием методов и дескрипторов SURE, Harris, SIFT, BRISK, FAST и др. К сожалению, применение даже наиболее эффективных и популярных технологий пока не обеспечивает требуемую надежность и качество си-

стем обработки космических изображений. Многие практические задачи требуют высокоточного, субпиксельного, совмещения в реальном времени. Поэтому тема диссертационной работы Мартемьянова Бориса Викторовича, несомненно, актуальна как с научной, так и с практической точек зрения.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы и приложений, изложенных на 232 страницах. Список литературы содержит 274 наименования.

Во введении кратко аргументируется актуальность и обсуждается степень разработанности темы исследования, формулируются цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость полученных в диссертации результатов и положения, выносимые на защиту,

Первый раздел диссертации содержит достаточно полный аналитический обзор зарубежных источников по методам параметрической идентификации движения изображений яркостных полей, приведен также обзор важнейших результатов российских научных школы обработки изображений. Сформулирована конкретная фундаментальная задача: развитие метода функционализации параметров изображений в рамках направления, связанного с градиентными методами восстановления оптического потока. Определена базовая структура исследуемой информационно-измерительной системы идентификации параметров движения изображений и определены ее основные элементы.

Второй раздел диссертации посвящен развитию теоретических основ метода функционализации. В частности, предложена обобщенная модель динамического изображения, отражающая непрерывное изменение изображения во времени, вызванное движением наблюдаемой сцены. Для частного случая гладкого оптического потока дана эквивалентная форма уравнения движения в дифференциальной форме.

Автором развита идея совмещения не самих изображений, а полей значений функционалов, определяемых на анализируемых изображениях. Предложены функционалы, использование которых позволяет корректно вычислять пространственные производные от изображений. Применение аппарата обобщенных функций позволило обойти проблему дифференцирования изображений по пространственным координатам, что существенно при наличии шумов.

Предложена форма представления ядра обобщенной функции в виде мультипликативной функции, структура которой позволяет минимизировать затраты на вычисления используемых функционалов. Исследовано влияние случайного аддитивного шума на погрешность идентификации параметров движения изображений.

Показано, что возникающие погрешности уменьшаются при увеличении квадратичной вариации изображения по направлениям координатных осей.

Представленные результаты экспериментов демонстрируют высокую скорость сходимости и высокую точность процедур совмещения при наличии значительных шумов. На основе этих результатов построены оригинальные алгоритмы сшивки изображений, устойчивые к аддитивному шуму.

В третьем разделе диссертации развит компенсационный метод совмещения изображений, устраняющий «скоростную» ошибку совмещения фрагментов. Предложена эффективная итерационная процедура высокоточного совмещения изображений и построения карт диспатантности пар изображений, обеспечивающая субпиксельную точностью совмещения. Важным достоинством предложенной итерационной процедуры является векторный критерий останова, который применим для совмещения разнородных изображений с яркостными, спектральными и ракурсными различиями.

Предложенные процедуры совмещения апробированы на реальных космических изображениях с разнообразными сюжетами. Исследованы устойчивость процесса сходимости, скорость сходимости и влияние на сходимость итерационной процедуры вариации начальных условий (размеров области притяжения). Демонстрирована также возможность адаптации развиваемого метода для решения задачи обнаружения объектов по их эталонным изображениям. Показаны неоспоримые преимущества развиваемого метода в сравнении с методами, основанными на вычислении значений корреляционных функций.

Четвертый раздел посвящен методике совмещения (вычислению оптического потока) изображений, полученных при наблюдении с подвижной платформы. Для совмещения реальных изображений предложены конструкции нормированных нелинейных обобщенных функций (функционалов) со сложным составным ядром типа «сомбреро», определенным на «тройках» окон анализа. Такие функционалы характеризуются инвариантностью к мультипликативным возмущениям, в значительной мере устраняют спектральные различия изображений и обеспечивают робастность к случайному шуму видеосигнала. Для модели видеосигнала, подверженного аддитивному шуму с нулевым математическим ожиданием, получена векторная форма оценки погрешности совмещения изображений. Приведены результаты совмещения панхроматических спектральнозональных изображений, показывающие стабильную отбраковку векторов оптического потока на фрагментах, обладающих малой информативностью.

В пятом разделе приведены результаты решения различных прикладных задач обработки космических изображений. Наиболее значимым практическим результатом является разработанная автором программа BlurCSKB, с помощью которой вычисляются параметры «скоростного» смаза изображений, включая чрезвы-

чайно большие смазы (до 100 и более пикселей). С использованием этой программы продлен срок эксплуатационного использования космических изображений, получаемых с КА «Ресурс-ДК» почти на 5 лет.

Оригинальным и значим результатом работы является также методика выявления дополнительной информации о текущих характеристиках космического аппарата с использованием «протоколов сшивки». В частности, в работе (раздел 5.4.3) продемонстрирован амплитудный спектр, вычисленный по «протоколу сшивки» двух смежных полос изображений, содержащий заметно выделяющиеся гармоники с частотами до 160 Гц. Это открывает новые возможности выявления в условиях орбитального полета факта возникновения вибраций, которые не выявляются в условиях наземных испытаний.

Автором предложена и реализована оригинальная идея виртуального сдвига ПЗ-матриц, позволившая с точностью лучше 0,1 пикселя, уточнять геометрическое положение фоточувствительных матриц в составе ОЭП. Показано, что эта технология позволяет достигать высокой «плотности» и точности вычисления карт диспаратности двух изображений.

Оригинальным результатом является также предложенная автором методика учета голономных связей при компоновке ПЗС-матриц в фокальной плоскости изобразительной системы КА. В частности, автором введено понятие «характеристический вектор» оптико-электронного преобразователя, который исчерпывающе отражает геометрические характеристики компоновки ОЭП из отдельных матриц. На основе этого подхода исследована временная стабильность положения ПЗС-матриц целевой аппаратуры космического аппарата «Аист-2Д». В рамках подхода решена также важная практическая задача идентификации оптико-электронного преобразователя в составе аппаратуры космического аппарата «Ресурс-ДК1».

В заключении диссертации приведены основные выводы по работе и полученные новые результаты.

Текст диссертации изложен логично, ясным техническим и математическим языком, подробно иллюстрирован примерами изображений, графиками (73 иллюстрации), таблицами (17 таблиц) с результатами экспериментов. Каждый раздел диссертации завершается выводами. Заключение полно отражает общие итоги и результаты исследований. Список литературы содержит 274 источника, показывает достаточно высокую степень проработанности отечественного и зарубежного опыта по теме работы.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По теме диссертации опубликовано 38 работ. Из них 3 работы опубликованы в международных изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web Of Science, 12 - в изданиях из перечня, рекомендуемого ВАК РФ, 19 - в материалах Международных

и Всероссийских конференций; 2 интернет публикации IFAC и PhysCon, патент на изобретение, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Достоверность

Достоверность результатов подтверждается:

- корректностью постановки решаемых задач;
- корректностью доказательств основных положений работы, в частности, показано, что известные методы вычисления оптического потока являются частным случаем предложенного обобщенного уравнения оптического потока;
- результатами вычислительных экспериментов на реальных изображениях, демонстрирующими стабильную воспроизводимость результатов;
- успешной эксплуатацией с декабря 2010 г. защищенной свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ (Приложение 2) программы BlurCSKB, предназначенной для коррекции смазанных изображений, получаемых КАН типа "Ресурс", что подтверждено тремя актами о внедрении в ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» (Приложение 1);
- результатами решения задачи идентификации ОЭП в составе МОЭП непосредственно по изображению, сформированному данным ОЭП;
- результатами оценки параметров колебательных и вибрационных процессов КА, подтверждёнными наличием источников этих процессов с соответствующими частотными характеристиками.

Оценка научной значимости и основных результатов

Диссертация вносит значительный вклад в развитие метода функционализации параметров изображений. Полученные результаты подтверждают перспективность применения этого метода при создании высокоточных ИИС. В диссертации предложены новые математические модели и оригинальные методики решения ряда прикладных задач, возникших впервые в практике космической съемки. Решения прикладных задач основаны на оригинальных идеях, открывающих новые направления анализа характеристик КА по космическим изображениям.

Оценка практической значимости

Практическую значимость составляют разработанные методы, методики, алгоритмы, программное обеспечение (ПО) и методики построения ИИС, позволяющие решать комплекс практически важных задач обработки космических изображений.

Соответствие паспорту специальности.

Тематика диссертационного исследования, полученные теоретические и практические результаты соответствуют паспорту специальности 05.11.16 «Информа-

ционно-измерительные и управляющие системы (технические системы)» по следующим пунктам:

1. Научное обоснование перспективных информационно-измерительных и управляющих систем, систем их контроля, испытаний и метрологического обеспечения, повышение эффективности соответствующих систем.

2. Методы и системы программного и информационного обеспечения процессов отработки и испытаний образцов информационно-измерительных и управляющих систем.

3. Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создание новых элементов, частей, образцов информационно-измерительных и управляющих систем, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений.

Общие замечания

В качестве недостатков диссертационной работы считаю необходимым отметить следующее.

1. Первая глава диссертации, в которой изложен аналитический обзор состояния исследуемой проблемы, могла бы быть сокращена без ущерба для диссертации.

2. Предложенное уравнение движения изображения (2.3), (2.4) является преобразованием смещения изображения и не охватывает случай вращения и изменения масштаба изображения.

3. Автор характеризует число обусловленности матрицы формулой (2.19). Приведенная характеристика, при определенных ограничениях, конечно, может характеризовать обусловленность, однако обычно под числом обусловленности понимают произведение нормы матрицы на норму обратной к ней матрицы, поэтому в данном случае лучше использовать какое-то иное название.

4. При исследовании вибраций фокальной плоскости космического телескопа амплитуда колебаний дана в пикселях получаемого смаза. Следовало бы привести амплитуду колебаний фактического смещения.

5. Не ясны преимущества предлагаемого метода в задачах совмещения изображений при больших начальных смещениях по сравнению с известными алгоритмами, использующими «пирамидальный» пересчет пиксельной сетки изображений.

6. Предложенная процедура оценки относительного положения фоточувствительных матриц в составе ОЭП рассмотрена только для одного, параллельного строкам матриц, направления. Непонятно, как определяется относительное положение матриц в других направлениях.

7. Существуют интернет-базы данных с изображениями реальных сцен с известными (эталонными) движениями содержащихся в них объектов. Желательно было бы протестировать предложенные алгоритмы определения скорости движения изображений на таких эталонах.

8. В формуле (1.23) двойка в показателе степени не на месте.

9. Обилие аббревиатур затрудняет чтение диссертации.

Заключение

В целом диссертация Мартемьянова Б.В. является завершенной научно-квалификационной работой, соответствующей специальности 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы (технические системы)», вносящей значительный вклад в развитие теории и методов обработки изображений и демонстрирующей научные и практические достижения мирового уровня.

Считаю, что представленная к защите диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Мартемьянов Борис Викторович, достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы (технические системы)».

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой суперкомпьютеров и общей информатики,
доктор технических наук, профессор



Фурсов Владимир Алексеевич

Докторская диссертация оппонента защищена по специальности 05.13.16 – применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях.

Контактная информация организации:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет).

Адрес: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

Сайт: <http://www.ssau.ru/>

Телефон: (846) 335-18-26

E-mail: ssau@ssau.ru

