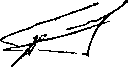
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет»**



*На правах рукописи*

**ПАШЕНЦЕВ Дмитрий Юрьевич**

04201359691

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ТОЧЕЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗВЁЗДНОГО НЕБА ОТ ВИДЕОДАТЧИКОВ СКАНОВОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ**

Специальность 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка

информации (технические системы)

**ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

**Научный руководитель**

кандидат технических наук, доцент

ТИШКИН Р.В.

Рязань 2013

ВВЕДЕНИЕ 6

1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И

ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ЗВЁЗД НА КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ ДАТЧИКОВ СКАНОВОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОЛЕТНОЙ КАЛИБРОВКИ 13

1. Схемы съемки целевой аппаратуры с помощью систем

дистанционного зондирования Земли 14

1. Особенности отождествления звёзд на участке снимка

небесной сферы, полученного датчиком сканового типа 18

1. Методы отождествления точечных объектов небесной сферы 19
2. Сравнение угловых расстояний 20
3. Корреляционно-экстремальный метод 21
4. [Анализ современных астрономических каталогов звёзд 22](#bookmark5)
5. [Алгоритмы и методы сегментации изображений 23](#bookmark6)
6. Общая классификация и характеристика методов на основе искусственных нейронных сетей 26
7. Общая характеристика методов на основе нечеткой логики 27
8. Общая характеристика и классификация методов, основанных на выделении границ 27
9. Характеристика и классификация методов структурной сегментации 32
10. Методы сегментации, основанные на разметке точек области.... 32
11. [Основные результаты 38](#bookmark12)
12. ПРИМЕНЕНИЕ АПРИОРНЫХ ЗНАНИЙ В АЛГОРИТМАХ

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗВЁЗДНЫХ УЗОРОВ 40

* 1. Фильтрация астрокаталога с учетом полосы обзора космического аппарата 40
  2. [Фильтрация астрокаталога на основании эффективной звёздной величины 46](#bookmark13)
     1. Учет порогового потока фоточувствительных элементов матрицы ПЗС по спектральным классам звёзд 46
  3. [Математическая модель оптико-электронной аппаратуры высокого разрешения для оценки видимой звёздной величины 48](#bookmark14)
     1. Расчет эффективного значения звёздной величины для различных спектральных классов звёзд 53
  4. [Эталонное изображение 58](#bookmark18)
     1. Формирование оперативного каталога звёзд 58
     2. Формирование эталонного кадра для систем покадровой съемки 63
     3. Формирование эталонного изображения для съемочных устройств сканового принципа действия 64
  5. [Основные результаты 72](#bookmark25)

1. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ И

ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗВЁЗД НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ЗВЁЗДНОГО НЕБА, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ ДАТЧИКОВ СКАНОВОГО ТИПА ДЕЙСТВИЯ 73

* 1. Сегментация скановых изображений участков небесной сферы 73

1. Л Метод высокоскоростной сегментации скановых изображений участков небесной сферы 73
2. Алгоритм высокоскоростной сегментации 77
3. Подавление шумов ПЗС-матриц на скановых изображениях

звёздного неба 83

1. Алгоритм приведения средних значений яркостей пикселей 84
2. Подавление шумов ПЗС-матриц в высокоскоростном методе сегментации 84
3. Специализированные подходы к решению задачи сегментации

двойных звёзд 87

1. Алгоритм разделения двойных звёзд, основанный на базовых морфологических операциях 88
2. Метод сегментации по водоразделу 89
3. Алгоритм многомасштабного морфологического градиента 93
4. Алгоритм водораздела с предварительной обработкой многомасштабным морфологическим градиентом 93
5. [Определение центра тяжести изображения звезды 96](#bookmark33)
6. Расчет координат центра тяжести образа 96
7. Расчет среднеквадратической погрешности определения центра тяжести изображения звезды 96
8. [Подходы к решению задачи распознавания 98](#bookmark35)
9. Сравнение угловых расстояний 99
10. Корреляционно-экстремальный метод 102
11. Гибридный алгоритм отождествления звёзд 109
    1. Основные результаты 118

4 ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ И

АЛГОРИТМОВ 120

1. Разработка программного обеспечения 120
2. Разработка программного обеспечения с учетом масштабируемости на различные операционные системы 124
3. Разработка модуля формирования рабочего каталога звёзд с использованием системы управления базами данных 125
4. [Применение семейства вычислительных систем на основе графических процессоров при реализации алгоритмов сегментации изображений 130](#bookmark40)
5. Ядро CUD А 131
6. Сравнение алгоритмов реализованных на различных вычислительных платформах 135
7. [Основные результаты 137](#bookmark41)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 138

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 140

ПРИЛОЖЕНИЯ 150

Актуальность работы. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) явля­ется одним из приоритетных направлений современной науки. Сферы практи­ческого применения систем ДЗЗ распространяются на многие отрасли народно­го хозяйства: сельское, рыбное и лесное, геологии и разведки недр, контроля окружающей среды, гидрометеорологии, военную разведку и др. В последнее время широко применяются системы ДЗЗ с оптической аппаратурой сканового принципа действия. Тем не менее, в исходном виде полученные изображения не могут быть применены по назначению, так как имеют значительные геомет­рические искажения по отношению к объектам наблюдаемой территории. Для проведения высокоточной автоматической геометрической коррекции видео­данных, получаемых при дистанционном зондировании Земли, необходимо на­личие информации об элементах внутреннего ориентирования съемочного уст­ройства и внешнего ориентирования космического аппарата (КА). К элементам внешнего ориентирования относятся данные, полученные от гироскопических систем, звездных датчиков, солнечных датчиков и систем позиционирования, таких как ГЛОНАСС и GPS. К элементам внутреннего ориентирования отно­сят: дисторсию объектива, координаты главной точки, расположение матриц в фокальной плоскости и фокусное расстояние [15].

Первоначально параметры внутреннего ориентирования измеряются при наземной калибровке съемочной аппаратуры, и их точность во многом опреде­ляет качество дальнейшей обработки полученных изображений земной поверх­ности. Однако под различными воздействиями, возникающими при выводе и эксплуатации КА на орбите, параметры внутреннего ориентирования меняются. Данный факт вызывает необходимость калибровки аппаратуры не только в ла­бораторных условиях, но и в штатном режиме работы [69].

Анализ публикаций в зарубежной печати [94, 103, 87, 93, 92, 95] показал, что для решения задач полетной калибровки принято использовать опорные

б

геодезические полигоны с большим числом опорных точек. Однако такой под­ход требует специально обустроенных полигонов, которые в нашей стране только создаются [61].

При эксплуатации КА ДЗЗ «Ресурс-П» впервые в отечественной практике реализуется новый способ решения этой задачи - геометрическая калибровка целевой аппаратуры (ЦА) по звёздному небу [69].

В режиме калибровки по звёздному небу КА отклоняется по крену на оп­ределенный угол и производит сканирование участка небесной сферы. В каче­стве опорных точек вместо известных геодезических координат выступают ко­ординаты звёзд, полученные из специализированного высокоточного звездного каталога (СВЗК), который соответствующим образом обработан.

В данном режиме, в отличие от калибровки по полигонам, исключается искажающее действие таких факторов, как:

* панорамный эффект,
* кривизна Земли,
* эллиптичность орбиты,
* влияние атмосферы,
* влияние рельефа местности.

Калибровка по звёздному небу является наиболее предпочтительной, но только в том случае, если во время съемки будет зарегистрировано и распозна­но достаточное количество звёзд для выполнения задачи уточнения параметров внутреннего ориентирования.

К выполнению задачи калибровки по звёздному небу выдвигаются жест­кие временные ограничения, соблюдение которых невозможно без использова­ния алгоритмических решений, описанных в данной работе.

Основными этапами задачи калибровки по звёздному небу являются:

* предварительная обработка, включающая сегментацию сканового изображения участка небесной сферы для выявления объектов, представляю­

щих звёзды, и дальнейшая идентификация их координат с координатами из вы­сокоточного астрономического каталога звёзд;

- тематическая обработка по уточнению параметров внутреннего ори­ентирования.

Наиболее продолжительным по временным характеристикам является этап предварительной обработки. Актуальность работы связана с необходимо­стью разработки скоростных методов и алгоритмов предварительной обработ­ки изображений, полученных с помощью оптико-электронных систем высокого разрешения сканового принципа действия, для решения задачи полётной ка­либровки параметров внутреннего ориентирования.

**Степень разработанности темы.** Существующие автоматические мето­ды сегментации ориентированы на разбиение изображения на однородные об­ласти. Данное направление представлено работами Алпатова Б.А., Сойфе- ра **В.**А., Вудса Р., Гонсалеса Р., Прэтта У. и основано на обработке всей посту­пающей информации с изображения.

Однако объем видеоданных, полученных в результате выполнения режи­ма полетной калибровки, может составлять порядка пятидесяти гигабайт и бо­лее, что не обеспечивает необходимую скорость выполнения задачи сегмента­ции. С учетом узкоспециализированной области по обработке изображений звёздного неба первое направление исследований связано с поиском и выделе­нием областей сканового изображения с известными свойствами.

Второе направление, связанное с распознаванием координат звёзд на изображении по астрономическому каталогу, широко представлено работами Еремеева В.В., Злобина В.К., Лупяна Е.А. и др.

Классические решения отождествления основаны на двух подходах: по­иске максимума взаимной корреляционной функции двух идентифицируемых изображений и сравнении угловых расстояний между выявленными звёздами на изображении и звёздами из астрокаталога.

Данные методы используются в приборах ориентации космического ап­парата по звездам. Осуществление ориентации с помощью блоков определения координат звёзд (БОКЗ) затруднено наличием оптических искажений (дистор- сия, хроматическая аберрация и т.д.), собственными шумами матрицы и нали­чием «ложных» звёзд.

Высокая точность астронавигационных приборов достигается благодаря использованию алгоритмов идентификации наиболее ярких кластеров звёзд, а также анализу серий изображений при покадровой съемке. Однако применение методов отождествления к скановым изображениям без модификации невоз­можно. Это обусловлено меняющимися геометрическими искажениями на всем маршруте сканирования.

Для задачи калибровки по звёздному небу необходимо наибольшее коли­чество распознанных звёзд. Однако оптические системы высокого разрешения имеют узкую полосу захвата по сравнению с БОКЗ, что обусловливает необхо­димость в распознавании максимального количества звёзд, зафиксированных на изображениях, полученных от видеодатчиков сканового принципа действия.

**Цель работы** заключается в разработке высокоскоростных и эффектив­ных методов и алгоритмов сегментации и идентификации звёздных узоров на скановых космических изображениях, полученных в условиях нелинейности геометрических искажений на всем маршруте съемки, и создании на их основе высокопроизводительного программного обеспечения оперативного получения информации для задачи полетной калибровки целевой аппаратуры.

**Основные задачи:**

* анализ современных и классических методов идентификации и сег­ментации изображений звёздных узоров;
* разработка высокоскоростного метода сегментации звёздных узоров на космических многозональных изображениях небесной сферы с использова­нием априорных данных высокоточных астрокаталогов;
* разработка алгоритма идентификации звездных узоров, полученных от видеодатчиков сканового принципа действия;
* проектирование высокопроизводительного программного комплекса идентификации звёздных узоров на основе технологий параллельных вычисле­ний.

**Научная новизна** диссертационной работы определяется тем, что в ней разработан высокоскоростной метод сегментации изображений небесной сфе­ры, полученных от видеодатчиков сканового принципа действия космических систем наблюдения Земли, основанный на априорных данных из высокоточных астрокаталогов. Данный метод позволяет снизить время предварительной обра­ботки скановых изображений небесной сферы и позволяет решить задачу уточ­нения параметров внутреннего ориентирования целевой аппаратуры в заданные тактико-технические временные характеристики. Также в диссертационной ра­боте представлены алгоритмы распознавания звёзд на скановых снимках в ус­ловиях нелинейных искажений, которые позволяют повысить точность сопос­тавления распознанных звёзд с эталонами, полученными из астрокаталогов.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

* алгоритм формирования эталонного снимка звёздного неба па основе высокоточного каталога звёзд для систем сканирующего типа;
* метод высокоскоростной сегментации космических многозональных скановых изображений небесной сферы с учетом априорных данных;
* гибридный алгоритм идентификации звёздных узоров на скановых изображениях небесной сферы;
* алгоритм идентификации изображений двойных звёзд.

**Практическая ценность** работы заключается в том, что предложенные

методы и алгоритмы идентификации и сегментации скановых изображений звёздных узоров используются в программных комплексах по уточнению и оценке параметров внутреннего ориентирования целевой аппаратуры космиче­ского аппарата. Также данные технологии функционируют в составе систем обработки информации от КА «Ресурс-П» и других КА.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на шести Всероссийских и международных научно-технических конференциях.

1. Всероссийская конференция «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании» (Рязань, 2009 г. - 2012 г.).
2. Всероссийская конференция «Наука и технологии» (Екатерин­бург, 2010).
3. Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные про­блемы ракетно-космической техники» (Самара, 2011).
4. Международная научно-техническая конференция «Проблемы пере­дачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Ря­зань, 2012).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 14 ра­ботах, в том числе две работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК. В федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный институт промышленной собственности» получено свидетельство (№2012614221 от 12.05.2012) о государственной регистрации программ для электронных вычислительных машин и баз данных.

Внедрение результатов работы. Диссертационная работа выполнена в Рязанском государственном радиотехническом университете. Результаты дис­сертационной работы в виде математического и специализированного про­граммного обеспечения внедрены в филиале ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ- Прогресс»-ОКБ «Спектр» (акт внедрения от 23.05.2012) и в учебном процессе Рязанского государственного радиотехнического университета по специально­сти 230105 «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизи­рованных систем» (акт внедрения от 11.09.2012), что подтверждается актами.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Основной текст работы содержит 139 с., 50 рисунков и 16 таблиц. Список литературы на 10 с. включает 107 наименований.

* 1. Основные результаты

1. Показано, что предлагаемые методы и алгоритмы в главах 2 и 3 (в т.ч. предлагаемые впервые) повышают качество обработки изображений звёздного неба, полученных от видеодатчиков сканового принципа действия. Для выполнения сегментации скановых изображений в темпе их получения требуется минимизировать время обработки, которое зависит от множества ресурсов ЭВМ (оперативная память, скорость центрального процессора, количество процессоров и т.д.).
2. Предложенные алгоритмы реализованы на ЭВМ с использованием графического процессора фирмы NVIDIA на базе архитектуры CUDA.
3. Использование кросс-платформенных инструментов разработки позволило разработать программное обеспечение для различных операционных систем, в том числе для мобильной системы вооружённых сил. Таким образом, сократилось время разработки программного обеспечения в части написания повторного кода под разные операционные системы. Использование свободно распространяемой объектно-реляционной СУБД (ORDBMS) обеспечивает сокращение стоимости разрабатываемой системы для потребителей.
4. Использование графического процессора Tesla С2070 существенно повышает производительность алгоритмов обработки видеоданных звёздного неба, полученных от датчиков сканового принципа действия.

В результате проведенных исследований разработаны методы и алгорит­мы, которые позволяют увеличить точность и скорость обработки изображений звёздного неба, полученных от видеодатчиков сканового принципа действия, для получения информации о зафиксированных звёздах, которая используется в задаче геометрической калибровки по звёздному небу.

Основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, состоят в следующем.

1. Исследованы существующие методы сегментации изображений и отождествления звёздных узоров. Установлены недостатки существующих ме­тодов отождествления звёздных узоров применительно к многозональным изо­бражениям звёздного неба, полученным с помощью систем сканирующего ти­па. Показано, что одним из эффективных путей устранения недостатков являет­ся использование комбинированных подходов обработки.
2. Разработан алгоритм формирования эталонного изображения звёздно­го неба для видеодатчиков сканового принципа действия. Приведено сравнение построенных эталонных изображений для датчиков сканового принципа дейст­вия с альтернативными сформированными моделями. Показано, что разрабо­танный алгоритм позволяет увеличить количество звёзд в эталонном изображе­нии при увеличении времени сканирования по сравнению с альтернативными способами формирования.
3. Предложена модификация метода высокоскоростной сегментации скановых изображений небесной сферы, основанная на глобально-оптимальном методе сегментации. С учетом априорной информации из высокоточных звёзд­ных каталогов данная модификация позволяет сократить время сегментации на 15 % и более, а также повысить точность определения координат звёзд на изо­бражении.
4. Разработан алгоритм формирования рабочего каталога звёзд, основан­ный на процедуре фильтрации исходных данных астрокаталога, позволяющий снизить объем обрабатываемой информации при формировании эталонного изображения для систем сканового принципа действия.
5. Разработан алгоритм идентификации двойных звёзд на изображениях звёздного неба, основанный на методе водораздела с предварительной обра­боткой многомасштабным морфологическим градиентом, для обеспечения дальнейшей тематической обработки необходимыми данными. Данный алго­ритм позволяет повысить точность определения координат звёзд, представлен­ных на изображении в виде кластеров скоплений двух и более звёзд.
6. В связи с постоянно меняющимися геометрическими искажениями изображения на всем маршруте сканирования для изображений звёздного неба, полученных от видеодатчиков сканового принципа действия, предложен гиб­ридный алгоритм отождествления звёзд. Данный алгоритм позволяет повысить точность отождествления звёзд по сравнению с существующими методами за счет уточнения постоянно меняющихся геометрических искажений сканового изображения на всем маршруте съемки.
7. На основе разработанных методов и алгоритмов создан высокопроиз­водительный программный комплекс, а также его модификации, предваритель­ной обработки скановых изображений звёздного неба, полученных от космиче­ских систем ДЗЗ «Ресурс-П» и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боресков А.В., Харламов А. А. Основы работы с технологией CUD А. М.: ДМК Пресс, 2010. 232 с.
2. Высокоскоростной алгоритм сегментации изображений звездного неба, полученных от датчиков сканерного типа / Д.Ю. Пашенцев [и др.] // Цифровая обработка сигналов: научно-технический журнал. 2011. №3. С. 42-46.
3. Абакумов В.М. Особенности измерения угловых координат звёзд прецизионными оптико-электронными системами // Опт. журн. 1996. №7. С. 43-47.
4. Аванесов Г.А., Балобанов В.М., Зиман Я.Л. Выбор параметров аппаратуры оперативного определения ориентации КА по изображениям звёзд // Оптико-электронные приборы в космических экспериментах. М.: Наука, 1983. С. 124-157.
5. Авдеев С.П. Методика габаритного и энергетического расчета оптико-электронных приборов пассивного типа. Л.: Ленингр. ин-т точной механики и оптики, 1978.
6. Авдеев С.П., Полыциков Г.В. Способ оценки ожидаемой разрешающей способности прибора наблюдения с ЭОП // Изв. вузов. Сер. Приборостроение, 1979. № 7.
7. Агеев В.Ф. Грицкевич Е.В., Малинин В.В Пакет программ для моделирования современных приборов наблюдения на персональных ЭВМ // Вопр. оборонной техники. 1991. Сер. 10. Вып. 7. 279 с.
8. Моделирование точечных изображений звездного неба, получаемых от датчика сканерной съемки / Д.Ю. Пашенцев [и др.] // Наука и технологии: труды XXX Российской школы, посвященной 65-летию Победы. М.: РАН, 2010. С. 164—172.
9. Аксенов О.Ю. Распределение вычислительного процесса в многопроцессорном комплексе обработки видеоинформации // Цифровая обработка сигналов: научно-технический журнал, 2004. № 2. С. 44-47.
10. Аксенов О.Ю. Задержка обработки информации в многопроцессорных вычислителях различной конфигурации // Цифровая обработка сигналов: научно-технический журнал, 2005. № 2. С.36-39.
11. Алеев Р.М, Иванов В.П., Овсянников В.А. Основы теории анализа и синтеза воздушной телевизионной аппаратуры. Казань: Изд-во Казан, ун-та, **2000.**
12. Институт прикладной астрономии: астрономический ежегодник. URL: <http://www.ipa.nw.ru/PAGE/EDlTION/RUS/AE/ae_l> .htm
13. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б. А. Алпатов [и др.]. М.: Радиотехника, 2008. 176 с.
14. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Высш. шк., 1983. 295 с.
15. Бакланов А.И. Системы наблюдения и мониторинга: учеб. пособие. М.: Изд-во «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2009. 234 с.
16. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии М.: Изд-во «Наука», 1970. 536 с.
17. Банди Б. Методы оптимизации. М.: Радио и связь, 1989.
18. Блажко С.Н. Курс практической астрономии. М.: Наука, 1979.
19. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. М.: Наука, 1973. 320 с.
20. Куренков В.И., Салмин В. В., Абрамов Б. А. Основы устройства и

моделирования целевого функционирования космических аппаратов наблюдения: учеб. пособие. Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2006. 296 с.

1. Злобин В.К., Еремеев В.В., Кузнецов А.Е. и др. Межотраслевая обработка изображений датчика МСУ-В ИСЗ «Океан О» // Исследование Земли из космоса. 2001. № 1. С. 24-31.
2. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. М.: Изд-во А и Б, 1997. 296 с.
3. Гибин И.С., Грицкевич Е.В., Малинин В.В. Автоматизированная обработка оптической информации. Новосибирск: НИИГАиК, 1991.
4. Разработки и производство ФПЗС и цифровых камер на их основе [Электронный ресурс] / Г. И. Вишневский [и др.] // Научно-технический интернет-журнал "Теле Фото Техника". URL: <http://www.telephototech.ru/>
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с. TSBN 5-94836-028-8.
6. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. М.: Техносфера, 2006. 616 с.
7. Пашенцев Д.Ю. Программно-математическая реализация комплекса формирования рабочего астрокаталога // Итоги диссертационных исследований: сб. науч. тр. М.: РАН, 2011. С. 32-39.
8. Пашенцев Д.Ю. Подавление шумов ПЗС-матриц на скановых изображениях звёздного неба // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвуз. сб. науч. тр. [под ред. А.Н. Пылькина]. Рязань: РГРТУ, 2012. С. 194-199.
9. Пашенцев Д.Ю., Пылькин А.Н., Тишкин Р.В. Моделирование точечных изображений звездного неба, получаемых от датчика сканерной съемки // Наука и технологии: краткие сообщения XXX Российской школы. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. Т. 2. С. 44—47.
10. Пашенцев Д.Ю., Тишкин Р.В. Алгоритмы распознавания двойных звёзд на изображении звездного неба // Программные информационные системы: межвуз. сб. науч. тр. [под ред. А.Н. Пылькина]. Рязань: РГРТУ, 2011. С. 36-42.
11. Денисов Д.А., Низовкин В.А. Сегментация изображения на ЭВМ // Зарубежная радиоэлектроника: ежемесячный научно-технический журнал. М.: Радиотехника, 1985. № 10. С. 5-30.
12. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. М.: Мир. 1976. 511с.
13. Еремеев В.В. Методы и информационные технологии межотраслевой обработки многозональных космических изображений: автореф. дис. д-ра. техн. наук. Рязань, 1996. 32 с.
14. Злобин В.К., Еремеев В. В. Системы межотраслевой обработки космических изображений поверхности Земли. Этапы становления и развития // Космонавтика и ракетостроение. Королев: ЦНИИМАШ, 1998. № 4. С. 89-97.
15. Злобин В. К. Еремеев В.В. Обработка аэрокосмических изображений. М.: Физматлит, 2006. 288 с. ISBN 5-9221-0739-9.
16. Злобин В. К., Еремеев В.В., Кузнецов А.Е.Обработка изображений в геоинформационных системах. Рязань: РГРТУ, 2006. 264 с.
17. Злобин В.К., Кобзев В.Н. Цифровая корреляционно-экстремальная система совмещения двух изображений // Специализированные и комбинированные вычислительные устройства. Рязань: РРТИ, 1979.
18. Злобин В.К., Кузнецов А.Е., Нефедов В.И. Организация координатной обработки потока видеоданных в реальном времени // Проектирование вычислительных машин и систем: межвуз. сб. науч. тр. Рязань: РРТИ, 1990. С. 35-42.
19. Зорич В.А. Математический анализ /4.1. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: ФАЗИС, 1997. 554 с.
20. Ивандиков Я.М. Оптико-электронные приборы для ориентации и навигации космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1979.
21. Пашенцев Д.Ю., Иванов А.В., Тишкин Р.В. Алгоритмы идентификации звёздных узоров в задаче уточнения элементов внутреннего ориентирования //Вестник СГАУ. Вып. 4. Самара, 2012. С. 80-87.
22. Пашенцев Д.Ю., Иванов А.В., Тишкин Р.В. Алгоритмы идентификации звездных узоров в задаче уточнения элементов внутреннего ориентирования // Актуальные проблемы ракетно-космической техники: материалы 2-й всероссийской науч.-техн. конф. [под ред. А.Н. Кирилина], 12-16 сентября 2011 г. Самара: СамНЦ РАН-Самара, 2011. С. 277-278.
23. Иванов Н.М., Лысенко J1.H. Баллистика и навигация. М.: Дрофа,
24. 544 с.
25. Изнар А.Н., Павлов А.В., Федоров Б.Ф. Оптико-электронные приборы космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1972.
26. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
27. Компьютерная графика и мультимедиа [Электронный ресурс] // Сетевой журнал. URL: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/147>
28. Пашенцев Д.Ю., Кондрашов А.В., Тишкин Р.В. Использование параллельных вычислений для отождествления точечных изображений звездных узоров // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвуз. сб. науч. тр. [под ред. А.Н. Пылькина]. Рязань: РГРТУ, 2010. С. 19-22.
29. Крестьянинова М.А. Применение методов контролируемой классификации для анализа биологических данных: автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2003.
30. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия - Телеком, 2002. 382 с.
31. Кузнецов А.Е., Кочергин А.М. Обработка изображений в задаче каталогизации данных дистанционного зондирования // Изв. вузов: Геодезия и аэрофотосъемка, 2002. №1. С. 166-172.
32. Куимов К.В., Амирханян В.Р., Соколова А.Ю. Определение положения астрономического объекта по наблюдениям с прибором зарядовой связи: учеб. пособие для студ. астроном, отд. [Электронный ресурс]. URL: <http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/Kuimov/index.html>
33. Люггер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 864 с.
34. Малинин В.В. Компьютерное моделирование системы ориентации по звездному полю // Информационные системы и технологии: материалы межд. науч.-техн. конф. Новосибирск: НГТУ, 2000. Т. 2.
35. Малинин В.В., Фалеев А.В. Обзор систем ориентации по звездному полю // Вестн. СГГА. Новосибирск: СГГА. 1997. Вып. 2. С. 196 -202.
36. Малинин В.В., Фалеев А.В. Оптико-электронные системы ориентации по звездному полю // Опт. журн. СПб.: НПК ГОИ, 1996. №10. С.28-31.
37. Малинин В.В., Фалеев В.А. Математическая модель системы ориентации ЮТА по звездному полю // тез. докл. 3-го Сиб. конгресса по прикладной и индустриальной математике (ИНПРИМ-98). Новосибирск: Изд- во ИМ СО РАН, 1997. Ч. 3. С. 114-108.
38. Малинин В.В. Моделирование и оптимизация оптико-электронных приборов с фотоприемными матрицами [Отв. ред. М.Я.Воронин]. Новосибирск: Наука, 2005. 255 с.
39. Сойфер В.А. Методы компьютерной обработки изображений. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.
40. Миронов А. В. Основы астрофотометрии / учеб. пособие. М.: МГУ,
41. 193 с.
42. Михельсон Н.Н. Оптика астрономических телескопов и методы её расчёта. М.: Физматлит, 1995. 333 с.
43. Создание системы валидационных подспутниковых наблюдений // ОКР «Регион В-Валидация»: проект ТЗ [Электронный ресурс]. URL: <http://doc.gostorgi.ru> /701/2010-06-02/790730/9.doc
44. Осипик В.А., Федосеев В.И. Алгоритмы автоматического распознавания групп звёзд на борту космического аппарата // Опт. журн. 1998.
45. Осипик В.А., Федосеев В.И. Математическое моделирование алгоритмов опознавания группы звёзд // Опт. журн. 1996. № 7. С. 62-64.
46. Пашенцев Д.Ю., Иванов А.В., Зинина И.И. Обработка данных современных звёздных каталогов // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 17-й

Международной науч.-техн. конф. Рязань: РГРТУ 2012. С. 123-124

1. Пашенцев Д. Ю., Тишкин Р. В. Оценка экстремально­корреляционного алгоритма совмещения точечных изображений звездных узоров // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании (НИТ-2009): XIV Всероссийская науч.-техн. конф. студ., молодых учен, и спец. Рязань: РГРТУ, 2009. С.321-323.
2. Пашенцев Д.Ю., Алпатов Ю.Б., Тишкин Р.В. Скоростной алгоритм сегментации точечных изображений // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании (НИТ-2010): XV всероссийская науч.- техн. конф. студ., молодых учен, и спец. Рязань: РГРТУ, 2010. С. 288-289.
3. Пашенцев Д. Ю., Тишкин Р. В. Метод распознавания двойных звёзд на изображении звёздного неба // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании (НИТ-2011): XVI всероссийская науч.- техн. конф. студ., молодых учен, и спец. Рязань: РГРТУ. 2011. С.242-244.
4. Пашенцев Д.Ю., Пылькин А.Н., Тишкин Р.В. Обзор систем поиска информации в звёздных каталогах // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвуз. сб. науч. тр. [под ред. А.Н. Пылысина]. Рязань: РГРТУ, 2011. С. 179-182.
5. Петрищев В. Ф. Полетная фотограмметрическая калибровка оптико­электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли по звездному небу//Журнал «Полет»: Изд-во «Машиностроение». М., 2005. №7. С. 39-42.
6. Токовинин А.В. Пособие по адаптивной оптике обсерватории Серро- Тололо [Электронный ресурс]. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1205112/>
7. Прэтт У. Цифровая обработка изображений М.: Мир, 1982. Т. 1.

310с.

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений М.: Мир, 1982. Т.2.

478 с.

1. Пылькин А.Н., Тишкин Р.В. Методы и алгоритмы сегментации изображений. М.: Горячая линия - Телеком, 2010. 92 с.
2. РД 50-25645.325-89 Методические указания спутники Земли искусственные. Основные системы координат для баллистического обеспечения полетов и методика расчета звездного времени. Введ. 1990-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1990. 19 с.
3. Урмаев М.С. Космическая фотограмметрия: учеб. для вузов. М.: Недра, 1989. 279 с.
4. Федеральная космическая программа России на 2006-2015 годы: утвер. правит. РФ от 22 октября 2005 № 635 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.roscosmos.ru/download/fkp_2015_for_site.doc>
5. Форсайт Д. А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. 928 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс. М.: Изд. дом «Вильямс»,
7. 1104 с. ISBN 5-8459-0890-6.
8. Хуанг Т. С. и др. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. М.: Радио и связь, 1984. 224 с.
9. Цветков А. С. Руководство по работе с астрокаталогом Tycho-2. СПб., 2005. 132 с.
10. Шапиро JL, Стокман Д. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
11. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
12. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник для студентов вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Логос, 1999. 480 с.
13. Яне Б. Цифровая обработка изображений М.: Техносфера, 2007.

584 с.

1. Burt P.J., Adelson Е.Н. The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code // IEEE Trans, on Communications. 1983. P. 532-540.
2. Chung-Hoon R. Uncertain fuzzy clustering: Insights and Recommendations // IEEE Computational intelligence magazine. 2007. Vol.2. №1. P. 44-56.
3. Dial G. Test Ranges for Metric Calibration and Validation of Satellite Imaging Systems // Workshop on Radiometric and Geometric Calibration. Gulfport, 2003.
4. GeoTiff Format Specification: v. 1.8.2. [Электронный ресурс]. 1995. URL: <http://www.geocad.ru/produkty/formaty-geodannyh/geotiff/>
5. CUDA С Programming Guide: [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/index.html>
6. Sauvola J., PietikaKinen M. Adaptive document image binarization // Pattern Recogn. 2000. Vol. 33. P. 225-236.
7. Jacobsen K. Calibration of imaging satellite sensors // Institute of Photogrammetry and Geoinformation. University of Hannover, 2006.
8. Jacobsen K. Calibration of IRS-1C PAN-camera // Joint Workshop «Sensors and Mapping from Space». Hannover, 1997.
9. Jacobsen K. Geometric Aspects of High Resolution Satellite Sensors for Mapping // ASPRS Seattle, 1997.
10. Jacobsen K. Issues and Method for In-Flight and On-Orbit Calibration // Workshop on Radiometric and Geometric Calibration. Gulfport, 2003.
11. Jacobsen. K., Biiyiiksalih, G., Topan, H. Geometric Models for the Orientation of High Resolution Optical Satellite Sensors // Hannover, 2005.
12. Parvati K., Prakasa Rao B. S., Mariya M. Image segmentation using gray­scale morphology and marker-controlled Watershed transformation // Hindawi Publishing Corporation Discrete Dynamics in Nature and Society. 2008.
13. Color reproduction of a single chip color camera with a frame transfer CCD / Kiyotsugu I. [et al.] // IEEE J. Solid-State Circuits, 1981.
14. Kornus K., Lehner М., Schroeder M. Geometric Inflight Calibration of the Stereoscopic CCD-Linescanner // MOMS-2P, ISPRS Com I Symp., Bangalore. 1998. Vol. XXXII-1. P. 148-155.
15. Najman L., Couprie М., Watershed algorithms and contrast preservation // Discrete geometry for computer imagery, Springer. 2003.Vol. 2886. P. 62-71.
16. MacQueen J. B. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability // Berkeley, University of California Press. 1967. P. 281-297.
17. Bhagwat М., Krishna R. K.,Vivek P. Simplified algorithm watershed // International Journal of Computer Science & Communication. 2010. Vol.l.№l. P. 175-177.
18. Radhadevi P.V. In-flight geometric calibration of fore and aft cameras of cartosat-1 //ISPRS. 2008.
19. Forty years of experience with SPOT in-flight Calibration / Valorge C. [et al.] // Workshop on Radiometric and Geometric Calibration, Gulfport. 2003.
20. Vincent L., Soille P. Watersheds in Digital Spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations // IEEE Trans, on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1991. Vol. 13, № 6. P. 583-598.
21. Winter P. Warfighter's Access to Geospatial Intelligence // J. Defence Software Engineering. 2003.
22. Yadid-Pecht O., Pain B., Staller C. et al. CMOS active pixel sensor star tracker with regional electronic shutter // IEEE J. Solid-State Circuits. 1997.

Zlobin V.K., Eremeyev V.V., Kurbasov M.V. Automatic image identification in the tasks of remote sensing of the earth // Abstracts of the 4th Open Russian-German Workshop «Pattern Recognition and Image Understanding». Valday, 1996. P. 157-159.