

На правах рукописи

КОЧЕРГИН Андрей Михайлович

**АЛГОРИТМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ
ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ КАТАЛОГИЗАЦИИ
ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2008

Работа выполнена в Рязанском государственном
радиотехническом университете

Научный руководитель: **Заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор
Злобин Владимир Константинович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Каширин Игорь Юрьевич

кандидат технических наук
Пресняков Александр Николаевич

Ведущая организация: **Научный центр оперативного мониторинга
Земли, г. Москва**

Защита состоится **18 июня 2008 года в 12 час.** на заседании
диссертационного совета Д 212.211.01 в Рязанском государственном
радиотехническом университете по адресу:
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского
государственного радиотехнического университета.

Автореферат разослан 12 мая 2008 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.211.01
к.т.н., доцент

Пржегорлинский В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Создание и использование систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) были и остаются приоритетным направлением космической деятельности Российской Федерации и других стран мира. Материалы космической съемки после соответствующей обработки находят широкое применение в гидрометеорологии, картографии, геологии, сельском и лесном хозяйствах, экологии, военной разведке и многих других областях человеческой деятельности.

Эффективность использования космических снимков в различных предметных областях во многом определяется тем, насколько удачно обеспечен доступ потребителей к архивам спутниковых изображений. Эта проблема решается с помощью электронных каталогов (ЭК), которые автоматизируют процессы занесения информации в базу данных (БД) и поиска требуемых изображений. Основными информационными компонентами электронных каталогов являются многократно сжатые изображения земной поверхности и метаданные, включающие сведения о спутниках, видеодатчиках, спектральных диапазонах, времени съемки, географическом районе и др.

При формировании изображений лучистая энергия от поверхности Земли поступает на вход видеодатчика, где она разделяется на вполне определенные спектральные диапазоны и преобразуется в цифровые видеоданные, которые по каналу связи передаются на наземные центры приема. Как правило, видеoinформация поступает в центр приема при каждом обороте спутника вокруг Земли (примерно через каждые 1.5 часа). Объем информации, передаваемой со спутника за один сеанс связи, может достигать 5 Гб и более. Необходимо принятые данные разместить в ЭК до следующего сеанса связи со спутником. Часто процесс формирования изображений сопровождается воздействием целого ряда искажений, таких как импульсные и полосовые помехи, сужение яркостного диапазона, значительное покрытие наблюдаемой сцены облаками, неточные измерения параметров орбиты и углов ориентации спутника. В результате при отсутствии в составе метаданных показателей, характеризующих уровень яркостных и координатных искажений, пользователи при обращении к ЭК на свой запрос часто получают низкокачественные видеоданные, не соответствующие заданному географическому региону. В существующих отечественных и зарубежных технологиях электронной каталогизации космических снимков слабо развиты средства оперативной оценки и улучшения качества изображений и уточнения их геодезической привязки.

Настоящая диссертация посвящена разработке оперативных информационных технологий оценки и улучшения качества принимаемых изображений и уточнения их геодезической привязки в процессе электронной каталогизации данных ДЗЗ. Разработанные в ней показатели, характеризующие уровень искажений, степень покрытия облаками, уточненные значения параметров геодезической привязки изображений, включаются в состав метаданных ЭК, так что пользователь перед оформлением заказа на получение

необходимой информации может более адресно обратиться к ЭК и оценить качество содержащихся в нем видеоданных.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в области приема, обработки, хранения и распространения данных ДЗЗ внесли отечественные и зарубежные специалисты: Арманд Н.А., Асмус В.В., Журкин И.Г., Злобин В.К., Лукьященко В.И., Лупян Е.А., Макриденко Л.А., Новиков М.В., Новикова Н.Н., Полищук Г.М., Селиванов А.С., Чернявский Г.М., Huang T., Jordan L., Kronberg P., Pratt W., Rosenfeld A. и др. Их исследования по дистанционному наблюдению Земли составляют теоретическую основу для решения поставленных задач.

К числу лучших отечественных и зарубежных систем обработки, хранения и распространения данных космического мониторинга Земли относятся системы, созданные в рамках космических проектов SPOT, LANDSAT, «Ресурс-О1», «Метеор-3М», «Монитор-Э». В нашей стране наиболее комплексно эти вопросы решены в рамках федерального центра Роскосмоса (Научный центр оперативного мониторинга Земли), в отраслевых центрах Росгидромета (НИЦ космической гидрометеорологии «Планета»), Рослесхозе и других ведомствах, региональном центре г. Ханты-Мансийска на базе Югорского НИИ информационных технологий.

Однако с появлением новых современных средств ДЗЗ постоянно возникает потребность в совершенствовании процессов хранения и распространения видеоинформации. Наиболее узким местом существующих средств обработки данных ДЗЗ является отсутствие технологий оперативной геодезической привязки спутниковых изображений перед их каталогизацией, что приводит к безадресному размещению принятой видеоинформации в архивы и затрудняет пользователям процесс поиска необходимых данных. Другим узким местом является отсутствие оперативных технологий оценки качества данных ДЗЗ в процессе их каталогизации, прежде всего уровня зашумленности импульсными и полосовыми помехами, степени покрытия изображений облаками. В результате в архивы помещается информация, не имеющая в дальнейшем спроса у потребителей. Все это требует разработки соответствующих алгоритмов и технологий, что и является основным содержанием настоящей диссертации.

Цель диссертации состоит в разработке алгоритмов и оперативных технологий оценки и улучшения качества данных ДЗЗ и повышения точности геодезической привязки изображений к земной поверхности в процессе их электронной каталогизации.

Для достижения поставленной цели решены следующие **основные задачи**:

- выполнен системный анализ требований к современным системам электронной каталогизации данных ДЗЗ;
- разработаны высокоскоростные алгоритмы оценки и повышения качества спутниковых изображений;
- разработаны оперативные алгоритмы уточнения координатной привязки изображений перед их каталогизацией;

- спроектированы технология и соответствующее программное обеспечение предварительной обработки данных ДЗЗ в процессе их каталогизации.

Научная новизна работы определяется тем, что в ней предложены и исследованы новые оперативные технологии уточнения геодезической привязки спутниковых изображений и оценки качества данных ДЗЗ перед их каталогизацией.

На защиту выносятся следующие новые научные результаты:

- высокоскоростной алгоритм оценки степени зашумленности изображений импульсными и полосовыми помехами, основанный на статистическом анализе поврежденных пикселей, учитывающий специфику процесса электронной каталогизации данных ДЗЗ и требования потребителей;
- алгоритм оперативной оценки степени закрытия наблюдаемой сцены облаками, основанный на колориметрическом анализе спектрональных изображений и позволяющий получить достоверные оценки степени пригодности изображений для последующего целевого использования;
- алгоритм адаптивного контрастирования спутниковых изображений, который обеспечивает высококачественное отображение объектов наблюдаемой сцены, резко отличающихся по яркостному диапазону;
- технология оперативного уточнения параметров орбиты спутника на основе измерения координат небольшого числа одноименных точек изображения и электронной карты;
- алгоритм геодезической привязки видеоданных от геостационарных космических аппаратов, основанный на геометрическом анализе контурных точек изображения диска Земли, контрастно наблюдаемого на фоне окружающего космоса;
- комплексная технология геодезической привязки архивных фотоснимков, основанная на комбинированном использовании метаданных и опорных точек местности и позволяющая выполнить пространственную привязку изображений при отсутствии сведений о времени и (или) географических координатах района съемки.

Практическая ценность работы состоит в том, что на базе предложенных алгоритмов созданы базовые технологии электронной каталогизации спутниковых изображений, которые вошли в состав систем обработки данных ДЗЗ BankSat, CatalogOR, NormSatReg, MonitorSat, BelKA, MicroSat, MeteorSat. Эти системы используются для обработки и каталогизации изображений от космических аппаратов «Ресурс-О1», «Метеор-3М», «Монитор-Э», а также архивных изображений от спутников семейства «Океан».

Реализация и внедрение. Диссертация выполнена в Рязанском государственном радиотехническом университете в рамках НИР 23-99Г, НИР 35-02Г, НИР 2-03Г, НИР 13-03Г, ОКР №11-04, ОКР №46-05, ОКР №24-06.

Результаты работы в виде специального программного обеспечения внедрены в Научном центре оперативного мониторинга Земли, Российском НИИ космического приборостроения, региональном центре Югорского НИИ информационных технологий г. Ханты-Мансийска, НИЦ космической гидрометеорологии «Планета» и других организациях.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных конференциях «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика» (Рязань, 2000, 2003, 2007), «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2001, 2002, 2005), «Гагаринские чтения» (Москва, 2004); на всероссийских конференциях «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании» (Рязань, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007), «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Москва, 2005).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 26 работ: 3 статьи, 19 тезисов докладов на международных и всероссийских конференциях, разделы в четырех отчетах по НИР, прошедших госрегистрацию.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и приложения. Основной текст работы содержит 128 страниц. Список литературы на 11 с. включает 100 наименований. В приложении приведены документы о внедрении и практическом использовании результатов диссертации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 выполнен системный анализ современных отечественных и зарубежных систем обработки и каталогизации данных ДЗЗ. Выявлены общие принципы их построения и функционирования. Установлены узкие места известных систем, связанные с недостаточной эффективностью обслуживания потребителей в части обеспечения их качественной информацией на заданные географические регионы.

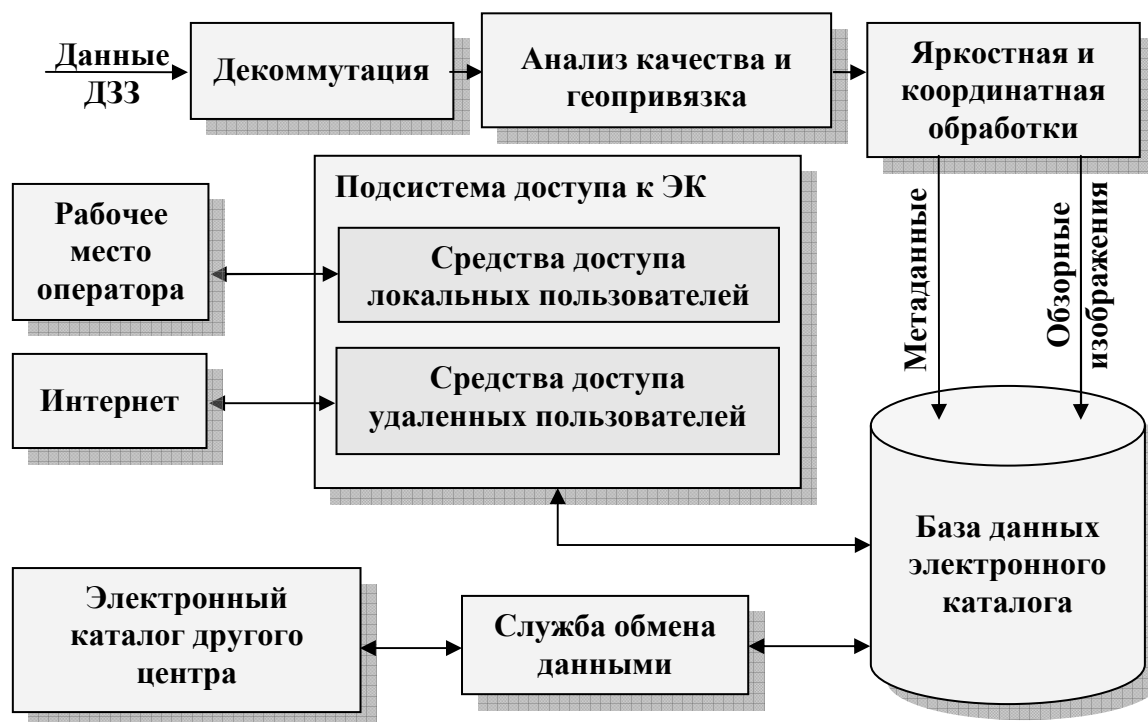
В результате анализа установлено, что исключительно большие объемы информации, получаемой в настоящее время от средств дистанционного зондирования Земли, и высокий темп ее поступления обуславливают необходимость создания информационных систем (ИС) для обработки, каталогизации и архивации поступающих видеоданных. Одним из основных элементов ИС по обработке данных ДЗЗ является система каталогизации космической видеоинформации. Главными функциями этой системы являются предварительная обработка спутниковых изображений, заполнение базы данных электронного каталога и обеспечение доступа пользователей к хранимым данным. В общем случае систему каталогизации можно разбить на две подсистемы, соответствующие этапам обработки информации:

- подсистема предварительной обработки, которая производит декоммутиацию входных данных ДЗЗ, оценку качества изображений, выполняет их яркостную и координатную обработку;

- подсистема заполнения базы данных (БД) электронного каталога и обеспечения удаленного доступа к нему. Она выполняет корректное заполнение БД с поддержкой целостности хранимых данных, обеспечивает удаленный доступ пользователей к хранимой информации и предоставляет средства для поиска, выборки и оформления заказа на требуемые спутниковые данные.

Сформулированы требования к этим подсистемам, прежде всего к производительности и надежности их функционирования. Требование к производительности обусловлено как объемами и темпами поступающей видеoinформации со спутников (особенно это актуально для системы предварительной обработки), так и типами наблюдаемых объектов. Для ряда задач, критичных ко времени получения необходимых данных (например, предупреждение и ликвидация последствий естественных и техногенных катастроф), определяющей характеристикой является своевременное предоставление обзорной информации. Требование к надежности вытекает из необходимости многолетнего хранения спутниковых видеоданных и предоставления пользователю необходимых средств доступа к ним.

Анализ требований, предъявляемых к современным системам каталогизации данных ДЗЗ, позволил определить ее основные узлы и связи между ними, представив их в виде обобщенной схемы (см. рисунок).



Обобщенная схема системы электронной каталогизации

Подсистема предварительной обработки выполняет следующие основные функции:

- декоммутация исходного файл-потока;
- входной контроль качества поступающих данных;
- пространственно-временная привязка (геопривязка);

- яркостная коррекция данных;
- подготовка метаданных и обзорных изображений на каталогизируемые данные ДЗЗ.

Подсистема заполнения БД и обеспечения удаленного доступа к каталогу решает следующие задачи:

- начальное заполнение и постоянное сопровождение справочной информации, необходимой для полноценного описания хранимых данных;
- занесение обзорных изображений и описывающих их метаданных в электронный каталог;
- обеспечение функций поиска, выбора и заказа данных пользователями;
- доступ к каталогу спутниковых данных авторизованных пользователей через локальную сеть с помощью специализированного программного обеспечения с рабочего места оператора и общий доступ территориально удаленных пользователей через глобальную сеть (например, Internet);
- обеспечение долговременного хранения каталожных данных и восстановление структуры и содержания электронного каталога при их повреждении;
- обеспечение механизмов автоматического обмена каталожными данными между пунктами приема и обработки информации с помощью службы обмена данными.

Исследование известных ИС обработки данных ДЗЗ показало, что в нашей стране и за рубежом создан ряд эффективных систем электронной каталогизации и архивации данных ДЗЗ. В то же время слабая развитость в этих системах средств оперативной оценки и улучшения качества данных ДЗЗ и их координатно-временного обеспечения приводит к тому, что пользователи спутниковых изображений часто получают по своим запросам информацию низкого качества и несоответствующую заданному географическому району.

Обоснованы основные направления научных исследований по созданию эффективных систем электронной каталогизации космических изображений поверхности Земли:

- разработка высокоскоростных алгоритмов оценки качества каталогизируемых изображений (определение уровня импульсных помех, сбойных строк и облачного покрытия на изображениях);
- разработка высокоскоростных алгоритмов улучшения качества изображений (коррекция импульсных и полосовых помех, объектно-адаптивное контрастирование изображений);
- разработка математического обеспечения координатной привязки спутниковых видеоданных, полученных от разнотипных видеодатчиков.

В главе 2 рассмотрена базовая технология формирования данных ДЗЗ различными системами наблюдения Земли; установлены основные факторы, определяющие радиометрические искажения; разработаны эффективные алгоритмы оценки и улучшения качества спутниковых изображений.

При яркостной обработке в качестве объектов преобразования выступают значения энергетической яркости точек наблюдаемой сцены, измеренные в нескольких спектральных диапазонах. В идеальном случае видеодатчик должен формировать изображения $B_k(m, n)$, $k = \overline{1, K}$, в результате интегрирования лучистой энергии в нескольких спектральных диапазонах:

$$B_k(m, n) = \int_0^{\infty} E(m, n, \lambda) S_k(\lambda) d\lambda, \quad k = \overline{1, K}, \quad (1)$$

где $S_k(\lambda)$ - спектральная чувствительность датчика в k -м диапазоне на длине волны λ , измеряемая на стадии предполетных испытаний; (m, n) - координаты точек изображения, функционально связанные с координатами одноименных точек Земли (X, Y, Z) ; $E(m, n, \lambda)$ - спектральная яркость точки Земли с координатами (X, Y, Z) , соответствующей точке изображения (m, n) .

В реальных условиях функционирования системы ДЗЗ формируемая ею видеоинформация существенно искажается, а соотношение (1) нарушается. В результате формируются изображения $B_k(m, n)$, $k = \overline{1, K}$, пиксели которых связаны сложными функциональными зависимостями с соответствующими пикселями идеальных изображений $D_k(m, n)$, $k = \overline{1, K}$.

Установлено, что основными искажающими факторами являются:

- изменение условий освещения и отражения точек земной поверхности и атмосферные искажения;
- неравномерность освещения фокальной плоскости датчика, флюктуации чувствительности и темнового сигнала элементов прибора с зарядовой связью, неидеальность данных бортовой калибровки, нелинейность спектральных чувствительностей датчика в различных спектральных каналах;
- сбои, возникающие в процессе передачи по радиоканалу данных со спутника в наземный центр приема информации.

Для оценки и устранения последствий воздействия искажающих факторов разработаны специальные алгоритмы, направленные на анализ и повышение качества изображений.

Оценка уровня зашумленности изображений. Классические алгоритмы коррекции импульсных помех, основанные на частотной, рекурсивной и медианной фильтрации, в рамках процесса каталогизации оказываются непригодными, поскольку они ориентированы на устранение искажений, а не на оценку уровня шума. Разработан алгоритм, который позволяет не только устранить импульсный шум, но и подсчитать число сбойных пикселей на изображении.

Согласно этому алгоритму вначале осуществляется предварительная проверка принадлежности пиксела импульсной помехе. Элемент изображения $b(m, n)$ признается сбойным, если одновременно выполняются два условия:

$$|b(m, n) - b(m - 1, n)| \geq \delta, \quad |b(m, n) - b(m, n - 1)| \geq \delta, \quad (2)$$

где δ - значение порога. Эта операция является самой массовой в исполнении и во многом определяет быстродействие всего алгоритма, что имеет принципиальное значение при каталогизации данных ДЗЗ. Затем выполняется проверка еще трех условий:

$$|b(m, n) - b(m+1, n)| \geq \delta, |b(m, n) - b(m, n+1)| \geq \delta, |b(m, n) - b(m+1, n+1)| \geq \delta. \quad (3)$$

Если все три условия выполняются, то принимается окончательное решение о признании пиксела $b(m, n)$ помехой, в противном случае пиксел признается не искаженным.

Порог δ соответствует точке перегиба гистограммы, построенной по разностям соседних элементов изображения, в которой значение второй производной равно нулю. Эта точка определяется с помощью фильтра по методу наименьших квадратов.

Установлено, что возникновение импульсных помех происходит в результате инвертирования состояния одного или нескольких старших бит в байте яркости пиксела в процессе передачи видеоданных по каналам связи со спутника в центр приема информации. Этот факт положен в основу итерационного алгоритма восстановления битовой структуры яркости пиксела.

Идентификация сбойных строк. Алгоритм обнаружения сбойных строк основан на последовательном сравнении статистических характеристик видеоданных соседних строк. Показано, что для надежной идентификации сбойной строки достаточно использовать всего одну характеристику - среднеквадратическое отклонение (СКО) яркости. СКО двух соседних несбойных строк мало отличаются друг от друга и существенно отличаются, если хотя бы одна из сопоставляемых строк сбойная. Конкретно алгоритм идентификации сбойных строк реализуется в виде следующей последовательности действий. Для произвольной n -й строки рассматривается группа из μ соседних строк, симметрично расположенных относительно нее. Для этих строк рассчитываются СКО σ_{n+i} , $i = \overline{-0.5\mu, 0.5\mu}$, а также усредненное значение $\bar{\sigma}_n$ и среднее значение модуля разности СКО соседних

строк $\bar{\sigma}_p = \frac{1}{\mu-1} \sum_{i=-0.5\mu}^{0.5\mu-1} |\sigma_{n+i} - \sigma_{n+i+1}|$. Строка с номером n признается сбойной,

если $|\bar{\sigma}_n - \sigma_n| > 3\bar{\sigma}_p$. Экспериментально установлено, что для надежной идентификации сбойных строк лучшие результаты достигаются при размерах апертуры порядка 30–50 строк.

Выделение облачного покрова. Исследования показывают, что человек на цветном снимке видит облако как серый объект с несколькими градациями яркости. Этот факт положен в основу колориметрического алгоритма идентификации пикселей, принадлежащих облачному покрову. Решение о принадлежности пиксела облачности принимается в случае одновременного выполнения условий:

$$(|\hat{b}_R(m^*, n) - \bar{b}(m^*, n)| \leq \Delta), (|\hat{b}_G(m^*, n) - \bar{b}(m^*, n)| \leq \Delta), (|\hat{b}_B(m^*, n) - \bar{b}(m^*, n)| \leq \Delta),$$

где $\bar{b}(m^*, n) = \frac{1}{3} \sum_{\lambda=R,G,B} b_{\lambda}(m^*, n)$; Δ – значение порога, равное 2% от максимального значения яркости пиксела.

Контрастирование. Цель процедуры контрастирования состоит в том, чтобы, не искажая цветовых характеристик объектов, добиться максимальной яркости и насыщенности изображения. Проведенный анализ показал, что наилучшие результаты с точки зрения быстродействия и качества представления изображений дает линейный компонентно-независимый алгоритм яркостного преобразования. Для обеспечения яркостной «непрерывности» функция контрастирования k -го кадра рассчитывается с учетом данных k -го и $(k+1)$ -го кадров. Кроме того, вводятся ограничения на диапазоны яркостей контрастируемых объектов: облачность представляется максимальным значением яркости b_{max} , под сушу выделяется 80 % яркостного диапазона и ~20 % – под объекты гидросети. Результирующая функция контрастирования k -го кадра $f_{\lambda k}(b)$ имеет следующий вид:

$$f_{\lambda k}(b) = \begin{cases} a_{01} + a_{11}b_{\lambda k}(m^*, n), & b_{\lambda k}(m^*, n) \leq q_{\lambda k}(1); \\ a_{02} + a_{12}b_{\lambda k}(m^*, n), & b_{\lambda k}(m^*, n) \in [q_{\lambda k}(1), q_{\lambda k}(2)); \\ b_{max} & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (4)$$

где (a_{01}, a_{11}) , (a_{02}, a_{12}) – коэффициенты преобразования; $q_{\lambda k}(i)$ – граничные значения яркостных диапазонов объектов гидросети, суши и облачности, $i=1, 2$. Решение о принадлежности пиксела гидросети принимается при одновременном выполнении условий

$$\alpha b_{Rk}(m^*, n) \leq b_{Bk}(m^*, n), \quad b_{Rk}(m^*, n) \leq b_{Gk}(m^*, n), \quad b_{Gk}(m^*, n) \leq b_{Bk}(m^*, n),$$

где $\alpha = 1.5$ - коэффициент, определяющий преобладание синей компоненты над красной.

Основываясь на введенных значениях яркостных диапазонов и критериях принадлежности пиксела облачности или гидросети, рассчитываются значения $q_{\lambda k}(1)$ и $q_{\lambda k}(2)$, а по ним определяются (a_{01}, a_{11}) , (a_{02}, a_{12}) .

В главе 3 предложена геометрическая модель формирования изображений; разработаны технологии геодезической привязки архивных фотоснимков, а также изображений, полученных от низкоорбитальных и геостационарных космических аппаратов.

Получена геометрическая модель формирования изображений, ориентированная на использование в системах каталогизации данных от различных по характеристикам спутников. Эта модель с достаточной для процесса каталогизации точностью аналитически описывает координатные соответствия между одноименными точками на исходном изображении и карте. В самом общем виде модель представлена как

$$\varphi = F_{\varphi}(m, n), \quad \lambda = F_{\lambda}(m, n); \quad x = G_x(m, n), \quad y = G_y(m, n),$$

где $F_{\varphi}(m, n)$ и $F_{\lambda}(m, n)$ - функциональные соотношения между регистрационными координатами (m, n) пиксела и географическими (φ, λ) ;

$G_x(m, n)$ и $G_y(m, n)$ - функции связи координат (m, n) с картографическими (x, y) . Получены развернутые выражения для этих координатных соотношений, что позволило организовать процесс уточнения параметров геодезической привязки данных ДЗЗ перед их каталогизацией.

Предложена технология уточнения параметров орбиты спутника на основе измерения координат небольшого числа одноименных точек местности (ОТМ) изображения и электронной карты. Из всех компонентов вектора кеплеровских параметров орбиты $\boldsymbol{\eta}(t_0) = (\eta_k(t_0), k = \overline{1, K})$ выбираются лишь те, ошибки определения которых вносят наибольшую погрешность в географическую привязку, а именно: время прохождения перицентра τ , долгота восходящего узла Ω и наклонение орбиты i . Их коррекция осуществляется на основе координат ОТМ, представленных в косоугольной равнопромежуточной центральной проекции, которая обладает минимальными искажениями по отношению к регистрационной системе координат снимка. Эта отличительная особенность позволяет сохранить работоспособность алгоритма при малом числе ОТМ и обеспечивает уточнение параметров геодезической привязки сверхбольших по объему маршрутов съемки с точностью до 2-3 пикселей при погрешности привязки исходных данных в несколько десятков пикселей.

Изображения от геостационарных спутников фиксируют диск Земли на фоне космоса. Это предоставляет уникальную возможность уточнения параметров геодезической привязки на основе выделения и геометрического анализа контурных точек диска Земли. Разработаны аналитические модели и технология решения этой задачи, основанные на двух предпосылках:

- во-первых, при номинальных параметрах орбиты, углах ориентации (либо при абсолютно точном их измерении) и других параметрах, определяющих геометрию формируемых изображений, в кадре стандартного размера должен быть изображен диск Земли со строго определенным положением центра, ориентацией осей и размерами;
- во-вторых, форма диска Земли соответствует некоторой фигуре, близкой к эллипсу; эллипсоидальный характер диска дает возможность путем анализа контурных точек определить угол поворота изображения.

Технология уточнения параметров геопривязки по земному диску основана на том факте, что контурные точки диска изменяют вполне определенным образом свое положение в зависимости от изменения параметров орбиты и углов ориентации спутника. Данная технология реализуется путем последовательного выполнения двух этапов: выделение точек контура диска и определение по ним положения его центра и наклонения осей. Выделение точек контура земного диска осуществляется путем построчного сканирования изображения и определения в каждой строке с использованием пороговой процедуры положения левой и правой крайних точек земного диска. Отбраковка ложных точек осуществляется по методу наименьших квадратов. Экспериментально установлено, что разработанная технология обеспечивает измерение координат центра диска Земли с СКО - 0.4 пиксела, углов ориентации осей с СКО - 0.8 угловых секунд.

Разработана комплексная технология геодезической привязки архивных фотоснимков, не содержащих информации о времени и месте съемки. Она основана на комбинированном использовании метаданных и опорных точек местности. Географическая привязка произвольного элемента оцифрованного фотокадра производится на основе решения в гринвичской системе координат векторного уравнения:

$$\mathbf{R}_z(t) = \mathbf{R}_c(t) + \boldsymbol{\eta}(t),$$

где $\boldsymbol{\eta}(t)$ - радиус-вектор, задающий положение спутника на орбите в момент времени t ; $\mathbf{R}_c(t)$ - вектор положения сканирующего луча датчика; $\mathbf{R}_z(t)$ - вектор, определяющий координаты пиксела на земном эллипсоиде.

Разработаны две технологии определения значений орбитальных параметров в уравнениях Кеплера:

- по данным баллистического прогноза посредством перевода параметров из декартового формата в орбитальную форму;
- на основе архивных значений высоты съемки, наклона орбиты и географических координат опорной точки местности и ее координат на фотокадре.

В первом случае данные прогноза также содержат номер витка, дату и время прохождения восходящего узла орбиты, значения среднего движения спутника и четыре орбитальных параметра Кеплера: эксцентриситет, долготу восходящего узла, наклонение и аргумент перицентра орбиты. Недостающее значение большой полуоси орбиты определяется согласно законам Кеплера по величине средней угловой скорости спутника.

При втором способе, когда временной интервал съемки кадра неизвестен, геодезическая привязка осуществляется с использованием опорной точки местности. Она “скальвается” оператором на каталогизируемом изображении и определяется планарными $(m_{отм}, n_{отм})$ и геодезическими $(\varphi_{отм}, \lambda_{отм})$ координатами. Кроме опорной точки оператором также указываются конкретный спутник, который выполнял съемку, его высота над поверхностью Земли в момент сканирования. По этим данным формируются все параметры орбитального прогноза, кроме долготы восходящего узла Ω и времени прохождения перицентра $\tau_{п}$. Исходя из этого, уравнения вычисления геодезических координат произвольной точки изображения представляем как

$$\varphi = f_{\varphi}(\Omega, \tau_{п}, m, n), \quad \lambda = f_{\lambda}(\Omega, \tau_{п}, m, n).$$

Значения Ω и $\tau_{п}$ вычисляются при помощи разработанного итерационного алгоритма.

В главе 4 рассмотрены вопросы практической реализации универсальной системы электронной каталогизации данных ДЗЗ MeteorSat. Разработана технология сетевого доступа пользователей к электронному каталогу через глобальную сеть Internet. Сформулирована концепция построения генерального каталога данных ДЗЗ.

Разработанные в диссертации алгоритмы и технологии предварительной обработки спутниковых изображений перед их каталогизацией реализованы в

виде модулей, которые вошли в состав программных комплексов (ПК) по обработке и занесению в каталог данных ДЗЗ, функционирующих на базе персональных компьютеров. Для обработки и каталогизации данных от космических аппаратов “Ресурс-О1”, “Океан-О”, “Метеор”, “Монитор-Э” создано семейство ПК – это BankSat, CatalogOR, MonitorSat, NormSatReg, MeteorSat.

Разработана технология сетевого доступа пользователей к электронному каталогу через глобальную сеть Internet. Она позволяет пользователям по сети Internet делать запросы на поиск космических изображений, удовлетворяющих определенным требованиям: географическое положение, дата (период) съемки, тип сканера и космического аппарата, допустимый уровень облачности и шумов. В основу этой технологии заложен принцип реплицирования данных из основной БД в базу данных, расположенную на Internet-сервере, к которой обращаются сетевые пользователи.

Разработана концепция построения генерального каталога (ГК) данных ДЗЗ, призванного объединить в себе всю информацию от территориально рассредоточенных электронных каталогов. Проектирование структуры ГК данных ДЗЗ осуществлялось с учетом трех основных задач, на решение которых он ориентирован:

- повышение эффективности обслуживания потребителей спутниковой информации;
- обеспечение возможности контроля со стороны Федерального космического агентства (ФКА) за работой приемных центров, согласование их работы в случае проведения съемок требуемых территорий;
- организация со стороны ФКА системы контроля за реализуемостью и удовлетворением заявок потребителей на съемку требуемых территорий.

Основу концепции построения ГК составили следующие основополагающие принципы:

- глубокая техническая и информационная унификация и стандартизация средств приема, обработки, архивации, каталогизации и распространения данных ДЗЗ;
- создание базовых средств и технологий приема, обработки, архивации, каталогизации и распространения данных ДЗЗ, востребованных на федеральном, отраслевом и региональном уровнях;
- обеспечение возможности информационной интеграции с другими системами ДЗЗ, в том числе и зарубежными.

Разработанные программные модули реализованы в программной среде Windows 2000/XP и показали высокую эффективность при эксплуатации. Проектирование и разработка выполнены в среде программирования Visual C++ версии 6.0 на базе Windows API 32 и библиотеки MFC с применением методов объектно-ориентированного анализа, проектирования и программирования. Такой подход повышает надежность разработки отдельных блоков и упрощает модернизацию в ходе эксплуатации системы. Программные модули написаны на объектно-ориентированном языке программирования C++ и включают более 50

файлов (около 50000 программных строк) с определениями различных классов и функций.

Разработанные модули в составе программных комплексов BankSat, CatalogOR, MonitorSat, NormSatReg, MeteorSat эксплуатируются в ряде организаций: Научном центре оперативного мониторинга Земли (г. Москва), НИЦ космической гидрометеорологии «Планета» (г. Москва), Югорском НИИ информационных технологий (г. Ханты-Мансийск), Российском НИИ космического приборостроения (г. Москва) и в Западно-Сибирском региональном центре (г. Новосибирск).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Выполнен системный анализ отечественных и зарубежных систем каталогизации данных ДЗЗ. Выявлены общие принципы их построения и функционирования. Установлены узкие места известных систем, связанные с недостаточной эффективностью обслуживания потребителей в части обеспечения их качественной информацией на заданные географические регионы. Обоснована необходимость разработки новых алгоритмов и технологий анализа и повышения качества данных ДЗЗ, оценки их пригодности для последующего использования и адресного размещения в электронных каталогах.

2. Определен функциональный состав подсистемы предварительной обработки данных ДЗЗ и обоснованы основные направления научных исследований по созданию эффективных систем электронной каталогизации космических изображений поверхности Земли.

3. Рассмотрена базовая технология формирования данных ДЗЗ различными системами наблюдения Земли. Выявлены природа искажающих факторов, основные узлы, вносящие радиометрические искажения. На основе этих знаний разработаны алгоритмы оценки и улучшения качества видеоинформации:

- высокоскоростной алгоритм оценки степени зашумленности изображений импульсными и полосовыми помехами, основанный на статистическом анализе поврежденных пикселей, учитывающий специфику процесса электронной каталогизации данных ДЗЗ и требования потребителей;

- алгоритм оперативной оценки степени закрытия наблюдаемой сцены облаками, основанный на колориметрическом анализе спектральных изображений;

- алгоритм объектно-адаптивного контрастирования протяженных маршрутов съемки, который обеспечивает высококачественное отображение всех объектов наблюдаемой сцены, резко отличающихся по яркостному диапазону.

4. Разработана геометрическая модель формирования изображений, ориентированная на использование в системах каталогизации данных от различных по характеристикам космических аппаратов.

5. Предложена технология уточнения параметров орбиты спутника на основе измерения координат небольшого числа одноименных точек изображения и электронной карты. Эта технология обеспечивает уточнение параметров

геодезической привязки с точностью до 2-3 пикселей при погрешности привязки исходных данных в несколько десятков пикселей.

6. Разработана технология геодезической привязки изображений от геостационарных спутников, основанная на автоматическом измерении контурных точек диска Земли и определении по ним параметров, характеризующих смещение и поворот изображений. Экспериментально установлено, что эта технология обеспечивает измерение координат центра диска Земли с СКО - 0.4 пиксела, углов ориентации осей с СКО - 0.8 угловых секунд.

7. Разработана комплексная технология геодезической привязки архивных фотоснимков, основанная на комбинированном использовании метаданных и опорных точек местности и позволяющая выполнить пространственную привязку изображений при отсутствии сведений о времени и месте съемки.

8. На базе разработанных в диссертации алгоритмов и технологий спроектирована универсальная система электронной каталогизации данных ДЗЗ MeteorSat, основанная на принципах модульного построения, многопоточности и объектно-ориентированного проектирования. Она отличается универсальностью, многофункциональностью и нечувствительностью к различным структурам данных ДЗЗ и получила внедрение в Российском научно-исследовательском институте космического приборостроения (г. Москва) и в Западно-Сибирском региональном центре приема и обработки данных (г. Новосибирск).

9. Разработана технология сетевого доступа пользователей к электронному каталогу через глобальную сеть Internet. В ее основу заложен принцип реплицирования данных из основной БД в базу данных, к которой обращаются сетевые пользователи, расположенную на Internet-сервере.

10. Разработана концепция построения генерального каталога данных ДЗЗ, призванного объединить в себе всю информацию от территориально рассредоточенных электронных каталогов. Основу концепции составили следующие основополагающие принципы:

- глубокая техническая и информационная унификация и стандартизация средств приема, обработки, архивации, каталогизации и распространения данных ДЗЗ;
- создание базовых средств и технологий приема, обработки, архивации, каталогизации и распространения данных ДЗЗ, востребованных на федеральном, отраслевом и региональном уровнях;
- обеспечение возможности информационной интеграции с другими системами ДЗЗ, в том числе и зарубежными.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кочергин А.М., Кузнецов А.Е., Рябов Д.А. Программные средства поддержки целостности базы данных спутниковых изображений // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика». – Рязань, 2000. – С. 279-280.

2. Васильев В.М., Кочергин А.М. Фотометрическая обработка

спутниковых фотоизображений // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2001. – С. 109-111.

3. Кочергин А.М., Сафронов Д. В. Архитектура электронного каталога спутниковой информации // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». – Рязань, 2001. – С. 229-230.

4. Разработка и исследование информационных технологий повышения качества спектрональных изображений поверхности Земли: отчет о НИР (заключительный) / РГРТА; Рук. Злобин В. К. – Тема № 35-02Г; № ГР 01200202835, Инв. № 02200201504. – Рязань, 2001. Соисполнитель Кочергин А.М.

5. Системный анализ вопросов радиометрического обеспечения данных дистанционного зондирования Земли: отчет о НИР (заключительный) / РГРТА; Рук. Злобин В. К. – Тема № 23-99Г; № ГР 01200201700, Инв. № 02200200933. – Рязань, 2001. Соисполнитель Кочергин А.М.

6. Кочергин А.М., Кузнецов А.Е. Обработка изображений в задаче каталогизации данных дистанционного зондирования // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – №1. – 2002. – С. 166-172.

7. Кочергин А.М. Обработка изображений в задаче каталогизации данных дистанционного зондирования // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2002. – С. 138.

8. Кочергин А.М., Сафронов Д. В. Универсальный модуль каталогизации и визуализации спутниковых изображений // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». – Рязань, 2002. – С. 123-124.

9. Кочергин А.М., Сафронов Д. В. Программный модуль интерактивного ведения электронного каталога спутниковых изображений // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2003. – С. 115.

10. Злобин В.К., Кочергин А.М. Колориметрический подход к сегментации облачных образований на многозональных снимках // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика». – Рязань, 2003. – С. 314.

11. Кочергин А.М. Обработка видеoinформации, полученной от тепловидеосъемочного устройства // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2004. – С. 178-179.

12. Кочергин А.М. Программный комплекс обработки изображений от тепловидеосъемочного устройства // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Гагаринские чтения». – Москва, 2004. – С. 234.

13. Методы и базовые технологии межотраслевой обработки данных дистанционного зондирования Земли: отчет о НИР (заключительный) / РГРТА; Рук. Злобин В. К. – Тема № 13-03Г; № ГР 01200501427, Инв. № 02200501067.

Рязань, 2004. – 150 с. Соисполнитель Кочергин А.М.

14. Межведомственная система сбора, обработки и распространения данных ДЗЗ: отчет о НИР (заключительный) / РГРТА; Рук. Злобин В. К. – Тема № 2-03Г; № ГР 01200302099, Инв. № 02200501093. Рязань, 2004. – 180 с. Соисполнитель Кочергин А.М.

15. Еремеев В.В., Кочергин А.М., Егошкин Н.А. Математическая модель оценки геометрических параметров диска Земли // Информатика и прикладная математика: межвуз. сб. науч. тр. – Рязань: Рязанский государственный университет, 2005. – С. 114-117.

16. Кочергин А.М. Уточнение геопривязки изображений, полученных с геостационарных спутников, по диску Земли // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2005. – С. 121-122.

17. Егошкин Н.А., Кочергин А.М. Геодезическая привязка изображений от геостационарных спутников по диску Земли // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Современные проблемы ДЗЗ». – Москва, 2005. – С. 132.

18. Еремеев В.В., Кузнецов А.Е., Кочергин А.М. Системы каталогизации и сетевого доступа к данным от российских систем зондирования Земли // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – Москва, 2005. – С. 147.

19. Кочергин А.М. Обработка спутниковых изображений перед их каталогизацией // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». – Рязань, 2005. – С. 218-219.

20. Кочергин А.М. Геопривязка изображений от геостационарных спутников по векторным картам // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2006. – С. 157-158.

21. Кочергин А.М. Технологии географической привязки кадров спутникового фотоархива при их каталогизации // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2007. – С. 321-322.

22. Евдокимов В.П., Кочергин А.М., Нефедов В.И. Алгоритмы геодезической привязки кадров фотоархива от спутников "Океан-О" и "Ресурс-О1" // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика». – Рязань, 2007. – С.219-220.

23. Злобин В.К., Кочергин А.М. Предварительная обработка данных ДЗЗ при их каталогизации // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика». – Рязань, 2007. – С.240-241.

24. Злобин В.К., Кочергин А.М. Алгоритмы и технологии предварительной обработки изображений в системах каталогизации данных дистанционного зондирования Земли // Вестник РГРТУ, вып. 23. – Рязань, 2008. – С. 3-11.

25. Кочергин А.М. Концепция создания генерального каталога данных ДЗЗ // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы передачи и обработки

информации в сетях и системах телекоммуникаций». – Рязань, 2008. – С.117.

26. Кочергин А.М. Высокоскоростные алгоритмы устранения импульсных помех и коррекции сбойных строк. // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2008. – С. 318.

Кочергин Андрей Михайлович

**АЛГОРИТМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ
ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ КАТАЛОГИЗАЦИИ
ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 5.05.2008г. Формат бумаги 60×80 1/16.

Бумага офисная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0.

Уч.-изд. л. 1.0. Тираж 100 экз.

Редакционно-издательский центр
Рязанского государственного радиотехнического университета.
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.