

# Новые технологии анализа и обработки данных ДЗЗ



**Равиль Ахметов,**  
первый заместитель  
генерального директора –  
генеральный конструктор  
ФГУП «ГНПРКЦ  
«ЦСКБ – Прогресс»,  
кандидат технических наук



**Николай Стратилатов,**  
главный конструктор  
ФГУП «ГНПРКЦ  
«ЦСКБ – Прогресс»

Одним из итогов 5-летней эксплуатации КА «Ресурс-ДК1» стало получение новых знаний об особенностях целевого функционирования космических аппаратов (КА) и обработки данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения, необходимых для повышения потребительских свойств информационных продуктов. Целью данной статьи является обзор работ, проведенных в данной области ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс», его филиалом – ОКБ «Спектр», НИИ «Фотон» Рязанского радиотехнического государственного университета, Самарским государственным техническим университетом.

Параллельно с эксплуатацией КА «Ресурс-ДК1» шла разработка его более совершенного преемника – КА «Ресурс-П». Поэтому один из главных итогов работы «Ресурс-ДК1» – отработка новых технологий анализа и обработки данных ДЗЗ, которые будут использованы и получают дальнейшее развитие в проекте «Ресурс-П». Прежде всего это касается вопросов баллистического обеспечения и управления процессом ДЗЗ, восстановления измерительных свойств снимков, синтеза качественных цветных изображений, формирования информации о рельефе местности, оценки качества функционирования сис-

тем ДЗЗ и эффективности использования полученной от них информации.

Известно, что одной из ключевых технологий, определяющих высокую точность привязки объектов к местности и высокие измерительные характеристики, является технология высокоточных определений элементов ориентирования аппаратуры ДЗЗ. Для проведения высокоточной геометрической коррекции данных дистанционного зондирования необходимо наличие информации об элементах внутреннего и внешнего ориентирования аппаратуры ДЗЗ. К элементам внешнего ориентирования космического аппарата относятся информация о положении центра его масс и об угловой ориентации. К элементам внутреннего ориентирования съемочной системы КА относят дисторсию объектива, координаты главной точки, положение матриц в фокальной плоскости и фокусное расстояние. Параметры, относящиеся к внутреннему ориентированию съемочной аппаратуры, измеряются при ее наземной калибровке, и их точность во многом определяет качество дальнейшей обработки полученных изображений земной поверхности. Однако параметры, замеренные при наземной калибровке, могут изменить свои значения вследствие влияния различных воздействий,

возникающих при выводе космического аппарата на орбиту, а также в процессе его функционирования.

Развиваемая в ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс» технология базируется на периодической полетной калибровке аппаратуры ДЗЗ в сочетании с обработкой в наземном сегменте разнородной измерительной информации, поступающей от бортовой аппаратуры в режимах полетной калибровки и на участках съемки. Измерительная информация содержит данные о положении центра масс, угловой ориентации КА, элементах внутреннего ориентирования аппаратуры ДЗЗ и ряд других параметров. За счет избыточности информации с помощью специально разработанных алгоритмов совместной обработки достигается точность позиционирования КА и апостериорного восстановления углового положения визирной системы координат, превышающая прямые измерения данных параметров датчиковой аппаратурой. В частности, привлечение модели возмущенной орбиты, включающей 70 гармоник геопотенциала, для фильтрации навигационных измерений, которые формируются в бортовой аппаратуре КА на достаточно большом интервале времени (несколько витков с высокой дискретностью измере-

**Высококачественный синтез цветных изображений**

Искажающие факторы  
(обусловлены разновременностью съемки)

1. Изменение углов ориентации КА во время съемки
2. Погрешность измерений параметров орбиты и углов ориентации спутника
3. Высота объектов
4. Движущиеся объекты

Этапы решения

1. Предварительное геометрическое совмещение с учетом модели съемки и координат одноименных точек (поиск точек осуществляется с использованием пирамидального алгоритма корреляционного поиска)
2. Прецизионное геометрическое совмещение на основе триангуляционной модели (вначале – по редкой решетке, затем путем детализации триангуляции)
3. Радиометрическое комплексирование и формирование RGB-компонент с маскированием движущихся объектов и компенсацией остаточных рассогласований в 1-2 пикселя

**Формирование цифровых моделей рельефа местности**

<p><b>Стереобработка данных КА «Ресурс-ДК1»</b></p> <p>Конвергентная съемка (по данным 2-х витков)</p> <p>Спектральная съемка (по данным 2-х ОЭП)</p> <p>Низкая оперативность Точность 15 м</p>	<p>Высокая оперативность Точность 30 м</p>	<p>1. Блочное выравнивание пары снимков по ОТМ (уточнение ЭВО)</p>
<p>Формирование ЦМР для построения ортопланов</p>	<p>Оперативное 3D-дешифрирование</p>	<p>Сегментация облачности</p>
<p>2. Создание стереопары и анаглифического стереоизображения</p>	<p>3. Идентификация одноименных точек. Формирование цифровой 3D-модели местности</p>	

ний), позволяет значительно повысить точность определения координат КА.

На основе информации, полученной от «Ресурс-ДК1», выполнено моделирование процесса восстановления положения КА на орбите. В результате применительно к составу бортовых средств КА «Ресурс-П» сделан прогноз точности определения пространственных координат КА порядка 1,5-2 м и точности оценки углов ориентации порядка 0,75-1 угл. с.

На стадии летных испытаний и на начальном этапе опытной эксплуатации встал вопрос о повышении требований к точности совмещения фрагментов снимка (сканов), формируемых каждой из матриц оптико-электронного преобразователя (ОЭП) при синтезировании целостного изображения. При сохранении «безлюдной» технологии необходимо было повысить точность «сшивки» с 1-2 до 0,5 пикселя. Данная задача была решена, и в настоящее время она получила свое развитие, обеспечивая субпиксельную точность «сшивки» с высоким быстродействием не только фрагментов снимка, формируемых отдельными ОЭП, но и при синтезе изображений от разных ОЭП, включая спектральные.

В рамках данного направления разработана математическая модель решения задачи, позволяющая описать процедуру геометрического совмещения сканов в зависимости от кривизны и вращения Земли, параметров орбиты спутника и изменения углов его ориентации, рельефа местности, неточности определения установочных параметров матриц ОЭП. Параметры модели рассчитываются на основе корреляционно-экстремального сопоставления координат одноименных точек, находящихся в зонах перекрытия сканов.

Для структурного восстановления снимков горных районов разработана процедура сплайновой «сшивки», при которой изображения от нечетных матриц трансформируются в структурно восстановленное изображение по данным геопривязки, а изображе-

ния четных матриц — по сплайновой модели, параметры которой рассчитываются на основе координат одноименных точек. Экспериментально установлено, что среднеквадратичная ошибка совмещения сканов по такой технологии составляет 0,3 пикселя.

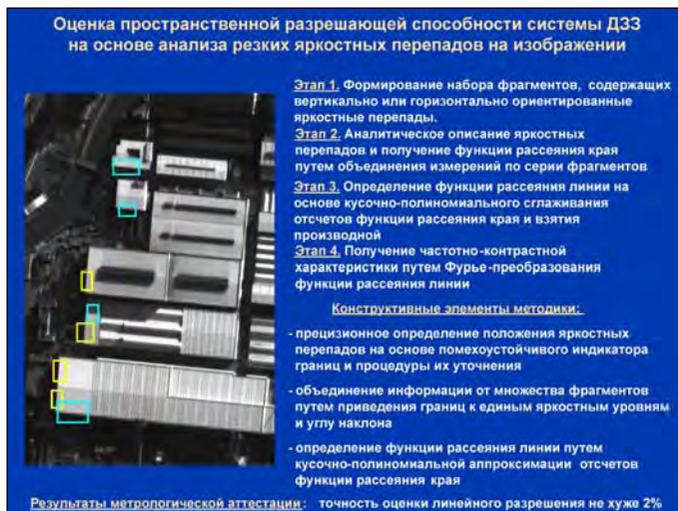
Параллельно с корреляционно-экстремальным методом, внедренным в штатную технологию обработки снимков в космическом комплексе «Ресурс-ДК1», разработан алгоритм на основе метода функционализации, который является развитием градиентного метода. Методы данной группы за последние десятилетия развиваются особенно интенсивно из-за присущих им преимуществ: существенно меньшей вычислительной сложности, слабой чувствительности к локальным экстремумам и морфологическим изменениям изображений. Алгоритм реализует локальное совмещение фрагментов изображений. Фрагменты выделяются системами областей и подобластей анализа, которые вместе образуют покрытие сводимых изображений. Экспериментальные исследования показали, что достоверность совмещения фрагментов изображений с погрешностью 0,2-0,3 пикселя превышает 97%. При этом плотность распределения сведенных фрагментов на изображении меняется в зависимости от информационного «богатства» фрагментов. Установлено, например, что для изображений типа «лес» заполненность снимка сведенными фрагментами составляет не менее 70-75% от всей площади, для «города» она составляет 60-65%. Сравнение быстродействия предложенных алгоритмов и алгоритмов, реализующих метод взаимно-корреляционных функций, показало повышение быстродействия при сведении фрагментов в 10 и более раз. При этом заполнение изображения сведенными фрагментами оказывается при методе функционализации в разы больше.

Другим замечательным свойством предлагаемого метода является его малая чувствительность к локальным экстремумам, лежащим в близкой окрестности глобально-

го экстремума сводимых изображений. В результате область допустимых начальных взаимных смещений изображений, при которых итерационная процедура совмещения изображений сходится, оказывается, по самым скромным оценкам, в 3-4 раз больше площади, получаемой корреляционным или градиентным методом. Полученные результаты демонстрируют перспективность метода функционализации в задачах совмещения ракурсно-искаженных изображений. Приведенная методика совмещения изображений использована, в частности, при разработке программного обеспечения коррекции смазанных изображений, получающихся при нештатной работе съемочной аппаратуры КА ДЗЗ. Методика реализована в подпрограмме высокоточного определения параметров «смаза» изображений.

Одной из проблем, возникших в ходе летно-космических испытаний (ЛКИ) КА «Ресурс-ДК1», стала радиометрическая коррекция искажений. Технология коррекции подобных искажений по данным бортовой калибровки оказалась недостаточно устойчивой к изменяющимся условиям съемки и разнообразию сюжетов. Не обеспечивали должного качества и технологии статистической коррекции, особенно для изображений, содержащих резко отличающиеся по яркости объекты (водная поверхность, суша, облака). В связи с этим разработаны адаптивные алгоритмы коррекции подобных искажений, которые при пространственно-временном изменении передаточных характеристик сквозного информационного тракта, а также условий наблюдения, обеспечивают высокое качество восстановления изображений.

В аппаратуре «Геотон» КА «Ресурс-ДК1» процесс формирования спектральных снимков осуществляется с помощью разнесенных в фокальной плоскости вдоль направления полета космического аппарата ОЭП. В этих условиях одноименные точки наблюдаемой сцены регистрируются раз-



ными ОЭП со сдвигом во времени. За это время изменяются условия съемки, обусловленные вращением Земли, положением и угловой ориентацией КА, смещением движущихся по земной поверхности объектов. В таких условиях синтез цветного изображения по спектральному снимкам представляет собой сложную техническую проблему. Разработана технология формирования цветного изображения по спектральному изображению. Она основана на процедуре поиска одноименных точек на совмещаемых изображениях с использованием аналитико-регрессионной и триангуляционной моделей, а также механизма маскирования движущихся объектов.

В ходе эксплуатации «Ресурс-ДК1» исследован вопрос о возможности формирования стереоизображений на основе снимков, полученных с двух одновременно включаемых ОЭП. Проблемным фактором является малая величина угла конвергенции, которая определяется топологией фокальной плоскости и составляет порядка 2°. Однако построенные модели и технологии решения этой задачи позволили экспериментально установить, что в результате обработки может быть получен устойчивый стереоэффект. Относительная точность определения высот объектов в данном режиме съемки может составить порядка 30 м. Данная технология открывает новые возможности конструирования аппаратуры ДЗЗ, которые в определенных условиях позволят формировать стереоизображения без необходимости перенацеливания оптической системы для получения изображений, снятых на одном витке с разных ракурсов.

Впервые в отечественной практике на космическую платформу в рамках проекта «Ресурс-П» будет установлена гиперспектральная аппаратура, позволяющая для каждой точки изображения земной поверхности получить детальную информацию о спектральном составе излучения. Однако пространственное разрешение гиперспек-

рометра составит порядка 25-30 м. Комплексирование изображений, получаемых одновременно гиперспектрометром и высокодетальной аппаратурой с разрешением 1 м, создает предпосылки формирования принципиально нового уровня информативности космических снимков. Появляется реальная возможность расширения пространства признаков для идентификации состояния объектов съемки, в том числе в процессе их жизненного цикла. Кроме этого, создаются условия для повышения уровня автоматизации процесса выделения заданных объектов на спутниковых изображениях.

Важным направлением работ, которое развивается в рамках космических систем «Ресурс-ДК1», «Ресурс-П» и др., является достоверная оценка линейного и радиометрического разрешения систем ДЗЗ на стадии ЛКИ и эксплуатации на основе статистического анализа получаемых снимков. Разработаны усовершенствованные технологии решения этих задач, которые прошли метрологическую аттестацию с привлечением опорной информации. В результате установлено, что эти технологии обеспечивают оценку линейного разрешения с относительной точностью порядка 3-4% и радиометрического разрешения (отношение сигнал/шум) с относительной точностью порядка 2%.

На заключительном этапе эксплуатации КА «Ресурс-ДК1» в некоторых режимах съемки из-за нарушения необходимых соотношений между скоростью «бега» изображения в фокальной плоскости аппаратуры «Геотон» и частотой опроса ОЭП появились искажения изображений в виде «смаза». Величина «смаза» в направлении движения КА достигала 100 пикселей изображения. Разработаны две технологии устранения «смаза». Первая базируется на использовании оптимального фильтра Винера и обеспечивает минимум среднего квадрата отклонений элементов идеального и реально-восстановленного изображе-

ний. Однако в данном случае возникают визуально заметные тени от объектов на расстояниях, кратных величине «смаза». В связи с этим предложена другая технология, которая ценой некоторого увеличения среднеквадратической ошибки восстановления позволила значительно уменьшить визуальную наблюдаемость теней. Эти технологии экспериментально апробированы на натуральных данных в НЦ ОМЗ.

В процессе эксплуатации «Ресурс-ДК1» и проектирования «Ресурс-П» активно изучался вопрос о повышении эффективности использования данных от этих систем и интеграции с данными от зарубежных систем. В рамках сотрудничества Евросоюза и России ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», Рязанский государственный радиотехнический университет, Берлинский технический университет, компании ECM Office (Германия) и Aratos (Греция) выиграли грант на выполнение проекта «Методы и средства двустороннего доступа к базам данных дистанционного зондирования Земли в Евросоюзе и России» (проект MEDEO). К концу 2012 г. в рамках этого проекта предполагается создать территориально распределенную информационную систему, которая обеспечит российской стороне интерфейс доступа к европейским базам геоданных, а европейским потребителям — к российским.

Часть описанных технологий внедряется в эксплуатационную документацию «Ресурс — П», а часть технологий, реализованных в виде экспериментального программного обеспечения, будет отработываться на стендовой базе предприятия в процессе летных испытаний и опытной эксплуатации в целях последующего их внедрения в штатную эксплуатацию. □

**ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс»**  
Россия, 443009, г. Самара,  
ул. Земеца, д. 18  
Тел./факс: (846) 955-1361, 992-6518  
E-mail: mail@samspace.ru,  
www.samspace.ru

**Устранение смаза на изображениях от КА «Ресурс-ДК»**

Исходное изображение → Оценка величины смаза → Устранение смаза

**Оценка величины смаза**  
На основе определения сдвига изображений между ПЗС - матрицами (СамГТУ)

**Устранение смаза**

**1-й подход (спектральный):**

- перевод изображения в спектральную область (БПФ);
- расчет по параметрам смаза фильтра Винера;
- фильтрация изображения;
- перевод изображения в пространственную область (ОБПФ).

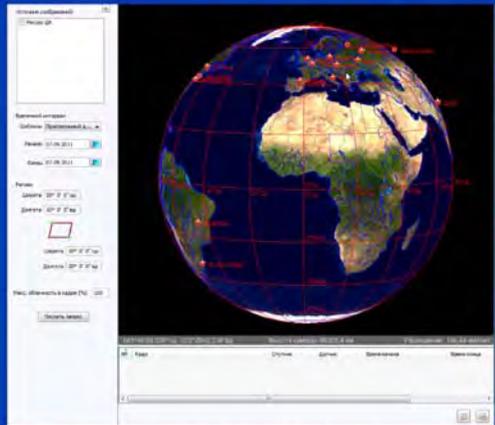
**2-й подход (спектральный модифицированный):**  
те же этапы, но фильтр Винера модифицирован, чтобы уменьшить хорошо заметные глазу артефакты в виде теней (ценой увеличения среднеквадратической ошибки).

**3-й подход (алгебраический):**

- запись обратного оператора смаза в рекуррентном виде;
- подбор начальных условий для придания устойчивости;
- ИЧ - фильтрация.



**Международный проект MEDEO**



**Цель проекта:**  
обеспечение доступа европейским потребителям к российским данным ДЗЗ и российским потребителям к европейским геоданным

**Участники проекта:**

- Берлинский технический университет
- ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» (Самара)
- Рязанский радиотехнический университет
- Греческая фирма Aratos

Интернет-портал доступа потребителей к электронному каталогу