Управление гиперспектральными изображениями в процессе научно-исследовательской деятельности малых коллективов

Д.В. Учаев¹, А.Е. Бобков², В.А. Малинников¹, Дм.В. Учаев¹

¹*Московский государственный университет геодезии и картографии
Москва, 105064, Россия*

E-mail: d-uchaev@yandex.ru

²*Московский физико-технический институт
Долгопрудный, 141701, Московская область, Россия*

E-mail: bobkov.ae@mipt.ru

В работе представлен краткий анализ текущей ситуации в области управления гиперспектральными изображениями в условиях научно-исследовательской деятельности малых научных коллективов. Приводится обзор современного состояния и перспектив развития программных средств, обладающих функциями управления гиперспектральными изображениями в России и за рубежом в контексте их применения в процессе разработки программных реализаций методик и алгоритмов обработки гиперспектральных изображений. Представлен разработанный в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) программный комплекс (ПК) HyExplorer, предназначенный для управления гиперспектральными изображениями. ПК HyExplorer позволяет освободить пользователей от выполнения ряда рутинных операций при управлении гиперспектральными изображениями и результатами их обработки. Система HyExplorer прошла апробацию при разработке алгоритмов повышения качества гиперспектральных изображений, показав свою высокую эффективность на этапах сбора тестовых данных и выявления оптимальных параметров разрабатываемых алгоритмов.

Ключевые слова: система управления гиперспектральными изображениями, гиперспектральное изображение, сенсорная сеть, Hyperion, AVIRIS

Одобрена к печати: 16.09.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-233-248

Введение

Научная деятельность, нацеленная на разработку новых методов и алгоритмов обработки гиперспектральных изображений, стала в последнее десятилетие одним из ведущих направлений в области обработки данных дистанционного зондирования. Одновременно с этим увеличивается и количество лабораторий, научных центров и других организаций, объединяющих ученых, специалистов и исследователей, работающих в данном направлении. При этом с каждым годом обращает на себя внимание постоянная возрастающая продуктивность малых научных коллективов, вносящих существенный вклад как в формирование теоретических основ, так и в расширение прикладных знаний в области обработки гиперспектральных изображений (Plaza et al., 2009). Данное обстоятельство вполне закономерно, поскольку обработка гиперспектральных изображений является подвидом информационных технологий (ИТ), а основной движущей силой ИТ вот уже как два десятилетия являются малые и очень малые организации (Zagour et al., 2013).

Феномен высокой продуктивности малых научных коллективов изучается более пятидесяти лет, но до сих пор среди специалистов нет единого мнения ни на то, каковы причины возникновения данного феномена, ни даже на то, какие группы можно считать малыми. Ряд специалистов делают акцент в определении малой группы на максимальное

количество ее участников, тем самым явным образом отделяя социальные группы данного вида от групп остальных видов (как правило, средних и больших) (см., например, (Habra et al., 2008)). Другие специалисты в качестве основного отличительного признака малых групп выделяют тесный характер взаимодействия большинства участников групп между собой, существующий лишь в малых по численности группах (см., например, (Shaw, 1976)). Принимая во внимание важность обоих факторов (количества участников и характера их взаимодействия) в образовании и функционировании малых групп, здесь и далее под малыми группами будем понимать сообщество людей, состоящее из 2–25 взаимодействующих и влияющих друг на друга индивидов (соответственно, под малой научной группой будем понимать малую группу, деятельность которой направлена на получение и применение новых знаний). При этом, как видно из данного определения, отличительным признаком этого типа групп является способность участников группы взаимодействовать и влиять друг на друга. С появлением и широким внедрением в практику научно-исследовательской деятельности компьютерных технологий появились различные способы взаимодействия участников группы, а помимо традиционных малых групп стали появляться виртуальные малые научные группы, деятельность которых основана на виртуальной информационной среде при минимальном или полном отсутствии физических контактов участников группы (Olson et al., 1997). При этом не раз было замечено, что результативность как традиционных, так и виртуальных научных групп во многом зависит от качества управления научно-исследовательской деятельностью и, в частности, качества управления данными, используемыми и создаваемыми в процессе работы участников группы (см., например, (Jansen, 2006)).

Управление данными может быть определено как «совокупность функций обеспечения требуемого представления данных, их накопления и хранения, обновления, удаления, поиска по заданному критерию и выдачи данных» (ГОСТ 20886-85..., 1986). Основываясь на данном определении, здесь и далее под управлением гиперспектральными изображениями будем понимать совокупность функций обеспечения требуемого представления гиперспектральных изображений, их накопления и хранения, обновления, удаления, поиска по заданному критерию и выдачи гиперспектральных изображений. В данном определении фактически сформулированы требования к функционалу информационных систем, обеспечивающих управление гиперспектральными изображениями, а именно наличие функций управления накоплением, хранением, обновлением, удалением, поиском и выдачей гиперспектральных изображений. Кроме того, учитывая исследовательский характер деятельности научных коллективов, сформулированное выше определение управления гиперспектральными изображениями авторы данной работы в равной степени относят как к исходным гиперспектральным изображениям, так и к гиперспектральным изображениям, получаемым в результате предварительной обработки.

В случае малых научных групп, специализирующихся на разработке новых методов и алгоритмов обработки гиперспектральных изображений, управление гиперспектральными изображениями имеет свои особенности, прямо вытекающие из структуры отношений,

существующих между участниками группы и ресурсного потенциала группы как целого. Из всего множества данных особенностей перечислим наиболее важные:

- потребность в дешевых или бесплатных программных средствах управления гиперспектральными изображениями, обладающих возможностью ограничить хранение и передачу результатов обработки гиперспектральных изображений локальным защищенным от постороннего вмешательства сегментом хранилища и телекоммуникационной среды. В идеале, принимая во внимание большие объемы передаваемых данных и малочисленный состав производителей и потребителей данных, программное обеспечение, обеспечивающее управление гиперспектральными изображениями, должно иметь возможность полностью размещаться в локальной сети, используемой участниками малой научной группы;
- наличие единого унифицированного интерфейса доступа к геопорталам, содержащим гиперспектральные изображения, распространяемые на условиях бесплатного их использования для научных исследований (см., например, <http://glovis.usgs.gov> или <http://aviris.jpl.nasa.gov>). Данная потребность вызвана тем, что сегодня существование подобных геопорталов оказывается возможным во многом благодаря инициативе государственных и межгосударственных организаций и объединений, имеющих разрешение на распространение материалов гиперспектральной съемки. Между тем, даже в самых развитых странах с точки зрения построения национальной инфраструктуры пространственных данных управление данными гиперспектральной съемки не достигло того состояния, когда существует единый централизованный геопортал, позволяющий пользователю проводить отбор и загрузку интересующих его гиперспектральных снимков (Sevilla, Plaza, 2014). Более того, даже в условиях постоянного совершенствования элементов национальных инфраструктур обмена геопространственными данными вряд ли можно ожидать в ближайшее время появления одного глобального (межгосударственного) георесурса, предоставляющего унифицированный доступ к гиперспектральным изображениям, доступным по сети Интернет.

Перечень специфических для малых научных групп особенностей управления гиперспектральными изображениями зачастую не ограничивается перечисленными выше, а сам процесс управления гиперспектральными изображениями может рассматриваться как часть глобального процесса управления научными рабочими потоками (scientific workflow), что, по сути, означает необходимость использования более сложных программных инструментов – систем управления научными рабочими потоками (scientific workflow system) (см., например, (Zhang, 2006)). Однако данная тема по своему объему и многоаспектности требует отдельной публикации и, как следствие, в данной работе не рассматривается.

Целью данной работы является дать краткий обзор современного состояния развития программных средств, содержащих функции управления гиперспектральными изображениями, а также представить программу HyExplorer, разработанную с учетом потребностей малых научных групп, специализирующихся на разработке новых методов и алгоритмов обработки гиперспектральных изображений.

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

- проведен сравнительный анализ наиболее популярных в среде специалистов по обработке гиперспектральных изображений программных систем, обладающих функциями управления гиперспектральными изображениями, на предмет выявления их преимуществ и недостатков в условиях эксплуатации данных систем малыми научными группами;
- подготовлена ознакомительная версия разработанного программного обеспечения NuExplorer, на основе которой представлено описание достоинств данной разработки.

Краткий обзор современного состояния развития программных средств, содержащих функции управления гиперспектральными изображениями

В данном разделе приводится краткий обзор современного состояния развития программных средств, содержащих функции управления гиперспектральными изображениями. При этом основанием для сравнения исследуемых программных систем послужили требования к системам управления гиперспектральными изображениями, сформулированные на основе изложенных во введении особенностей управления гиперспектральными изображениями в малых научных группах:

- низкая цена или бесплатность;
- поддержка многопользовательского режима работы;
- наличие унифицированного интерфейса для поиска исходных гиперспектральных изображений по любому из поставляемых вместе с гиперспектральным изображением набору метаданных, а также обработанных гиперспектральных изображений по используемым для их обработки параметрам алгоритмов;
- простота в развертывании и сопровождении, выражающаяся в отсутствии необходимости обладания навыками программирования для создания и поддержания на основе используемой программной системы среды управления гиперспектральными изображениями;
- модульность системы управления гиперспектральными изображениями, выражающаяся в реализации в составе системы управления лишь наиболее необходимых функций предварительной обработки и представления гиперспектральных изображений, необходимых при решении большинства задач (таких как формирование на основе исходных данных спектрально и пространственно ограниченного подмножества данных, предварительный просмотр загруженного изображения исходного гиперспектрального изображения и т.д.), с одной стороны и способностью бесшовного подключения сторонних модулей с другой стороны;
- возможность функционирования всех компонентов системы в локальной сети;
- высокая степень готовности программной системы к эксплуатации в безотказном режиме;
- возможность управлять не только отдельными файлами, но и целыми файловыми хранилищами и базами данных, содержащими гиперспектральные изображения

и соответствующие им метаданные. В том числе наличие автоматизированных программных средств наполнения управляемых баз данных и файловых хранилищ гиперспектральными изображениями и связанными с ними метаданными посредством запросов к внешним источникам данных;

— наличие специальных механизмов управления информацией о процессах, порождающих управляемые данные, позволяющих как минимум производить запрос на выборку гиперспектральных изображений, подвергнутых обработке тем или иным алгоритмом, с последующим просмотром параметров и результатов обработки.

Перечисленный выше список требований не претендует на исчерпывающую полноту и бесспорность, а лишь отражает консолидированное мнение авторов публикации по данному вопросу, сложившееся в результате многолетней их работы в малых научных коллективах, специализирующихся на разработке методов обработки гиперспектральных изображений.

Учитывая ограниченный размер публикации, далее наряду с кратким описанием проанализированных программных систем, содержащих функции управления гиперспектральными изображениями, излагаются лишь наиболее значимые их достоинства и недостатки с точки зрения использования данных систем в деятельности малых научных групп.

В России работы по созданию программных средств обработки гиперспектральных изображений ведутся в ряде государственных организаций: НИИ «Аэрокосмос» (Бондур, 2013, 2014), МГУ им. Ломоносова (Кондранин и др., 2012), МФТИ (<http://geo.mipt.ru/albedo>) (Страхов и др., 2013) и ИКИ РАН (Уваров и др., 2014). В области управления гиперспектральными изображениями значительные результаты были достигнуты в МФТИ и ИКИ РАН. Разработанная специалистами ИКИ РАН технология позволяет создавать блоки работы с гиперспектральными данными в различных информационных системах, ориентированных на распределенную работу с данными дистанционных наблюдений в научных проектах. Кроме того, созданная технология позволяет организовывать автоматизированное получение гиперспектральных данных из различных центров, обеспечивающих их предоставление, вести архивы гиперспектральных данных, ориентированные на организацию быстрого доступа к информации, и создавать специализированные интерфейсы, позволяющие распределенным научным коллективам проводить поиск и анализ гиперспектральных данных (Кашницкий и др., 2015). Разработанная специалистами ИКИ РАН технология прошла апробацию при разработке блоков работы с гиперспектральными данными в нескольких специализированных научных информационных системах: системе See the Sea (<http://ocean.smislab.ru>) (Mityagina, Lavrova, Uvarov, 2014), ориентированной на работу с данными спутниковых наблюдений для решения задач исследования Мирового океана; системе VolSatView (<http://volcanoes.smislab.ru>) (Гордеев и др., 2015), созданной для обеспечения возможностями работы со спутниковыми данными специалистов-вулканологов; системе ВЕГА-Science (<http://sci-vega.ru>) (Лупян и др., 2014), ориентированной на информационную поддержку научных исследований состояния и динамики биосферы. Каждая из перечисленных выше систем отличается широким

территориальным охватом и развитыми средствами по управлению исходными изображениями. Вместе с тем следует отметить, что все указанные выше примеры использования разработанной специалистами ИКИ РАН технологии представлены в виде интернет-ресурсов, предоставляющих доступ к распространяемым с их помощью данным, но не самим программным средствам и технологиям, используемым для управления этими данными. Иными словами, разработанные сотрудниками ИКИ РАН программные средства управления данными (и, в частности, гиперспектральными изображениями) не распространяются свободно и, как следствие, не могут быть использованы малыми научными коллективами для организации собственной инфраструктуры управления данными.

В МФТИ на кафедре «Системы, устройства и методы геокосмической физики» разрабатывается и поддерживается программное обеспечение «Альбедо», предназначенное для обработки гиперспектральных изображений. Отличительной особенностью данной компьютерной программы является реализованная технология управления данными в форме экземпляров рабочих потоков обработки данных, называемых разработчиками «Альбедо» проектами. Данная технология позволяет запускать на исполнение создаваемые экземпляры рабочих потоков с подаваемыми на вход данными целиком (так называемый режим потоковой обработки) или выполнять обработку данных пошагово, контролируя и корректируя при необходимости входные параметры алгоритмов обработки (так называемый режим ручной обработки). При этом существует возможность отменять любое действие и возвращаться к любому предыдущему моменту работы. Кроме того, в программе «Альбедо» предусмотрена возможность импортировать в текущий проект фрагмент проекта (экземпляра рабочего потока), созданного в другом экземпляре программы «Альбедо», что позволяет разделить задачи по обработке данных между двумя и более специалистами как во времени, так и в пространстве. Данная функциональность позволяет причислить программу «Альбедо» к классу систем управления научными рабочими потоками, что явно выделяет ее на фоне своих аналогов. Однако монолитная организация данного программного обеспечения и отсутствие средств управления базами данных делают его ориентированным скорее на специалистов, использующих данные гиперспектральной съемки, чем на разработчиков новых алгоритмов. Тем не менее необходимо отметить, что на сегодняшний день программа «Альбедо» является одной из наиболее перспективных разработок в области программных средств обработки и управления гиперспектральными изображениями.

Анализ зарубежного опыта управления гиперспектральными изображениями обнаруживает две характерные тенденции. Первая тенденция заключается в увеличении числа научно-исследовательских проектов, в которых задача создания программных средств управления гиперспектральными изображениями рассматривается как неотъемлемая часть проекта, на решение которой затрачиваются существенные материальные и человеческие ресурсы (см., например, (Sevilla, Plaza, 2014; Cappelaere et al., 2013)). В результате разрабатывается программное обеспечение, наилучшим образом адаптированное под научные и исследовательские цели проекта. Такой подход в условиях возможных корректировок и расширения перечня первоначально назначенных целей, часто происходящих в деятель-

ности малых научных коллективов, оказывается весьма эффективным на практике, позволяя в итоге получить удобный для участников проекта программный комплекс (см., например, <http://www.hypercomp.es/repository>). Другой тенденцией, наблюдающейся в области управления гиперспектральными изображениями за рубежом, является широкое внедрение технологий построения сенсорных сетей (sensor web) в практику управления гиперспектральными изображениями (см., например, Chen et al., 2011). Сенсорная сеть – скоординированная наблюдательная инфраструктура, состоящая из множества распределенных ресурсов (датчиков, платформ, коммуникационных структур и т.п.), которые могут рассматриваться как единая, автономная, динамически адаптивная и конфигурируемая система наблюдений, способная обеспечивать потребителя исходными и обработанными данными вместе с их метаданными посредством набора сервисно-ориентированных стандартизованных интерфейсов (Mandl, 2004).

Одним из ярких примеров практической реализации идей построения сенсорной сети в целях сбора, распространения и управления гиперспектральными изображениями является проект сенсорной сети EO-1 (EO-1 Sensor Web), разрабатываемый National Aeronautics and Space Administration (NASA) (Mandl, 2004). К настоящему времени в рамках проекта EO-1 Sensor Web разработаны сервисы <http://eo1.geobliki.com/sps> и <http://eo1.geobliki.com/sos>, предоставляющие в соответствии со стандартами OGC Sensor Planning Service (SPS) (OGC Sensor..., 2011) и OGC Sensor Observation Service (SOS) (OGC Sensor ..., 2012) возможность запланировать съемку космическим аппаратом EO-1, а по ее результатам – скачать полученное изображение. Проект EO-1 Sensor Web является частью более масштабного проекта NASA SensorWeb, целью которого – разработка новых способов сбора «стихийно» связанных данных, их обработка и распространение через Интернет. Пользовательский интерфейс инфраструктуры проекта NASA SensorWeb состоит из нескольких сайтов, каждый из которых предназначен для выполнения определенных задач. Так, например, сформировать запрос на съемку заданной территории можно через так называемый «Менеджер кампаний» (Campaign Manager), размещенный по адресу: <http://geobpms.geobliki.com/home>. При этом доступ к изображениям, получаемым со спутника EO-1, а также предоставление информации о статусе выполнения зарегистрированных запросов осуществляется через сайт Сервера EO-1 (EO-1 Server), располагающийся по адресу: <http://eo1.geobliki.com/>. Одним из важных для малых научных коллективов компонентов сети NASA SensorWeb является сервер научных алгоритмов (Science Algorithm Server), размещенный по адресу: <http://matsu-wcps.opensciencedatacloud.org/wcps>. Данный сервер предоставляет услуги обработки гиперспектральных изображений в соответствии со стандартом OGC Web Coverage Processing Services (WCPS) (Web Coverage..., 2009). При этом у пользователя имеется возможность не только использовать один из уже реализованных алгоритмов (например, расчет индексов SAVI и NDVI), но и написать и выполнить свою компьютерную программу обработки гиперспектрального изображения. Реализация данного инструментария находится еще на стадии экспериментального тестирования, но уже сейчас у всех желающих существует возможность оценить ее функциональность, пред-

варительно пройдя регистрацию на сайте сервера-поставщика OpenID (OpenID Provider-Server) по адресу: <https://op.geobliki.com/>.

В целом можно заключить, что управление гиперспектральными изображениями посредством сенсорных сетей является одним из наиболее перспективных направлений развития программных средств управления гиперспектральными изображениями. Однако пока подавляющее большинство проектов в этой области являются лишь академическими разработками, не предназначенными для широкого круга потребителей, или экспериментальными проектами с большим числом ограничений и недоработок.

Помимо узкоспециализированных программных комплексов, создаваемых с учетом специфики гиперспектральных изображений, существуют и множество универсальных решений по хранению и управлению геоданными, которые помимо прочего позволяют управлять и гиперспектральными изображениями. Например, система ERDAS Apollo (<http://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-apollo>), созданная с ориентацией на крупные частные и государственные компании, или «Комплекс ведения банка данных цифровых карт и данных ДЗЗ» ЗАО КБ «Панорама» (<http://www.gisinfo.ru/products/geodb.htm>), разрабатываемый, прежде всего, для хранения так называемых цифровых карт в формате SXF и мультиспектральных изображений в форматах RSW и GeoTIFF. Данные программные продукты, хотя и являются многофункциональными программными комплексами, предоставляющими пользователю широкий набор возможностей по управлению геоданными, обладают существенными, с точки зрения рассматриваемой области применения, недостатками. Перечислим наиболее важные из них (в скобках указаны примеры систем, обладающих указываемым недостатком):

- излишняя функциональность (ERDAS Apollo, «Комплекс ведения банка данных цифровых карт и данных ДЗЗ» ЗАО КБ «Панорама»);
- высокая цена (ERDAS Apollo);
- строгий документоориентированный подход к управлению гиперспектральными изображениями, то есть отсутствие каких-либо специальных механизмов управления информацией о процессах, порождающих управляемые данные (ERDAS Apollo, «Комплекс ведения банка данных цифровых карт и данных ДЗЗ» ЗАО КБ «Панорама»);
- отсутствие интегрированных программных средств наполнения управляемых баз данных гиперспектральными изображениями посредством запросов к внешним источникам данных (ERDAS Apollo, «Комплекс ведения банка данных цифровых карт и данных ДЗЗ» ЗАО КБ «Панорама»).

Отдельно следует упомянуть так называемые настольные ГИС и системы обработки данных дистанционного зондирования (например, QGIS, GRASS GIS, SAGA, ERDAS Imagine, ENVI и т.п.), обладающие функциями управления гиперспектральными изображениями. Данные программные системы уже много лет широко используются специалистами, занимающимися обработкой гиперспектральных изображений, для решения широкого круга задач (от предварительной обработки до тематической обработки и визуализации полученных результатов). Их использование связано с хорошо зарекомендо-

вавшими себя преимуществами. Так, среди систем данного типа есть и бесплатные представители (например, SAGA, GRASS GIS, QGIS), и системы с открытым исходным кодом (QGIS), и системы, обладающие специализированным инструментарием для обработки гиперспектральных изображений (ERDAS Imagine, ENVI). Однако архитектура всех систем настольного типа не ориентирована на управление данными в условиях многопользовательской работы, что выражается в разработке дополнительных серверных компонентов, обслуживающих клиентские запросы, поступающие от одной или нескольких экземпляров настольных систем (например, ERDAS Apollo). Данное обстоятельство приводит фактически к появлению клиент-серверного приложения. При этом существующие сегодня подобные программные решения отличает то, что их серверная часть оказывается либо слишком малофункциональной и/или сложно настраиваемой под конкретные задачи пользователей (например, в случае клиент-серверной СУБД или использования сторонних картографических серверов, таких как MapServer), либо малонастраиваемой полностью функциональной системой управления данными (например, в случае ERDAS Apollo), реализующей весь, на взгляд разработчиков, необходимый инструментарий по работе с данными. Таким образом, настольные системы как самостоятельные программные обеспечения обладают принципиальным недостатком при рассмотрении их как систем управления гиперспектральными изображениями. Недостаток проявляется в том, что данные системы требуют развертывания дополнительного серверного компонента, что влечет за собой либо дополнительные существенные затраты в случае приобретения хорошо отлаженного сервера крупного производителя, либо значительное усложнение процедуры установки, настройки и сопровождения сервера в случае использования бесплатного программного обеспечения.

Подводя итог проведенному анализу современного состояния развития программных средств, обладающих функциями управления гиперспектральными изображениями, можно сделать вывод, что существующие на сегодняшний день программные системы не в полной мере удовлетворяют потребностям малых научных коллективов, занимающихся разработкой новых методов и технологий обработки гиперспектральных изображений. В этой связи задача создания подобного рода систем является на сегодняшний день крайне необходимой и востребованной со стороны сообщества специалистов в области обработки гиперспектральных изображений.

Описание программы NyExplorer

В 2015 году в Московском государственном университете геодезии и картографии в рамках проекта «Разработка математических методов обработки и представления данных гиперспектральной съемки с доступом к ним через геопорталы» (РФФИ №13-05-12086) были проведены работы по разработке системы управления гиперспектральными изображениями NyExplorer. Работы проводились с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Программа HyExplorer (<http://virtualglobe.ru/hyexplorer>) представляет собой клиент-серверное приложение, серверная часть которого включает в себя систему управления базами данных PostgreSQL с расширением PostGIS, веб-приложение на языке Python на основе фреймворка Flask и веб-сервер Apache. Клиентская часть программы HyExplorer написана на языке C++ с использованием библиотек Qt, OpenSceneGraph и OsgEarth (рис. 1).

Текущая версия программы HyExplorer располагает следующими функциональными возможностями:

- поиск и загрузка на внутренний сервер и компьютер пользователя гиперспектральных изображений из внешних архивов данных (в настоящее время реализована поддержка архивов данных Hyperion и AVIRIS);
- загрузка на внутренний сервер и компьютер пользователя набора метаданных, сопровождающего загружаемые гиперспектральные изображения;
- хранение в единой базе данных в унифицированном виде наборов метаданных гиперспектральных изображений, полученных из различных архивов;
- визуализация до загрузки гиперспектральных изображений их обзорных изображений в форме отдельного слоя данных виртуального глобуса;
- обрезка выбираемой сцены по заданным координатам прямоугольника;
- отбор каналов выбираемой сцены;
- подключение сторонних модулей обработки и визуализации гиперспектральных изображений, подготовленных в форме исполняемых файлов (в настоящее время поддерживается передача в сторонний модуль одного фрагмента гиперспектрального изображения).

Система HyExplorer разрабатывалась в первую очередь как система управления гиперспектральными изображениями в целях обеспечения научно-исследовательской деятельности небольшого коллектива ученых, исследователей и специалистов, занимающихся разработкой алгоритмов обработки гиперспектральных изображений. Однако возможности текущей версии HyExplorer могут оказаться полезными и многим другим категориям пользователей: преподавателям и учащимся образовательных учреждений в процессе обучения дисциплинам, связанным с гиперспектральной съемкой Земли, специалистам частных компаний, занимающихся инновационной деятельностью в области разработки алгоритмов и технологий обработки гиперспектральных изображений и др.

Основной сценарий использования программы HyExplorer предполагает, что внутренний архив (база данных) гиперспектральных изображений располагается на локальном сервере, администрируемом лицом, назначенным руководителем научной группы. При этом все остальные члены коллектива обеспечиваются доступом к внутреннему архиву гиперспектральных изображений посредством настольного клиента, скачиваемого на компьютер пользователя. Разработанные программные средства системы HyExplorer помимо авторского кода разработчиков включают только исходный код открытого программного обеспечения, распространяемого на условиях лицензий, разрешающих применение создаваемого с их помощью программного обеспечения для коммерческих целей. Вместе с тем разработка, обновление и распространение сторонних модулей может проис-

Рис. 1. Главное окно программы HyExplorer

ходить с использованием любых компьютерных программ, позволяющих в итоге получить исполняемый файл. Данная функциональность системы HyExplorer позволяет освободить специалистов, занимающихся разработкой новых алгоритмов обработки гиперспектральных изображений, от необходимости использовать какой-то конкретный язык программирования, предоставляя тем самым возможность специалисту выбрать наиболее адекватный поставленной задаче инструментарий разработки.

В качестве примера использования данной функциональности на рис. 2 показано главное окно разработанного на языке Matlab программного модуля повышения качества гиперспектрального изображения ImageCorrectionTool (Uchaev, Uchaev, Malinnikov, 2015), а на рис. 3 – окно с таблицей результатов применения модуля ImageCorrectionTool к фрагменту 57 канала гиперспектрального изображения, сформированному с помощью программных средств системы HyExplorer. Как видно из рис. 3, в базе данных, содержащей информацию о результатах обработки исходных изображений, сохраняются наименования и значения параметров обработки, а также ссылка на исходное изображение, подвергнутое обработке, и наименование инструмента обработки (компьютерной программы, подключенной к системе HyExplorer в качестве дополнительного модуля).

Еще одной особенностью программы HyExplorer является возможность визуализировать загрубленные изображения (так называемые обзоры) отобранных в результате выполнения запросов гиперспектральных изображений на поверхности виртуального глобуса. Данная технология позволяет наглядно увидеть пространственный охват и взаимное положение выбираемых изображений, а использование механизма кэширования обзорных изображений может существенно ускорить процедуру выбора по сравнению с использованием официальных геопорталов, разработанных для распространения гиперспектральных изображений.

Рис. 2. Главное окно программного модуля ImageCorrectionTool

Обработанные файлы для сцены EO1H1240302012209110T3_PF2_01				
Время обработки	Инструмент	Канал	Параметры обработки	Имя файла
1 23.01.2016 5:25	ImageCorrectionTool.exe	57	Контрастность=20.000;Резкость=1.400;Размер_блока=128;	EO1H1240302012209110T3_B057_L1T_VeH1YAGDQZ.TIF

Скачать

Рис. 3. Окно, демонстрирующее таблицу, содержащую параметры обработки фрагмента изображения 57 канала сцены Hyperion EO1H1240302012209110T3_PF2_01 посредством модуля ImageCorrectionTool

Перечисленные выше качества вместе с возможностью функционирования под управлением различных операционных систем (в частности, Windows и Linux) делают систему HyExplorer открытой, удобной в использовании программной системой управления гиперспектральными изображениями с возможностью расширения функционала по обработке и представлению гиперспектральных изображений пользователю. В будущем авторы настоящей работы предполагают реализовать данный потенциал, существенно расширив функционал серверного компонента системы HyExplorer, добавив в него такие широко востребованные функции, как формирование обзорных изображений на основе имеющихся в базе данных гиперспектральных сцен, создание изображений гиперспектральных индексов по исходным данным и т.д.

Заключение

В работе представлен краткий анализ текущей ситуации в области управления гиперспектральными изображениями в условиях научно-исследовательской деятельности малых

научных коллективов. Результаты проведенного анализа показывают, что на сегодняшний день существует острая нехватка систем управления гиперспектральными изображениями, в наибольшей степени удовлетворяющих потребностям малых научных коллективов. Частично восполнить данный пробел может разработанная на базе Московского государственного университета геодезии и картографии система HyExplorer. Опыт использования HyExplorer показал, что данная система может с успехом использоваться в процессе научной деятельности, направленной на разработку новых математических алгоритмов обработки гиперспектральных изображений, проводимой в рамках работ по проекту «Разработка математических методов обработки и представления данных гиперспектральной съемки с доступом к ним через геопорталы» (РФФИ №13-05-12086).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по договору №13-05-12086\13 от 02.08.2013.

Литература

1. Бондур В.Г. Современные подходы к обработке больших потоков гиперспектральной и многоспектральной аэрокосмической информации // Исследование Земли из Космоса. 2014. № 1. С. 4–16.
2. Бондур В.Г. Современные подходы к обработке гиперспектральных аэрокосмических изображений // Материалы научно-технической конференции «Гиперспектральные приборы и технологии». Красногорск, 17–18 ноября 2013 г. Красногорск: ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», 2013. С. 14–18.
3. Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А., Кашицкий А.В., Уваров И.А., Ефремов В.Ю., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Сорокин А.А., Верхотуров А.Л., Романова И.М., Крамарева Л.С., Королев С.П. Изучение продуктов извержений вулканов Камчатки с помощью гиперспектральных спутниковых данных в информационной системе VolSatView // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 113–128.
4. ГОСТ 20886-85. Организация данных в системах обработки данных. Термины и определения. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 8 с.
5. Кашицкий А.В., Балашов И.В., Лупян Е.А., Толпин В.А., Уваров И.А. Создание инструментов для удаленной обработки спутниковых данных в современных информационных системах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 156–170.
6. Кондранин Т.В., Козодеров В.В., Дмитриев Е.В., Егоров В.Д., Борзяк В.В. Макет аппаратно-программного комплекса обработки данных гиперспектрального аэрокосмического зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 301–311.
7. Лупян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А., Жарко В.О., Крашенинникова Ю.С., Оксюкевич А.Ю. Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 215–232.
8. Страхов П.В., Николенко А.А., Чабан Л.Н., Шурыгин Б.М. Программное обеспечение для обработки гиперспектральных снимков «Альбедо» // Труды 56-й научной конференции МФТИ: Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе», Всероссийской молодежной научно-инновационной конференции «Физико-математические науки: актуальные проблемы и их решения». Аэрофизика и космические исследования. Долгопрудный, 25–30 ноября 2013 г. М.: МФТИ, 2013. Т. 1. С. 89–91.
9. Уваров И.А., Матвеев А.М., Бурцев М.А., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Саворский В.П., Суднева О.А. Организация распределенной работы с данными спутниковых гиперспектральных наблюдений для решения научных и прикладных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 322–333.
10. Cappelaere P., Sanchez S., Bernabe S., Scuri A., Mandl D., Plaza A. Cloud Implementation of a Full Hyperspectral Unmixing Chain Within the NASA Web Coverage Processing Service for EO-1 // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2013. Vol. 6. No. 2. P. 408–418.
11. Chen N., Chen Z., Di L., Gong J. An Efficient Method for Near-Real-Time On-Demand Retrieval of Remote Sensing Observations // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2011. Vol. 4. No. 3. P. 615–625.
12. Habra N., Alexandre S., Desharnais J.-M., Laporte C.Y., Renault A. Initiating software process improvement in very small enterprises: Experience with a light assessment tool // Inform. Software Tech. 2008. Vol. 50. No. 7–8. P. 763–771.
13. Jansen R. Small Group Software Development: A Case Study // REU Site in Multidisciplinary Computing Report, University of South Carolina. 2006. 6 p.
14. Mityagina M.I., Lavrova O.Yu., Uvarov I.A. See the Sea: multi-user information system for investigating processes and phenomena in coastal zones via satellite remotely sensed data, particularly hyperspectral data // Proc. SPIE 9240, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2014. 92401C.

15. Mandl D. Experimenting with Sensor Webs using Earth Observing 1 // Aero. Conf. IEEE. 2004. Vol. 1. P. 176–183.
16. OGC Sensor Observation Service Interface Standard: OpenGIS® Implementation Standard. OGC 12-006. Open GIS Consortium, Inc. 2012. 163 p.
17. OGC Sensor Planning Service Implementation Standard: OpenGIS® Implementation Standard. OGC 09-000. Open GIS Consortium, Inc. 2011. 249 p.
18. Olson J.S., Olson G.M., Meader D. Face-to-face group work compared to remote group work with and without video // Video-mediated communication: Computers, cognition, and work. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, 1997. P. 157–172.
19. Plaza A., Benediktsson J.A., Boardman J.W., Brazile J., Bruzzone L., Camps-Valls G., Chanussot J., Fauvel M., Gamba P., Gualtieri A., Marconcini M., Tilton J.C., Trianni G. Recent advances in techniques for hyperspectral image processing // Rem. Sens. Environ. 2009. Vol. 113. Supplement 1. P. S110–S122.
20. Sevilla J., Plaza A. A New Digital Repository for Hyperspectral Imagery With Unmixing-Based Retrieval Functionality Implemented on GPUs // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2014. Vol. 7. No. 6. P. 2267–2280.
21. Shaw M.E. Group dynamics: The psychology of small group behavior. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1976. 464 p.
22. Uchaev Dm.V., Uchaev D.V., Malinnikov V.A. Image contrast enhancement using Chebyshev wavelet moments // Proc. SPIE 9875, Eighth International Conference on Machine Vision (ICMV 2015). 2015. 987512.
23. Web Coverage Processing Service (WCPS) Language Interface Standard: OpenGIS® Implementation Standard. OGC 08-068r2. Open GIS Consortium, Inc., 2009. 249 p.
24. Zarour M., Abran A., Desharnais J.-M. Software Process Improvement for Small and Very Small Enterprises // Software Design and Development: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. Hershey: IGI Global, 2013. P. 1363–1384.
25. Zhang J. Ontology-Driven Composition and Validation of Scientific Grid Workflows in Kepler: a Case Study of Hyperspectral Image Processing // Fifth International Conference on Grid and Cooperative Computing Workshops, 2006 (GCCW'06). 2006. P. 282–289.

Management of hyperspectral images for scientific research of small teams

D.V. Uchaev¹, A.E. Bobkov², V.A. Malinnikov¹, Dm.V. Uchaev¹

¹*Moscow State University of Geodesy and Cartography,
Moscow 105064, Russia
E-mail: d-uchaev@yandex.ru*

²*Moscow Institute for Physics and Technology (State University)
Dolgoprudny 141701, Moscow region, Russia
E-mail: bobkov.ae@mipt.ru*

This work presents a brief analysis of the current situation in the management of hyperspectral images within research activity of small scientific teams. Current state and prospects of development of software with features of hyperspectral image management in Russia and abroad during development of techniques and algorithms for hyperspectral image processing are treated. The program complex HyExplorer developed in Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK) for management of hyperspectral images is presented. HyExplorer allows to free users from performing some routine operations in the management of the original hyperspectral images and results of their processing. HyExplorer has been tested by development of algorithms for enhancement of hyperspectral images. HyExplorer has shown the high efficiency at stages of test data gathering and findings of optimal parameters for the developed algorithms.

Keywords: hyperspectral image management system, hyperspectral image, sensor web, Hyperion, AVIRIS

*Accepted: 16.09.2016
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-233-248*

References

1. Bondur V.G., Sovremennye podkhody k obrabotke bol'shikh potokov giperspektral'noi i mnogospektral'noi aerokosmicheskoi informatsii (Up-To-Date Approach for Bulky Flows of Hyperspectral Aerospace Data Processing), *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*, 2014, No. 1, pp. 4–16.
2. Bondur V.G., Sovremennye podkhody k obrabotke giperspektral'nykh aerokosmicheskikh izobrazhenii (Current approaches for processing of hyperspectral aerospace images), *Materialy nauchno-tehnicheskoi konferentsii "Giperspektral'nye pribory i tekhnologii"* (Proc. of the Scientific-Technical Conference "Hyperspectral Instruments and Technologies"), Krasnogorsk, 17–18 November 2013, Krasnogorsk: OAO "Krasnogorskii zavod im. S.A. Zvereva", 2013, pp. 14–18.
3. Gordeev E.I., Girina O.A., Loupian E.A., Kashnitskii A.V., Uvarov I.A., Efremov V.Yu., Mel'nikov D.V., Manevich A.G., Sorokin A.A., Verkhoturov A.L., Romanova I.M., Kramareva L.S., Korolev S.P., Izuchenie produktov izverzhenii vulkanov Kamchatki s pomoshch'yu giperspektral'nykh sputnikovykh dannykh v informatsionnoi sisteme VolSatView (Studies of Kamchatka volcanic eruptions products using hyperspectral satellite data in Vol-SatView information system), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 113–128.
4. GOST 20886-85 (USSR standard), Moscow: Gosudarstvennyi komitet SSSR po standartam, 1986, 8 p.
5. Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Loupian E.A., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Sozdanie instrumentov dlya udalennoi obrabotki sputnikovykh dannykh v sovremennykh informatsionnykh sistemakh (Development of software tools for satellite data remote processing in contemporary information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 156–170.
6. Kondranin T.V., Kozoderov V.V., Dmitriev E.V., Egorov V.D., Borzyak V.V., Maket apparatno-programmnogo kompleksa obrabotki dannykh giperspektral'nogo aerokosmicheskogo zondirovaniya (A lay-out of the apparatus and programmatic complex of hyperspectral airborne remote sensing data processing), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 5, pp. 301–311.
7. Loupian E.A., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Zharko V.O., Krashenninnikova Yu.S., Oksyukevich A.Yu., Ispol'zovanie sputnikovogo servisa VEGA v regional'nykh sistemakh distantsionnogo monitoringa (VEGA satellite service applications in regional remote monitoring systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 3, pp. 215–232.
8. Strakhov P.V., Nikolenko A.A., Chaban L.N., Shurygin B.M., Programmnoe obespechenie dlya obrabotki giperspektral'nykh snimkov "Al'bedo" (Software for processing of hyperspectral images), *Trudy 56-i nauchnoi konferentsii MFTI: Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii "Aktual'nye problemy fundamental'nykh i prikladnykh nauk v sovremennom informatsionnom obshchestve", Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-innovatsionnoi konferentsii "Fiziko-matematicheskie nauki: aktual'nye problemy i ikh resheniya". Aerofizika i kosmicheskie issledovaniya* (Proc. of the 56th Scientific Conference of MIPT: All-Russian Scientific Conference "Actual Problems of Fundamental and Applied Sciences in the Modern Information Society", All-Russian Youth Scientific Innovation Conference "Physical and Mathematical Sciences: Current Problems and Their Solutions"), Dolgoprudny, 25–30 November 2013, Moscow: MFTI, 2013, Vol. 1, pp. 89–91.
9. Uvarov I.A., Matveev A.M., Burtsev M.A., Loupian E.A., Mazurov A.A., Proshin A.A., Savorskii V.P., Sudneva O.A., Organizatsiya raspredelennoi raboty s dannymi sputnikovykh giperspektral'nykh nablyudenii dlya resheniya nauchnykh i prikladnykh zadach (Distributed data management of hyperspectral remote sensing data for scientific purposes and applications), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 1, pp. 322–333.
10. Cappelaere P., Sanchez S., Bernabe S., Scuri A., Mandl D., Plaza A., Cloud Implementation of a Full Hyperspectral Unmixing Chain Within the NASA Web Coverage Processing Service for EO-1, *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 2013, Vol. 6, No. 2, pp. 408–418.
11. Chen N., Chen Z., Di L., Gong J., An Efficient Method for Near-Real-Time On-Demand Retrieval of Remote Sensing Observations, *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 2011, Vol. 4, No. 3, pp. 615–625.
12. Habra N., Alexandre S., Desharnais J.-M., Laporte C.Y., Renault A., Initiating software process improvement in very small enterprises: Experience with a light assessment tool, *Inform. Software Tech.*, 2008, Vol. 50, No. 7–8, pp. 763–771.
13. Jansen R., Small Group Software Development: A Case Study, *REU Site in Multidisciplinary Computing Report*, University of South Carolina, 2006, 6 p.
14. Mityagina M.I., Lavrova O.Yu., Uvarov I.A., See the Sea: multi-user information system for investigating processes and phenomena in coastal zones via satellite remotely sensed data, particularly hyperspectral data, *Proc. SPIE 9240, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions*, 2014, 92401C.
15. Mandl D., Experimenting with Sensor Webs using Earth Observing 1, *Aero. Conf. IEEE*, 2004, Vol. 1, pp. 176–183.
16. OGC Sensor Observation Service Interface Standard: OpenGIS® Implementation Standard. OGC 12-006, Open GIS Consortium, Inc., 2012, 163 p.
17. OGC Sensor Planning Service Implementation Standard: OpenGIS® Implementation Standard. OGC 09-000, Open GIS Consortium, Inc., 2011, 249 p.
18. Olson J.S., Olson G.M., Meader D., Face-to-face group work compared to remote group work with and without video, *Video-mediated communication: Computers, cognition, and work*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, 1997, pp. 157–172.
19. Plaza A., Benediktsson J.A., Boardman J.W., Brazile J., Bruzzone L., Camps-Valls G., Chanussot J., Fauvel M., Gamba P., Gualtieri A., Marconcini M., Tilton J.C., Trianni G., Recent advances in techniques for hyperspectral image processing, *Rem. Sens. Environ.*, 2009, Vol. 113, Supplement 1, pp. S110–S122.
20. Sevilla J., Plaza A., A New Digital Repository for Hyperspectral Imagery With Unmixing-Based Retrieval Functionality Implemented on GPUs, *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 2014, Vol. 7, No. 6, pp. 2267–2280.

21. Shaw M.E. *Group dynamics: The psychology of small group behavior*, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 1976, 464 p.
22. Uchaev Dm.V., Uchaev D.V., Malinnikov V.A., Image contrast enhancement using Chebyshev wavelet moments, *Proc. SPIE 9875, Eighth International Conference on Machine Vision (ICMV 2015)*, 987512.
23. Web Coverage Processing Service (WCPS) Language Interface Standard: OpenGIS® Implementation Standard. OGC 08-068r2, Open GIS Consortium, Inc., 2009, 249 p.
24. Zarour M., Abran A., Desharnais J.-M., Software Process Improvement for Small and Very Small Enterprises, *Software Design and Development: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, Hershey: IGI Global, 2013, pp. 1363–1384.
25. Zhang J., Ontology-Driven Composition and Validation of Scientific Grid Workflows in Kepler: a Case Study of Hyperspectral Image Processing, *Fifth International Conference on Grid and Cooperative Computing Workshops, 2006 (GCCW'06)*, 2006, pp. 282–289.