

Автоматизированное ортотрансформирование и получение мозаик без наземных опорных точек

Перевод с английского языка статьи «Automated High-Speed High-Accuracy Orto rectification and Mosaicking» (авторы Cheng P. — научный работник компании PCI Geomatics, Sustera J. — эксперт по дистанционному зондированию GISAT), опубликованной в Geoinformation, п. 7, Oct./Nov. 2009, v. 12, p. 36–40. Перевод выполнен ФГУП «Уралгеоинформ».

СПУТНИКИ RAPIDEYE

Группировка RapidEye состоит из пяти спутников, запущенных 29 августа 2008 г. Каждый спутник имеет размер менее 1 м³ и весит 150 кг (платформа + полезная нагрузка). Бортовое записывающее устройство хранит изображения до тех пор, пока спутник не окажется в зоне охвата наземной приемной станции, расположенной на норвежском архипелаге Шпицберген. Спутники могут ежедневно получать изображение более 4 млн км² земной поверхности и выполнять повторную съемку каждые сутки.

Каждый спутник оборудован мультиспектральным линейным сканером, ведущим съемку с разрешением 6,5 м в пяти различных каналах электромагнитного спектра: голубом, зеленом, красном, крайнем красном и ближнем инфракрасном. Спутники RapidEye — первые коммерческие спутники с крайним красным каналом съемки, который чувствителен к изменениям содержания хлорофилла. Необходимы дополнительные исследования, чтобы вполне реализовать возможности крайнего красного канала, однако первые экспе-

рименты показывают, что этот канал может пригодиться для мониторинга состояния растительности, улучшения разделения видов и помощи в измерении содержания протеина и азота в биомассе.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С RAPIDEYE

Данные со спутников RapidEye могут использоваться для решения многих задач: (1) сельское хозяйство — определение границ и площадей полей, идентификация культур, оценка урожайности, контроль за сбором урожая, оценка повреждений и управленческих рисков при сельскохозяйственном страховании и др.; (2) лесное хозяйство — разделение пород деревьев, оценка объема биомассы, выявление поражений леса и др.; (3) безопасность и чрезвычайные ситуации — мониторинг районов, подвергнувшихся стихийным бедствиям (торнадо, ураганы, засухи, наводнения, землетрясения и т.д.); (4) окружающая среда — выявление изменений для любых целей, связанных с мониторингом окружающей среды; (5) пространственные решения — создание ортофотопланов, обновление базы данных дорожной сети и др.; (6) энергетика и инфраструктура — мониторинг нефтегазопроводов, районирование земной поверхности, картографирование свалок и др.

По сравнению с другими спутниками, снабженными оптико-электронными сенсорами, наибольшее преимущество RapidEye — это скорость предоставления мультиспектральных космических изображений высокого разрешения в течение 24-48 часов, что обусловлено группировкой из пяти спутников. Второе преимуще-

ство, которое будет описано в этой статье, – возможность получения ортоснимков и мозаик высокого качества без использования наземных опорных точек.

ОРТОТРАНСФОРМИРОВАНИЕ ДАННЫХ RAPIDEYE

Как правило, перед использованием в каком-либо приложении исходные данные должны быть приведены в картографическую проекцию; этот процесс называется ортотрансформированием или геометрической коррекцией. Процесс требует использования строгой геометрической модели, наземных опорных точек и цифровой модели рельефа. Сбор опорных точек представляет собой значительную проблему. Существующие источники об опорных точках не всегда доступны. Установка новых точек часто слишком дорога, особенно в районах, удаленных от автодорог. В отдельных случаях установка опорных точек невозможна например, при наводнениях или землетрясениях.

Платформа спутников RapidEye сконструирована фирмой Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL). На каждом спутнике установлено устройство слежения за звездами Altair NB, которое было разработано как альтернативный, экономически выгодный и высокоточный сенсор для определения и контроля положения спутника. Точная информация о положении спутника могла бы помочь для точного ортотрансформирования данных RapidEye в любую картографическую проекцию без использования опорных точек. Это принесло бы огромную пользу для решения тех задач, где требуется максимально возможная точность ортокоррекции. В настоящей статье описывается тестирование различных данных RapidEye и исследование точности ортотрансформирования без опорных точек.

ТЕСТОВЫЕ ДАННЫЕ RAPIDEYE

Стандартная поставка данных RapidEye в зависимости от цели может быть представлена продуктами двух уровней: (1) продукт RapidEye Basic (уровень 1B): эти данные проходят радиометрическую и сенсорную коррекцию и имеют точность привязки, задаваемую точностью бортового определения положения и эфемерид сенсора; (2) продукт RapidEye Ortho (уровень 3A): данные подвергаются радиометрической, сенсорной и геометрической коррекции. С использованием цифро-

вой модели рельефа DTED level 1 SRTM или лучше и соответствующих опорных точек точность ортоснимков CE90 равна 12,7 м (1σ 6 м). Самая высокая точность, которая может быть получена для этого продукта, соответствует масштабу 1:24 000 по стандартам NNAS.

Большинство пользователей во всем мире предпочитают данные уровня 1B, потому что они используют собственные опорные точки и цифровую модель рельефа для создания ортоснимков. В настоящей статье описывается тестирование точности коррекции данных уровня 1B как с опорными точками, так и без них. Исследовались данные уровня 1B следующих районов: (1) Ирвин (Irvine), Калифорния, США, (2) Феникс (Phoenix), Аризона, США, и (3) окрестности городов Злин (Zlín) и Копривнице (Kopřivnice), Чешская Республика.

МЕТОДЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Каждый набор данных RapidEye уровня 1B включает пять каналов в формате NITF. Данные сопровождаются RPC-коэффициентами, которые дают возможность использовать RPC-модель для ортотрансформирования данных. Детали RPC-модели описаны в статье Grodecki и Dial Grodecki и Dial «Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Functions», PR & RS January, 2003. Для коррекции ошибок, содержащихся в RPC, результаты могут быть подвинуты постобработке путем полиномиального уравнивания с использованием нескольких опорных точек.

В настоящем тестировании применялась последняя версия программного обеспечения OrthoEngine (PCI Geomatics). Этот программный продукт выполняет чтение данных, операторский и автоматический сбор опорных и связующих точек, геометрическое моделирование различных спутниковых съемочных моделей, используя строгую модель Toutin's или RPC-модель, автоматическое создание и редактирование ЦМР, ортотрансформирование, ручное или автоматическое мозаикование.

Ирвин, Калифорния. Данные покрывают участок примерно 76 на 230 км. На рис. 1 показан общий вид изображения. По картам Геологической службы США (USGS) масштаба 1:24 000 было определено 14 опорных точек и проведено уравнивание RPC-модели с

полиномами 0-й степени. Средняя квадратическая ошибка (RMS) на опорных точках составила 3,6 м по оси X и 7,0 м по оси Y, максимальная 6,5 м по оси X и 11,5 м по оси Y. Подобные результаты получены и при RPC-уравнивании с полиномами 1-й степени. Когда все опорные точки были переведены в контрольные, средняя квадратическая ошибка на контрольных точках составила 5,7 м по оси X и 7,5 м по оси Y, максималь-

ная ошибка составила 11,7 м по оси X и 13,6 м по оси Y. Несмотря на то что ошибки без опорных точек немного выше, средняя квадратическая ошибка сопоставима с размером пикселя 6,5 м. Результирующие ошибки могут быть также усугублены точностью опорных точек, которые были получены с карт масштаба 1:24 000.



Рис. 1.
Общий вид снимка RapidEye на Ирвин



Рис. 2.
Ортотрансформированное изображение RapidEye на Ирвин в полном разрешении, скорректированное без опорных точек, с наложенными векторами карт USGS масштаба 1:24 000



Рис. 3.
Ортотрансформированное изображение RapidEye на Ирвин в полном разрешении, скорректированное без опорных точек, с наложением Google Earth

На рис. 2 и 3 представлены примеры ортоснимков, скорректированных без опорных точек, с наложенными векторами карт USGS масштаба 1:24 000 и Google Earth соответственно.

Феникс, Аризона. В этом случае тестировался блок из трех перекрывающихся снимков RapidEye уровня обработки 1B. Каждое изображение покрывало примерно 76 на 162 км. В блоке использовалось 14 DGPS опорных точек, определенных с субметровой точностью. Средняя квадратическая ошибка на опорных точках составила 2,3 м по оси X и 2,1 м по оси Y,

максимальная – 3,3 м и 4,7 м по осям X и Y соответственно. Когда все опорные точки были переведены в контрольные, средняя квадратическая ошибка на контрольных точках составила 3,5 м по оси X и 4,2 м по оси Y, максимальная – 6,3 м по оси Y и 6,5 м по оси X. То есть, и в этом случае средняя квадратическая ошибка без опорных точек не превысила размера пикселя (6,5 м). На рис. 4 и 5 представлены примеры ортоснимков, скорректированных без опорных точек, с наложенными векторами карт USGS масштаба 1:24 000 и Google Earth соответственно.

Чешская Республика. Набор данных RapidEye уровня обработки 1В на Злин и Копривнице был получен 14 июня 2009 г. Размер каждой сцены около 76 на 60 км. Сбор опорных точек осуществлялся по аэро-ортофотопланам, а их высоты определялись по цифровой модели рельефа, созданной по горизонталям цифровых топографических карт масштаба 1:10 000 с высотой сечения 2 м. Для целей тестирования было подготовлено более 30 опорных точек на каждую сцену. Для всех сцен применялось RPC-уровнивание с полиномами 1-й степени. Для сцены на окрестности Злина было получено 34 опорных точки. Средняя квадратическая ошибка на опорных точках составила около 2,0 м по оси X и 1,9 м по оси Y, максимальная 5,4 м по оси X и 4,4 м по оси Y.

Когда все опорные точки были переведены в контрольные, средние квадратические ошибки на контрольных точках составили 3,7 м по оси X и 4,6 м по оси Y, максимальные – 6,6 м по оси X и 9,5 м по оси Y.

Для сцены на Копривнице было подготовлено 30 опорных точек. Средняя квадратическая ошибка на опорных точках составила около 2,6 м по оси X и 2,3 м по оси Y, максимальная ошибки составили 5,8 м по оси X и 5,4 м по оси Y. Когда все опорные точки были переведены в контрольные, средняя квадратическая ошибка на контрольных точках составила 5,1 м по оси

X и 3,9 м по оси Y, максимальная – 10,5 м по оси X и 8,6 м по оси Y.

Таким образом, оба набора данных без использования опорных точек показали среднюю квадратическую ошибку не более размера пикселя. На рис. 6 и 7 показаны ортоснимки, полученные без опорных точек и совмещенные с Google Earth.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ МОЗАИК

Успешное создание высокоточных ортоснимков RapidEye означает, что возможно создать бесшовные мозаики из данных RapidEye без опорных точек. Однако процессы изготовления мозаик и цветового выравнивания обычно занимают чрезвычайно много времени. В PCI могут использоваться инструменты автоматического поиска линий сшивки, изготовления мозаик и цветового выравнивания. Вмешательства человека не требуется. Для тестирования автоматического изготовления мозаик по данным RapidEye был использован блок из трех снимков Феникса. Файл мозаики имел объем около 5,6 Гб. На рис. 8 показан общий вид мозаики, а на рис. 9 – фрагмент мозаики в полном разрешении с наложенной линией сшивки (красная линия). Как видно на рис. 9, дороги прекрасно совпадают по линии сшивки двух изображений.



Рис. 4. Ортопротрансформированное изображение RapidEye на Феникс в полном разрешении, скорректированное без опорных точек, с наложенными векторами карт USGS масштаба 1:24 000



Рис. 5. Ортопротрансформированное изображение RapidEye на Феникс в полном разрешении, скорректированное без опорных точек, с наложением Google Earth



Рис. 6. Ортопротрансформированное изображение RapidEye на Злин в полном разрешении, скорректированное без опорных точек, с наложением Google Earth



Рис. 7. Ортопротрансформированное изображение RapidEye на Копривнице в полном разрешении, скорректированное без опорных точек, с наложением Google Earth



Рис. 8. Изображения на Феникс после автоматического изготовления мозаик



Рис. 9. Автоматически полученная мозаика на Феникс в полном разрешении с наложенными линиями порезов

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПАКЕТНАЯ ОБРАБОТКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPU

Поскольку высокоточные ортоснимки и мозаики RapidEye могут быть получены автоматически без опорных точек, возможно включить все процессы в полностью автоматическую пакетную систему. Пакетная обработка доступна в программном обеспечении PCI. Она может быть запущена через скрипты на языке Python или PCI EASI. Преимуществами автоматической обработки будут являться: (1) максимальная производительность; (2) автоматизация повторяющихся и длительных операций; (3) повышение операторской эффективности; (4) снижение стоимости труда; (5) сокращение времени на завершение производственного цикла. Производство большого количества высокоточных ортоснимков и мозаик, таких, как мозаика на всю страну, может быть легко выполнено с применением автоматической системы. Для ускорения процесса также можно использовать несколько компьютеров. Полная автоматизация процессов означает, что легко и быстро можно получить ортоснимки и мозаики RapidEye для многих критических приложений.

Современная компьютерная техника, например, многоядерные процессоры и графические процессоры (GPU), ускоряет вычислительные процессы. Модель вычислений на GPU подразумевает совместное использование CPU и GPU в гетерогенной вычислительной модели. Последовательная часть приложения работает на CPU, а вычислительно-тяжелая часть - на GPU. С точки зрения пользователя, приложение работает

быстрее, потому что оно использует высокую производительность GPU для повышения производительности. PCI Geomatics Accelerator (GXL) использует преимущества этой современной компьютерной техники, интегрировав вычисления на GPU для выполнения интенсивных операций, таких, как паншарпенинг, ортопротрансформирование и автоматическое мозаицирование. Скорость процессов увеличивается примерно в 6 раз при паншарпенинге, в 10 раз при ортопротрансформировании и в 5 раз при автоматическом получении мозаик. Это увеличение скорости процессов поможет пользователям получать результаты намного быстрее без какой-либо потери точности.

ВЫВОДЫ

Возможно очень быстро создавать высокоточные ортоснимки и мозаики из данных RapidEye без опорных точек. Результаты тестов показали среднюю квадратическую ошибку порядка одного пикселя. Тот факт, что опорные точки не требуются для геометрической коррекции снимков RapidEye, означает для пользователей значительное снижение цены и экономию времени. Вдобавок автоматическая пакетная обработка для производства большого количества ортоснимков / мозаик RapidEye возможна сегодня с использованием одного или нескольких компьютеров. Использование вычислений на GPU может повысить скорость ортопротрансформирования в 10 раз, скорость автоматического мозаицирования - более чем в 5 раз.