

О.Н. Колесникова (Компания «Совзонд») В 2001 г. окончила Московский государственный университет природообустройства. После окончания университета работает в компании «Совзонд», в настоящее время – руководитель отдела программного обеспечения.

А.С. Черепанов (Компания «Совзонд») В 2005 г. окончил Курганский государственный университет, в 2008 г. – аспирантуру МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «картография». С 2006 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – старший инженер по тематической обработке данных ДЗЗ. Кандидат географических наук.

Возможности ПК ENVI для обработки мультиспектральных и гиперспектральных данных

МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫЕ И ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

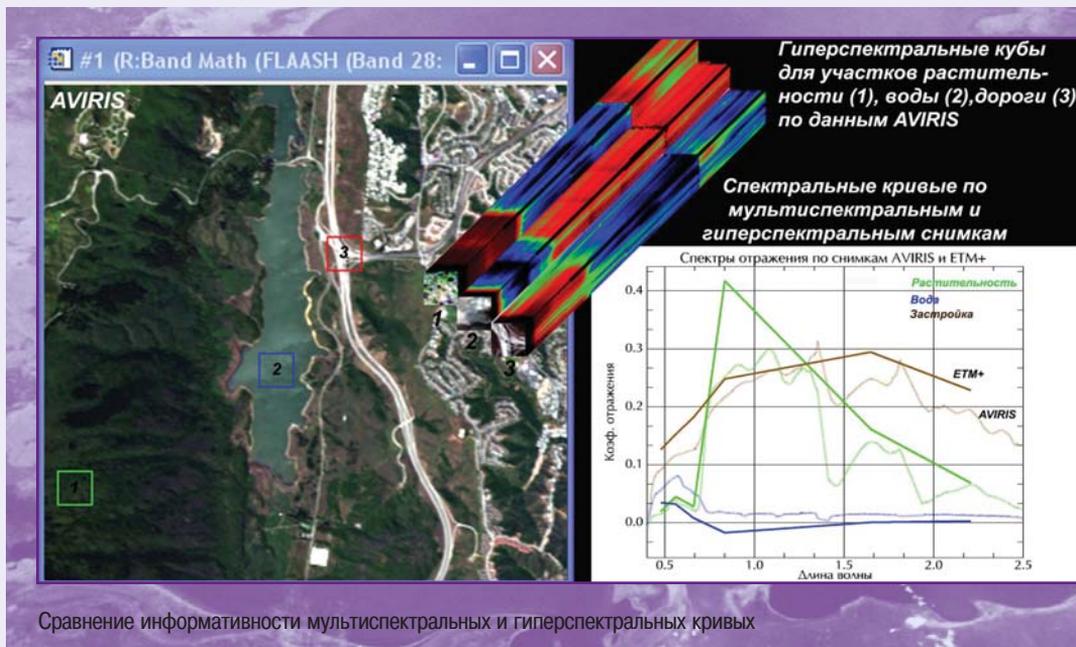
В последние годы все большее внимание привлекают мультиспектральные (или многозональные) и гиперспектральные снимки, которые позволяют исследовать многие качественные характеристики объектов на земной поверхности (или даже скрытые от глаз). Эти особенности находят применение в сельском и лесном хозяйстве, в геологии и при поиске полезных ископаемых и т. д.

Современная мультиспектральная и гиперспектральная сканирующая аппаратура, с помощью которой выполняют космическую съемку, представляет собой радиометрически откалиброванные многоканальные видеоспектрометры. Для каждого пикселя изображения регистрируется набор яркостей в 4, 6, десятках или сотнях каналов, охватывающих диапазон электромагнитных волн от видимого до теплового. Значения яркости, зафиксированные съемочной системой для одного объекта в разных спектральных зонах, и их графическое отображение в виде спектральных кривых позволяют уверенно отличать и выделять данный объект на снимке. Большое количество спектральных зон позволяет получить более сложную спектральную кривую и делает возможным при-

менения сложных алгоритмов субпиксельного анализа.

Мультиспектральные съемочные системы формируют несколько отдельных изображений для широких спектральных зон в диапазоне электромагнитных излучений от видимого до инфракрасного. Наибольший практический интерес в настоящий момент представляют мультиспектральные данные с космических аппаратов (КА) нового поколения, среди которых GeoEye-1 – 4 спектральных зоны, RapidEye – 5 зон и WorldView-2 – 8 зон.

В отличие от мультиспектральных, гиперспектральные съемочные системы одновременно формируют изображения для узких спектральных зон на всех участках спектрального диапазона. Для гиперспектральной съемки важно не количество спектральных зон (каналов), а ширина зоны (чем меньше, тем лучше) и последовательность измерений, т. е. съемочная система с 20 каналами будет гиперспектральной, если она покрывает диапазон 500-700 нм, при этом ширина каждой спектральной зоны не более 10 нм, а съемочная система с 20 отдельными каналами, покрывающими видимую область спектра, ближнюю, коротковолновую, среднюю и длинноволновую ИК-области, будет считаться мультиспектральной.



Анализ гиперспектральных изображений стал одной из самых эффективных и быстро развивающихся направлений при использовании ДДЗ. Гиперспектральные снимки, в отличие от других данных ДЗЗ, позволяют извлекать более точную и детальную информацию. Данные о величине отражения энергии от объектов земной поверхности дают обширный материал для подробного анализа и создания на их основе новой производной продукции. Гиперспектральные снимки доступны не так широко, как другие данные ДЗЗ. Космических аппаратов, на борту которых установлены гиперспектральные съемочные системы, немного. Среди них следует отметить Hyperion на борту КА EO-1 (NASA, США) и CHRIS на борту КА PROBA (EKA). В настоящее время гиперспектральные снимки активно используются для изучения и съемки объектов земной поверхности.

Мультиспектральные снимки в синей, зеленой, красной и ближней инфракрасной и других спектральных зонах могут быть использованы для получения цветного изображения (RGB-синтез). Различные варианты синтеза отдельных изображений (например «красный-зеленый-синий», «ближний ИК-красный-зеленый» и т. д.) позволяют решать многочис-

ленные тематические задачи и облегчают процесс визуального дешифрирования снимков.

ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАБОТКИ В ПК ENVI

Программный комплекс (ПК) ENVI, благодаря языку программирования IDL (Interactive Data Language), способен обеспечить полный комплекс работ по обработке снимков с мультиспектральных и гиперспектральных съемочных систем. Многие алгоритмы анализа изображений в программном комплексе ENVI были специально разработаны для обработки больших объемов информации, содержащихся в гиперспектральных снимках. Большинство этих алгоритмов также можно использовать, хотя и в несколько ограниченном виде, для работы с мультиспектральными снимками.

Алгоритмы радиометрической коррекции Инструменты для создания производных (MNF, PCA, Tasseled Cap) и индексов изображений (вегетационные индексы)

В программном комплексе ENVI предлагается 27 вегетационных индексов, большинство из которых (22) разработаны специально для анализа гиперспектральных данных. Используемые в ENVI вегетационные ин-

дексы и их назначение детально описаны в другой статье этого номера журнала (А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина «Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы», с. 28).

Классификация и определение материалов и объектов, входящих в состав одиночного пикселя

Алгоритмы классификации, работающие с «целыми» пикселями, детально описаны в другой статье этого номера журнала (В.А. Панарин, Р.В. Панарин «Применение космических снимков в муниципальном управлении урбанизированных территорий для задач территориального планирования», с. 40).

Алгоритмы субпиксельного анализа. Субпиксельный анализ позволяет определять доли искомого материала в каждом пикселе изображения. Результат его применения – поиск на снимке объектов, размер которых гораздо меньше размера пикселя. В случае достаточного контраста между объектом и фоном, при анализе можно найти материалы, занимающие 1-3% пикселя. Алгоритмы субпиксельного анализа включают линейное спектральное разделение (linear spectral unmixing) и фильтр по эталонам (matched filtering). Оба алгоритма позволяют определять материалы, образующие спектр пикселя на основе эталонных спектральных кривых.

Линейное спектральное разделение (Linear spectral unmixing)

В основе использования линейного спектрального разделения лежит тот факт, что частота любого пикселя является результатом линейных математических комбинаций частот отражения всех характерных объектов в пределах данного пикселя, где вес частот отражения каждого характерного объекта непосредственно пропорционален занимаемой данным объектом области частот пикселя. Если спектры всех характерных объектов, находящихся на снимке, известны, то их содержание в пределах пикселя может быть вычислено по спектральной кривой каждого пикселя. Результаты применения алгоритма линейного спектрального разделения включают одно изображение для каждого материала. Значения пикселей в этих изображениях показывают процент от их площади. Например, если пиксель в изображении распространности для кварца имеет значение яркости 0,90, то 90% области пикселя содержат кварц.

Фильтр по эталонам (Matched filtering) – тип линейного разделения, в котором на карте клас-

сификации отображаются только материалы, выбранные пользователем.

В отличие от полного разделения, здесь нет необходимости указывать эталоны для всех характерных объектов на снимке, чтобы выполнить анализ. Фильтр по эталонам изначально развивался для определения наличия материалов, которые редко встречаются на снимке.

Модуль атмосферной коррекции

В процессе дистанционного зондирования отражение электромагнитных волн от объектов и земной поверхности, прежде чем оно регистрируется съемочной системой, проходит через атмосферу. Данные дистанционного зондирования включают информацию не только о поверхности, но и о состоянии атмосферы. При необходимости количественного анализа поверхностного отражения устранение влияния атмосферы – важный шаг предварительной обработки.

Атмосфера может влиять на значения яркости, регистрируемые съемочной системой, двумя способами: путем рассеяния и поглощения энергии электромагнитных волн. Рассеяние имеет место, когда излучение в атмосфере отражается или преломляется частицами от молекул газов, составляющих атмосферу, крупинками пыли и большими водяными каплями. При наличии многократного рассеяния в атмосфере часть энергии может выходить за пределы поля зрения съемочной системы. Если поле зрения небольшое, фактически все рассеянное излучение будет теряться. В этом случае рассеяние вызывает потускнение изображения. Если поле зрения очень большое, то часть рассеянного излучения все же будет восприниматься съемочной системой и в этом случае происходит усиление сигнала и яркость изображения повышается.

Для выполнения атмосферной коррекции часто необходимо знать такие параметры, как количество водяного пара, распределение аэрозолей, видимость и др. Поскольку прямое измерение этих свойств атмосферы редко доступно, разрабатываются методы получения их из спектральных значений яркости. Полученные коэффициенты используются для задания высокоточных моделей атмосферной коррекции, которые и используются для обработки данных.

Модуль ACM (Atmospheric Correction Module) включает два алгоритма для устранения влияния атмосферы, которые могут применяться при обработ-

ке как мультиспектральных, так и гиперспектральных снимков: Quick Atmospheric Correction (QUAC) и Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH). Оба алгоритма были разработаны специалистами корпорации Spectral Sciences при поддержке U.S. Air Force Research Laboratory.

Quick Atmospheric Correction (QUAC)

QUAC обеспечивает автоматизированную коррекцию влияния атмосферы для мультиспектральных и гиперспектральных снимков в диапазоне частот 400-2500 нм. Он также включает специальные настройки для обработки снимков, полученных съемочными системами: AISA, ASAS, AVIRIS, CAP ARCHER, COMPASS, HYCAS, HYDICE, HyMap, Hyperion, IKONOS, Landsat TM, LASH, MASTER, MODIS, MTI, QuickBird, RGB, и обобщенный подход при работе с неизвестной съемочной аппаратурой.

В отличие от других алгоритмов коррекции влияния атмосферы, данный алгоритм рассчитывает корректирующие параметры непосредственно из изображения (спектральные кривые анализируемых пикселей) без привлечения какой-либо дополнительной информации. В основе алгоритма QUAC лежит эмпирический поиск среднего коэффициента отражения для различных групп материалов (классов объектов). При этом используется алгоритм извлечения характерных спектральных кривых. QUAC выполняет более обобщенную коррекцию влияния атмосферы, нежели FLAASH. Использование данного алгоритма позволяет рассчитывать коэффициенты отражения с погрешностью $\pm 15\%$.

Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)

FLAASH – алгоритм коррекции влияния атмосферы на основе заданных моделей. Модели, используемые в FLAASH, позволяют выполнять обработку снимков, полученных любыми мультиспектральными или гиперспектральными съемочными системами в диапазоне частот 400-3000 нм, в том числе и снимков, полученных при большом отклонении от надира. Алгоритм FLAASH позволяет получать более точные данные при коррекции снимков, чем алгоритм QUAC, но и требует дополнительной информации для их обработки.

В отличие от многих других алгоритмов коррекции влияния атмосферы, которые интерполируют значения переданного излучения из предваритель-

но рассчитанных баз данных, FLAASH включает исходный код модели MODTRAN4.

При выборе любой стандартной модели атмосферы MODTRAN (лето в средних широтах, зима в средних широтах и т. п.) и состава аэрозолей (для сельской местности, города, морских территорий) представленной на снимке, будут рассчитаны параметры MODTRAN именно для данной сцены. FLAASH поддерживает обработку снимков с гиперспектральных съемочных систем AVIRIS, HYDICE, HYMAP, CASI, HYPERION, AISA и мультиспектральных ASTER, MODIS, AVHRR, QuickBird, IKONOS, IRS LISS1, IRS LISSIII, SeaWiFS, Landsat MSS 4, MSS 5, TM 4, TM 5, TM 7, SPOT 1, 4, 5. Кроме того, с помощью модели неизвестной мультиспектральной или гиперспектральной аппаратуры можно описать модель любой съемочной системы и обработать ее снимки.

Алгоритм FLAASH включает следующие возможности, качественно отличающие его от аналогичных алгоритмов, использующих модели MODTRAN4:

- коррекцию эффекта смежности, который возникает из-за смешивания яркостей соседних пикселей;
- инструмент для расчета примерной видимости сцены (содержание аэрозолей и наличие дымки) по частотам, равным 660 и 2100 нм на основе метода, предложенного Кауфманом.
- модели, учитывающие многократное рассеяние энергии электромагнитных волн, величина которых зависит от наличия дымки и состава аэрозолей (MODTRAN содержит модели многократного рассеяния ISAACS и DISORT);
- настраиваемый инструмент для сглаживания спектральных кривых и подавления выбросов и помех (используется при работе с гиперспектральными снимками).

Результатом работы алгоритма QUAC или FLAASH является изображение со значениями пикселей в безразмерных коэффициентах отражения, умноженных на 10 000. Умножение на 10 000 выполняется в ходе работы алгоритмов для перевода дробных значений пикселей (вещественный тип – float point) в целые числа (two-byte signed integers). Данная процедура позволяет уменьшить место, занимаемое файлом на жестком диске, что также ускоряет процесс дальнейшей обработки снимка. Увеличение значений в 10 000 раз позволяет сохранить информацию в пятом знаке после запятой, что более чем достаточно для проведения исследований.