

Высокопроизводительные алгоритмы радиометрической калибровки и преобразования порядка следования данных отдельных каналов сенсора EO-1 Hyperion

В.П. Потапов, С.Е. Попов

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, 630090, Россия

E-mail: potapov@ict.sbras.ru

E-mail: popov@ict.sbras.ru

В работе представлены высокопроизводительные алгоритмы процедур радиометрической калибровки и преобразования порядка следования данных каналов. В статье рассматривается ряд работ, направленных на оптимизацию алгоритмов пре- и пост-обработки мульти- и гиперспектральных изображений. Однако, программная реализация таких алгоритмов, интегрированных в специализированный софт, не оптимизирована, требует достаточно много машинных ресурсов, длительного времени на обработку изображений и реализована лишь для простых арифметических операций. Поэтому предлагаются алгоритмы, предусматривающие возможность запуска их на многопроцессорных платформах в мультипоточном режиме и обеспечивающих эффективное выполнение на низкопроизводительных системах ввода/вывода. В частности, для алгоритмов преобразования порядка следования данных и радиометрической калибровки, предложена реализация порционного считывания данных снимка в оперативную память, с последующим размещением значений (Digital Number) в целевых буферных массивах в несколько потоков, рассчитанных по количеству спектральных каналов или по количеству линий снимка. Порядок индексации массивов позволил интегрировать расчет радиометрической калибровки значений светимости непосредственно в выполняемый поток без потери времени выполнения всего процессорного задания. В работе описывается расширение для программно-продукта Exelis ENVI, реализующее разработанные алгоритмы, на базе технологии GUI-WIDGETS в интеграции с пакетами Java SwingX. Для взаимодействия с Java-классами, реализующими логику представленного алгоритма, использовалась технология Java-Bridge IDL. Также приведены результаты тестирования представленных алгоритмов с их базовыми аналогами программного комплекса Exelis ENVI. Показано, что скорость выполнения (секунды) разработанного алгоритма в сотни раз превышает аналогичную для базового алгоритма. Так, например, процедура преобразования порядка следования данных отдельных каналов собственного алгоритма на 8-ми ядерной архитектуре с использованием I/O-подсистемы RAMDisk составила всего 45 секунда, в то время как базовому алгоритму понадобилось в аналогичной среде около 6800 секунд.

Ключевые слова: Радиометрическая калибровка, преобразование порядка следования данных спектральных каналов, многопоточность, java, IDL-Bridge.

Введение

Данные зондирования земли поступают в виде изображений, как правило, в цифровой форме, обработка ведется на ЭВМ, поэтому технологии дистанционного зондирования тесно связаны с цифровой обработкой изображений. Предварительная обработка данных дистанционного зондирования заключается в геометрической коррекции спутниковых изображений, радиометрической и атмосферной коррекции, восстановлении пропущенных пикселей и улучшения изображений путем изменения контраста. Одним из наиболее важных этапов предварительной обработки космических снимков является атмосферная коррекция. В настоящее время, большая часть данных попадающих в руки конечного пользователя уже атмосферно скорректирована. Однако, в связи с тем, что процесс коррекции больших объемов данных полностью автоматизирован, то используемые для

коррекции алгоритмы рассчитываются исходя из усредненных показателей и не учитывают особенностей получения каждого конкретного снимка, а также возможность оптимизации вычислительного процесса для каждого конкретного программного продукта или отдельных сторонних специализированных модулей.

Существует ряд работ, направленных на оптимизацию алгоритмов пре- и пост-обработки мульти- и гиперспектральных изображений, а также сравнение разрешающей способности алгоритмов. Так, в работе (Thompson, Rahman, Park, 2000) представлен алгоритм Multi-Scale Retinex (MSR), обеспечивающий сжатие динамического диапазона, снижение зависимости от условий освещения, а также улучшение пространственного разрешения мультиспектральных данных. В частности, результаты моделирования показывают, что, несмотря на степень снижения качества изображения из-за изменения атмосферного излучения, ошибки классификации могут быть существенно уменьшены путем предварительной обработки данных изображения с помощью MSR. В работе (San, Suzen, 2010) обсуждаются сравнение алгоритмов атмосферной коррекции Atmospheric CORrection Now (ACORN), the Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH), and Atmospheric CORrection (ATCOR 2-3) для гиперспектральных данных сенсора EO-1 Hyperion для кросс-корреляция и сравнение особенностей поглощения в определенных длин волн. Показано, что в зависимости от различных диапазонов длин волн алгоритм атмосферной коррекции ACORN показал лучшую корректирующую способность снимков снимках EO-1 Hyperion для определения литологии и минералогического состава природных земельных геоматериалов. В работе (Qu, Goetz, Kindel, 2003) описываются результаты использования моделей алгоритмов ATREM, HATCH, ACORN и FLAASH и приводятся оценки коэффициентов отражения на верхней границе атмосферы для водяного пара. Показано, что существуют значительные различия между моделями атмосферной коррекции протестированных алгоритмов. Отличия моделей равны или больше, чем ошибки, вносимые калибровки длин волн или шумами сенсоров. Этот результат делает невозможным узнать, какие модели работает лучше. В обоих случаях (по данным AVIRIS и Hyperion) графики коэффициентов отражения, полученные из сцен с наиболее высокими показателями для водяного пара содержали значительное количество артефактов и отклонение от сглаженной кривой отражения. Обнаружено, что использование алгоритма HATCH-2D с опцией «column-by-column wavelength calibration», позволило получить более «сглаженные» спектры отражения, чем при использовании метода «average spectral calibration» для всего массива данных. Однако недостатком данного подхода явилось значительное увеличение времени вычислений.

Не менее важными являются вопросы, связанный с вычислительной производительностью алгоритмов пре- и пост-обработки спектральных изображений. В работах (Perkins et al., 2012) и (Adler-Golden et al., 2012) рассматривается программный прототип системы автоматизированного, высокоточного алгоритма с малой задержкой для расчета атмосферной коррекции на основе C++ для модуля FLAASH. Предложенный в (Perkins et al., 2012) и (Adler-Golden et al., 2012) подход заключается в замене расчетов моделей переноса радиации модуля MODTRAN на предварительно рассчитанные справочные таблицы, используя для этого параллельную обработку на многоядерных/многопроцессорных вычислительных систем.

В настоящее время на рынке программных продуктов есть готовые решения для визуализации и обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые включают в себя набор инструментов для проведения полного цикла обработки данных от ортотрансформирования и пространственной привязки изображения до получения необходимой информации и её интеграции с данными ГИС. Однако, программная реализация алгоритмов, интегрированных в такой софт не оптимизирована, требует достаточно много машинных ресурсов и длительного времени на обработку изображений. Например, модуль радиометрической калибровки с опцией подготовки данных для атмосферной коррекции алгоритмами FLAASH в программном комплексе ENVI для гиперспектрального снимка (7,7 км x 185 км) сенсора EO-1 составляет порядка двух с половиной часов. При этом некорректно используются ресурсы файловой подсистемы из-за неоптимизированного порядка считывания файлов данных спектральных каналов. Конечно, стоит сказать, что в том же программном продукте Exelis ENVI есть встроенная технология мультипотокности (http://www.exelisvis.com/docs/The__Thread_Pool.html), но она представлена по принципу «hard coded», т.е. не может настраиваться и управляться разработчиком, а, самое главное, она реализована только для простейших математических операций и создания массивов, что не позволяет в полной мере применять технологию объектно-ориентированного подхода Java.

В данной работе описывается разработка высокопроизводительного алгоритма для предварительной обработки (подготовки) гиперспектральных данных с последующей их передачей на вход модулю атмосферной коррекции программного продукта Exelis ENVI.

Постановка задачи

Разработать алгоритмы процедур радиометрической калибровки и преобразование порядка следования данных отдельных каналов, их программную реализацию в виде рас-

ширений для программного комплекса ENVI с использованием технологии IDL-Java Bridge. Программный функционал алгоритмов должен предусматривать возможность запуска их на многопроцессорных платформах в мультипоточном режиме и обеспечивать эффективное выполнение на низкопроизводительных системах ввода/вывода с количеством оперативной памяти до 2 Гб.

Используемые данные и программные продукты

Для тестирования разрабатываемых алгоритмов использованы данные гиперспектральных изображений, полученных с ресурса EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) Геологической службы США. В работе рассматривались изображения сенсора EO-1 Hyperion с полосами съемки 7,7 км x 42 км и 7,7 км x 185 км, соответственно. Гиперспектральный сенсор Hyperion предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением до 30 м в 242 спектральных диапазонах видимой и инфракрасной области.

Гиперспектральные снимки сенсора EO-1 Hyperion уровня L1T представляют собой набор из 242 файлов, соответствующих спектральным каналам в графическом формате GeoTIFF, а также файл метаданных с расширением (.TXT или .MET). Файлы имеют нативный формат именования, соответствующий схеме EO1spppprrrYYYYDDDXXML_BBBB_TTT.TIF (Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2006). Размер снимка определяется количеством линий (параметр PRODUCT_LINES) и количеством пикселей в одной линии (параметр PRODUCT_SAMPLES). Эта информация размещается в файле метаописания (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Каждый TIFF-файл спектрального канала содержит теги с информацией о типе, количестве и размере данных в нем размещенных. В работе были использованы стандартные теги TIFF-формата:

- StripOffsets – содержит массив значений смещений (по одному на линии), которые указывают позицию первого байта каждой линии в файле TIFF. Первый элемент массива указывает смещение первой линии, второй — смещение второй линии и т.д.
- StripByteCount - описывает массив значений, указывающих размер каждой линии в байтах.

Гиперспектральные снимки загружаемые с ресурса EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) имеют формат преобразование порядка следования данных каналов BSQ (band sequential) (рис. 1). Данный формат хранит информацию о каждом

спектральном канале изображения за раз. Другими словами, данные для всех пикселей первого канала расположены первыми (с нулевым смещением), затем идут данные всех пикселей второго канала со смещением $(\text{количество каналов}) \cdot (\text{количество линий}) \cdot (\text{количество пикселей в линии}) \cdot 2$ и так далее по количеству спектральных каналов. Тип данных для каждого значения пиксела – Short, размер 16 бит.

Высокопроизводительные расчетные алгоритмы разработаны с применением объектно-ориентированного языка Java, расширения для программного комплекса Exelis ENVI созданы на базе языка IDL, связующим интерфейсом послужила технология Java-IDL Bridge.

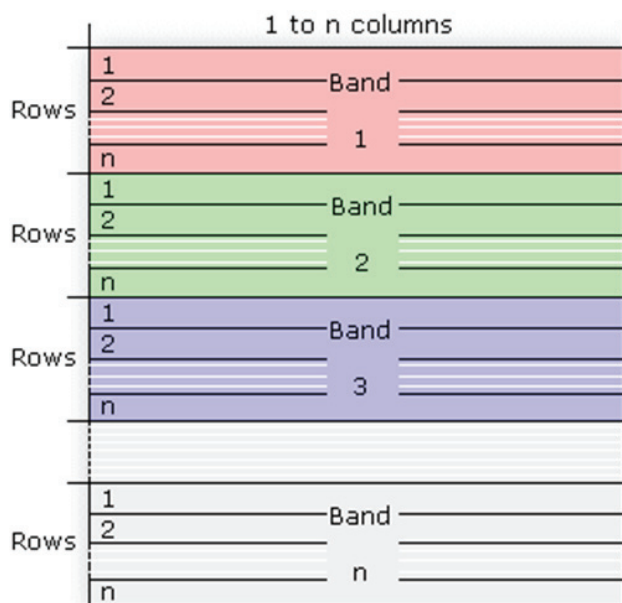


Рис. 1. Схематичное изображение данных в формате BSQ

Алгоритм и его программная реализация

Основной акцент в работе ставился на создание алгоритмов препроцессинга (радиометрической калибровки и преобразование порядка следования данных отдельных каналов) полного снимка с данными уровня L1T без выделения на нем областей интересов (ROI) за относительно не большое время выполнения. Как показал опыт использования программных решений (в частности ENVI), основным «узким» местом в производительности их алгоритмов является операции ввода/вывода файловой подсистемы, а конкретнее – компромисс между использованием оперативной памяти и временем загрузки исходных данных в нее.

Согласно (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH): [сайт]. URL: <http://www.exelisvis.com/docs/FLAASH.html>) исходное изображение для модуля ат-

мосферной коррекции FLAASH должно иметь значение светимости для каждого пиксела в спектрального канала и быть в формате преобразования BIL (band-interleaved-by-line) или BIP (band-interleaved-by-pixel).

В формате BIL данные хранят значение для каждой линии снимка в порядке следования «канал за каналом» соответственно для каждой строки (рис. 2). Формат BIP аналогичен BIL за исключением того, что данные в порядке следования «канал за каналом» хранятся для каждого пиксела (рис. 3, http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=BIL,_BIP,_and_BSQ_raster_files).

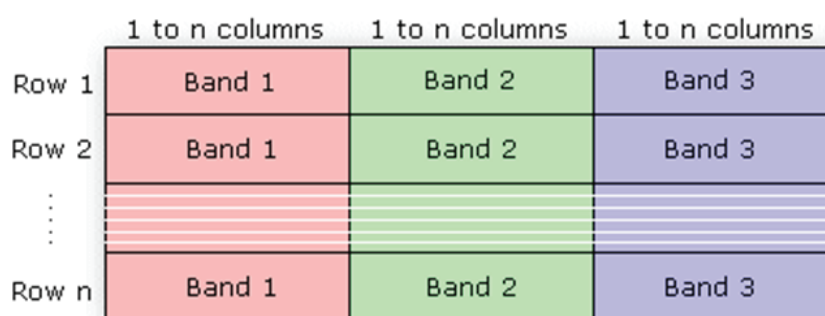


Рис. 2. Схематичное изображение данных в формате BIL

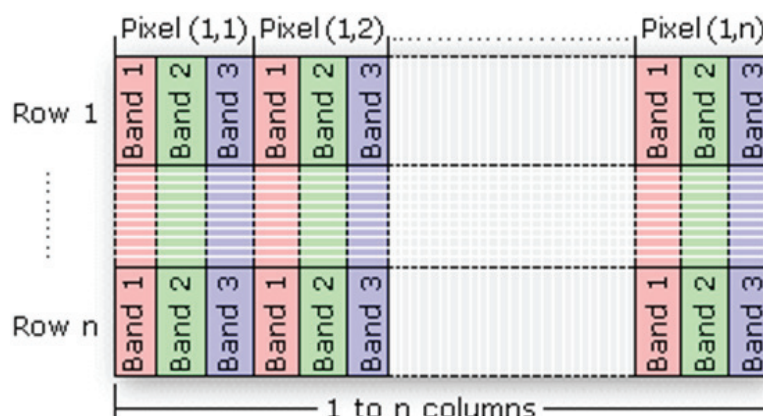


Рис. 3. Схематичное изображение данных в формате BIP

Поэтому, учитывая схему расположения данных в исходном изображении, запись их в файл назначения для конвертируемого формата, битность и тип данных, процесс конвертации форматов можно разбить на 3 этапа с целью оптимизации операции ввода/вывода, размещения и работы с массивами в оперативной памяти. Далее для краткости соответствующую конвертацию будем обозначать как BSQ→BIL или BSQ→BIP.

Первый этап аналогичен для BSQ→BIL и BSQ→BIP. Здесь осуществляется проверка общей длины снимка в байтах с целью использования порционного считывания данных из файлов. Пороговым значением для порции установлено 1Гб. Выбрано оно опыт-

ным путем, исходя из минимальных требований необходимых для исполнения программного кода виртуальной машины Java, максимальной длины массива в Java и минимизации использования файла подкачки операционной системы Windows. На этом этапе вводятся понятия: количество линий снимка, размещённых в «heap size» (1), целое число таких размещений для общего количества линий (2) и остаток линий с учетом полного покрытия снимка (2).

$$heap_L = \frac{1024^3}{byte_L \cdot n}, \quad (1)$$

где $heap_L \in \mathbb{Z}$ – число линий в «heapsize» (в программном коде задано как тип Integer, поэтому результат деления – всегда целое число), $byte_L \in \mathbb{Z}$ – длина одной линии в байтах, $n \in \mathbb{Z}$ – количество спектральных каналов.

$$num_L = heap_L \cdot heap_L + remain_L, \quad (2)$$

где $num_L \in \mathbb{Z}$ – число линий снимка для каждого из спектрального канала, $heap_L \in \mathbb{Z}$ – число размещений для общего количества линий, $remain_L \in \mathbb{Z}$ – остаток линий с учетом полного покрытия снимка.

Второй этап также аналогичен для 2 типов конвертаций BSQ→BIL и BSQ→BIP. На данном этапе выполняются самые длительные по времени операции. Здесь происходит порционное считывание данных из файлов спектральных каналов в массив типа BufferArray, содержащий данные i -ой порции (3) и остаток данных (4) для каждого из спектральных каналов.

$$buffer_{A_k}^{byte_i} = [offset_L + heap_L \cdot byte_L \cdot i, offset_L + heap_L \cdot byte_L \cdot (i + 1)]_k, \quad (3)$$

и

$$buffer_{A_k}^{byte_{remain}} = [offset_L + heap_L \cdot byte_L \cdot heap_L, offset_L + heap_L \cdot byte_L \cdot (heap_L + remain_L)]_k, \quad (4)$$

где $buffer_{A_k}^{byte_i}$ – элемент массива порции данных и $buffer_{A_k}^{byte_{remain}}$ – остаток данных k -ого спектрального канала, $offset_L \in \mathbb{Z}$ – значение тега StripOffsetTIFF-файла, $k = 0 \dots n - 1$, $i = 0 \dots heap_L - 1$, $k, i \in \mathbb{Z}$. В формулах (3) и (4) в виде отрезков с границами показаны начальное и конечное смещение байт в TIFF файле k -ого спектрального канала, соответствующее считываемой i -ой порции данных или остатка данных. Далее будем рассматривать $buffer_{A_k}^{byte_i}$ и $buffer_{A_k}^{byte_{remain}}$, как массивы длиной $heap_L \cdot byte_L$ и $remain_L \cdot byte_L$ соответственно.

На третьем этапе происходит размещение данных $buffer_{A_k}^{byte}$ в массив типа BufferArray согласно выбранному типу конвертации BSQ→BIL (7-10) или BSQ→BIP (11-14) с последующим сохранением его на диск. Здесь применяется мульти-поточковый подход к од-

новременной записи данных $buffer^{byte} A^i$ в выделенную память в соответствии со схемой расположения для k -ого спектрального канала (рис. 2 и 3). Вводится переменная «количество процессорных ядер», для конвертации BSQ→BIP – переменная «количество обрабатываемых спектральных каналов на ядро в порции данных» (5), для конвертации BSQ→BIL – переменная «разбивки порции данных по вычислительным ядрам» (6).

$$core_B = \frac{n}{core_N}, n = core_B \cdot core_N + remain^B, \quad (5)$$

где $core_B \in \mathbb{Z}$ – количество обрабатываемых спектральных каналов на ядро в порции данных, $core_N \in \mathbb{Z}$ – количество процессорных ядер, $remain^B \in \mathbb{Z}$ – остаток обрабатываемых спектральных каналов на ядро в порции данных.

$$core^{(heap_L)} = \frac{heap_L}{core_N}, heap_L = core^{(heap_L)} \cdot core_B + remain^{(heap_L)}, \quad (6)$$

где $core^{(heap_L)} \in \mathbb{Z}$ – разбивка порции данных по вычислительным ядрам, $core_N$ – количество процессорных ядер, $remain^{(heap_L)} \in \mathbb{Z}$ – остаток разбивки порции данных по вычислительным ядрам.

$$BIL^i [k \cdot byte_L + j \cdot byte_L \cdot n] = [buffer^{byte} A_k^i [byte_L \cdot j], buffer^{byte} A_k^i [byte_L \cdot j + byte_L]] , \quad (7)$$

где BIL^i – сконвертированная i -ая ($i = 0 \dots \frac{heap_L}{num_L} - 1$) порция данных, $j = c \cdot core^{(heap_L)} \dots c \cdot core^{(heap_L)} + core^{(heap_L)}$, где $c = 0 \dots \frac{heap_L - remain^{(heap_L)}}{core^{(heap_L)}}$, $k = 0 \dots n - 1, k, c, i, j \in \mathbb{Z}$.

$$remain_{BIL}^i [k \cdot byte_L + j \cdot byte_L \cdot n] = [buffer^{byte} A_k^i [byte_L \cdot j], buffer^{byte} A_k^i [byte_L \cdot j + byte_L]] , \quad (8)$$

где $remain_{BIL}^i$ – остаток сконвертированной i -ой порции данных после многопоточкового обработки, $j = heap_L - remain^{(heap_L)} \dots heap_L, k = 0 \dots n - 1$

$$remain_{BIL} [k \cdot byte_L + j \cdot byte_L \cdot n] = [buffer^{byte} A_k^{remain} [byte_L \cdot j], buffer^{byte} A_k^{remain} [byte_L \cdot j + byte_L]] , \quad (9)$$

где $remain_{BIL}$ – остаток данных после разбиения на порции согласно (2), $j = 0 \dots remain_L, k = 0 \dots n - 1$.

$$BIL = \left(\bigcup_{i=0}^{\frac{heap_L}{num_L}-1} (BIL^i \cup remain_{BIL}^i) \right) \cup remain_{BIL} , \quad (10)$$

где BIL – полный файл гиперспектрального снимка с преобразованием BIL.

Соответственно, для конвертации BSQ→BIP i -ой порции данных ($i = 0 \dots \frac{heap_L}{num_L} - 1$) применялись формулы (11), (12).

$$BIP^i [2 \cdot j \cdot n + 2 \cdot k] = \text{byte}_{buffer} A_k^i [2 \cdot j], \quad BIP^i [2 \cdot j \cdot n + 2 \cdot k + 1] = \text{byte}_{buffer} A_k^i [2 \cdot j + 1], \quad (11)$$

где BIP^i – сконвертированная i -ая порция данных, $j = 0 \dots \text{heap}_L \cdot \text{width}_L$, где width_L – ширина снимка, равна значению параметра PRODUCT_SAMPLES в метаописании снимка, $k = c \cdot \text{core}_B \dots c \cdot \text{core}_B + \text{core}_B$, где $c = 0 \dots \frac{n - \text{remain}_B}{\text{core}_B}$, $k, c, i, j \in \mathbb{Z}$.

$$\begin{aligned} \text{remain} BIP^i [2 \cdot j \cdot n + 2 \cdot k] &= \text{byte}_{buffer} A_k^i [2 \cdot j], \quad \text{remain} BIP^i [2 \cdot j \cdot n + 2 \cdot k + 1] = \\ & \text{byte}_{buffer} A_k^i [2 \cdot j + 1], \end{aligned} \quad (12)$$

где $\text{remain} BIP^i$ – остаток сконвертированной i -ой порции данных после многопоточкового обработки, $j = 0 \dots \text{heap}_L \cdot \text{width}_L$, $k = n - \text{remain}_B \dots n$, $k, j \in \mathbb{Z}$.

$$\begin{aligned} \text{remain} BIP [2 \cdot j \cdot n + 2 \cdot k] &= \text{byte}_{buffer} A_k^{\text{remain}} [2 \cdot j], \quad \text{remain} BIP [2 \cdot j \cdot n + 2 \cdot k + 1] = \\ & \text{byte}_{buffer} A_k^{\text{remain}} [2 \cdot j + 1], \end{aligned} \quad (13)$$

где $\text{remain} BIP$ – остаток данных после разбиения на порции согласно (2), $j = 0 \dots \text{remain}_L \cdot \text{width}_L$, $k = 0 \dots n$.

$$BIP = \left(\bigcup_{i=0}^{\text{heap}_L - 1} (BIP^i \cup \text{remain} BIP^i) \right) \cup \text{remain} BIP, \quad (14)$$

где BIP – полный файл гиперспектрального снимка с преобразованием ВЛ.

В работе был использован метод радиометрической калибровки описанный в (<http://www.exelisvis.com/docs/RadiometricCalibration.html>) В представленной документации рассмотрены способы вычисления энергетической яркости и отражательной способности, соответственно (15) и (16).

$$L_\lambda = \text{Gain} \cdot DN + \text{Offset}, \quad (15)$$

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \sin^2 \theta} \quad (16)$$

Согласно (<http://www.exelisvis.com/docs/RadiometricCalibration.html>) значение переменной DN в формуле (15) – это есть значение пиксела для каждого из спектральных каналов (так называемое "сырое значение" яркости DigitalNumber), т.е. каждое из значений массива $\text{byte}_{buffer} A_k^i$ или $\text{byte}_{buffer} A_k^{\text{remain}}$. Поэтому для вычисления, значений энергетической яркости и отражательной способности необходимо добавить ряд операций умножения и деления на константы в основной алгоритм, например, конвертации BSQ→BIP. Т.е. выражения (11), (12) примут следующий вид (17):

$$\begin{aligned} BIP_\rho^i [2 \cdot j \cdot n + 2 \cdot k] &= \frac{\pi \cdot (\text{Gain} \cdot \text{byte}_{buffer} A_k^i [2 \cdot j] + \text{Offset}) \cdot d^2}{ESUN_\lambda \sin^2 \theta} \\ BIP_\rho^i [2 \cdot j \cdot n + 2 \cdot k + 1] &= \frac{\pi \cdot (\text{Gain} \cdot \text{byte}_{buffer} A_k^i [2 \cdot j + 1] + \text{Offset}) \cdot d^2}{ESUN_\lambda \sin^2 \theta} \end{aligned} \quad (17)$$

где – сконвертированная -ая порция данных со значениями отражательной способности. Аналогичным образом для конвертации BSQ в BIL. Аналогичным способом можно проводить радиометрическую калибровку без конвертации, заменяя поэлементно значения массива в многопоточковом режиме (18):

(18)

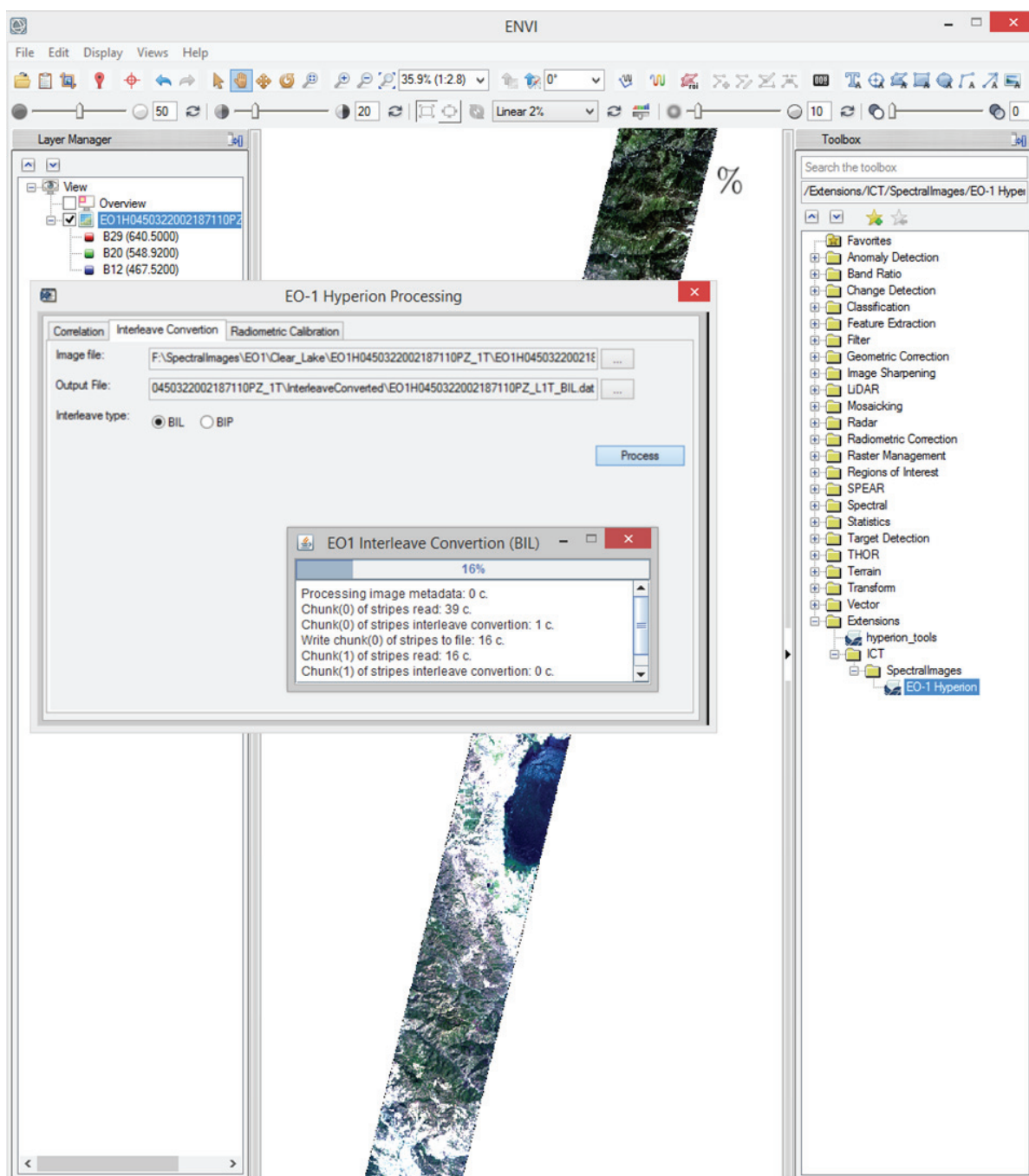


Рис. 4. Графический интерфейс расширения ENVI на базе многопоточкового алгоритма преобразование порядка следования данных отдельных каналов и радиометрической калибровки данных сенсора EO-1 Hyperion

Программная реализация алгоритма представлена как расширение для программного продукта Exelis ENVI (рис. 4). Графический интерфейс пользователя разработан собственными средствами пакета на базе технологии GUI-WIDGETS в интеграции с пакетами Java SwingX. Для взаимодействия с Java-классами, реализующими логику представленного алгоритма использовалась технология Java-Bridge IDL. Данная технология позволила инкапсулировать сложные процедуры расчетов от конечного пользователя, и представить конечный интерфейс, как обычное расширение ENVI IDL. Благодаря использованию Java-Bridge IDL разработанные программные компоненты Java могут быть использованы в сторонних программных продуктах, поддерживающих IDL. Гибкая настройка конфигурационных файлов Java-Bridge IDL позволила контролировать распределение машинных ресурсов на программном уровне за счет передачи параметров запуска виртуальной машины Java «налету».

Ниже представлены результаты тестирования алгоритма (рис. 5). Тестирование проводилось на 5 гиперспектральных снимках, полученных с ресурса (URL: http://www.exelisvis.com/docs/The_Thread_Pool.html). Были выбраны снимки размером 1960x6930, соответственно значения параметров PRODUCT_SAMPLES и PRODUCT_LINES, 242 спектральных каналов. Для каждого снимка проводилось по 25 «проходов» алгоритмов (базового и многопоточкового). На графиках представлены средние значения времен работы алгоритмов. Значения для двух типов конвертаций BSQ→BIP и BSQ→BIL оказались приблизительно одинаковы, отличие составили порядка ± 5 секунд.

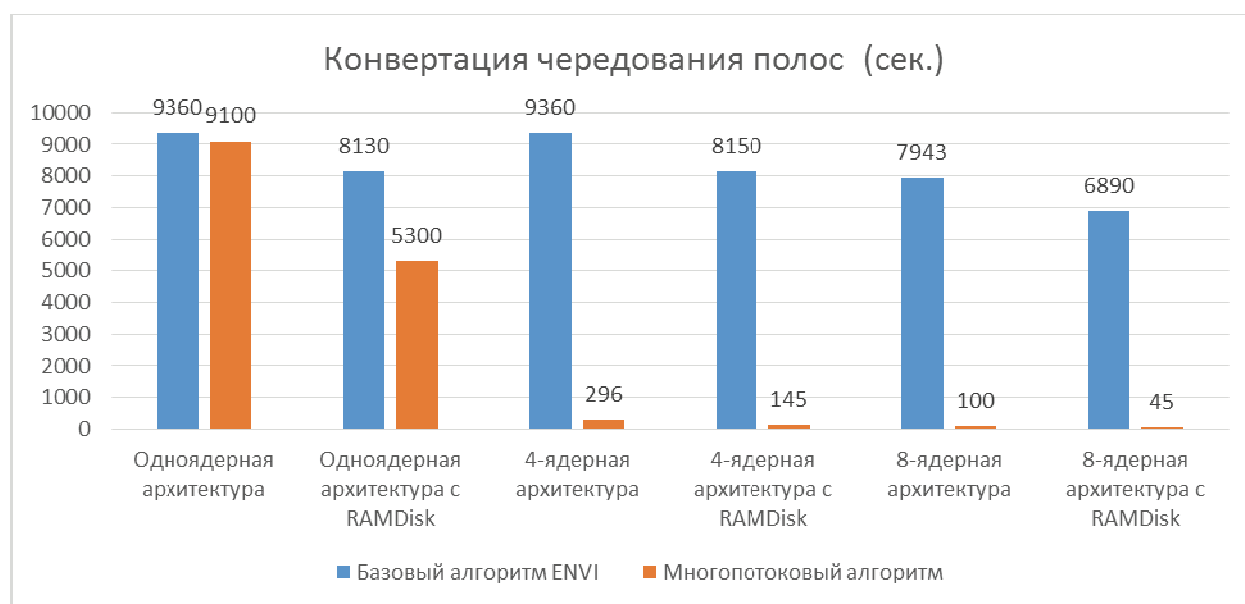


Рис. 5. Сравнительные результаты тестирования многопоточкового алгоритма по отношению к аналогичному базовому алгоритму ENVI

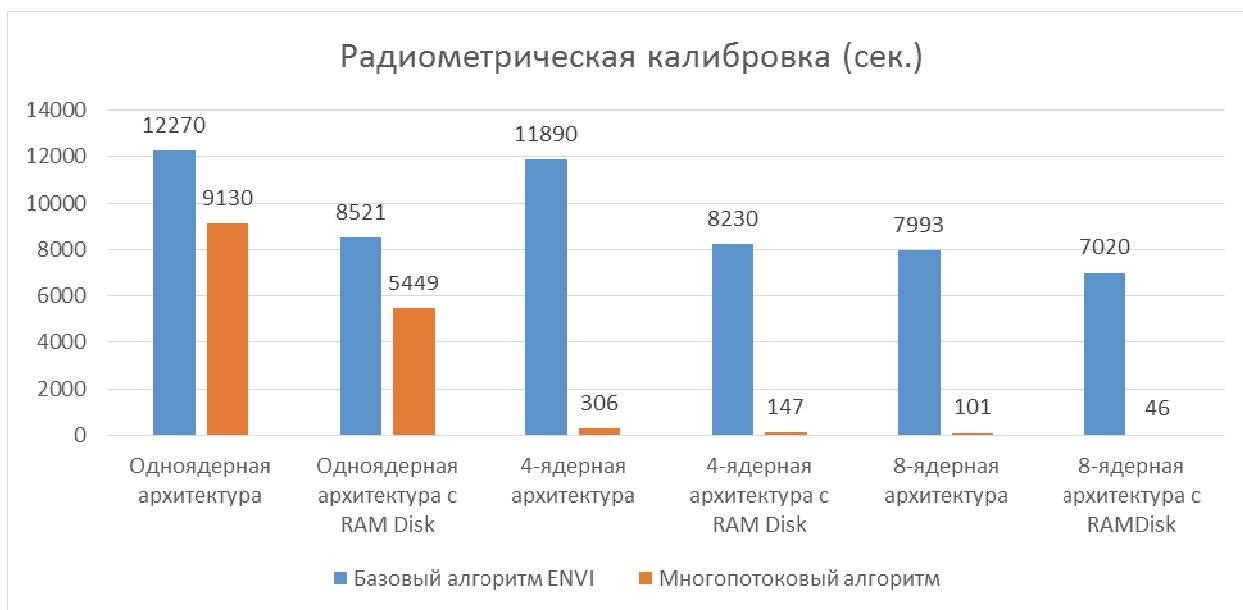


Рис. 6. Сравнительные результаты тестирования многопоточкового алгоритма по отношению к аналогичному базовому алгоритму ENVI

Заключение

Применение мульти-поточкового подхода позволило существенно сократить время (в 10 раз) загрузки снимка, процедур радиометрической калибровки и преобразований (BIL, VIP, BSQ). Этого удалось добиться путем разбиения процесса обработки гиперспектрального изображения по каналам либо попиксельно, когда, в первом случае, общее количество каналов разделено равномерно по количеству вычислительных ядер процессора(-ов), во втором случае, разбиение идет по ширине и/или по высоте снимка, а также благодаря порционной загрузке данных снимка в оперативную память. Достигнутое таким образом существенное снижение нагрузки на файловую систему ввода/вывода привело к сокращению времени выполнения данных операций.

Использование технологии IDL-Java Bridge дало возможность интеграции разработанных программных компонентов в среде ENVI IDL. Предложенный алгоритм способен эффективно выполняться на платформах с низкопроизводительной файловой системой и небольшой оперативной памятью (до 2Гб).

Предложенный подход может быть реализован на вычислительных кластерах, что резко уменьшает время пакетной обработки гиперспектральных снимков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-05-98091_p_сибирь_a.

Литература

1. *Adler-Golden S.M., Perkins T., Matthew M.W., Berk A., Bernstein L.S., Lee J., Fox M.* Speed and accuracy improvements in FLAASH atmospheric correction of hyperspectral imagery // SPIE Optical Engineering. 2012. Vol. 51(11). P. 111707(1-10).
2. BIL, BIP, and BSQ raster files. [Электронный ресурс] // ESRI. ArcGIS 9.2 Desktop Help. URL: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=BIL,_BIP,_and_BSQ_raster_files (дата обращения 22.07.2014).
3. EarthExplorer [Электронный ресурс] // USGS. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения 22.07.2014).
4. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) [Электронный ресурс] // Exelis ENVI. URL: <http://www.exelisvis.com/docs/FLAASH.html> (дата обращения 24.07.2014).
5. Hyperion level 1gst (L1GST) product output files data format control book. Earth Observing-1 (EO-1). Version 1.0. Department of the Interior U.S. Geological Survey. 2006. 24 P.
6. *Perkins T., Adler-Golden S.M., Cappelaere P., Mandl D.* High-speed Atmospheric Correction for Spectral Image Processing // SPIE Proceeding: Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XVIII. 2012. Vol. 8390. P. 245-252.
7. *Qu Z., Goetz A. F. H., Kindel B.* High-accuracy atmospheric correction for hyperspectral data (HATCH) model // Geoscience and Remote Sensing. 2003. Vol. 41(6). P. 1223 - 1231.
8. Radiometric Calibration [Электронный ресурс] // Exelis ENVI. URL: <http://www.exelisvis.com/docs/RadiometricCalibration.html> (дата обращения 29.09.2014).
9. *San B. T., Suzen M. L.* Evaluation of different atmospheric correction algorithms for EO-1 Hyperion imagery // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. Tokyo. 2010. Vol. 38(8), P. 392-397.
10. The IDL Thread Pool [Электронный ресурс] // Exelis ENVI. URL: http://www.exelisvis.com/docs/The_Thread_Pool.html (дата обращения 29.09.2014).
11. *Thompson B.J., Rahman Z., Park S.K.* Multiscale retinex for improved performance in multispectral image classification // SPIE Proceedings: Visual Information Processing IX. 2000. Vol. 4041. P. 34-44.

High-performance radiometric calibration and bands interleave conversion algorithms for EO-1 Hyperion data

V.P. Potapov, S.E. Popov

Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk 630090, Russia

E-mail: potapov@ict.sbras.ru

E-mail: popov@ict.sbras.ru

This paper presents high-performance algorithms for radiometric calibration procedures and bands interleave conversion. The paper discusses a number of activities aimed at optimizing the algorithms pre- and post-processing of multi- and hyperspectral images. The software implementation of these algorithms integrated into specialized software is usually not optimized and requires a lot of computing resources, too much time to process images and is realized only for simple arithmetic operations. The proposed algorithms provide the possibility to run them on multiprocessor platforms in multi-threaded mode and ensure effective implementation on low I/O systems. In particular, for bands interleave conversion and radiometric calibration algorithms, the implementation of proportional reading image data in memory is proposed, followed by the placement of the values of radiance in the target buffer arrays in a few streams, calculated by the number of spectral bands or the number of lines of the image. Array indexation makes it possible to integrate calculation of radiometric calibration radiance values directly to the running thread without loss of time for all of the CPU tasks. The paper describes an ENVI extension implementing the algorithms developed based on the GUI-WIDGETS technology in integration with Java SwingX packages. To interact with the Java-classes that implement the logic of the presented algorithm, the Java-Bridge IDL technology was used. Also, the results of testing of the algorithms are presented in comparison to their basic rival algorithms of the Exelis ENVI software package. It is shown that the speed (second) of the algorithm developed is hundreds of times greater than that of the basic algorithm. For example, the bands interleave conversion procedure of the proposed algorithm on an 8-core architecture with the I/O-subsystem RAMDisk took only 45 seconds, while the basic algorithm on a similar environment ran for about 6800 seconds.

Keywords: radiometric calibration and bands interleave conversion, multi-threading, java, IDL-Bridge

References

1. Adler-Golden S.M., Perkins T., Matthew M.W., Berk A., Bernstein L.S., Lee J., Fox M. Speed and accuracy improvements in FLAASH atmospheric correction of hyperspectral imagery, *SPIE Optical Engineering*, 2012, Vol. 51(11), pp. 111707(1-10).
2. BIL, BIP, and BSQ raster files. ESRI. ArcGIS 9.2 Desktop Help. Retrieved from http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=BIL,_BIP,_and_BSQ_raster_files.
3. EarthExplorer. USGS. Retrieved from <http://earthexplorer.usgs.gov/>.
4. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH). Exelis ENVI. Retrieved from <http://www.exelisvis.com/docs/FLAASH.html>.
5. Hyperion level 1gst (L1GST) product output files data format control book. Earth Observing-1 (EO-1). Version 1.0. *Department of the Interior U.S. Geological Survey*, 2006, 24 p.
6. Perkins T., Adler-Golden S.M., Cappelaere P., Mandl D. High-speed Atmospheric Correction for Spectral Image Processing, *SPIE Proceeding: Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XVIII*, 2012, Vol. 8390, pp. 245-252.
7. Qu Z., Goetz A. F. H., Kindel B. High-accuracy atmospheric correction for hyperspectral data (HATCH) model, *Geoscience and Remote Sensing*, 2003, Vol. 41(6), pp. 1223 - 1231.
8. Radiometric Calibration. Exelis ENVI. Retrieved from <http://www.exelisvis.com/docs/RadiometricCalibration.html>
9. San B. T., Suzen M. L. Evaluation of different atmospheric correction algorithms for EO-1 Hyperion imagery, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Tokyo, 2010, Vol. 38(8), pp. 392-397.
10. The IDL Thread Pool. Exelis ENVI. Retrieved from http://www.exelisvis.com/docs/The_Thread_Pool.html.
11. Thompson B.J., Rahman Z., Park S.K. Multiscale retinex for improved performance in multispectral image classification, *SPIE Proceedings: Visual Information Processing IX*, 2000, Vol. 4041, pp. 34-44.