

ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное зондирование Земли – это способ получения информации об объекте без непосредственного физического контакта с ним. На борту летательного аппарата (например, спутника либо самолёта) устанавливается спектрометр, задачей которого является фиксация излучения с поверхности, затем бортовая система осуществляет предобработку полученных данных и передаёт их в центр приёма информации. При этом в зависимости от типа спектрометра рабочий диапазон длин волн, может составлять от долей микрометра до метров.

В зависимости от типа спектрометра различают мультиспектральные и гиперспектральные данные. Основное отличие в том, что гиперспектральные спектрометры фиксируют данные в виде непрерывного диапазона спектра с определённым шагом, в то время как мультиспектральные данные могут иметь такое же количество каналов данных, но распределённых в спектральном диапазоне неравномерно.

Тенденции развития дистанционного зондирования показывают, что акцент в исследованиях смещается в область гиперспектральной съёмки. Однако существует несколько факторов препятствующих их широкому распространению: отсутствие достаточного количества воздушных судов, оборудованных соответствующими спектрометрами; проблемы связанные с обработкой и интерпретацией больших потоков информации, формируемых этими приборами. В связи с этим особенно остро стоит вопрос о создании спутниковой гиперспектральной аппаратуры и технологий обработки получаемой с помощью нее информации на борту летательного аппарата.

Данные, передаваемые с летательного аппарата в центр приёма, представляют собой трёхмерный куб, характеризующийся следующими разрешениями: пространственным (определяет площадь поверхности); спектральным (определяет охватываемый спектральный диапазон); радиометрическим (определяет число уровней сигнала, которые сенсор может зарегистрировать).

Подобная структура, с учётом непрерывного спектрального диапазона, приводит к формированию существенного объёма данных передаваемых на Землю и актуализирует задачу сжатия. Например, данные спектрометра AVIRIS, которые используются для разработки алгоритмов и программного обеспечения для обработки гиперспектральных снимков, имеют следующие характеристики: ширина изображения 677 пикселей, 224 спектральных канала, 12 бит на канал, что в общем случае приводит к 222,1 Кб данных на строку. С учётом характеристик современных радиоканалов связи и того, что съёмка ведётся без остановки, важнейшими требованиями к алгоритмам сжатия данных являются высокий коэффициент сжатия данных и низкие требования к вычислительной мощности алгоритма, что связано с техническими ограничениями летательных аппаратов.

Цель данного дипломного проекта – выбрать наиболее подходящий алгоритм и разработать программный комплекс для сжатия гиперспектральных данных, который должен иметь высокий коэффициент сжатия данных при минимальных потерях качества, а также обладать низкой вычислительной сложностью, простотой в использовании.

В соответствии с поставленной целью были поставлены следующие задачи:

- обзор существующих алгоритмов сжатия;
- разработка структурной схемы системы
- выбор алгоритма подходящего по требованиям;
- реализация программного комплекса;
- реализация модулей поддержки и визуализации;

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Обзор аналогов

Гиперспектральное изображение - это трехмерный массив данных (куб данных), который включает в себя пространственную информацию (2D) об объекте, дополненную спектральной информацией (1D) по каждой пространственной координате. Иными словами, каждой точке изображения соответствует спектр, полученный в этой точке снимаемого объекта.

До появления техники записи гиперспектральных изображений, для получения информации об объекте (участке местности) использовались мультиспектральные изображения, то есть наборы фотографий, полученные с помощью цветных светофильтров. Изначально такой подход, использующий пространственную картину спектрального распределения, применялся лишь для дистанционного зондирования окружающей среды и распознавания боевых целей. Однако, в настоящее время он широко используется в области биомедицинской оптики. Гиперспектральные визоры вскоре станут одной из основных технологий в медицинской сфере.

Выделяют два подхода к сжатию гиперспектральных данных: с применением общеизвестных методик сжатия и с адаптацией алгоритма под заданные условия.

В рамках первого подхода чаще всего используются алгоритмы сжатия без потерь и почти без потерь (когда потери информации не превышают уровень шума, вносимого используемым спектрометром). Они разделяются на следующие основные классы, главное различие которых сводится к аппаратным ресурсам: на основе предсказания (linear prediction(LP), fast lossless(FL), spectral oriented least squares (SLSQ), correlation-based condition average prediction(CCAP), M-CALIC); поиск по таблице (lookup table (LUT), locally averaged interband scalling lookup tables (LAIS-LUT)); вейвлеты (3D-SPECK, Dual Tree BEZW, 3D-SPIHT).

В алгоритмах сжатия, имеющих в основе алгоритмов предсказания выделяется некоторая окрестность, над которой выполняется математическое действие(предсказание). Результат предсказания вычитается из оригинального значения и формируется ошибка предсказания, которая передаётся в блок энтропийного кодирования, результатом которого является сжатый поток данных. Восстановление осуществляется в обратной последовательности. В качестве алгоритма кодирования могут использоваться, например, коды Голомба-Райса или любой арифметический кодек, допускающий аппаратную реализацию.

Основным недостатком многих алгоритмов предсказания является высокая вычислительная нагрузка при небольшом использовании оперативной памяти.

Алгоритмы на основе поиска по таблице обеспечивают ускорение процесса вычисления, основанное на существенности корреляции между спектральными каналами. Размерность таблицы – число спектральных каналов, умноженное на максимально допустимое значение при данном радиометрическом разрешении. По текущему значению пиксела делается запрос в таблицу, и возвращаемое значение считается предсказанным. Дальнейшая обработка эквивалентна алгоритмам предсказания.

Алгоритмы на основе дискретного вейвлет-преобразования являются наиболее требовательными ко всем вычислительным ресурсам. Данный класс предполагает предварительный перевод спектральной плоскости в частотную область. После этого возможно организовать обработку таким образом, чтобы система кодировала в первую очередь наиболее значимые вейвлет-коэффициенты, постепенно смещаясь в область с наименее значимыми коэффициентами. Такой подход позволяет реализовать как сжатие без потерь (при обработке всех вейвлет-коэффициентов), так и управляемое сжатие с потерями. Главный недостаток алгоритмов этого класса – вычислительная сложность, связанная с преобразованием в частотную область куба данных и требования к пропускной способности памяти из-за случайных переходов в памяти от низкочастотных к высокочастотным вейвлет-коэффициентам.

Второй подход основан на существенной избыточности получаемых данных и связан с большим спектральным разрешением. Алгоритмы данного класса основываются на следующих упрощениях: 1) условия съемки заведомо известны; при таком подходе появляется возможность на борту летательного аппарата удалить неинформативные каналы (например, учесть влияние атмосферы) либо, наоборот, выделить наиболее информативные, т.е. в любом случае получить мультиспектральные данные;

2) выполнение полного либо частичного анализа полученных данных и передача результата, а не самих данных.

Достоинством алгоритмов, реализующих данный подход является передача только необходимых данных и существенное понижение объема передаваемых данных. Тем не менее алгоритмы практически не реализуемы на борту летательного аппарата из-за их вычислительной сложности.

1.1.1 Алгоритм сжатия 3D-SPECK

Алгоритм 3D-SPECK (three dimensional Set Partitioning Embedded bloCK) это алгоритм сжатия без потерь (lossless). Трёхмерное вейвлет-преобразование использует межполосную корреляцию объёмных блоков изображения. Трёхмерная структура этого алгоритма включает использование межполосных зависимостей и корреляций. Так же алгоритм 3D-SPECK поддерживает расщепление блоков для сортировки важных пикселей, то есть если блок кода содержит важные коэффициенты он разделяется на небольшие подблоки. Также,

если гиперспектральное изображение содержит концентрацию энергии в высокочастотных каналах, алгоритм должен хорошо справиться с таким изображением.

3D-SPECK включает два связанных списка: список незначительных наборов и список значимых пикселей. Процесс обработки состоит из четырёх этапов: этапа инициализации, сортировки, уточнения и квантования. Во время этапа сортировки метод разделения блоков принимается после теста на значимость. На этапе уточнения некоторые коэффициенты передаются и процесс квантования продолжается для следующей уменьшенной битовой плоскости, пока не будет достигнута приемлемая скорость передачи данных. Преобразованный коэффициент трёхмерного дискретного вейвлет-преобразования декоррелирует пространственные и спектральные компоненты гиперспектрального изображения. Это выявляет некоторую избыточность, которая может быть использована во время процесса кодирования. Кодировщик следует за основным алгоритмом сортировки, как в 3D-SPECK. Поэтому межзональную зависимость можно использовать автоматически. Для того чтобы сопоставить трёхмерные коэффициенты с одномерным массивом, используется рекурсивная Z-последовательность или кривая Мортонa. Кривая Мортонa – это функция которая отображает многомерные данные в одномерные, сохраняя локальность точек данных.

После линейной системы индексирования количество коэффициентов сохраняется в одном массиве длиной I , где $I = \text{строки} * \text{столбцы} * \text{фреймы}$, и является массивом величин. Массив таблицы состояний, основанный на линейной индексации, также имеет длину I с 4 битами на коэффициент, который является отмеченной частью. Между величиной и меткой существует взаимно однозначное соответствие. В этом алгоритме так же устранена проблема вейвлет-преобразований связанная с избыточным потреблением памяти.

1.1.2 Алгоритм сжатия 3D-SPIHT

Алгоритм сжатия 3D-SPIHT имеет в основе дискретное вейвлет преобразование. Степень сжатия при использовании данного алгоритма сильно зависит от самого изображения(снимаемая территория, наличие шумов).

На этапе инициализации в список несущественных наборов (LIS) помещаются коэффициенты от вейвлет-преобразования подмножеств изображения для текущего уровня декомпозиции. После этого осуществляется анализ элементов в наборе LIS и сравнение результата с пороговым значением n . При прохождении порогового значения осуществляется разбиение анализируемого элемента на 8 эквивалентных подмножеств и процедура сортировки повторяется до тех пор, пока не будет найдено достоверное значение пикселя из оригинального множества. Достоверное значение пикселя переносится в массив LSP (список существенных пикселей), а из множества LIS удаляется. После окончания сортировки осуществляется дополнительная корректировка и квантование данных. Дополнительная корректировка в зависимости от реализации

включает обработку текущего пикселя и сравнения его с текущим пороговым значением. В результате этого сравнения принимается решение о формировании соответствующего набора битов в выходной поток. После этого пороговое значение n уменьшается на 1 и осуществляется возврат на этап сортировки. Полученный массив данных после работы алгоритма является сжатым гиперспектральным изображением. Ниже представлен общий вид алгоритма (см. рисунок 1.1)

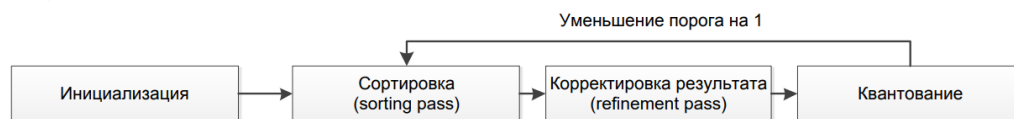


Рисунок 1.1 – Общий вид алгоритма 3D-SPIHT [1]

1.2 Обзор AVIRIS

AVIRIS (Airborn Visible and InfraRed Imaging Spectrometer) – бортовой спектрометр видимого и инфракрасного диапазонов.

AVIRIS - это проверенный инструмент в области дистанционного зондирования Земли. Это уникальный оптический датчик, который обеспечивает калиброванные изображения спектрального излучения в 224 смежных спектральных каналах (диапазонах) с длиной волны от 400 до 2500 нанометров. AVIRIS установлен на четырёх авиационных платформах: самолет ER-2 NASA, турбовинтовой двигатель Twin Otter International, Proteus Scaled Composites и WB-57 НАСА. ER-2 летит примерно на 20 км над уровнем моря, около 730 км / час. Самолет Twin Otter летает на высоте 4 км над уровнем земли со скоростью 130 км / час. AVIRIS пролетел в Северной Америке, Европе, частях Южной Америки и Аргентины.

Основной целью проекта AVIRIS является выявление, измерение и мониторинг составляющих земной поверхности и атмосферы на основе сигналов молекулярного поглощения и рассеяния частиц. Исследования с данными AVIRIS в основном сосредоточены на понимании процессов, связанных с глобальной окружающей средой и изменением климата.

Инструмент AVIRIS содержит 224 (см. рисунок 1.2) различных детекторов, каждый из которых имеет диапазон чувствительности к длине волны (также известный как спектральная пропускная способность), приблизительно 10 нанометров (нм), что позволяет покрывать весь диапазон между 380 нм и 2500 нм. Когда данные из каждого детектора изображаются на графике, он дает полный спектр VIS-NIR-SWIR. Сравнение полученного спектра с показателями известных веществ показывает информацию о составе области, рассматриваемой прибором.

Характеристики спектрометра AVIRIS

- Скорость передачи данных 17 Мбит/с до 1994 года, 20,4 Мбит/с с 1995 по 2004 год, 16 бит с 2005 года;

- 10-битная кодировка данных в 1994 году, 12-битная с 1995 года;
- Скорость сканирования 12 Гц;
- Детекторы охлаждаемые жидким азотом;
- 10 нанометров номинальная пропускная способность канала, калиброванная с точностью до 1 нанометра;
- 34 градуса общего поля зрения;
- Мгновенное поле зрения 1 миллирадиан, калиброванный с точностью до 0,1 мрад
- Сканирование «Whisk broom»
- 76 Гигабайт на носителе для записи;
- Кремниевые детекторы для видимого диапазона

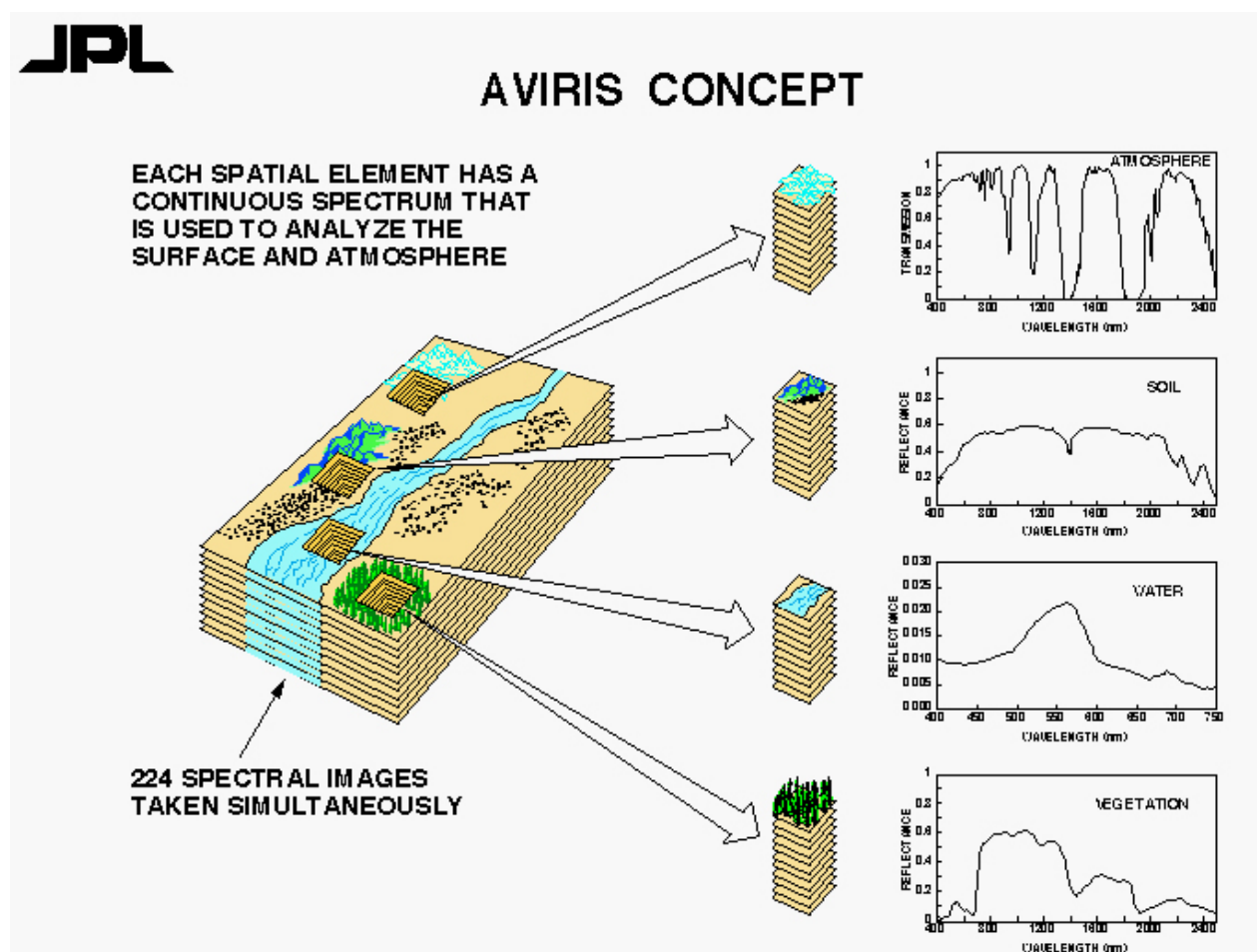


Рисунок 1.2 – Иллюстрация измерительных возможностей прибора AVIRIS[2]

Ниже приведен пример спектра одного пиксела от AVIRIS (см. рисунок 1.3). Ось X представляет собой длину волны канала в микрометрах, также известную как микрон (один микрон = 1000 нанометров). Ось y - это сияние, обычно выраженное в единицах микроватт на квадратный сантиметр на нанометр на стерадиан.

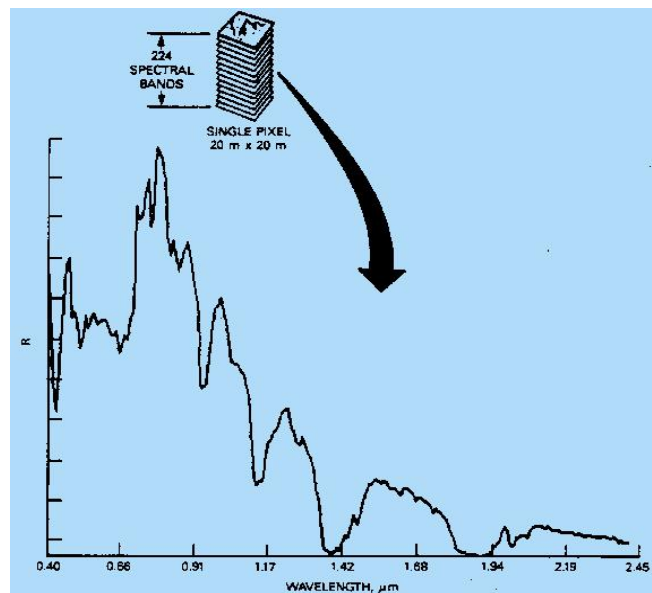


Рисунок 1.3 – пример спектра одного пиксела от AVIRIS [3]