

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ СЖАТИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А.А. Дудкин¹, Д.Ю. Перцев²

¹Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск;

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск

Рассмотрены современные подходы к интеллектуальной обработке данных дистанционного зондирования для ее сжатия при передаче на Землю. Проведен анализ достоинств и недостатков указанных методов.

Введение

Дистанционное зондирование – способ получения информации об объекте без непосредственного физического контакта с ним. Одно из наиболее динамично развивающихся направлений в этой области – наблюдение за поверхностью или дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), осуществляемое с помощью современной авиационной и космической техники. Сегодня ДЗЗ применяется в таких областях как метеорология, природоохранный мониторинг, обновление топографических карт и др.

1. Актуальность задачи сжатия данных ДЗЗ

По мере движения спектрометр, установленный на борту космического аппарата, фиксирует спектральное излучение с Земли, бортовая система осуществляет предобработку полученных данных и отправляет их назад. В зависимости от типа спектрометра различают мультиспектральные и гиперспектральные данные. Основное отличие заключается в том, что гиперспектральные данные фиксируются в виде непрерывного диапазона спектра с определенным шагом (например, диапазон от 500 до 700 нм с шагом 10 нм, всего 20 спектральных полос). В то же время, мультиспектральные данные могут иметь те же 20 спектральных полос, но распределенных в спектральном диапазоне неравномерно (например, пять спектральных полос из видимого диапазона и две полосы из инфракрасного). Таким образом, данные, передаваемые на Землю, представляют собой трехмерный куб (рис. 1), обладающий следующими разрешениями:

- пространственное (определяет площадь поверхности Земли);
- спектральное (определяет охватываемый спектральный диапазон);
- радиометрическое (определяет число уровней сигнала, которые сенсор может зарегистрировать).

На сегодняшний день наблюдается смещение исследований в область гиперспектральной съемки.

Пример гиперспектральных данных AVIRIS [1], считающийся стандартом для проведения исследований, обладает следующими техническими характеристиками:

- пространственное разрешение – 512 x 677 пикселей (один пиксель охватывает площадь 20 x 20 м);
- спектральное разрешение – 224 полосы (от 400 до 2500 нм);
- радиометрическое разрешение – 12 бит.

Отсюда следует, что размер одного куба около 110 МБ, что является достаточно большим объемом для передачи в условиях съемки из космоса.

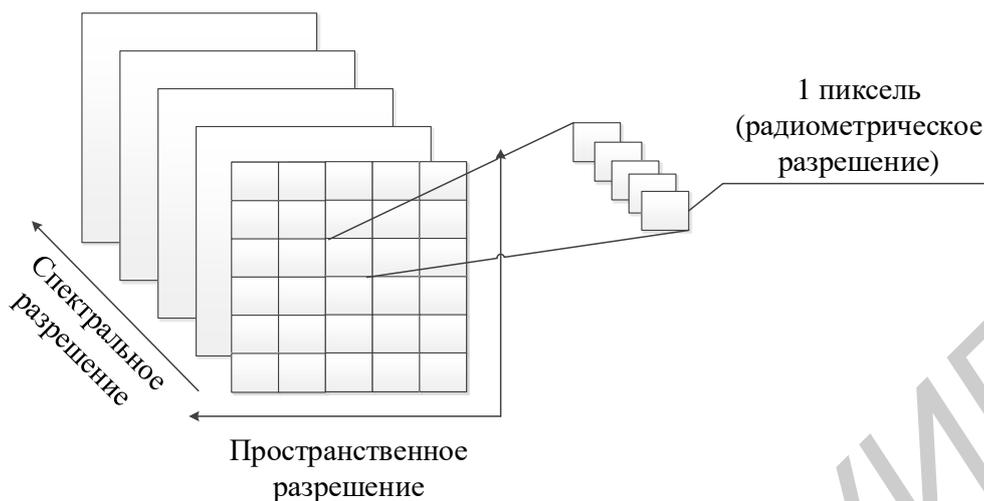


Рис. 1. Структура данных ДЗЗ

2. Классификация алгоритмов сжатия

Анализ отечественной и зарубежной литературы [2–6] позволяет выделить следующие основные подходы к сжатию гиперспектральных данных:

- с применением общеизвестных методик сжатия;
- адаптацией системы под заданные условия.

В рамках первого подхода чаще всего используются алгоритмы сжатия без потерь и с потерями. При этом вводится ограничение, что искажение в сигнале не должно превышать уровень шума, создаваемого спектрометром. Попытка классификации алгоритмов, относящихся к данному подходу, позволила выделить следующие основные классы – алгоритмы на основе предсказателя, поиска по таблице, вейвлетов (рис. 2). Основным недостатком данного подхода является низкий коэффициент сжатия без потерь (около двух раз).

Второй подход основан на существенной избыточности получаемых данных и связан с большим спектральным разрешением. В случае, если возможно заранее определить область применения спектрометра, из формируемого гиперкуба удаляются спектральные полосы, не представляющие интерес. К сформированному в результате кубу применяются алгоритмы из первого подхода. Главным достоинством метода является передача только необходимых данных.

2.1. Алгоритмы сжатия на основе предсказателя

Данный класс является самым большим, однако принцип работы алгоритмов близок между собой (рис. 3). Задачей алгоритма является предсказание текущего значения пикселя по некоторой окрестности. После этого формируется ошибка предсказания, которая в дальнейшем передается на схему кодирования (на рис. 3 представлено энтропийное кодирование).

Анализ позволил выделить следующие подклассы:

- линейные адаптивные;
- контекстно-адаптивные;
- серия алгоритмов CALIC.

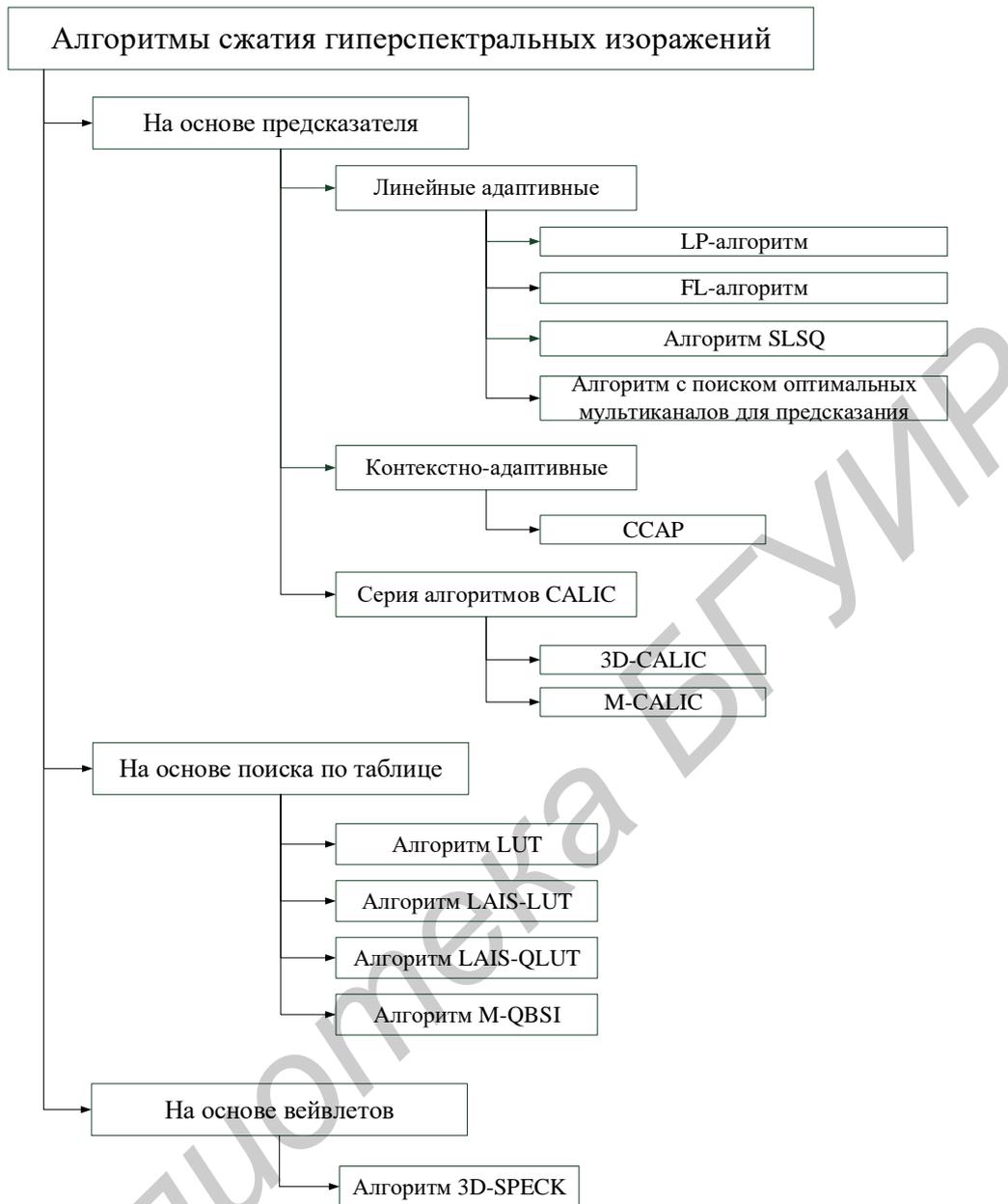


Рис. 2. Классификация алгоритмов сжатия гиперспектральных изображений

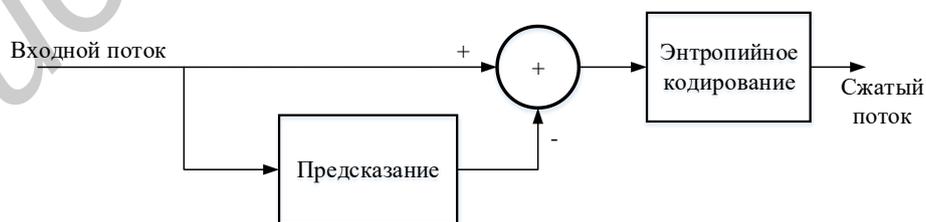


Рис. 3. Общий вид алгоритма сжатия на основе предсказателя

Линейно-адаптивный предсказатель работает в соответствии со схемой, представленной на рис. 3. В случае если алгоритм работает с окрестностью, охватывающей соседние спектральные полосы, возможен поиск оптимальных спектральных каналов и их

перестановка для достижения лучшего качества предсказания (например, алгоритм с поиском оптимальных мультиканалов для предсказания). Основным недостатком в данном подходе является существенная вычислительная сложность, связанная с поиском оптимальной спектральной полосы. Данный недостаток приводит к сложности реализации алгоритма в условиях космического аппарата.

Класс контекстно-адаптивных предсказателей является вычислительно более сложным. Задачей алгоритма является минимизировать среднеквадратичную ошибку предсказания для получения оптимального распределения для последующего кодирования.

2.2. Алгоритмы сжатия на основе поиска по таблице

Основным недостатком многих алгоритмов предсказания является вычислительная сложность. Задачей алгоритма на основе поиска по таблице является ускорение процесса вычисления за счет того, что корреляция между спектральными плоскостями существенна. Для этих целей вводится специальная трехмерная таблица, по которой осуществляется предсказание, двумерная плоскость соответствует пространственному разрешению и дополнительная третья плоскость размерностью, равной максимальному значению пикселя. Например, для радиометрического разрешения в 12 бит размер таблицы по третьей координате будет составлять 4 096 элементов, каждый из которых занимает 12 бит. При обработке первой спектральной плоскости значения таблицы обновляются текущими значениями пикселей. Для каждой последующей плоскости при предсказании текущего значения система считывает соответствующее значение элемента из таблицы и осуществляет поиск в заданной области в текущем спектральном канале значения максимально близкого к считанному. Полученное значение будет считаться как предсказанное. Дальнейшая обработка эквивалентна показанной на рис. 3.

Основным недостатком данного подхода являются высокие требования к объему памяти и ее пропускной способности. Различные варианты описанного алгоритма (LAIS-LUT, LAIS-QLUT) кроме улучшения качества предсказания, предлагают подходы к уменьшению требуемого объема памяти.

2.3. Алгоритмы сжатия на основе дискретного вейвлет-преобразования

Алгоритмы на основе дискретного вейвлет-преобразования предполагают предварительный перевод спектральной плоскости в частотную область. После этого возможно организовать обработку таким образом, чтобы система кодировала в первую очередь наиболее значимые (высокочастотные) 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 подхода – вычислительная сложность, связанная с преобразованием в частотную область куба данных и последующий переход в памяти от высокочастотных к низкочастотным вейвлет-коэффициентам.

Заключение

Описанные методы предварительной обработки предоставляют мощный интеллектуальный инструмент для подготовки гиперспектральных данных к кодированию. В зависимости от имеющейся аппаратной платформы, на которой выполняется обработка, эффективными становятся разные методы:

– в условиях космического аппарата эффективными оказываются простые алгоритмы, основанные на линейном предсказании, при достаточном объеме оперативной памяти – алгоритмы поиска по таблице, при заведомо известных условиях съемки – игнорирование определенных спектральных полос;

– в условиях наземной обработки возможно применение вычислительно сложных алгоритмов с поиском оптимальной последовательности спектральных полос и их перестановкой, анализом содержимого выбранной полосы и принятием решения о ее удалении.

Список литературы

1. Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer. Официальный портал AVIRIS [Электронный ресурс]. – 1998. – Режим доступа : <http://aviris.jpl.nasa.gov/>. – Дата доступа : 27.07.2015.

2. Rizzo, F. Compression of hyperspectral imagery via linear prediction / F. Rizzo [et al.] // In Proc. of the 3th International Joint Conference on E-Business and Telecommunications (ICETE'06). – 2006. – Vol. 13. – P. 284–291.

3. Pizzolante, R. Lossless compression of hyperspectral imagery / R. Pizzolante // In Proc. of the First International Conference on Data Compression, Communications and Processing (CCP'11). – 2011. – P. 157–162.

4. Pizzolante, R. Visualization, band ordering and compression of hyperspectral images / R. Pizzolante, B. Carpentieri // Algorithm. – 2012. – Volume 5. – P. 76–97.

5. Magli, E. Optimized onboard lossless and near-lossless compression of hyperspectral data using CALIC / E. Magli [et al.] // Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE. – 2004. – Vol. 1. – Issue 1. – P. 21–25.

6. Mielikainen, J. Lossless compression of hyperspectral images using lookup tables / J. Mielikainen // Signal Processing Letters, IEEE. – 2006. – Vol. 13. – Issue 3. – P. 157–160.