

УДК 004.62

РОЛЬ АЛГОРИТМОВ КОНТЕКСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОБРАБОТКЕ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ



Д.Ю. Перцев¹

*Старший преподаватель кафедры ЭВС
БГУИР*



А.А. Дудкин^{1,2}

Заведующий лабораторией идентификации систем, доктор технических наук, профессор

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

E-mail: pertsev@bsuir.by., doudkin@lsi.bas-net.by.

А.А. Дудкин

Доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией идентификации систем ОИПИ НАН Беларуси

Д.Ю. Перцев

Магистр технических наук, старший преподаватель на кафедре ЭВМ БГУИР, научный сотрудник НИЛ 3.6 НИЧ БГУИР.

Аннотация. В представленной статье показана роль контекстного моделирования в сжатии больших объемов гиперспектральных данных. Представлен алгоритм контекстного моделирования в качестве финального этапа сжатия больших объемов данных.

Ключевые слова. Гиперспектральные изображения, Контекстное моделирование, Бинарный арифметический кодек.

Введение

Развитие оптической механики, спектроскопии и полупроводниковой промышленности привело к тому, что все большее число компаний выпускает гиперспектральное оборудование, т.е. фиксирующее спектр в широком непрерывном диапазоне. При этом независимо от типа спектрометра при съемке формируются трехмерные данные со следующими характеристиками:

– пространственное разрешение, характеризующее физический размер участка на поверхности Земли и соответствующее одному пикселю сенсора;

– радиометрическое разрешение, определяющее ширину динамического диапазона используемого датчика. Например, в датчиках SPOT (фр. Satellite Pour l'Observation de la Terre) [1] и Landsat Thematic Mapper [2] радиометрическое разрешение составляет 8 бит, в датчиках AVHRR (англ. Advanced Very-High Resolution Radiometer) [3] – 10 бит;

– спектральное разрешение, определяющее охватываемый спектральный диапазон. Например, сенсоры AVIRIS (англ. Airborne Visible and Infrared Imaging Spectrometer – бортовой спектрометр видимого и инфракрасного диапазонов) [4] и HyMap (англ. Hyperspectral scanner – гиперспектральный сканер) [5] – имеют спектральные каналы шириной около 10

нм в диапазоне 400-2400 нм

Представленные характеристики определяют классическое представление данных (рисунок 1), передаваемых в центр управления полетом.

Подобная структура, с учетом непрерывности спектрального диапазона, приводит к формированию существенного объема передаваемых на Землю данных и актуализации задачи сжатия. Например, тестовые данные спектрометра AVIRIS обладают следующими характеристиками: ширина изображения 677 пикселей, 224 спектральных канала, 12 бит на канал, что в общем случае приводит к 222,1 Кб данных на одну строку. С учетом характеристик современных радиоканалов связи и того, что съемка поверхности осуществляется непрерывно, важнейшим требованием к алгоритмам сжатия являются высокий коэффициент сжатия и низкая вычислительная сложность алгоритма, что связано с ограниченными аппаратными возможностями летательного аппарата.

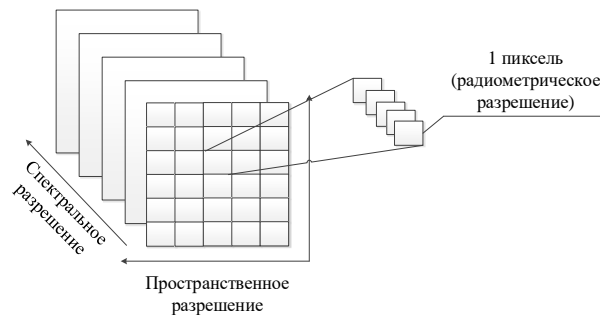


Рисунок 1. Структура данных ДЗЗ

Роль контекстного моделирования в задачах сжатия гиперспектральных данных.

Контекстное моделирование является заключительным этапом сжатия данных и включает два шага (рисунок 2):

- моделирование (построение модели информационного источника, породившего сжимаемые данные);
- кодирование (отображение обрабатываемых данных в сжатую форму представления на основании результатов моделирования).

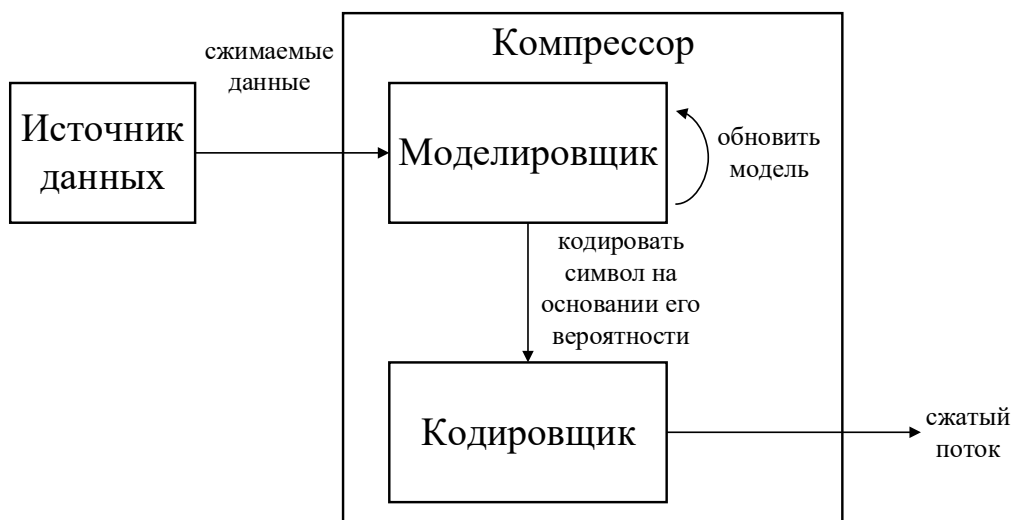


Рисунок 2. Схема сжатия данных, основанная на контекстном моделировании

Из теоремы Шеннона о кодировании источника известно, что символ s_i , вероятность появления которого равняется $p(s_i)$, выгоднее всего представлять $-\log_2 p(s_i)$ битами. Однако из-за того, что истинная структура источника, как правило, скрыта, необходимо строить модель источника, которая позволит в каждой позиции входной последовательности найти оценку $q(s_i)$ вероятности появления каждого символа s_i алфавита входной последовательности. Таким образом, моделировщик предсказывает вероятность появления каждого символа в каждой позиции входной строки. На этапе статистического кодирования выполняется замещение символа s_i с оценкой вероятности появления $q(s_i)$ кодом длиной $-\log_2 p(s_i)$ битов.

Чем точнее оценка вероятностей появления символов, тем больше коды соответствуют оптимальным, тем лучше сжатие.

Особенности гиперспектральных данных.

Одна из отличительных черт гиперспектральных данных, которая впоследствии используется алгоритмами контекстного моделирования, является высокая спектральная и пространственная корреляции (рисунок 2).

Спектральная корреляция между каналами u и v определяется по формуле (1), пространственная корреляция для канала k в некоторой точке (i, j) на изображении определяется по формуле (2). Обе формулы были представлены в [6]:

$$c_{u,v} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \tilde{x}_{i,j,u} \cdot \tilde{x}_{i,j,v}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \tilde{x}_{i,j,u}^2 \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \tilde{x}_{i,j,v}^2}} \quad (1)$$

$$c_k(i, j) = \frac{C_k(i, j)}{\sqrt{C_k(i, i) \cdot C_k(j, j)}} \quad (2)$$

где u, v, k – номер спектрального канала, $\tilde{x}_{i,j,k} = x_{i,j,k} - \bar{x}_k$, $x_{i,j,k}$ – значение пикселя с координатами (i, j) на изображении в спектральном канале k , \bar{x}_k – математическое ожидание в канале k , M и N – ширина и высота канала в пространственной области, $C_k = cov(img_k)$ – матрица ковариаций, полученная при обработке изображения img_k спектрального канала k , $C_k(i, i)$ и $C_k(j, j)$ – значения в матрице ковариаций C_k с координатами (i, j) , (i, i) и (j, j) соответственно.

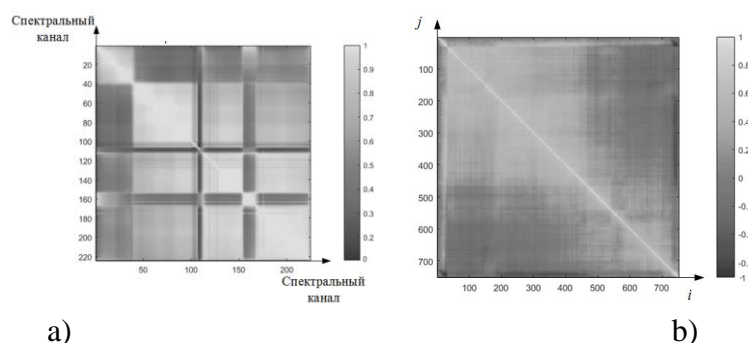


Рисунок 3. Матрица корреляции для гиперспектральных данных AVIRIS Moffett Field:
а) спектральная; б) пространственная

С учетом первой особенности, подходы к сжатию гиперспектральных данных, как правило, предполагают использование либо вейвлет-преобразования, либо одного из алгоритмов предсказания. Однако в результате формируется поток данных, имеющий распределение Лапласа. При этом для алгоритмов контекстного моделирования рекомендуется экспоненциальное распределение. Для этого к ошибке предсказания применяется следующее выражение:

$$\hat{e}_i = \begin{cases} 2e_i & 0 \leq e_i \leq \theta_i \\ 2|e_i| - 1 - \theta_i & -\theta_i \leq e_i < 0 \\ \theta_i + |e_i| & \text{иначе} \end{cases} \quad (3)$$

где e_i – ошибка предсказания для элемента i , $\theta_i = \min(\hat{y}_i, y_{max} - \hat{y}_i)$, $y_{max} = 2^n - 1$ – максимально возможное число во входной последовательности.

Предлагаемый алгоритм контекстного моделирования.

В результате преобразования динамический диапазон допустимых значений (радиометрическое разрешение) увеличивается в 2 раза, но анализ гиперспектральных данных AVIRIS, для которых радиометрическое разрешение – 12 бит, показывает, что основное число элементов не превышает 255.

С учетом выявленной особенности первым этапом контекстного моделирования предлагается использовать упаковку декоррелированного потока данных (рисунок 3).

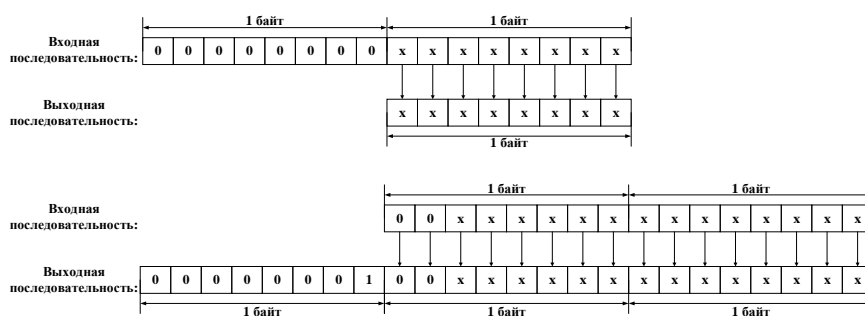


Рисунок 4. Упаковка декоррелированного потока данных

После выполнения упаковки поток данных восстанавливается в трехмерную структуру и разбивается на блоки фиксированной размерности. В каждом из полученных блоков выполняется переупорядочивание в соответствии с алгоритмом 3D zig-zag [7]. Данная операция выполняется отдельно для каждой битовой плоскости.

После подготовки входного потока к сжатию определяется модель бинарного арифметического кодека, которая будет использована при сжатии, на основе закодированных ранее данных. Для этого определяется число битовых плоскостей $n = \lceil \log_2(c_{max}) \rceil$, где c_{max} – максимальное значение в упакованном потоке данных. В общем случае максимальное число моделей определяется по формуле:

$$\text{max_number_of_models} = 2^n \quad (4)$$

Для каждой контекстной модели с учетом вероятности появления символов формируются интервалы значений:

- More Probable Symbol (MPS);
- Less Probable Symbol (LPS).

При этом интервал MPS должен следовать за интервалом LPS (рисунок 4).



Рисунок 5. Распределение интервалов MPS и LPS

Таблица 1.

Структура данных, используемых бинарным арифметическим кодеком, и значения по умолчанию

Индекс модели	Текущий индекс значения вероятности Q	Начальное значение интервала C	Кодируемый диапазон значений A
1	0	0	1
2	0	0	1
...

Дополнительно для каждой модели хранятся следующие параметры (таблица 1):

- текущий индекс значения вероятности Q ;
- начальное значение интервала C ;
- кодируемый диапазон значений A .

Алгоритм работы контекстного моделирования включает следующие этапы:

Шаг 1. Из входного потока извлекается n бит, формирующих символ.

Шаг 2. По заведомо определенному алгоритму выбирается применяемая модель.

Шаг 3. Выполняется бинарное арифметическое кодирование в соответствии с настройками для данной модели.

Шаг 4. Обновляются параметры выбранной модели.

В общем случае, алгоритм выбора модели подбирается на основе анализа вероятностей появления символа в потоке.

Тестирование представленного алгоритма контекстного моделирования.

Для тестирования алгоритма контекстного моделирования использовались гиперспектральные данные AVIRIS Maine со следующими техническими характеристиками: пространственное разрешение – 680x512 пикселей, радиометрическое разрешение – 12 бит на пиксель, число спектральных слоев – 224, суммарный объем данных – 114 240 кБайт.

Результаты тестирования без контекстного моделирования и на 2 и 3 модели представлено в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты тестирования алгоритма сжатия

	Коэффициент сжатия, раз
Без контекстного моделирования (на основе арифметического кодирования)	3,26
С применением контекстно-адаптивного QM-кодека (контекст на основе 2 моделей)	3,99
С применением контекстно-адаптивного QM-кодека (контекст на основе 3 моделей)	4,05

Заключение

На основе полученных результатов можно сделать заключение о целесообразности применения алгоритма контекстного моделирования при сжатии гиперспектральных данных. Предлагаемая последовательность операций является математически простой и не требует существенных вычислительных ресурсов, что позволяет применить алгоритмы на борту летательного аппарата.

Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФФИ (проект Ф18М-081).

Литература

- [1] Parage, V. New sensors benchmark report on SPOT 7 / JRC Technical Reports. – Joint Research Centre, Italy. – 2014. – 40 p.
- [2] Zanter, K. Landsat 8 Data Users Handbook / K. Zanter // Department of the Interior U.S. Geological Survey, South Dakota. – 2016. – 98 p.
- [3] Robel, J. NOAA KLM User's Guide with NOAA-N, N Prime, and MetOp Supplements / J. Robel, A. Graumann // National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington. – 2530 p.
- [4] Preprocessing AVIRIS Data Tutorial [Electronic resource] / Harris Geospatial Solutions. – Режим доступа: <http://www.harrisgeospatial.com/docs/PreprocessAVIRIS.html>. Дата доступа: 20.04.2016.
- [5] Cocks, T. The HyMap Airborne Hyperspectral Sensor: The System, Calibration and Performance / T. Cocks, [et. al.] // Proc. 1st EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy (M. Schaepman, D. Schl pfer, and K.I. Itten, Eds.), 6-8 October 1998, Zurich, EARSeL, Paris, 37-42.
- [6] Christophe, E. Hyperspectral Data Compression Tradeoff / E. Christophe // Optical Remote Sensing. – 2011. – Springer Berlin Heidelberg. – pp. 9-29.
- [7] Alptekin Engin, M. New Approach in Image Compression: 3D Spiral JPEG / M. Alptekin Engin, B. Cavusoglu // IEEE Communication Letter. – Vol.15, No.11. – 2011. – pp. 1234-1236.

THE ROLE OF CONTEXT MODEL ALGORITHMS IN THE PROCESSING OF HYPERSPECTRAL DATA

D.Y. PERTSAU¹
Senior Lecturer

A.A. DOUDKIN^{1,2}
Head of the System Identification Laboratory, Dr.Sc., Professor

Abstract. The role of context modeling in the compression of large volume of hyperspectral data are described in the paper. In addition, we present the version of context model algorithm as the final stage of hyperspectral data.

Keywords: Hyperspectral images, Context model, Binary arithmetic codec.