

ОСОБЕННОСТИ БОРТОВОЙ КОМПРЕССИИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ПО КАНАЛАМ СВЯЗИ

Н.И. Глумов, М.В. Гашников

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва
(национально исследовательский университет)

В работе описывается модификация разработанного ранее метода бортовой обработки изображений применительно к гиперспектральным изображениям. Для алгоритмов, входящих в состав метода, произведены их доработка, параметрическая настройка и вычислительные эксперименты с учетом специфики формирования и хранения гиперспектральных изображений. Показано, что предлагаемый метод, ядром которого является метод HGI-компрессии может быть рекомендован для реализации в системах бортовой обработки и передачи по каналам связи.

Специфика задачи обработки изображений в системах реального времени, в частности, в системах оперативного дистанционного зондирования поверхности Земли, определяется в первую очередь следующими свойствами этих систем:

- высокая скорость формирования входного изображения;
- наличие цифрового канала связи с постоянной пропускной способностью;
- возможность случайных сбоев в цифровом канале связи;
- жесткие ограничения на системотехнические характеристики аппаратуры (вес, энергопотребление и др.);
- широкий и неопределенный заранее круг задач, для решения которых может быть использованы получаемые изображения.

Эти особенности определяют следующие требования к методам бортовой обработки изображений:

- высокий коэффициент компрессии (соотношение объемов исходной и сжатой информации);
- строгий контроль качества, оцениваемого максимальной или среднеквадратичной ошибкой восстановления;
- низкая вычислительная и структурная сложность;
- постоянная скорость формирования выходного потока сжатых данных;
- высокая помехозащищенность выходных данных.

Методы компрессии на основе дискретных преобразований (косинусного, вейвлет-преобразования) не удовлетворяют вышеперечисленным требованиям, в первую очередь по сложности и возможности контроля качества. В системах реального времени обычно используются более простые методы компрессии, основанные на дифференциальном кодировании, однако эти методы имеют невысокий коэффициент компрессии.

Всем требованиям по степени компрессии, контролю качества и сложности алгоритма удовлетворяет метод компрессии на иерархической сеточной интерполяции – HGI-метод [1]. Однако потребовалось дальнейшее развитие метода с целью решения не только компрессии данных, но и обеспечения постоянной скорости формирования выходного потока сжатых данных и их помехоустойчивости.

На рисунке 1 показана общая схема метода бортовой обработки изображений [1], на которой выделены три отдельных блока, обеспечивающие решение задач компрессии, стабилизации скорости выходного потока данных и защиты кодированной информации от сбоев в канале связи.

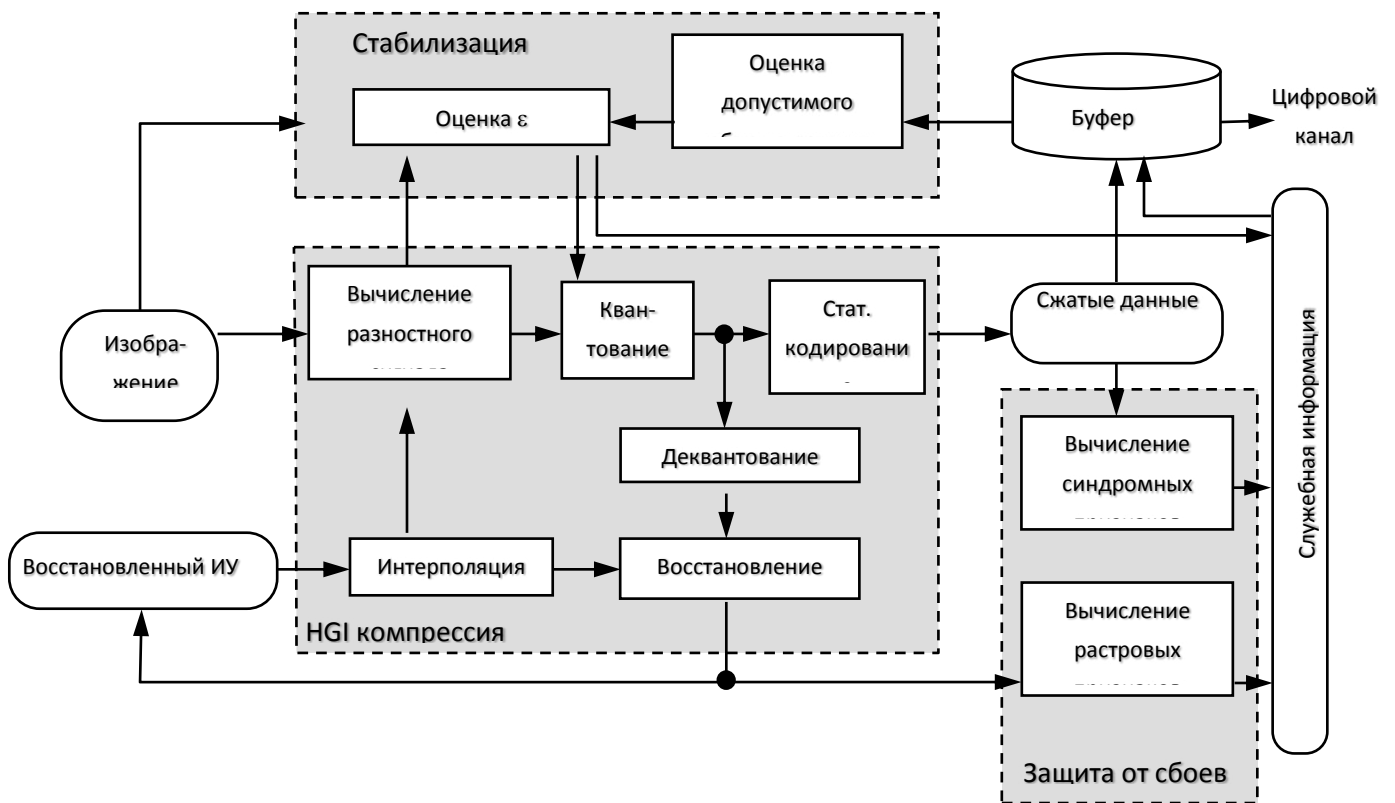


Рисунок 1 – Общая схема бортовой обработки изображений

Данная схема была предложена авторами для применения в системах формирования и передачи по каналам связи монохромных изображений.

Формирование гиперспектральных изображений (ГСИ) при передаче по каналам связи, в частности на борту летательного аппарата, обычно имеет специфику, обусловленную конструкцией датчиков, используемых для регистрации гиперспектральной информации. При этом на вход процедуры компрессии будут последовательно подаваться двумерные изображения, совокупность которых и составит собственно результирующие гиперспектральные данные.

Специфика же заключается в том, что эти двумерные изображения не содержат спектральных компонент, как это обычно бывает при работе с гиперспектральными данными. Первое такое двумерное изображение содержит первые строки всех спектральных компонент, второе двумерное изображение содержит все вторые строки т.д. Другими словами, «гиперспектральный куб» поступает на вход метода компрессии в «повернутом виде». Такая особенность ориентации гиперспектрального куба не влечет за собой особых проблем при реализации метода компрессии, т.к. при количестве компонент в несколько сотен указанные двумерные изображения, состоящие из соответствующих строк исходных гиперспектральных данных, могут «рассматриваться» методом компрессии, как спектральные компоненты. Другими словами, вместо гиперспектрального изображения, состоящего из S компонент размера $V \times N$ пикселей, метод компрессии получит гиперспектральное изображение, состоящее из V компонент размера $S \times N$ пикселей.

На рис.2-3. приведены примеры отдельных компонент гиперспектрального куба, построенного по фрагменту космического снимка спектрометра AVIRIS [2].

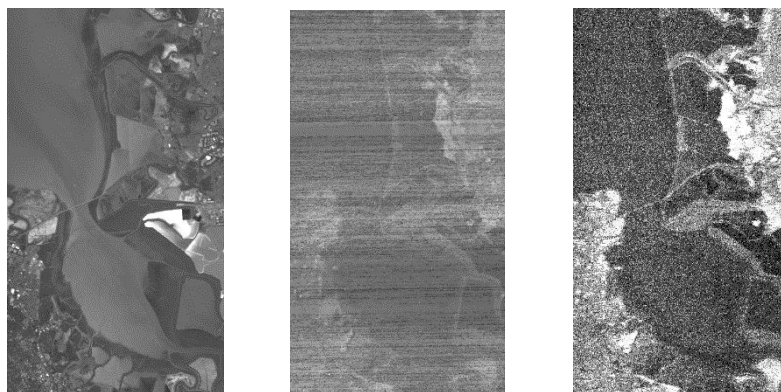


Рисунок 2 – Компоненты 24, 107, 159 изображения «mf16a»

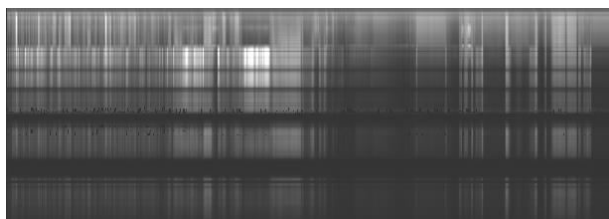


Рисунок 3 – Компонента 1068 «развернутого» изображения «mf16a»

В работах [3-5] были предложены алгоритмы компрессии на основе HGI-метода, учитывающие высокую межкомпонентную зависимость гиперспектрального изображения - на основе «скользящей» аппроксимации компонент, на основе «независимых порций компонент», на основе «общих опорных компонент». Наиболее эффективным (по критерию степени сжатия при фиксированной ошибке восстановления данных) оказался алгоритм общих опорных компонент, который может быть рекомендован для использования HGI-метода при хранении ГСИ в базах данных.

В данной работе был проведен анализ статистических характеристик «развернутых» ГСИ, который показал, что они гораздо менее «удобны» для сжатия, чем исходные «неразвернутые». Дисперсия «развернутых» изображений гораздо больше, причем дисперсия велика на всех компонентах: у «неразвернутых» изображений дисперсия на многих компонентах снижалась, что увеличивало коэффициент сжатия, что и привело к значительному ухудшению коэффициента сжатия. С другой стороны, для «развернутых» ГСИ существенно ниже (по сравнению с исходными ГСИ) межкомпонентная корреляция.

Указанные особенности могут не учитываться при реализации базовых алгоритмов HGI-метода – обработки иерархических уровней изображения, квантователя, статистического кодирования. Однако они значительно влияют на выбор оптимальных параметров алгоритмов, и в конечном итоге влияют на эффективность метода сжатия.

На рисунке 4 представлены результаты проведенных вычислительных экспериментов для исходных и «развернутых» ГСИ в виде усредненных по набору изображений AVIRIS зависимостей коэффициентов сжатия от среднеквадратичной и максимальной ошибок восстановления данных для вышеперечисленных алгоритмов, а также для алгоритма с независимой компрессией гиперспектральных компонент.

Эти результаты позволяют сделать выводы:

- 1) для «развернутых» изображений наблюдается снижения эффективности компрессии в 1.5-3.5 раза на рассмотренном диапазоне задаваемых ошибок;
- 2) для исходных ГСИ выбор наилучшего алгоритма учета межкомпонентных зависимостей повышает степень сжатия в 1.7-4 раза, а для «развернутых» ГСИ всего в 1.1-1.3 раза.

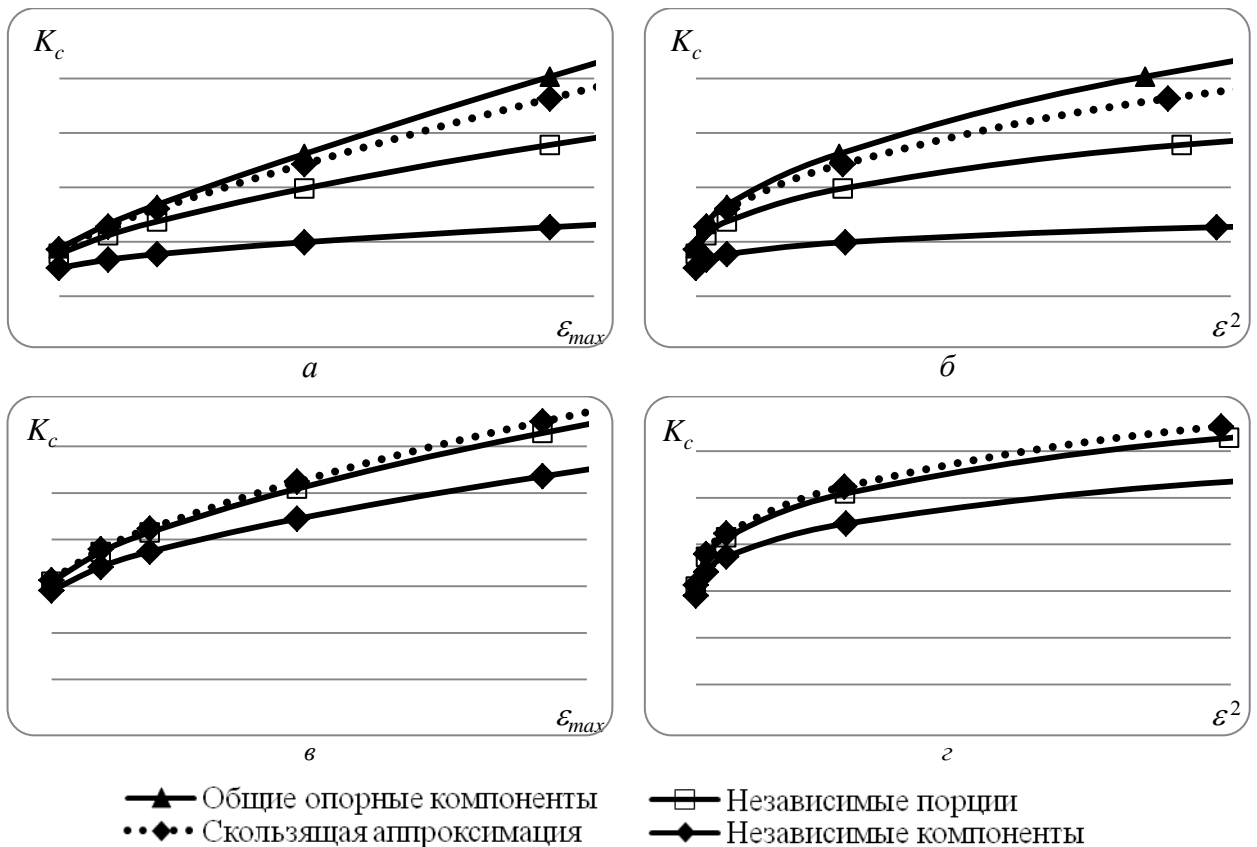


Рисунок 4 – Усредненный по пяти изображениям коэффициент сжатия в зависимости от максимальной ε_{\max} и ε^2 среднеквадратичной погрешностей: (а)-(б) для исходных ГСИ, (в)-(г) – для «развернутых» ГСИ

Следует отметить, что при выборе алгоритма компрессии гиперспектральных изображений при передаче по каналам связи следует учитывать, что оперативная память таких систем сильно ограничена и одновременное хранение спектральных компонент, необходимое при реализации аппроксимационных алгоритмов сжатия не желательно. Таким образом, для систем формирования ГСИ и передачи по каналам связи наилучшим представляется выбор алгоритма на основе независимой HGI-компрессии компонент, имеющего достаточно высокий коэффициент сжатия.

Специфика использования метода HGI при передаче данных ДЗЗ состоит в том, что метод обладает контролируемой погрешностью, что в свою очередь влечет за собой переменную скорость формирования потока компрессированных данных (нестабильный во времени коэффициент компрессии). Данный недостаток ограничивает непосредственное применение метода в системах формирования и обработки изображений реального времени с фиксированной пропускной способностью эксплуатируемых каналов связи, в том числе в системах передачи ДЗЗ. Традиционно указанное препятствие устраняется путем буферизации выходных данных, т.е. использования буферной памяти (далее - буфера). При буферизации данные компрессируются порциями, причем для каждой порции выбираются управляющие параметры метода компрессии, не допускающие переполнения буфера. Для метода HGI функцию управляющего параметра выполняет максимальная погрешность.

В работах [1, 6] предложен адаптивный алгоритм стабилизации, который настраивается на особенности каждой компрессируемой порции данных. Для определения максимальной погрешности $\varepsilon_{\max}(t)$ для очередной порции номер t используются статистические характеристики порции (дисперсия $D(t)$ и коэффициент корреляции $\rho(t)$)

) и оценка допустимой степени сжатия $\hat{B}(t)$ (в бит/отсчет), обеспечивающей помещению сжатой порции данных в буфер:

$$\varepsilon_{\max}(t) = f(D(t), \rho(t), \hat{B}(t))$$

В данной работе путем вычислительного эксперимента для большого набора различных порций реальных гиперспектральных изображений были построены таблицы значений $\varepsilon_{\max}(t), D(t), \rho(t)$ и соответствующих им получаемым в результате компрессии значений $B(t)$. По этой таблице значений аппроксимирована зависимость и вычислены параметры функции, с помощью которой и производится вычисление требуемой $\varepsilon_{\max}(t)$. В качестве функции предлагается использовать линейную функцию

$$\varepsilon_{\max}(t) = a_0 + a_1 D(t)^{k_1} + a_2 \rho(t)^{k_2} + a_3 \hat{B}(t)^{k_3}$$

Результаты вычислительного эксперимента позволили определить параметры a_i, k_i этой функции, показали, что в 95.1% случаев отклонение получаемой степени сжатия от задаваемой составило $|\Delta B| \leq 0.2$ бит/пиксель и подтвердили принципиальную возможность реализации алгоритма стабилизации скорости формирования сжатых ГСИ в условиях ограниченной емкости буферной памяти и пропускной способности канала связи.

Последняя составная часть предлагаемого метода бортовой обработки ГСИ (см. рис.1) заключается в применении алгоритма повышения помехоустойчивости [1, 7]. Как показали экспериментальные исследования, специфика ГСИ не накладывает новых ограничений на разработанный для монохромных изображений алгоритм, и он может быть рекомендован для обработки сжатых ГСИ.

Литература

1. Гашников М.В., Глумов Н.И., Сергеев В.В. Метод иерархической компрессии космических изображений // Автоматика и телемеханика. - Академиздатцентр «Наука» РАН, 2010., №3, с. 147-161.
2. Ordering Free AVIRIS Standard Data Products / Jet Propulsion Laboratory // http://aviris.jpl.nasa.gov/data/free_data.html
3. Гашников М.В., Глумов Н.И. Иерархическая сеточная интерполяция при сжатии гиперспектральных изображений // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 1. – С. 87-93.
4. Гашников М.В., Глумов Н.И. Иерархическая компрессия в задаче хранения гиперспектральных изображений // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, №3. – С. 482-488.
5. M.V.Gashnikov, N.I.Glumov Hierarchical GRID Interpolation under Hyperspectral Images Compression // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), 2014, Allerton Press, Inc., Volume 23, Issue 4, pp 246-253.
6. Gashnikov M.V., Glumov N.I., Sergeyev V.V. Stabilization of the Compressed Data Formation Rate in Hierarchical Image Compression // Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 17, No. 1, 2007, pp. 79–81.
7. Glumov N.I. Improving Noise Immunity of Transmission of Compressed Digital Images // Pattern Recognition and Image Analysis, 2003, Vol.13, No.2, pp. 273-276.