

СЖАТИЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОДИРОВАНИЯ С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

Чичева М.А., Юзькив Р.Р.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет) (СГАУ),
Институт систем обработки изображений РАН

Аннотация

В работе предлагается новый метод сжатия и построенный на его основе алгоритм, которые являются обобщением известного метода кодирования с преобразованием на случай трёхмерных гиперспектральных данных. Решена задача выбора параметров алгоритма. Выполнено исследование алгоритма в сравнении с известными методами сжатия изображений и гиперспектральных данных, продемонстрированы его преимущества.

Ключевые слова: гиперспектральные данные, алгоритмы сжатия, кодирование с преобразованием, дискретное косинусное преобразование.

Введение

В ряду задач обработки данных особое место занимают задачи, связанные с дистанционным зондированием Земли из космоса. В последнее время наибольший интерес вызывают так называемые гиперспектральные данные (или изображения), представляющие собой трёхмерный массив, состоящий из множества изображений одного и того же участка земной поверхности, полученных в разных спектральных диапазонах (см. рис. 1).

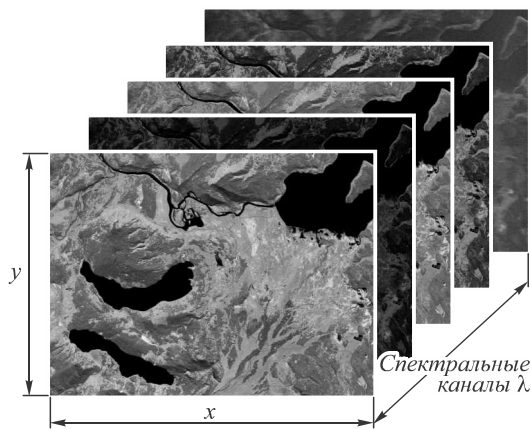


Рис. 1. Пример гиперспектральных данных

Очевидно, что объём каждого гиперспектрального изображения весьма велик, что приводит к сложностям при хранении и передаче таких данных. В этой связи особенно актуальной становится задача их сжатия.

Среди известных методов сжатия изображений наиболее широко распространён метод кодирования с преобразованием, который реализован, в частности, в стандарте (алгоритме) JPEG. Однако JPEG, хотя иногда и используется для сжатия гиперспектральных данных, оказывается в этом случае недостаточно эффективным.

В настоящей работе предлагается новый метод (и вытекающий из него алгоритм) сжатия, являющийся обобщением известного метода кодирования с преобразованием на случай трёхмерных гиперспектральных данных.

Обобщённый метод кодирования с преобразованием

Метод кодирования с преобразованием (см., например, п. 6.5 монографии [1]), применяемый для двумер-

ных изображений, состоит из следующих этапов. Изображение разбивается на квадратные блоки размером $N \times N$ пикселей. В каждом блоке выполняется дискретное преобразование, в результате которого формируется набор спектральных коэффициентов – трансформант. Из полученных трансформант отбираются наиболее существенные (обычно по дисперсионному критерию), выполняется их квантование и кодирование.

Дискретное преобразование должно удовлетворять требованиям обратимости и концентрации информации в малом количестве трансформант. Как правило, на практике используется дискретное косинусное преобразование (ДКП), которое полностью отвечает сформулированным требованиям и, кроме того, имеет быстрый алгоритм вычисления.

На этапе восстановления (декодирования) производится процедура декодирования и деквантования обобщённых координат. После этого для каждого блока вычисляется обратное преобразование и восстанавливаются пиксели изображения.

Нами предлагается обобщение описанного выше метода на случай трёхмерных гиперспектральных данных. Будем понимать под гиперспектральным изображением трёхмерный массив значений яркости:

$$\{f(n_1, n_2, n_3)\}_{n_1, n_2, n_3=0}^{N_1-1, N_2-1, N_3-1},$$

где N_1, N_2 – пространственные размеры изображения (высота и ширина соответственно), N_3 – количество спектральных каналов.

На первом шаге массив данных разбивается на непересекающиеся блоки. В каждом блоке выполняется ДКП, которое в трёхмерном случае будет иметь вид:

$$F(m_1, m_2, m_3) = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} \sum_{n_3=0}^{N_3-1} f(n_1, n_2, n_3) h_{m_1}(n_1) h_{m_2}(n_2) h_{m_3}(n_3),$$

где

$$h_m(n) = \lambda_m \cos \frac{\pi(2n+1)m}{2N}, \quad \lambda_m = \begin{cases} \sqrt{1/N} & \text{при } m=0, \\ \sqrt{2/N} & \text{при } m \neq 0. \end{cases}$$

Следующим этапом является отбор и квантование существенных трансформант. Каждая трансформанта квантуется и кодируется двоичными словами длины

b_{m_1, m_2, m_3} , где (m_1, m_2, m_3) – номер трансформанты в блоке. Суммарная длина всех кодовых слов

$$b = \sum_m b_m$$

определяется требуемым коэффициентом сжатия.

Отбор существенных трансформант может сводиться к распределению общего количества бит b по отдельным трансформантам. Будем предполагать, что каждая трансформанта $F(m_1, m_2, m_3)$ при некотором фиксированном (m_1, m_2, m_3) , отличном от $(0, 0, 0)$, имеет нормальное распределение. В этом случае при сжатии изображений для распределения бит используют квазиоптимальный алгоритм, основанный на так называемом «законе логарифма дисперсий» [2], [3]. В настоящей работе он обобщён на случай трёхмерных данных. Также адаптирован для работы с трёхмерными данными квантователь Ллойда–Макса [2], обеспечивающий минимум среднеквадратичной ошибки восстановления. Из квантованных значений каждого блока окончательно формируются сжатые данные.

Отметим, что предложенный подход к сжатию и блочному хранению сжатых данных позволяет восстанавливать как все данные целиком, так и отдельные пространственные срезы или кривые спектрального отражения в заданной точке.

Экспериментальное исследование

В рамках работы было проведено экспериментальное исследование предложенного метода сжатия.

Исследование проводилось на общедоступном наборе гиперспектральных изображений [4], сделанных сканером «Aviris» в 2006 году (этот сканер обеспечивает съёмку в 224 спектральных каналах с длиной волны от 400 до 2500 нм). Для экспериментов были взяты изображения с пространственным разрешением 680×512 пикселей. Каждый пиксель кодируется 16 битами. На рис. 2 приведено одно изображение из этого набора в спектральном канале №64.



Рис. 2. Изображение типа «ландшафт» (сцена №0) в спектральном канале №64

Основной целью данной работы является проверка эффективности трёхмерного подхода в рамках выбранного метода сжатия. Поэтому в качестве базы для

сравнения был выбран алгоритм послойного сжатия. Его основой является представление гиперспектрального изображения как набора двумерных изображений и использование сжатия для каждого слоя изображения по отдельности. Для сжатия двумерного слоя использовалось блочное двумерное ДКП размером 8×8 , выполнялся отбор и квантование существенных трансформант. Коэффициент сжатия определялся для всего гиперспектра в целом.

На рис. 3 приведено сравнение разработанного алгоритма с методом послойного сжатия. Построены зависимости пикового отношения сигнала к шуму от задаваемого коэффициента сжатия. В контексте данной работы под «шумом» понимается погрешность, вносимая процедурой сжатия и восстановления изображения. По полученным результатам можно сделать вывод, что с ростом коэффициента сжатия трёхмерный алгоритм обеспечивает существенно более высокое качество восстановленных данных, чем двумерный подход.

Пиковое отношение сигнала к шуму, dB

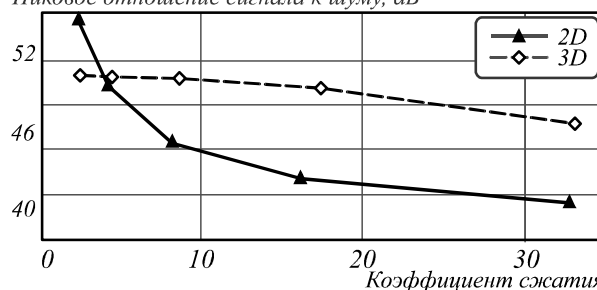


Рис. 3. Сравнение двумерного и трёхмерного алгоритмов для изображения типа «ландшафт»

Для оценки визуального качества на рис. 4 показаны восстановленные изображения для трёхмерного подхода (а), (б), (в) и двумерного послойного сжатия (г), (д), (е) при коэффициентах сжатия 4, 16 и 64 соответственно.

При малых коэффициентах сжатия двумерный подход даёт хорошие результаты, однако с ростом этого параметра качество восстановления существенно снижается, а при высоких значениях становится вообще неприемлемым. При этом трёхмерный подход демонстрирует хорошее качество восстановления.

Одной из важнейших задач в рамках анализа гиперспектральных изображений является получение кривой спектрального отражения для какой-либо пространственной точки. На рис. 5 приведены результаты восстановления кривой спектрального отражения сцены №18 для пространственных точек с координатами (280, 340) и (650, 120). Показаны кривые для значений коэффициента сжатия, равных (а), (г) – 4, (б), (д) – 16, (в), (е) – 64. Выбран такой диапазон каналов, в котором отличие исходной и восстановленных кривых проявляется наиболее заметно.

По полученным результатам можно сделать вывод, что при восстановлении спектральной кривой могут появляться существенные искажения на тех участках кривой, где значения сильно отличаются от математического ожидания соответствующих трансформант. Это общая проблема всех методов сжатия,

работающих по критерию среднеквадратичной ошибки. Однако форма кривой и расположение минимумов-максимумов при этом сохраняются. При малых коэффициентах сжатия двумерный подход оказывается несколько лучше трёхмерного, однако с ростом коэффициента сжатия трёхмерный подход показывает более высокое качество восстановления.

В целом полученные результаты показывают существенное улучшение восстановления данных за счёт использования трёхмерного подхода.

Сравнение с другими подходами

Несмотря на то, что тематика обработки гиперспектральных данных сейчас весьма популярна, публикаций на тему их сжатия весьма немного. В работе [5] рассматривается метод иерархической сеточной интерполяции, ориентированный на контроль максимальной ошибки в каждом пикселе. Однако этот метод эффективен для сравнительно небольших коэффициентов сжатия при несущественных искажениях, вносимых в гиперспектральные данные.

Трёхмерный подход

Двумерный подход

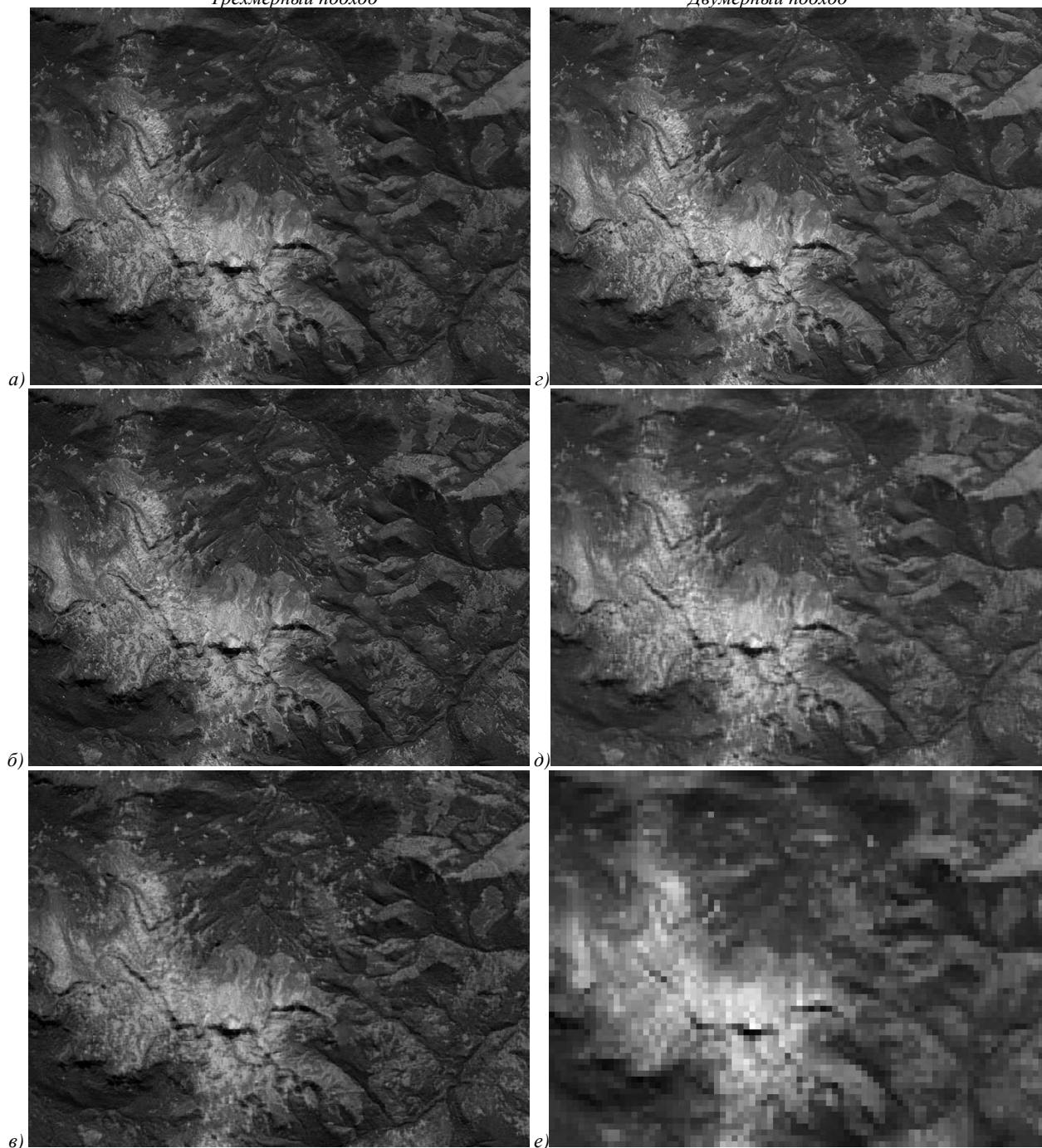


Рис.4. Восстановленное изображение типа «ландшафт» (сцена №18) в спектральном канале №64 для коэффициентов сжатия 4, 16, 64

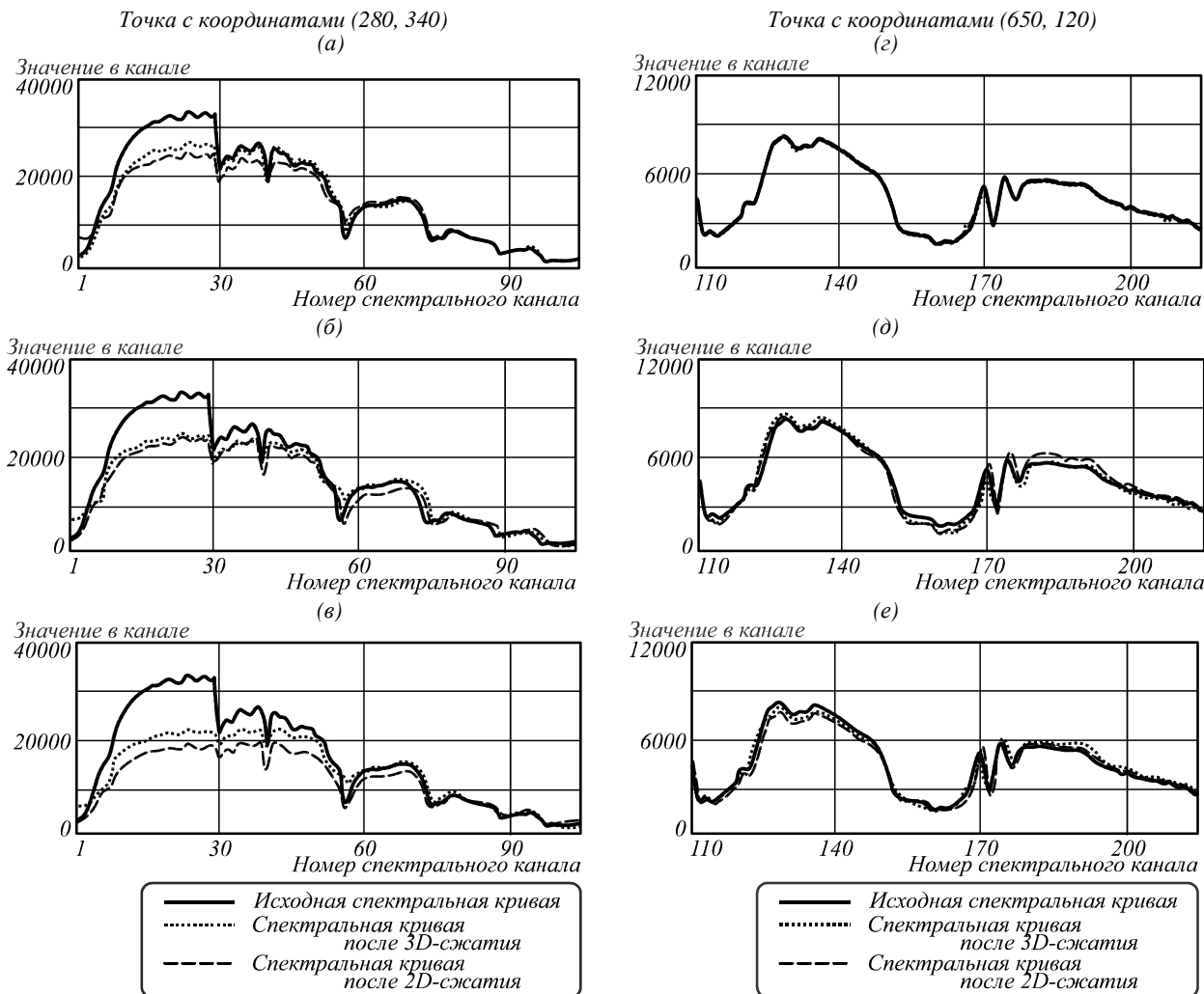


Рис. 5. Восстановление спектральной кривой отражения точек сцены №18 для коэффициентов сжатия 4, 16, 64

В работах [6], [7], как и в данной работе, в качестве критерия качества принято пиковое отношение сигнала к шуму. В первой работе использовалось двумерное кодирование с преобразованием по пространственным координатам и дифференциальная импульсно-кодовая модуляция по спектральной координате (будем обозначать этот алгоритм как 2D-DCT). Во второй работе исследовалось сжатие гиперспектральных изображений с помощью трёхмерных вейвлет-преобразований (будем обозначать этот алгоритм как 3D-Wavelet). На рис. 6 приведено сравнение разработанного алгоритма с этими подходами.

При высоких коэффициентах сжатия рассмотренный в работе метод кодирования с трёхмерным преобразованием обеспечивает значительно более высокое качество восстановления, чем кодирование с трёхмерным вейвлет-преобразованием, и немного хуже, чем метод 2D-DCT.

Заключение

Таким образом, в работе предложен новый метод сжатия гиперспектральных изображений и алгоритм, вытекающий из данного метода, которые обобщают

двумерный метод кодирования с преобразованием на случай трёхмерных данных.

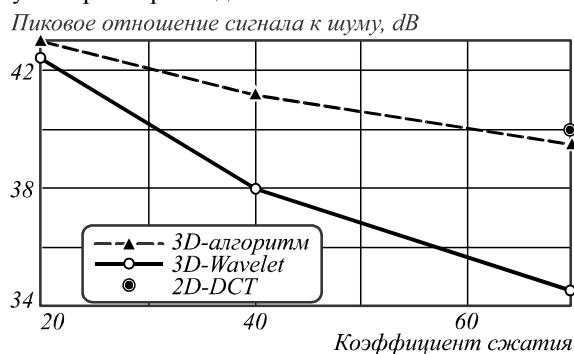


Рис. 6. Качество восстановления различных алгоритмов сжатия

Предложенный подход к сжатию и блочному хранению сжатых данных позволяет восстанавливать из архива как все данные целиком, так и отдельные пространственные срезы или кривые спектрального отражения в заданной точке. Выбраны параметры предложенного метода и произведено его исследование.

В рамках исследования проведено сравнение с двумерным послойным сжатием гиперспектральных

данных. Продемонстрировано преимущество трёхмерного подхода. В частности, показатель пикового отношения сигнала к шуму при одних и тех же коэффициентах сжатия снижается приблизительно на 30% за счёт использования трёхмерного подхода. Визуальное качество восстановленных пространственных срезов становится существенно выше. Появляется возможность работы с высокими коэффициентами сжатия (больше 64) при приемлемом качестве восстановления.

Сравнение с известными методами, ориентированными именно на сжатие гиперспектральных данных, также показывает некоторое преимущество разработанного метода.

Благодарности

Работа выполнена за счёт Российского научного фонда (РНФ), грант №14-31-00014 «Создание лаборатории прорывных технологий дистанционного зондирования Земли».

Литература

1. Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашников, Н.И. Глумов, Н.Ю. Ильясова, В.В. Мясников, С.Б. Попов, В.В. Сергеев, В.А. Сойфер, А.Г. Храмов, А.В. Чернов, В.М. Чернов, М.А. Чичева, В.А. Фурсов. – Под ред. В.А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
2. **Прэтт, У.** Цифровая обработка изображений. Кн. 1. / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – 312 с.
3. **Woods, J.W.** Multidimensional signal, image, and video processing and coding / J.W. Woods. – Troy, NY: Elsevier Academic Press, 2006. – 493 p.
4. Hyperspectral Image Compression [Электронный ресурс]// NASA Information Processing Group. – URL: <http://compression.jpl.nasa.gov/hyperspectral/>.

5. **Гашников, М.В.** Иерархическая сеточная интерполяция при сжатии гиперспектральных изображений / М.В. Гашников, Н.И. Глумов // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 1. – С. 87-93.
6. **Aboulesman, G.** Compression of hyperspectral imagery using hybrid DPCM/DCT and entropy-constrained trellis coded quantization // DCC '95 Proceedings of the Conference on Data Compression, IEEE Computer Society Washington, DC, USA, 1995. – P. 322.
7. **Tang, X.** Hyperspectral Image Compression Using Three-Dimensional Wavelet Coding / X. Tang, A. Pearlman, J. Modestino. – Troy, NY, USA: Center for Image Processing Research, Rensselaer Polytechnic Institute, 2002. – 25 p.

References

1. Computer Image Processing, Part II: Methods and algorithms / A.V. Chernov, V.M. Chernov, M.A. Chicheva, V.A. Fursov, M.V. Gashnikov, N.I. Glumov, N.Yu. Ilyasova, A.G. Khramov, A.O. Korepanov, A.V. Kupriyanov, E.V. Myasnikov, V.V. Myasnikov, S.B. Popov, V.V. Sergeev, V.A. Soifer. – Ed. by V.A. Soifer. – VDM Verlag, 2009. – 584 p.
2. **Pratt, W.K.** Digital Image Processing / W.K. Pratt. – NY: John Wiley and Sons, 1978.
3. **Woods, J.W.** Multidimensional signal, image, and video processing and coding / J.W. Woods. – Troy, NY: Elsevier Academic Press, 2006. – 493 p.
4. Hyperspectral Image Compression [Electronical Resource]// NASA Information Processing Group. URL: <http://compression.jpl.nasa.gov/hyperspectral/>.
5. **Gashnikov, M.V.** Hierarchical grid interpolation for hyperspectral image compression / M.V. Gashnikov, N.I. Glumov // Computer Optics. – 2014. – Vol. 38(1). – P. 87-93.
6. **Aboulesman, G.** Compression of hyperspectral imagery using hybrid DPCM/DCT and entropy-constrained trellis coded quantization // DCC '95 Proceedings of the Conference on Data Compression, IEEE Computer Society Washington, DC, USA, 1995. – P. 322.
7. **Tang, X.** Hyperspectral Image Compression Using Three-Dimensional Wavelet Coding / X. Tang, A. Pearlman, J. Modestino // Troy, NY, USA: Center for Image Processing Research, Rensselaer Polytechnic Institute, 2002. – 25 p.

HYPERSPECTRAL DATA COMPRESSION BASED ON A TRANSFORM CODING METHOD

M.A. Chicheva, R.R. Yuzkiv

Samara State Aerospace University,

Image Processing Systems Institute, Russian Academy of Sciences

Abstract

A new compression method and an algorithm on its base are proposed in this paper. The approach generalizes the familiar transform coding method to the case of three-dimensional hyperspectral data. The task of selecting the algorithm parameters is solved. The analysis of the algorithm in comparison with the well known image and hyperspectral data compression methods is conducted. Advantages of the proposed algorithm are discussed.

Key words: hyperspectral data, compression methods, transform coding method, discrete cosine transform.

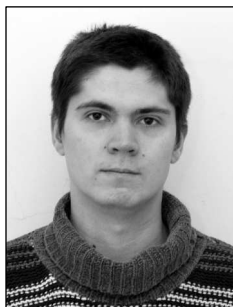
Сведения об авторах



Чичева Марина Александровна, 1964 года рождения, в 1987 году окончила Куйбышевский авиационный институт по специальности «Прикладная математика», в 1998 году защитила диссертацию на соискание степени кандидата технических наук по специальности 05.13.16 «Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях», работает старшим научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории прорывных технологий дистанционного зондирования Земли СГАУ и старшим научным сотрудником в Институте систем обработки изображений РАН. Область научных интересов: быстрые алгоритмы дискретных преобразований, сжатие многомерных данных, параллельные вычисления.

E-mail: mchi@geosamara.ru.

Marina Alexandrovna Chicheva (b. 1964) graduated from Kuibyshev Aviation Institute in 1987, majoring in Applied Mathematics. In 1998 she was defended her PhD thesis. Currently she works as the senior researcher at the Breakthrough Technologies for Earth's Remote Sensing laboratory in S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University) and as the senior researcher at the Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences. Research interests are fast algorithms of discrete orthogonal transforms, multidimensional data compression, and parallel computations.



Юзькив Руслан Романович, 1991 года рождения, выпускник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва по специальности «Прикладная математика и информатика». В настоящее время является аспирантом этого университета и работает в должности стажёра-исследователя в Институте систем обработки изображений РАН. Область научных интересов: компьютерная обработка изображений, проектирование программных комплексов.

E-mail: yuzkiv@rambler.ru.

Ruslan Romanovich Yuzkiv (b. 1991) graduated from Applied Mathematics and Computer Science sub-department at S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University). Currently he is a PhD student of this university and works as the graduate researcher at the Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences. Research interests are computer graphics processing and software system designing.

Поступила в редакцию 5 ноября 2014 г.