

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2020)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

KZ19VRY00029272

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных
и информационных систем, электромеханики
и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

А. Ж. Саринова

Торайғыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар

АЛГОРИТМЫ СЖАТИЯ С ПОТЕРЯМИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Работа посвящена описанию разработки алгоритмов сжатия гиперспектральных аэрокосмических изображений на основе дискретных ортогональных преобразований с целью последующего сжатия в системах дистанционного зондирования Земли. В качестве алгоритмов сжатия, необходимого для сокращения объема передаваемой информации, предлагается использование разработанных методов сжатия на основе преобразований Уолша-Адамара и дискретно-косинусного преобразования. В работе рассмотрена методика разработки алгоритмов сжатия с потерями и высоким качеством при восстановлении, с учетом которой разработан адаптивный алгоритм для сжатия гиперспектральных АИ и сгенерированной таблицей квантования. Проведенные исследования показали, что предложенные алгоритмы с потерями имеют эффективность, достаточную для практического использования и могут быть применены при сжатии гиперспектральных данных ДЗЗ в условиях ограниченной емкости буферной памяти и пропускной способности канала связи.

Ключевые слова: гиперспектральные аэрокосмические изображения, алгоритм сжатия, дискретные преобразования, степень сжатия, дискретно-косинусное преобразование, Уолша-Адамара.

Введение

Гиперспектральные АИ ДЗЗ необходимы для мониторинга природных ресурсов и последствий чрезвычайных ситуаций и т.д. Гиперспектральные АИ поступают на наземные станции мониторинга ДЗЗ, занимая при этом

огромное дисковое пространство, требующее затраты на их хранение в памяти. В решении данной проблемы существуют различные направления исследования, в которых активно ведутся исследования в области разработки алгоритмов сжатия и архивации гиперспектральных АИ [1–11]. В связи с этим, в настоящее время разработка программных систем для сжатия с потерями данных является актуальной задачей исследования. Алгоритмы и способы сжатия с потерями данных охватывают широкий спектр, преимущественно имея высокие показатели степени сжатия в сравнении алгоритмов без потерь [13–14]. Среди них наиболее распространенными являются ортогональные и вейвлет-преобразования, алгоритм сжатия JPEG.

Большой интерес исследователи проявляют к методам сжатия АИ с потерями, которые дают более высокие результаты в эффективности степени сжатия, применение ортогональных преобразований: дискретно-косинусного преобразования (ДКП), дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), SPIHT, прогнозирование (предсказание), *JPEG*, *JPEG2000* и энтропийное кодирование.

Популярность использования и применения вейвлетов в области обработки изображений возросла после введения французским математиком С. Маллатом концепции кратномасштабного анализа [1–3]. Учёные США И. Добеши и С. Маллат показали, что практическое выполнение вейвлет-преобразований осуществляется посредством двухполосного банка фильтров, известного в теории субполосного кодирования (поддиапазонные преобразования) [2–3]. На основе теории вейвлетов, разработанных Хааром создано семейство вейвлетов Добеши.

К примеру группа исследователей *Emmanuel, Sujithra, Manickam, Sudheer* считают, что вейвлет-преобразование [6, 7] является одной из актуальных тенденций в новых алгоритмах сжатия для гиперспектральных АИ. Применение вейвлетов обеспечивает сжатый битовый поток, который позволяет достичь сжатие без потери качества с минимальными потерями информации. Преимущество обеспечивается, благодаря использованию сжатия энтропийного кодирования. Недостатками являются: низкая производительность сжатия с потерями; увеличение сложности алгоритма с точки зрения необходимой оперативной памяти; относительно низкое качество при промежуточных вейвлет преобразованиях.

В обработке сигналов и изображений используется алгоритм быстрого преобразования Уолша-Адамара, основанного на системе функций и их свойств.

Учёными *Sujithra* и др. [6] исследовано сжатие гиперспектральных АИ, использующего ДВП и Уолша-Адамара преобразование (УАП). Предлагается гибридная технология, называемая Уолш вейвлет-преобразованием, состоящая из четырех этапов. На первом этапе применяются два

уровня ДВП, на втором этапе применяются 2D-УАП на каждом блоке низкочастотного диапазона ($N=4$). На третьем этапе нахождение значений от трансформированных изображений каждого диапазона, затем на 4-ом этапе они сжимаются арифметическим кодированием. Данная технология обеспечивает коэффициент сжатия – 1,8.

Индийские исследователи *Keerthana, Poonam, Ramesh* применили анализ главных компонент (РСА) к сжатию гиперспектральных АИ [8–10]. Использовался метод гибридного сжатия (ДВП-ТД), который являлся эффективным, поскольку он обеспечивал подробную информацию о спектральных диапазонах изображения. ДВП-ТД с использованием «глобальной» кодировки достигает более высокого значения «пикового отношения сигнала к шуму» (*PSNR*), меньшее время выполнения и высокий коэффициент сжатия – 8,0. Основным недостатком является то, что ковариационная матрица РСА, которая используется для декорреляции среди частотных полос, уже должна быть рассчитана, и, следовательно, зависит от данных. Поэтому, требуется снижение вычислительной нагрузки предлагаемого метода.

Ученые *Cheng и Dill* улучшили алгоритм EZW Шапиро [14]. Гибридные преобразования заключаются в том, что Karhunen-Loève Transform (KLT), которые декодируют спектральные данные гипер-перспектрального АИ, а ДВП применяется к пространственным данным. Предлагаемое сжатие изображения имеет степень сжатия – 7,9. Недостатки: вейвлет коэффициенты могут быть отсканированы раньше, чем другие в подканалах низкого уровня; основой кодера является алгоритм EZW Шапиро, кодирующий остаточные значения и реализующий только доминирующий блок; алгоритм усложнен вычислительной эффективностью.

Алгоритм *SPIHT* основанный на вейвлетах Хаара и Добеши используется в обработке сжатия цифровых и гиперспектральных АИ. К преимуществам алгоритма *SPIHT* относятся возможность выбора степени сжатия в широких пределах – от 4 до 0,1 бит/пиксел; отсутствие блочности изображения при высоких степенях сжатия; в случае, если часть данных теряется, возможно восстановление всего изображения (с худшим качеством). К недостаткам данного алгоритма следует отнести относительную сложность реализации, неустойчивость к сбоям. Информация, переданная до сбоя, позволяет восстановить все изображение с худшим качеством, но информация после сбоя не может быть использована.

Исследователями *Ouahioune, Dubey* [12] предложено сжатие гиперспектральных АИ с использованием 3D *SPIHT* алгоритма. На первом этапе применяется 3D ДВП, на втором этапе кодируется 3D-*SPIHT* алгоритмом, где есть значимая корреляции между различными диапазонами

каналов. После декомпрессии изображения оцениваются с помощью PSNR алгоритма. Основа сжатия ДКП и *SPIHT* обеспечивает высокую степень сжатия. Недостаток: алгоритм может быть реализован для любого размера изображения, размер изображения пропорционально увеличивает время необходимое для сжатия и восстановления изображения, что повышает вычислительную сложность алгоритма.

Одним из популярных графических форматов, предназначенных для сжатия изображений является алгоритм *JPEG*, опубликованный в 1991 г., позволяющий сжимать изображения с потерями и без потерь. Рассмотрим алгоритм работы простейшего кодера *JPEG* с потерями, процесс которого состоит из следующих этапов:

Преодобработка – предварительная обработка изображения, приводящая его к удобному для последующего кодирования представлению.

2 ДКП используется кодером *JPEG* для преобразования изображения от его пространственного представления к спектральному. Важным шагом в алгоритме *JPEG* является ДКП, представляющее собой разновидность преобразования *Фурье* [3].

3 Квантование – этап, при котором происходит основная потеря информации за счет округления несущественных, высокочастотных ДКП-коэффициентов.

4 Сжатие – это кодирование полученных данных энтропийными алгоритмами (арифметическое кодирование, алгоритм Хаффмана и др.).

В данном обзоре были представлены имеющиеся разработки отдельных разработок и специализированных программных систем для сжатия гиперспектральных АИ с потерями, обозначены их достоинства и недостатки. Данный анализ позволяет определить проблему исследования в области построения эффективных алгоритмов сжатия для решения задачи сжатия и применения в обработке гиперспектральных АИ.

Целью статьи являлся поиск и разработка наиболее эффективного способа сжатия гиперспектральных АИ с потерями на основе дискретных преобразований с точки зрения компромисса между скоростью работы и качества результата восстановленных изображений.

Материалы и методы

1 Этапы алгоритма сжатия:

Разработаны алгоритмы обработки гиперспектральных АИ с потерями на основе дискретных преобразований. Последовательность этапов следующая.

– исследование эффективности преобразования структуры данных на основе исходного гиперспектрального АИ, значения коэффициентов, на основе Уолша-Адамара трех уровней;

– исследование эффективности оригинального преобразование структуры данных на основе исходного гиперспектрального АИ, хранящей значения коэффициентов, на основе дискретно-косинусного преобразования с генерированной таблицей квантования;

– использование стандартных критериев качества восстановленных изображений;

– экспериментальное исследование алгоритмов преобразования по степени сжатия и качеству восстановленных данных.

Рассмотрим этапы исследования и алгоритмов подробнее.

1.1 Преобразование Уолша – Адамара

Для пошагового описания преобразования необходимо ввести в рассмотрение следующие объекты:

– исходное изображение – матрица значений изображения $I[m, n, k]$, где m, n, k – индексы строк, столбцов и каналов исходного изображения, $m = 1, 2, \dots, M$, $n = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, K$;

– преобразование WHT – это фильтры, разделяющих изображение на низкочастотную и высокочастотную составляющие (чтобы получить исходное изображение, нужно снова объединить составляющие);

– СК – спектральная компонента матрицы $I[m, n, k]$.

Рассмотрим пример преобразования Уолша-Адамара (WHT) для фрагмента гиперспектрального АИ.

Пусть фрагмент АИ представляет матрицу, состоящую из m строк, n столбцов и k каналов: $I[m, n, k] = I[10, 10, 10]$.

Прямое преобразование WHT представлено в матричной форме H_{wt2} , взят фрагмент АИ (123, 105, 121, 103, 118, 100, 123, 123, 122, 104), т.е. $H_{wt2} \bullet I[m, n, k] = H_{wt2}'[СК]$.

В результате после такого преобразования получим коэффициенты низкочастотной и высокочастотной составляющих СК = 114, 9, 112, 9, 114, 9, 123, 0, 123, 9. В процессе квантования высокочастотные коэффициенты (близкие к нулю и отрицательные значения) округляются до нуля.

Следует отметить, что матрицы уровней H_{wt4} и H_{wt8} вычисляются аналогично как и H_{wt2} .

На этапе восстановления исходных каналов изображения происходит декодирование СК. $H_{wt2}^T \bullet H_{wt2}'[СК] = I[m, n, k]$, где H_{wt2}^T – обратное преобразование вейвлета WHT , $H_{wt2}'[СК]$ – спектральная компонента.

Преимущество преобразования Уолша-Адамара: повышенная способность выявлять низкочастотные составляющие за счет разделения областей каналов гиперспектрального АИ на подуровни и сгенерированного коэффициента квантования.

1.2 Дискретно-косинусное преобразование с генерацией таблиц квантования

ДКП представляет собой преобразование, линейная комбинация которого состоит из известных базисных векторов, взвешенных с коэффициентами, приводящие к исходному вектору [2].

На основе ДКП преобразуем матрицу гиперспектральных АИ в матрицу частотных коэффициентов соответствующего размера по формулам [2].

$$DCT(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2N}} C(i)C(j)$$

$$\sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(I[m, n, k]) \cos \left[\frac{(2 \times (I[m, n, k]) + 1) i \pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2 \times (I[m, n, k]) + 1) j \pi}{2N} \right]$$

$$f(I[m, n, k]) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} C(i)C(j) DCT(i, j)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} DCT(i, j) \cos \left[\frac{(2 \times I[m, n, k] + 1) i \pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2 \times I[m, n, k] + 1) j \pi}{2N} \right]$$

$$C(I[m, n, k]) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & I[m, n, k] = 0 \\ 1, & I[m, n, k] > 0 \end{cases}$$

Рассмотрим пошагово преобразование каналов гиперспектральных АИ с помощью ДКП.

На первом шаге в результате преобразования ДКП построили два фильтра – высокочастотный и низкочастотный.

Для низкочастотного и высокочастотного фильтров введём некоторые обозначения:

- DC – оператор для низкочастотного фильтра;
- AC – оператор для высокочастотного фильтра.

После преобразования ДКП фрагмент гиперспектральных АИ имеет следующие значения, (рис. 1):

40008	204	708	-320	268	-139	-51	51
799	-176	654	-84	60	89	-57	114
188	-64	-79	102	-64	137	-55	26
326	29	157	-119	-47	79	-56	-1
97	-94	173	25	44	129	-26	-63
33	128	-9	118	-91	14	-96	-12
-207	41	-198	118	-28	34	1	-18
13	-1	-3	-14	-2	-35	-20	-11

Рисунок 1 – Полученные коэффициенты после преобразования ДКП

Можно заметить из рис.1, что высокие значения коэффициентов преобразования сосредоточены в верхнем левом углу и лишь небольшое количество низкочастотных коэффициентов преобладают над остальными. Это позволяет уменьшить значения на следующих этапах сжатия.

Вторым шагом является процесс генерации таблиц квантования. Квантование выполняем таким образом:

1 Из всех значений файла рассчитывалось среднее арифметическое I_{sr} .

2 Для выбора числового показателя квантования $Quant$ подсчитывалось число для квантования, $Quant = quantValue \times I_{sr} / 100$. Например, числовой показатель квантования: $I_{sr} * 95 \% = 285 = Quant$. При этом коэффициенты DC остаются в начальных значениях. Для каждого канала гиперспектрального АИ генерируется своя таблица квантования.

Для вышеприведенного фрагмента гиперспектральных АИ показана матрица после квантования, (рис.2). Процесс квантования является ключевым в процессе сжатия, преимущество представления в частотной области заключается в визуальном качестве восстановленных изображений. В результате после квантования большинство коэффициентов равны нулю.

40008	0	708	-320	268	0	0	0
799	0	654	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
326	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 2 – Сгенерированная таблица квантования после ДКП

В результате большая часть нулей будет помещена в конец потока сжатия данных. Этот поток со множеством последовательных нулей в конце блока оптимизирован для достижения высокого сжатия в энтропийном кодировании адаптивного алгоритма Хаффмана.

Для определения эффективности предлагаемого алгоритма проведен ряд экспериментов на гиперспектральных АИ (ДЗЗ Aviris). Также выполнено сравнение предложенного алгоритма с результатами экспериментов, полученных для универсальных алгоритмов сжатия архиваторов *WinRar*, *WinZip* и компрессора *Lossles JPEG 2000*, использующего расширение стандарта сжатия JPEG, широко применяемого в коммерческих системах обработки данных ДЗЗ.

Результаты и обсуждения

Показатели степеней сжатия в разрезе геометрического размера (R) каналов ортогональных преобразований Уолша –Адамара, ДКП и JPEG 2000 *Lossy* представлены на рис. 3. Показано, что ДКП преобладает над преобразованием Уолша-Адамара и JPEG *Lossy* в степени сжатия при высоком качестве восстановленных изображений. Как видно из рис.3, показатели степеней сжатия ДКП с потерями превосходят в степени сжатия преобразования Уолша-Адамара и компрессора *JPEGLossy*.

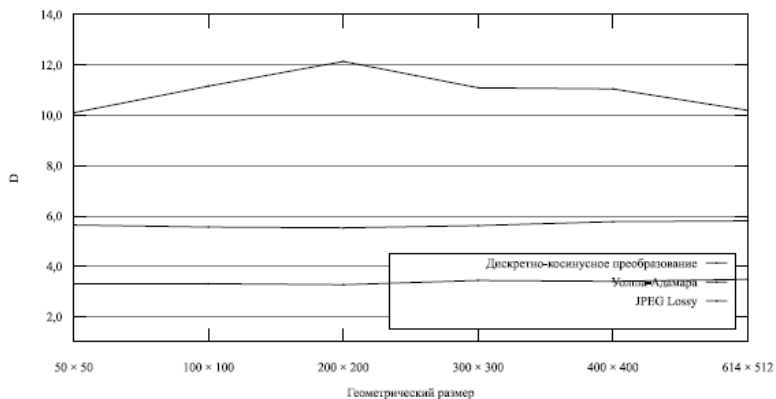


Рисунок 3 – Алгоритмы сжатия R от D

На следующем рис. 4 показаны преобразования при различном уровне потерь в %, из которого видно, что при увеличении коэффициента квантования степень сжатия возрастает. Алгоритмы преобразований по степени сжатия D и уровню потерь P , при $K = 100$.

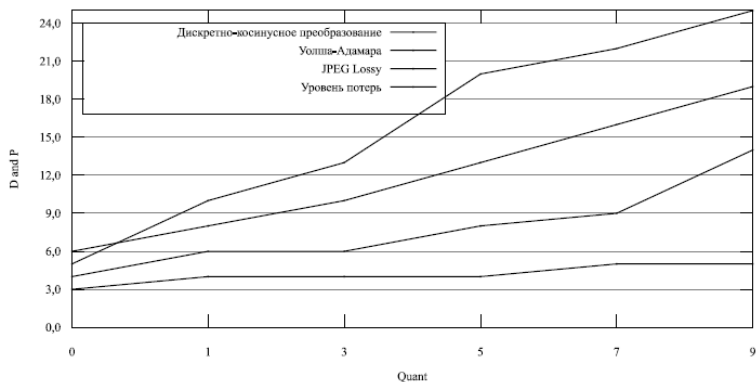


Рисунок 4 – Зависимости Quant от D, P

Показатели метрик качества восстановленных изображений были определены с помощью *PSNR* и *SKO*. Степень искажения сравнивает соотношение между сжатием и искажением в алгоритмах с потерями. Оценка определяется как среднее значение числа бит, необходимого для представления каждого пиксела. Измеряется в битах на пиксел (bpp – bits per pixel). Искажение обычно измеряется с помощью *PSNR*. На рис. 5 приведена зависимость *PSNR* от степени сжатия *D*.

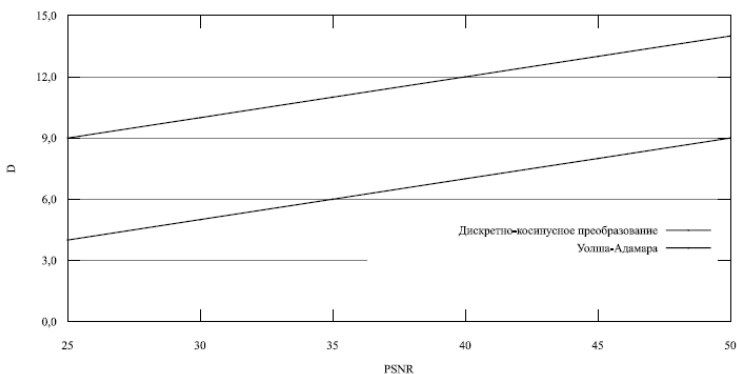


Рисунок 5 – Зависимость PSNR от D

Выводы

На основании вышеизложенных результатов эксперимента сжатия на основе ортогональных и вейвлет-преобразований гиперспектральных АИ с потерями можно сделать вывод о том, что разработанное математическое

и программное обеспечение сжатия, в некоторой степени занимает лидирующие позиции по степени сжатия и качеству восстановленных изображений в зависимости от выбранной подготовительной обработки, значительно демонстрирует и превосходит аналоги на всех тестовых наборах.

На основе проведенных исследований следует сделать следующие выводы:

– разработка алгоритмов на основе дискретных преобразований позволяет повысить степень сжатия до ($R=12$);

– предлагаемый подход с потерями определяется в адаптивных преобразованиях, основанных на преобразовании Уолша-Адамара, дискретно-косинусного преобразования и сгенерированной таблицы квантования и последующего адаптивного кодирования;

– полученные результаты сравнения преобразованных гиперспектральных АИ с помощью полученных коэффициентов позволяют предположить эффективность применения данных исследований с адаптивным кодированием Хаффмана.

– сравнение критериев качества с помощью стандартных метрик качества позволяют отметить, что гиперспектральные АИ восстановлены с высоким качеством и минимальными потерями.

Список использованных источников

1 **Гонсалес, Р., Вудс, Р.** Цифровая обработка изображений. – М. : Техносфера, 2008. – 122 с.

2 **Сэломон, Д.** Сжатие данных, изображений и звука. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.

3 **Уэлстид, С.** Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии: Учебное пособ. – М. : Издательство Триумф, 2003. – 368 с.

4 **Штарк, Г.-Г.** Применение вейвлетов для ЦОС. – М. : Техносфера, 2007. – С. 165–177.

5 **Яне, Б.** Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. – М. : Техносфера, 2007. – 584 с.

6 **Sujithra, D. S., T. Manickam, D. S. Sudheer.** Compression of hyperspectral image using discrete wavelet transform and walsh hadamard transform // International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering. – 2013. – Vol. 2(3). – 314–319 p.

7 **Emmanuel, C.** Hyperspectral Data Compression Tradeoff. Optical Remote Sensing, Augmented Vision and Reality, 3. – DOI: 10.1007/978-3-642-14212-3_2. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – P. 9–29.

8 **Keerthana, P., A. Sivasankar.** The impact of lossy compression on hyperspectral data adaptive spectral unmixing and PCA classification // International Journal of Science and Modern Engineering. – 2013. – Vol.1(7). – 35–37 p.

9 **Ramesh, S. M., P. Bharat, J. Anand, J. AnbuSelvan.** Analysis of Lossy Hyperspectral Image Compression Techniques // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. – 2014. – Vol.3(2). – 302–307 p.

10 **Poonam and R. S. Chauhan.** Compression and Classification of Hyperspectral Images using an Algorithm based on DWT and NTD // Advance in Electronic and Electric Engineering. – 2013. – Vol.3(4). – 447–456 p.

11 **Kai-Jen Cheng, Jeffrey C. Dill.** An Improved EZW Hyperspectral Image Compression. School of Electrical Engineering and Computer Science, Ohio University, Athens, USA // Journal of Computer and Communications. – 2014. – 2, 31–36.

12 **Ouahioune, M., Akrou, L., Lahdir, M., Ameer, S.** Aviris Hyperspectral Images Compression Using 3d Spiht Algorithm // IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). – e-ISSN: 2250-3021. – p-ISSN: 2278-8719, [Electronic resource]. – www.iosrjen.org. – Vol. 2. – Issue 10 (October 2012). – P. 31–36.

13 **Dubey, V., Dubey, R.** A new Set Partitioning in Hierarchical (SPIHT) Algorithm and Analysis with Wavelet Filters // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). – ISSN: 2278-3075. – Vol.3. – Issue 3. – August 2013.

14 **Саринова, А. Ж., Исин, М. Е.** Кодирование и декодирование гиперспектральных аэрокосмических изображений с применением вейвлет-преобразований // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2016. – № 4. – С. 67–73.

References

1 **Gonsales, R., Vuds, R.** Cifrovaya obrabotka izobrazhenij [Gonzalez R., Woods R. Digital image processing]. – M. : Tekhnosfera. – 2009. – p. 122.

2 **Selomon, D.** Szhatie dannyh, izobrazhenij i zvuka [Salomon D. Compression of data, images and sound.] Moskva : Tekhnosfera. 2004. – p. 368.

3 **SHtark, G.-G.** Primenenie vejvletov dlya COS [Stark G.-G. The use of wavelets for DSP]. – M. : Tekhnosfera. – 2007. – p. 165–177.

4 **Uelstid, S.** Fraktaly i vejvlety dlya szhatiya izobrazhenij v dejstvii [Welstead S. Fractals and wavelets for image compression in action.]. Uchebnoe posob. – M. : Izdatel'stvo: Triumf. 2003. – p. 368.

5 **Yane, B.** Cifrovaya obrabotka izobrazhenij [Yane B. Digital image processing]. Per. s angl. M. : Tekhnosfera. – 2007. – p. 584.

6 **Sujithra D. S., T. Manickam, D. S. Sudheer.** Compression of hyperspectral image using discrete wavelet transform and walsh hadamard transform. In International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering. – 2013. – Vol. 2(3). – 314–319 p.

7 **Emmanuel, C.** Hyperspectral Data Compression Tradeoff. Optical Remote Sensing, Augmented Vision and Reality, 3. – DOI: 10.1007/978-3-642-14212-3_2, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – P. 9–29.

8 **Keerthana, P., A. Sivasankar.** The impact of lossy compression on hyperspectral data adaptive spectral unmixing and PCA classification. In International Journal of Science and Modern Engineering, – 2013. – Vol.1(7). – 35–37 p.

9 **Ramesh, S. M., P. Bharat, J. Anand, J. AnbuSelvan.** Analysis of Lossy Hyperspectral Image Compression Techniques. In International Journal of Computer Science and Mobile Computing, – 2014. – Vol.3(2). – 302–307 p.

10 **Poonam and R.S. Chauhan.** Compression and Classification of Hyperspectral Images using an Algorithm based on DWT and NTD. Advance in Electronic and Electric Engineering. Vol.3(4). 447-456 pp. 2013.

11 **Kai-Jen, Cheng, Jeffrey, C. Dill.** An Improved EZW Hyperspectral Image Compression. School of Electrical Engineering and Computer Science, Ohio University, Athens, USA. Journal of Computer and Communications. – 2014. – 2, 31–36.

12 **Ouahioune, M., Akrou, L., Lahdir, M., Ameer, S.** Avisis Hyperspectral Images Compression Using 3d Spiht Algorithm. In IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) – e-ISSN: 2250-3021. – p-ISSN: 2278-8719, [Electronic resource]. – www.iosrjen.org. Vol. 2, Issue 10 (October 2012), – P. 31–36.

13 **Dubey, V., Dubey, R.** A new Set Partitioning in Hierarchical (SPIHT) Algorithm and Analysis with Wavelet Filters. In International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) – ISSN: 2278-3075, Vol. 3. – Issue 3. – August 2013.

14 **Sarinova, A. Zh., Isin, M. E.** Kodirovanie i dekodirovanie giperspektral'nyh aerokosmicheskikh izobrazhenij s primeneniem vejvlet–preobrazovanij [Encoding and decoding hyperspectral aerospace images using wavelet transforms]. In Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie. – 2016. – № 4. – P. 67–73.

Материал поступил в редакцию 30.09.20.

А. Ж. Сарина

Дискретті ортогональды түрлендірулерге негізделген гиперспектралды кескіндерді жоғалтумен сығымдау алгоритмдері

Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 30.09.20 баспаға түсті.

Zh. Sarinova

Lossy compression algorithms for hyperspectral images based on discrete orthogonal transformations

Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 30.09.20.

Жұмыс Жерді қашықтықтан зондтау жүйелерінде кейіннен сығу мақсатында дискретті ортогональды түрлендірулерге негізделген Гиперспектралды аэроғарыштық кескіндерді сығу алгоритмдерін жасауды сипаттауға арналған. Берілетін ақпарат көлемін азайту үшін қажетті сығымдау алгоритмдері ретінде Уоли-Хадамард түрлендірулері мен дискретті-косинус түрлендірулеріне негізделген сығымдау әдістерін қолдану ұсынылады. Жұмыста гипер-спектрлік АИ-ны сығуға арналған адаптивті алгоритм және құрылған кванттау кестесі жасалған, қалпына келтіру кезінде жоғары сапалы және жоғары сапалы сығымдау алгоритмдерін жасау әдістемесі қарастырылған. Жүргізілген зерттеулер шығындармен ұсынылған алгоритмдердің практикалық пайдалану үшін жеткілікті тиімділікке ие екендігін және буферлік жадтың шектеулі сыйымдылығы және байланыс арнасының өткізу қабілеті жағдайында ЖҚЗ гиперспектральді деректерін сығу кезінде қолданылуы мүмкін екендігін көрсетті.

Кілтті сөздер: гиперспектральды аэроғарыштық кескіндер, сығымдау алгоритмі, дискретті түрлендіру, қысу коэффициенті, дискретті косинус түрлендіруі, Уоли-Адамара.

This paper describes the development of algorithms for compressing hyperspectral aerospace images based on discrete orthogonal transformations for subsequent compression in remote sensing Systems. The developed compression methods based on Walsh-Hadamard

transformations and discrete-cosine transformation are proposed as compression algorithms necessary for reducing the amount of transmitted information. In this paper, we consider a technique for developing lossy and high-quality compression algorithms for recovery, which is used to develop an adaptive algorithm for compressing hyperspectral AI and the generated quantization table. Studies have shown that the proposed lossy algorithms are effective enough for practical use and can be applied when compressing hyperspectral remote sensing data in conditions of limited buffer memory capacity and communication channel bandwidth.

Keywords: hyperspectral aerospace images, compression algorithm, discrete transformations, compression ratio, discrete-cosine transformation, Walsh-Hadamard.

Теруге 30.09.2020 ж. жіберілді. Басуға 14.10.2020 ж. қол қойылды.
Электронды баспа
2,99 Мб RAM
Шартты баспа табағы 23,30. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы
Корректор: А. Р. Омарова
Тапсырыс № 3707

Сдано в набор 30.09.2020 г. Подписано в печать 14.10.2020 г.
Электронное издание
2,99 Мб RAM
Усл. печ. л. 23,30. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы
Корректор: А. Р. Омарова
Заказ № 3707

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
«Торайғыров университет»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
«Торайғыров университет»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
8 (7182) 67-36-69
e-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik.tou.edu.kz