увеличиваться уже при $L \ge 3$, в связи с чем представляется целесообразным в алгоритме принять L=3.

На рис. 4 представлены некоторые результаты сравнительных экспериментов, демонстрирующие превосходство предлагаемого алгоритма над *Win-Rar* и *WinZip* в степени сжатия при более существенных вычислительных затратах.

Выводы

- Разработан трехэтапный алгоритм сжатия многозональных аэрокосмических изображений, основанный на использовании вейвлет-преобразования и учете междиапазонной зависимости.
- 2. На тестовом наборе данных из 10-ти многозональных аэрокосмических изображений раз-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Cagnazzo M., Cicala L., Poggi G., Verdoliva L. Low-complexity compression of multispectral images based on classified transform coding // Signal Processing: Image Communication. – 2006. – № 10 (21). – P. 850–861.
- Gueguen L., Trocan M., Pesquet-Popescu B., Giros A., Datcu M. A comparison of multispectral satellite sequence compression approaches // Signals, Circuits and Systems. – 2005. – №1. – P. 87–90.
- 3. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. – М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 384 с.

личных систем дистанционного зондирования Земли проведены исследования эффективности алгоритма, позволяющие подтвердить его работоспособность и определить оптимальную глубину вейвлет-преобразования L=3.

- 3. С учетом найденных значений оптимальной глубины преобразования на тестовом наборе данных проведены сравнительные исследования трехэтапного алгоритма сжатия с универсальными алгоритмами, позволяющие сделать вывод о его превосходстве в различной степени над *WinRar* и *WinZip* в эффективности сжатия, но и существенных временных затратах на обработку за счет более сложного алгоритмического обеспечения.
- Kiely A., Klimesh M., Xie H., Aranki N. ICER-3D: A Progressive Wavelet-Based Compressor for Hyperspectral Images // The Interplanetary Network Progress Report. – 2006. – P. 142–164.
- Motta G., Rizzo F., Storer J.A. Hyperspectral Data Compression. Berlin: Springer, 2006. – 415 p.

Поступила 27.10.2008 г.

УДК 004.627

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕХЭТАПНОГО АЛГОРИТМА СЖАТИЯ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.В. Замятин, То Динь Чыонг

Томский политехнический университет E-mail: zamyatin@tpu.ru

Предложена и разработана модификация трехэтапного алгоритма, направленная на повышение степени сжатия аэрокосмических изображений путем использования подхода к поиску очередности обработки каналов, а также способы повышения вычислительной эффективности поиска очередности обработки, основанные на применении усеченного перебора и выборочного использования данных. Проведены комплексные исследования эффективности предложенного алгоритма в сравнении с универсальными алгоритмами сжатия на данных ряда систем дистанционного зондирования Земли, показавшие в различной степени превосходство в эффективности сжатия и некоторое отставание от них в вычислительной эффективности.

Ключевые слова:

Аэрокосмические изображения, вейвлет-преобразование, междиапазонная зависимость, сжатие изображений, повышение эффективности.

Введение

Более широкое использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) ведет к постоянному увеличению их объема, который исчисляется терабайтами и продолжает неуклонно расти. В связи с этим повышается актуальность решения задачи сжатия данных ДЗЗ с использованием различных подходов и программно-аппаратных средств с целью существенного повышения эффективности обработки, хранения, и передачи таких данных по каналам связи [1–6]. Учитывая необходимость предварительной обработки и автоматизированной классификации таких данных, наибольшую ценность представляют алгоритмы сжатия без потерь, не допускающие искажения статистических яркостных характеристик восстановленного аэрокосмического изображения (АИ). Одним из примеров такого алгоритма, является трехэтапный алгоритм сжатия предложенный и разработанный авторами, использующий вейвлет-преобразование и учитывающий междиапазонную зависимость [7]. Предварительные результаты исследований, проведенные с использованием данных различных систем ДЗЗ, показали существенное преимущество разработанного алгоритма над универсальными алгоритмами сжатия *WinRar* и *WinZip*.

В работе предлагается модификация трехэтапного алгоритма сжатия многозональных АИ, позволяющая увеличить степень сжатия в сравнении с не модифицированным аналогом и известными универсальными алгоритмами, а также рассмотреть способы, направленные на существенное увеличения вычислительной эффективности нового алгоритма.

Повышение эффективности алгоритма сжатия

Поиск путей повышения эффективности алгоритма сжатия предлагается выполнять не только на основе аналитических выводов, но и по результатам численных экспериментов, полученных с использованием многозональных АИ различных систем ДЗЗ (таблица). Для экспериментов использована ПЭВМ с процессором *Intel Pentium IV* 2,8 ГГц и объемом оперативной памяти 1 Гб под управлением операционной системы *Windows XP (SP 3)*. Все АИ представлены в формате данных растровой геоинформационной системы *Idrisi Kilimanjaro*.

Nº	Система ДЗЗ	Количество	Размер изобра-	Размер фай-
		каналов	жения, пикс.	ла, байт
1	SPOT	3	509×571	871917
2	SPOT	3	615×558	1029510
3	ADAR-5000	3	541×440	714120
4	Airphoto	3	652×694	1357464
5	Landsat-MSS	4	558×560	1249920
6	Landsat-MSS	4	480×480	921600
7	Landsat-TM	6	934×700	3922800
8	Landsat-TM	7	500×500	1750000
9	Landsat-TM	7	525×280	1029000
10	Flightline C1	12	949×220	2505360

Таблица. Характеристики тестовых данных

Трехэтапный алгоритм сжатия, использующий вейвлет-преобразование и учитывающий междиапазонную зависимость, реализован в три этапа [7]:

- вейвлет-преобразование исходных данных с получением соответствующих коэффициентов преобразования;
- расчет значений отклонений *e_i* исходных данных от значений функциональной зависимости между различными каналами АИ;
- сжатие преобразованных данных одним из известных алгоритмов.

Следует отметить, что результат расчета отклонений e_l значений каналов преобразованного изображения от функциональной зависимости на втором этапе алгоритма может зависеть от очередности расположения каналов при этом расчете. Следовательно, степень сжатия многозонального АИ также может зависеть от очередности расположения каналов. На рис. 1 приведены некоторые результаты экспериментов, полученные для АИ с различным числом каналов для всех возможных вариантов очередности обработки. Результаты, ранжированные по степени сжатия, подтверждают существование зависимости степени сжатия от очередности обработки, а также демонстрируют разницу между максимальной и минимальной степенью сжатия по результатам всех экспериментов (все возможные варианты очередности обработки) около 15...20 %.

Однако, поиск и определение априори в каждом конкретном случае «лучшей» с точки зрения степени сжатия очередности обработки каналов не является тривиальной задачей. Такой поиск требует ранжирования всех возможных вариантов очередности обработки по достигнутой степени сжатия и выборе того варианта, при котором достигнута максимально возможная степень сжатия.

Одним из способов определения комбинаций обработки каналов с максимально возможной степенью сжатия может быть перебор всех возможных комбинаций, требующий выполнения К! операций сжатия исходного изображения, и, соответственно, характеризующийся крайне существенными вычислительными затратами. Для снижения вычислительных затрат при определении наиболее «удачной» очередности обработки каналов предлагается использовать способ «усеченного» перебора данных. Суть способа заключается в последовательном увеличении числа каналов, при котором анализу на максимальную степень сжатия подвергаются сочетания из 2 по К каналов, затем из 3 по К и т. д. Причем увеличение размерности происходит на базе того сочетания, при котором достигнута максимальная степень сжатия. Алгоритм такого усеченного перебора, при условии, что V – вектор размерности К, содержащий в соответствующих позициях порядковые номера очередности обработки каналов, может быть представлен следующем образом:

Шаг 1. Задать начальную размерность подвекторов **v**_{*i*} как S=2, $i=1,2,...,C_S^{\kappa}$, где C_S^{κ} – количество сочетаний из S по K.

Шаг 2. Если S=2 сформировать из исходного вектора V все возможные подвекторы v_i с номерами очередности обработки каналов размерностью *S*.

Шаг 3. Если S>2 сформировать из подвектора \mathbf{v}_{i-} ^{тах} и каждого из оставшихся каналов вектора V все возможные подвекторы \mathbf{v}_i размерностью S.

Шаг 4. Для всех *i* выполнить сжатие трехэтапным алгоритмом с использованием очередности обработки каналов, заданной в подвекторах \mathbf{v}_i .

Шаг 5. Из всех \mathbf{v}_i найти подвектор \mathbf{v}_i^{\max} для которого степень сжатия максимальна.

Шаг 6. Если *S* < *K*-1, то *S*=*S*+1, шаг 3, иначе шаг 7. *Шаг* 7. Конец.

Результатом работы алгоритма будет подвектор **у** размерностью *К*, содержащий найденную очередность обработки каналов. Очевидно, что полученная таким способом очередность обработки каналов может отличаться от «лучшей» очередности обработки, полученной путем полного перебора вариантов, но требует при этом выполнения существенно меньшего числа операций.

Для подтверждения этого тезиса, а также для оценки степени сжатия различных АИ из тестового набора, был проведен ряд экспериментов, некоторые результаты которых отражены на рис. 2. Следует отметить, что АИ № 10 было исключено из этих экспериментов в связи с практической невозможностью обработки при полном переборе 12 каналов изображения. Полученные результаты демонстрируют преимущество усеченного перебора каналов при определении очередности обработки перед любым другим способом не только с точки зрения вычислительных затрат, но и степени сжатия (в некоторых случаях лишь немного уступая максимально возможной степени сжатия, полученной при использовании полного перебора вариантов обработки). Причем при количестве каналов изображения *К*>4 преимущество предлагаемого способа усеченного перебора становиться многократным, особенно для космических снимков большего геометрического размера (изображение \mathbb{N}_{0} 6, рис. 2, б). Однако, даже использование усеченного перебора требует при сжатии десятки секунд, что нельзя с практической точки зрения считать удовлетворительным.

Для существенного повышения вычислительной эффективности процесса определения «лучшей» очередности обработки каналов предлагается использовать способ выборочной обработки данных, при котором шаг 4 описанного выше алгоритма следует выполнять для данных не всего исходного АИ, а лишь для случайно формируемой выборки значений некоторого заданного размера.

Результаты сравнительных исследований аналогов и модифицированного алгоритма, реализующего способы усеченного перебора и выборочной обработки данных, приведены на рис. 3. Они подтверждают существенно большую эффективность использования усеченного перебора в сравнении с полным перебором при условии выборочного использования данных, а также позволяют сделать вывод о том, что для определения «лучшей» очередности обработки каналов достаточно использования выборки без потери степени сжатия, содержащей 8...10 % исходных данных. При этом достигается многократное увеличение вычислительной эффективности (в 7...40 раз). Причем более высокие показатели эффективности наблюдаются для изображений с большим количеством каналов и большим геометрическим размером. Основываясь на результатах проведенных экспериментов и выводах, примем в предложенном модифицированном алгоритме достаточным использование выборки размером 10 %.

Как следует из результатов экспериментов на рис. 4, предложенный модифицированный алгоритм сжатия позволил увеличить степень сжатия и существенно превзойти в подавляющем большинстве экспериментов универсальные алгоритмы.

 $\rightarrow N_{05} \rightarrow N_{06}$







 $-N_{\underline{0}2} \longrightarrow N_{\underline{0}3} \longrightarrow N_{\underline{0}4} \longrightarrow N_{\underline{0}5} \longrightarrow N_{\underline{0}6} \longrightarrow N_{\underline{0}7} - - N_{\underline{0}8} \cdots N_{\underline{0}9}$ No1

Рис. 2. Зависимость степени и времени сжатия от способа очередности обработки каналов при поиске необхолимого варианта

Хотя способы повышения вычислительной эффективности поиска очередности обработки каналов, реализованные в модифицированном алгоритме, позволили ее существенно увеличить, более простые с вычислительной точки зрения универсальные алгоритмы сжатия существенно превосходят модифицированный трехэтапный алгоритм в вычислительной эффективности.



Рис. 3. Зависимость степени и времени сжатия от размера выборки при полном (а,б) и при усеченном (в,г) переборе каналов



Рис. 4. Сравнительная эффективность алгоритмов сжатия

Выводы

1. Предложена модификация трехэтапного алгоритма сжатия многозональных аэрокосмических изображений, направленная на повышение степени сжатия путем использования подхода к поиску очередности обработки каналов.

2. Экспериментально подтверждена зависимость в трехэтапном алгоритме степени сжатия от очередности обработки каналов многозонального аэрокосмического изображения. Показано, что разница между максимальной и минимальной степенью сжатия по результатам всех возможных вариантов очередности обработки может составлять 15...20 %.

3. Предложены способы повышения вычислительной эффективности при поиске очередности обработки, основанные на применении усеченного перебора и выборочном использовании данных, а также определен достаточный на практике размер выборки (10 %), позволяющие многократно (в 7...40 раз) уменьшить временные затраты при поиске комбинации каналов. Преимущество способов увеличения вычислительной эффективности существенно возрастает при увеличении числа каналов многозонального аэрокосмического изображения и геометрического размера, что повышает практическую значимость предложенных способов.

4. Предложенные подход и способы положены в основу при реализации модифицированного трехэтапного алгоритма сжатия. Проведены его комплексные исследования эффективности в сравнении с универсальными алгоритмами сжатия *Win-Rar, WinZip* и *JPEG2000* на данных различных систем дистанционного зондирования Земли, показавшие превосходство над универсальными алгоритмами в эффективности сжатия 1...20 % и большие требования к времени сжатия за счет увеличенной сложности трехэтапного алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Cagnazzo M., Cicala L., Poggi G., Verdoliva L. Low-complexity compression of multispectral images based on classified transform coding // Signal Processing: Image Communication. – 2006. – № 10 (21). – P. 850–861.
- Gueguen L., Trocan M., Pesquet-Popescu B., Giros A., Datcu M. A comparison of multispectral satellite sequence compression approaches // Signals, Circuits and Systems. – 2005. – № 1. – P. 87–90.
- Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. – М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 384 с.
- Kiely A., Klimesh M., Xie H., Aranki N. ICER-3D: A Progressive Wavelet-Based Compressor for Hyperspectral Images // The Interplanetary Network Progress Report. – 2006. – P. 142–164.

- Motta G., Rizzo F., Storer J.A. Hyperspectral Data Compression. Berlin: Springer, 2006. – 415 p.
- Christopoulos C., Skodras A., Ebrahimi T. The JPEG2000 still image coding system // Signal Processing Magazine, IEEE. – 2001. – V. 18. – № 5. – P. 36–58.
- Замятин А.В., То Динь Чыонг. Сжатие многозональных аэрокосмических изображений с использованием вейвлет-преобразования и учетом междиапазонной зависимости // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 5. – С. 20–24.

Поступила: 27.10.2008 г.

УДК 004.9

ИССЛЕДОВАНИЕ СУПЕРВИЗОРНЫХ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.О. Левашкина, С.В. Поршнев

Уральский государственный технический университет, г. Екатеринбург E-mail: LevashkinaAO@yandex.ru

Описана методика, позволяющая вычислять количественные значения показателя качества сегментации изображений. В соответствии с данной методикой проведен сравнительный анализ супервизорных критериев оценки качества сегментации изображений: FOM, критерий Хаусдорфа, критерий Баддели, DKu, M, RMS, V, RI-критерий, критерий GCE, VI-критерий. Выделены критерии, которые целесообразно использовать для оценки качества алгоритмов сегментации изображений.

Ключевые слова:

Сегментация изображения, оценка качества сегментации, супервизорные критерии.

Введение

Сегментация изображений является фундаментальным процессом в системах компьютерного зрения и приложениях, выполняющих обработку и анализ графической и видеоинформации. Данная процедура используется для разделения изображения на отдельные области, которые соответствуют различным объектам реального мира. Сегментацию следует рассматривать как начальный этап построения формального описания сцены, качество выполнения которого во многом определяет успех решения задачи распознавания изображений, интерпретации и идентификации визуально наблюдаемых объектов.

На сегодняшний день известно большое количество алгоритмов сегментации изображений (АСИ), использующих различные признаки и характеристики изображений. Необходимо отметить, что при исследовании АСИ неизменно возникает две проблемы:

- выбор АСИ, соответствующего классу анализируемого изображения;
- 2. нахождение критерия, позволяющего оценивать обоснованность выбора АСИ.

Таким образом, разработка методов сравнения качества работы АСИ является актуальной задачей.

Отметим, что оценка результатов сегментации может быть проведена визуально, однако при этом окончательные выводы оказываются достаточно субъективными. Известен альтернативный подход, в котором оценка качества АСИ проводится по конечному результату работы технической системы, например в системах технического зрения. Однако данный подход является скорее качественным, поскольку в целом удовлетворительные результаты работы технической системы отнюдь не означают, что выбран наилучший АСИ.

Для количественной оценки качества сегментации сегодня разработано большое количество критериев. Известные критерии количественной оценки качества сегментации изображений можно разделить на две группы (рис. 1):

- Несупервизорные критерии, основанные на вычислении различного рода статистик, используются при отсутствии априорной информации о сегментах изображения. (В англоязычной литературе для обозначения этого класса критериев используются следующие термины: goodness criteria, unsupervised criteria, stand-alone criteria [1]).
- 2. Супервизорные критерии, основанные на вычислении меры отличия результатов сегмента-