

Автоматический выбор параметров сжатия изображений с потерями на основе инвариантных моментов при дистанционном зондировании Земли

Д.Ю. Старобинец¹, А.Д. Хомоненко^{2,1}, Н.А. Гаврилова²

¹ *Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
Санкт-Петербург, 197198, Россия
E-mail: norfox@rambler.ru*

² *Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, 190031, Россия
E-mail: khomon@mail.ru*

Предлагается подход к автоматическому выбору параметров сжатия изображений с потерями на основе оценки инвариантных моментов. Выбор параметров выполняется применительно к дискретному косинусному преобразованию и вейвлет-преобразованию в составе алгоритмов сжатия JPEG и JPEG 2000. В качестве критерия оценки качества изображений используется возможность распознавания в сжатом изображении объектов, которые могли быть распознаны в исходном изображении. Для оценки качества сжатого изображения ранее использовался экспертный подход, который заключается в оценке возможности визуального распознавания контролируемых объектов экспертом вручную. Для автоматизации анализа качества сжатого изображения рассчитываются семь инвариантов моментов для фрагментов изображения, которые инвариантны относительно переносов, осевой симметрии, поворотов, а также растяжений и сжатий. Показано, что для каждого класса изображений можно задать показатель точности соответствия инвариантов моментов эталону. Он устанавливает значащий разряд для каждого из инвариантов, по изменению которого можно сделать вывод о наличии эталонного объекта на фрагменте изображения. Параметры определяются из условий получения минимального объема сжатого файла при заданных требованиях к качеству изображения. Приводятся численные примеры определения параметров сжатия изображений, получаемых при дистанционном зондировании Земли.

Ключевые слова: сжатие изображений, инвариантные моменты, дискретное косинусное преобразование, вейвлет-преобразование, JPEG, JPEG2000, дистанционное зондирование Земли

*Одобрена к печати: 07.07.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-5-26-36*

Введение

Алгоритмы сжатия изображений с потерями, такие как дискретное косинусное преобразование, вейвлет-преобразование, позволяют обеспечить существенно более высокую степень сжатия по сравнению с алгоритмами сжатия без потерь, например, арифметического сжатия и Хаффмана. Однако существенным ограничением алгоритмов сжатия изображений с потерями может быть недопустимость снижения качества изображений ниже допустимого уровня при решении ряда практических задач.

К числу таких задач можно отнести, например, задачи распознавания объектов изображения при дистанционном зондировании Земли: проведении воздушного или космического мониторинга и разведки местности, наблюдения за объектами железнодорожного, водного и автомобильного транспорта и т.п. (Шовенгердт, 2010). При решении перечисленных задач проводится фотографирование (или видеосъемка) местности, полученные изображения требуется сжать и передать на Землю для последующей обработки (Алтухов, Дудин, Титков, 2009). В такой ситуации целесообразно выполнить автоматическое определение параметров сжатия изображений, чтобы добиться наилучшего соотношения качества и степени сжатия изображения.

Дискретное косинусное преобразование

Дискретное косинусное преобразование (ДКП) представляет собой один из наиболее распространенных методов сжатия изображений с потерями. ДКП применяется как составная часть конвейерного алгоритма сжатия изображений JPEG. Суть метода заключается в том, что при прямом преобразовании выполняется вычисление косинусных коэффициентов. При обратном преобразовании большая часть вычисленных при прямом преобразовании коэффициентов отбрасывается. Но при этом большой потери качества изображения не происходит.

Метод дает хорошие результаты для изображений с плавным изменением цветов для соседних пикселей. Процедура ДКП выполняется по одному или двум измерениям. В двумерном случае прямое преобразование исходной матрицы V размером N в матрицу коэффициентов T выполняется по формулам вида (Миано, 2003):

$$T[i, j] = c(i, j) \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} V[n, k] \cos \frac{(2n+1)i\pi}{2N} \cos \frac{(2k+1)j\pi}{2N}, \quad i, j = 0, \dots, N-1,$$

где $c(i, j) = 1/N$, $i = 0$ или $j = 0$; $c(i, j) = 2/N$, $i \neq 0, j \neq 0$.

В двумерном случае обратное преобразование матрицы коэффициентов T в матрицу V размером N выполняется с помощью соотношений вида:

$$V[n, k] = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} c(i, j) T[i, j] \cos \frac{(2n+1)i\pi}{2N} \cdot \cos \frac{(2k+1)j\pi}{2N}, \quad n, k = 0, \dots, N-1.$$

В двумерном случае ДКП удобно выполнять в матричном виде. Прямое преобразование при этом записывается в виде $T = MVM^T$. Соответственно, обратное дискретное косинусное преобразование записывается в виде $V = M^T T M$.

При реализации ДКП в алгоритме JPEG изображение разбивается на блоки размером 8×8 , V представляет собой матрицу размером 8×8 , а M есть матрица вида (Миано, 2003):

$$M = \begin{vmatrix} 1/\sqrt{8} & 1/\sqrt{8} & \dots & 1/\sqrt{8} \\ \frac{1}{2} \cos \frac{1}{16} \pi & \frac{1}{2} \cos \frac{3}{16} \pi & \dots & \frac{1}{2} \cos \frac{15}{16} \pi \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{2} \cos \frac{7}{16} \pi & \frac{1}{2} \cos \frac{21}{16} \pi & \dots & \frac{1}{2} \cos \frac{105}{16} \pi \end{vmatrix}.$$

Перед проведением обратного преобразования выполняется поиск коэффициентов ДКП, вклад которых в изображение минимален и которые можно отбросить. В случае применения ДКП в составе JPEG для этой цели используется квантование. Для определения значений квантов в формате JPEG используется массив из 64 элементов, называемый таблицей квантования (округления).

Для каждого элемента матрицы ДКП существует соответствующий элемент матрицы округления. Результирующая матрица получается делением каждого элемента матрицы дискретного косинусного преобразования на соответствующий элемент матрицы округления и последующим округлением результата до ближайшего целого числа.

При использовании матрицы квантования с большими коэффициентами получается больше нулей и, следовательно, большая степень сжатия. От выбора матрицы округления зависит баланс между степенью сжатия изображения и его качеством после восстановления. Стандарт JPEG позволяет использовать любую матрицу округления, однако ISO (International Organization for Standardization — Международная организация по стандартизации, ИСО) разработала набор матриц округления.

Вейвлет-преобразование

Вейвлет-преобразование представляет собой разложение производного входного сигнала на новый базис в виде совокупности волновых пакетов — вейвлетов (Уэлстид, 2003). В стандарте JPEG 2000 определены два вейвлет-фильтра — фильтр Добеши для сжатия с потерями и биортогональный фильтр для сжатия без потерь. Стандартом JPEG 2000 разрешается применение любых фильтров и определено, что вейвлет-преобразование осуществляется на основе алгоритма, известного как лифтинговая схема.

Предположим, что имеем изображение в виде последовательности входных данных $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ для $n > 0$. Рассмотрим взвешенное среднее вида: $c_0x_1 + c_1x_2 + \dots + c_{N-1}x_N$ для $N \geq 2$. Аналогом простой операции вычитания будет выражение $c_1x_1 - c_0x_2 + c_3x_3 - c_2x_4 + \dots$. Такой выбор приводит к свойству ортогональности вида:

$$(c_0, c_1, c_2, c_3, \dots) \cdot (c_1, -c_0, c_3, -c_2, \dots) = 0.$$

В вейвлетах Добеши, см. (Уэлстид, 2003), множество коэффициентов $C = (c_3, -c_2, c_1, -c_0)$ выбрано так, чтобы их линейная комбинация с векторами $(1, 1, 1, 1)$ и $(1, 2, 3, 4)$ была равна нулю:

$$c_3, -c_2, c_1, -c_0 = 0; c_3, -2c_2, 3c_1, -4c_0 = 0. \quad (1)$$

Условие (1) исключает нулевые и первые моменты. Это означает, что постоянная и линейная часть сигнала может быть значительно сжата. Вейвлеты Добеши очень хорошо подходят для сжатия изображений с большими гладкими областями.

При сжатии изображения сначала применяется вейвлет-преобразование, затем из данных преобразованного изображения удаляются некоторые коэффициенты. К оставшимся коэффициентам может быть применено кодирование. Сжатое изображение восстанавливается декодированием коэффициентов и применением обратного преобразования. В качестве недостатка метода можно отметить, что восстановленное изображение может быть размытым

(нечетким), что определяется выбранными вейвлетами, пороговыми значениями, а также структурой самого изображения.

Оценка качества изображений

Выбор параметров сжатия изображений с потерями напрямую связан с оценкой качества полученного изображения. Таким образом, для автоматизации выбора параметров сжатия изображений необходимо провести предварительный анализ исходного изображения и оценку качества полученного изображения.

Как правило, все известные показатели и критерии имеют заметные недостатки. Так, показатель *максимальное отклонение*, определяемый выражением вида $d(x, y) = \max(x_{ij} - y_{ij})$, $i, j = 1, \dots, n$, чувствителен к изменению отдельных пикселей. К примеру, в изображении может существенно измениться значение одного пикселя (что почти незаметно для глаза), однако, согласно этой мере, изображение будет сильно испорчено.

Показатель *среднеквадратичное отклонение значений пикселей*: $d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1, j=1}^{n, m} (x_{ij} - y_{ij})^2 / n^2}$ указывает на низкое качество изображения при понижении яркости всего на 5% (глаз этого не заметит — у мониторов настройка яркости варьируется сильнее). При этом изображения со «снегом» — резким изменением цвета отдельных точек, слабыми полосами или «муаром» — будут признаны «почти не изменившимися».

Часто используемый показатель *отношение сигнала к шуму* определяется выражением вида:

$$d(x, y) = \frac{10 \log_{10} 255^2 n^2}{\sum_{i=1, j=1}^{n, m} (x_{ij} - y_{ij})^2}.$$

По сути, он аналогичен среднеквадратичному отклонению с присущими ему недостатками, но пользоваться им удобнее благодаря логарифмическому масштабу шкалы.

Лучше всего потери качества изображений оценивают глаза человека. Отличным считается сжатие, при котором невозможно на глаз различить первоначальное и распакованное изображения. Хорошим считается сжатие, при котором определить, какое из изображений подвергалось сжатию, можно только сравнивая два находящиеся рядом изображения.

Выбор параметров сжатия на основе статистических свойств изображений

Хорошим критерием оценки качества изображений может служить *возможность распознавания в сжатом изображении объектов*, которые могли быть распознаны в исходном изображении. В работе (Хомоненко, Старобинец, Уваров, 2012) для оценки качества сжатого

изображения использовался *экспертный* подход, который заключается в оценке возможности визуального распознавания контролируемых объектов экспертом вручную. Ключевым фактором выбора параметров сжатия изображений на основе их статистических свойств является лучший коэффициент сжатия изображений с плавным изменением яркости пикселей.

При представлении изображения в формате RGB каждый пиксель имеет три составляющие: красную, зеленую и синюю. Для смежных пикселей RGB-изображения усредненный показатель яркости вычисляется по формуле:

$$D(x, y, i, j) = \frac{|R(I_{xy}) - R(I_{ij})| + |G(I_{xy}) - G(I_{ij})| + |B(I_{xy}) - B(I_{ij})|}{3}.$$

Здесь I — матрица пикселей изображения; R, G, B — функции для определения красной, зеленой и синей составляющих пикселя соответственно; x, y, i, j — координаты исходного пикселя; i, j — координаты соседнего пикселя.

Для смежных пикселей изображения выполняется расчет элементов матрицы усредненных коэффициентов разности (яркости пикселей):

$$C(i, j) = \frac{D(i, j, i-1, j) + D(i, j, i, j-1) + D(i, j, i+1, j) + D(i, j, i, j+1)}{4}.$$

В итоге рассчитывается средний коэффициент межпиксельной взаимосвязи изображения:

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1, j=1}^{n, k} C(i, j)}{nk}. \quad (2)$$

Этот коэффициент характеризует основное статистическое свойство изображения, учитываемое при автоматическом определении степени его сжатия. В качестве альтернативного показателя характеристических свойств изображений могут использоваться энтропийные оценки (Гонсалес, Вудс, Эддинс, 2006).

Для повышения точности определения степени сжатия изображений (по сравнению с подходом в работе (Хомоненко, Старобинец, Уваров, 2012)) в настоящей статье предлагается использовать оценку близости инвариантных моментов изображения до и после сжатия.

Выбор параметров сжатия изображений на основе инвариантных моментов

В работе (Хомоненко, Старобинец, Уваров, 2012) оценка качества полученного при сжатии изображения с потерями производилась экспертным методом без использования автоматизированных методов и средств распознавания объектов и оценки качества. Полученный

результат в значительной степени зависит от разрешения изображения, а также от размера распознаваемого объекта и средств распознавания.

Для определения оптимальной степени сжатия изображений с потерями предлагается использовать распознавание объектов в составе изображения с помощью семи инвариантов моментов (Жигалко, 2015; Ну, 1962). Подход можно использовать для определения степени сжатия в целях оптимальной передачи изображения от источника к приемнику.

В исследовании используются изображения реальных объектов, снятых космическим аппаратом. Для всех выделенных объектов вычисляются двумерные моменты порядка $(p + q)$:

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y),$$

где $f(x, y)$ — исходное изображение.

Чтобы моменты обладали инвариантностью к сдвигу изображения, определяются центральные моменты:

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y),$$

где $\bar{x} = m_{10}/m_{00}$, $\bar{y} = m_{01}/m_{00}$ — координаты тяжести.

Центральные моменты нормируются для обеспечения инвариантности к масштабированию изображения:

$$\mu_{pq} = \frac{m_{pq}^\gamma}{m_{00}^\gamma}, \quad \gamma = \frac{p+q}{2} + 1.$$

В работе (Ну, 1962) сформированы семь функций центральных моментов, которые инвариантны относительно сдвигов, вращений и масштабирования. Центральный момент изображения $f(x, y)$ задается выражением вида (Гонсалес, Вудс, Эддинс, 2006):

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y),$$

где $\bar{x} = m_{10}/m_{00}$, $\bar{y} = m_{01}/m_{00}$.

Нормированный центральный момент порядка $(p + q)$ рассчитывается по формуле:

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma}, \quad \gamma = \frac{p+q}{2} + 1.$$

При анализе качества сжатого изображения рассчитываются следующие семь инвариантов моментов для фрагментов изображения, которые инвариантны относительно переносов, осевой симметрии, поворотов, а также растяжений и сжатий (Гонсалес, Вудс, Эддинс, 2006; Ну, 1962):

$$\Phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02},$$

$$\varphi_2 = (\eta_{20} + \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2,$$

$$\varphi_3 = (\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21}^2 - \eta_{03})^2,$$

$$\varphi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2,$$

$$\varphi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12}) \cdot (\eta_{30} + \eta_{12}) \cdot \left((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right) + \\ + (3\eta_{21} - \eta_{03}) \cdot (\eta_{21} + \eta_{03}) \cdot \left(3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right),$$

$$\varphi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02}) \cdot \left((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right) + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}),$$

$$\varphi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03}) \cdot (\eta_{30} + \eta_{12}) \cdot \left((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right) - \\ - (\eta_{30} - 3\eta_{12}) \cdot (\eta_{21} + \eta_{03}) \cdot \left(3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right).$$

Полученные инварианты сравниваются с инвариантами эталонного объекта, если значения отклоняются от значения эталона не более чем на заданную величину:

$$\delta_i \leq \delta_i^{зад}, i = 1, \dots, 7, \quad (3)$$

считается, что объект распознан.

Результаты эксперимента

В ходе эксперимента рассмотрено исходное изображение (рис. 1), сжатое с различными степенями, рассчитаны инварианты моментов (табл. 1) для фрагментов этого изображения и обоснована оптимальная степень сжатия.

Таблица 1. Инварианты моментов и выбор степени сжатия

Инварианты моментов	Исходный фрагмент	Сжатый фрагмент, %				Фрагмент, не содержащий эталонный объект
		50	20	10	5	
1	6,9564	6,9567	6,9559	6,9580	6,9584	7,0687
2	18,2585	18,2594	18,2666	18,1715	18,2502	16,6739
3	26,6805	26,6832	26,6940	26,7550	26,9149	31,0963
4	29,2964	29,3088	29,3132	29,1020	29,3870	30,7537
5	57,4693	57,4613	57,5171	57,6440	57,8728	64,0778
6	38,4771	38,5036	38,4888	38,1893	38,5311	39,7219
7	58,2307	58,4032	58,1946	57,3305	58,0898	61,6835

Для каждого класса изображений можно задать показатель точности соответствия инвариантов моментов эталону. Он устанавливает значащий разряд для каждого из инвариантов,

по изменению которого можно сделать вывод о наличии эталонного объекта на фрагменте изображения.

Из *табл. 1* видно, что фрагмент, не содержащий эталонный объект, имеет существенно большие отклонения инвариантов моментов от эталонного значения по сравнению с отклонениями инвариантов для сжатых фрагментов, содержащих этот объект. Требуемые значения точности соответствия инвариантов моментов эталону для изображений на *рис. 1* приведены в *табл. 2*.

Таблица 2. Требуемая точность соответствия инвариантов моментов эталону

Инварианты моментов, i	1	2	3	4	5	6	7
Требуемая точность $\delta_i^{зад}$	0,001	0,01	0,01	0,1	0,1	1,0	1,0

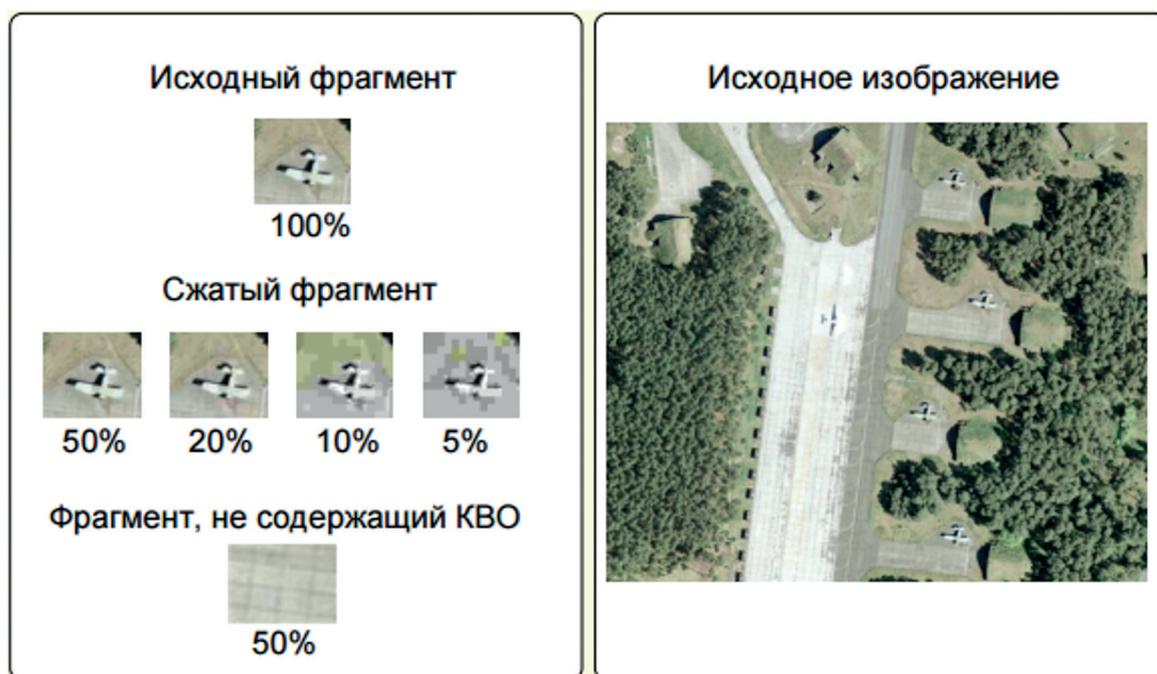


Рис. 1. Исходное изображение и его фрагменты с различной степенью сжатия

Выбор коэффициента сжатия на основе инвариантов моментов при различных степенях сжатия состоит в проверке значащих разрядов каждого из семи инвариантов для всех коэффициентов сжатия (*табл. 1*). Выбирается максимальный коэффициент сжатия, при котором значащие разряды всех инвариантов моментов соответствуют инвариантам моментов эталона — выполняется условие (3). Для приведенного примера максимальный коэффициент сжатия будет равен 50%.

Вычислительная сложность расчета всех инвариантов моментов составляет несколько сотен операций для каждого пиксела. Поскольку задача распознавания объекта с использованием инвариантов моментов требует значительных вычислительных ресурсов, ее решение на борту космического аппарата (КА) может быть затруднительно. Используя комбинацию методов распознавания объекта с помощью инвариантов моментов и определения коэффициента (2)

межпиксельной взаимосвязи, можно определить оптимальный коэффициент сжатия изображения по результатам ДЗЗ. С помощью наземных средств обработки информации проводится выбор коэффициента сжатия на основе инвариантов моментов и расчет коэффициента межпиксельной взаимосвязи для эталонного изображения.

По результатам расчетов устанавливается диапазон коэффициента межпиксельной взаимосвязи, соответствующий выбранному коэффициенту сжатия для заданного класса изображений (в примере *табл. 3*).

Таблица 3. Оптимальные значения коэффициентов сжатия

Коэффициент межпиксельной взаимосвязи изображения \bar{K}	Качество JPEG-изображения, %				
	5	10	20	50	80
<3	+				
3–6		+			
6–10			+		
10–15				+	
>16					+

По результатам анализа формируется матрица соответствий диапазонов коэффициентов межпиксельной взаимосвязи и оптимальных коэффициентов сжатия для заданного класса изображений, которая передается на борт КА (*табл. 3*). Для приведенного примера выбранному коэффициенту сжатия 50% ставится в соответствие диапазон коэффициента межпиксельной взаимосвязи изображения, равный 10–15. Вычислительная сложность расчета коэффициента межпиксельной взаимосвязи составляет несколько десятков операций для каждого пикселя изображения, что существенно меньше вычислительной сложности расчета инвариантов моментов, поэтому расчет коэффициента межпиксельной взаимосвязи может быть осуществлен на борту КА. Таким образом, при выборе оптимального коэффициента сжатия на борту КА проводится расчет коэффициента межпиксельной взаимосвязи полученного изображения, при этом степень сжатия выбирается с учетом диапазона коэффициента межпиксельной взаимосвязи для заданного класса изображений.

Заключение

Предложенный подход позволяет на основании расчета коэффициентов межпиксельной взаимосвязи и оценки близости инвариантных моментов изображения объекта до и после сжатия автоматически подбирать оптимальную степень сжатия, при которой искомый объект на изображении будет гарантированно обнаружен с использованием стандартных методов.

За рамками статьи остался вопрос выделения контуров распознаваемых объектов, решение которого подробно рассматривается в статье (Петров, Харина, Чукаев, 2016). Для дальнейшего улучшения степени сжатия изображений целесообразно выполнение сегментации снимков, см., например, работу (Иванов, 2016).

Литература

1. Алтухов А.И., Дудин Е.А., Титков Б.В. Технология компрессии изображений больших размеров // Научно-технич. ведомости Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-та. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. № 72. С. 46–51.
2. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс Р. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. М.: Техносфера, 2006. 616 с.
3. Жигалко Е.Ф. Особенность асимптотических свойств интегральных инвариантов // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2015. № 4 (4). С. 55–58.
4. Иванов Е.С. Некоторые приложения сегментации снимков ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 105–116.
5. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учебное пособ. М.: Триумф, 2003. 336 с.
6. Петров Е.П., Харина Н.Л., Чукаев К.Н. Метод выделения контуров объектов на спутниковых снимках минимальными вычислительными ресурсами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 304–311.
7. Уэлтид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии: учебное пособ. М.: Триумф, 2003. 320 с.
8. Хомоненко А.Д., Старобинец Д.Ю., Уваров В.А. Выбор параметров сжатия изображений с потерями на основе их характеристических свойств // Известия Петербург. ун-та путей сообщения. 2012. Вып. 4 (33). С. 78–85.
9. Шовенгердт Р. Дистанционное зондирование: Методы и модели обработки изображений. М.: Техносфера. 2010. 560 с.
10. Ну М. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants // IRE Trans. Information Theory. 1962. Vol. 8. P. 179–187.

Automatic selection of image compression parameters with losses based on invariant moments for Earth remote sensing purposes

D.Yu. Starobinets¹, A.D. Khomonenko^{2,1}, N.A. Gavrilova²

¹ *A.F. Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg 197198, Russia
E-mail: norfox@rambler.ru*

² *Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, Saint Petersburg 190031, Russia
E-mail: khomon@mail.ru*

An approach is proposed to automatically select parameters for compressing images with losses based on the evaluation of invariant moments. The choice of parameters is carried out with respect to discrete cosine transform and wavelet transformation as part of JPEG and JPEG2000 compression algorithms. The criterion for assessing the quality of images is the ability to recognize in the compressed image the objects that could be recognized in the original image. To assess the quality of the compressed image, an expert approach was previously used, which consists in evaluating the possibility of visual recognition of controlled objects by an expert manually. To automate the analysis of the quality of the compressed image, seven invariant moments are calculated for image fragments that are invariant with respect to transfers, axial symmetry, rotations, and also tensile and contractions. It is shown that for each class of images it is possible to specify an index of the accuracy of the correspondence of the invariants of moments to the standard. It sets a significant digit for each of the invariants, by the change of which we can conclude that there is a reference object on the image fragment. The parameters are determined from the conditions for obtaining the minimum volume of the compressed file with the given quality requirements for the image. Numerical examples of definition of compression parameters of Earth remote sensing images are presented.

Keywords: image compression, invariant moments, discrete cosine transform, wavelet transform, JPEG, JPEG2000 algorithms, remote sensing of the Earth

*Accepted: 07.07.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-5-26-36*

References

1. Altukhov A.I., Dudin E.A., Titkov B.V., Tekhnologiya kompressii izobrazhenii bol'shikh razmerov (Fair-sized images compression technology), *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie*, 2009, No. 72, pp. 46–51.
2. Gonsales R., Vuds R., Eddins R., *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii v srede Matlab* (Digital image processing in Matlab environment), Moscow: Tekhnosfera, 2006, 616 p.
3. Zhigalko E.F., Osobennost' asimptoticheskikh svoystv integral'nykh invariantov (A Singularity of Integral Moment Invariants), *Intellektual'nye tekhnologii na transporte*, 2015, No. 4 (4), pp. 55–58.
4. Ivanov E.S., Nekotorye prilozheniya segmentatsii snimkov DZZ (Some applications of segmentation of pictures *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 1, pp. 105–116.
5. Miano Dzh., *Formaty i algoritmy szhatiya izobrazhenii v deistvii* (The formats and image compression algorithms in action), Moscow: Triumph, 2003, 336 p.
6. Petrov E.P., Kharina N.L., Chukaev K.N., Metod vydeleniya konturov ob"ektov na sputnikovykh snimkakh minimal'nymi vychislitel'nymi resursami (The method of allocation of contours of objects in satellite images minimal computing resources), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 5, pp. 304–311.
7. Uelstid S., *Fraktaly i veivlety dlya szhatiya izobrazhenii v deistvii* (Fractals and wavelets for image compression in action), Moscow: Triumph, 2003, 320 p.
8. Khomonenko A.D., Starobinets D.Y., Uvarov V.A., Vybory parametrov szhatiya izobrazhenii s poteryami na osnove ikh kharakteristicheskikh svoystv (Selecting the image compression settings to losses on the basis of their characteristic properties), *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya*, 2012, Vol. 4 (33), pp. 78–85.
9. Shovengerdt R., *Distantsionnoe zondirovanie. Metody i modeli obrabotki izobrazhenii* (Remote sensing. Methods and image processing model), Moscow: Tekhnosfera, 2010, 560 p.
10. Hu M., Visual Pattern Recognition by Moment Invariants, *IRE Trans. Information Theory*, 1962, Vol. 8, pp. 179–187.