

УДК 004:627

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ УНИТАРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В АЛГОРИТМАХ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

кандидат технических наук, доцент, Ломоносов Ю. В.

Национальный юридический университет имени Ярослава Мудрого,
Украина, Харьков

На современном этапе, развитие информационных систем хранения, обработки и передачи мультимедийных данных невозможно без использования методов сжатия, которые требуют корректного сравнения на базе анализа эффективности основных унитарных преобразований.

Проведен статистический анализ эффективности основных унитарных преобразований, которые используются в алгоритмах сжатия изображений. Отмечается, что одним из наиболее эффективных преобразований является преобразование Карунена-Лозва, которое обладает свойством полной декорреляции коэффициентов. Однако в действующих форматах сжатия изображений используется наиболее близкое по характеристикам преобразование с дальнейшим квантованием коэффициентов.

Ключевые слова: унитарные преобразования, декорреляция коэффициентов, квантование коэффициентов, статистический анализ, сжатие изображений.

Кандидат технічних наук, доцент, Ломоносов Ю. В. Аналіз ефективності унітарних перетворень в алгоритмах стиску зображень / Національний юридичний університет імені Ярослава Мудрого, Україна, Харків.

На сучасному етапі, розвиток інформаційних систем зберігання, обробки і передачі мультимедійних даних неможливий без

використання методів стиснення, які вимагають коректного порівняння на базі аналізу ефективності основних унітарних перетворень.

Проведений статистичний аналіз ефективності основних унітарних перетворень, які використовуються в алгоритмах стиснення зображень. Наголошується, що одним з найбільш ефективних перетворень є перетворення Карунена-Лоева, яке володіє властивістю повної де-кореляції коефіцієнтів. Проте у форматах стиснення зображень, що діють, використовується найбільш близьке за характеристиками перетворення з подальшим квантуванням коефіцієнтів.

Ключові слова: унітарні перетворення, де-кореляція коефіцієнтів, квантування коефіцієнтів, статистичний аналіз, стиснення зображень.

PhD, Associate Professor, Lomonosov Yu.V. Analysis of the effectiveness of unitary transformations in image compression algorithms/ Yaroslav Mudryi National Law University, Ukraine, Kharkiv

At the present stage, the development of information systems storage, processing and transmission of multimedia data is impossible without the use of compression techniques, which require a correct comparison on the basis of analysis of the effectiveness of the fundamental unitary transformations.

A statistical analysis of the effectiveness of the fundamental unitary transformations, which are used in image compression algorithms. It is noted that one of the most effective transformation is the Karhunen-Loeve transformation, which has the property of full de-correlation coefficients. However, in the existing image compression formats used by the most similar characteristics with further conversion of the quantization coefficients.

Keywords: unitary transformation, de-correlation coefficients, quantization coefficients, statistical analysis, image compression.

Постановка проблемы. Быстрое развитие компьютерных систем и систем телекоммуникаций приводит к возникновению необходимости постоянного развития и модификации методов и алгоритмов сжатия данных. Среди всех видов мультимедийных данных наиболее распространенными являются графические изображения. Специфика современных графических форматов заключается в поиске и применении наиболее эффективных преобразований, а так же способов представления данных при формировании результирующего потока и рассматривать эти задачи необходимо комплексно. Поэтому эффективное функционирование и развитие систем хранения, обработки, передачи мультимедийной информации невозможно без использования методов сжатия, которые требуют корректного сравнения на базе анализа эффективности основных унитарных преобразований.

Анализ литературы. Цитируемая литература в основном состоит из работ, в которых наиболее полно и ясно изложено то или иное направление в области сжатия данных. К сожалению, законченного сравнительного анализа основных преобразований в алгоритмах сжатия данных, для тестовых изображений, отвечающих современному состоянию полностью не приводится [1-9].

Цель статьи. Провести статистический анализ и сопоставить эффективность унитарных преобразований методов сжатия данных с целью более точного прогноза количественных результатов сжатия.

Многие алгоритмы сжатия изображений основаны на применении к изображению какого-либо ортогонального преобразования и последующего квантования. Степень сжатия изображения и его

качество зависят от обоих этих этапов. А, главное, от их согласованности с типом сжимаемого изображения, который можно охарактеризовать статистическими свойствами последнего. Среди основных известных преобразований, преобразование Карунена-Лоэва является единственным унитарным преобразованием, в котором достигается полная декорреляция коэффициентов для произвольного изображения. В других преобразованиях между коэффициентами преобразования остается некоторая остаточная корреляция [1, 2]. Кроме того, преобразование Карунена-Лоэва обеспечивает наибольшую среди всех унитарных преобразований степень концентрации энергии спектра преобразования. К сожалению, его коэффициенты не фиксированы, а зависят от исходных данных. Вычисление этих коэффициентов (собственных векторов ковариационной матрицы) делается медленно, как и нахождение самих преобразованных величин. Поскольку преобразование зависит от исходных данных, приходится сохранять его коэффициенты в сжатом файле.

Путем численного моделирования был проведен анализ эффективности того или иного преобразования по критерию неравномерности распределения дисперсий коэффициентов преобразования, а также их остаточной корреляции для широкого класса тестовых изображений, которые традиционно используются для сравнительного анализа алгоритмов сжатия данных [1, 2, 6, 7, 8].

В таблице 1. представлены значения среднеквадратической ошибки и соответствующего коэффициента сжатия для рассматриваемых преобразований и классов изображений после отбрасывания определенного количества дисперсий при обратном z-сканировании.

Как и следовало ожидать, наилучшим с точки зрения минимизации среднеквадратической ошибки, равной сумме отброшенных дисперсий, является преобразование Каррунена-Лоэва (KL), которое одновременно полностью декоррелирует исходные данные, то есть ковариационная матрица в результате этого преобразования является диагональной.

Рассмотренные преобразования (KL – Каррунена-Лоэва, Cos – дискретное косинусное преобразование (DCT), Haar – преобразование Хаара) можно упорядочить по эффективности следующим образом: $KL \geq Cos > Haar$.

Полученные результаты достаточно хорошо согласуются с данными других исследователей, которые для анализа в качестве статистической модели изображения выбирали двумерный марковский процесс первого порядка или те же тестовые изображения [7, 9]. Таким образом, дисперсионный критерий дает возможность предсказать (спрогнозировать) относительное качество различных ортогональных преобразований при сжатии данных и изображений.

Квантование и кодирование коэффициентов преобразований.

Эффективность JPEG-кодирования изображений, связанная с усечением разложений, является функцией числа и относительной важности отбрасываемых коэффициентов преобразования, а также точности (квантования) используемой для представления значений сохраняемых коэффициентов. Квантование является тем звеном обработки, на котором JPEG вносит потери.

Таблица 1

Значение ошибки и коэффициента сжатия при отбрасывании различного числа дисперсий

Тип преобразования	Кол-во отброшенных дисперсий	15	28	40	50
	Кол-во оставленных дисперсий	49	36	24	14
	Теоретический коэффициент сжатия	1,306	1,778	2,667	4,571

KL	Сумма отброшенных дисперсий	Zelda	0,0012	0,003	0,008	0,017
		Lena	0,0014	0,004	0,010	0,022
		Cameraman	0,0019	0,006	0,015	0,03
		peppers	0,0009	0,003	0,009	0,024
		pechat	0,0144	0,037	0,080	0,162
		boat	0,0010	0,004	0,013	0,031
Cos	Сумма отброшенных дисперсий	Zelda	0,0019	0,005	0,011	0,021
		Lena	0,0025	0,007	0,015	0,028
		Cameraman	0,0030	0,009	0,021	0,037
		peppers	0,0024	0,006	0,015	0,032
		pechat	0,0171	0,048	0,100	0,172
		boat	0,0015	0,006	0,017	0,035
Haar	Сумма отброшенных дисперсий	Zelda	0,0041	0,007	0,018	0,037
		Lena	0,0040	0,008	0,021	0,047
		Cameraman	0,0082	0,015	0,033	0,058
		peppers	0,0097	0,018	0,039	0,075
		pechat	0,0514	0,095	0,189	0,311
		boat	0,0090	0,017	0,04	0,075

Таблица квантования может быть взята по умолчанию или формируется кодером для конкретной статистики изображения и передается декодеру вместе со сжатыми данными. В стандарте JPEG на базе дискретного косинусного преобразования для цветных изображений разработаны таблицы квантования сигналов яркости и цветности, которые рекомендуются к использованию по умолчанию, но использование которых не является строго предписанным.

Они были получены опытным путем на основе психофизических тестов [9] и имеют общую тенденцию - с ростом пространственной частоты коэффициенты косинусного преобразования квантуются все более грубо. Такое квантование отражает то важнейшее свойство зрительной системы, что с ростом пространственной частоты падает ее контрастная характеристика чувствительности, а значит, отсутствует необходимость передавать составляющие этих частот с большой точностью. Таблица учитывает также анизотропию этой характеристики – в диагональном направлении значения факторов квантования еще более велики [5, 6, 7, 8, 9]. Элементы матрицы коэффициентов нормализации могут масштабироваться, обеспечивая тем самым многообразие уровней сжатия.

На рис. 1 приведены визуальные примеры некоторых исходных и восстановленных тестовых изображений после соответствующих преобразований.



а) JPEG-Cos (DCT) CKO=12% K=21



б) JPEG-Cos (DCT) CKO=12% K=15



в) JPEG-Cos (DCT) CKO=12% K=17,5



г) JPEG-Cos (DCT) СКО=12% K=15,8-17,1

Рис. 1. Примеры исходных и восстановленных тестовых изображений:

а) Zelda; б) Lena; в) Kameraman; г) Boat.

Выводы.

Путем численного моделирования был проведен анализ эффективности сжимающих свойств основных ортогональных преобразований с использованием критерия неравномерности распределения дисперсий коэффициентов, а также их остаточной корреляции для широкого класса тестовых изображений. Установлено, что наилучшим является преобразование КЛ. Однако в пространстве квантованных коэффициентов полной цепочки JPEG-кодирования преимущества преобразования КЛ для некоторых классов изображений, по сравнению с косинусным преобразованием, полностью утрачивается.

Выявлено, что преобразование КЛ при малых значениях среднеквадратической ошибки (СКО - 0,06) на изображении Zelda.bmp дает выигрыш в сжатии по сравнению с JPEG-DCT в 44 %, и затем с ростом СКО это преимущество уменьшается, так, на изображении Lena.bmp степень сжатия становится практически одной и той же. Дисперсионный же критерий оценки сжимающих свойств того или

инного преобразования по сравнению с преобразованием КЛ всегда лучше у последнего. Поэтому количественные оценки эффективности разрабатываемых алгоритмов кодирования реалистичных изображений рекомендуется делать на основе обобщенной модели технологической среды сжатия данных, учитывающей этапы квантования коэффициентов преобразований [8]

Литература:

1. Ахмед Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К. Р. Рао. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
2. Ватанабе С. Разложение Каруненна-Лозва и факторный анализ / С. Ватанабе // Автоматический анализ сложных изображений. – М.: Мир, 1969. – С. 254-275.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1964. – 576 с.
4. Купер Дж. Вероятностные методы анализа сигналов и систем / Дж. Купер, К. Макгиллем / Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
5. Претт У. Цифровая обработка изображений / У. Претт / Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2. – 480 с.
6. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин – М.: Диалог-Мифи, 2002. – 384 с.
7. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
8. Иванов В.Г. Фурье и вейвлет-анализ изображений в плоскости JPEG-технологий / В.Г. Иванов, Ю.В. Ломоносов, М.Г. Любарский // Проблемы управления и информатики. – 2004. – № 5. – С. 111-124.
9. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

References:

1. Akhmed N. *Ortogonalnye preobrazovaniya pri obrabotke tsifrovyykh signalov* / N. Akhmed, K.R. Rao. – M.: Svyaz, 1980. – 248 s.
2. Vatanabe S. *Razlozhenie Karunenna-Loeva i faktornyy analiz* / S. Vatanabe // *Avtomaticheskiy analiz slozhnykh izobrazheniy*. – M.: Mir, 1969. – S. 254-275.
3. Venttsel Ye.S. *Teoriya veroyatnostey* / Ye. S. Venttsel – M.: Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1964. – 576 s.
4. Kuper Dzh. *Veroyatnostnye metody analiza signalov i sistem* / Dzh. Kuper, K. Makgillem / Per. s angl. – M.: Mir, 1989. – 376 s.
5. Prett U. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* / U. Prett / Per. s angl. – M.: Mir, 1982. – Kn. 2. – 480 s.
6. Vatolin D. *Metody szhatiya dannykh. Ustroystvo arkhivatorov, szhatie izobrazheniy i video* / D. Vatolin, A. Ratushnyak, M. Smirnov, V. Yukin – M.: Dialog-Mifi, 2002. – 384 s.
7. Selomon D. *Szhatie dannykh, izobrazheniy i zvuka* / D. Selomon – M.: Tekhnosfera, 2004. – 368 s.
8. Ivanov V.G. *Fure i veyvlet-analiz izobrazheniy v ploskosti JPEG-tekhnologiy* / V.G. Ivanov, Yu.V. Lomonosov, M.G. Lyubarskiy // *Problemy upravleniya i informatiki*. – 2004. – № 5. – S. 111-124.
9. Gonsales R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* / R. Gonsales, R. Vuds – M.: Tekhnosfera, 2005. – 1072 s.