

УДК 621.327:629.391

И.В. Рубан, М.Н. Колмыков, С.В. Дуденко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖАТИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАРТЛИ

Приведены результаты экспериментов по оценке эффективности сжатия и восстановления статических изображений на основе дискретного преобразования Хартли и алгоритмов сжатия изображений с потерями, реализованными в сертифицированных стандартах сжатия.

эффективность сжатия и восстановления статических изображений, дискретное преобразование Хартли, алгоритмы сжатия изображений с потерями

Введение

Постановка задачи. В настоящее время наиболее перспективным подходом к обработке изображений является использование новых в данной сфере математических преобразований, обладающих высокими компрессионными свойствами [1, 4, 5]. Одним из таких ортогональных преобразований является дискретное преобразование Хартли (ДПХ), на его основе предложены перспективные алгоритмы сжатия и восстановления изображений [2, 6, 9, 11]. Однако, исходя из того, что статические изображения классифицируются по классам относительно цветовой насыщенности [4, 5, 10], существует необходимость в сравнительной оценке эффективности данных алгоритмов относительно классов статических изображений.

Анализ литературы. Исходя из анализа литературы [1, 4] сравнительная оценка эффективности сжатия и восстановления изображений проводится по следующим частным показателям: $K_{сж}$ – коэффициент сжатия изображения; σ – среднеквадратическое отклонение (СКО) восстановленного изображения; $t_{пр}, t_{пр}^{(-1)}$ – время выполнения прямого и обратного преобразования соответственно.

При этом сравнение параметров рассматриваемого алгоритма сжатия и восстановления изображе-

ний с известными методами производится по каждому показателю при фиксированных остальных [4].

Цель статьи. Оценить эффективность сжатия и восстановления статических изображений на основе дискретного преобразования Хартли относительно классов статических изображений.

Основная часть

Сравнительная оценка степени сжатия изображений. Важнейшей характеристикой алгоритмов сжатия и восстановления изображений является степень сжатия изображения [1, 4]. Именно уменьшение объема данных определяет функциональную пригодность разработанного алгоритма. Коэффициент сжатия изображения определяется следующим выражением:

$$K_{сж} = V_{исх} / V_{сж} , \quad (1)$$

где $V_{исх}$ – объем исходного изображения; $V_{сж}$ – объем изображения в сжатом виде.

Объем сжатых изображений определялся по размеру файлов, хранящих сжатое изображение.

Для экспериментальной оценки коэффициента сжатия обеспечиваемого алгоритмами на основе ДПХ [3, 6, 9] использовались изображения разной степени насыщенности. Эксперимент по определению среднего значения коэффициента сжатия выполнялся для алгоритмов сжатия и восстановления изображений на

основе ДПХ и алгоритмов сжатия с потерями, реализованными в сертифицированных стандартах сжатия с фиксированным значением СКО.

Международным консультативным комитетом по телефонии и телеграфии (МККТТ) и Международной организацией по стандартизации (ISO – International Standardization Organization) разработано несколько стандартов сжатия полутоновых (многоградационных) изображений.

Итоговыми стандартами, отражающими современное положение технологии сжатия изображений, явились следующие: первоначальный стандарт JPEG, основанный на ДКП; стандарт JPEG 2000, основанный на вейвлет-преобразовании с основой ПХ; а также стандарт JPEG-LS, сочетающий схему безошибочного адаптивного предсказания с механизмом обнаружения плоских областей и кодированием длин серий [1, 4].

Зависимости среднего значения коэффициента сжатия, обеспечиваемого алгоритмами на основе ДПХ, и стандартов сжатия от класса изображения приведены на рис. 1.

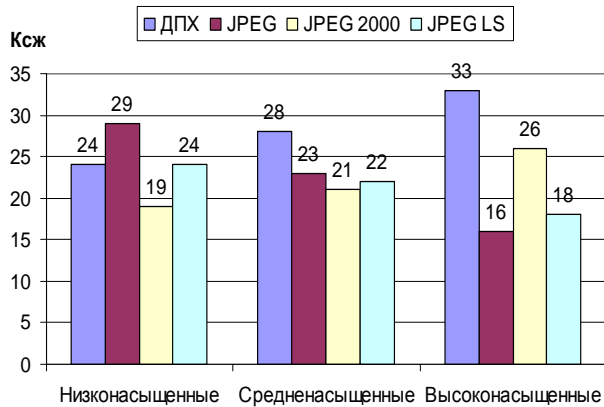


Рис. 1. Зависимость коэффициента сжатия от класса изображения

Анализ результатов эксперимента позволил сделать ряд выводов:

- для средне- и высоконасыщенных изображений коэффициент сжатия, обеспечиваемого алгоритмами на основе ДПХ выше в среднем на 25 %, чем коэффициент сжатия, обеспечиваемого стандартами сжатия;
- максимальное значение коэффициента сжатия для данных алгоритмов наблюдается при сжатии высоконасыщенных изображений.

Следовательно, это позволяет утверждать о высокой эффективности сжатия на основе ДПХ при обработке высоконасыщенных изображений, например, изображений местности и объектов воздушной разведки разведки.

Сравнительная оценка времени выполнения сжатия и восстановления изображений. Для сравнительной оценки времени выполнения сжатия и восстановления изображений на основе ДПХ и стандартов сжатия на основе ортогональных преобразований выберем временные показатели выполнения двумерного преобразования изображений, занимающие до 90% от всего времени сжатия и восстановления изображений [4, 5, 8]. Под временными показателями ортогональных преобразований понимается время, необходимое для выполнения прямого и обратного преобразований $t_{пр}, t_{пр}^{(-1)}$.

Для сравнения времени выполнения ортогональных преобразований был проведен расчет двумерного преобразования изображения при разбиении его на блоки размерности 16×16 [7, 8] для процессора Intel Pentium 4 3 ГГц.

Количество блоков 16×16 для изображений размерности снимков объектов разведки приведено в табл. 1.

На рис. 2 представлена зависимость времени выполнения прямого и обратного преобразования для быстрого ДПХ и быстрых алгоритмов двумерных ортогональных преобразований (табл. 2) от размерности изображения, где: БПХ – быстрый алгоритм преобразования Хаара, БДКП – быстрый алгоритм дискретно-косинусного преобразования, БПУА – быстрый алгоритм преобразования Уолша-Адамара (операции сложения/вычитания – целочисленные). Для рассматриваемых преобразований время выполнения прямого и обратного преобразования совпадает [3, 5].

Анализ результатов расчета позволил сделать ряд выводов:

- быстрый алгоритм дискретного преобразования Хартли обеспечивает время выполнения прямого и обратного преобразования в диапазоне времени сравниваемых ортогональных преобразований;
- время выполнения прямого и обратного преобразования Хартли в 7 раз меньше чем у ДКП, которое является основой стандартов сжатия изображений с потерями;

Таблица 1

Количество блоков $8 \times 8, 16 \times 16$ и 32×32 для статических изображений при разбиении его на блоки

Размер блока $N \times N$	Размерность статического изображения							
	400×300	800×600	1024×768	1152×864	1280×1024	2288×1712	3072×2048	3504×2336
8×8	1900	7500	12288	15552	20480	61204	98304	127896
16×16	475	1900	3072	3888	5120	15301	24576	31974
32×32	130	475	768	972	1280	3888	6144	8030

Расчет количества арифметических операций для ортогональных преобразований

Вид ортогонального преобразования	Выражения для расчета количества операций сложения/вычитания	Выражения для расчета количества операций умножения/деления
Быстрое дискретно-косинусное преобразование	$K_{\text{сл/выч}} = 4 N^2 \log_2 N$	$K_{\text{ум/дел}} = 4 N^2 \log_2 N$
Быстрое преобразование Уолша-Адамара	$K_{\text{сл/выч}} = 2 N^2 \log_2 N$	$K_{\text{ум/дел}} = 2 N^2$
Быстрое преобразование Хаара	$K_{\text{сл/выч}} = 4 N (N - 1)$	$K_{\text{ум/дел}} = 2 N^2$
Быстрое преобразование Хартли	$K_{\text{сл/выч}} = N^2 \log_2 N$	$K_{\text{ум/дел}} = N^2 \log_2 N$

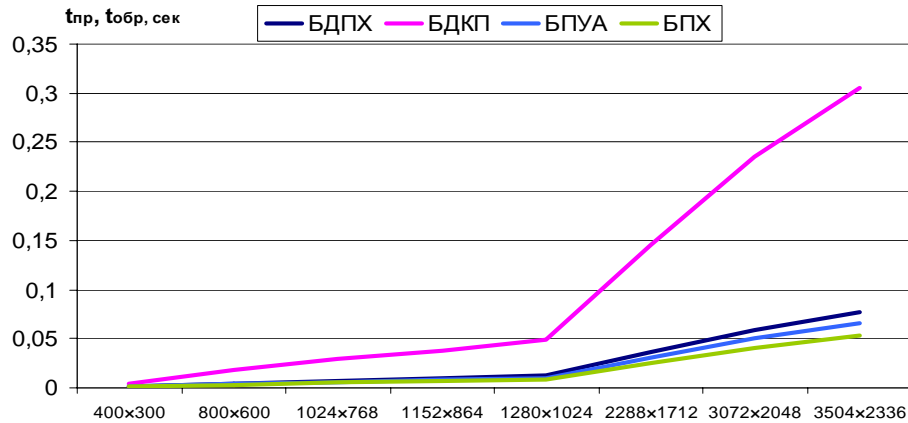


Рис. 2. Зависимость времени выполнения прямого и обратного ортогональных преобразований от размерности изображения

– наименьшим временем выполнения прямого и обратного преобразования обладает БПХ, однако, даже при обработке изображений наибольшей размерности разность со временем выполнения преобразования Хартли составляет 0,02 секунды, которая по сравнению со временем передачи изображения по каналам связи [7, 11] в несколько минут, является не критичной.

Сравнительная оценка качества восстановления изображений. Среднеквадратическое отклонение (СКО) σ разности отсчетов исходного и восстановленного изображения является количественным показателем и характеризует погрешность восстановления изображения [1, 4]. СКО определяется следующим выражением:

$$\sigma = \frac{1}{3} \cdot \sum_{\text{RGB}} \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (x_{i,j}^{(в)} - x_{i,j}^{(и)})^2}{M \cdot N}}, \quad (2)$$

где $x_{i,j}^{(и)}$ – элемент исходного изображения; $x_{i,j}^{(в)}$ – элемент восстановленного изображения; N, M – размерность изображения по вертикали и горизонтали соответственно; суммирование проводится по трем цветовым компонентам R, G и B.

Для сравнительной оценки среднеквадратического отклонения проведен эксперимент, в ходе которого выполнялись ортогональные преобразования изображений разной степени насыщенности.

На рис. 3. представлены средние значения СКО для алгоритмов сжатия на основе ортогональных преобразований при сжатии и восстановлении изображений [6, 8].

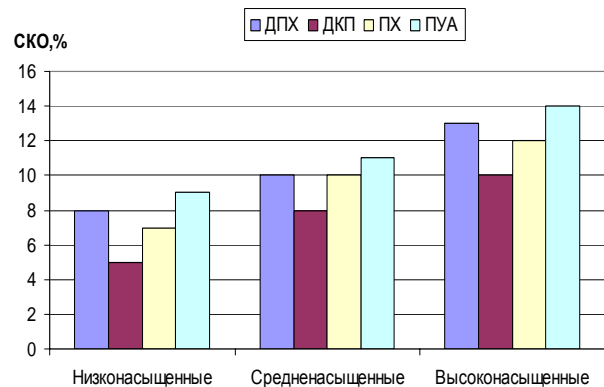


Рис. 3. Среднеквадратическое отклонение ортогональных преобразований при обработке изображений разной степени насыщенности

Анализ результатов эксперимента показал, что преобразование Хартли обеспечивает значение СКО в диапазоне значений сравниваемых ортогональных преобразований. Следовательно, качество восстановления изображения, обеспечиваемое разработанными алгоритмами, при одинаковых исходных параметрах не уступает качеству восстановления изображения, обеспечиваемое известными методами сжатия изображений.

Выводы

Таким образом, результаты сравнительной оценки сжатия и восстановления изображений на основе ДПХ показали, что разработанные алгоритмы обеспечивают степень сжатия изображений на 25% выше, чем стандарты сжатия JPEG, при этом время выполнения прямого и обратного преобразования и значения среднеквадратического отклонения восстановления изображений лежат в диапазоне значений сравниваемых ортогональных преобразований.

Список литературы

1. Абламейко С.В., Лагуновский Д.В. *Обработка изображений: технология, методы, применение.* – М.: Амадфея, 2000. – 304 с.
2. Брейсуэлл Р.Н. *Преобразование Хартли.* – М.: Мир, 1990. – 273 с.
3. Брейсуэлл Р.Н. *Быстрое преобразование Хартли // ТИИЭР.* – 1984. – № 8. – С. 19-27.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений.* – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
5. Залманзон А. *Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях.* – М.: Наука, 1989. – 496 с.
6. Колмыков М.М. *Алгоритм компактного представления статичных изображений // Системы обработки інформації.* – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 2. – С. 35-38.

7. Колмыков М.Н. *Формат данных представления статических изображений на основе дискретного преобразования Хартли // Системы обработки інформації.* – Х.: ХУПС. – 2006. – Вип. 5 (54). – С. 63-66.

8. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Дуденко С.В. *Исследование статистических свойств трансформант дискретного преобразования Хартли // Системы обработки інформації.* – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 4. – С. 175-181.

9. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Дуденко С.В. *Быстрый алгоритм формирования трансформанты дискретного преобразования Хартли // Системы озброєння і військова техніка.* – Х.: ХУ ПС. – 2005. – Вип. 3/4. – С. 96-98.

10. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Новиков В.И. *Оценка качества обработки изображений на основе преобразования Хартли // Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – Х.: НАКУ «ХАІ». – 2003. – Вип. 4. – С. 135-138.

11. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Резуненко А.А. *Адаптивный алгоритм сжатия данных в компьютерных сетях // Системы обработки інформації.* – Х.: ХВУ, 2003. – Вип. 4. – С. 67-72.

Поступила в редколлегию 4.10.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.