

## **СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАНТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАРТЛИ НА ОСНОВЕ ПОРОГОВОГО ОТБОРА КОЭФФИЦИЕНТОВ**

к. т. н. И. В. Рубан, М. Н. Колмыков  
(представил д. т. н., проф. Ю. В. Стасев)

*В статье проводятся исследования порогового способа отбора коэффициентов применительно к результатам дискретного преобразования Хартли с целью выбора подходов к оптимизации алгоритмов компактного представления статических изображений.*

**Постановка проблемы.** В настоящее время при обработке и сжатию статических изображений широко применяются унитарные ортогональные преобразования [1, 2, 5, 6]. Одно из наименее изученных – дискретное преобразование Хартли (ДПХ). Наибольший интерес представляет собой изучение свойств данного преобразования, в частности, распределения энергии коэффициентов трансформанты ДПХ, влияющего на степень компрессии изображений [2, 4, 8].

**Анализ литературы.** Исходя из анализа литературы, на наш взгляд, для решения поставленной задачи наиболее интересным является применение модифицированного способа порогового отбора коэффициентов, учитывающего свойства преобразования Хартли [1, 6].

**Цель статьи.** Выявить оптимальное значение порога отбора коэффициентов трансформанты ДПХ для ее компактного представления на основе анализа качества восстановленного изображения.

**Исследование трансформант дискретного преобразования Хартли.** Оценка значений базиса преобразования Хартли [2, 7, 8] применительно к кодированию статических изображений привела к выводу, что распределение значений, являющееся результатом фильтрации коэффициентов, определяется природой преобразования [7, 8]. Это позволило определить наиболее весомые коэффициенты и выявить области в трансформанте, элементы которых одинаково влияют на восстанавливаемое изображение и применить к трансформанте ДПХ способ зонального отбора коэффициентов [3, 7].

Исследование результатов использования зонального способа позволило сделать предположение о возможности заглабления коэффициентов зон и дополнительного применения для минимизации трансформанты ДПХ способа порогового отбора [5, 7, 8].

**Модифицированный способ порогового отбора.** Суть данного спо-

соба заключается в выборе величины порога  $K_{\text{пор}}$  и сохранении информации  $\Gamma_t$  о координатах элементов зон  $k, l$ , которые превышают установленный порог [8]:

$$\Gamma_t = \left\{ (k, l) \text{ при } |y^t| > K_{\text{пор}} \right\}, \quad (1)$$

где  $y_g^t$  –  $g$ -й элемент зоны  $t$ ,

$$y^t = \sum_{g=1}^{g=m} y_g^t / m, \quad (2)$$

где  $m$  – количество элементов в зоне  $t$ .

Таким образом, в соответствии с пороговым способом сначала оцениваются все компоненты трансформанты, а затем сохраняются лишь те из них, которые превышают установленный порог. Такой способ является адаптивным, поскольку при его использовании сохраняются только те компоненты, которые оказываются большими для конкретного фрагмента, т.е. происходит процесс оптимизации отбора коэффициентов к локальной информационной структуре.

Пример восстановленного изображения при использовании данного способа к трансформанте ДПХ статических изображений различной степени насыщенности показан на рис. 3.

Оценка полученных практических результатов. Основными параметрами эффективности методов сжатия являются: коэффициент сжатия  $K_{\text{сж}}$  и среднеквадратическая ошибка  $\sigma$  [5, 6, 9]. Сжатие изображения при пороговом отборе трансформанты ДПХ происходит за счет сохранения меньшего количества ее коэффициентов, чем в исходной трансформанте. Поэтому коэффициент сжатия определяется следующим выражением:

$$K_{\text{сж}} = P / R, \quad (3)$$

где  $P$  – количество элементов в исходном трансформанте;  $R$  – количество элементов в преобразованной трансформанте после процедур зонального и порогового отбора.

Среднеквадратическая ошибка  $\sigma$  (СКО) характеризует погрешность восстановленного изображения и определяется выражением

$$\sigma = \frac{1}{3} \cdot \sum_{\text{RGB}} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (x_{i,j}^{(b)} - x_{i,j}^{(n)})^2} / (M \cdot N) \rightarrow \min, \quad (4)$$

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

Для оценки коэффициента сжатия и среднеквадратической ошибки был проведен эксперимент, в ходе которого сжатию подвергались изображения трех классов: изображения с низкой насыщенностью, изоб-

ражения со средней насыщенностью и изображения с высокой насыщенностью. На рис. 2 приведены графики зависимости коэффициента сжатия  $K_{сж}$  и величины среднеквадратической ошибки  $\sigma$  от значений установленного порога. Размерность изображений, участвовавших в исследовании, составляет  $400 \times 300$  точек.

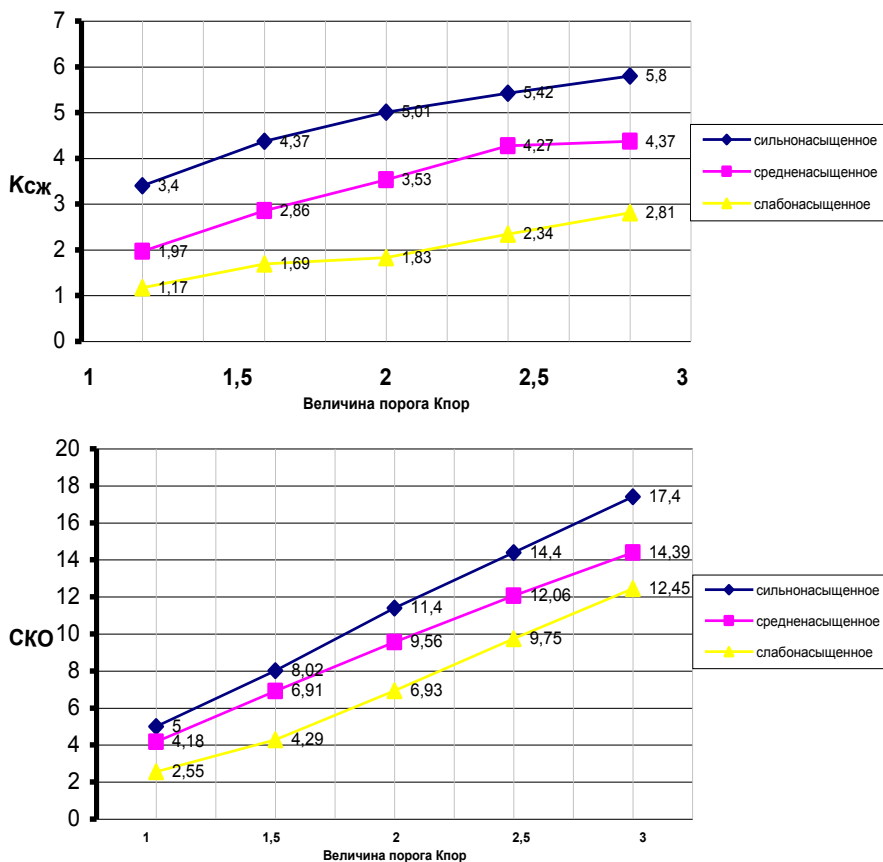


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента сжатия  $K_{сж}$  и величины среднеквадратической ошибки  $\sigma$  от значений установленного порога для изображений различной степени насыщенности

Из графиков рис. 2 и визуальной оценки восстановленных изображений (рис. 3) следует ряд выводов:

– выбор высокого порогового значения в области высокой цветовой насыщенности незначительно влияет на качество восстановления изображений, что обеспечивается свойствами пространственного маскирования;

– на фоновых областях выбор максимального порога должен быть определен только областью фона, исключая границы и контура (заметность искажения высокая – рис. 3, а);

– коэффициент сжатия  $K_{сж}$ , а также значение среднеквадратической ошибки  $\sigma$  увеличивается с ростом величины порога для всех видов статического изображения;

– изменение значения среднеквадратической ошибки  $\sigma$  для всех видов статического изображения с ростом величины порога приближено к линейному.

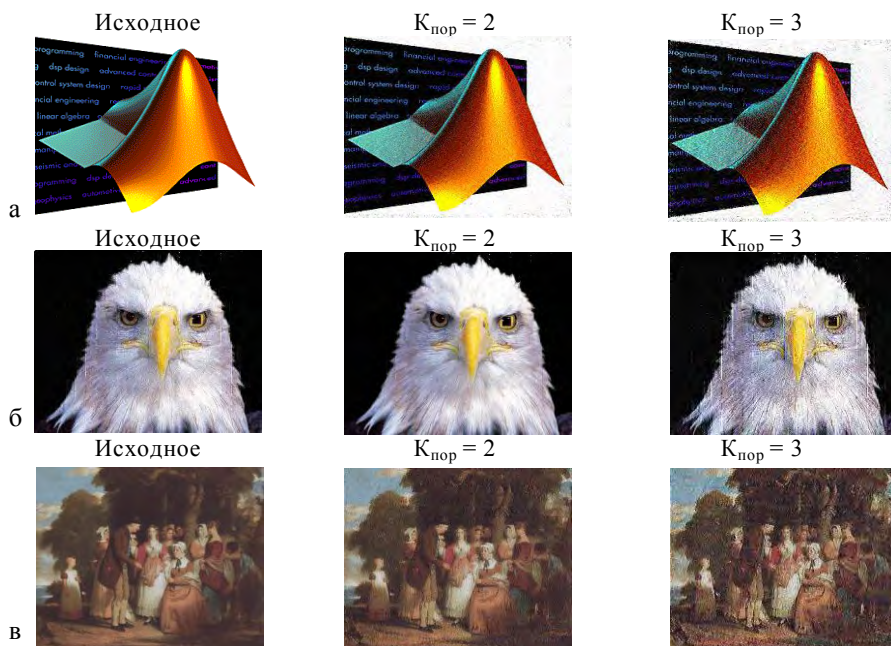


Рис. 3. Пример восстановленных изображений с различной степенью насыщенности при применении порогового способа отбора коэффициентов ДПХ: а – низконасыщенное; б – средненасыщенное; в – высоконасыщенное

Следовательно, использование адаптивного подхода к выбору порога, позволяет получить высокие значения коэффициента сжатия.

Эксперимент показал, что при увеличении порогового значения  $K_{пор} > 2,5$  коэффициент сжатия  $K_{сж}$  для всех видов изображения растет незначительно при нарастающем значении среднеквадратической ошибки  $\sigma$ .

Это позволило установить, что наиболее приемлемым значением порога при применении предложенного способа к трансформанте дискретного преобразования Хартли статических изображений является  $K_{пор} = 2,5$ .

**Выводы.** Исследование результатов обработки статических изображений предложенным способом позволило выбрать наиболее оптимальное значение порога отбора коэффициентов трансформанты ДПХ, что позволяет увеличить коэффициент сжатия изображения в зависимости от его цветовой насыщенности до 3,5 раз при достаточном сохранении качества изображения. Одним из путей дальнейших исследований является разработка общего метода компактного представления статических изображений на основе дискретного преобразования Хартли.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
2. Брейсуэлл Р. Преобразование Хартли. – М.: Мир, 1990. – 273 с.
3. Королев А.В., Малахов С.В., Линник Н.Ф. Модифицированное зональное сжатие изображений при частичном устранении фазовых составляющих спектра // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2001. – Вып.5 (15). – С. 176 – 180.
4. Королева Н. А., Рубан И.В., Колмыков М.Н. Способ сжатия фазовых коэффициентов при компактном представлении изображений // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – №1. – С. 33 – 35.
5. Методы передачи изображений. Сокращение избыточности / Под ред. У.К. Прэтта. – М.: Радио и связь, 1983. – 264 с.
6. Нетравали А.М., Лимб Дж.О. Кодирование изображений: Обзор // ТИИЭР. – 1980. – № 3. – С. 76 – 124.
7. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Дуденко С.В. Способ отбора коэффициентов преобразования Хартли на основе исследования свойств их адресного размещения // Моделювання та інформаційні технології. – 2004. – № 26. – С. 165 – 172.
8. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Дуденко С.В. Исследование статистических свойств трансформант дискретного преобразования Хартли // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ. – 2004. – № 4. – С. 175 – 181.
9. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Новиков В.И. Оценка качества обработки изображений на основе преобразования Хартли // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2003. – № 4. – С. 135 – 138.

Поступила 30.07.2004

**РУБАН** Игорь Викторович, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры Харьковского университета Воздушных Сил. В 1990 году окончил ХВКИУ РВ. Область научных интересов – обработка информации в вычислительных сетях и АСУ.

**КОЛМЫКОВ** Максим Николаевич, адъюнкт Харьковского университета Воздушных Сил. В 2000 году окончил ХВУ. Область научных интересов – обработка информации в вычислительных сетях и АСУ.