

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРАНСФОРМАНТ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАРТЛИ

к.т.н. И.В. Рубан, М.Н. Колмыков, к.т.н. С.В. Дуденко

В статье приводятся результаты исследования свойств трансформант дискретного преобразования Хартли с целью выработки практических рекомендаций для разработки новых алгоритмов сжатия изображений.

Постановка проблемы. В настоящее время при обработке широко применяются различные ортогональные преобразования, обладающие свойствами, которые обеспечивают сжатие изображений и их восстановление с минимальными потерями в процессе восстановления [1, 3, 6]. Однако существуют ортогональные преобразования, компрессионные свойства которых в настоящее время еще не исследованы.

Анализ литературы. Исходя из анализа литературы, на наш взгляд, наиболее интересным является дискретное преобразование Хартли (ДПХ), которое оперирует числами в вещественной области представления и поэтому обладает низкой вычислительной сложностью [1 – 3, 6, 7].

Цель статьи. Оценить компрессионные возможности трансформант ДПХ и предложить подходы к построению алгоритмов сжатия изображений.

Суть математического дискретного преобразования Хартли. Обращение к преобразованию Хартли обусловлено тем, что оно обладает свойством симметричности прямого и обратного преобразований, что позволяет отнести его к классу унитарных преобразований и использовать не только для фильтрации изображений [2], но и для сжатия графической информации.

Рассмотрению подлежит двухмерное ДПХ, использующее введенную функцию касеканса, определяемую выражением:

$$\text{cas}(\Theta) = \cos(\Theta) + \sin(\Theta). \quad (1)$$

Прямое и обратное двухмерное дискретное преобразование Хартли определяется соотношениями [2]:

$$H(v_1, v_2) = (1/N_1 N_2) \sum_{\tau_1=0}^{N_1-1} \sum_{\tau_2=0}^{N_2-1} f(\tau_1, \tau_2) \text{cas} \left[(2\pi v_1 \tau_1 / N_1) + (2\pi v_2 \tau_2 / N_2) \right]; \quad (2)$$

$$f(\tau_1, \tau_2) = \sum_{v_1=0}^{N_1-1} \sum_{v_2=0}^{N_2-1} H(v_1, v_2) \text{cas} \left[(2\pi v_1 \tau_1 / N_1) + (2\pi v_2 \tau_2 / N_2) \right], \quad (3)$$

где v_1, v_2 – координаты полученной матрицы; τ_1, τ_2 – координаты исходной матрицы; N_1 – количество столбцов; N_2 – количество строк.

Прямое и обратное ДПХ работает с вещественными числами и в отличие от дискретного преобразования Фурье не использует комплексную переменную, что указывает на преимущество ДПХ по времени обработки изображений [2].

Формирование трансформанты дискретного преобразования Хартли. Исследованию подлежали изображения, которые подвергались разбиению на блоки [3, 5]. В дальнейшем каждый блок подвергался обработке двумерным дискретным преобразованием Хартли, результатом которой являлось получение соответствующих каждому блоку матрицы коэффициентов, называемой *трансформантой* дискретного преобразования Хартли. Процедура формирования трансформанты представлена на рис. 1.

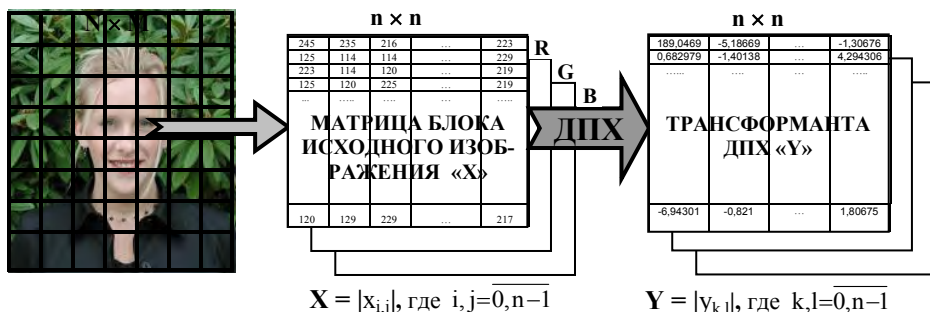


Рис. 1. Процедура формирования трансформанты ДПХ

В процессе обработки цифровое изображение разбивается на $N \times M$ блоков, где каждый из блоков состоит из $n \times n$ элементов (пикселей). Далее фрагмент представляется в виде $n \times n$ матрицы X с компонентами x_{ij} , где $i, j = \overline{0, n-1}$. Посредством ДПХ происходит переход от матрицы X к другой $n \times n$ матрице Y – трансформанте ДПХ, с компонентами y_{kl} , где $k, l = \overline{0, n-1}$.

На рис. 2 представлены трансформанты ДПХ блоков изображения с различной насыщенностью. Значения коэффициентов трансформант округлены до ближайшего целого. Детальное рассмотрение значений трансформант указывает на высокие компрессионные возможности алгоритмов сжатия, построенных на основе ДПХ.

Исследование базиса ДПХ. Дальнейшему рассмотрению подлежали восстановленные с помощью обратного дискретного преобразования Хартли участки изображения $X' = |x'_{ij}|$, где $i, j = \overline{0, n-1}$. Исследовались степень и

менение восстановленного элемента x'_{ij} по отношению к исходному x_{ij} , в зависимости от изменения y_{kl} , определенные выражениями:

$$H(Y) = \begin{bmatrix} h(y_{00}) & h(y_{01}) & \dots & h(y_{0l}) \\ h(y_{10}) & h(y_{11}) & \dots & h(y_{1l}) \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ h(y_{k0}) & h(y_{kl}) & \dots & h(y_{kl}) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где

$$h(y_{kl}) = \begin{bmatrix} (x'_{00} - x_{00}) & (x'_{01} - x_{01}) & \dots & (x'_{0l} - x_{0l}) \\ (x'_{10} - x_{10}) & (x'_{11} - x_{11}) & \dots & (x'_{1l} - x_{1l}) \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ (x'_{k0} - x_{k0}) & (x'_{kl} - x_{kl}) & \dots & (x'_{kl} - x_{kl}) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Исследования матрицы $H(Y)$ показали, что она не зависит от насыщенности исходного изображения и для всех его участков, которые подлежали обработке ДПХ, является одинаковой. Это позволяет матрицу $H(Y)$ назвать *базисом* дискретного преобразования Хартли. Исследование базиса позволило определить наиболее весомые коэффициенты и выявить области в трансформанте, элементы которых одинаково влияют на восстанавливаемое изображение, т.е. для которых совпадают матрицы $h(y_{kl})$.

Данное свойство базиса ДПХ позволило применить метод зонального отбора коэффициентов трансформанты [4, 5] для ее дальнейшего компактного представления. Суть данного метода заключается в сохранении не всех элементов, входящих в зону, а только информации о координатах элементов зоны I_t , где t – номер зоны, и среднего значения ее коэффициентов y^t , определяемых выражениями:

$$I_t = \left\{ (k, l) : y_{k,l} = y_g^t \in t \right\}, \quad (6)$$

$$y^t = \sum_{g=1}^{g=m} y_g^t / m, \quad (7)$$

где y_g^t – g -й элемент зоны t ; m – количество элементов в зоне t .

При дальнейшем рассмотрении базиса было выявлено 31 зону, которые представлены на рис. 3, где «0» – 16-элементная зона, элементы которой являются наиболее весомыми и изменение которых приводит к искажению всех точек восстановленного изображения; «1» – «30» – 8-элементные зоны, элементы которых одинаково влияют на восстановленное изображение.

При использовании данного метода в целях компактного представления изображений сохраняется не 256 значений трансформанты, а только 30, соответствующих зонам «1» – «30», 16 значений зоны «0» и информация о размещении зон, что дает выигрыш в коэффициенте сжатия до 4.

0	1	3	2	0	1	3	2	0	1	3	2	0	1	3	2
4	7	30	19	13	20	21	10	4	7	30	19	13	20	21	10
5	22	8	26	14	27	11	25	5	22	8	26	14	27	11	25
6	23	28	9	15	12	29	24	6	23	28	9	15	12	29	24
0	16	17	18	0	18	17	16	0	16	17	18	0	18	17	16
4	24	29	12	15	9	28	23	4	24	29	12	15	9	28	23
5	25	11	27	14	26	8	22	5	25	11	27	14	26	8	22
6	10	21	20	13	19	30	7	6	10	21	20	13	19	30	7
0	1	3	2	0	1	3	2	0	1	3	2	0	1	3	2
4	7	30	19	13	20	21	10	4	7	30	19	13	20	21	10
5	22	8	26	14	27	11	25	5	22	8	26	14	27	11	25
6	23	28	9	15	12	29	24	6	23	28	9	15	12	29	24
0	16	17	18	0	18	17	16	0	16	17	18	0	18	17	16
4	24	29	12	15	9	28	23	4	24	29	12	15	9	28	23
5	25	11	27	14	26	8	22	5	25	11	27	14	26	8	22
6	10	21	20	13	19	30	7	6	10	21	20	13	19	30	7

Рис. 3. Разбиение трансформанты ДПХ на зоны

Пример применения зонального отбора для кодирования трансформанты ДПХ статических изображений показан на рис. 4.



Рис. 4. Пример применения зонального отбора трансформанты ДПХ: а) исходное изображение; б) восстановленное изображение после применения ДПХ с зональным отбором, сжатое в 3,9 раза

Было сделано предположение о возможности закругления коэффициентов зон и применения для трансформанты порогового отбора ее коэффициентов [4, 5], суть которого заключается в выборе величины порога $K_{пор}$ и сохра-

нении только значений зон, которые превышают установленный порог:

$$I'_t = \left\{ (k, l) : |y^t| > K_{\text{пор}} \right\}. \quad (8)$$

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

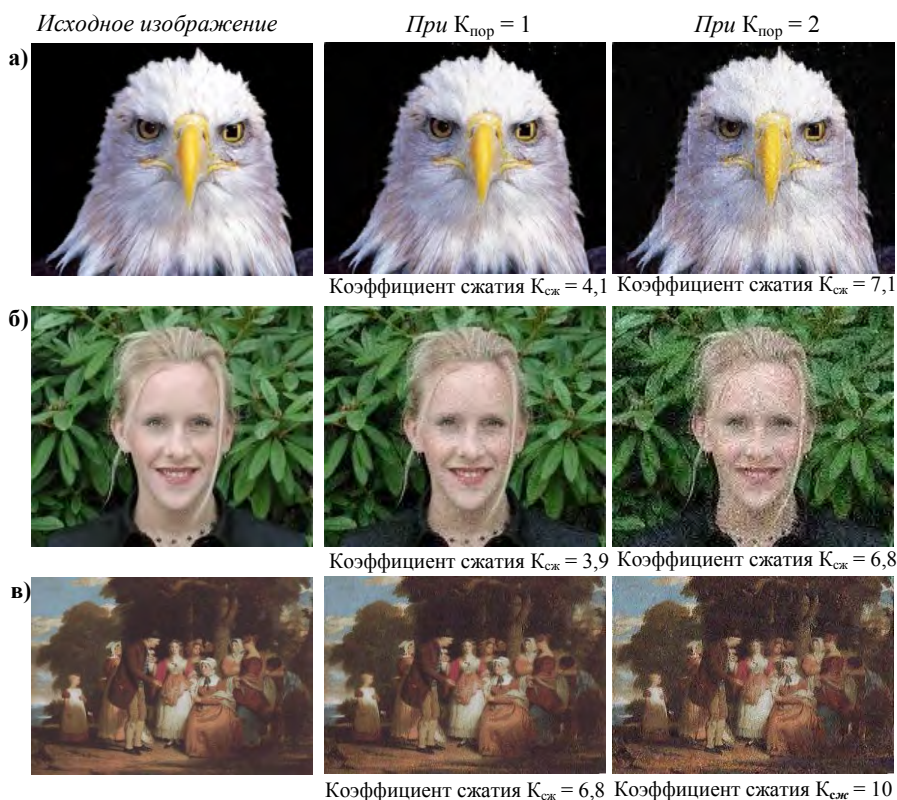


Рис. 5. Результаты эксперимента по применению ДПХ к кодированию статических изображений: а) с преобладающими фоновыми областями; б) со средней насыщенностью; в) с большим разбросом цветовых значений

Практическое применение преобразования Хартли к компактному представлению изображений. Следующий этап исследований был направ-

лен на кодирование трансформант изображений различной насыщенности с использованием методов зонального и порового отбора коэффициентов. Для эксперимента было выбрано три вида изображений с применением одинаковых значений величины порога. Результаты эксперимента представлены на рис. 5.

Выводы. Использование дискретного преобразования Хартли обеспечивает высокий коэффициент сжатия при обработке насыщенных изображений с низкими временными затратами, что отличает дискретное преобразование Хартли от других ортогональных преобразований, используемых в данной области.

Одним из путей дальнейших исследований является разработка адаптивного алгоритма по оценке фоновых свойств исходного изображения и применение в соответствии с ним преобразования Хартли в алгоритмах по сжатию сильнонасыщенных изображений.

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. Засядько А.А. и др. *К анализу эффективности алгоритмов и программ быстрых ортогональных дискретных преобразований* // *Электронное моделирование*. – 1998. – № 6. – С. 109 – 111.
4. Королёв А.В., Малахов С.В., Рубан И.В. *Метод сжатия видеоданных посредством преобразований* // *Электронное моделирование*. – 1999. – № 4. – С. 47 – 55.
5. Королёв А.В., Новиков В.И., Рубан И.В. *Сжатие видеoinформации за счет комбинирования методов с сохранением и потерей информации* // *Системы обработки информации*. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 1998. – Вып. 1. – С. 96 – 99.
6. Прэтт У. *Цифровая обработка изображений*. – М.: Мир, 1982. – 480 с.
7. Яншин В.В. *Анализ и обработка изображений (принципы и алгоритмы)*. – М.: Машиностроение, 1995. – 240 с.

Поступила 27.01.2004

РУБАН Игорь Викторович, канд. техн. наук, доцент, зам. нач. кафедры ХВУ. В 1990 году окончил ХВВКИУ РВ. Область научных интересов – обработка информации в вычислительных сетях и АСУ.

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

ДУДЕНКО Сергей Васильевич, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ХВУ. В 1995 году окончил ХВУ. Область научных интересов – обработка информации в вычислительных сетях и АСУ.