

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗОНАЛЬНО-ПороГОВОЙ СЕЛЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХААРА

к.т.н. К.А. Бохан, к.т.н. Н.А. Королёва, Ю.П. Сальник
(представил д.т.н., проф. В.А. Краснобаев)

Проведен сравнительный анализ метода сжатия изображений на основе зонально-пороговой селекции (ЗПС) коэффициентов двумерного преобразования Хаара.

Постановка проблемы. Уменьшение времени передачи информации, достигнутое при применении JPEG, MPEG и других форматов сжатия не устраняет проблему недостаточной пропускной способности каналов телекоммуникационных сетей. Это связано с широким распространением источников цифровой информации (цифровые камеры и фотоаппараты, сканеры и различного рода ЭВМ). Существующие методы сжатия обеспечивают коэффициент сжатия порядка 10 раз при незначительных искажениях восстановленного изображения, что определяет ряд требований к разрабатываемым методам сжатия.

Анализ литературы. В отличие от фундаментальных трудов [1 – 3] 80-х годов современная литература [4 – 6] носит скорее описательный характер конкретных алгоритмов сжатия информации и пути достижения полученных результатов остаются неизвестными.

Цель статьи. Провести оценку эффективности метода сжатия изображений на основе зонально-пороговой селекции (ЗПС) коэффициентов двумерного преобразования Хаара.

Метод ЗПС коэффициентов двумерного преобразования Хаара реализуется в несколько этапов.

На 1-м этапе выделяются зоны селекции коэффициентов $u_{k,1}$ трансформанты двумерного преобразования Хаара. При этом в одну зону селекции включаются коэффициенты с одинаковой чувствительностью [7].

На 2-м этапе выполняется пороговая селекция коэффициентов полученных зон трансформанты. При селекции зона блока трансформанты сохраняет свое значение в случае, если величина ее энергии выше пороговой энергии для данной зоны, иначе зона исключается [8]. Порог селекции E_p рассчитывается по правилу

$$E_{p_S} = \begin{cases} 0, & \text{если } Q_S = 10; \\ \overline{E_S} \times 2^{-(Q_S-6)}, & \text{если } Q_S = 9, 2; \\ E_{S_{\max}}, & \text{если } Q_S = 1, \end{cases}$$

где $\overline{E_S}$ – среднеарифметическое значение энергии s -й зоны; $s = \overline{1, 10}$; $x = \overline{1, X}$ – номер зоны блока и номер блока обрабатываемого изображения; $E_{S,x}$ – величина энергии s -й зоны x -го блока трансформанты; X – количество блоков размерностью $n \times n$ в изображении; a, b, c, d – координаты s -й зоны блока трансформанты; $E_{S_{\max}}$ – максимальное значение энергии s -й зоны; Q_S – значение качества восстановленного изображения.

Значения $\overline{E_S}$, $E_{S,x}$, $E_{S_{\max}}$ рассчитываются по выражениям:

$$\overline{E_S} = \frac{\sum_{x=1}^X E_{S,x}}{X}; \quad E_{S,x} = \sum_{k=a}^c \sum_{l=b}^d y_{k,l}^2; \quad E_{S_{\max}} = \max_{x=1, \dots, X} (E_{S,x}).$$

На 3-м этапе формируются полученные зонавые последовательности и последовательности дескрипторов для последующего сохранения или передачи.

Оценка эффективности метода ЗПС коэффициентов двумерного преобразования Хаара и методов на основе зональной селекции (ЗС) трансформанты дискретно-косинусного преобразования и быстрого двумерного преобразования Хаара проведена по среднеквадратическому отклонению (СКО) σ и коэффициенту сжатия $K_{\text{сж}}$. СКО рассчитывается по формуле

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

где $x_{i,j}^{(H)}$ – элемент исходного изображения; $x_{i,j}^{(B)}$ – элемент восстановленного изображения; \sum_{RGB} – суммирование по трем цветовым компонентам R, G и B.

Коэффициент сжатия рассчитывается по формуле

$$K_{\text{сж}} = V_{\text{исх}} / V_{\text{сж}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{исх}}$ – объем исходного изображения; $V_{\text{сж}}$ – объем сжатого изображения.

Для оценки СКО (1) проведен эксперимент, в ходе которого с помощью вышеперечисленных методов обрабатывались изображения с различной степенью насыщенности [7]. На рис. 1 (а, в, д) представлены значения среднеквадратичного отклонения (СКО) σ , полученные при

обработке анализируемых изображений для различных значений параметра качества Q_S . При $Q_S = 1$ и 2 значение СКО резко возрастает, поэтому такие значения параметра качества целесообразно использовать только для получения больших коэффициентов сжатия. Анализ полученных графиков показывает, что кривые, соответствующие предложенному методу ЗПС, лежат внутри областей, ограниченных кривыми, полученными при использовании других методов.

Это говорит о том, что данный метод [8] обеспечивает лучшее качество восстановленного изображения при фиксированном значении параметра качества.

Коэффициенты сжатия $K_{сж}$ (2) анализируемых изображений представлены на рис. 1 (б, г, е).

Анализ полученных графиков изменения коэффициентов сжатия показывает, что предложенный метод с зонально-пороговой селекцией коэффициентов двумерного преобразования Хаара обеспечивает меньшее сжатие при $Q_S = 5 \div 10$, чем метод сжатия, основанный на быстром двумерном преобразовании по целочисленному базису Хаара (БЦПХ) с зональной селекцией при обработке малонасыщенного изображения. Однако БЦПХ имеет гораздо худшие значения СКО на этом интервале Q_S .

Это связано с наличием большого количества „естественных” нулей, т.е. нулевых значений коэффициентов преобразования до проведения селекции. При обработке средне- и высоконасыщенных изображений метод ЗПС обеспечивает большие коэффициенты сжатия.

Анализ вычислительной сложности анализируемых методов показывает, что при обработке представленных изображений с различной степенью насыщенности необходимо выполнить:

- 14680064 операций «сложения/вычитания» и 16777216 операций «умножения/деления» при использовании метода на основе ЗС коэффициентов дискретно-косинусного преобразования (ДКП);
- 3670016 операций «сложения/вычитания» и 2097152 операций «умножения/деления» при использовании метода на основе ЗС коэффициентов быстрого целочисленного преобразования Хаара (БЦПХ);
- 5155016 операций «сложения/вычитания» и 3582152 «умножения/деления» при использовании предложенного метода с ЗПС.

Таким образом, вычислительная сложность предложенного метода в 5 раз меньше, чем при ДКП, но примерно в 1,5 больше, чем при БЦПХ. Это связано с необходимостью проведения дополнительных расчетов по нахождению порога ЗПС. Однако, предложенный метод ЗПС обеспечивает большие коэффициенты сжатия при меньших СКО по сравнению с методом, основанным на БЦПХ.

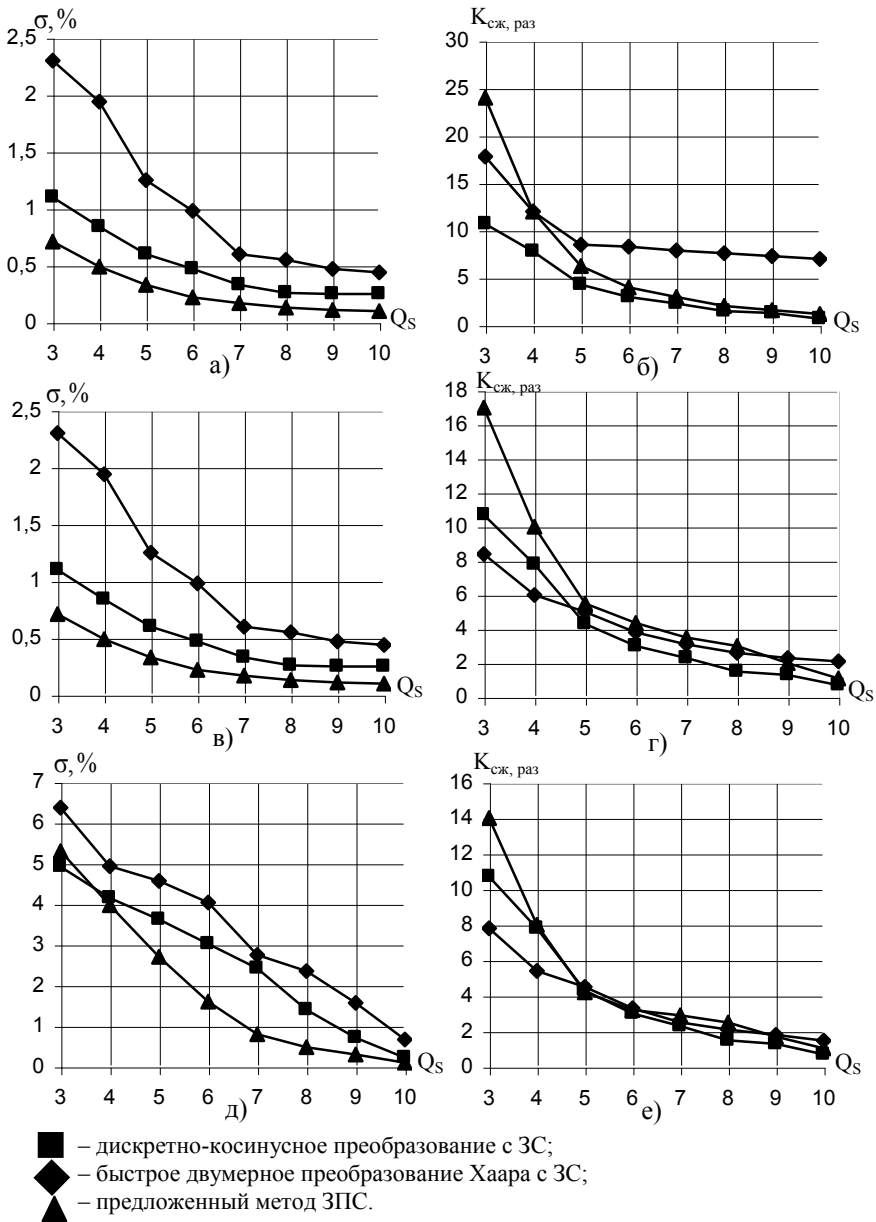


Рис. 1. Графики зависимости СКО (а, в, д) и $K_{сж}$ (б, г, е) от параметра качества Q_s для: а, б) малонасыщенных изображений; в, г) среденасыщенных изображений; д, е) высоконасыщенных изображений

Выводы. Предлагаемый метод сжатия с ЗПС коэффициентов двумерного преобразования Хаара позволяет получить при СКО $\sigma < 1,5\%$:

- для высоконасыщенного изображения $K_{сж} = 3,5$ раза;
- для средненасыщенного изображения $K_{сж} = 7$ раз;
- для малонасыщенного изображения $K_{сж} = 23$ раза,

а также достичь $K_{сж} = 10$ раз при СКО равном 0,5; 1,7; 4,5% в зависимости от степени насыщенности изображения. При этом вычислительная сложность возрастает незначительно, за счет замены операции «умножения/деления» при расчете порога селекции на побитовый сдвиг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
2. Скляр В.С. Математические модели информационных систем. – Х.: ХВВКИУ РВ, 1989. – 479 с.
3. Прэнт У. Цифровая обработка изображений: Том 1, 2. – М.: Мир, 1985. – 736 с.
4. Бондарев В.Н, Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. – Х.: Конус, 2001. – 398 с.
5. Миано Дж. Форматы сжатия изображений в действии. М.: Триумф, 2003. – 354 с.
6. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.
7. Королёв А.В., Бохан К.А., Сальник Ю.П. Исключение зон трансформанты Хаара // Збірник наукових праць ІПМЕ. – К.: ІПМЕ НАНУ. – 2003. – Вип. 22. – С. 68 – 73.
8. Королёв А.В., Бохан К.А., Сальник Ю.П. Зонально-пороговая селекция коэффициентов быстрого двумерного преобразования Хаара// Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 4. – С. 109 – 113.

Поступила 27.04.2004

БОХАН Константин Александрович, к.т.н., научный сотрудник НИО ХВУ. В 1999 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – обработка и передача информации.

КОРОЛЁВА Наталья Анатольевна, к.т.н., преподаватель УкрГАЗТ. В 1999 году окончила Харьковскую ГАЗТ. Область научных интересов – управление и связь, обработка изображений.

САЛЬНИК Юрий Павлович, адъюнкт ХВУ. В 2000 году окончил ХВУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.