

Н. Д. Егоров – студент кафедры безопасности информационных систем

М. Р. Гильмутдинов (канд. техн. наук) – научный руководитель

АНАЛИЗ ОБРАТИМЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ КОМПОНЕНТ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В современном мире во многих областях деятельности требуется работать с изображениями в высоком разрешении. Данные изображения, как правило, занимают значительное место на жестком диске и требуют сжатия. При этом операция сжатия должна быть полностью обратимой, т.е. мы должны иметь возможность восстановления исходного изображения без потерь. Данным требованиям отвечает кодек JPEG-LS [1].

Одним из способов улучшения степени сжатия данных кодеком является применение обратимых цветовых преобразований, оказывающих декоррелирующий эффект, т.е. устранения избыточности между цветовыми компонентами изображения. В данной работе рассматриваются обратимые неадаптивные цветовые преобразования, адаптивные необратимые цветовые преобразования, а также алгоритм аппроксимации необратимых матричных преобразований, позволяющий получать обратимые цветовые преобразования.

Из Рис. 1. Схема работы декоррелирующего преобразования видно, что на вход блока преобразования поступают три цветовые компоненты (C_1, C_2, C_3), имеющие близкие по времени значения между собой, на выходе мы получаем три цветовых компоненты (C'_1, C'_2, C'_3), не содержащие избыточных дублирующихся данных.

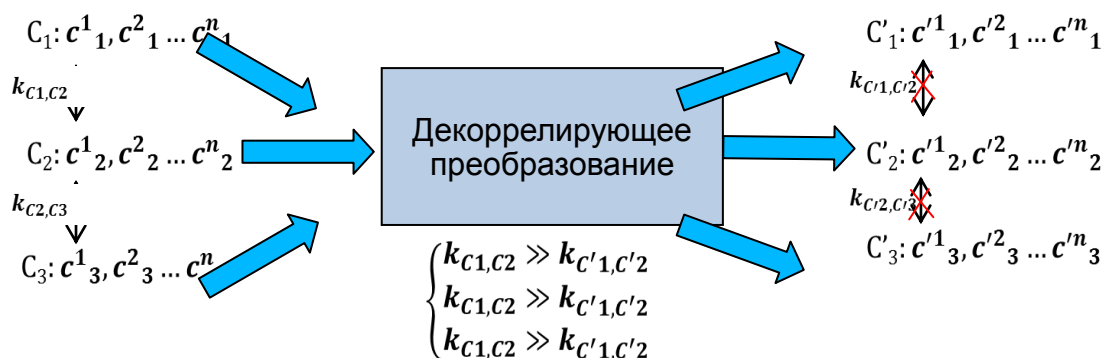
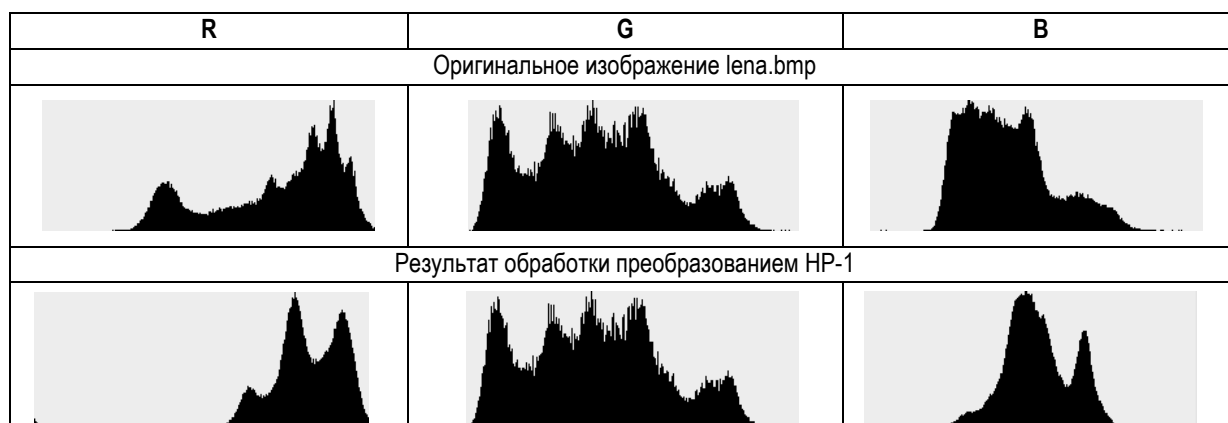


Рис. 1. Схема работы декоррелирующего преобразования

Результат применения неадаптивного обратимого преобразования НР-1 приведен в таблице 1.

Цветовые гистограммы изображения lena.bmp



Из гистограмм, приведенных в таблице 1, видно, что диапазон значений для R и B компоненты сократился, что свидетельствует об уменьшении значения дисперсии, что, в свою очередь, приведет к улучшению сжатия данной цветовой компоненты.

Декоррелирующие преобразования бывают:

- неадаптивные;
- адаптивные.

Исходя из нашей задачи получения лучшего сжатия данных без потерь, к рассматриваемым преобразованиям будут предъявляться следующие требования:

- обратимость – возможность получения изначальных данных;
- ограничение по числу компонент – сохранение количества используемых цветовых компонент;
- ограничение по числу бит – сохранение количества бит, необходимых для хранения данных в компоненте.

Неадаптивные цветовые преобразования – преобразования, основывающиеся на взятии разности между фиксированными цветовыми компонентами.

К тестовому множеству были применены известные целочисленные неадаптивные обратимые преобразования, подобранные экспериментальным путем:

- HP-1;HP-2;HP-3;
- YCoCg – [2].

Адаптивные цветовые преобразования – преобразования, зависящие от конкретного изображения, к которому они применяются.

Метод главных компонент (также известный как (PCA)Principal component analysis) – позволяет построить оптимальное декоррелирующее преобразование по заданному изображению.

Идея данного преобразования заключается в расчете ковариационной матрицы по заданному изображению и расчете ортогональных базисных векторов по ней.

Данный метод лежит в основе одного известного цветового преобразования – (KLT) Karhunen-Loeve Transform [3]. При применении на практике у данного преобразования обнаружился ряд существенных недостатков:

- необратимость – получается в результате операции отбрасывания дробной части;
- двухпроходность – влияет на вычислительную сложность алгоритма;
- расширение диапазона значений компонент – оказывает негативный эффект на сжатие данных.

В результате наличия данных недостатков было принято решение использовать в дальнейшем рассмотрении Дискретное косинусное преобразование (ДКП), являющееся близким к оптимальному

для изображений с высокой межкомпонентной корреляцией. ДКП является однопроходным преобразованием, но также как и KLT является необратимым.

Для дальнейшего анализа было необходимым сведение ДКП к обратимому преобразованию.

Существует алгоритм, позволяющий разложить линейную матрицу необратимого преобразования на произведение обратимых матриц:

$$Y = AX;$$

$$\bar{Y} = \bar{A}X, \text{ где } \bar{A} = M_0 * M_1 * \dots * M_n; M_0, M_1, \dots, M_n - \text{обратимые матрицы.}$$

При этом $Y - \bar{Y} \rightarrow 0$ означает, что аппроксимация для данной матрицы будет обладать свойствами, близкими к оригиналу.

Алгоритм факторизации матриц был описан в статье [4], где авторы статьи вводят ряд понятий:

— элементарная обратимая матрица (Elementary Reversible Matrix (ERM)) – не вырожденная матрица A, такая что: $x \in Z^N \rightarrow [Ax] \in Z^N$ с обратной операцией $y \in Z^N \rightarrow [A^{-1}y] \in Z^N$;

— треугольная ERM(TERM) – любая треугольная матрица, диагональные элементы которой эквивалентны ± 1 ;

— однострочная матрица (SERM) – любая матрица, состоящая из 1 не нулевой строки и диагонали, элементы которой эквивалентны ± 1

Необходимое условие для факторизации: $\|A\|_\infty = \|A^{-1}\|_\infty = 1$.

Предполагается разбиение рассматриваемой матрицы на произведение, состоящее из TERM и SERM матриц.

Данный алгоритм был применен к матрице преобразования ДКП 3x3:

$$A = \begin{bmatrix} 0.5774 & 0.5774 & 0.5774 \\ 0.7071 & 0 & -0.7071 \\ 0.4082 & -0.8165 & 0.4082 \end{bmatrix}.$$

Матрица преобразования A может быть представлена в виде произведения матриц в соответствии с формулой (1):

$$A = P * L * U * S, \quad (1)$$

где

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -0.4142 & 0.5176 & 1 \end{bmatrix};$$

$$U = \begin{bmatrix} 1 & -0.3660 & -0.7071 \\ 0 & 1 & 0.8165 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.3382 & 1 & 0 \\ 0.2391 & -0.5176 & 1 \end{bmatrix}.$$

Тестовое множество, на котором осуществлялась проверка эффективности преобразования, состоял из цветных фотореалистичных изображений, медицинских снимков и скриншотов/фотокопий и имел следующие параметры:

- количество изображений – 332;
- максимальный размер файла – 29 618 149 байт;
- максимальное разрешение – 5696*8544.

Как видно из таблицы 2, данное тестовое множество характеризуется высокой межкомпонентной корреляцией.

Таблица 2

Среднее значение межкомпонентной корреляции на выбранном тестовом множестве

$K_{R,G}$	$K_{G,B}$	$K_{R,B}$
0,895	0,887	0,81

Таблица 3

Результаты использования неадаптивных цветовых преобразований на практике

Используемый кодек	Размер сжатых данных (байт)	TG(X, JPEG-LS), %
JPEG-LS	947747538	0
JPEG-LS+HP-1	601817315	36,50025024
JPEG-LS+HP-2	605249246	36,13813577
JPEG-LS+HP-3	607600472	35,89005008
JPEG-LS+YCoCg	634209189	33,0824757

$$TG(X, JPEG - LS) = \frac{\text{Сжатые данные } X - \text{Сжатые данные } JPEG - LS}{\text{Сжатые данные } JPEG - LS} * 100\%, \quad (2)$$

де *Total Gain*(TG) – величина, отражающая выигрыш кодека X по сжатию в процентах относительно кодека JPEG-LS.

Исходя из результатов сжатия изображения после применения неадаптивных обратимых цветовых преобразований в Таблице 3, можно говорить о том, что достаточно простые в реализации преобразования могут давать выигрыш более 30%. Оценка выигрыша по сжатию рассматриваемого кодека производилась согласно формуле (2).

Теперь проведем сравнение результатов лидера среди неадаптивных преобразований с полученным нами обратимым преобразованием ДКП 3х3.

Результат применения преобразований к изображению lena.bmp:

— JPEG-LS+HP-1: 451 961 байт;

— JPEG-LS+ДКП: 450 790 байт.

Таблица 4

Значения корреляции между компонентами

	$K_{R,G}$	$K_{B,G}$	$K_{R,B}$
Оригинальное изображение	0.878	0.91	0.676
Результат обработки преобразованием HP-1	-0.313	-0.84	0.01
Результат обработки ДКП 3х3	-0.177273	-0.302213	-0.665325

Таблица 5

Результат сжатия на всем тестовом множестве

Используемый кодек	Размер сжатых данных, (байт)	Выигрыш по сжатию (X, JPEG-LS), %
JPEG-LS	947747538	0
JPEG-LS+HP1	601817315	36,50025024
JPEG-LS+ДКП	796885294	15,91940742

Полученный проигрыш JPEG-LS+ДКП на всем тестовом множестве объясняется тем, что перед нами не оригинальный ДКП, а его аппроксимация. В случае обработки изображения в формате Grayscale(все компоненты одинаковы) результатом ДКП будет изображение, две компоненты которого обнулены (все значения в них будут равны нулю), что даст большой выигрыш при сжатии данных. При применении к такому изображению обратимой аппроксимации ДКП в этих двух компонентах будут содержаться какие-то значения, близкие к нулю.

Выводы из проделанного анализа.

1. Были рассмотрены неадаптивные цветовые преобразования, являющиеся простыми в реализации и дающие более 30% выигрыша по сжатию на рассматриваемом тестовом множестве.

2. Был рассмотрен метод построения оптимальных адаптивных ЦП на основе метода главных компонент, но он оказался не подходящим в рамках поставленной задачи из-за сложности реализации, выхода за ограничение по количеству бит на компоненту и своей необратимости.

3. Был произведен расчет ядра обратимого преобразования ДКП 3х3, но оно оказалось менее эффективным, нежели оригинальное ДКП.

Исходя из полученных результатов и выдвинутых требований, для использования вместе с кодеком JPEG-LS было выбрано неадаптивное обратимое преобразование HP-1.

Библиографический список

1. ITU-T Recommendation T.87/ISO 14495-1 "Information technology – Lossless and near-lossless compression of continuous-tone still images – Baseline", 06. 1998.
2. H. S. Malvar, G. J. Sullivan, S. Srinivasan, "Lifting-based reversible color transformations for image compression".
3. R. Kountchev, R. Kountcheva, "New Method for Adaptive Karhunen-Loeve Color Transform", TELSIKS 2009.
4. P. Hao, Q. Shi, "Matrix Factorizations for Reversible Integer Mapping", October 2001.