

УДК 004.932.72

КОДИРОВАНИЕ ДЛИН СЕРИЙ ПИКСЕЛЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РЕКУРСИВНОЙ ПЕРЕСТАНОВКОЙ

Х.К. АЛЬ-БАХДИЛИ, В.К. КОНОПЕЛЬКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 16 ноября 2016

Исследовано влияние рекурсивной перестановки пикселей изображения на результат его сжатия без потерь с помощью вероятностного кодирования длин серий. Показано, что наибольшее повышение коэффициента сжатия обеспечивает перестановка пикселей по закону Гильберта.

Ключевые слова: кодирование длин серий, сжатие изображений, рекурсивная перестановка.

Введение

Сжатие изображений в реальном масштабе времени актуально для множества прикладных задач. Часто для этого используются алгоритмы JPEG [1] и JPEG 2000 [2]. Однако эти алгоритмы требуют значительных вычислительных ресурсов. Самым вычислительно простым алгоритмом эффективного кодирования является алгоритм кодирования длин серий RLE (Run-Length Encoding) [3], основанный на учете повторов символов. Однако он имеет низкую эффективность для сжатия изображений, поскольку не учитывает вероятность повтора пикселей в строках (столбцах). Для естественных изображений вероятность повтора символа в строке резко уменьшается с ростом длины серии. С учетом данного факта в [4, 5] предложен алгоритм вероятностного кодирования длин серий, использующих три дополнительных кодовых символа для определения повтора перед передачей значения длины серии. Предложенный алгоритм позволяет существенно повысить коэффициент сжатия изображений, однако он учитывает корреляцию значений соседних пикселей изображения только в одном направлении – вдоль строки или столбца. Известны работы [6, 7], в которых предлагается изменять направление считывания пикселей с учетом их корреляции, что сохраняет высокую скорость кодирования, но не приводит к существенному росту коэффициента сжатия из-за использования дополнительных кодовых символов для определения направления считывания пикселей изображения. Альтернативным подходом к повышению корреляции соседних пикселей изображения без изменения направления их считывания является использование рекурсивной перестановки [8], позволяющей преобразовать двухмерный массив пикселей в вектор с улучшением локальной корреляции пикселей вдоль строки. Использование рекурсивных перестановок для сжатия изображений исследовано в работах [7, 9].

Целью работы является исследование эффективности рекурсивной перестановки пикселей для повышения коэффициента сжатия изображения с помощью алгоритма вероятностного кодирования длин серий.

Алгоритм кодирования длин серий

Алгоритм RLE выделяет для кодирования повтора каждого символа одинаковое число бит, представленных в виде пары символов $\{i(s), n(s)\}$, где $i(s)$ – значение кодируемого s -го

символа; $n(s)$ – число повторов s -го символа (длина серии); $s = \overline{0, S-1}$ – порядковый номер символа; S – число кодируемых символов. Размер $R_{I/N}$ (бит) кода и коэффициент сжатия CR для алгоритма RLE определяются с помощью выражений

$$R_{I/N} = S(BD_I + BD_N),$$

$$CR = 8YX/R_{I/N},$$

где YX – размер изображения, $BD_I = \left\lceil \log_2 \left(\max(i(s))_{(s=0, S-1)} \right) \right\rceil$ – битовая глубина изображения;

$BD_N = \left\lceil \log_2 \left(\max(n(s))_{(s=0, S-1)} \right) \right\rceil$ – битовая глубина значений длин серий.

Для естественных изображений вероятность повтора значения пикселя в строке (столбце) имеет неравномерное распределение от длины серии (рис. 1). Она резко падает с увеличением длины серии. Поэтому использование алгоритма RLE для сжатия изображений не эффективно.

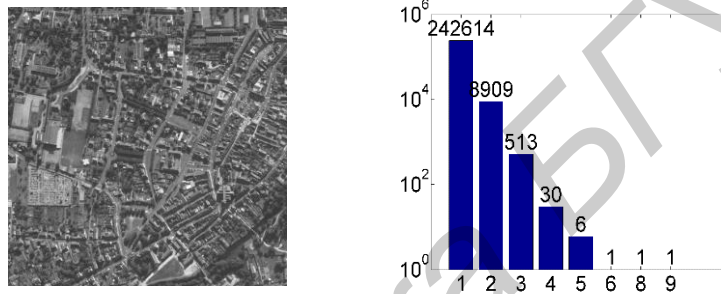


Рис. 1. Тестовое изображение «Город» 512×512 пикселей и соответствующая ему гистограмма длин серий пикселей в строках

Алгоритм вероятностного кодирования длин серий пикселей

Для учета распределения яркости в изображениях в [5, 6] предложен алгоритм I3B/N вероятностного кодирования длин серий с тремя подтверждениями повтора, использующий три бита подтверждения повтора для построения вложенного кода длины серии. При кодировании длины серии по алгоритму I3B/N сначала формируется символ $i(s)$. Если значение символа $i(s)$ повторяется, то формируется бит $b1(s) = 1$, иначе $b1(s) = 0$ (первый бит повтора). Если символ $i(s)$ повторяется снова, то формируется бит $b2(s) = 1$, иначе $b2(s) = 0$ (второй бит повтора). Если символ $i(s)$ повторяется снова, то формируется бит $b3(s) = 1$, $b2(s) = 1$, иначе $b3(s) = 0$ (третий бит повтора). Если символ $i(s)$ повторяется снова, то формируется символ $n(s)$, учитывающий число повторов (изначально $n(s) = 0$, если символ $i(s)$ повторяется снова, то $n(s) > 0$). В результате могут формироваться серии вида:

$$\{i(s), b1(s) = 0\}, \{i(s), b1(s) = 1, b2(s) = 0\}, \{i(s), b1(s) = 1, b2(s) = 1, b3(s) = 0\}, \\ \{i(s), b1(s) = 1, b2(s) = 1, b3(s) = 1, n(s)\}.$$

Размер $R_{I3B/N}$ (бит) кода для алгоритма I3B/N определяется с помощью выражения

$$R_{I3B/N} = S(BD_I + 1) + \sum_{s=0}^{S-1} b1(s) + \sum_{s=0}^{S-1} b2(s) + BD_N \sum_{s=0}^{S-1} b3(s).$$

В [4, 5] показано, что алгоритм I3B/N превосходит базовый алгоритм RLE кодирования длин серий по коэффициенту сжатия без потерь в 1,2-1,3 раза (но проигрывает алгоритмам RAR и ZIP примерно до 10 раз при сжатии без потерь). Возможность повышения эффективно-

сти кодирования изображений алгоритмом *I3/B/N* связана с повышением вероятности повтора пикселей в строке. Для этого может использоваться рекурсивная перестановка, усиливающая корреляцию пикселей в строке.

Рекурсивные перестановки пикселей

Основной особенностью рекурсивных разверток является фрактальное самоподобие траектории развертки, проявляющееся в различных масштабах разрешения [7]. Рекурсивная развертка задается примитивом, определяющим последовательность выбора элементов в небольшой области, и правилом, задающим размещение различным образом ориентированных копий примитива в пространстве, размер которого равен размеру преобразуемого изображения. Алгоритм рекурсивной развертки позволяет построить матрицу перестановки элементов фрагмента данных необходимого размера за некоторое число шагов, зависящее от соотношения размеров примитива и обрабатываемого фрагмента. Простейшей рекурсивной разверткой с непрерывной траекторией является развертка Гильберта (рис. 2).

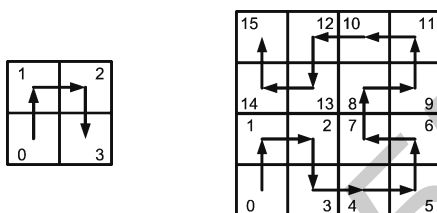


Рис. 2. Примитив и матрица рекурсивной перестановки Гильберта размером 4×4 пикселя

На рис. 3 приведена гистограмма длин серий пикселей в строке, полученной в результате рекурсивной перестановки тестового изображения, представленного на рис. 1, по законам разверток Гильберта и *Z*.

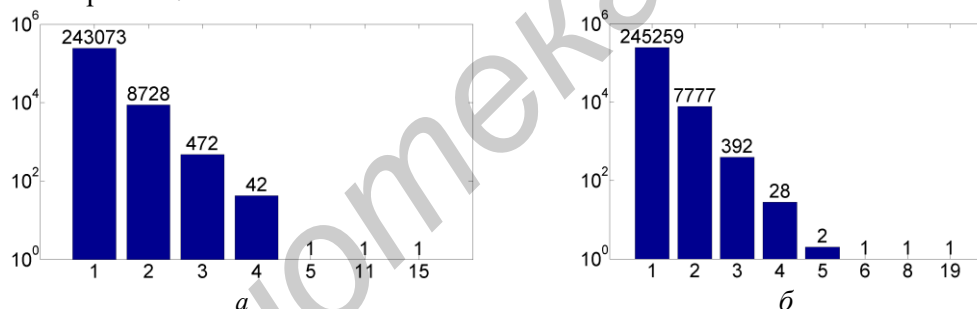


Рис. 3. Гистограммы длин серий пикселей в строке после рекурсивных перестановок: *a* – по закону Гильберта; *б* – по закону *Z*

Из рис. 1 и 3 следует, что рекурсивные перестановки позволяют увеличить число серий с малыми длинами (1, 2, 3 пикселя), которые эффективно кодируются алгоритмом *I3/B/N*.

Оценка эффективности кодирования длин серий пикселей с их предварительной рекурсивной перестановкой

Для оценки эффективности кодирования длин серий пикселей с их предварительной рекурсивной перестановкой использованы тестовые изображения, приведенные на рис. 1 и 4, рекурсивные перестановки по законам Гильберта и *Z*, алгоритмы RLE и *I3BN*. На рис. 5 и 6 приведены гистограммы длин серий пикселей в строках тестовых изображений до и после рекурсивных перестановок их пикселей. В таблице для рассмотренных условий приведены значения коэффициентов сжатия тестовых изображений. Из таблицы следует, что для большинства изображений перестановка пикселей по закону Гильберта позволяет незначительно (до 1,03 раза) повысить коэффициент сжатия без потерь по сравнению с *Z*-перестановкой. Для некоторых изображений использование перестановки пикселей по закону Гильберта также позволяет незначительно (до 1,02 раза) повысить коэффициент сжатия без потерь по сравнению с непосредственным кодированием изображений без предварительной рекурсивной перестановки.

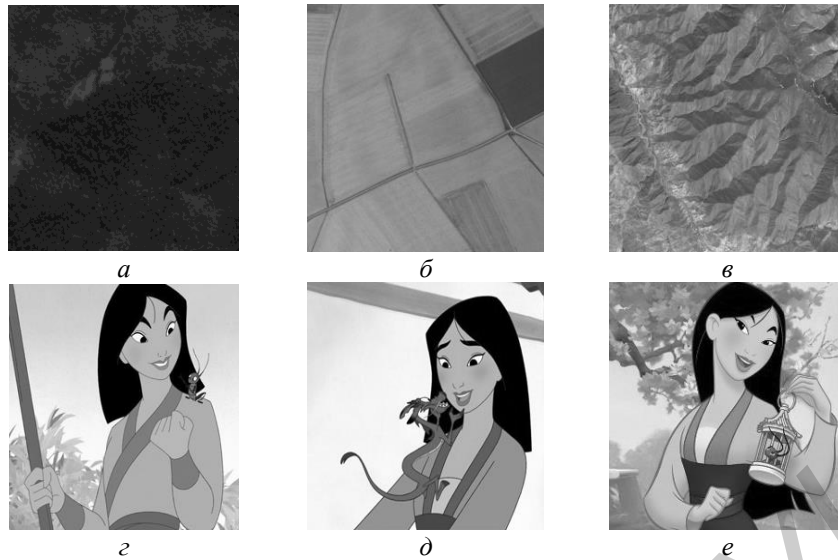


Рис. 4. Тестовые изображения 512×512 пикселей:
a – «Лес»; *б* – «Поле»; *в* – «Горы»; *з* – «Мулан-1»; *д* – «Мулан-2»; *е* – «Мулан-3»

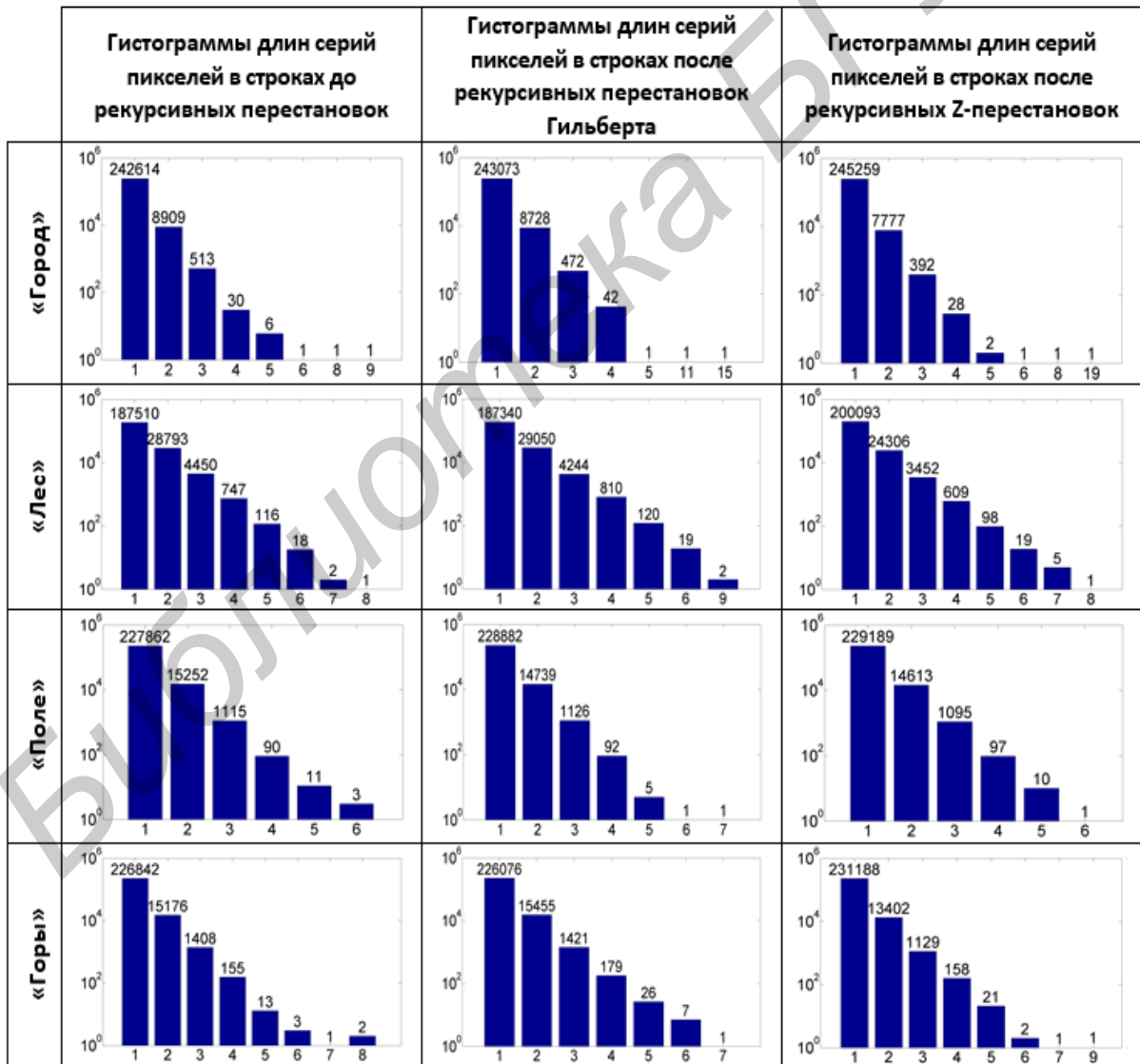


Рис. 5. Гистограммы длин серий пикселей в строках естественных тестовых изображений после их рекурсивных перестановок

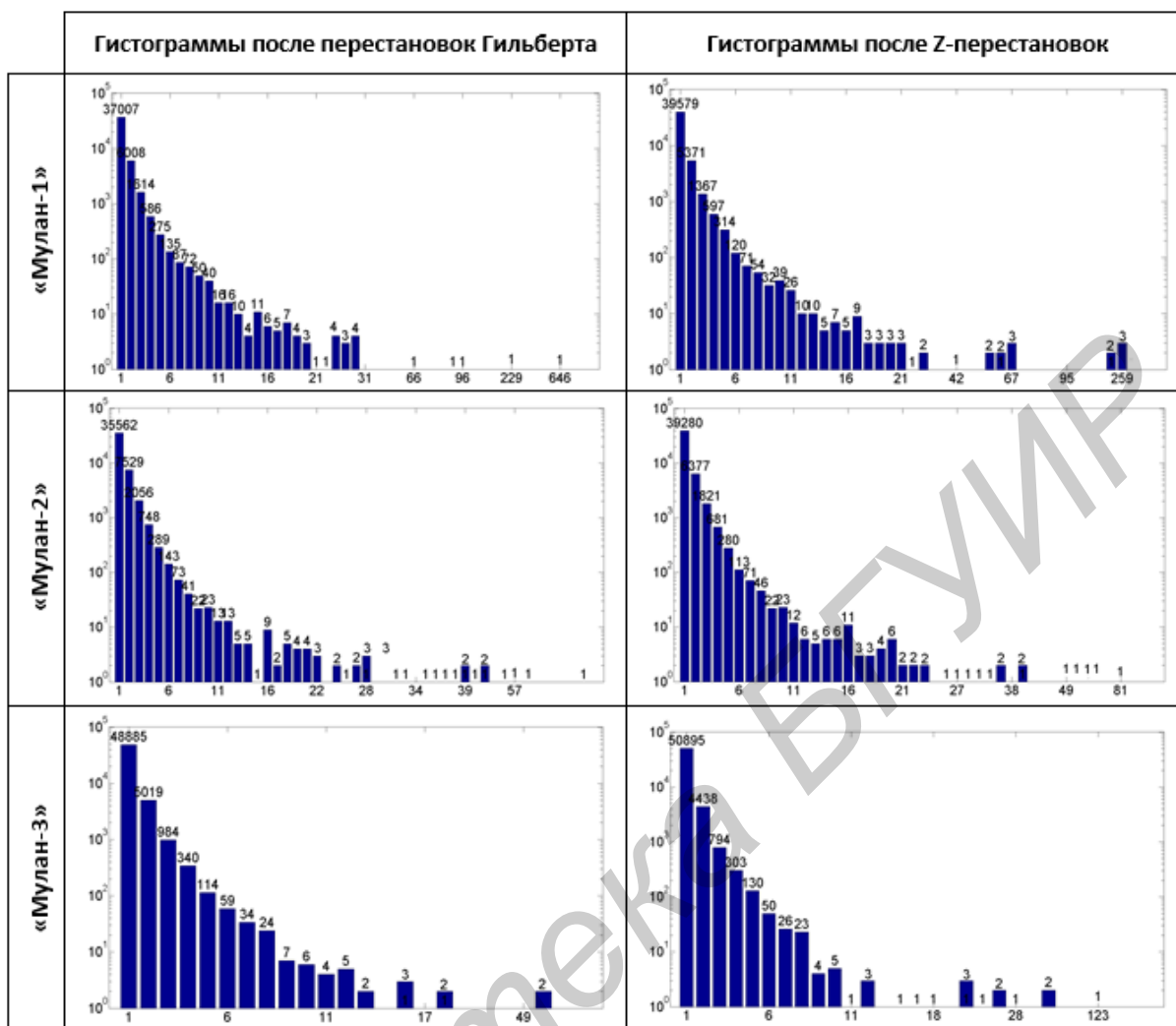


Рис. 6. Гистограммы длин серий пикселей в строках мультипликационных тестовых изображений после их рекурсивных перестановок

Коэффициенты сжатия тестовых изображений

Тестовые изображения	Коэффициенты сжатия тестовых изображений без потерь		
	Без предварительной перестановки пикселей	С предварительной перестановкой Гильберта	С предварительной Z-перестановкой пикселей
«Город»	0,828	0,827	0,824
«Лес»	0,928	0,929	0,903
«Поле»	0,852	0,850	0,850
«Горы»	0,854	0,855	0,847
«Мулан-1»	1,082	1,082	1,049
«Мулан-2»	1,053	1,072	1,030
«Мулан-3»	0,928	0,923	0,907

Заключение

Произведено исследование влияния рекурсивной перестановки пикселей по законам разверток Гильберта и Z на коэффициент сжатия без потерь естественных и мультипликационных изображения с помощью кодирования длин серий. Установлено, что наибольшее повышение (до 1,02 раза) коэффициента сжатия изображений обеспечивает перестановка пикселей по закону Гильберта. Выигрыш в коэффициенте сжатия изображений от использования рекурсивной перестановки Гильберта по сравнению с Z-перестановкой достигает 1,03 раза.

RUN LENGTH ENCODING PIXELS OF IMAGES WITH RECURSIVE PERMUTATION

H.K. AL-BAHADILY, V.K. KANAPELKA

Abstract

New modified RLE algorithm with recursive scans order to study the effect of permutation of pixels on the result of image lossless compression using a probability-length coding is explored. The results showed that the Hilbert permutation was the best and achieved the greatest compression ratio.

Keywords: run length encoding, image compression, recursive permutation.

Список литературы

1. *Pennebaker W.B.* JPEG Still Image Compression Standard. New York, 1993.
2. *Ebrahimi T.* // Proc. of the SPIE. San Diego, July-August 2000. Vol. 4115. P. 446-454.
3. *Golomb S.W.* // IEEE Transactions on Information Theory. 1966. P. 399-401.
4. *Albahadily H.K., Tsviatkou V.Yu., Kanapelka V.K.* // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2016. Vol. 7. №7. P. 250-255.
5. *Аль-Бахадиль Х.К., Цветков В.Ю., Конопелько В.К.* // Докл. БГУИР. 2016. №2(96). С. 63-69.
6. *Smila M.* // International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics (IJETCSE). 2014. Vol. 8. P. 229-236.
7. *Ouni T.* // International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition. 2012. Vol. 5. №3. С. 49-63.
8. *Кудреватых С.И.* Генетический код для рекурсивных разверток. Мн., 1990.
9. *Karthikeyan B.* // Journal of Scientific and Industrial Research. 2014. Vol. 73. P. 214-218.