УДК 621.327:681.5

Н.К. Гулак

Национальный авиационный университет, Киев

НЕРАВНОВЕСНОЕ ПОЗИЦИОННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ БИТОВЫХ ПЛОСКОСТЕЙ ТРАНСФОРМАНТ

Приводятся основные этапы синтеза подхода для устранения избыточности в битовом представлении данных, базирующийся на одновременном учете размеров и позиций двоичных объектов. Разрабатывается неравновесное позиционное кодирование длин двоичных серий, которое характеризуется: неравновесностью оснований длин двоичных серий; зависимостью значений весовых коэффициентов от позиции соответствующей длины серии в последовательности. Обосновывается, что неравновесное позиционное кодирование обладает потенциальными возможностями для обеспечения степени сжатия битового представления данных в случаях произвольных значений количества двоичных перепадов, вплоть до непосредственного кодирования двоичных последовательностей.

Ключевые слова: *битовые плоскости трансформант, неравновесное позиционное кодирование.*

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы. Построение информационных систем осуществляется с учетом необходимости обработки видеоданных [1 – 4]. При этом особое внимание уделяется системам обработки оцифрованных изображений с регулируемыми степенью компрессии и качеством восстановления. Вариант реализации таких технологий отражен в форматах JPEG, JPEG 2000 [2 – 4]. Особенность данных форматов заключается в подходах относительно решения противоречия между коэффициентом сжатия и степенью потерь информации [4; 5], что определяет ***актуальность тематики научно-прикладных исследований***.

Важным этапом технологий сжатия данного класса состоит в кодировании трансформант изображений [4; 5]. Это позволяет сократить избыточность трансформант, а, следовательно, и обеспечить компактность изображений. Методы обработки трансформант различаются в зависимости от видов сокращаемой избыточности. В существующих форматах наибольший уклон делается на статистические коды, в том числе коды Хаффмана и арифметические коды [2 – 4]. Отдельный интерес представляет подход основанный на обработки битовых плоскостей с учетов выявления двоичных серий. Данный подход не в полной мере учитывает структурные особенности трансформант. Отсюда не достаточные степени сжатия и большие затраты на обработку. Значит ***цель исследований*** заключается в построении метода компактного описания битовых плоскостей трансформант.

Построение компактного представления битовых плоскостей трансформант

Использование методов, исключающих вероятностно-статистическую избыточность для дополнительного повышения эффективности методов без потери качества нецелесообразно. Поэтому представляет интерес исследование возможности дальнейшего увеличения коэффициента сжатия длин двоичных серий за счет организации исключения новых видов избыточности.

Для выявления закономерностей в последовательностях длин серий необходимо обосновать информативный признак, обладающий следующими свойствами:

1) являться информативным для длин двоичных серий, сформированных для различных битовых плоскостей, т.е. обеспечивать потенциальную возможность для сокращения избыточности для произвольного содержания битовой плоскости;

2) являться тривиальным и простым в оценке, чтобы на выявление закономерностей по этому признаку затрачивалось количество операций порядка $O(n)$;

3) на случай большой вероятности смены двоичных последовательностей должен обеспечить сокращение избыточности непосредственно в двоичных последовательностях;

4) обеспечить построение кодовой реализации процесса сокращения избыточности близкой в статистическом плане к теоретическому пределу.

Проведем синтез подхода для сокращения избыточности в битовом представлении трансформант dct-преобразования на основе выдвинутых требований.

Осуществим синтез в соответствии с первым требованием к методу кодирования. Для этого рассмотрим битовое представление с наихудшей позиции. Выше было определено, что потенциальные возможности по сокращению избыточности зависят от размеров областей нулевых элементов и от количества переходов между двоичными последовательностями. В случае битового представления трансформант более сложным является оценка БПТ по направлению двоичного кода компонент. Для такого варианта на обработку поступают вертикальные последовательности $\{d_{k\ell}^{(q_{bp})}, d_{k\ell}^{(q_{bp}-1)}, ..., d_{k\ell}^{(1)}\}$, где

$k = \overline{1, q_\ell}$, $\ell = \overline{1, q_c}$. Данные последовательности представляют собой двоичную запись целочисленных компонент $c_{k\ell}$ трансформант dct-преобразований [6]:

$$c_{k\ell} = d_{k\ell}^{(q_{bp})} 2^{q_{bp}-1} + \ldots + d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi)} 2^{q_{bp}-\xi-1} + \ldots + d_{k\ell}^{(1)}, \quad (1)$$

где $d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi)}$ – $(q_{bp}-\xi)$-й двоичный элемент $(k;\ell)$-й компоненты трансформанты, $(q_{bp}-1) \geq \xi \geq 0$; $2^{q_{bp}-\xi-1}$ – весовой коэффициент двоичного элемента $d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi)}$; q_{bp} – количество разрядов на компоненту трансформанты.

После выявления длин двоичных серий в направлении вертикалей БПТ образуется последовательность $\{\ell_{k\ell}^{(1)}, \ldots, \ell_{k\ell}^{(\theta)}, \ldots, \ell_{k\ell}^{(\Theta)}\}$, где $\ell_{k\ell}^{(\theta)}$ – длина θ-й двоичной серии, выявленной для двоичного представления $(k;\ell)$-й компоненты трансформанты. Выявление серий начинается с элемента $d_{k\ell}^{(q_{bp})}$. По умолчанию допустим, что элементу $d_{k\ell}^{(q_{bp})}$ предшествует серия нулевых элементов, длиной равной 1. Понятно, что если $d_{k\ell}^{(q_{bp})} = 1$, то $\ell_{k\ell}^{(1)} = 1$. В противном случае $\ell_{k\ell}^{(1)} \geq 2$. Сокращение избыточности произойдет в случае выполнения неравенства

$$E_{k\ell} < 2^{q_{bp}}, \quad (2)$$

где $E_{k\ell}$ – значение кода, сформированного для $(k;\ell)$-й последовательности длин двоичных серий.

Так как в случае выполнения неравенства (2) на отображение последовательности длин серий потребуется не большее количество разрядов, чем на представление исходной компоненты трансформанты. В случае арифметического кода, величина $E_{k\ell}$ представляет собой десятичное значение, хранящееся в арифметическом коде при рассмотрении его как машинного слова.

Допустим, что согласно требованию 3 все значения длин серий равны 1, $\ell_{k\ell}^{(\theta)} = 1$, $\theta = \overline{1, \Theta}$. Тогда количество переходов ν_{bt} между двоичными последовательностями равно максимальному количеству $\nu_{bt} = q_{bp}$ (здесь учитывается, что начальная серия состоит из нулевых элементов), количество серий будет равно количеств разрядов на представление компоненты $\Theta = q_{bp}$. Значит последовательность серий $\{\ell_{k\ell}^{(1)}, \ldots, \ell_{k\ell}^{(\theta)}, \ldots, \ell_{k\ell}^{(\Theta)}\}$ будет принадлежать множеству двоичных чисел, а потому они будут иметь отображение $E_{k\ell}$ как позиционное число по основанию 2:

$$E_{k\ell} = \ell_{k\ell}^{(1)} 2^{\Theta-1} + \ldots + \ell_{k\ell}^{(\theta)} 2^{\Theta-\theta} + \ldots + \ell_{k\ell}^{(\Theta)}. \quad (3)$$

Поскольку для максимального количества двоичных переходов половина элементов $d_{k\ell}^{(\xi)}$ будут равны нулю, то выполняется неравенство $E_{k\ell} > c_{k\ell}$. Однако поскольку заранее известно, что минимальное значение длины серии равно 1, то за счет понижения по умолчанию динамического диапазона длин серий на 1 получим значение $E'_{k\ell}$, равное 0:

$$E'_{k\ell} = (\ell_{k\ell}^{(1)} - 1) 2^{\Theta-1} + \ldots + (\ell_{k\ell}^{(\theta)} - 1) 2^{\Theta-\theta} + \ldots + \\ + (\ell_{k\ell}^{(\Theta-1)} - 1) 2 + (\ell_{k\ell}^{(\Theta)} - 1) = 0.$$

Тогда выполняется неравенство $E'_{k\ell} < c_{k\ell}$. Следовательно, неравенство (2) также выполняется.

Допустим теперь, что найдется хотя бы одна двоичная серия $\{d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi)}, \ldots, d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi-u+1)}\}$, длина $\ell_{k\ell}^{(\theta)}$ которой будет равна $\ell_{k\ell}^{(\theta)} = u \geq 2$. Тогда $\nu_{bt} < q_{bp}$, а $\Theta < q_{bp}$. Для такого варианта последовательность $\{\ell_{k\ell}^{(1)}, \ldots, \ell_{k\ell}^{(\theta)}, \ldots, \ell_{k\ell}^{(\Theta)}\}$ не будет двоичным числом. Основание величины $\ell_{k\ell}^{(\theta)}$ будет равно $(u+1)$.

На основе выражение (1) вклад $\Delta_{\xi,u}$ последовательности двоичных элементов $\{d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi)}, \ldots, d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi-u+1)}\}$ в значение компоненты $c_{k\ell}$ находится по формуле

$$\Delta_{\xi,u} = d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi)} 2^{q_{bp}-\xi-1} + \ldots + d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi-u+1)} 2^{q_{bp}-\xi-u}, \quad (4)$$

где $d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi)}$, $d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi-u+1)}$ – соответственно первый и последний элементы двоичной серии; $2^{q_{bp}-\xi-1}$, $2^{q_{bp}-\xi-u}$ – весовые коэффициенты соответственно элементов $d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi)}$ и $d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi-u+1)}$.

Рассмотрим общий случай, когда двоичная серия расположена внутри двоичного представления компоненты, т.е. $q_{bp} < \xi$, $u > 1$. Отсюда $1 < \theta < \Theta$, а позиционное отображение последовательности длин двоичных серий согласно формуле (3), примет вид

$$E_{k\ell} = \ell_{k\ell}^{(1)} (u+1) 2^{\Theta-2} + \ell_{k\ell}^{(2)} (u+1) 2^{\Theta-3} + \ldots + \\ + \ell_{k\ell}^{(\theta)} 2^{\Theta-\theta} + \ldots + \ell_{k\ell}^{(\Theta-1)} 2 + \ell_{k\ell}^{(\Theta)}, \quad (5)$$

где $(u+1) 2^{\Theta-\gamma}$ – весовой коэффициент длины $(\gamma+1)$-й серии, расположенной перед (является более старшей) величиной $\ell_{k\ell}^{(\theta)}$, т.е. $\gamma < \theta$.

Преобразуем выражение (5) в соответствии с порядком позиционирования двоичных элементов $d_{k\ell}^{(\xi)}$. Для этого учтем, что порядок двоичных элементов $\{d_{k\ell}^{(q_{bp})}, \ldots, d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi+1)}\}$, предшествующих элементу $d_{k\ell}^{(q_{bp}-\xi)}$ будет меньше на длину серии, т.е. на величину, равную u.

Тогда получим

$$E_{k\ell} = \ell_{k\ell}^{(1)} (u+1) 2^{q_{bp}-u-1} + \ldots + \ell_{k\ell}^{(\theta)} 2^{q_{bp}-\xi-u} + \\ + \ldots + \ell_{k\ell}^{(\Theta-1)} 2 + \ell_{k\ell}^{(\Theta)}, \quad (6)$$

где $(u+1) 2^{q_{bp}-u-\gamma}$ – весовой коэффициент длины γ-й серии, расположенной перед величиной

$\ell_{k\ell}^{(\theta)}$; $2^{q_{bp}-\xi-u}$ – весовой коэффициент длины $\ell_{k\ell}^{(\theta)}$ соответствующей θ-й двоичной серии.

Получим значение $E'_{k\ell}$ кода позиционного числа с учетом понижения динамического диапазона на 1. При этом по условию имеем: длины двоичных серий, предшествующих θ-й серии равны $(\ell_{k\ell}^{(\gamma)}-1)=0$, где $\gamma<\theta$; длины серий, расположенных после θ-й серии равны $(\ell_{k\ell}^{(\zeta)}-1)=0$, где $\zeta>\theta$.

Тогда значение величины $E'_{k\ell}$ будет равно

$$E'_{k\ell}=(\ell_{k\ell}^{(\theta)}-1)2^{q_{bp}-\xi-u}. \quad (7)$$

По условию величина $(\ell_{k\ell}^{(\theta)}-1)=u-1$, где $(u-1)\ge 1$. Тогда десятичная запись числа $(u-1)$ в двоичном виде примет вид

$$(\ell_{k\ell}^{(\theta)}-1)=\sum_{\tau=0}^{[\ell og_2(u-1)]}\alpha_{[\ell og_2(u-1)]+1-\tau}\,2^{[\ell og_2(u-1)]-\tau}, \quad (8)$$

где $[\ell og_2(u-1)]+1$ – количество значимых разрядов, необходимых для представления величины $(u-1)$.

Заменив величину $(\ell_{k\ell}^{(\theta)}-1)$ в формуле (7) соотношением (8), получим

$$E'_{k\ell}=\Big(\sum_{\tau=0}^{[\ell og_2(u-1)]}\alpha_{[\ell og_2(u-1)]+1-\tau}\,2^{[\ell og_2(u-1)]-\tau}\Big)2^{q_{bp}-\xi-u}=$$

$$=\sum_{\tau=0}^{[\ell og_2(u-1)]}\alpha_{[\ell og_2(u-1)]+1-\tau}\,2^{q_{bp}-\xi-u+[\ell og_2(u-1)]-\tau}. \quad (9)$$

Из анализа выражения (9) следует, что значение весового коэффициента при старшем двоичном элементе (отличном от нуля) равно $2^{q_{bp}-\xi-u+[\ell og_2(u-1)]}$. Значит на представление величины $E'_{k\ell}$ требуется затратить количество двоичных разрядов, равное

$$[\ell og_2 E'_{k\ell}]+1=q_{bp}+[\ell og_2(u-1)]-\xi-u, \quad (10)$$

Поскольку $[\ell og_2(u-1)]<u$, а по условию $\xi>1$, то будет верно неравенство $(q_{bp}+[\ell og_2(u-1)]-\xi-u)<q_{bp}$. Следовательно, выполняется условие (2). При этом коэффициент сжатия $\eta_{k,\ell}$ для $(k;\ell)$-й компоненты трансформанты равен

$$\eta_{k,\ell}=q_{bp}/(q_{bp}+[\ell og_2(u-1)]-\xi-u). \quad (11)$$

Анализ соотношения (11) показывает, что степень сжатия $\eta_{k,\ell}$ будет увеличиваться при увеличении длины серии u и при смешении относительной позиции ξ-й серии в сторону младших разрядов компоненты трансформанты. Поэтому рассмотрим частный случай, когда значение коэффициента сжатия $\eta_{k,\ell}$ будет минимальным $\eta_{k,\ell}=\eta(\min)_{k,\ell}$. Такой вариант соответствует расположению серии, длина которой больше 2 в старших разрядах двоичного представления компоненты трансформанты. Тогда $\xi=0$ и $\theta=1$, а двоичная серия формируется из элементов $\{d_{k\ell}^{(q_{bp})},...,d_{k\ell}^{(q_{bp}-u+1)}\}$. Согласно выражению (7) величина $E'_{k\ell}$ равна $E'_{k\ell}=(\ell_{k\ell}^{(1)}-1)2^{q_{bp}-u}$, а значение степени сжатия $\eta(\min)_{k,\ell}$: $\eta(\min)_{k,\ell}=q_{bp}/(q_{bp}+[\ell og_2(u-1)]-u)$. Уже для $u=2$ имеем $\eta(\min)_{k,\ell}=q_{bp}/(q_{bp}-2)$. Например, для $q_{bp}=8$ получаем $\eta(\min)_{k,\ell}=1{,}34$, т.е. количество двоичных разрядов сокращается на 34%.

Рассмотрим более общий случай, когда формируется произвольное количество Θ двоичных серий, длины которых равны

$$u_\theta\ge 1 \quad (12)$$

и могут быть не равными между собой

$$u_\varphi\ne u_\gamma,\ \text{где}\ \gamma=\overline{1,\Theta}\ \text{и}\ \gamma\ne\varphi. \quad (13)$$

Тогда отображение $E_{k\ell}$ последовательности длин двоичных серий $\{\ell_{k\ell}^{(1)},...,\ell_{k\ell}^{(\theta)},...,\ell_{k\ell}^{(\Theta)}\}$ как позиционного числа запишется формулой

$$E_{k\ell}=\ell_{k\ell}^{(1)}\prod_{\varphi=2}^{\Theta}(u_\varphi+1)+...+\ell_{k\ell}^{(\theta)}\prod_{\varphi=\theta+1}^{\Theta}(u_\varphi+1)+...+$$
$$+\ell_{k\ell}^{(\Theta-1)}u_\Theta+\ell_{k\ell}^{(\Theta)}=\sum_{\theta=1}^{\Theta}\ell_{k\ell}^{(\theta)}\prod_{\varphi=\theta+1}^{\Theta}(u_\varphi+1). \quad (14)$$

где $\prod_{\varphi=\theta+1}^{\Theta}(u_\varphi+1)$ – весовой коэффициент длины θ-й серии.

Отличие выражения (14) от формулы (3) состоит в том, что на основе условий (12) и (13) между отношениями весовых коэффициентов соответствующих двум соседним длинам серий не выполняется равенства, т.е.

$$\prod_{\varphi=\theta}^{\Theta}(u_\varphi+1)/\prod_{\varphi=\theta+1}^{\Theta}(u_\varphi+1)\ne u_\gamma,\ \text{для}\ \gamma=\overline{1,\Theta},\ \gamma\ne\varphi, \quad (15)$$

где $\prod_{\varphi=\theta}^{\Theta}(u_\varphi+1)$, $\prod_{\varphi=\theta+1}^{\Theta}(u_\varphi+1)$ – весовые коэффициенты соответственно для $(\theta+1)$-й и θ-й длин серий; $\prod_{\varphi=\gamma}^{\Theta}(u_\varphi+1)$, $\prod_{\varphi=\gamma+1}^{\Theta}(u_\varphi+1)$ – весовые коэффициенты соответственно для $(\gamma+1)$-й и γ-й серий; u_θ, u_γ – основания соответственно θ-й и γ-й длин серий.

Неравенство (15) указывает на: неравновесность оснований длин двоичных серий; зависимость значений весовых коэффициентов от позиции соответствующей длины серии в последовательности.

Отсюда сформулируем определение неравновесного позиционного числа.

Определение. *Неравновесным позиционным числом* называется последовательность величин $\{\ell_{k\ell}^{(1)},...,\ell_{k\ell}^{(\theta)},...,\ell_{k\ell}^{(\Theta)}\}$, удовлетворяющих условиям

(3.12), (3.13), а значение кода его отображения формируется по формуле (14).

В соответствии со свойствами неравновесного позиционного представления его место в системе классификации методов битового кодирования приведено на рис. 1. Размеры двоичных областей учитываются в результате выявления длин двоичных серий, а позиции областей – на основе зависимости весовых коэффициентов длин серий от их позиции в битовом представлении.

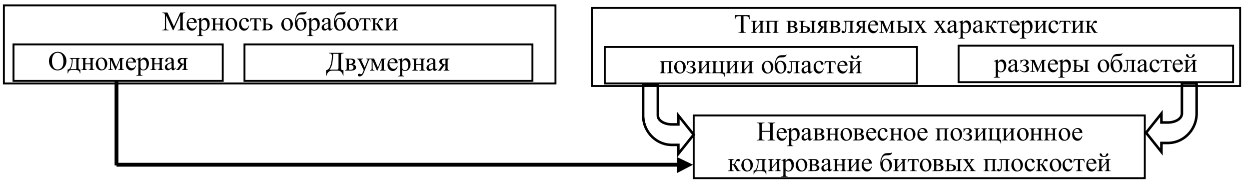

Рис. 1. Классификация методов обработки битовых плоскостей

Покажем, что для неравновесного позиционного представления длинами двоичных серий компонент трансформант выполняется условие (2), т.е. обеспечивается степень сжатия. В соответствии с выражением (14) значение кода $E_{k\ell}$ ограничено сверху величиной накопленного произведения оснований $(u_\varphi+1)$ длин двоичных серий $E_{k\ell} \le \prod_{\theta=1}^{\Theta}(u_\theta+1) - 1$ или с учетом рассмотрения значений длин серий начиная с нулевого значения

$$E'_{k\ell} \le (\prod_{\theta=1}^{\Theta} u_\theta) - 1 . \qquad (16)$$

Тогда условие (2) будет выполняться, если верно равенство

$$[\ell og_2 E'_{k\ell}]+1 \le [\ell og_2(\prod_{\varphi=1}^{\Theta} u_\varphi - 1)]+1 . \qquad (17)$$

Преобразуем правую часть неравенства (17) в соответствии тем, что:

– любое целочисленное число u_θ можно представить в виде суммы двух слагаемых $u_\theta = (2^{[\ell og_2 u_\theta]} + \Delta_\theta)$, где $2^{[\ell og_2 u_\theta]}$ – ближайшее число к величине u_θ, кратное степени 2, $2^{[\ell og_2 u_\theta]} \le u_\theta$; Δ_θ – разность между величинами u_θ и $2^{[\ell og_2 u_\theta]}$;

– выполняются неравенства $u_\theta < 2^{[\ell og_2 u_\theta]+1}$, если $\Delta_\theta \ge 1$ и $u_\theta = 2^{[\ell og_2 u_\theta]}$, если $\Delta_\theta = 0$. Обобщив эти два условия на основе функции $\mathrm{sign}(\Delta_\varphi)$, получим $u_\theta \le 2^{[\ell og_2 u_\theta]+\mathrm{sign}(\Delta_\varphi)}$. Тогда получим следующее неравенство:

$$[\ell og_2(\prod_{\varphi=1}^{\Theta} u_\varphi - 1)]+1 = [\ell og_2(\prod_{\varphi=1}^{\Theta}(2^{[\ell og_2 u_\varphi]} + \Delta_\varphi) - 1)] +$$

$$+1 \le [\ell og_2 \prod_{\varphi=1}^{\Theta}(2^{[\ell og_2 u_\varphi]+\mathrm{sign}(\Delta_\varphi)}) - 1]+1 = 1 +$$

$$+ [\ell og_2 2^{\sum_{\varphi=1}^{\Theta}([\ell og_2 u_\varphi]+\mathrm{sign}(\Delta_\varphi))} - 1] = 1 + \sum_{\varphi=1}^{\Theta}([\ell og_2 u_\varphi] + \qquad (18)$$

$$+\mathrm{sign}(\Delta_\varphi)) - 1 = \sum_{\varphi=1}^{\Theta}([\ell og_2 u_\varphi] + \mathrm{sign}(\Delta_\varphi)) .$$

Из анализа правой части соотношения (18) видно, что знак суммы вынесен за скобки оператора выбора целой части. Это позволяет сделать наглядной проверку условия (2) и оценку степени сжатия. Поскольку по условию $\sum_{\theta=1}^{\Theta} u_\theta = q_{bp}$, то $([\ell og_2 u_\theta]+1) \le u_\theta$ (причем знак равенства будет только тогда, когда $u_\theta = \overline{1,2}$). Значит верно неравенство $\sum_{\theta=1}^{\Theta}([\ell og_2 u_\varphi]+1) < \sum_{\theta=1}^{\Theta} u_\theta = q_{bp}$. Следовательно, выполняется условие (2), $[\ell og_2 E_{k\ell}]+1 < q_{bp}$.

Проведем оценку минимального значения $\eta(\Theta)^{(\min)}$ степени сжатия двоичных последовательностей на основе неравновесного позиционного кодирования длин двоичных серий

$$\eta(\Theta)^{(\min)} = \sum_{\theta=1}^{\Theta} u_\theta / (\sum_{\theta=1}^{\Theta}([\ell og_2 u_\theta] + \mathrm{sign}(\Delta_\theta))) . \qquad (19)$$

Понятно, что при $\mathrm{sign}(\Delta_\theta) = 0$ для всех $\theta = \overline{1,\Theta}$, значение коэффициента сжатия $\eta(\Theta)^{(\min)}$ будет максимальным, т.е. выполняется неравенство $\eta(\Theta)^{(\min)} \le \eta(\Theta)^{(\min)}_{\max} = \sum_{\theta=1}^{\Theta} u_\theta / \sum_{\varphi=1}^{\Theta} [\ell og_2 u_\varphi]$. Наоборот при $\mathrm{sign}(\Delta_\varphi) = 1$ для всех $\theta = \overline{1,\Theta}$ будет верно $\eta(\Theta)^{(\min)}_{k,\ell} \ge \eta(\Theta)^{(\min)}_{\min} = \sum_{\theta=1}^{\Theta} u_\theta / \sum_{\varphi=1}^{\Theta}([\ell og_2 u_\varphi]+1)$.

Рассмотрим графики зависимости величин $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\min}$ и $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\max}$ для количества двоичных серий $\Theta = 4$ от максимального значения L их длины (рис. 2), и диаграммы зависимости величин $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\max}$ $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\min}$ L $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\min}$ и $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\max}$ для $q_{bp} = 24$ от количества двоичных серий Θ (рис. 3). Анализ графиков на рис. 2 показывает, что: значение величин $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\min}$ и $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\max}$ зависит от уменьшения величин Δ_φ. Выигрыш по степени сжатия для минимального значения Δ_φ относительно максимального равен как минимум 1,5 разам. Причем с увеличением длины серии такой выигрыш увеличивается в среднем на 15%.

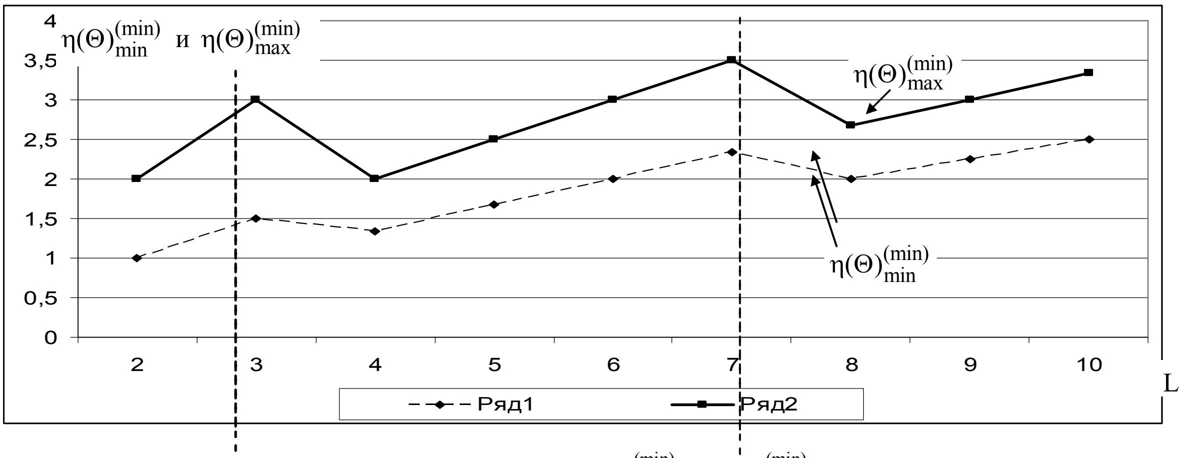

Рис. 2. Графики зависимости величин $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\min}$ и $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\max}$ для $\Theta = 4$ от L

Исследование диаграмм, представленных рис. 3. позволяет сделать вывод о том, что при фиксированной длине двоичной последовательности (количества разрядов на представление компоненты трансформанты) и величине Δ_φ значения величин $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\min}$ и $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\max}$ увеличивается на 50% при уменьшении количества двоичных серий.

По условию формирования двоичных серий, следует, что минимальное значение их длины будет равно 1, $L_{\min} = 1$. Это обстоятельство использовалось при оценке величины $\eta(\Theta)^{(\min)}$. Понятно, что минимальное значение коэффициента сжатия зависит от минимального значения длины двоичной серии. Для $L_{\min} \geq 2$ формула (19) для оценки величины $\eta(\Theta)^{(\min)}$ примет вид

$$\eta(\Theta, L_{\min})^{(\min)} = \frac{q_{bp}}{\sum\limits_{\theta=1}^{\Theta}([\ell og_2 u_\theta - L_{\min} + 1] + \mathrm{sign}(\Delta_\theta))}. \quad (20)$$

Зависимость величины $\eta(\Theta, L_{\min})^{(\min)}$ от $L_{\min}$ для $L = 8$ и $\Theta = 4$ представлено на рис. 4. Исследование диаграммы на рис. 3 указывает на то, что значение минимальной степени сжатия существенно увеличивается при понижении величины $[\ell og_2(L - L_{\min} + 1)]$.

Так при сокращении величины $[\ell og_2(L - L_{\min} + 1)]$ на одни разряд минимальное значение степени сжатия увеличивается на 60%.

На основе изложенного материала можно сделать такие выводы:

1) оценка информативности битового представления трансформанты на основе учета неравновесности оснований длин двоичных серий не требует увеличение сложности программно-аппаратной реализации;

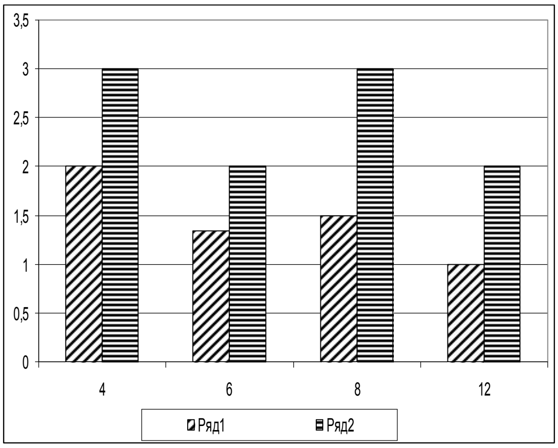

Рис. 3. Диаграммы зависимости величин $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\min}$ и $\eta(\Theta)^{(\min)}_{\max}$ для $q_{bp} = 24$ от Θ

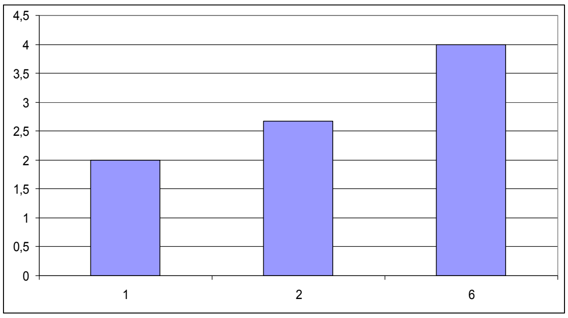

Рис. 4. Диаграммы зависимости величины $\eta(\Theta, L_{\min})^{(\min)}_{\min}$ от $L_{\min}$ для $L = 8$ и $\Theta = 4$

2) из анализа данных следует то, что неравновесное позиционное кодирование последовательности длин двоичных серий обладает потенциальными возможностями для обеспечения степени сжатия битового представления компонент трансформант для произвольного их содержания, т.е. произвольного значения количества двоичных перепадов, вплоть до непосредственного кодирования двоичных последовательностей;

3) степень сжатия битового представления компонент трансформант увеличивается в случае повышения значений длин двоичных серий.

При построении метода сжатия трансформант dct-преобразования на основе неравновесного позиционного кодирования требуется учесть: возможность увеличения длин двоичных серий; функцию сокращения максимального значения длин серий; возможность реализации двумерной обработки.

Выводы

1. Проведен синтез подхода для сокращения избыточности в битовом представлении данных, базирующийся на одновременном учете размеров и позиций двоичных объектов. В результате чего разработано неравновесное позиционное кодирование длин двоичных серий, которое характеризуется: неравновесностью оснований длин двоичных серий; зависимостью значений весовых коэффициентов от позиции соответствующей длины серии в последовательности.

2. Обосновано, что неравновесное позиционное кодирование обладает потенциальными возможностями для обеспечения степени сжатия битового представления данных в случаях произвольных значений количества двоичных перепадов, вплоть до непосредственного кодирования двоичных последовательностей. Выявлено, что:

1) для максимального количества двоичных переходов (наибольшее значение вероятности цветового перепада) достигается максимальная степень сжатия за счет уменьшения значений весовых коэффициентов;

2) в общем случае, когда формируется произвольное количество двоичных серий, длины которых имеют произвольные значения, и могут быть не равными между собой, достигаются следующие результаты: минимальное значение степени сжатия зависит от уменьшения значений величин отклонений длин двоичных серий от порогов кратности степени 2. Выигрыш по степени сжатия для минимального значения такого отклонения относительно максимального равен как минимум 1,5 разам. Причем с увеличением длины серии такой выигрыш увеличивается в среднем на 15%; при фиксированной длине двоичной последовательности (количества разрядов на представление компоненты трансформанты) значение степени сжатия увеличивается на 50% при уменьшении количества двоичных серий; значение минимальной степени сжатия существенно увеличивается при понижении максимального значения длины двоичной серии. Так при сокращении максимальной длины серии на одни разряд минимальное значение степени сжатия увеличивается на 60%.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые синтезирован подход относительно сокращения избыточности в битовых плоскостях на основе неравновесного позиционного кодирования двоичных серий, отличающийся от известных тем, что в процессе выявления закономерностей одновременно учитываются как размеры двоичных объектов, так и их позиции. Это позволяет повысить степень сжатия данных для произвольного количества двоичных переходов.

Список литературы

1. Уолрэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети / Дж. Уолрэнд. – М.: Постмаркет, 2001. – 480 с.

2. Ватолин В.И. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. / Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.

3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Том 1, 2. / У. Прэтт. – М.: Мир, 1985. – 736 с.

4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

5. Баранник В.В. Метод сжатия изображений комбинированным полиадическим кодированием / В.В. Баранник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000. – №2. – С. 66-69.

6. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах. / И.Я. Акушский, Ф.И. Юдицкий. – М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.

Поступила в редколлегию 21.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, ст. научн. сотр. В.В. Баранник, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

НЕРІВНОВАЖНЕ ПОЗИЦІЙНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ БІТОВИХ ПЛОСКОСТЕЙ ТРАНСФОРМАНТ

Н.К. Гулак

Приводяться основні етапи синтезу підходу для усунення надмірності в бітовому представленні даних, що базується на одночасному обліку розмірів та позицій двійкових об'єктів. Розробляється нерівноважне позиційне кодування довжин двійкових серій, яке характеризується: нерівноважністю підстав довжин двійкових серій; залежністю значень вагових коефіцієнтів від позиції відповідної довжини серії в послідовності. Обґрунтовується, що нерівноважне позиційне кодування володіє потенційними можливостями для забезпечення ступеня стиску бітового представлення даних у випадках довільних значень кількості двійкових перепадів, аж до безпосереднього кодування двійкових послідовностей.

Ключові слова: *бітова площина трансформант, нерівноважне позиційне кодування.*

NON-EQUILIBRIUM POSITION PRESENTATION OF BIT PLANES OF TRANSFORMS

N.K. Gulak

The basic stages over of synthesis of approach for the removal of surplus are brought in bit presentation of information, being based on the simultaneous account of sizes and positions of binary objects. The non-equilibrium position encoding of lengths of binary cerouss is developed, which is characterized: non-equilibrium of grounds of lengths of binary cerouss; by dependence of values of gravimetric coefficients on position of the proper length of series in a sequence. Grounded, that the non-equilibrium position encoding possesses potential possibilities for providing of degree of compression of bit presentation of information in the cases of arbitrary values of amount of binary overfalls, up to the direct encoding of binary sequences.

Key words: *bit planes of transforms, non-equilibrium position encoding.*