

МЕТОД КОМПОЗИЦИИ ПЕРФОРИРОВАННЫХ НЕРАВНОВЕСНЫХ ЧИСЕЛ

Излагается обоснование и основные этапы разработки метода композиционной сборки неравновесных перфорированных позиционных чисел на основе массивов нижнего диапазонного и верхнего дифференцированного диапазонного уровней. Строится дифференциальное описание массивов верхнего перфорационного уровня, учитывающее наличие однородной структуры динамических диапазонов перепадов на границы контура и основного фона изображения. Показывается, что композиционные перфорированные числа в отличие от неравновесных позиционных чисел обладают свойствами для потенциального повышения степени сжатия.

1. Введение

В соответствии с современными потребностями общества актуальная *цель научной прикладной тематики исследований* в процессе разработки и совершенствования информационных систем заключается в обеспечении сокращения объемов видеoinформационного потока в условиях ограниченного временного ресурса [1, 2].

В работах [3-5] обоснована необходимость формирования перфорированных неравновесных позиционных чисел для дифференциального представления изображений. Это позволит: выявить закономерности перфорированности динамических диапазонов дифференциального представления насыщенных мелкими деталями изображения; обеспечить возможности для дополнительного сокращения избыточности дифференциально-представленных изображений в случаях нестационарности структурных свойств. Суть формирования перфорированных неравновесных чисел заключается в том, что для массивов дифференциального представления, рассматриваемых как неравновесные позиционные числа, существуют такие элементы, удаление которых приводит к значительному сокращению динамического диапазона оставшихся элементов. Тогда формируются два массива $H \rightarrow \{H^{(0)}; H^{(1)}\}$. Первый массив $H^{(1)}$ содержит элементы верхнего перфорационного уровня. Соответственно элементам второго массива $H^{(0)}$ отвечает нижний перфорационный уровень.

Для реализации потенциальных возможностей относительно повышения степени сжатия без потери качества изображений следует разработать метод компрессии. Необходимо учитывать структурные особенности изображений, а именно наличие: корреляции между соседними элементами изображения; когерентности элементов в столбцах фрагментов изображения; ограниченного количества резких перепадов для фрагментов изображений; ограниченного значения и неравномерности динамических диапазонов перепада между соседними элементами изображения; ограниченного количества перепадов, имеющих высокие динамические диапазоны.

Значит, метод сжатия должен быть комплексным, т.е. процесс обработки будет содержать в себе несколько этапов. Важный этап обработки дифференцированных изображений заключается в построении композиционного представления массивов перфорирующих уровней. Отсюда *научной задачей* является обоснование и разработка метода композиционного описания перфорированных неравновесных позиционных чисел для повышения эффективности процесса кодирования.

2. Разработка технологического процесса построения структурно-дифференциального описания изображений

Построение неравновесных позиционных чисел. Данный этап включает в себя формирование динамических диапазонов для элементов массивов дифференциального представления (МДП) $d_{k\ell} = \min(d_k, d_\ell)$, $k = \overline{1, m}$; $\ell = \overline{1, n}$; $h'_{k\ell} \leq d_{k\ell} - 1$. В результате образуется неравновесное позиционное число (НПЧ), для элементов которого существуют ограниче-

ния на динамический диапазон $\{d_{1\ell}, \dots, d_{k\ell}, \dots, d_{m\ell}\}$. Этап является предварительным для организации построения перфорированных чисел.

Создание перфорированного неравновесного позиционного представления осуществляется на базе массивов дифференциального представления. Распределение элементов НПЧ по массивам перфорированных уровней осуществляется для известного порогового значения $K(h')_{\text{пор}}$ на основе следующего правила:

– если для динамического диапазона элемента НПЧ выполняется неравенство:

$$d_{k\ell} \leq K(h')_{\text{пор}}, \quad (1)$$

то элемент $h'_{k\ell}$ относится к области нижнего перфорированного уровня $h'_{k\ell} \in H^{(0)}$;

– если выполняется неравенство $d_{k\ell} > K(h')_{\text{пор}}$, тогда элемент $h'_{k\ell}$ принадлежит массиву верхнего перфорированного уровня $h'_{k\ell} \in H^{(1)}$.

Элементы массивов нижнего $h_{k\ell}^{(1)}$ и верхнего $h_{k\ell}^{(2)}$ перфорированного уровня могут находиться на разных позициях в массиве дифференциального представления. Поэтому на очередном этапе обработки необходимо из отобранных элементов сформировать наиболее полные массивы для упрощения процесса кодирования. Формирование массивов элементов нижнего и верхнего перфорированного уровней предлагается проводить с учетом того, что массивы заполняются в направлении строк, а в случае заполнения неполной строки элементом из другой строки, имеющим больший диапазон, необходимо пересчитать диапазоны для элементов всей строки.

Образование массивов перфорированных уровней проводится на основе процедур:

1) отбираются элементы нижнего уровня, которые соответствуют условию (1). Недостающие элементы заполняются нулевыми значениями. На позиции, соответствующей отобранному элементу, ставится нулевое значение;

2) построение массива второго уровня заключается в замене нулевых значений соседними элементами или элементами соседних строк.

Если выполняется неравенство (1), то элемент $h'_{k\ell}$, стоящий на позиции с координатами $(k; \ell)$ в массиве H , относится к массиву $H^{(0)}$. Заполнение массива $H^{(0)}$ осуществляется по строкам. Длина строки совпадает с длиной строки массива H и равняется n .

Значения координат $(\xi; \gamma)$ с учетом известного количества элементов $v(H_{k\ell}^{(0)})$, принадлежащих массиву $H^{(0)}$ на момент начала распределения $(k; \ell)$ -го элемента массива H , находятся на основе следующих выражений:

– когда количество элементов $v(H_{k\ell}^{(0)})$ меньше, чем количество n элементов в строке массива $H^{(0)}$, т.е. $v(H_{k\ell}^{(0)}) < n$, то $\xi=1$, а $\gamma = v(H_{k\ell}^{(0)}) + 1$;

– в случае, когда выполняется равенство $v(H_{k\ell}^{(0)}) = n$, то $\xi=2$, а $\gamma = 1$;

– если длина строки массива $H^{(0)}$ превышает количество элементов массива $H^{(0)}$, т.е. $v(H_{k\ell}^{(0)}) > n$, то $\xi = \left[\frac{v(H_{k\ell}^{(0)})}{n} \right] + 1$; $\gamma = v(H_{k\ell}^{(0)}) - \left(\left[\frac{v(H_{k\ell}^{(0)})}{n} \right] n \right) + 1$.

Построение массива $H^{(1)}$ из элементов $h'_{k\ell}$, для динамических диапазонов которых не выполняется условие (1), организуется на основе оставшихся элементов массива H . Массив $H^{(1)}$ верхнего перфорированного уровня образуется путем заполнения позиции массива H , на которой размещается элемент, принадлежащий массиву $H^{(0)}$. В этом случае для пересчета координат элементов массива H в координаты элементов массива $H^{(1)}$ используется правило.

Если динамический диапазон $d_{k\ell}$ элемента с координатами $(k; \ell)$ удовлетворяет неравенству (1), то координаты очередного элемента $h_{k, \ell+1}$ (если $\ell+1 \leq n$) или $h_{k+1, 1}$ (если $\ell+1 > n$) массива H будут равны $\xi=k$; $\gamma=\ell$. Формат массива H после выборки из него элементов в массив $H^{(0)}$ является содержанием массива $H^{(1)}$.

В результате выполнения данного этапа обеспечивается:

- распределение позиций в неравновесном позиционном числе N на массивы $N^{(0)}$ и $N^{(1)}$ соответственно значений элементов нижнего и верхнего перфорирующих уровней;
- разбиение массива $D(h')$, состоящего из значений ограничений на динамический диапазон $d_{\xi\gamma}$, соответственно на массивы $D(h')^{(0)}$ и $D(h')^{(1)}$.

Особенность массива $N^{(1)}$ верхнего диапазонного уровня заключается в том, что он содержит элементы, имеющие наибольшие динамические диапазоны. Это является причиной увеличения значения кода-номера, причем характер такой зависимости близок к экспоненциальному (рисунок).

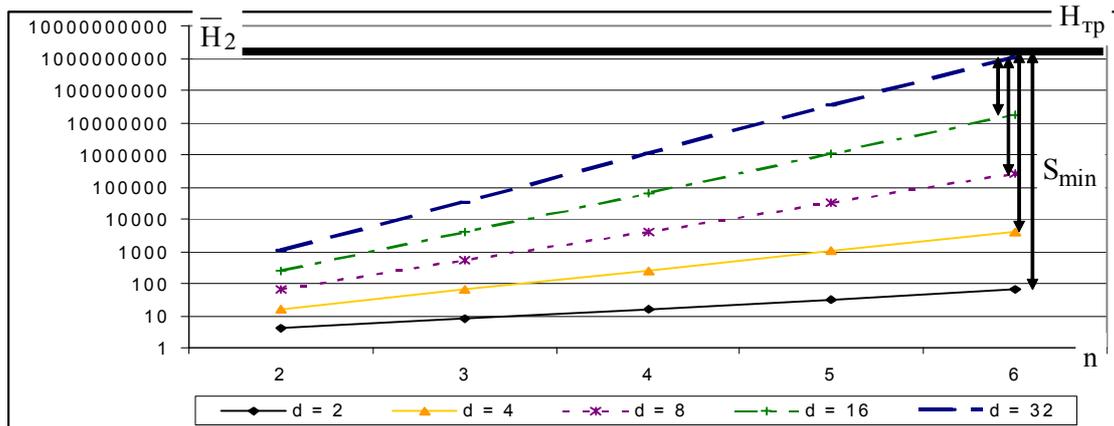


График зависимости количества информации \bar{N}_2 (в логарифмическом масштабе) от динамического диапазона d и количества n элементов НПЧ

В результате анализа графиков на рисунке можно заключить, что:

- зависимость количества информации от длины НПЧ близка к экспоненциальной зависимости;
- с ростом динамического диапазона количество минимальной потенциальной S_{min} избыточности также уменьшается по экспоненте вплоть до нулевого значения.

Для исключения данного недостатка предлагается использовать особенность элементов массивов $N^{(1)}$, а именно:

- массив верхнего диапазонного уровня перфорированного представления содержит элементы, равные значениям перепадов на границы контура и основного фона фрагмента изображения;
- динамический диапазон перепада на границы контура и основного фона фрагмента изображения имеет однородную структуру.

Данные особенности позволяют перейти к дифференциальному описанию массивов верхнего перфорационного уровня. Суть дифференциального представления массивов верхнего диапазонного уровня заключается в том, что они рассматриваются как двумерные позиционные числа в разностном неравновесном пространстве.

Тогда элементами дифференциального неравновесного позиционного числа являются длины расстояний от него до двумерного НП числа, имеющего минимальные значения элементов, т.е. соответствующие нижнему уровню разностного неравновесного пространства. Код-номер массива $N^{(1)}$ будет определяться относительно кода-номера НПЧ, соответствующего минимальному уровню дифференциального неравновесного пространства. Значение кода-номера двумерного дифференциального НПЧ будет зависеть от количества неравновесных чисел, удовлетворяющих ограничениям дифференциального неравновесного пространства. Количество таких чисел определяется как длина R расстояния от числа, соответствующего минимальному уровню, до текущего числа в двумерном дифференциальном неравновесном пространстве.

Минимальный уровень дифференциального неравновесного пространства (ДНП) предлагается формировать с учетом выявления минимальных значений в каждой строке массива

ва верхнего перфорационного уровня. Формируется вектор минимальных значений в строках $M = \{\mu_1, \dots, \mu_m\}$: $\mu_i = \min_{1 \leq j \leq n} \{h_{ij}^{(1)}\}$, $i = \overline{1, m}$, где μ_i – минимальное значение в i -й строке массива $H^{(1)}$. Выявление минимальных значений в каждой строке позволяет учесть особенности динамических диапазонов на границах объектов изображения. Тогда двумерное дифференциальное неравновесное пространство задается вектором S ограничений на динамический диапазон значений длин расстояний:

$$S = \{s_{1j}, \dots, s_{nj}\}; s_{ij} = d_{ij}^{(1)} - \mu_i; \quad (2)$$

$$\mu_i \leq h_{ij}^{(1)} \leq d_{ij}^{(1)} - 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n^{(1)}}, \quad (3)$$

где s_{ij} – разность между максимальным $d_{ij}^{(1)}$ и минимальным μ_i значениями в i -й строке массива $H^{(1)}$ верхнего перфорационного уровня; $n^{(1)}$ – количество столбцов в массиве $H^{(1)}$.

Нижний уровень $M^{(2)}$ двумерного дифференциального пространства определяется на основе значений вектора $M = \{\mu_1, \dots, \mu_m\}$ и является неравновесным позиционным числом, элементы которого удовлетворяют ограничениям на динамический диапазон верхнего перфорирующего уровня. С учетом ограничений (2) и (3) значение кода-номера как длины расстояния R между текущим массивом $H^{(1)}$ и нижним уровнем $M^{(2)}$ двумерного ДНП определяется по формуле

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} (h_{ij}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} s_{i\xi} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} s_{\gamma\xi},$$

где $(h_{ij}^{(1)} - \mu_i) = \bar{h}_{ij}^{(1)}$ – величина разности между значениями элементов текущего массива и нижнего уровня двумерного ДНП, расположенных на позиции $(i; j)$.

Покажем, что рассмотрение массива $H^{(1)}$ в двумерном дифференциальном пространстве позволяет сократить значение его кода-номера относительно исходного случая. Для этого покажем, что между кодом-номером R как длины расстояния в ДНП и исходным кодом-номером $N^{(1)}$ выполняется неравенство

$$R \leq N^{(1)}. \quad (4)$$

Распишем соотношение (3) с учетом формулы (2) и получим

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} (h_{ij}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} (d_{i\xi}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} (d_{\gamma\xi}^{(1)} - \mu_\gamma). \quad (5)$$

Тогда, поскольку выполняются неравенства:

$$(h_{ij}^{(1)} - \mu_i) \leq h_{ij}^{(1)}; \quad \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} (d_{i\xi}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} (d_{\gamma\xi}^{(1)} - \mu_\gamma) \leq \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} d_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} d_{\gamma\xi}^{(1)},$$

то получаем неравенство (4).

Покажем теперь, что код-номер неравновесного позиционного числа в дифференциальном пространстве, определяемый как длина относительного расстояния, будет меньше, чем разность между кодом-номером неравновесного числа и кодом-номером нижнего уровня в исходном перфорированном пространстве, т.е.

$$R \leq N^{(1)} - N_{\min}^{(1)}, \quad (6)$$

где $N_{\min}^{(1)}$ – значение кода-номера НПЧ $M^{(2)}$, являющегося нижним уровнем двумерного дифференциального неравновесного пространства:

$$N_{\min}^{(1)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} \mu_i \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} d_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} d_{\gamma\xi}^{(1)}.$$

Действительно, распишем левую часть неравенства (6) и получим

$$N^{(1)} - N_{\min}^{(1)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} h_{ij}^{(1)} \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} d_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} d_{\gamma\xi}^{(1)} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} \mu_i \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} d_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} d_{\gamma\xi}^{(1)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} (h_{ij}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} d_{i\xi}^{(1)} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} d_{\gamma\xi}^{(1)}. \quad (7)$$

Отсюда, сравнив правые части соотношений (5) и (7), получим неравенство (6).

Выполнение неравенства (6) позволяет сделать заключение относительно того, что представление массива элементов верхнего перфорационного уровня в дифференциальном неравновесном позиционном пространстве обеспечивает дополнительное сокращение комбинаторной избыточности, обусловленной: снижением динамического диапазона элементов верхнего перфорационного уровня за счет выявления минимальных значений; сокращением количества неравновесных позиционных чисел, предшествующих текущему НПЧ, но не удовлетворяющих условиям дифференциального пространства.

Таким образом, построено представление массивов верхнего перфорационного уровня в дифференциальном неравновесном пространстве. Обеспечивается повышение возможностей относительно сокращения комбинаторной избыточности.

3. Сборка перфорационного числа на основе композиции двух массивов

Дальнейшая обработка массивов перфорационных уровней может осуществляться на основе двух подходов, а именно:

- 1) формирование кода-номера для каждого массива в отдельности;
- 2) вычисление кода-номера для композиционного массива, полученного в результате сборки массивов перфорационных уровней в один массив.

Первое направление позволяет сократить количество вычислительных затрат, отводимых в случае формирования композиционного перфорационного числа. Однако в этом случае не учитывается, что динамический диапазон элементов массивов перфорирующих уровней может быть сокращен так, что формируемые кодовые комбинации будут содержать большое количество незначимых двоичных разрядов. Это приведет к снижению степени сжатия.

Исключить подобные недостатки позволяет второй подход обработки перфорационных чисел. Данный подход позволяет учесть, что наибольшие коэффициенты сжатия при формировании кода-номера неравновесным позиционным числам достигаются тогда, когда длина кодового слова не меньше 32 бит. Особенно это проявляется при обработке НП чисел, элементы которых имеют большие динамические диапазоны. В то же время для того, чтобы заполнить кодовые слова такой длины значимыми разрядами, необходимо формировать коды-номера, имеющие соответствующие большие значения. Для этого требуется увеличивать количество элементов в НПЧ. Кроме того, обеспечивается возможность:

- обрабатывать большее количество элементов, т.е. увеличиваются потенциальные возможности относительно количества сокращаемой избыточности;
- выбирать элементы, имеющие минимальные значения оснований. Это позволит снизить длину кода, поскольку минимальные значения будут на позициях старших элементов.

Рассмотрим процедуру сборки перфорационного числа на основе композиции двух массивов. Его содержание заключается в расстановке элементов массивов $N^{(0)}$, $\bar{N}^{(1)}$ на исходные позиции в массиве N . Для этого используется информация о динамических диапазонах $d_{\xi\gamma}^{(0)}$ и $d_{\xi\gamma}^{(1)}$ массивов $D(h')^{(0)}$ и $D(h')^{(1)}$. Тогда процесс формирования массива N состоит из следующих этапов:

1) Для известных значений $d_{\xi\gamma}^{(0)}$ и $d_{\xi\gamma}^{(1)}$ вычисляется значение перфорирующего порога $K(h')_{\text{пор}}$, $K(h')_{\text{пор}} = v_u \sum_{u=1}^U d^{(u)} / m n = \sum_{k=1}^m \sum_{\ell=1}^n d_{k\ell} / m n$, где $d^{(u)}$ – значение основания НПЧ для u -го уровня динамического диапазона; v_u – количество оснований НПЧ, принадлежащих u -му уровню динамического диапазона; U – количество уровней динамического диапазона.

Достоинства такого подхода заключаются в: отсутствии необходимости вычисления минимального значения массива дифференциального представления, что позволяет избежать формирования дополнительной служебной информации; вычислении порога перфорации на основе взвешенного учета динамических диапазонов элементов МДП, что позволяет повысить чувствительность перфорирования к структурному содержанию.

Для вычисления величины $K(h')_{\text{пор}}$ не требуется введения дополнительной служебной информации и больших вычислительных затрат.

2) Для вычисленного значения порога $K(h')_{\text{пор}}$ процесс формирования массива H на основе массивов $H^{(0)}$ и $\bar{H}^{(1)}$ примет вид:

– если выполняется неравенство $d_{k\ell} \leq K(h')_{\text{пор}}$, то элемент $h'_{k\ell}$, стоящий на $(k; \ell)$ -й позиции в массиве H , относится к массиву $H^{(0)}$. В этом случае текущий элемент массива $H^{(0)}$ располагается на $(k; \ell)$ -ю позицию в массиве H ;

– если выполняется неравенство $d_{k\ell} > K(h')_{\text{пор}}$, то элемент $h'_{k\ell}$, стоящий на $(k; \ell)$ -й позиции в массиве H , относится к массиву $\bar{H}^{(1)}$, т.е. на $(k; \ell)$ -ю позицию в массиве H ставится текущий элемент $\bar{h}_{k\ell}^{(1)}$ массива $\bar{H}^{(1)}$.

После просмотра всех позиций массива H заканчивается процесс его формирования. В результате выполнения данного этапа компрессии образуется композиционное перфорированное неравновесное позиционное число (ПНПЧ) H'' , $H'' = \{h''_{k,\ell}\}$, $k = \overline{1, m}$, $\ell = \overline{1, n}$.

4. Выводы

1. Разработан метод композиционной сборки неравновесных перфорированных позиционных чисел на основе массивов нижнего диапазонного и верхнего дифференцированного диапазонного уровней.

2. Построено дифференциальное описание массивов верхнего перфорационного уровня, учитывающее такую особенность как наличие однородной структуры динамических диапазонов перепадов на границы контура и основного фона изображения. В этом случае массивы верхнего диапазонного уровня рассматриваются как двумерные позиционные числа в разностном неравновесном пространстве. Элементами дифференциального неравновесного позиционного числа являются длины расстояний от него до двумерного НП числа, имеющего минимальные значения элементов, т.е. соответствующие нижнему уровню разностного неравновесного пространства.

3. Обосновано, что композиционные перфорированные числа в отличие от неравновесных позиционных чисел обладают следующими свойствами для потенциального повышения степени сжатия:

1) сокращенный динамический диапазон для элементов верхнего перфорирующего уровня, описывающих значимые перепады в изображениях;

2) количество дополнительной служебной информации о минимальных значениях определяется только для строк массива верхнего перфорирующего уровня, и может в пределе равняться одной величине;

3) для определения перфорирующего порога не используется дополнительная служебная информация.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что получил дальнейшее развитие метод неравновесного позиционного кодирования (полиадического кодирования), состоящий в том, что осуществляется выявление перфорированных динамических диапа-

зон на основе взвешенного усреднения исходных динамических диапазонов. Это позволяет дополнительно сократить количество комбинаторной избыточности без использования дополнительной служебной информации.

Практическое значение.

1. Представление массива элементов верхнего перфорационного уровня в дифференциальном неравновесном позиционном пространстве обеспечивает дополнительные потенциальные возможности относительно сокращения комбинаторной избыточности, обусловленной: снижением динамического диапазона элементов верхнего перфорационного уровня за счет выявления минимальных значений; сокращением количества неравновесных позиционных чисел, предшествующих текущему НППЧ, но не удовлетворяющих условию дифференциального пространства.

2. Композиционная обработка позволяет: исключить количество незначимых старших разрядов в кодовых комбинациях сжатого представления; дополнительно увеличить степень сжатия ПППЧ за счет обработки большего количества элементов.

Список литературы: 1. *Gonzales R.C.* Digital image processing / R.C. Gonzales, R.E. Woods. Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey 2002. 779 p. 2. *Wallace G.K.* The JPEG Still Picture Compression Standard // Communication in ACM. 1991. V.34, №4. P.31-34. 3. *Баранник В.В.* Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. Монография, Харьков: ХУПС, 2009. 252 с. 4. *Красноуцкий А.А.* Дифференциальное кодирование низкочастотных составляющих // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2007. № 3(22). С. 19-22. 5. *Шинкарев В.В.* Методология формирования технологии компрессии дифференцированных изображений // Сучасна спеціальна техніка. 2009. №4. С. 45 – 54.

Поступила в редколлегию 19.11.2009

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, старший научный сотрудник научного центра Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79, тел. 8 050-3038971.

Сидоренко Николай Федорович, Заслуженный машиностроитель Украины, канд. техн. наук, доцент, ГНПП «Объединение Коммунар» - НТ СКБ «ПОЛИСВИТ», главный инженер. Научные интересы: обработка и передача информации.

Шинкарев Валерий Владимирович, инженер Харьковского метрологического центра военных эталонов. Научные интересы: обработка и передача информации.