

УДК 621.327:681.5

**В.В. Баранник,**  
доктор технических наук, профессор,  
**О.С. Кулица**

## ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРФОРИРОВАННОГО ОПИСАНИЯ МАССИВОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ДОСТАВКИ СЖАТЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Проводится обоснование того, что представление массива элементов верхнего перфорационного уровня в дифференциальном полиадическом пространстве обеспечивает дополнительное сокращение комбинаторной избыточности. Показывается, что для исключения недостатка, связанного с понижением нижней границы дифференциального полиадического пространства, необходимо для технологии перфорирования дополнительно учитывать двоичную маску всплесковых элементов верхнего и нижнего уровней.*

**Ключевые слова:** дифференциальное представление, перфорирование полиадического пространства.

*Проводиться обґрунтування того, що представлення масиву елементів верхнього перфораційного рівня в диференціальному поліадичному просторі забезпечує додаткове скорочення комбінаторної надмірності. Показується, що для виключення недоліку, пов'язаного з пониженням нижньої межі диференціального поліадичного простору, необхідно для технології перфорування додатково враховувати двійкову маску всплескових елементів верхнього і нижнього рівнів.*

**Ключові слова:** диференціальне уявлення, перфорування поліадичного простору.

*Presentation of an array of cells of a top perforation level in the differential poliadically space provides an additional reduction of surplus. It is shown, that for the exception of failing, related to lowering of low bound of differential poliadically space it is necessary for technology of perforatory additionally to take into account the binary mask of *vspleskovykh* elements of top and lower levels.*

**Keywords:** differential presentation, perforatory of poliadically space.

Эффективность функционирования стратегических отраслей во многом зависит от обеспечения безопасности информации. Безопасность информации определяется тремя категориями, а именно: доступностью, целостностью и конфиденциальностью. Особое значения первые две категории приобретают в случае критичности принятия решения от своевременности и достоверности получаемой информации. Особые проблемы здесь возникают, когда с одной стороны от правильности принимаемых решений зависит качество решения общегосударственных задач. Одной из таких сфер является предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций (ЧС). В этом случае решения должны приниматься в реальном времени. Задержка от начала получения информации до начала действий по ликвидации ЧС не должна превышать 10 минут. Это накладывает жесткие требования по до-

ступности информации. С другой стороны наибольшие сложности появляются, когда требуется использовать видеoinформационные источники. Для такой ситуации, когда пропускные способности беспроводных каналов связи ограничены, неминуемы задержки по доставке информации [1]. Для решения сложившейся проблемы интегрируются технологии компрессии изображений [2; 3]. В тоже время для существующих технологий сжатия характерны недостатки. Повышение степени сжатия достигается ценой увеличения задержек на время обработки и внесения искажений. В свою очередь повышаются риски относительно потери целостности информации. Значит тематика исследований, касающаяся совершенствования технологий компактного представления видеоданных, является актуальной.

Как показано в работах [4; 5], направление решения задачи состоит в комбинированном использовании на предварительном этапе различных механизмов трансформирования изображений, включая дифференциальное представление. Эффективным вариантом дальнейшей обработки является подход, базирующийся на перфорировании массивов дифференциального представления (МДП) в полиадическом пространстве. Тогда дополнительное уменьшение объемов сжатых изображений за счет выявления элементов МДП, имеющих высокий динамический диапазон, обеспечивается в результате их перфорирования. Суть перфорирования заключается в том, что исходный массив дифференциального представления  $H = \{h'_{kl}\}$  разделяется на две составляющих в зависимости от принадлежности величин  $d_{kl}$  одному из двух уровней динамического диапазона массива ДП, т. е.  $H \rightarrow \{H^{(0)}; H^{(1)}\}$ , где  $H^{(0)}$ ,  $H^{(1)}$  – составляющие массива ДП, содержащие соответственно элементы нижнего и верхнего перфорированных уровней. Уровень разделения массива дифференциального представления на два уровня задается скалярной величиной  $K(h')_{\text{пор}}$  – порогом перфорации. Причины возникновения перфорированности в массивах дифференциального представления состоят в комбинированном подходе относительно его построения. Это приводит к образованию как минимум двухградационного по структуре динамического диапазона массива дифференциального представления. Значит, полиадические кодовые конструкции, формируемые без учета перфорированности динамического диапазона, обладают структурной избыточностью. Таким образом, *цель статьи* заключается в совершенствовании технологий сжатия изображений на основе перфорирования трансформант в пространстве полиадического представления.

В работах [4; 5] предложено для повышения степени сжатия использовать разделение массива на две составляющие в зависимости от принадлежности одному из двух уровней динамического диапазона, т.е. предлагается проводить перфорирование массивов дифференциального представления (МДП). Тогда для устранения недостатка, обусловленного высокими динамическими диапазонами отдельных элементов МДП, предлагается учитывать свойства составляющей  $H^{(1)}$  верхнего перфорационного уровня, состоящие в том, что:

- 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 составляющей верхнего перфорационного уровня [3; 4]. Откуда код-номер массива  $H^{(1)}$  будет определяться относительно кода-номера полиадического числа, соответствующего минимальному уровню  $M^{(2)}$  дифференциального пространства (рис. 1).

Образуется вектор минимальных значений в строках,  $M = \{\mu_1, \dots, \mu_m\}$ . Здесь величина  $\mu_i$  определяется как минимальное значение в  $i$ -й строке массива  $H^{(1)}$ ,

$$\text{т. е. } \mu_i = \min_{1 \leq j \leq n} \{h_{ij}^{(1)}\}, \quad i = \overline{1, m}.$$

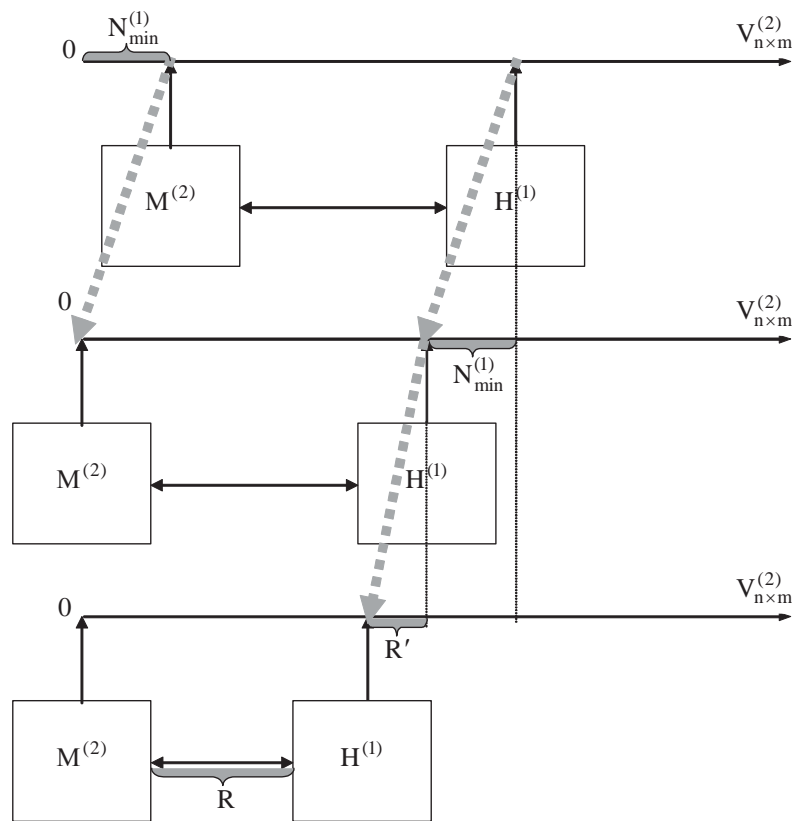


Рис. 1. Схема формирования элементов двумерного дифференциального неравновесного позиционного числа

Это позволяет перейти от исходного динамического диапазона массива  $H^{(1)}$  к пониженному динамическому диапазону, описываемому вектором  $S$  ограничений, т. е.  $S = \{s_{1j}, \dots, s_{nj}\}$ . Здесь  $s_{ij}$  – разность между максимальным  $d_{ij}^{(1)}$  и минимальным  $\mu_i$  значениями в  $i$ -й строке массива  $H^{(1)}$  верхнего перфорационного уровня, т. е.

$$s_{ij} = d_{ij}^{(1)} - \mu_i \quad (1)$$

С учетом выражения (1) получим следующий диапазон верхнего перфорационного уровня

$$\mu_i \leq h_{ij}^{(1)} \leq d_{ij}^{(1)} - 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n^{(1)}}, \quad (2)$$

где  $n^{(1)}$  – 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 полиадическим числом, элементы которого удовлетворяют ограничениям на динамический диапазон верхнего перфорационного уровня.

С учетом ограничений (1) и (2), значение кода-номера как длина расстояния между текущим массивом  $H^{(1)}$  и нижним уровнем  $M^{(2)}$  двумерного полиадического числа определяется по формуле

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n^{(1)}} (h_{ij}^{(1)} - \mu_i) \prod_{\xi=j+1}^{n^{(1)}} s_{i\xi} \prod_{\gamma=i+1}^m \prod_{\xi=1}^{n^{(1)}} s_{\gamma\xi}. \quad (3)$$

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

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

Значение кода-номера  $N^{(1)}$  в исходном полиадическом пространстве равно

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

Распишем соотношение (3) с учетом формулы (1), и получим

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

С учетом чего получим неравенство (4).

Докажем теперь, что код полиадического числа в дифференциальном пространстве будет меньше, чем разность между кодом-номером полиадического 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 полиадического пространства.

Действительно. Распишем левую часть неравенства (6), и получим

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

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

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

Выполнение неравенства (6) позволяет сделать заключения относительно того, что представление массива элементов верхнего перфорационного уровня в дифференциальном полиадическом пространстве обеспечивает дополнительное сокращение комбинаторной избыточности.

Суммарное количество  $R^{(2)}$  допустимых позиционных чисел в дифференциальном неравновесном пространстве определяется по формуле

$$R^{(2)} = \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^{n^{(1)}} (d_{ij}^{(1)} - \mu_i). \quad (8)$$

Выражение (8) определяет количество комбинаторной избыточности, которое потенциально может быть сокращено в результате представления массива верхнего перфорационного уровня в дифференциальном полиадическом пространстве.

Для разделения МДП на две составляющих используется порог перфорации. В работах [4; 5] для оценки порога перфорации предлагается использовать

$$K(h')_{\text{пор}} = \left( \sum_{k=1}^m \sum_{\ell=1}^n d_{k\ell} \right) / m n, \quad (9)$$

где  $d^{(u)}$  – значение основания полиадического числа (ПЧ) для  $u$ -го уровня динамического диапазона;  $v_u$  – количество оснований ПЧ, принадлежащих  $u$ -му уровню динамического диапазона;  $U$  – количество уровней динамического диапазона.

В тоже время такой вариант перфорирования массива ДП приводит к наличию следующего недостатка. Возможны случаи, когда динамический диапазон элемента  $h'_{k\ell}$  МПД будет выше порога перфорации  $K(h')_{\text{пор}}$ , т. е.  $d_{k\ell} > K(h')_{\text{пор}}$ . Но, с другой стороны, само значение элемента будет ниже порогового значения, т.е.

$h'_{k\ell} < K(h')_{\text{пор}}$ . Така ситуація возможна, когда максимальные значения на пересечении строки  $d_k$  и столбца  $d_\ell$  имеют значительно более высокие значения относительно значения самого  $h'_{k\ell}$ , т.е.  $h'_{k\ell} \lll \max_{1 \leq \xi \leq n} \{h'_{k\xi}\} = d_k - 1$  или  $h'_{k\ell} \lll \max_{1 \leq u \leq m} \{h'_{u\ell}\} = d_\ell - 1$ . Такая ситуация приводит к тому, что минимальная граница в массиве верхнего перфорационного уровня будет снижаться, вплоть до нулевого уровня. Это приводит к тому, что сокращается потенциальное количество комбинаторной избыточности.

Для исключения недостатка *предлагается* проводить перфорирование массива дифференциального представления с дополнительным учетом двоичной маски  $P^{(2)}$ , выделяющей элементы, для которых одновременно выполняются следующие условия (рис. 2):  $d_{k\ell} > K(h')_{\text{пор}}$  и  $h'_{k\ell} < K(h')_{\text{пор}}$ . Тогда если для элемента массива дифференциального представления выполняется условие (9), то на соответствующей позиции в маске будет стоять единица. Наоборот, если хотя бы одно из неравенств (8) не выполняется, то на соответствующей позиции в маске будет стоять ноль.

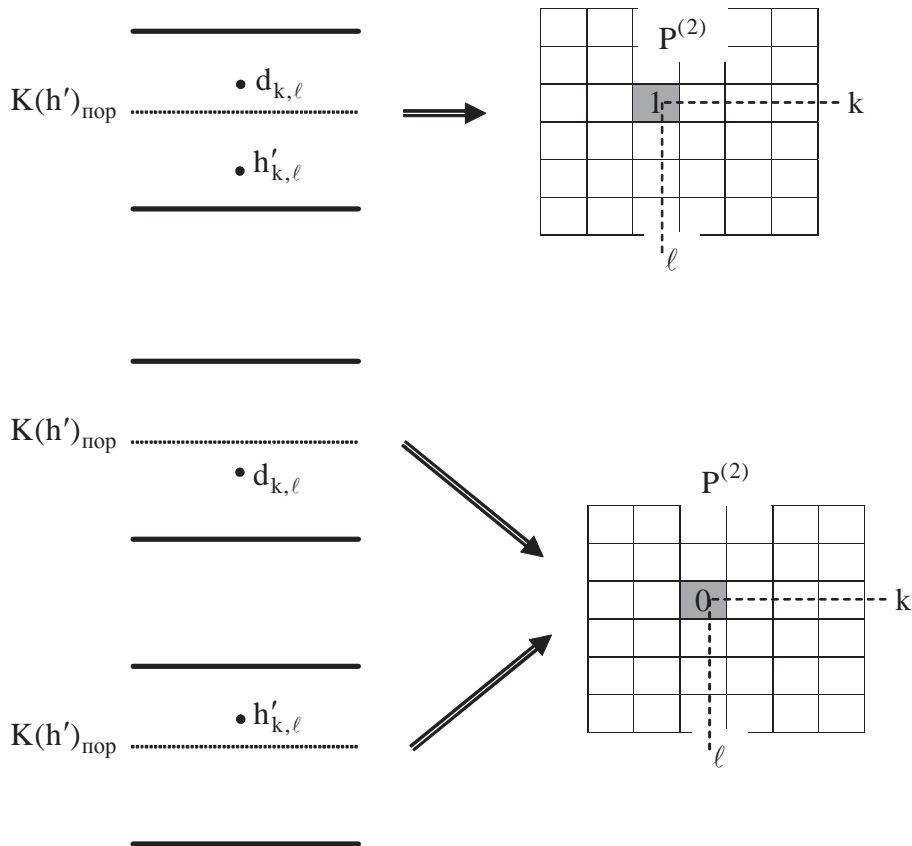


Рис. 2. Схема маскирования элементов массива дифференциального представления в процессе перфорирования

Следовательно, содержание маски  $P^{(2)}$  задается следующим образом:

$$p_{k\ell} = \begin{cases} 0, & \rightarrow d_{k\ell} \leq K(h')_{\text{пор}} \vee h'_{k\ell} \geq K(h')_{\text{пор}}; \\ 1, & \rightarrow d_{k\ell} > K(h')_{\text{пор}} \ \& \ h'_{k\ell} < K(h')_{\text{пор}}, \end{cases}$$

где  $p_{k\ell}$  – элемент маски  $P^{(2)}$  на позиции  $(k; \ell)$ .

Наличие такой маски позволяет выявлять элементы массива верхнего перфорационного уровня, которые приводят к снижению степени сжатия. Для этого *предлагается* элементы массива ДП, для которых элемент маски равен единице, оставлять в массиве нижнего уровня перфорации с основанием, равным  $K(h')_{\text{пор}}$ . Тогда для динамических диапазонов  $d_{k\ell}^{(0)}$  элементов массива нижнего перфорационного уровня выполняется следующая система:

$$d_{k\ell}^{(0)} = \begin{cases} d_{k\ell}, & \rightarrow p_{k\ell} = 0; \\ K(h')_{\text{пор}}, & \rightarrow p_{k\ell} = 1. \end{cases}$$

Такие преобразования позволят: с одной стороны, увеличить нижнюю границу дифференциального полиадического пространства массива верхнего перфорационного уровня; с другой стороны, снизить динамический диапазон маскированных элементов массива нижнего перфорационного уровня. Ведь исходное значение динамического диапазона  $d_{k\ell}$  массива верхнего перфорационного уровня по условию перфорации превышает величину порога, т.е.  $d_{k\ell} > K(h')_{\text{пор}}$ . Количество  $V^{(0)}$  полиадических чисел для массива нижнего перфорационного уровня с учетом маскированных элементов определяется как

$$V^{(0)} = (K(h')_{\text{пор}})^{\nu} \prod_{i=1}^{m'} \prod_{j=1}^{n'} d_{ij}^{(0)}.$$

Здесь  $\nu$  – количество маскированных элементов,  $m', n'$  – массив нижнего перфорационного уровня за исключением маскированных элементов.

Из анализа данного выражения можно заключить, что количество допустимых полиадических чисел с учетом особенностей динамических диапазонов маскированных элементов будет ниже, чем без такого учета. В конечном итоге это приведет к повышению степени сжатия массива дифференциального представления.

### **Выводы**

1. Обосновано, что представление массива элементов верхнего перфорационного уровня в дифференциальном полиадическом пространстве обеспечивает дополнительное сокращение комбинаторной избыточности, обусловленной:

- снижением динамического диапазона элементов верхнего перфорационного уровня за счет выявления минимальных значений;
- сокращением количества полиадических чисел, предшествующих текущему числу, но не удовлетворяющих условию дифференциального пространства.

2. Для исключения недостатка, связанного с понижением нижней границы дифференциального полиадического пространства, обосновывается и разраба-

тывается технология перфорирования массива дифференциального представления с дополнительным учетом двоичной маски. Такие преобразования позволят: с одной стороны, увеличить нижнюю границу дифференциального полиадического пространства массива верхнего перфорационного уровня; с другой стороны, снизить динамический диапазон маскированных элементов массива нижнего перфорационного уровня.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учеб. для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб. : Питер, 2006. – 958 с.
2. *Баранник В.В.* Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. – X. : ХУПС, 2010. – 212 с.
3. *Barannik V.* Image Encoding Design Based On 2-D Combinatory Transformation / V. Barannik., V. Hahanov // International Symposium [IEEE East-West Design & TestI], (Yerevan, Armenia, September 7–10, 2007) / Yerevan: 2007. – P. 124–127.
4. *Barannik V.* Method of Processing of the Differentiated Images of the Basic of Formation and Coding of the Nonequilibrium Punched Numbers / V. Barannik , V. Shynkarev, A. Trofimenko // Proceedings of the X<sup>th</sup> International Conference [IModern problems of radio engineering telecommunications and computer scienceI], (Lviv-Slavske, Ukraine, February 23–27, 2010) / Lviv, 2010. – P. 288.
5. *Бараннік В.В.* Метод композиції перфорованих нерівноважних чисел / В.В. Бараннік, В.В. Шинкарєв, Н.Ф. Сидоренко // Наукоємні технології. – 2012. – № 1 (13). – С. 60–63.

Отримано 24.04.2013