

УДК 621.327:681.5

С.И. Кривенко<sup>1</sup>, В.П. Поляков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственная инспекция связи, Киев

<sup>2</sup>Харьковский государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков

## ДЕКОДИРОВАНИЕ АПЕРТУРНЫХ КООРДИНАТ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Обосновывается, что в системах компрессии изображений, базирующихся на построении апертурно-координатного описания, для обеспечения заданного уровня достоверности информации требуется осуществить восстановление массивов апертурных координат без внесения ошибок. Доказывается взаимнооднозначность обработки массивов координат, представляемых кодами-номерами двумерных позиционных чисел с неравными соседними элементами. Излагаются этапы построения денумерирующего правила, позволяющего восстановить массивы апертурных координат без внесения ошибок. При этом учитываются ограничения на диапазон значений и на мощность алфавита обрабатываемых данных. Показывается, что для организации процесса восстановления не требуется использовать дополнительную служебную информацию.

**Ключевые слова:** массивы координатных перепадов, восстановление массивов данных.

### Введение

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Своевременное доведение достоверной информации является важным показателем функционирования телекоммуникационных технологий [1].

Относительно организации своевременного доведения данных значимую роль играют системы компактного представления с контролируемой погрешностью [2, 3]. Один из эффективных методов обработки изображений базируется на построении апертурно-координатного описания (АКО) изображений [3 – 5]. При этом существует противоречие, связанное с наличием обратной зависимости между степенью компрессии и качеством восстановленных изображений.

Стремление повысить степень сжатия приводит к внесению искажений в процессе обработки видеоданных. Значит, существует актуальная научная задача, заключающаяся в организации доведения изображений с заданной степенью достоверности. Важной составляющей обеспечения требуемого уровня достоверности информации является организация восстановления изображений с минимальной погрешностью. При этом на некоторых этапах требуется осуществить декодирование без внесения ошибок. На этапе выявления апертур были учтены особенности восприятия изображений зрительной системой.

Отсюда следует, что дальнейшая обработка сформированных массивов координат апертур на шкале цветности должна проводиться без внесения погрешности. Поэтому **цель статьи** состоит в разработке восстановления массивов координатных перепадов без ошибок.

### Обоснование взаимнооднозначности восстановления массивов координатных перепадов

По условию формирования апертурно-координатного описания изображения допускается, что

апертура содержит элементы видеоданных отличающиеся друг от друга в некотором диапазоне (в диапазоне равном диаметру апертуры  $D$ ). В этом случае в процесс обработки вносятся погрешности. Значит, внесение погрешностей при обработке образованной форм АКО может привести к размножению ошибок и как следствие к ухудшению качества восстановленных изображений. Поэтому для обеспечения заданного уровня достоверности необходимо осуществлять обработку массивов АКО изображения без внесения погрешности. Покажем, что кодирование массивов апертурных координат проводится без внесения погрешности. Для этого требуется доказать взаимнооднозначность процессов кодирования и декодирования массивов  $A'_\ell$ . Поэтому сформулируем и докажем следующую теорему

**Теорема о взаимнооднозначности кодирования массивов координат апертур.** Для заданного направления обхода элементов в массиве координатных перепадов и значения динамического диапазона  $d$  для массива  $A'_\ell$ , элементы которого удовлетворяют ограничениям:  $\ell'_{ij} \leq d$ , где  $d$  – величина диапазона значений элементов  $\ell'_{ij}$  массива координатных перепадов;  $\ell'_{11} \in [0; d-1]$ ;  $\ell'_{ij} \in [0; d-2]$ ,  $j = \overline{1, n}$  для  $i = \overline{2, m}$  и  $j = \overline{2, n}$  для  $i = 1$  можно сформировать только один код-номер  $C'_\ell$ . Наоборот, для заданных ограничений и по известному коду-номеру можно восстановить только один массив координатных перепадов.

**Доказательство.** Предположим противное. Тогда найдется как минимум один элемент, для которого выполняется неравенство

$$\ell'_{ij} \neq \ell'_{ij}, \quad (1)$$

для этого случая как минимум два массива  $A'_\ell$  и  $A'_\ell$  будут иметь одинаковое значение кода-номера  $C'_\ell = C'_\ell$ :

$$C'_\ell = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij} (d-1)^{(n-j)+(m-i)n}, \quad (2)$$

$$C'_\ell^\bullet = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}^\bullet (d-1)^{(n-j)+(m-i)n}. \quad (3)$$

Так как по предположению верно неравенство (1), то можно допустить, что будет выполняться неравенство  $l'_{i\beta}^\bullet < l'_{i\beta}$ , где  $(i; \beta)$ -я позиция старшего элемента массивов координатных перепадов, для которого еще выполняется условие  $l'_{i\beta}^\bullet \neq l'_{i\beta}$ . В этом случае на основе взаимоднозначной зависимости между величинами  $l'_{ij}$  и  $h_{ij}$  будет выполняться неравенство  $h_{i\beta}^\bullet < h_{i\beta}$ .

Выделим в соотношениях (2) и (3) слагаемое, содержащее  $(i; \beta)$ -й элемент. Для этого представим данные выражения в виде суммы трех слагаемых:

$$\begin{aligned} C'_\ell &= \sum_{\xi=1}^{i-1} \sum_{j=1}^n h_{\xi j} (d-1)^{(n-j)+(m-\xi)n} + \\ &+ \sum_{j=1}^{\beta-1} h_{ij} (d-1)^{(n-j)+(m-i)n} + h_{i\beta} (d-1)^{(n-\beta)+(m-i)n} + \\ &+ \sum_{j=1}^{\beta+1} h_{ij} (d-1)^{(n-j)+(m-i)n} + \\ &+ \sum_{\xi=i+1}^m \sum_{j=1}^n h_{\xi j} (d-1)^{(n-j)+(m-\xi)n}; \quad (4) \\ C'_\ell^\bullet &= \sum_{\xi=1}^{i-1} \sum_{j=1}^n h_{\xi j} (d-1)^{(n-j)+(m-\xi)n} + \\ &+ \sum_{j=1}^{\beta-1} h_{ij} (d-1)^{(n-j)+(m-i)n} + h_{i\beta}^\bullet (d-1)^{(n-\beta)+(m-i)n} + \\ &+ \sum_{j=1}^{\beta+1} h_{ij}^\bullet (d-1)^{(n-j)+(m-i)n} + \\ &+ \sum_{\xi=i+1}^m \sum_{j=1}^n h_{\xi j}^\bullet (d-1)^{(n-j)+(m-\xi)n}. \quad (5) \end{aligned}$$

Вычтем от левой и правой частей разложения (4) соответственно левую и правую части разложения (5), учитывая, что  $C'_\ell = C'_\ell^\bullet$ :

$$\begin{aligned} 0 &= (h_{i\beta} - h_{i\beta}^\bullet) (d-1)^{(n-\beta)+(m-i)n} + \\ &+ \sum_{j=1}^{\beta+1} (h_{ij} - h_{ij}^\bullet) (d-1)^{(n-j)+(m-i)n} + \\ &+ \sum_{\xi=i+1}^m \sum_{j=1}^n (h_{\xi j} - h_{\xi j}^\bullet) (d-1)^{(n-j)+(m-\xi)n}. \end{aligned}$$

Перенесем старшее слагаемое полученного соотношения в левую часть и получим:

$$\begin{aligned} &(h_{i\beta} - h_{i\beta}^\bullet) (d-1)^{(n-\beta)+(m-i)n} = \\ &= \sum_{j=1}^{\beta+1} (h_{ij} - h_{ij}^\bullet) (d-1)^{(n-j)+(m-i)n} + \end{aligned}$$

$$+ \sum_{\xi=i+1}^m \sum_{j=1}^n (h_{\xi j} - h_{\xi j}^\bullet) (d-1)^{(n-j)+(m-\xi)n}. \quad (6)$$

Поскольку по предположению выполняется неравенство  $h_{i\beta}^\bullet < h_{i\beta}$ , то

$$(h_{i\beta} - h_{i\beta}^\bullet) (d-1)^{(n-\beta)+(m-i)n} > (d-1)^{(n-\beta)+(m-i)n}. \quad (7)$$

В то же время по определению величина  $(d-1)^{(n-\beta)+(m-i)n}$  равна количеству комбинаций, которое можно составить из подмассивов  $A'_\ell(i; \beta+1)$ , т.е. должно выполняться неравенство:

$$\begin{aligned} &(d-1)^{(n-\beta)+(m-i)n} > \\ &> \sum_{j=1}^{\beta+1} (h_{ij} - h_{ij}^\bullet) (d-1)^{(n-j)+(m-i)n} + \\ &+ \sum_{\xi=i+1}^m \sum_{j=1}^n (h_{\xi j} - h_{\xi j}^\bullet) (d-1)^{(n-j)+(m-\xi)n}, \end{aligned}$$

что противоречит неравенству (7). Отсюда вытекает равенство элементов  $h_{i\beta} = h_{i\beta}^\bullet$ , а, следовательно, и равенство элементов  $l'_{i\beta} = l'_{i\beta}^\bullet$ . Значит, для массива координатных перепадов можно сформировать только один код-номер  $C'_\ell$ . И наоборот, по значению кода-номера  $C'_\ell$  и заданных ограничений на значения элементов массива  $A'_\ell$ , обеспечивается их восстановление без ошибок.

Теорема доказана.

На базе доказанной теоремы вытекают следующие выводы:

- кодирование массивов координат апертур, представленных в виде двумерных позиционных чисел с неравными соседними элементами, является взаимоднозначным;
- для взаимоднозначного восстановления элементов  $l'_{ij}$  массивов  $A'_\ell$  требуется наличие информации о значении кода-номера  $C'_\ell$ , величины  $d$  - ограничения на диапазон значений массива  $A'_\ell$  и направление обхода элементов массива координатных перепадов.

### Разработка восстановления массивов координатных перепадов

На основе имеющейся информации восстановление элементов массивов координатных перепадов организуется следующими этапами:

Этап 1. Проводится восстановление элементов  $h_{ij}$ . По определению на элементы  $h_{ij}$  накладывается только одно ограничение, именно

- $h_{ij} < d$ , если  $i=1, j=1$ ;
- $h_{ij} < (d-1)$ , если  $i=1 (j=2n)$  и  $i=2, m (j=1, n)$ .

Отсюда последовательности, составленные из элементов  $h_{ij}$ , являются позиционными числами. Их восстановление осуществляется по формулам

$$\begin{aligned}
 h_{11} &= [C'_\ell / (d-1)^{(n-j)+(m-i)n}]; & (8) \\
 h_{ij} &= [C'_\ell / (d-1)^{(n-j)+(m-i)n}] - \\
 & - [C'_\ell / (d-1)^{(n-j)+(m-i)n+1}](d-1), & (9) \\
 & i=1, a \ j=2, n \text{ и } i=2, m, a \ j=1, n,
 \end{aligned}$$

где  $(d-1)^{(n-j)+(m-i)n}$  – весовой коэффициент  $h_{ij}$ .

Этап 2. Данный этап связан с восстановлением элементов  $\ell'_{ij}$  массивов координатных перепадов на основе полученных на предыдущем этапе величин  $h_{ij}$ . Для этого используется взаимоднозначное соответствие между элементами  $\ell'_{ij}$  и  $h_{ij}$ . По определению  $\ell_0 = d$ , значение которого является известным. Кроме того, известно, что  $\ell'_{11} < \ell_0$ . Отсюда значение элемента  $\ell'_{11}$  равно  $\ell'_{11} = h_{11}$ . Для восстановления элементов  $\ell'_{ij}$  на последующих шагах будем использовать известную информацию: значение величины  $h_{ij}$ , значение элемента  $\ell'_{i,j-1}$  массива  $A'_\ell$  на предыдущем шаге. Восстановление значения элемента  $\ell'_{ij}$  базируется на следующем анализе между величинами  $h_{ij}$  и  $\ell'_{i,j-1}$ :

– если  $h_{ij} > \ell'_{i,j-1}$ , то тем более выполняется неравенство  $\ell'_{ij} > \ell'_{i,j-1}$ . Тогда  $\ell'_{ij} = h_{ij} + 1$ ;

– если  $h_{ij} < \ell'_{i,j-1}$  и учитывая, что по определению массивов координатных перепадов выполняется неравенство  $h_{ij} + 1 \neq \ell'_{ij}$ , то  $\ell'_{ij} < \ell'_{i,j-1}$ . Следовательно,  $\ell'_{ij} = h_{ij}$ ;

– если  $h_{ij} = \ell'_{i,j-1}$ , то по определению апертурно-координатного описания выполняется неравенство  $\ell'_{ij} \neq \ell'_{i,j-1}$ . Поэтому может быть только один вариант, а именно  $\ell'_{ij} > \ell'_{i,j-1}$ . Отсюда  $\ell'_{ij} = h_{ij} + 1$ .

На основе обобщения данного анализа формула для определения величин  $\ell'_{ij}$  на основе известных значений  $h_{ij}$  и  $\ell'_{i,j-1}$  примет вид

$$\ell'_{ij} = \begin{cases} h_{ij}, & \rightarrow h_{ij} < \ell'_{i,j-1}; \\ h_{ij} + 1, & \rightarrow h_{ij} \geq \ell'_{i,j-1}. \end{cases} \quad (10)$$

## ДЕКОДУВАННЯ АПЕРТУРНИХ КООРДИНАТ ЗОБРАЖЕНЬ

С.І. Кривенко, В.П. Поляков

Обґрунтовується, що в системах компресії зображень, які базуються на побудові апертурно-координатного опису, для забезпечення заданого рівня достовірності інформації потрібно здійснити відновлення масивів апертурних координат без внесення помилок. Доводиться взаємоднозначність обробки масивів координат, двовимірних позиційних чисел, що представляються кодами-номерама, з нерівними сусідніми елементами. Висловлюються етапи побудови де-нумеруючого правила, що дозволяє відновити масиви апертурних координат без внесення помилок. При цьому враховуються обмеження на діапазон значень і на потужність алфавіту оброблюваних даних. Показується, що для організації процесу відновлення не потрібно використовувати додаткову службову інформацію.

**Ключові слова:** масиви координатних перепадів, відновлення масивів даних.

Объединив выражения (8) – (10), получим систему аналитических соотношений для восстановления элементов массивов координатных перепадов

$$\ell'_{ij} = \begin{cases} [C'_\ell / (d-1)^{(n-j)+(m-i)n}] - \\ - [C'_\ell / (d-1)^{(n-j)+(m-i)n+1}](d-1), \\ \rightarrow h_{ij} < \ell'_{i,j-1}; \\ [C'_\ell / (d-1)^{(n-j)+(m-i)n}] - \\ - [C'_\ell / (d-1)^{(n-j)+(m-i)n+1}](d-1) + 1, \\ \rightarrow h_{ij} \geq \ell'_{i,j-1}. \end{cases} \quad (11)$$

Таким образом, соотношение (11) обеспечивает восстановление элементов массивов координатных перепадов без внесения ошибок на основе известного значения кода-номера, величины динамического диапазона массивов координат и направления обхода его элементов.

## Выводы

1. Доказана взаимоднозначность представления массивов координатных перепадов на основе кодирования их как двумерных позиционных чисел с неравными соседними элементами.

2. Разработана система выражений, обеспечивающая восстановление элементов массива координатных перепадов без внесения ошибок и без использования дополнительной служебной информации.

## Список литературы

1. Уоллэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети. – М.: Постмаркет, 2001. – 480 с.
2. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.
3. Баранник В.В., Королева Н.А., Поляков П.Ф. Метод восстановления изображений // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2001. – Вып. 6(16). – С. 140-145.
4. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Метод восстановления цветowych координат и длин серий // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – №2. – С. 100-104.
5. Королев А.В., Баранник В.В., Гиневский А.М. Оценка времени восстановления изображения // Збірник наук. праць ІПМЕ. – К.: ІПМЕ НАНУ, 2002. – Вып. 16. – С. 3-8.

Поступила в редколлегию 9.06.2008

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

## DECODING COORDINATE OF APERTURE OF IMAGES

S.I. Krivenko , P.V. Polyakov

*Grounded, that in the systems of compression of images, being based on the construction of aperture-coordinate description, for providing of the set level of authenticity of information it is required to carry out renewal of arrays of aperture co-ordinates without bringing of errors. The reciprocation of treatment of arrays of coordinates is proved, 2-D position numbers presented codes-numbers with unequal nearby elements. The stages of construction of de-enumerate are expounded governed, allowing to recover the arrays of aperture coordinates without bringing of errors. Thus taken into account limit on the range of values and on power of alphabet of the processed information. Shown, that for organization of process of renewal it is not required to utilized additional service information.*

**Keywords:** *arrays of coordinate differentials , recovering the data array.*