

УДК 621.327:681.5

Ю.В. Стасев<sup>1</sup>, С.И. Кривенко<sup>2</sup><sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба<sup>2</sup>Государственная инспекция связи, Киев

## РЕКУРРЕНТНОЕ КОДИРОВАНИЕ МАССИВОВ ДАННЫХ АПЕРТУРНО-КООРДИНАТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Для снижения количества операций на обработку разрабатывается рекуррентное кодирование массивов данных для апертурно-координатного описания изображений (АКОИ), что позволяет формировать значение единого двухтипового кода-номера по мере поступления элементов массивов данных. Это дополнительно сокращает количество операций на сжатие в случае программной реализации на универсальных вычислительных системах, реализующих последовательную обработку данных. Выводятся выражения для оценки степени компрессии изображения на основе рекуррентного единого кодирования АКОИ. Проводится сравнительный анализ для разработанного и существующих методов сжатия с контролируемой потерей. Обосновываются преимущества созданного метода обработки видеоданных.

**Ключевые слова:** компрессия изображений, структурное кодирование массивов координат апертур.

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

Развитие видеоинформационного взаимодействия различных служб, ведомств и пользователей приводит к увеличению объемов данных в информационно-телекоммуникационных системах (ИТКС) [1, 2]. Это приводит к снижению оперативности доведения информации [3, 4]. Одно из направлений уменьшения объемов видеоданных базируется на формировании апертурно-координатного описания изображений (АКОИ) [4 – 6]. В тоже время недостаточно исследованной стороной является построение компактного представления массивов данных. Отсюда реальные характеристики обработки изображений [5, 6] находятся ниже потенциально возможных. Следовательно, **актуальная научная задача** состоит в повышении эффективности процесса сжатия изображений на основе формирования АКО.

Ключевая составляющая процесса сжатия для рассматриваемого метода заключается в формировании кода для массивов координат апертур  $A'_\ell$  и их длин  $A'_r$ . От эффективности организации такого кодирования зависит как степень сжатия, так и время обработки изображений. Поэтому **цель статьи** сводится к созданию кодирования массивов данных, учитывающего особенности формирования АКОИ.

#### Разработка рекуррентного формирования единого кода

Для получения значения единого кода-номера  $C'_{\ell,r}$  апертурно-координатного описания изображений на основе особенностей двух типового принципа его формирования при условии выполнения неравенства  $(\lceil \log_2 C'_{\ell,r} \rceil + 1) \leq W_{kc}$ , где  $W_{kc}$  – длина кодового слова, требуется выполнить следующие процедуры обработки массивов  $A'_\ell$  и  $A'_r$ .

**Начальная процедура.** Определение величины  $d$  динамического диапазона текущего массива  $A'_\ell$ . Получение величин  $r_i^{(max)}$  (максимальное значение в  $i$ -й строке массива апертур) и  $\mu_i$  (минимальное значение в  $i$ -й строке массива апертур),  $i = \overline{1, m}$ .

**Первая процедура.** Организуется рекуррентное формирование начального  $C'_\ell$  значения для единого кода-номера. Для этого в начале по формуле  $q_\ell = W_{kc} / (\lceil \log_2(d-1) \rceil + 1)$  находится величина  $q_\ell$ . После того как определено количество элементов массива координатных перепадов проводится рекуррентное формирование кода-номера  $C'_\ell$  для двумерного позиционного числа с учетом обхода элементов в направлении строк массива, сверху вниз. На первом этапе начальное значение кода-номера  $C'(0)_\ell$  равно

$$C'(0)_\ell = h_{11} d, \quad (1)$$

где  $h_{11}$  – значение элемента ДПЧ с неравными соседними элементами на позиции с координатами (1;1) в массиве  $A'_\ell$ , равно  $h_{11} = \ell'_{11} - 1$ .

На последующих этапах при добавлении элемента  $h_{ij}$  выполняется проверка условия относительно количества элементов для текущего кода

$$j + (i-1)n \leq q_\ell, \quad (2)$$

где  $j + (i-1)n$  – количество элементов, для которых сформировано текущее значение кода-номер с учетом добавляемого элемента  $h_{ij}$ .

В случае, когда неравенство (2) выполняется, то значение кода пересчитывается на основе следующей системы рекуррентных соотношений:

$$\begin{cases} C'(i; j)_\ell = C'(i; j-1)_\ell d + h_{ij}, & \rightarrow j > 1; \\ C'(i+1; 1)_\ell = C'(i; n)_\ell d + h_{i1}, & \rightarrow j = 1, \end{cases} \quad (3)$$

где  $C'(i; j-1)_\ell$ ,  $C'(i; j)_\ell$  – значения кодов-номеров до и после добавления элемента  $h_{ij}$ , если  $j < n$ , т.е. обработка не выходит за пределы текущей строки;  $C'(i; n)_\ell$ ,  $C'(i+1; 1)_\ell$  – значения кодов-номеров до и после добавления элемента  $h_{ij}$ , в случае  $j = n$ , т.е. обработка переходит на следующую строку массива  $A'_\ell$ . В обратном случае, если условие, заданное неравенством (2) не выполняется, то осуществляется формирование следующего начального значения единого кода-номера. На основе выражений (1) – (3) начальное значение единого кода равно

$$C'_\ell = \sum_{\xi=1}^{q_\ell} h'_\xi d^{q_\ell - \xi}. \quad (4)$$

**Вторая процедура.** Проводится формирование добавочного значения единого кода с учетом добавления элементов массива  $A'_\ell$  относительных апертур. В отличие от предыдущего этапа обработки необходимо осуществлять рекуррентный отбор элементов массива  $A'_\ell$  для формирования добавочного кода-номера. На данном уровне организуется проверка на возможность добавления элемента  $r'_{ij}$  к текущему единому значению кода-номера. Правило отбора состоит в проверке на возможность переполнения остаточной длины  $\Delta W_{kc}$  кодового слова. В случае, когда переполнение остаточной длины кодового слова не произошло, то элемент обрабатываемого массива  $A'_\ell$  добавляется к текущему числу в разностном полиадическом пространстве, для которого формируется добавочное значение кода-номера. Для обратного варианта, когда возникает ситуация, связанная с переполнением кодового слова, то элемент массива апертур считается первым элементом при формировании очередного добавочного кода-номера. Значение добавочного кода (а вместе с ним и значение всего единого кода) вычисляется по мере добавления элементов к текущему коду-номеру.

Процесс рекуррентного кодирования элементов массивов относительных апертур заключается в выполнении следующих этапов:

1. Проверяется неравенство

$$S'(q_\ell, 2)_{\ell, r} = S'(q_\ell)_\ell y_1^2 = (d-1)^{q_\ell} ((r_1^{(\max)} - \mu_1) + 1)^2 \leq 2^{W_{kc}}, \quad (5)$$

где  $S'(q_\ell)_\ell$  – количество комбинаций, которое можно составить из  $q_\ell$  элементов двумерного позиционного числа с неравными соседними элементами;

$S'(q_\ell, 2)_{\ell, r}$  – количество допустимых комбинаций, которое можно составить из двух типовых последовательностей, состоящих из  $q_\ell$  элементов массива  $A'_\ell$  и двух элементов массива  $A'_\Gamma$ . При этом выполняется требования жесткого позиционирования элементов массива  $A'_\ell$  и элементов массива

$A'_\Gamma$ , а именно в начале располагаются элементы массива  $A'_\ell$ , а затем элементы массива апертур;  $2^{W_{kc}}$  – количество комбинаций для двоичной последовательности, длиной  $W_{kc}$  двоичных элементов.

Если неравенство (5) не выполняется, то формирование добавочного кода считается не возможным. Единый код будет полностью состоять из начального значения, полученного для элементов массива координатных перепадов  $C'_{\ell, r} = C'_\ell$ . Такая ситуация возможна, когда относительная длина апертуры превышает величину  $2^{\Delta W_{kc}}$ .

В обратном случае проводится вычисление текущего значения  $C'(q_\ell, 2)_{\ell, r}$  единого кода (с учетом добавления двух элементов массива апертур):

$$C'(q_\ell, 2)_{\ell, r} = C'_\ell y_1^2 + r'_{11} y_1 + r'_{12} = \left( \sum_{\xi=1}^{q_\ell} h'_\xi d^{q_\ell - \xi} \right) y_1^2 + r'_{11} y_1 + r'_{12}, \quad (6)$$

где  $r'_{11}$ ,  $r'_{12}$  – элементы массива апертур, имеющие координаты соответственно (1;1) и (1;2);  $y_1$  – динамический диапазон элементов его первой строки.

2. Организуется проверка неравенства

$$S'(q_\ell, 3)_{\ell, r} = S'(q_\ell)_\ell y_1^3 \leq 2^{W_{kc}}, \quad (7)$$

где  $S'(q_\ell, 3)_{\ell, r}$  – количество допустимых комбинаций, которое можно составить из двух типовых последовательностей, состоящих из  $q_\ell$  элементов массива  $A'_\ell$  и трех элементов массива  $A'_\Gamma$ .

В зависимости от результата неравенства (7) возможны такие действия:

– если неравенство не выполняется, то значение единого кода-номера будет равно  $C'_{\ell, r} = C'(q_\ell, 2)_{\ell, r}$ , а элемент  $r'_{13}$  будет первым элементом добавочного кода-номера при формировании очередного единого кода;

– если результат сравнения положителен, то продолжается процесс формирования единого кода

$$C'(q_\ell, 3)_{\ell, r} = C'_\ell y_1^3 + \sum_{j=1}^2 r'_{1j} y_1^{3-j} + r'_{13}. \quad (8)$$

3. При добавлении первого элемента  $r'_{21}$ , расположенного во второй строке массива  $A'_\Gamma$ , к текущему значению кода-номера, выполняются действия:

– проверка на допустимость элемента  $r'_{21}$ :

$$S'(q_\ell, n+1)_{\ell, r} = S'(q_\ell)_\ell y_1^n y_2 \leq 2^{W_{kc}}, \quad (9)$$

где  $S'(q_\ell, n+1)_{\ell, r}$  – количество допустимых комбинаций, которое можно составить из двух типовых последовательностей, состоящих из  $q_\ell$  элементов массива  $A'_\ell$  и (n+1)-го элементов массива  $A'_\Gamma$ .

Если  $S'(q_\ell, n+1)_{\ell, r} > 2^{W_{kc}}$ , то элемент  $r'_{21}$  будет участвовать в формировании добавочного значения следующего единого кода.

Если неравенство (9) верно, то значение единого кода-номера  $C'(q_\ell, n+1)_{\ell,r}$  находится как

$$C'(q_\ell, n+1)_{\ell,r} = C'_\ell y_1^n y_2 + \left( \sum_{j=1}^n r'_{1j} y_2 y_1^{n-j} \right) + r'_{21}.$$

4. В общем случае оценка возможности добавления элемента  $r'_{ij}$ , расположенного в массиве апертур на позиции  $(i; j)$ , связана с выполнением действий:

– вычисляется величина  $S'(q_\ell, (j + (i-1)n))_{\ell,r}$ , равная количеству допустимых последовательностей, которое можно составить из двух типовых подпоследовательностей, состоящих соответственно из  $q_\ell$  элементов массива  $A'_\ell$  и  $(j + (i-1)n)$  элементов массива  $A'_r$ :

$$S'(q_\ell, (j + (i-1)n))_{\ell,r} = \begin{cases} S'(q_\ell)_\ell \left( \prod_{\xi=1}^{i-1} y_\xi^n \right) y_i^j, & \rightarrow j > 1; \\ S'(q_\ell)_\ell \left( \prod_{\xi=1}^{i-1} y_\xi^n \right) y_i, & \rightarrow j = 1; \end{cases} \quad (10)$$

– сравниваются  $S'(q_\ell, (j + (i-1)n))_{\ell,r}$  и  $2^{W_{kc}}$ :

• если  $S'(q_\ell, (j + (i-1)n))_{\ell,r} > 2^{W_{kc}}$ , то элемент  $r'_{ij}$  будет участвовать в формировании добавочного значения следующего единого кода. В этом случае:

– значение текущего единого кода  $C'_{\ell,r}$  для АКО изображения равно

$$C'_{\ell,r} = \begin{cases} C'(q_\ell, (j-1 + (i-1)n))_{\ell,r}, & \rightarrow j > 1; \\ C'(q_\ell, (i-1)n)_{\ell,r}, & \rightarrow j = 1, \end{cases} \quad (11)$$

где  $C'(q_\ell, (j-1 + (i-1)n))_{\ell,r}$ , – значение единого кода, если последний элемент последовательности не является последним в текущей строке;

$C'(q_\ell, (i-1)n)_{\ell,r}$  – значения единого кода в случае  $j = 1$ , т.е. последний добавляемый элемент, является последним в строке массива  $A'_r$ ;

– количество элементов  $q(i, j)_r$  массива апертур, участвующих в формировании единого кода будет равно

$$q(i, j)_r = \begin{cases} j-1 + (i-1)n, & \rightarrow j > 1; \\ (i-1)n, & \rightarrow j = 1; \end{cases} \quad (12)$$

– суммарное количество  $q_{\ell,r}$  элементов, формирующих единый код, с учетом элементов массива  $A'_\ell$ , находится по формуле

$$q_{\ell,r} = \begin{cases} q_\ell + j-1 + (i-1)n, & \rightarrow j > 1; \\ q_\ell + (i-1)n, & \rightarrow j = 1; \end{cases} \quad (13)$$

• если  $S'(q_\ell, (j + (i-1)n))_{\ell,r} \leq 2^{W_{kc}}$ , тогда значение  $C'(q_\ell, (j + (i-1)n))_{\ell,r}$  единого кода-номера находится по формуле

$$C'(q_\ell, (j + (i-1)n))_{\ell,r} = \begin{cases} C'_\ell \left( y_1^n y_i^j \prod_{\xi=2}^{i-1} y_\xi^n \right) + \sum_{\xi=1}^{i-1} \sum_{\eta=1}^n r'_{\xi\eta} y_i^j y_\xi^{n-\eta} \prod_{\gamma=\xi+1}^{i-1} y_\gamma^n + \\ + \sum_{\eta=1}^{j-1} r'_{i\eta} y_i^{j-\eta} + r'_{ij}, & \rightarrow 1 < j \leq n; \\ C'_\ell \left( y_1^n y_i \prod_{\xi=2}^{i-1} y_\xi^n \right) + \sum_{\xi=1}^{i-1} \sum_{\eta=1}^n r'_{\xi\eta} y_i y_\xi^{n-\eta} \prod_{\gamma=\xi+1}^{i-1} y_\gamma^n + \\ + r'_{ij}, & \rightarrow j = 1; \end{cases}$$

Значит на основе выражений (1) – (13), реализующих три процедуры обработки, осуществляется формирование единого двух типового кода для элементов массива апертур и элементов массива координатных перепадов.

### Оценка степени сжатых изображений

Кодовая комбинация сжатого совместного представления массива апертур и массива координат апертур на шкале цветности состоит из двух частей. Первая часть – количество разрядов  $V_c$  упаковочного представления служебных данных. Вторая – суммарное количества разрядов  $V'_\Sigma$ , отводимое на представление всех ЕДК  $V'(v)_{\ell,r}$  элементов

$$\text{массивов } A_\ell \text{ и } A_r: V'_\Sigma = \sum_{v=1}^{V_H} V'(v)_{\ell,r} = \sum_{v=1}^{V_H} W_{kc}.$$

Среднее суммарное количество разрядов  $\bar{V}'_\Sigma$  на кодовое представление массивов  $A_\ell$  и  $A_r$  равно  $V'_\Sigma = \bar{v}_H W_{kc}$ , где  $\bar{v}_H$  – среднее количество единичных двухтиповых кодов, которое можно сформировать для двух массивов  $A_\ell$  и  $A_r$ . Количество разрядов  $V'_\Sigma$  на представление кодограмм, содержащих ЕДК по всем  $Z$  массивам изображения равно

$$V'_\Sigma = (Q_{стр} \times Q_{стб} / r_{ср}^{(\delta)} m n) \bar{v}_H W_{kc}; \quad (14)$$

На основе выражения (14) объем сжатого изображения на основе разработанного метода равен

$$V_{кадр}^{(едк)} = (Q_{стр} \times Q_{стб} / r_{ср}^{(\delta)} m n) \bar{v}_H W_{kc} + V_{сл}.$$

Отсюда коэффициент сжатия  $k_{сж}$  на основе единого двухтипового кодирования массивов АКОИ находится по формуле

$$k_{сж} = W_{ср}^{(\delta)} m n / (Q_{стр} \times Q_{стб} V'_\Sigma + W_{сл}).$$

Сравнительная оценка известных и разработанного метода сжатия (ЕДК АКО) с контролируемой потерей качества по степени  $k$  компактного представления приведена на рис. 1. Из анализа графиков представленных на рис. 1 вытекает, что степень сжатия для разработанного метода превышает степень сжатия известных методов сжатия с контролируемой потерей качества в среднем от 15% для сильнонасыщенных реалистических изображений до 40% для среднена-сыщенных искусственных изображений.

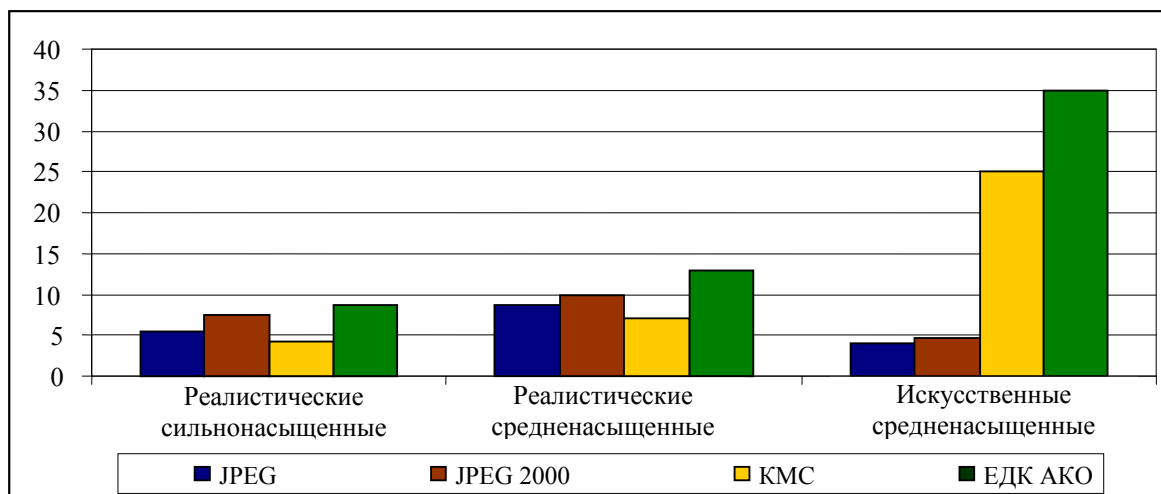


Рис. 1. Зависимость  $k$  для разных методов от класса обрабатываемого изображения

## Выводы

1. Разработано кодирование массивов данных для апертурно-координатной формы изображений на основе рекуррентного формирования значения кода-номера по мере поступления элементов массивов данных АКОИ. Это позволяет дополнительно сократить количество операций на сжатие в случае программной реализации на универсальных вычислительных системах, реализующих последовательную обработку данных.

Сокращение избыточности в результате двухтипового кодирования обусловлено: выявлением структурных закономерностей в массивах координатных перепадов; учетом ограниченных значений длин апертур; запретом допустимых подпоследовательностей в разностном полиадическом пространстве относительно абсолютного полиадического пространства; сокращением количества остаточных разрядов в кодовом слове, за счет формирования добавочного значения единого двухтипового кода.

2. Степень компактного представления для созданного метода двухтипового единого кодирования массивов апертурно-координатного представления находятся в пределах от 8,6 раз для сильнонасыщенных реалистических до 25 раз для средненасыщенных искусственных изображений. Для разработанного метода степень сжатия превышает степень сжатия известных методов сжатия с контролируемой потерей

качества в среднем от 15% для сильнонасыщенных реалистических изображений до 40% для средненасыщенных искусственных изображений.

## Список литературы

1. Уоллэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети. – М.: Постмаркет, 2001. – 480 с.
2. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / В. Ватолин, А. Ратушняк и др., – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
3. Баранник В.В., Гуржий П.Н. Метод сжатия цветковых координат и длин серий в смешанном полиадическом пространстве // Моделирование та інформаційні технології. – К.: ППМЕ, НАНУ, 2005. – Вып. 33. – С. 220-223.
4. Стасев Ю.В., Баранник В.В., Бридня Е.А. Информационная модель апертурного представления // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2006. – Вып. 33. – С. 47-56.
5. Кривенко С.И., Коломийцев А.В. Методика оценки эффективности представления массивов апертурных координат // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – Вып. 2 (29). – С. 63-65.
6. Кривенко С.И. Методология построения апертурно-координатного представления для обработки изображений с контролируемой погрешностью // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2008. – Вып. 39. – С. 283-287.

Поступила в редакцию 11.08.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.И. Хаханов, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## РЕКУРЕНТНЕ КОДУВАННЯ МАСИВІВ ДАНИХ АПЕРТУРНО-КООРДИНАТНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Ю.В. Стасев, С.І. Кривенко

Для зниження кількості операцій на обробку розробляється рекурентне кодування масивів даних для апертурно-координатного опису зображень, що дозволяє формувати значення єдиного двоцифрового коду-номера у процесі надходження елементів масивів даних. Це додатково скорочує кількість операцій на стиск у разі програмної реалізації на універсальних обчислювальних системах, що реалізують послідовну обробку даних. Обґрунтовуються переваги створеного методу обробки відеоданих.

**Ключові слова:** компресія зображень, структурне кодування масивів координат апертур.

## RECURRENT ENCODING OF ARRAYS OF DATA APERTURE-COORDINATE OF PRESENTATION OF IMAGES

Yu.V. Stasev, S.I. Krivenko

For the decline of amount of operations on treatment the recurrent encoding of arrays of data is developed for aperture coordinate of description of images (ACDI), that allows to form a value single two model cod-number as far as the receipt of elements of arrays of data. It additionally abbreviates the amount of operations on a compression in the case of programmatic realization on the universal computer systems, realizing the sequential processing of information. Advantages of the created method of treatment of videoinformation are grounded.

**Keywords:** compression of images, structural encoding of arrays of co-ordinates of apertures.