

УДК 621.327:681.5

Ю.В. Стасев¹, С.И. Кривенко²¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба²Государственная инспекция связи, Киев

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ МАССИВОВ КООРДИНАТ АПЕРТУР НА ШКАЛЕ ЦВЕТНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Излагаются этапы построения структурной модели для оценки степени информативности изображений. Информационная модель базируется на представлении массивов координат апертур на шкале цветности в виде двумерных позиционных чисел с неравными соседними элементами. Доказывается наличие избыточности в массивах координат апертур, обусловленной запретом возможных комбинаций составленных из элементов двумерных матриц. Обосновывается структурно-комбинаторная природа избыточности в массивах координат апертур, вызванная наложением ограничений на динамический диапазон и на алфавит принимаемых значений элементами массивов координат апертур.

Ключевые слова: координаты апертур изображений, структурное описание массивов координат апертур.

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы. Постоянный рост объемов видеоданных приводит к перегрузке телекоммуникационных сетей, к дефициту информационных ресурсов [1 – 3]. Снижение объемов данных достигается за счет их компактного представления. Одним из наиболее эффективных методов сжатия видеоданных является метод, основанный на формировании апертурно-координатного описания изображений [4 – 7]. К достоинствам методов сжатия данного класса относятся: быстрота обработки; адаптация характеристик сжатия относительно степени насыщенности фрагмента изображения мелкими деталями; наличие возможности компактного представления изображений с контролируемой погрешностью.

В тоже время основным недостатком данных методов является снижение степени сжатия при обработке сильнонасыщенных изображений. Увеличение объемов сжатых видеоданных происходит в результате снижения степени компрессии массивов координат апертур [4, 6]. Поэтому **актуальная научная задача** состоит в повышении степени сжатия изображений с контролируемой потерей качества.

Существующие подходы относительно обработки и оценки информативности массивов цветовых координат апертур не учитывают особенности построения апертурно-координатного описания (АКО) изображений. Данные особенности заключаются в наличии структурных зависимостей между элементами массива координат апертур [5, 7]. Отсюда **цель статьи** сводится к построению информационной модели массивов цветовых координат апертур на основе выявления структурных зависимостей.

Информационная модель массивов координат апертур изображений

Разработка информационной модели массивов цветовых координат позволит:

– показать наличие потенциальных возможностей для сокращения избыточности в массивах координат апертур на основе выявления структурных закономерностей;

– обосновать выбор и провести оценку эффективности подхода относительно дальнейшего повышения степени компрессии видеоданных с контролируемой погрешностью восстановления;

– доказать возможность для проведения эффективного кодирования массивов координат апертур с учетом структурных закономерностей.

Для оценки информативности массивов апертур и их координат необходимо учесть особенности формирования АКО изображения.

Рассмотрим оценку информативности массивов A_ℓ координат апертур на шкале цветности. В соответствии с правилами построения АКО две соседние апертуры Γ_{ξ, v_ξ} и $\Gamma_{\xi, v_\xi + 1}$ (где $v_\xi = \overline{1, Q_\xi}$) в строке множества Ω имеют различные координаты на шкале цветности

$$\ell_{\xi, v_\xi} \neq \ell_{\xi, v_\xi + 1}, \quad v_\xi = \overline{1, Q_\xi}.$$

Тогда поскольку заполнение строк массивов A_ℓ проводится на основе строчного отбора компонент множества Ω , то две соседние апертуры в строке $r_{i,j}$, $r_{i,j+1}$ (где $j = \overline{1, n}$) и апертуры, расположенные на последней позиции в строке и на первой позиции в следующей строке $r_{i,n}$, $r_{i+1,1}$ массива A_ℓ также будут иметь различные значения их координат, т.е.:

$$\ell_{i,j} \neq \ell_{i,j+1}, \quad j = \overline{1, n}; \quad (1)$$

$$\ell_{i,n} \neq \ell_{i+1,1}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где $\ell_{i,j}$, $\ell_{i,j+1}$ – соответственно $(i;j)$ -й и $(i;j+1)$ -й элементы массива координат A_ℓ .

Отсюда следует, что диапазон значений величин ℓ_{ij} будет изменяться в пределах $[0; L-2]$ кроме элемента ℓ_{11} на позиции (1;1) в массиве A_ℓ , возможные значения которого будут изменяться в диапазоне $[0; L-1]$ (L – количество уровней цветности, $L=256$). В этом случае массив A_ℓ будет представлять собой двумерное число, элементы которого удовлетворяют следующей системе $\Lambda = \{\lambda_{ij}\}$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$ оснований:

$$\ell_{11} \leq \lambda_{11} - 1 = L - 1; \tag{3}$$

$$\ell_{ij} \leq \lambda_{ij} - 1 = L - 2, \quad j = \overline{1, n}$$

$$\text{для } i = \overline{2, m} \text{ и } j = \overline{2, n} \text{ для } i = 1. \tag{4}$$

Определение 2.2. Числа A_ℓ , для элементов которого выполняются неравенства (1) – (4), называются двумерными позиционными числами с неравными соседними элементами.

Данным числам соответствует полиадическая система счисления с основаниями: для первого элемента $\lambda_{11} = L$, а для остальных элементов $\lambda_{ij} = L - 1$, где $j = \overline{1, n}$ при $i = \overline{2, m}$ и $j = \overline{2, n}$ при $i = 1$. Отсюда следует 2-ая интерпретация массивов A_ℓ .

Определение 2.3. Массив A_ℓ , для элементов которого выполняются неравенства (1) – (4), являются полиадическими числами с двумя различными основаниями.

Поскольку для полиадической системы счисления количество допустимых чисел равно $\prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n \lambda_{ij}$, то с учетом особенностей формирования массивов координат апертур количество S_ℓ допустимых чисел A_ℓ находится по формуле

$$S_\ell = \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n \lambda_{ij} = L (L-1)^{n-1+n(m-1)} = L (L-1)^{nm-1}. \tag{5}$$

Из анализа выражения (5), следует, что количество допустимых чисел S_ℓ находится в прямо пропорциональной зависимости от количества уровней цветности L . Это приводит к повышению информативности массивов A_ℓ , т.е. к снижению потенциально возможного количества сокращаемой избыточности. Поэтому **предлагается** на основе массива A_ℓ перейти к обработке массивов координатных перепадов (МКП). Массивы координатных перепадов

$$A'_\ell = \begin{vmatrix} \ell'_{11} & \dots & \ell'_{1j} & \dots & \ell'_{1n} \\ & & \dots & & \\ \ell'_{i1} & \dots & \ell'_{ij} & \dots & \ell'_{in} \\ & & \dots & & \\ \ell'_{m1} & \dots & \ell'_{mj} & \dots & \ell'_{mn} \end{vmatrix}$$

формируются в результате понижения уровня цветных координат на величину ℓ_{\min} :

$$\ell'_{ij} = \ell_{ij} - \ell_{\min}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \tag{6}$$

являющуюся минимальным значением в массиве A_ℓ :

$$\ell_{\min} = \min_{\substack{1 \leq i \leq m \\ 1 \leq j \leq n}} \{\ell_{ij}\},$$

где ℓ'_{ij} – (i; j) -й элемент массива координатных перепадов A'_ℓ .

В этом случае элементы ℓ'_{ij} массива МКП будут удовлетворять следующей системе оснований $\Lambda' = \{\lambda'_{ij}\}$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$:

$$\ell'_{11} \leq \lambda'_{11} - 1 = d - 1; \tag{7}$$

$$\ell'_{ij} \leq \lambda'_{ij} - 1 = d - 2,$$

$$j = \overline{1, n} \text{ для } i = \overline{2, m} \text{ и } j = \overline{2, n} \text{ для } i = 1, \tag{8}$$

где d – значение диапазона значений элементов массив координатных перепадов

$$d = L - \ell_{\min}. \tag{9}$$

С учетом выражений (7) – (9) количество S'_ℓ допустимых массивов A'_ℓ , элементы которого соответствуют неравенствам (7) и (8) равно

$$S'_\ell = d (d-1)^{nm-1}. \tag{10}$$

Из сравнительного анализа выражений (5) и (10) вытекает, что за счет перехода от массивов координат к массивам координатных перепадов количество допустимых двумерных последовательностей уменьшилось в

$$S/S'_\ell = \frac{L(L-1)^{nm-1}}{(L-\ell_{\min})((L-\ell_{\min})-1)^{nm-1}} \text{ раз.} \tag{11}$$

Количество V'_ℓ разрядов, затрачиваемое на представление массива A'_ℓ , вычисляется на основе формулы

$$V'_\ell = \log_2 S'_\ell = \log_2 d (d-1)^{nm-1} = \log_2 d + n(m-1)\log_2 (d-1). \tag{12}$$

Среднее \overline{V}'_ℓ количество разрядов, приходящееся на один элемент массива A'_ℓ оценивается по соотношению

$$\overline{V}'_\ell = (\log_2 d + n(m-1)\log_2 (d-1)) / m n. \tag{13}$$

При этом минимальное $R_\ell^{(\min)}$ количество избыточности, которое устраняется в массивах координат за счет его рассмотрения как двумерного позиционного числа с неравными соседними элементами равно

$$R_\ell^{(\min)} = ((W_\ell - V'_\ell) / W_\ell) 100 \%, \tag{14}$$

где W_ℓ – количество разрядов, отводимое на представление массива A_ℓ без учета условия неравенства соседних элементов

$$W_\ell = mn \log_2 L \text{ (бит)}. \quad (15)$$

Подставив в соотношение (13) выражения для величин V'_ℓ и W_ℓ (соответственно формулы (12) и (15)), получим

$$R_\ell^{(\min)} = \frac{mn \log_2 L - \log_2 d - n(m-1) \log_2 (d-1)}{mn \log_2 L} 100 \%. \quad (16)$$

Из анализа соотношения (16) следует, что количество устраняемой избыточности в массивах координат обусловлено запретом возможных комбинаций составленных из mn элементов. Отсюда природа устраняемой избыточности имеет структурно-комбинаторную природу, обусловленную наложением следующих условий:

1) значения элементов ℓ'_{ij} массивов МКП ограничены величиной d (**ограничение на динамический диапазон**): $\ell'_{ij} \leq d$;

2) значения элементов ℓ'_{ij} изменяются в пределах (**ограничение на мощность принимаемых значений**):

$$\ell'_{11} \in [0; d-1]; \quad \ell'_{ij} \in [0; d-2],$$

$$j = \overline{1, n} \text{ для } i = \overline{2, m} \text{ и } j = \overline{2, n} \text{ для } i = 1.$$

Выводы

1. Построена структурная модель оценки информативности изображений, базирующаяся на представлении массивов координат апертур на шкале цветности в виде двумерных позиционных чисел с неравными соседними элементами.

2. Доказано наличие избыточности в массивах координат апертур, обусловленной запретом возможных комбинаций составленных из mn элементов. Обоснована структурно-комбинаторная природа избыточности в массивах координат апертур, вызванная наложением ограничений на динамический диапазон и на алфавит принимаемых значений элементами массивов координат апертур.

3. Получены аналитические выражения, обеспечивающие проведение оценки минимальной степени сжатия массивов координат апертур, за счет сокращения структурной избыточности.

Новизна научных результатов состоит в том, что созданная структурная модель в отличии от других моделей проводит оценку информативности в массивах цветных координат на основе одновременного учета:

- условия неравенства между соседними элементами в строках массива координат апертур;
- ограничения на динамический диапазон и алфавит элементов массива цветных координат.

Список литературы

1. Уолрэнд 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. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
4. Королев А.В., Баранник В.В. Оценка степени сжатия изображения // Электронное моделирование. – 2002. – № 4. – С. 33-42.
5. Баранник В.В., Гуржий П.Н. Кодирование массивов цветных координат в разностном полиадическом пространстве // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2005. – Вып. 1 (9). – С. 44-49.
6. Баранник В.В., Гуржий П.Н. Метод сжатия цветных координат и длин серий в смешанном полиадическом пространстве // Моделювання та інформаційні технології. – К.: ИПМЕ, НАНУ, 2005. – Вып. 33. – С. 220-223.
7. 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.

Поступила в редакцию 22.04.2008

Рецензент: д-р тех. наук, проф. П.Ф. Поляков, Киевский университет экономики и технологий транспорта, Киев.

СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ МАСИВІВ КООРДИНАТ АПЕРТУР НА ШКАЛІ КОЛЬОРОВОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

Ю.В. Стасев, С.І. Кривенко

Висловлюються етапи побудови структурної моделі для оцінки ступеня інформативності зображень. Інформаційна модель базується на представленні масивів координат апертур на шкалі кольоровості у вигляді двовимірних позиційних чисел з нерівними сусідніми елементами. Доводиться наявність надмірності в масивах координат апертур, обумовленою заборонаю можливих комбінацій складених з елементів двовимірних матриць. Обґрунтовується структурно-комбінаторна природа надмірності в масивах координат апертур, викликана накладенням обмежень на динамічний діапазон і на алфавіт значень, що набувають, елементами масивів координат апертур.

Ключові слова: координати апертур зображень, структурний опис масивів координат апертур.

STRUCTURAL MODEL OF ARRAYS OF COORDINATES OF APERTURES ON THE SCALE OF COLORED OF IMAGES

Yu.V. Stasev, S.I. Krivenko

The stages of construction of structural model are expounded for the estimation of degree of informing of images. An informative model is based on presentation of arrays of co-ordinates of apertures on the scale of colored as two measuring position numbers with unequal nearby elements. The presence of surplus is proved in the arrays of co-ordinates of apertures, conditioned prohibition of possible combinations of the as two measuring matrices made from elements. Structuring-combinatory nature of surplus is grounded in the arrays of co-ordinates of apertures, caused imposition of limits on a dynamic range and on the alphabet of taken on values by the elements of arrays of co-ordinates of apertures.

Keywords: co-ordinates of apertures of images, structural declaration of arrays of co-ordinates of apertures.