

УДК 621.327:681.5

В.П. Поляков<sup>1</sup>, Д.Н. Калашник<sup>2</sup><sup>1</sup>Украинская государственная академия железнодорожного транспорта<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОМПРЕССИРОВАНИЯ ЦВЕТОРАЗНОСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЫЯВЛЕНИЯ АПЕРТУР

Обосновывается, что в массивах апертурных характеристиках существует избыточность, вызванная неравномерностью распределения значений их динамических диапазонов. На ее основе обосновывается выбор направления дополнительной обработки для повышения степени сжатия изображений. Показывается, что для дополнительного повышения степени сжатия элементы массивов апертурных характеристик должны представляться как числа с неравновесными весовыми характеристиками. Излагаются основные этапы построения информационной технологии сжатия изображений на основе двухизотопного апертурного представления, обеспечивающей сжатие изображений без потери качества.

**Ключевые слова:** апертурное представление, компрессия изображений.

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

Одна из функций информационных систем (ИС) состоит в обеспечении доведения достоверных видеоданных в заданные временные сроки [1, 2]. Для снижения объемов передаваемых данных используются подсистемы компрессии изображений без потери качества [2 – 4]. Однако, существующие методы сжатия видеоданных без потери качества имеют недостатки, состоящие в том, что они в основном уменьшают статистическую избыточность, а для устранения избыточности других видов затрачивается большое количество операций на обработку. Это приводит к снижению эффективности функционирования ИС. Это определяет необходимость решения *научно-прикладной задачи*, заключающейся в повышении степени сжатия изображений с учетом ограничений относительно количество операций на обработку.

Одними из перспективных информационных технологий формирования компрессированных изображений являются методы сокращения структурной избыточности на основе выявления апертур, изложенные в работах [3, 4]. Дальнейшее развитие данного подхода связано с выявлением структурных закономерностей в массивах длин апертур и их цветовых координат, которые строятся для цветоразностных изображений. Поэтому **цель статьи** заключается в разработке технологии сжатия цветоразностных изображений с учетом выявления новых структурных зависимостей в массивах апертурных характеристик.

#### Обоснование возможности сжатия массивов апертурных характеристик

Рассмотрим массив оцифрованного изображения, значения элементов которого определяются величинами  $a_{ij}$ , где  $i=1, Z_{стр}$ ,  $j=1, Z_{стб}$ . Выявле-

ние апертурных характеристик изображений проводится на основе оператора следующих правил:

– если  $h(\min)_{\alpha\beta} \leq a_{ij} \leq h(\max)_{\alpha\beta}$ , то  $a_{ij} \in h_{\alpha\beta}$  и  $\ell_{\alpha\beta} = \ell_{\alpha\beta} + 1$ ;

– если  $h(\min)_{\alpha\beta} \geq a_{ij}$  или  $a_{ij} \leq h(\max)_{\alpha\beta}$ , то  $a_{ij} \notin h_{\alpha\beta}$ . Тогда формируется новая аппретура. Для неравенства  $\beta+1 \leq n_a$  массив апертур продолжается заполняться по текущей строке  $\ell_{\alpha, \beta+1} = 1$ . Для соотношения  $\beta+1 > n_a$  и  $\alpha+1 \leq m_a$  массив апертур начинает заполняться по новой строке  $\ell_{\alpha+1, \beta} = 1$ . В противном случае, для  $\beta+1 > n_a$  и  $\alpha+1 > m_a$  текущий массив будет полностью сформирован.

Приняты следующие обозначения:  $h(\min)_{\alpha\beta}$ ,  $h(\max)_{\alpha\beta}$  – соответственно минимальное и максимальное значение  $\alpha\beta$ -й апертурной изображения;  $h_{\alpha\beta}$  – цветовая координата  $\alpha\beta$ -й апертурной изображения;  $\ell_{\alpha\beta}$  – длина  $\alpha\beta$ -й апертурной изображения;  $m_a, n_a$  – соответственно количество строк и столбцов в массиве апертурных характеристик,  $\alpha = \overline{1, m_a}$  и  $\beta = \overline{1, n_a}$ ;  $H, L$  – массивы соответственно цветовых координат и длин серий апертур изображений.

Поскольку фрагменты изображения в различных частях кадра имеют разные статистические и структурные характеристики, то динамический диапазон элементов составляющих апертуру и ее длина будут характеризоваться неравномерностью распределения. При этом под динамическим диапазоном цветовой координаты апертурной изображения принимается среднее значение допустимого диапазона  $\bar{h}_{\alpha\beta}$ . Соответственно под динамическим диапазоном аппретурных характеристик понимается: для

массива  $L$  – разность между максимальным  $\ell_{\alpha, \max}$  и  $\ell_{\alpha, \min}$  минимальным значениями длин апертур  $\ell_{\alpha, \max} - \ell_{\alpha, \min} = d(\ell)_{\alpha}$ , где  $d(\ell)_{\alpha}$  – величина динамического диапазона  $\alpha$ -й строки массива длин апертур; для массива  $H$  – разность между максимальным  $h_{\alpha, \max}$  и минимальным  $h_{\alpha, \min}$  значениями цветовых координат апертур изображений  $h_{\alpha, \max} - h_{\alpha, \min} = d(h)_{\alpha}$ , где  $d(h)_{\alpha}$  – величина динамического диапазона  $\alpha$ -й строки массива цветовых координат апертурных характеристик.

Для широкого класса реалистических и искусственных изображений характеристики  $d(\ell)_{\alpha}$  и  $d(h)_{\alpha}$ , вычисленные для массивов апертурных характеристик, характеризуются свойствами:

1. Неравномерное распределение значений динамических диапазонов в строках массивов апертурных характеристик  $H$ ,  $L$  – для реалистических изображений с быстроменяющимся структурным содержанием.

2. Преобладание величин  $d(\ell)_{\alpha}$  и  $d(h)_{\alpha}$  с максимально допустимыми значениями, что соответствует искусственным изображениям.

С учетом выявленных особенностей элементы  $\ell_{\alpha\beta}$  и  $h_{\alpha\beta}$  массивов апертурных характеристик можно рассматривать как числа, имеющие разный динамический диапазон, равный соответственно  $d(\ell)_{\alpha}$  и  $d(h)_{\alpha}$ . Определим законы распределения динамических диапазонов массивов апертурных характеристик для массива длин апертур как  $P\{d(\ell)_{\alpha}\}$ , а для массива цветовых координат апертур как  $P\{d(h)_{\alpha}\}$ :

$$P\{d(\ell)_{\alpha}\} = P\{d(\ell)_{\alpha} = d(\ell)\}; \quad (1)$$

$$P\{d(h)_{\alpha}\} = P\{d(h)_{\alpha} = d(h)\}, \quad (2)$$

где  $P\{d(\ell)_{\alpha} = d(\ell)\}$  – вероятность случайного события, состоящего в том, что величина динамического диапазона в  $\alpha$ -й строки массива длин апертур будет равна  $d(\ell)$ ;  $P\{d(h)_{\alpha} = d(h)\}$  – вероятность события, состоящего в том, что случайная величина динамического диапазона в  $\alpha$ -й строки массива цветовых координат апертур будет равна  $d(h)$ .

Если в соответствии с процессом упаковки числовых значений по правилу Бодо представить значения величин  $\ell_{\alpha\beta}$  и  $h_{\alpha\beta}$  массивов длин апертур и массивов цветовых координат, то их длины кодовых комбинаций будут ограничены сверху величинами:

$$\log_2 \ell_{\alpha\beta} \leq \log_2 d(\ell)_{\alpha} \text{ для } \beta = \overline{1, n_a}; \quad (3)$$

$$\log_2 h_{\alpha\beta} \leq \log_2 d(h)_{\alpha} \text{ для } \beta = \overline{1, n_a}, \quad (4)$$

где  $\log_2 \ell_{\alpha\beta}$  и  $\log_2 h_{\alpha\beta}$  – количество разрядов, отводимых на представление соответственно длины и цветовой координаты  $\alpha\beta$ -й апертуры;  $\log_2 d(\ell)_{\alpha}$

и  $\log_2 d(h)_{\alpha}$  – количество разрядов отводимых на представление одной величины динамического диапазона соответственно массива длин и массива цветовых координат апертур.

В соответствии с выражениями (3) и (4) кодовые представления одного столбца  $L^{(\beta)}$  массива длин и одного столбца  $H^{(\beta)}$  цветовых координат апертур изображений будут ограничены следующим количеством разрядов:

$$\log_2 L^{(\beta)} \leq \sum_{\alpha=1}^{m_a} \log_2 d(\ell)_{\alpha}; \quad (5)$$

$$\log_2 H^{(\beta)} \leq \sum_{\alpha=1}^{m_a} \log_2 d(h)_{\alpha}, \quad (6)$$

где  $\sum_{\alpha=1}^{m_a} \log_2 d(\ell)_{\alpha}$  и  $\sum_{\alpha=1}^{m_a} \log_2 d(h)_{\alpha}$  – максимальное количество разрядов, затрачиваемое на представление соответственно столбца  $L^{(\beta)}$  и столбца  $H^{(\beta)}$ ;  $\log_2 L^{(\beta)}$ ,  $\log_2 H^{(\beta)}$  – количество разрядов, затрачиваемое на представление соответственно элементов столбца  $L^{(\beta)}$  и столбца  $H^{(\beta)}$ .

Поскольку законы распределения  $P\{d(\ell)_{\alpha}\}$  и  $P\{d(h)_{\alpha}\}$  в общем случае являются неравномерными, то оценка количества информации, минимум приходящейся на одну величину  $d(\ell)$  и величину  $d(h)$ , будут находиться соответственно по выражениям:

$$H(d(\ell)) = \sum_{\alpha=1}^{m_a} P\{d(\ell) = d(\ell)_{\alpha}\} \log_2 d(\ell)_{\alpha}; \quad (7)$$

$$H(d(h)) = \sum_{\alpha=1}^{m_a} P\{d(h) = d(h)_{\alpha}\} \log_2 d(h)_{\alpha}, \quad (8)$$

где  $H(d(\ell))$  и  $H(d(h))$  – количество информации, минимум приходящейся соответственно на одну величину  $d(\ell)_{\alpha}$  и  $d(h)_{\alpha}$ .

Распишем правые части неравенств (5) и (6):

$$\log_2 L^{(\beta)} \leq \log_2 \prod_{\alpha=1}^{m_a} d(\ell)_{\alpha}; \quad (9)$$

$$\log_2 H^{(\beta)} \leq \log_2 \prod_{\alpha=1}^{m_a} d(h)_{\alpha}, \quad (10)$$

где  $\prod_{\alpha=1}^{m_a} d(\ell)_{\alpha}$  и  $\prod_{\alpha=1}^{m_a} d(h)_{\alpha}$  – накопленные произведения соответственно величин  $d(\ell)_{\alpha}$  и  $d(h)_{\alpha}$  по всем строкам массивов апертурных характеристик.

Неравенства (9) и (10) будут выполняться не только для всех элементов столбцов массивов апертурных характеристик, но и для части элементов

$$\log_2 L_{\xi}^{(\beta)} \leq \log_2 \prod_{\alpha=\xi}^{m_a} d(\ell)_{\alpha}; \quad (11)$$

$$\log_2 H_\xi^{(\beta)} \leq \log_2 \prod_{\alpha=\xi}^{m_a} d(h)_\alpha, \quad (12)$$

где  $\log_2 L_\xi^{(\beta)}$  и  $\log_2 H_\xi^{(\beta)}$  – условное обозначение кодового представления  $\xi$  элементов  $\beta$ -х столбцов, принадлежащих соответственно массивам длин и цветовых координат апертурных характеристик;  $\prod_{\alpha=\xi}^{m_a} d(\ell)_\alpha$  и  $\prod_{\alpha=\xi}^{m_a} d(h)_\alpha$  – накопленные произведения соответственно величин  $d(\ell)_\alpha$  и  $d(h)_\alpha$  для  $\xi$  элементов  $\beta$ -х столбцов массивов апертурных характеристик.

При добавлении к формируемой кодовой комбинации очередного элемента  $\ell_{\xi\beta}$  (для массива длин апертур) и  $h_{\xi\beta}$  (для массива цветовых координат апертур) суммарное количество разрядов верхней границы увеличивается соответственно на  $\log_2 d(\ell)_\xi$  и  $\log_2 d(h)_\xi$ . Из анализа подлогарифмических величин неравенств (9) – (12) следует, что каждый  $\alpha$ -й добавляемый элемент характеризуется величиной накопленного произведения  $\prod_{\alpha=\xi}^{m_a} d(\ell)_\alpha$  –

если добавляется элемент  $\ell_{\xi\beta}$  и  $\prod_{\alpha=\xi}^{m_a} d(h)_\alpha$  – если

добавляется элемент  $h_{\xi\beta}$ . В этом случае количество разрядов, отводимое на кодовое представление столбцов  $L^{(\beta)}$  и  $H^{(\beta)}$  вычисляется соответственно на основе выражений:

$$\log_2 N(\ell)_\beta = \log_2 \sum_{\xi=1}^{m_a} \ell_{\xi\beta} \left( \prod_{\alpha=\xi+1}^{m_a} d(\ell)_\alpha \right); \quad (13)$$

$$\log_2 N(h)_\beta = \log_2 \sum_{\xi=1}^{m_a} h_{\xi\beta} \left( \prod_{\alpha=\xi+1}^{m_a} d(h)_\alpha \right), \quad (14)$$

где  $\log_2 N(\ell)_\beta$ ,  $\log_2 N(h)_\beta$  – количество разрядов, необходимое для кодового представления столбцов  $L^{(\beta)}$  и  $H^{(\beta)}$  с учетом неравномерности динамических диапазонов их элементов. Причем с учетом неравенств (11) и (12) максимальной границей величин  $\log_2 N(\ell)_\beta$ ,  $\log_2 N(h)_\beta$  соответственно будут

значения  $\prod_{\alpha=1}^{m_a} d(\ell)_\alpha$  и  $\prod_{\alpha=1}^{m_a} d(h)_\alpha$ , равные

$$\log_2 N(\ell)_\beta = \log_2 \sum_{\xi=1}^{m_a} \ell_{\xi\beta} \left( \prod_{\alpha=\xi+1}^{m_a} d(\ell)_\alpha \right) \leq \log_2 \prod_{\alpha=1}^{m_a} d(\ell)_\alpha; \quad (15)$$

$$\log_2 N(h)_\beta = \log_2 \sum_{\xi=1}^{m_a} h_{\xi\beta} \left( \prod_{\alpha=\xi+1}^{m_a} d(h)_\alpha \right) \leq \log_2 \prod_{\alpha=1}^{m_a} d(h)_\alpha. \quad (16)$$

Отсюда величины в правой части неравенства (15) и неравенства (16) являются максимальным количеством разрядов  $W(\ell)_{\max}^{(1)}$  и  $W(h)_{\max}^{(1)}$ , затрачиваемых на представление одного кода-номера столбца массива длин и массива цветовых координат с учетом неравномерности динамических диапазонов апертурных характеристик изображений:

$$W(\ell)_{\max}^{(1)} = \log_2 \prod_{\alpha=1}^{m_a} d(\ell)_\alpha; \quad (17)$$

$$W(h)_{\max}^{(1)} = \log_2 \prod_{\alpha=1}^{m_a} d(h)_\alpha. \quad (18)$$

В свою очередь произведения динамических диапазонов в строках  $\prod_{\alpha=1}^{m_a} d(\ell)_\alpha$  и  $\prod_{\alpha=1}^{m_a} d(h)_\alpha$  ограничено сверху величиной произведения предельных значений длин  $\ell_{\max}$  и цветовых координат  $d_{\max}$  серий по  $m_a$  строкам

$$\prod_{\alpha=1}^{m_a} d(\ell)_\alpha \leq (\ell_{\max} + 1)^{m_a}; \quad (19)$$

$$\prod_{\alpha=1}^{m_a} d(h)_\alpha \leq (d_{\max} + 1)^{m_a}. \quad (20)$$

Причем сумма логарифмов от правых частей неравенств (19) и (20) является максимальным значением объема  $W_{\max}^{(1)}$  цифрового представления элементов видеоданных соответствующих первым столбца массивов длин и цветовых координат апертур

$$W_{\max}^{(1)} = \log_2 (d_{\max} + 1)^{m_a} + \log_2 (\ell_{\max} + 1)^{m_a} = m_a (\log_2 (d_{\max} + 1) + \log_2 (\ell_{\max} + 1)). \quad (21)$$

Количество разрядов  $W^{(1)}$ , отводимое на представление элементов видеоданных соответствующих столбцам массивов длин апертур и их цветовых координатам, вычисленное через значения длин апертур равно

$$W^{(1)} = \left( \sum_{\alpha=1}^{m_a} \ell_{\alpha\beta} \right) \log_2 (d_{\max} + 1), \quad (22)$$

где  $\sum_{\alpha=1}^{m_a} \ell_{\alpha\beta}$  – количество элементов видеоданных соответствующих одному столбцу длин апертур.

В зависимости от величин  $m_a$  и  $\ell_{\max}$  значение объема  $W_{\max}^{(1)}$  может быть большим равным или меньшим, чем значение объема  $W^{(1)}$ .

С учетом соотношений (15), (16) и (19), (20) выполняются неравенства:

$$W(\ell)_{\max}^{(1)} + W(h)_{\max}^{(1)} \leq W_{\max}^{(1)}; \quad (23)$$

$$W(\ell)_{\max}^{(1)} + W(h)_{\max}^{(1)} \leq W_{\max}^{(1)}, \quad (24)$$

где  $W(\ell)_{\max}^{(1)} + W(h)_{\max}^{(1)}$  – суммарное количество разрядов, отводимое на представление кодовых номеров столбцов массива длин и массива цветowych координат апертур, полученных с учетом неравномерности динамических диапазонов апертурных характеристик.

Знак равенства в выражении (23) будет только в том случае, когда одновременно выполняются условия: значение динамического диапазона в каждой строке массива длин апертур равно предельно возможному значению длин серий  $\ell_{\max} : d(\ell)_{\alpha} = \ell_{\max}$ ,  $\alpha = \overline{1, m_a}$ ; значение динамического диапазона в каждой строке массива цветowych координат апертур равно значению  $d_{\max} : d(h)_{\alpha} = d_{\max}$ ,  $\alpha = \overline{1, m_a}$ .

Во всех остальных случаях будет выполняться неравенство  $W(\ell)_{\max}^{(1)} + W(h)_{\max}^{(1)} < W_{\max}^{(1)}$ . Значит сжатие массивов апертурных характеристик в результате формирования кодовых-номеров, учитывающих неравномерность динамических диапазонов их элементов произойдет в том случае, если выполняются условия (22) и (23).

### Разработка технологии компрессии изображений

Отличительный этап разрабатываемого метода состоит в распределении элементов  $\ell_{\alpha\beta}$  массива  $L$  длин апертур и элементов  $h_{\alpha\beta}$  массива  $H$  цветowych координат апертур на два массива соответственно:  $L^{(1)}$ ,  $L^{(2)}$  и  $H^{(1)}$ ,  $H^{(2)}$ . Элементы  $\ell_{\xi\gamma}^{(1)}$ ,  $h_{\xi\gamma}^{(1)}$  являются элементами нижнего изофотного уровня, наоборот элементы  $\ell_{\xi\gamma}^{(2)}$ ,  $h_{\xi\gamma}^{(2)}$  – элементами верхнего изофотного уровня. Для разбиения исходного динамического диапазона на два изофотных уровня требуется знание информации о величинах  $\theta(\ell)_{\alpha\beta}$  и  $\theta(h)_{\alpha\beta}$  – минимальных значений из двух максимумов для  $\alpha$ -й строки и  $\beta$ -м столбца соответственно для массивов длин апертур ( $d(\ell)_{\alpha}$ ,  $d(\ell)_{\beta}$ ) и цветowych координат ( $d(h)_{\alpha}$  и  $d(h)_{\beta}$ ). Для известных значений  $\theta(\ell)_{\alpha\beta}$  и  $\theta(h)_{\alpha\beta}$  значения порогов  $K(h)_{\text{пор}}$  и  $K(\ell)_{\text{пор}}$  определяются на основе выражений:

$$K(h)_{\text{пор}} = (\theta(h)_{\max} + \theta(h)_{\min}) / 2;$$

$$K(\ell)_{\text{пор}} = (d(\ell)_{\max} + d(\ell)_{\min}) / 2, \quad (26)$$

где  $\theta(\ell)_{\max}$ ,  $\theta(\ell)_{\min}$  – соответственно максималь-

ное и минимальное значение величин  $\theta(\ell)_{\alpha\beta}$ ;  $\theta(h)_{\max}$ ,  $\theta(h)_{\min}$  – соответственно максимальное и минимальное значение величин  $\theta(h)_{\alpha\beta}$ .

Для вычисленного значения  $K(h)_{\text{пор}}$  процесс формирования массивов  $H^{(1)}$  и  $H^{(2)}$  примет вид: если выполняются неравенство:

$$\theta(h)_{\alpha\beta} \leq K(h)_{\text{пор}}, \quad (27)$$

то элемент  $h_{\alpha\beta}$  относится к массиву  $H^{(1)}$ . Заполнение массива  $H^{(1)}$  осуществляется по строкам. Длина строки равняется  $n_a$ . Количество строк  $m_a^{(1)}$  в массиве  $H^{(1)}$  определяется как отношение  $m_a^{(1)} = [v(H^{(1)}) / n_a] + 1$ , где  $v(H^{(1)})$  – количество элементов в массиве  $H^{(1)}$ . Значения координат ( $\xi$ ;  $\gamma$ ) с учетом известного количества элементов  $v(H_{\alpha\beta}^{(1)})$ , принадлежащих массиву  $H^{(1)}$  на момент начала распределения ( $\alpha, \beta$ )-го элемента массива  $H$ , находятся на основе следующих выражений:

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

– в случае, если  $v(H_{\alpha\beta}^{(1)}) = n_a$ , то  $\xi = 2$ , а  $\gamma = 1$ ;

– если длина строки массива  $H^{(1)}$  превышает количество элементов массива  $H^{(1)}$ , т.е.  $v(H_{\alpha\beta}^{(1)}) > n_a$ , то  $\xi = [v(H_{\alpha\beta}^{(1)}) / n_a] + 1$ ;  $\gamma = v(H_{\alpha\beta}^{(1)}) - ([v(H_{\alpha\beta}^{(1)}) / n_a] n_a) + 1$ .

Процесс формирования массива  $H^{(1)}$  заканчивается тогда, когда  $\alpha = m_a$ , а  $\beta = n_a$ . Формирование массива  $H^{(2)}$  из элементов  $h_{\alpha\beta}$ , для которых выполняется условие

$$\theta(h)_{\alpha\beta} > K(h)_{\text{пор}}, \quad (28)$$

осуществляется на основе оставшихся элементов массива  $H$ , динамические диапазоны которых не удовлетворяют неравенству (27). Правило пересчета координат элементов массива  $H$  в координаты элементов массива  $H^{(2)}$  задается следующим правилом: если величина  $\theta(h)_{\alpha\beta}$  удовлетворяет неравенству (27), то координаты очередного элемента  $h_{\alpha, \beta+1}$  (если  $\beta+1 \leq n_a$ ) или  $h_{\alpha+1, 1}$  (если  $\beta+1 > n_a$ ) массива  $H$  будут равны  $\xi = \alpha$ ;  $\gamma = \beta$ . После того, как закончено формирование массива  $H^{(1)}$ , заканчивается процесс образования массива  $H^{(2)}$ . Если после получения массива  $H^{(1)}$  выполняется неравенство  $(v(H^{(1)}) / n_a) > [v(H^{(1)}) / n_a]$ , то количест-

во элементов  $v(H^{(1)})$  в массиве  $H^{(1)}$  не является кратным  $n_a$ . Тогда последняя строка данного массива не будет заполнена полностью. В этом случае предлагается условно заполнять не достающие элементы нулевыми значениями. Процесс формирования массивов  $L^{(1)}$  и  $L^{(2)}$  для известного значения порога  $K(\ell)_{\text{пор}}$  осуществляется аналогично с процессом разбиения массива цветовых координат на два изофотных уровня. В результате выполнения данного этапа обеспечивается:

– распределение позиций в массивах  $L$  и  $H$  на подмассивы соответственно значений длин апертур и их цветовых координат нижнего и верхнего изофотных уровней;

– массивы  $\Theta(\ell)$  и  $\Theta(h)$ , состоящие из значений ограничений на динамический диапазон соответственно длин апертур  $\theta(\ell)_{\xi\gamma}$  и цветовых координат  $\theta(h)_{\xi\gamma}$  разбиваются соответственно на подмассивы:

$$\Theta(\ell)^{(1)} = \{\theta(\ell)_{\xi\gamma}^{(1)}\}, \quad \Theta(h)^{(1)} = \{\theta(h)_{\xi\gamma}^{(1)}\},$$

$$\Theta(\ell)^{(2)} = \{\theta(\ell)_{\xi\gamma}^{(2)}\}, \quad \Theta(h)^{(2)} = \{\theta(h)_{\xi\gamma}^{(2)}\},$$

$\theta(\ell)_{\xi\gamma}^{(1)}$ ,  $\theta(\ell)_{\xi\gamma}^{(2)}$  – ограничения на динамический диапазон величин  $\ell_{\xi\gamma}^{(1)}$  и  $\ell_{\xi\gamma}^{(2)}$ ;  $\theta(h)_{\xi\gamma}^{(1)}$ ,  $\theta(h)_{\xi\gamma}^{(2)}$  – ограничения на динамический диапазон величин  $h_{\xi\gamma}^{(1)}$  и  $h_{\xi\gamma}^{(2)}$ .

После того, как сформированы массивы  $L^{(1)}$ ,  $H^{(1)}$  нижнего изофотного уровня и массивов  $L^{(2)}$ ,  $H^{(2)}$  верхнего изофотного уровня организуется процесс формирования кодов-номеров  $N(\ell)_u^{(1)}$ ,  $N(h)_v^{(1)}$  и  $N(\ell)_u^{(2)}$ ,  $N(h)_v^{(2)}$ . Процесс кодирования величин  $\ell_{\xi\gamma}^{(2)}$  и  $h_{\xi\gamma}^{(2)}$  состоит из следующих действий:

1. Формируются величины  $s(\ell)_{\xi\gamma}^{(2)}$  и  $s(h)_{\xi\gamma}^{(2)}$  представляющие собой основания  $\xi, \gamma$ -х элементов соответственно массива верхнего изофотного уровня длин апертур и массива верхнего изофотного уровня цветовых координат. Для этого используются следующие выражения:

$$s(\ell)_{\xi\gamma}^{(2)} = \theta(\ell)_{\xi\gamma}^{(2)} - \mu(\ell)^{(2)};$$

$$s(h)_{\xi\gamma}^{(2)} = \theta(h)_{\xi\gamma}^{(2)} - \mu(h)^{(2)}. \quad (29)$$

2. Проводится понижение значений исходных динамических диапазонов элементов массивов  $L^{(2)}$  и  $H^{(2)}$ :

$$\ell_{\xi\gamma}^{(2)} = \Delta \ell_{\xi\gamma}^{(2)} + \mu(\ell)^{(2)}; \quad h_{\xi\gamma}^{(2)} = \Delta h_{\xi\gamma}^{(2)} + \mu(h)^{(2)}. \quad (30)$$

3. Вычисление величин  $N(\ell)_u^{(2)}$ ,  $N(h)_v^{(2)}$  организуется на основе выражений:

$$N(\ell)_u^{(2)} = \sum_{\xi=1}^{m_a^{(1)}} \sum_{\gamma=1}^{n_a} \Delta \ell_{\xi\gamma}^{(2)} \omega(\ell)_{\xi\gamma}^{(2)};$$

$$N(h)_v^{(2)} = \sum_{\xi=1}^{m_a^{(1)}} \sum_{\gamma=1}^{n_a} \Delta h_{\xi\gamma}^{(2)} \omega(h)_{\xi\gamma}^{(2)}, \quad (31)$$

где  $\Delta \ell_{\xi\gamma}^{(2)}$ ,  $\Delta h_{\xi\gamma}^{(2)}$  – значения  $\xi, \gamma$ -х элементов соответственно массива верхнего изофотного уровня длин апертур и массива верхнего изофотного уровня цветовых координат с учетом понижения их динамического диапазона соответственно на значения  $\mu(\ell)^{(2)}$  и  $\mu(h)^{(2)}$ ;  $\omega(\ell)_{\xi\gamma}^{(2)}$ ,  $\omega(h)_{\xi\gamma}^{(2)}$  – значения весовых коэффициентов  $\xi, \gamma$ -х элементов массивов  $L^{(2)}$ ,  $H^{(2)}$ , равные накопленному произведению оснований

$$\omega(\ell)_{\xi\gamma}^{(2)} = \prod_{\zeta=\gamma+1}^{n_a} \theta(\ell)_{\xi\zeta}^{(2)} \prod_{k=\xi+1}^{m_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(\ell)_{k\gamma}^{(2)};$$

$$\omega(h)_{\xi\gamma}^{(2)} = \prod_{\zeta=\gamma+1}^{n_a} \theta(h)_{\xi\zeta}^{(2)} \prod_{k=\xi+1}^{m_a^{(1)}} \prod_{\gamma=1}^{n_a} \theta(h)_{k\gamma}^{(2)}.$$

Процесс вычисления значений кодов-номеров  $N(\ell)_u^{(1)}$  и  $N(h)_v^{(1)}$  нижнего изофотного уровня осуществляется на основе соотношений:

$$N(\ell)_u^{(1)} = \sum_{\xi=1}^{m_a^{(1)}} \sum_{\gamma=1}^{n_a} \ell_{\xi\gamma}^{(1)} \omega(\ell)_{\xi\gamma}^{(1)};$$

$$N(h)_v^{(1)} = \sum_{\xi=1}^{m_a^{(1)}} \sum_{\gamma=1}^{n_a} h_{\xi\gamma}^{(1)} \omega(h)_{\xi\gamma}^{(1)}. \quad (32)$$

Таким образом, по окончании данного этапа процесса сжатия, заданного выражениями (29) – (32) образуются значения кодов-номеров  $N(\ell)_u^{(1)}$ ,  $N(h)_v^{(1)}$  и  $N(\ell)_u^{(2)}$ ,  $N(h)_v^{(2)}$  – соответственно для апертурных характеристик нижнего и верхнего уровней.

### Выводы

1. Обосновывается, что в массивах апертурных характеристиках существует избыточность, вызванная неравномерностью распределения значений их динамических диапазонов. На ее основе обосновывается выбор направления дополнительной обработки для повышения степени сжатия изображений.

2. Показано, что для дополнительного повышения степени сжатия элементы массивов апертурных характеристик должны представляться как числа с неравновесными весовыми характеристиками.

3. Разработана информационная технология сжатия изображений на основе двухизофотного апертурного представления. Данный метод обеспечивает сжатие изображений без потери качества на основе:

- устранения структурной избыточности, обусловленной наличием в изображениях областей со слабым изменением цвета и структурных свойств;
- статистической избыточности за счет выявления закономерностей вызванных коррелируемостью изображений;
- структурной избыточностью, обусловленной неравномерностью распределения динамических диапазонов массивов апертурных характеристик.

### Список литературы

1. Уолдрэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети / Дж. Уолдрэнд. – М.: Постмаркет, 2001. – 480 с.
2. Ватолин В.И. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео /

В.И. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.

3. Баранник В.В. Метод комбинированного полиадического кодирования массивов длин серий / В.В. Баранник, П.Ф. Поляков, Н.А. Королева // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 5. – С. 42-46.

4. Баранник В.В. Кодирование массивов цветовых координат в разностном полиадическом пространстве / В.В. Баранник, П.Н. Гуржий // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – 2005. – № 1 (9). – С. 44- 49.

Поступила в редакцию 15.12.2008

Рецензент: д-р тех. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харьковский национальный университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков.

### ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КОМПРЕСУВАННЯ КОЛЬОРОРІЗНОСТНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВИЯВЛЕННЯ АПЕРТУР

В.П. Поляков, Д.М. Калашник

Обґрунтовується, що в масивах апертурних характеристиках існує надмірність, викликана нерівномірністю розподілу значень їх динамічних діапазонів. На її основі обґрунтовується вибір напрямку додаткової обробки для підвищення ступеня стискування зображень. Показується, що для додаткового підвищення ступеня стискування елементи масивів апертурних характеристик повинні представлятися як числа з нерівноважними ваговими характеристиками. Висловлюються основні етапи побудови інформаційної технології стискування зображень на основі двохізотного апертурного уявлення, що забезпечує стиск зображень без втрати якості.

**Ключові слова:** апертурне представлення, компресія зображення.

### INFORMATION TECHNOLOGY OF COMPRESSING COLOR DIFFERENCE OF IMAGES ON THE BASIS OF EXPOSURE OF APERTURES

V.P. Polyakov, D.N. Kalashnik

Grounded, that in arrays aperture descriptions there is surplus, caused the unevenness of distributing of values of their dynamic ranges. On its basis the choice of direction of aftertreatment is grounded for the increase of degree of compression of images. Shown, that for the additional increase of degree of compression the elements of arrays of apertures of descriptions must appear as numbers with non-equilibrium gravimetric descriptions. The basic stages of construction of information technology of compression of images are expounded on the basis of two izofota of apertures of presentation, providing the compression of images without the loss of quality.

**Keywords:** aperture of statement, compression of images.