

## МЕТОД ТРЕХМЕРНОГО КОДИРОВАНИЯ ДАННЫХ

к.т.н. В.В. Баранник  
(представил проф. А.В. Королёв)

*Доказана теорема о трехмерной полиадической нумерации. Разработан метод компактного представления трехмерных структур данных. Проводятся исследования разработанного метода по степени сжатия видеоданных.*

**Введение.** Анализ существующих методов сжатия выявил, что они не обеспечивают доведение требуемых объемов информации (порядка  $10^3$  Гбит/с) в реальном времени [1 – 3]. Одним из направлений решения данной проблемы является трехмерная обработка данных. Это обусловлено выявлением дополнительных структурных характеристик в результате трехмерной организации фрагментов изображения. В тоже время существующие методы трехмерной обработки не обеспечивают необходимую степень сжатия в реальном времени. Это вызвано устранением в основном статистической и психовизуальной избыточности [1 – 3].

**Цель статьи.** Повысить объем информации, доводимой в реальном времени за счет трехмерной обработки. Для этого требуется разработать метод компактного представления на основе устранения структурной избыточности одновременно по трем направлениям.

**Выбор структурной характеристики.** В качестве структурной характеристики предлагается выбрать значение динамического диапазона. Это обусловлено ограниченностью и неравномерностью динамических диапазонов для трехмерной организации данных. Сжатие данных за счет учета ограниченности и неравномерности диапазонов обеспечивается на основе полиадического кодирования. Однако, существующие методы полиадического кодирования являются двумерными [4, 5]. Поэтому для одновременного устранения избыточности по трем направлениям требуется разработать трехмерную полиадическую нумерацию.

**Разработка трехмерной полиадической нумерации.** Для обоснования возможности присвоения трехмерному полиадическому числу (ТПЧ) код-номера сформулируем и докажем следующую теорему.

**Теорема о трехмерной полиадической нумерации.** Всякой целочисленной трехмерной структуре данных

$$A_v = \{a_{jiz}\}; 1 \leq j \leq n_{\text{стб}}; 1 \leq i \leq n_{\text{стр}}; 1 \leq z \leq n_c$$

можно присвоить полиадический код-номер  $N_v$  :

$$N_v = \sum_{j=1}^{n_{\text{стб}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{стр}}} \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \omega_{jiz}; \quad (1)$$

$$\omega_{jiz} = \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{jk\gamma} \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стб}}} \prod_{k=1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{\eta k\gamma}; \quad (2)$$

$$\psi_{jiz} = \min \left\{ \lambda_j^{(z)}; \lambda_i^{(z)}; \lambda_{ji}^{(z)} \right\}; \quad (3)$$

$$\lambda_j^{(z)} = \max_{1 \leq i \leq n_{\text{стр}}} \{a_{jiz}\} + 1; \lambda_i^{(z)} = \max_{1 \leq j \leq n_{\text{стб}}} \{a_{jiz}\} + 1; \lambda_{ji}^{(z)} = \max_{1 \leq z \leq n_c} \{a_{jiz}\} + 1, \quad (4)$$

где  $\psi_{jiz}$  – основание  $jiz$ -го разряда трехмерного полиадического числа;  $n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}$  – соответственно количество столбцов и количество строк в одном сечении трехмерной структуры, а  $n_c$  – количество сечений (длина вертикали);  $\omega_{jiz}$  – накопленное произведение оснований  $\psi_{jiz}$ ;  $\lambda_j^{(z)}, \lambda_i^{(z)}$  – увеличенные на 1 максимальные значения элементов соответственно для  $j$ -го столбца и  $i$ -й строки  $z$ -го сечения, а  $\lambda_{ji}^{(z)}$  – для  $ji$ -й вертикали.

*Доказательство.* Доказательство теоремы основывается на обосновании того, что отдельные сечения трехмерной структуры данных являются укрупненными разрядами трехмерного полиадического числа. Тогда в единой системе оснований (выражения (3) и (4)) для таких укрупненных разрядов можно вычислить код-номер по формулам (1), (2).

**Разработка метода трехмерного полиадического кодирования.** При разработке метода сжатия требуется обеспечить наилучшие условия устранения избыточности и исключить случаи переполнения машинного слова. Для этого процесс кодирования должен: проводиться для единой системы оснований с учетом всех разрядов ТПЧ; иметь единое направление вычисления код-номеров для полиадических чисел различного порядка; код-номер должен формироваться для произвольного количества разрядов ТПЧ. Для указанных правил процесс формирования компактного представления трехмерной структуры данных (ТСД) основывается на последовательном укрупнении разрядов ТПЧ по вертикалям, по столбцам и по строкам (*в три этапа*). Для исключения потери информа-

ции из-за переполнения машинного слова предложено проводить сравнение величины основания укрупненного разряда ТЧП с максимально возможным значением числа, представляемого М разрядами.

**На первом этапе** формируется укрупненный разряд для отдельной вертикали ТСД

$$N_{ji}^{(1)} = a_{ji1}; \quad N_{ji}^{(z)} = N_{ji}^{(z-1)} \Psi_{jiz} + a_{jiz} < V_{ji}^{(z)}, \quad (5)$$

где  $N_{ji}^{(z)}$ ,  $N_{ji}^{(z-1)}$  –  $ji$ -й укрупненный соответственно по  $z$  и  $z-1$  сечениям разряд трехмерного полиадического числа;  $N_{ji}^{(1)}$  –  $ji$ -й укрупненный по одному сечению разряд ТПЧ;  $V_{ji}^{(z)}$  – основание разряда  $N_{ji}^{(z)}$ .

Процесс формирования укрупненного разряда ТПЧ для  $ji$ -ой вертикали заканчивается тогда, когда будет получен код-номер  $N_{ji}^{(n_c)}$ .

**Второй этап** связан с дополнительным укрупнением разрядов  $N_{ji}^{(n_c)}$  по строкам

$$N_j^{(1, n_c)} = N_{j1}^{(n_c)}; \quad N_j^{(i, n_c)} = N_j^{(i-1, n_c)} V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)} < V_j^{(i, n_c)}, \quad (6)$$

где  $N_j^{(i, n_c)}$ ,  $N_j^{(i-1, n_c)}$  –  $j$ -й укрупненный по  $n_c$  сечениям и соответственно по  $i$  и  $i-1$ -й строки разряд ТПЧ (номер полуплоскости, образованной для  $j$ -го столбца с помощью  $n_c$  сечений и  $i$ -м количеством строк);  $N_{ji}^{(1, n_c)}$  –  $j$ -й укрупненный по одной строке и по  $n_c$  сечениям разряд ТПЧ;  $V_j^{(i, n_c)}$  – основание разряда  $N_j^{(i, n_c)}$ .

Укрупнение  $j$ -го разряда ТПЧ по  $n_c$  сечениям и по  $n_{стр}$  строкам заканчивается когда будет получен код-номер  $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$ .

Код-номер для всей ТСД образуется на **третьем этапе** за счет дополнительного укрупнения разрядов  $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$  по столбцам

$$N^{(1, n_{стр}, n_c)} = N_1^{(n_{стр}, n_c)}; \quad N^{(j, n_{стр}, n_c)} = N^{(j-1, n_{стр}, n_c)} V_j^{(n_{стр}, n_c)} + N_j^{(n_{стр}, n_c)}, \quad (7)$$

где  $N^{(j, n_{стр}, n_c)}$ ,  $N^{(j-1, n_{стр}, n_c)}$  – укрупненные разряды  $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$  ТПЧ со-

ответственно по  $j$ -му и  $j-1$ -му столбцу (номер подпараллелепипеда, образованного для  $n_c$  сечений,  $n_{стр}$  строк и соответственно  $j$ -го и  $j-1$ -го количества столбцов);  $N_j^{(l, n_{стр}, n_c)}$  – код-номер, полученный на основе укрупнения разрядов  $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$  по первому столбцу.

При этом основанием укрупненного разряда  $N_j^{(j, n_{стр}, n_c)}$  является величина  $V_j^{(j, n_{стр}, n_c)}$ , равная накопленному произведению оснований  $\Psi_{jiz}$  для  $n_c$  сечений,  $n_{стр}$  строк и  $j$ -го количества столбцов

$$V_j^{(j, n_{стр}, n_c)} = \prod_{\eta=1}^j \prod_{i=1}^{n_{стр}} \prod_{z=1}^{n_c} \Psi_{\eta iz} = \prod_{\eta=1}^j \prod_{i=1}^{n_{стр}} V_{\eta i}^{(n_c)} = \prod_{\eta=1}^j V_{\eta}^{(n_{стр}, n_c)}. \quad (8)$$

С учетом выражения (8) код-номер  $N_v$  для всего ТПЧ равен

$$N_v = N^{(n_{стб}, n_{стр}, n_c)} = N^{(n_{стб}-1, n_{стр}, n_c)} V_{n_{стб}}^{(n_{стр}, n_c)} + N_{n_{стб}}^{(n_{стр}, n_c)}, \quad (9)$$

где  $N^{(n_{стб}, n_{стр}, n_c)}$  – укрупненный разряд  $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$  ТПЧ дополнительно по всем  $n_{стб}$  столбцам.

Таким образом, разработан метод компактного представления данных без потери качества на основе трехмерной полиадической нумерации.

**Оценка коэффициента сжатия данных разработанным методом.** В соответствии с (2) минимальное значение  $k_{min}$  коэффициента сжатия для разработанного метода относительно исходного представления находится как

$$k_{min} = \frac{n_{стб} n_{стр} n_c b}{\log_2 \prod_{j=1}^{n_{стб}} \prod_{i=1}^{n_{стр}} \prod_{z=1}^{n_c} \Psi_{jiz} + 1}, \quad (10)$$

где  $b$  – количество разрядов, затрачиваемых на представления одного элемента  $a_{jiz}$  трехмерной структуры.

Экспериментальная оценка степени компактного представления изображений на основе разработанного метода показала, что: значения коэффициентов сжатия в среднем изменяются в пределах от 1,85 до 7,5 раз в зависимости от степени насыщенности их мелкими деталями и от величины перепада на границе между различными объектами; степень сжатия для трехмерной обра-

ботки на основе предложенного метода в среднем в 1,7 раз превышает степень сжатия для двумерного полиадического кодирования.

**Выводы.** 1. Сформулирована и доказана теорема о трехмерной полиадической нумерации данных. На основе доказанной теоремы разработан метод компактного представления трехмерных структур данных. В этом случае сжатие данных достигается за счет устранения трехмерной структурной избыточности, обусловленной ограниченностью и неравномерностью динамического диапазона по трем измерениям.

2. Метод трехмерного полиадического кодирования обеспечивает выигрыш по степени сжатия относительно двумерного полиадического кодирования в среднем в 1,7 раз. При этом значения коэффициентов сжатия для разработанного метода изменяются в пределах от 1,85 до 7,5 раз.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Зубарев Ю.В., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений* – М.: МЦНТИ, 1997. – 212 с.
2. *Бондарев В.Н, Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства.* – Х.: Конус, 2001. – 398 с.
3. *Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео.* – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
4. *Королёв А.В., Баранник В.В. Метод сокращения избыточности изображений // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.* – 2001. – № 2. – С. 85 – 88.
5. *Баранник В.В. Рельефное представление изображений пирамидальным кодированием // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.* – 2001. – № 1. – С. 17 – 25.

Поступила 22.01.2003

**БАРАННИК Владимир Викторович**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник информационно-вычислительного центра ХВУ. В 1994 году окончил ХВУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.

---