УДК 567.456

Ю.Н. Рябуха,
кандидат технических наук

МЕТОД КОДИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ СТРУКТУР ДАННЫХ ПО ВЕРТИКАЛЬНО-ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

Проводится обоснование необходимости совершенствования теоретических основ и технологий обработки видеоинформационных ресурсов в направлении исследования закономерностей для трехмерных структур данных. Излагаются этапы разработки трехмерного кодирования данных на основе трехмерной полиадической нумерации в направлении снижения весовых коэффициентов элементов ТПЧ с использованием вертикально-горизонтальной архитектуры описания ТСД. Формирование кода осуществляется для режима переменной длины ТПЧ и равномерной длины кодограммы для представления кодового значения.

Ключевые слова: *трехмерные структуры видеоданных, полиадическое число.*

Проводиться обґрунтування необхідності вдосконалення теоретичних основ і технологій обробки відеоінформаційних ресурсів у напрямі дослідження закономірностей для 3-D структур даних. Висловлюються етапи розробки 3-D кодування даних на основі 3-D поліадичної нумерації у напрямі зниження вагових коефіцієнтів елементів з використанням вертикально-горизонтальної архітектури. Формування коду здійснюється для режиму змінної довжини 3-D поліадичного числа і рівномірної довжини кодограми для надання кодового значення.

Ключові слова: *тривимірні структури відеоданих, поліадичне число.*

Substantiation of the need to improve the theoretical basis and the processing technologies of videoinformative resources towards IP-destination patterns for three-dimensional data structures is carried out. The stages of the development of three-dimensional polyadic numbering in the direction of reducing of gravimetric coefficients of the elements with the use of vertical-horizontal architecture are stated. Forming of code is carried out for the mode of variable length of 3-d poliadical number and even length of a codegram for the presentation of code value.

Keywords: *three-dimensional structures of videoinformation, polyadical number.*

Введение

Стремительное развитие инфокоммуникационных технологий является одной из побудительных причин освоения качественно новых видеоинформационных сервисов [1; 2]. Актуальным проблемным аспектом в практическом смысле становится обеспечение возможности предоставления доступа к видеоинформационным ресурсам нового поколения, представленным в трехмерном пространстве. В тоже время такие новшества ведут к существенной перегрузке вычислительных и телекоммуникационных систем. Становится очевидным тот факт, что существующие технологии обработки и передачи информации не справляются с надвигающейся очередной волной роста объемов данных [2; 3]. Такая ситуация усугубляется необходимостью обеспечивать на должном уровне характеристики информационной безопасности. Отсюда вытекает проблемный аспект относительно дальнейшего совершенствования как теоретических основ, так и технологий представления, обработки и кодирования видеоинформации. Одно из направлений, как было показано в работах [4; 5], состоит в создании теоретических основ и методов кодирования трехмерных структур данных. Необходимость чего обусловлена: значительным ростом приложений, использующих трехмерную организацию данных; возможностью выявления новых структурных закономерностей для 2-D структур в условиях перевода в трехмерные пространства.

В случае обработки трехмерных структур возникает вопрос относительно выбора архитектуры организации пространства для построения технологии кодирования. Один из вариантов универсальной обработки, подходящий для произвольных структур, заключается в использовании вертикально-горизонтальной архитектуры [5]. Тогда на логическом уровне архитектура трехмерных структур представляется в виде горизонтально объединенных вертикальных слоев. Это определяет ***цель исследований статьи***, а именно разработку кодирования трехмерных структур данных с использованием вертикально-горизонтальной архитектуры.

Основной материал

С позиции числового описания в статье предлагается рассматривать обработку трехмерных структур данных (ТСД) как трехмерное полиадическое число (ПЧ). Тогда в общем случае код полиадического числа представляет собой сумму произведений значений элементов ПЧ на соответствующий весовой коэффициент. Для трехмерного случая имеем [4; 5]:

$$N^{(3)} = \sum_{j=1}^{n_{стб}} \sum_{i=1}^{n_{стр}} \sum_{z=1}^{n_{c}} a_{j,i,z}\, \omega_{j;i;z} ,$$

где ω_{jiz} – весовой коэффициент (j;i;z)-го элемента.

Весовой коэффициент элемента полиадического числа равен количеству перестановок с повторениями, составленных из младших элементов. Значение весового коэффициента зависит от направления обхода элементов полиадического числа и от их количества. Поскольку величина произведения имеет положительное значение $a_{jiz}\,\omega_{jiz} \geq 0$, то с увеличением количества элементов значение кода $N^{(3)}$ также будет повышаться $N^{(3)}$~m. Значит исключить потери информации из-за переполнения разрядной сетки, отводимой на представление величины $N^{(3)}$, можно, если в случае равномерной (постоянной) длины разрядной сетки формировать код для переменного количества элементов ПЧ (переменная длина полиадического числа):

$$m=var; \quad S(N^{(3)})=const. \qquad (1)$$

В качестве направления обхода элементов ПЧ предлагается выбирать направление “от старших к младшим” разрядам.

Поскольку формирование трехмерных структур рассматривается относительно обработки изображений, то в качестве направления обхода элементов предлагается использовать следующую последовательность: “по вертикалям сверху – вниз, по столбцам в глубину параллелепипеда и по строкам слева – направо”.

Такая схема характерна для обработки последовательности кадров изображений. Выражение (1) диктует условия, когда:

1) заранее количество элементов полиадического числа считается неизвестным m=var; поэтому формирование кода, а, следовательно, и вычисление весового коэффициента предлагается осуществлять по рекуррентной схеме;

2) количество разрядов на представление кода ТПЧ является постоянным, т.е. $S(N^{(3)}) = M = \text{const}$, где M – длина машинного слова. Отсюда следует, что перед каждым добавлением к текущему значению кода величины $a_{jiz}\,\omega_{jiz}$ необходимо проверять условие:

$$N^{(3)}_{jiz} \le 2^M - 1\,, \tag{2}$$

где $N^{(3)}_{jiz}$ – значение кода на (jiz)-м шаге обработки; 2^M – максимальное значение, которое представляется M двоичными разрядами.

Однако условие (2) использовать для проверки на переполнение машинного слова нельзя. Это объясняется тем, что величина $N^{(3)}_{jiz}$ формируется с учетом текущего значения (jiz)-го элемента ТПЧ. В тоже время при восстановлении ТПЧ на приемной стороне на (jiz)-м шаге обработки значение элемента ajiz неизвестно. Отсюда проверку на переполнение машинного слова необходимо проводить на основе информации известной на приемной стороне. В качестве такой служебной информации ***предлагается*** использовать основания элементов трехмерного полиадического числа. Действительно, по определению весового коэффициента полиадического числа величина $\psi_{jiz}\,\omega_{jiz}$ равна количеству комбинаций, составленных из элементов ТПЧ уже обработанных на (jiz)-м шаге. Следовательно, выполняется условие $N^{(3)}_{jiz} < \psi_{jiz}\,\omega_{jiz}$. Тогда для проверки на переполнение машинного слова предлагается использовать величину $\psi_{jiz}\,\omega_{jiz}$, а правило проверки примет вид $\psi_{jiz}\,\omega_{jiz} \le 2^M - 1$.

Первым элементом a_{111} трехмерной структуры будет старший элемент трехмерного полиадического числа. Если количество разрядов на представление динамического диапазона первого элемента превышает длину машинного слова, то возможны два варианта: предварительно снизить динамический диапазон обрабатываемых данных, например, в результате дифференциальной импульсно-кодовой модуляции; увеличить длину машинного слова.

Разработка рекуррентной схемы формирования кода (рис. 1).

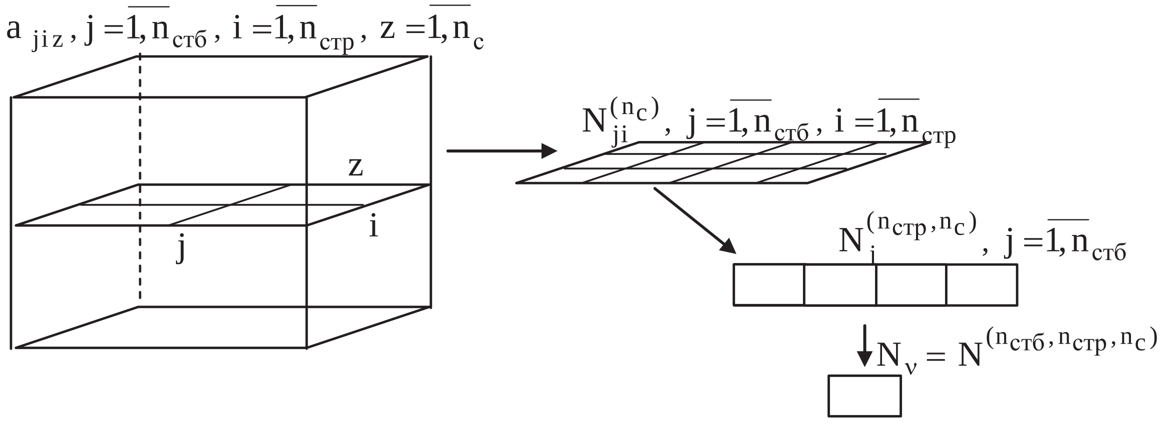

Рис. 1. Схема архитектуры кодирования трехмерных структур данных

Вертикальное направление обработки ТСД. Если для основания первого элемента ТПЧ выполняется неравенство $\psi_{111} \le 2^M - 1$, то $N_{11}^{(1)} = a_{111}$. По аналогии для первого элемента (j; i)-й вертикали ТПЧ получим $N_{ji}^{(1)} = a_{ji1}$. На z-м шаге обработки (j; i)-й вертикали проверяется условие:

$$V_{ji}^{(z)} = \prod_{\gamma=1}^{z} \psi_{ji\gamma} \le 2^M - 1, \tag{3}$$

где $V_{ji}^{(z)}$ – количество допустимых комбинаций, составленных из z элементов (j; i)-й вертикали трехмерного полиадического числа.

В случае выполнения неравенства (3) величина $N_{ji}^{(z)}$ рассчитывается на основе предыдущего значения кода $N_{ji}^{(z-1)}$ по формуле:

$$N_{ji}^{(z)} = N_{ji}^{(z-1)} \psi_{jiz} + a_{jiz}, \tag{4}$$

где $N_{ji}^{(z-1)}$ – значение кода, вычисленное для (z–1)-го элементов (j; i)-й вертикали ТПЧ.

Значение кода $N_{ji}^{(n_c)}$ с учетом последнего a_{jin_c} элемента (j; i)-й вертикали вычисляется по формулам:

$$N_{ji}^{(n_c)} = N_{ji}^{(n_c-1)} \psi_{jin_c} + a_{jin_c} \to V_{ji}^{(n_c)} \le 2^M - 1; \quad N_{ji}^{(1)} = a_{jin_c} \to V_{ji}^{(n_c)} > 2^M - 1,$$

где $N_{ji}^{(n_c-1)}$ – значение кода для (n_c-1) элементов (j; i)-й вертикали; $N_{ji}^{(1)}$ – значение кода, образованного на базе элемента a_{jin_c}; $V_{ji}^{(n_c)}$ – накопленное произведение оснований ψ_{jiz} для n_c сечений (j; i)-й высоты.

Горизонтальная обработка. Строчное направление формирование кода заключается в рассмотрении кодов $N_{ji}^{(z)}$ отдельных вертикалей ТПЧ как элементов одномерного полиадического числа. Причем необходимо учитывать, что значения номеров $N_{ji}^{(z)}$ ограничены сверху величинами $V_{ji}^{(z)}$: $N_{ji}^{(z)} < V_{ji}^{(z)}$, для $z = \overline{1, n_c}$. При обработке i-го номера $N_{ji}^{(z)}$ выполняются следующие действия:

– проверяется условие на переполнение машинного слова. Для этого вычисляется величина $V_j^{(i,n_c)}$, равная количеству допустимых комбинаций, составленных из $(i \times n_c)$ элементов ТПЧ:

$$V_j^{(i,n_c)} = \prod_{k=1}^{i} \prod_{z=1}^{n_c} \psi_{jkz} = \prod_{k=1}^{i} V_{jk}^{(n_c)} \le 2^M - 1. \tag{5}$$

Если значение величины $V_j^{(i,n_c)}$ не превышает величины 2^M-1, то рекуррентное выражение, обеспечивающее вычисление кода-номера $N_j^{(i,n_c)}$ для $(i \times n_c)$ элементов, имеет вид: $N_j^{(i,n_c)} = N_j^{(i-1,n_c)} V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)}$, где $N_j^{(i-1,n_c)}$ – значение кода для $((i-1) \times n_c$ элементов, т.е. для последовательности кодов $\{N_{j1}^{(n_c)},\ldots,N_{jk}^{(n_c)},\ldots N_{ji}^{(n_c)}\}$.

Для доказательства того, что правило, заданное неравенством (5), может использоваться для исключения случаев переполнения машинного слова, необходимо показать, что величина $V_j^{(i,n_c)}$ является верхней границей диапазона значений величины $N_j^{(i,n_c)}$. Для этого докажем следующую теорему.

Теорема о верхней границе кода вертикальной плоскости ТПЧ. Значение кода $N_j^{(i,n_c)}$ полиадического числа, элементами которого являются номера $N_{ji}^{(n_c)}$ вертикалей трехмерного полиадического числа, ограничено сверху величиной $V_j^{(i,n_c)}$:

$$N_j^{(i,n_c)} < V_j^{(i,n_c)}. \tag{6}$$

Доказательство. Распишем рекуррентное выражение (5) для значения кода $N_j^{(i,n_c)}$, $N_j^{(i,n_c)} = N_{j1}^{(n_c)} \prod_{\xi=2}^{i} V_{j\xi}^{(n_c)} + \ldots + N_{j,i-1}^{(n_c)} V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)}$.

Введем замену величин $N_{ji}^{(n_c)}$ в последнем соотношении на величину $(V_{ji}^{(n_c)}-1)$. При этом с учетом неравенства $N_{ji}^{(n_c)} \le (V_{ji}^{(n_c)}-1)$ получим

$$N_j^{(i,n_c)} \le V_{j1}^{(n_c)} \prod_{\xi=2}^{i} V_{j\xi}^{(n_c)} - 1 = \prod_{\xi=1}^{i} V_{j\xi}^{(n_c)} - 1 \le \prod_{\xi=1}^{i} V_{j\xi}^{(n_c)} = V_j^{(i,n_c)}.$$

Следовательно, неравенство (6) выполняется. *Теорема доказана.*

Обработка j-го столбца ТПЧ завершается после анализа элемента $N_{j,n_{стр}}^{(n_c)}$. Если выполняется неравенство $V_j^{(n_{стр},n_c)} = \prod_{k=1}^{n_{стр}} V_{jk}^{(n_c)} \le 2^M - 1$, то значение кода $N_j^{(n_{стр}-1,n_c)}$, полученное на предыдущем шаге, увеличивается на значение величины $N_{j,n_{стр}}^{(n_c)}$:

$$N_j^{(n_{стр},n_c)} = N_j^{(n_{стр}-1,n_c)} V_{j,n_{стр}}^{(n_c)} + N_{j,n_{стр}}^{(n_c)}, \tag{7}$$

где $N_j^{(n_{стр},n_c)}$ – значение кода для последовательности величин $\{N_{j1}^{(n_c)},...,N_{jk}^{(n_c)},...N_{j,n_{стр}}^{(n_c)}\}$.

В результате обработки всех последовательностей $\{N_{j1}^{(n_c)},...,N_{jk}^{(n_c)},...N_{j,n_{стр}}^{(n_c)}\}$ по всем столбцам ТПЧ $j=\overline{1,\,n}_{стб}$ получим последовательность кодов

$$\{N_1^{(n_{стр},n_c)},...,N_j^{(n_{стр},n_c)},...,N_{n_{стб}}^{(n_{стр},n_c)}\}. \tag{8}$$

Поскольку в соответствии с неравенством (6) значение кода ограничено сверху соответствующей величиной $V_j^{(i,n_c)}$, то последовательность (8) можно рассматривать как полиадическое число. Тогда допускается провести дополнительную постолбцовую обработку трехмерного полиадического числа по следующей схеме:

1. Если выполняется неравенство $V^{(j,n_{стр},n_c)} = \leq 2^M - 1$, то значение кода $N^{(j,n_{стр},n_c)}$ для $(j\times n_{стр}\times n_c)$ элементов ТПЧ равно

$$N^{(j,n_{стр},n_c)} = N^{(j-1,n_{стр},n_c)}\,V_j^{(n_{стр},n_c)} + N_j^{(n_{стр},n_c)}, \tag{9}$$

где $N^{(j-1,n_{стр},n_c)}$ – значение кода на предыдущем шаге для $((j-1)\times n_{стр}\times n_c)$ элементов ТПЧ.

2. Наоборот, когда $V^{(j,n_{стр},n_c)} > 2^M - 1$, тогда значение кода на j-м шаге обработки будет равно $N^{(j,n_{стр},n_c)} = N_j^{(n_{стр},n_c)}$.

Для исключения переполнения машинного слова требуется показать, что значение кода $N^{(j,n_{стр},n_c)}$ ограничено сверху величиной $V^{(j,n_{стр},n_c)}$. Для этого докажем следующую теорему.

Теорема о верхней границе кода-номера $N^{(j,n_{стр},n_c)}$. Значение кода $N^{(j,n_{стр},n_c)}$ полиадического числа (8), элементами которого являются номера $N_j^{(n_{стр},n_c)}$ вертикальных плоскостей ТПЧ, ограничено сверху величиной $V^{(j,n_{стр},n_c)}$:

$$N^{(j,n_{стр},n_c)} < V^{(j,n_{стр},n_c)}. \tag{10}$$

Доказательство. Распишем рекуррентное выражение (9) для значения кода $N^{(j,n_{стр},n_c)}$:

$$N^{(j,n_{стр},n_c)} = N_1^{(n_{стр},n_c)} \prod_{\eta=2}^{j} V_\eta^{(n_{стр},n_c)} + \ldots + N_{\xi-1}^{(n_{стр},n_c)} \prod_{\eta=\xi}^{j} V_\eta^{(n_{стр},n_c)} + \ldots + .$$

$$+ N_{j-1}^{(n_{стр}, n_c)} V_j^{(n_{стр}, n_c)} + N_j^{(n_{стр}, n_c)}$$

Введем замену кода $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$ на величину $(V_j^{(n_{стр}, n_c)} - 1)$. Тогда с учетом неравенства (6) последнее выражение будет иметь следующую верхнею границу: $N^{(j, n_{стр}, n_c)} \le \prod_{\eta=1}^{j} V_\eta^{(n_{стр}, n_c)} = V^{(j, n_{стр}, n_c)}$. Отсюда следует, что неравенство (10) выполняется для $j = \overline{1, n_{стб}}$. *Теорема доказана.*

3. На завершающем этапе код $N^{(3)}$ для всех элементов ТПЧ равен значению кода $N^{(n_{стб}, n_{стр}, n_c)}$, сформированного для последнего номера $N_{n_{стб}}^{(n_{стр}, n_c)}$ вертикального сечения трехмерной структуры

$$N^{(3)} = N^{(n_{стб}, n_{стр}, n_c)} = N^{(n_{стб}-1, n_{стр}, n_c)} V_{n_{стб}}^{(n_{стр}, n_c)} + N_{n_{стб}}^{(n_{стр}, n_c)},$$

где $N^{(n_{стб}-1, n_{стр}, n_c)}$ – значение кода для $((n_{стб} - 1) \times n_{стр} \times n_c)$ элементов ТПЧ.

Таким образом, на основе полученных выражений (3)−(10) построено трехмерное полиадическое кодирование с учетом вертикально-горизонтальной архитектуры ТСД для варианта равномерной разрядной сетки и переменного количества элементов ПЧ. Разработанное кодирование обеспечивает исключение комбинаторной избыточности, обусловленной неоднородностью динамического диапазона по трем направлениям трехмерной структуры без потери информации.

Выводы

1. Разработано трехмерное кодирование данных на основе трехмерной полиадической нумерации в направлении снижения весовых коэффициентов элементов ТПЧ с использованием вертикально-горизонтальной архитектуры описания ТСД. Здесь используется режим переменной длины ТПЧ и равномерной длины кодограммы для представления кодового значения. Для исключения потери информации из-за переполнения машинного слова предложено проводить сравнение величины основания укрупненного элемента ТПЧ с максимально возможным значением числа, соответствующего заданной длине машинного слова.

2. Сжатие обеспечивается за счет исключения структурной избыточности, обусловленной ограниченностью и неравномерностью динамических диапазонов элементов видеоданных одновременно по трем координатам трехмерных структур данных. Значение величины выигрыша в коэффициенте сжатия за счет дополнительного учета закономерностей в динамическом диапазоне по третьей координате будет тем больше, чем меньше значения оснований трехмерного полиадического числа относительно значений оснований двумерного полиадического числа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб. : Питер, 2006. – 958 с.

2. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.

3. *Баранник В.В.* Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. – Х. : ХУПС, 2009. – 252 с.

4. *Barannik V.V.* Method of the 3-D Image Processing / V.V. Barannik, S.V. Karpenko // Modern problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference TCSET'2008, Lviv-Slavsko, Ukraine, February 20–24, 2008. – P. 115–117.

5. *Баранник В.В.* Трехмерное полиадическое кодирование в направлении, начиная с младших элементов / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // Сучасна спеціальна техніка. – 2013. – № 3. – С. 15–20.

Отримано 10.03.2014