КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

УДК 567.456

МЕТОД КОДИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНО-ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

БАРАННИК В.В., РЯБУХА Ю.Н.

Обосновывается, что показательным становится появление видеоинформационных сервисов, предоставляющих услуги трехмерного цифрового отображения высокого качества. Показывается актуальность создания технологий обработки последовательности кадровых плоскостей, представляющих собой составляющие как одного полно цветного кадра, так и стереокадра. Излагаются этапы разработки трехмерного полиадического кодирования данных, начиная с младших элементов.

1. Введение

Современное состояние информационных технологий отличается развитием технологий цифровой обработки данных. Ключевую роль играют мультимедийные системы, включая видеоинформационные услуги, предоставляющие возможности трехмерного цифрового отображения высокого качества [1 – 3]. Отсюда происходит рост нагрузки на инфокоммуникационные системы. Особая критичность происходит для систем дистанционного сбора, обработки и передачи видеоинформации. В свою очередь недостаточные характеристики инфокоммуникационных технологий являются своего рода препятствием для предоставления качественных видеоинформационных услуг.

Исследование различных подходов относительно устранения избыточности выявило, что дополнительное снижение битовой скорости обеспечивается за счет учета структурных закономерностей содержания видеоинформационных ресурсов одновременно по трем координатам [4; 5].

Цель исследования заключается в разработке метода кодирования трехмерно-представленных видеоинформационных ресурсов без потери информации на основе устранения структурной избыточности.

В работах [4] предложен подход для кодирования, которое потенциально обеспечивает сокращение структурной избыточности в трехмерном пространстве. Однако, основным недостатком такого подхода является то, что кодирование допускается проводить начиная со старших элементов, и весовой коэффициент текущего элемента зависит от оснований всех последующих (не обработанных элементов). Это приводит к усложнению процесса обработки. Поэтому предлагается разработать кодирование трехмерных полиадических чисел (ТПЧ), начиная с младших элементов. В этом случае весовой коэффициент будет зависеть только от оснований предыдущих (обработанных) элементов СВК.

2. Основной материал

В общем случае код-номер полиадического числа (ПЧ) представляет собой сумму произведений значений элементов ПЧ на соответствующий весовой коэффициент. Для трехмерного случая имеем [5; 6]:

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

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-номера $N^{(3)}$ также будет повышаться $N^{(3)} \sim m$. Значит исключить потери информации из-за переполнения разрядной сетки, отводимой на представление величины $N^{(3)}$, можно если:

– для фиксированного количества элементов ПЧ (равномерная длина полиадического числа) использовать переменную длину разрядной сетки на представление кода-номера, т.е.

$$m = const\,; \; S(N^{(3)}) = var\,, \qquad (2)$$

где $S(N^{(3)})$ – количество разрядов, затрачиваемое на представление кода-номера $N^{(3)}$;

– в случае равномерной (постоянной) длины разрядной сетки формировать код-номер для переменного количества элементов ПЧ (переменная длина полиадического числа):

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

В случае вычисления кода-номера в условиях (2) количество элементов полиадического числа известно заранее. Поэтому в качестве направления обхода элементов ПЧ предлагается выбирать направление «от старших к младшим» разрядам. Данное направление обхода реализуется также в условиях (3).

Понятно, что общими полиадического кодирования являются условия (3). Условия (2) получаются из (3) путем наложения ограничений на длину m ПЧ. Вывод выражения для определения весового коэффициента будем проводить с учетом выполнения условий, заданных соотношением (3). Это обеспечит сокращение комбинаторной избыточности и исключение потери информации.

Поскольку формирование трехмерных структур рассматривается относительно обработки изображений, то в качестве обхода элементов предлагается использовать последовательность: «по вертикалям сверху – вниз, по столбцам в глубину параллелепипеда и по строкам слева – направо». Такая схема характерна для обработки последовательности кадров изображений. Выражение (3) диктует условия, когда:

1) количество элементов полиадического числа заранее считается неизвестным $m = \text{var}$. Поэтому формирование кода-номера, а следовательно, и вычисление весового коэффициента предлагается осуществлять по рекуррентной схеме;

2) количество разрядов на представление кода-номера 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-номера величины $a_{jiz}\omega_{jiz}$ необходимо проверять условие:

$$N_{jiz}^{(3)} \le 2^M - 1, \qquad (4)$$

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

Однако условие (4) для проверки на переполнение машинного слова использовать нельзя. Это объясняется тем, что величина $N_{jiz}^{(3)}$ формируется с учетом текущего значения (jiz)-го элемента ТПЧ. В то же время при восстановлении ТПЧ на приемной стороне на (jiz)-м шаге обработки значение элемента a_{jiz} не известно. 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 $N_{jiz}^{(3)} < \psi_{jiz}\omega_{jiz}$. Тогда для проверки на переполнение машинного слова предлагается использовать величину $\psi_{jiz}\omega_{jiz}$, а правило проверки примет вид:

$$\psi_{jiz}\omega_{jiz} \le 2^M - 1. \qquad (5)$$

Первым элементом a_{111} трехмерной структуры будет старший элемент ТПЧ. 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-номера показана на рис.1.

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 (на переполнение машинного слова):

$$V_{ji}^{(z)} = \prod_{\gamma=1}^{z}\psi_{ji\gamma} \le 2^M - 1, \qquad (6)$$

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

В случае выполнения неравенства (6) величина кода-номера $N_{ji}^{(z)}$ рассчитывается на основе предыдущего значения кода-номера $N_{ji}^{(z-1)}$ по формуле:

$$N_{ji}^{(z)} = N_{ji}^{(z-1)}\psi_{jiz} + a_{jiz}, \qquad (7)$$

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

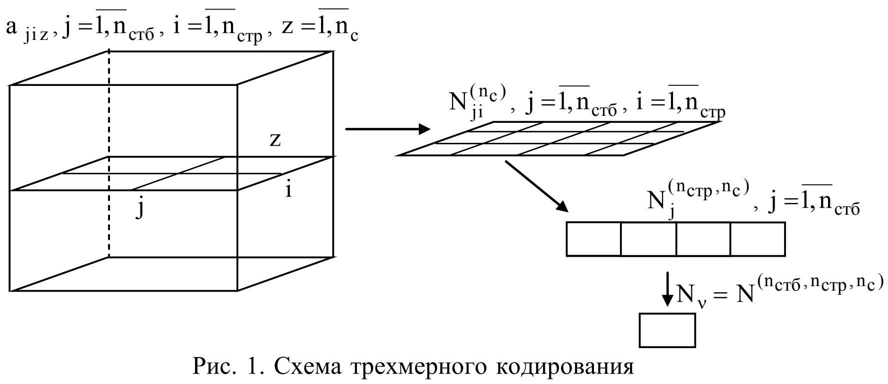

Рис. 1. Схема трехмерного кодирования

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

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

$$N_{ji}^{(1)} = a_{jin_c} \rightarrow V_{ji}^{(n_c)} > 2^M - 1, \qquad (8)$$

здесь $N_{ji}^{(n_c-1)}$ – значение кода-номера для (n_c-1) элементов $(j;i)$-й вертикали; $N_{ji}^{(1)}$ – значение кода-номера, образованного на базе элемента a_{jin_c}; $V_{ji}^{(n_c)}$ – накопленное произведение оснований ψ_{jiz} для n_c сечений $(j;i)$-й высоты $V_{ji}^{(n_c)} = \prod_{\gamma=1}^{n_c}\psi_{ji\gamma} \le 2^M - 1$. Вертикальная обработка заканчивается тогда, когда обработаны по отдельности все вертикали ТПЧ.

Горизонтальная обработка. Строчное формирование кода-номера заключается в рассмотрении кодов-номеров $N_{ji}^{(z)}$ отдельных вертикалей ТПЧ как элементов одномерного полиадического числа. При этом 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 трехмерного полиадического числа:

$$V_j^{(i,n_c)} = \prod_{k=1}^{i}\prod_{z=1}^{n_c}\psi_{jkz} = \prod_{k=1}^{i}V_{jk}^{(n_c)} \le 2^M - 1. \qquad (9)$$

Если значение $V_j^{(i,n_c)}$ 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:

$$N_j^{(i,n_c)} = N_j^{(i-1,n_c)}V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)}, \qquad (10)$$

где $N_j^{(i-1,n_c)}$ – значение кода-номера для $((i-1) \times n_c)$ элементов, т.е. для последовательности кодов-номеров $\{N_{j1}^{(n_c)}, \ldots, N_{jk}^{(n_c)}, \ldots N_{ji}^{(n_c)}\}$.

В противном случае, когда неравенство (9) не выполняется, то код-номер равен $N_j^{(i)} = N_{ji}^{(n_c)}$, где $N_j^{(i)}$ – значение кода-номера, полученное для полиадического числа, состоящего из одного элемента $N_{ji}^{(n_c)}$.

Для доказательства того, что правило, заданное неравенством (9), может использоваться для исключения случаев переполнения машинного слова, необходимо показать, что величина $V_j^{(i,n_c)}$ является верхней границей диапазона значений $N_j^{(i,n_c)}$. Для этого докажем следующую теорему.

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

$$N_j^{(i,n_c)} < V_j^{(i,n_c)}. \qquad (11)$$

Доказательство. Распишем рекуррентное выражение (9) для значения кода-номера $N_j^{(i,n_c)}$:

$$N_j^{(i,n_c)} = N_{j1}^{(n_c)}\prod_{\xi=2}^{i}V_{j\xi}^{(n_c)} + \ldots + N_{jk}^{(n_c)},$$

$$\prod_{\xi=k+1}^{i}V_{j\xi}^{(n_c)} + \ldots + N_{j,i-1}^{(n_c)}V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)}.$$

Введем замену $N_{ji}^{(n_c)}$ 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:

$$N_j^{(i,n_c)} = N_{j1}^{(n_c)}\prod_{\xi=2}^{i}V_{j\xi}^{(n_c)} + \ldots + N_{jk}^{(n_c)};$$

$$\prod_{\xi=k+1}^{i}V_{j\xi}^{(n_c)} + \ldots + N_{j,i-1}^{(n_c)}V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)} \le$$

$$\le (V_{j1}^{(n_c)} - 1)\prod_{\xi=2}^{i}V_{j\xi}^{(n_c)} + \ldots + (V_{jk}^{(n_c)} - 1);$$

$$\prod_{\xi=k+1}^{i}V_{j\xi}^{(n_c)} + \ldots + (V_{j,i-1}^{(n_c)} - 1)V_{ji}^{(n_c)} +$$

$$+ (V_{ji}^{(n_c)} - 1) \le V_{j1}^{(n_c)}\prod_{\xi=2}^{i}V_{j\xi}^{(n_c)} - 1 =$$

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

Следовательно, неравенство (11) выполняется. *Теорема доказана*.

Неравенство (11) обеспечивает исключение случаев переполнения машинного слова.

Обработка j-го столбца ТПЧ завершается после анализа элемента $N_{j,n_{стр}}^{(n_c)}$. Если выполняется неравенство:

$$V_j^{(n_{стр},n_c)} = \prod_{k=1}^{n_{стр}} \prod_{z=1}^{n_c} \psi_{jkz} = \prod_{k=1}^{n_{стр}} V_{jk}^{(n_c)} \le 2^M - 1, \quad (12)$$

то значение кода-номера $N_j^{(n_{стр}-1,n_c)}$, полученное на предыдущем шаге, увеличивается на величину $N_{j,n_{стр}}^{(n_c)}$:

$$N_j^{(n_{стр},n_c)} = N_j^{(n_{стр}-1,n_c)} V_{j,n_{стр}}^{(n_c)} + N_{j,n_{стр}}^{(n_c)}, \quad (13)$$

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

В противном случае, когда неравенство (13) не выполняется, то значение кода-номера $N_j^{(n_{стр})}$ на $n_{стр}$-м шаге обработки j-го столбца будет равно $N_j^{(n_{стр})} = N_{j,n_{стр}}^{(n_c)}$. 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-номеров :

$$\{N_1^{(n_{стр},n_c)},...,N_j^{(n_{стр},n_c)},...,N_{n_{стб}}^{(n_{стр},n_c)}\}. \quad (14)$$

Поскольку в соответствии с неравенством (11) значение кода-номера ограничено сверху соответствующей величиной $V_j^{(i,n_c)}$, то последовательность (14) можно рассматривать как полиадическое число. Тогда допускается провести дополнительную постолбцовую обработку трехмерного полиадического числа по следующей схеме:

1. Если выполняется неравенство

$$V^{(j,n_{стр},n_c)} = \prod_{\eta=1}^{j} \prod_{i=1}^{n_{стр}} \prod_{z=1}^{n_c} \psi_{\eta iz} =$$
$$= \prod_{\eta=1}^{j} \prod_{i=1}^{n_{стр}} V_{\eta i}^{(n_c)} = \prod_{\eta=1}^{j} V_\eta^{(n_{стр},n_c)} \le 2^M - 1, \quad (15)$$

то значение кода-номера $N^{(j,n_{стр},n_c)}$ для $(j \times n_{стр} \times n_c)$ элементов трехмерного полиадического числа равно:

$$N^{(j,n_{стр},n_c)} = N^{(j-1,n_{стр},n_c)} V_j^{(n_{стр},n_c)} + N_j^{(n_{стр},n_c)}, \quad (16)$$

где $N^{(j-1,n_{стр},n_c)}$ – значение кода-номера 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-номера на j-м шаге обработки будет равно $N^{(j,n_{стр},n_c)} = N_j^{(n_{стр},n_c)}$.

Чтобы для исключения переполнения машинного слова воспользоваться правилом (15), 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-номера $N^{(j,n_{стр},n_c)}$ полиадического числа (14), элементами которого являются номера $N_j^{(n_{стр},n_c)}$ вертикальных плоскостей ТПЧ, ограничено сверху величиной $V^{(j,n_{стр},n_c)}$:

$$N^{(j,n_{стр},n_c)} < V^{(j,n_{стр},n_c)}. \quad (17)$$

Доказательство. Распишем рекуррентное выражение (16) для кода-номера $N^{(j,n_{стр},n_c)}$:

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

Введем замену кода-номера $N_j^{(n_{стр},n_c)}$ на величину $(V_j^{(n_{стр},n_c)} - 1)$. Тогда с учетом неравенства (11) последнее выражение будет иметь следующую верхнюю границу:

$$N^{(j,n_{стр},n_c)} \le (V_1^{(n_{стр},n_c)} - 1) \prod_{\eta=2}^{j} V_\eta^{(n_{стр},n_c)} + ... +$$
$$+ (V_{\xi-1}^{(n_{стр},n_c)} - 1) \prod_{\eta=\xi}^{j} V_\eta^{(n_{стр},n_c)} + ... +$$
$$+ (V_{j-1}^{(n_{стр},n_c)} - 1) V_j^{(n_{стр},n_c)} + (V_j^{(n_{стр},n_c)} - 1) =$$
$$= \prod_{\eta=1}^{j} V_\eta^{(n_{стр},n_c)} - 1 \le \prod_{\eta=1}^{j} V_\eta^{(n_{стр},n_c)} = V^{(j,n_{стр},n_c)}.$$

Отсюда следует, что неравенство (17) выполняется для $j=\overline{1,n_{стб}}$. Теорема доказана.

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

$$N^{(3)} = N^{(n_{стб},n_{стр},n_c)} = N^{(n_{стб}-1,n_{стр},n_c)},$$
$$V_{n_{стб}}^{(n_{стр},n_c)} + N_{n_{стб}}^{(n_{стр},n_c)}, \quad (18)$$

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

Таким образом, на основании выражений (6) – (18) построено трехмерное полиадическое кодирование для варианта равномерной разрядной сетки и переменного количества элементов ПЧ, т.е. $m = var$, $S(N^{(3)}) = const$. Разработанное кодирование обеспечивает исключение комбинаторной избыточности, обусловленной неоднородностью динамического диапазона по трем направлениям трехмерной структуры без потери информации. Граф-схема метода трехмерного полиадического кодирования в направлении снижения весовых коэффициентов приводится на рис. 2.

Рассмотрим построение полиадического нумератора в случае, когда количество элементов ТПЧ фиксировано, а длина разрядной сетки на представление кода-номера является переменной, т.е. $m = const$; $S(N^{(3)}) = var$. Допустим, что количество элементов ТПЧ равно $m = n_{стб} \times n_{стр} \times n_c$ и известно заранее.

Условие $S(N^{(3)}) = var$ позволяет выбирать необходимое количество разрядов на представление кода-номера $N^{(3)}$. Тогда создание нумератора трехмерных полиадических чисел сводится к выводу соотношения для определения величины весового коэффициента ω_{jiz}. Для этого сформулируем и докажем следующую теорему.

Теорема о весовом коэффициенте ТПЧ. Для известной длины трехмерного полиадического числа и переменной длины кодограммы значение весового коэффициента ω_{jiz} для (jiz) -го элемента находится по формуле:

$$\omega_{jiz} = \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{jk\gamma} \prod_{\eta=j+1}^{n_{стб}} \prod_{k=1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{\eta k\gamma}\ . \qquad (19)$$

Доказательство. Вывод выражения (19) будем проводить на основе рекуррентного соотношения (18). Для этого последовательно распишем значения предыдущих кодов-номеров предыдущих шагов обработки:

$$N^{(3)} = N^{(n_{стб}, n_{стр}, n_c)} = N^{(n_{стб}-1, n_{стр}, n_c)} V_{n_{стб}}^{(n_{стр}, n_c)} + N_{n_{стб}}^{(n_{стр}, n_c)} = N_1^{(n_{стр}, n_c)} \prod_{\eta=2}^{n_{стб}} V_\eta^{(n_{стр}, n_c)} + \ldots + N_{\xi-1}^{(n_{стр}, n_c)} \prod_{\eta=\xi}^{n_{стб}} V_\eta^{(n_{стр}, n_c)} + \ldots + N_{n_{стб}-1}^{(n_{стр}, n_c)} V_{n_{стб}}^{(n_{стр}, n_c)} + N_{n_{стб}}^{(n_{стр}, n_c)}. \qquad (20)$$

Преобразуем формулу (20) с учетом соотношений для величин $N_\xi^{(n_{стр}, n_c)}$, $\xi = \overline{1, n_{стб}}$:

$$N^{(3)} = (N_{11}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{1i\gamma} + \ldots + N_{1k}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{1i\gamma} + \ldots + N_{1, n_{стр}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{1, n_{стр}, \gamma} + N_{1, n_{стр}}^{(n_c)}) \prod_{\eta=2}^{n_{стб}} V_\eta^{(n_{стр}, n_c)} + \ldots +$$

$$+ (N_{j1}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \ldots + N_{jk}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \ldots + N_{j, n_{стр}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{j, n_{стр}, \gamma} + N_{j, n_{стр}}^{(n_c)}) \prod_{\eta=j+1}^{n_{стб}} V_\eta^{(n_{стр}, n_c)} + \ldots +$$

$$+ (N_{n_{стб}-1, 1}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{стб}-1, i\gamma} + \ldots + N_{n_{стб}-1, k}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{стб}-1, i\gamma} + \ldots + N_{n_{стб}-1, n_{стр}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{стб}-1, n_{стр}, \gamma} + N_{n_{стб}-1, n_{стр}}^{(n_c)})$$

$$V_{n_{стб}}^{(n_{стр}, n_c)} + (N_{n_{стб}, 1}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{стб}, i\gamma} + \ldots + N_{n_{стб}, k}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{стб}, i\gamma} + \ldots + N_{n_{стб}, n_{стр}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{стб}, n_{стр}, \gamma} + N_{n_{стб}, n_{стр}}^{(n_c)}).$$

Свернув слагаемые в последнем выражении под знак суммы, получим:

$$N^{(3)} = (\sum_{j=1}^{n_{стб}} \sum_{i=1}^{n_{стр}} N_{ji}^{(n_c)} \prod_{k=i+1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{jk\gamma}) \prod_{\eta=j+1}^{n_{стб}} V_\eta^{(n_{стр}, n_c)}. \qquad (21)$$

Заменим в формуле (21) величины $N_{ji}^{(n_c)}$ для $1 \le j \le n_{стб}$, $1 \le i \le n_{стр}$ на соотношение:

$$N_{ji}^{(n_c)} = N_{ji}^{(n_c-1)} \psi_{jin_c} + a_{jin_c} = a_{ji1} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \ldots + a_{ji, z-1} \prod_{\gamma=z}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \ldots + a_{ji, n_c-1} \psi_{jin_c} + a_{jin_c} = \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma}.$$

После чего значение кода-номера $N^{(3)}$ будет равно:

$$N^{(3)} = (\sum_{j=1}^{n_{стб}} \sum_{i=1}^{n_{стр}} \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{jk\gamma})$$

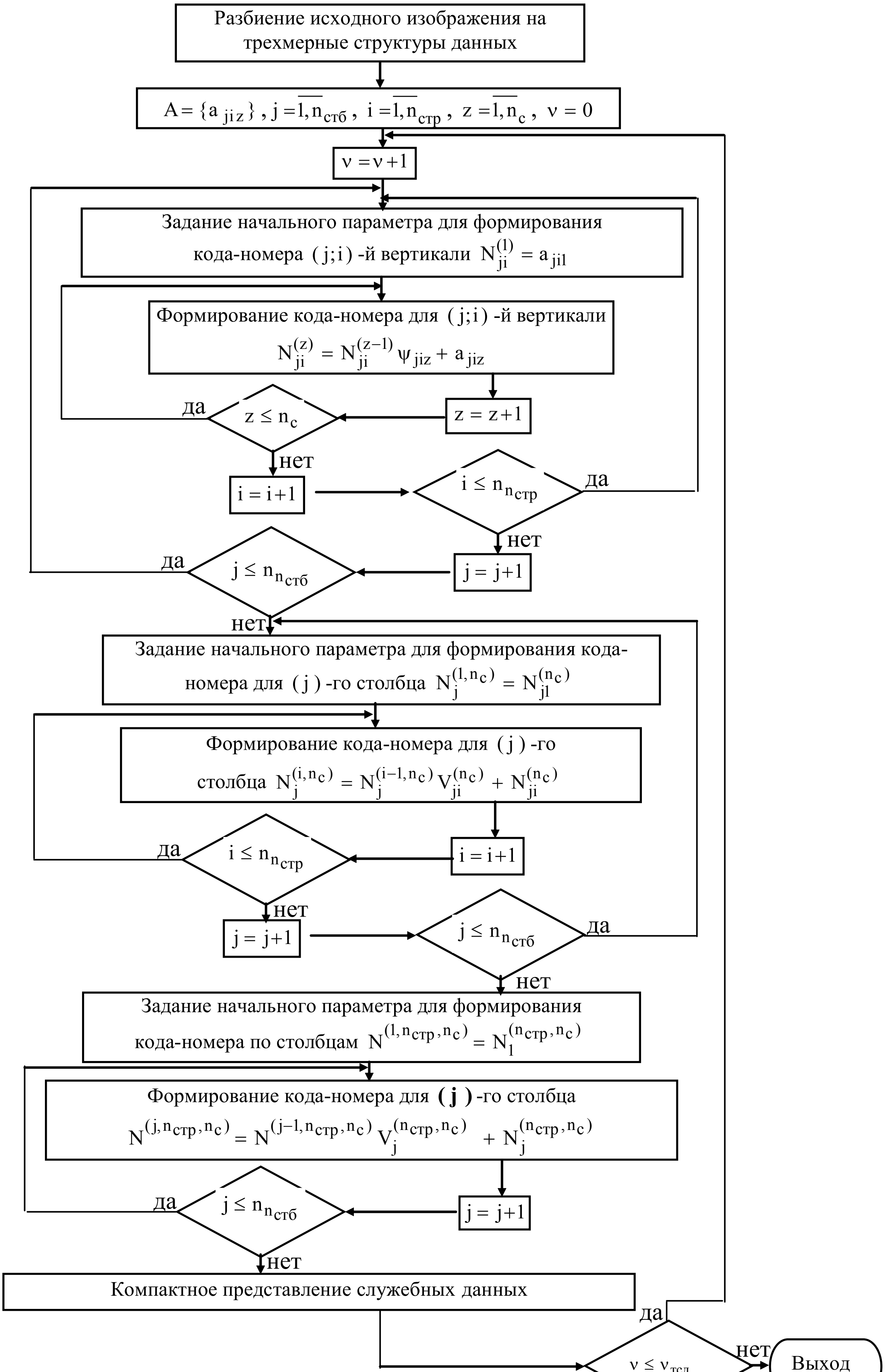

Рис. 2. Граф-схема трехмерного кодирования со старших разрядов

$$\prod_{\eta=j+1}^{n_{стб}} V_{\eta}^{(n_{стр},n_c)} = \left(\sum_{j=1}^{n_{стб}} \sum_{i=1}^{n_{стр}} \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{jk\gamma}\right) \prod_{i=1}^{n_{стр}} \prod_{z=1}^{n_c} \psi_{\eta iz} = \sum_{j=1}^{n_{стб}} \sum_{i=1}^{n_{стр}} \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz}$$

$$\prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{jk\gamma} \prod_{\eta=j+1}^{n_{стб}} \prod_{i=1}^{n_{стр}} \prod_{z=1}^{n_c} \psi_{\eta iz} . \quad (22)$$

Анализируя сомножитель при элементе a_{jiz}, приходим к выводу, что:

$$\omega_{jiz} = \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{jk\gamma} \prod_{\eta=j+1}^{n_{стб}} \prod_{k=1}^{n_{стр}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{\eta k\gamma} .$$

Следовательно, выражение (19) доказано. Теорема доказана.

Значит, соотношения (1) и (19) позволяют сформировать код-номер переменой длины для трехмерного полиадического числа фиксированной длины.

Таким образом, разработано трехмерное кодирование данных на основе трехмерной полиадической нумерации. Оно обеспечивает исключение избыточности одновременно по трем координатам трехмерных структур данных.

Выводы

Разработано трехмерное кодирование данных на основе трехмерной полиадической нумерации для снижения весовых коэффициентов элементов ТПЧ. 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.

Сжатие обеспечивается за счет исключения структурной избыточности, обусловленной ограниченностью и неравномерностью динамических диапазонов элементов видеоданных одновременно по трем координатам трехмерных структур данных. Величина 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, т.е. $\psi_{jiz} < \psi_{ji}$.

Литература:**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.** *Баранник В.В.* Сжатие данных на основе сокращения трехмерной структурной избыточности / В.В. Баранник, С.В. Карпенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Харьков: НАКУ «ХАИ». 2007. Вып. 38. С. 177 – 187. **5.** *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. **6.** *Баранник В.В., Рябуха Ю.Н.* Трехмерное полиадическое кодирование в направлении, начиная с младших элементов // Сучасна спеціальна техніка. 2013. №3. С. 22 - 27.

Поступила в редколегию 17.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры Харьковского университета Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба. Научные интересы: информационно-телекоммуникационные технологии, кодирование, защита и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская 77/79, тел. 8 050-3038971.

Рябуха Юрий Николаевич, канд. техн. наук, соискатель Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: информационно-телекоммуникационные технологии, кодирование, защита и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская 77/79, тел. 8 050-3038971.