

МЕТОД ТРЕХМЕРНОГО БИНОМИАЛЬНО-ПОЛИАДИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

к.т.н. В.В. Баранник

(представил д.т.н, проф. А.В. Королёв)

Разрабатывается метод восстановления изображений с нулевой погрешностью на основе трехмерного усеченного связанного биномиально-полиадического декодирования.

Введение. Одним из важных требований, предъявляемых к современным информационным системам, является обеспечение доведения видеоданных с нулевой погрешностью [1, 2]. При этом обработка и передача видеoinформации должна осуществляться в реальном времени.

В работах [3 – 6] показано, что на основе трехмерного биномиально-полиадического (БП) кодирования достигается степень сжатия, позволяющая передавать изображения по каналам связи в реальном времени. Однако, для использования полученного метода в информационных системах необходимо, чтобы он позволял восстанавливать изображения с нулевой погрешностью.

Таким образом, **целью статьи** является разработка метода трехмерного биномиально-полиадического восстановления изображений с нулевой погрешностью.

Разработка метода восстановления изображений на основе трехмерного биномиально-полиадического декодирования. Для взаимоднозначного и быстрого восстановления изображений разрабатываемый метод должен состоять из следующих этапов:

Этап 1. Начальный этап связан с восстановлением служебной информации, необходимой для безошибочной обработки информационной части кодовых комбинаций сжатого изображения. Данный этап заключается в распаковке служебной информации о значениях признаков трехмерных структур видеоданных (ТСВ) путем декодирования БП кодов, в результате чего воспроизводится информация о минимальных значениях по вертикалям ТСВ $A'_{\min} = \{a'_{\min j}\}$, о значениях сумм эле-

ментов БП чисел $W = \{w_{\eta\xi}\}$, о максимальных значениях $\Lambda' = \{\lambda'_{iz}\}$ и о минимальных значениях $A_{\min} = \{a_{\min iz}\}$ в строках горизонтальных сечений ТСВ. Полученная служебная информация позволяет перейти к выполнению последующих этапов метода восстановления.

Этап 2 посвящен проведению разметки ТСВ. Это обеспечит получение БП чисел, элементы которых распределены по всей ТСВ. Разметка осуществляется в два обхода по элементам трехмерной структуры видеоданных в направлении по строкам, столбцам и по вертикалям, начиная с элемента, имеющего координаты $(1, 1, 1)$. Первый обход является предварительным и состоит в разбиении всей ТСВ по БП числам путем проверки неравенства

$$\prod_{\gamma=1}^{\ell_{\xi}} \lambda_{\gamma} \leq 2^M - 1, \quad (1)$$

где ℓ_{ξ} – индекс текущего элемента БП числа, изменяющегося от 1 до η_{ξ} ; η_{ξ} – количество элементов в ξ -м БП числе.

Если неравенство (1) выполняется, то элемент с индексом ℓ_{ξ} принадлежит БП числу. В противном случае организуется второй обход элементов ТСВ. Данный обход проводится на основе сравнения значения БП коэффициента $V(W^{(3, \eta_{\xi})}, \Lambda^{(\ell_{\xi})})_{\ell_{\xi}}$ с величиной максимально возможного числа, которое может храниться в машинном слове фиксированной длины

$$V(W^{(3, \eta_{\xi})}, \Lambda^{(\ell_{\xi})})_{\ell_{\xi}} \leq 2^M - 1. \quad (2)$$

Если неравенство (2) верно, то элемент $b_{\ell_{\xi}}$ входит в состав ξ -го БП числа. В обратном случае проверяемый элемент не принадлежит текущей последовательности. Тогда осуществляется переход к проверке неравенств (1) и (2) для очередного элемента ТСВ. Вся разметка заканчивается тогда, когда $\xi = n_{\text{ТСВ}}$ и $\ell_{n_{\text{ТСВ}}} = mnq$.

Для проверки неравенства (2) требуется вычислить значение биномиально-полиадического коэффициента $V(W^{(3, \eta_{\xi})}, \Lambda^{(\ell_{\xi})})_{\ell_{\xi}}$. Для этого требуется знать значение суммы $w_{\eta_{\xi}}$ элементов восстанавливаемого БП числа и значения сумм $w_{u, \eta_{\xi}}$ БП чисел, зависящих от исходной по-

следовательности. Определение величины БП коэффициента включает следующие действия:

1) Находятся значения параметров биномиально-полиадического коэффициента $(w_{\eta_\xi} - g)$, $(w_{u,\eta_\xi} - \lambda_u - g)$ и $\left(\sum_{u=1}^2 w_{u,\eta_\xi} - w_{\eta_\xi} - \sum_{u=1}^2 \lambda_u - g \right)$:

$$g = \overline{\lambda_{\ell_\xi}^{(\ell_\xi)}}, G_{\alpha_1, \alpha_\mu}^{(\ell_\xi)}, G_{\alpha_1, \alpha_\mu}^{(\ell_\xi)} = \lambda_{\ell_\xi - \alpha_1 + 1}^{(\ell_\xi)} - \lambda_{\ell_\xi - \alpha_2 + 1}^{(\ell_\xi)} - \dots - \lambda_{\ell_\xi - \alpha_\mu + 1}^{(\ell_\xi)}; \quad (3)$$

где g – параметр, зависящий от количества величин λ_u на ℓ_ξ -м шаге обработки; λ_u – максимальное значение для u -го элемента БП числа по горизонтальной координате; α_μ – индекс, значение которого указывает на начальное значение параметра g : если $\alpha_1=1$, то $g = \lambda_{\ell_\xi}^{(\ell_\xi)}$; если $\alpha_1=\ell_\xi$, то $g = \lambda_1^{(\ell_\xi)}$;

2) Определяется количество слагаемых, т.е. сочетаний с повторениями, на которые наложены дополнительные ограничения на динамический диапазон. Данный процесс состоит в проверке неравенств:

$$w_{u,\eta_\xi} - \lambda_u - g < 0, \quad u = \overline{1,2}; \quad w_{\eta_\xi} - g < 0; \quad \sum_{u=1}^2 w_{u,\eta_\xi} - w_{\eta_\xi} - \sum_{u=1}^2 \lambda_u - g < 0. \quad (4)$$

Если одно из неравенств выполняется, то сочетание с соответствующим параметром не вычисляется;

3) В противном случае выбирается направление (обычное или симметричное) вычисления БП коэффициента. Для этого проверяются неравенства:

$$w_{\eta_\xi} \leq \left[\frac{\sum_{\gamma=1}^{\ell_\xi} (\lambda_\gamma - 1)}{2} \right] = w_{sr}^{(\ell_\xi)} \quad \text{и} \quad w_{u,\eta_\xi} - \lambda_u - g \leq \left[\frac{g}{2} \right] \quad \text{для} \quad u = \overline{1,2};$$

$$w_{\eta_\xi} - g \leq \left[\frac{g}{2} \right]; \quad \sum_{u=1}^2 w_{u,\eta_\xi} - w_{\eta_\xi} - \sum_{u=1}^2 \lambda_u - g \leq \left[\frac{g}{2} \right]. \quad (5)$$

Если одно из неравенств системы (5) не выполняется, то вычисление соответствующего сочетания с повторениями и с ограничениями на динамический диапазон проводится по симметричному направлению;

4) Для каждого из типов параметров БП коэффициента, не удовлетворяющих неравенствам (4), вычисляются сочетания с повторениями и с ограничениями на динамический диапазон [5, 6]. После вычисления всех сочетаний их значения подставляются в формулу

$$\begin{aligned}
V(W^{(3,\eta_\xi)}, \Lambda^{(\ell_\xi)})_{\ell_\xi} = & F(w_{\eta_\xi})_{\ell_\xi} - \sum_{u=1}^2 F(w_{u,\eta_\xi} - \lambda_u)_{\ell_\xi} + \\
& + F\left(\sum_{u=1}^2 w_{u,\eta_\xi} - w_{\eta_\xi} - \sum_{u=1}^2 \lambda_u\right)_{\ell_\xi}, \tag{6}
\end{aligned}$$

где $F(w_{\eta_\xi})_{\ell_\xi}$, $F(w_{u,\eta_\xi} - \lambda_u)_{\ell_\xi}$, $F\left(\sum_{u=1}^2 w_{u,\eta_\xi} - w_{\eta_\xi} - \sum_{u=1}^2 \lambda_u\right)_{\ell_\xi}$ – функционалы, представляющие собой сумму сочетаний по параметрам $(w_{\eta_\xi} - g)$, $(w_{u,\eta_\xi} - \lambda_u - g)$ и $\left(\sum_{u=1}^2 w_{u,\eta_\xi} - w_{\eta_\xi} - \sum_{u=1}^2 \lambda_u - g\right)$.

После завершения разметки ТСВ организуется процесс получения исходных элементов биномиально-полиадического числа по известному значению кода-номера $N(W^{(3,\eta_\xi)}, \Lambda^{(\eta_\xi)})_{\eta_\xi}$ и количеству η_ξ отобранных элементов.

На этапе 3 проводится БП декодирование кода-номера $N(W^{(3,\eta_\xi)}, \Lambda^{(\eta_\xi)})_{\eta_\xi}$, включающее в себя:

1. Определение начального индекса $b_{\max_{\ell_\xi}}$ БП линейки, содержащей максимальное количество допустимых последовательностей:

$$b_{\max_{\ell_\xi}} = \begin{cases} 0, & \text{если } w_{sr}^{(\ell_\xi)} \geq w_{\ell_\xi} + 1; \\ w_{\ell_\xi} + 1 - w_{sr}^{(\ell_\xi)}, & \text{если } \lambda'_{\ell_\xi} < w_{sr}^{(\ell_\xi)} < w_{\ell_\xi} + 1; \\ \lambda'_{\ell_\xi}, & \text{если } w_{sr}^{(\ell_\xi)} \geq \lambda'_{\ell_\xi}, \end{cases} \tag{7}$$

где ℓ_ξ – индекс восстанавливаемого элемента в БП числе, т.е. количество невосстановленных элементов и изменяется от η_ξ до 1; $w_{sr}^{(\ell_\xi)}$ – среднее значение суммы на $(\eta_\xi - \ell_\xi + 1)$ -м шаге декодирования.

2. Вычисляется значение весового коэффициента $V\left(W^{(3,\ell_\xi)}, b_{\max_{\ell_\xi}} + 1, \Lambda^{(\ell_\xi)'}\right)_{\ell_\xi}$ для элемента $b_{\max_{\ell_\xi}} + 1$:

$$\begin{aligned}
& V \left(W^{(3, \ell_\xi)}, \lambda_{\ell_\xi}^{(\ell_\xi)} = b_{\max_{\ell_\xi}} + 1, \Lambda^{(\ell_\xi - 1)} \right)_{\ell_\xi} = F \left(w_{\ell_\xi} \right)_{\ell_\xi} - \\
& - \sum_{u=1}^2 F \left(w_{u, \ell_\xi} - \lambda_u^{(\ell_\xi)} \right)_{\ell_\xi} + F \left(\sum_{u=1}^2 w_{u, \ell_\xi} - w_{\ell_\xi} - \sum_{u=1}^2 \lambda_u^{(\ell_\xi)} \right)_{\ell_\xi} \\
& \lambda_u^{(\ell_\xi)} = b_{\ell_\xi}, \lambda_u^{(\ell_\xi)} = \lambda_u, u = \overline{1, \ell_\xi - 1}.
\end{aligned} \tag{8}$$

3. Проверяется неравенство

$$N \left(W^{(3, \ell_\xi)}, \Lambda^{(\ell_\xi)'} \right)_{\ell_\xi} > V \left(W^{(3, \ell_\xi)}, b_{\max_{\ell_\xi}} + 1, \Lambda^{(\ell_\xi)'} \right)_{\ell_\xi}. \tag{9}$$

Если неравенство выполняется, то длина $\Delta b_{u \ell_\xi}^\bullet$ расстояния между

линейками с начальными индексами $\left(b_{\max_{\ell_\xi}} + 1 + \sum_{u=1}^{\beta-1} \Delta b_{u \ell_\xi}^\bullet \right)$ и

$\left(b_{\max_{\ell_\xi}} + 1 - \sum_{u=1}^{\beta} \Delta b_{u \ell_\xi}^\bullet \right)$ находится по формуле

$$\Delta b_{\beta, \ell_\xi}^\bullet = \left[\frac{N \left(W^{(3, \ell_\xi)}, \Lambda^{(\ell_\xi)'} \right)_{\ell_\xi} - V \left(W^{(3, \ell_\xi)}, b_{\max_{\ell_\xi}} + 1 + \sum_{u=1}^{\beta} \Delta b_{u, \ell_\xi}^\bullet, \Lambda^{(\ell_\xi - 1)'} \right)_{\ell_\xi}}{V \left(W_{\beta, 1}^{(3, \ell_\xi)}, \Lambda^{(\ell_\xi - 1)'} \right)_{\ell_\xi - 1}} \right], \tag{10}$$

где $W_{\beta, 1}^{(3, \ell_\xi)} = \left\{ w_{u, \ell_\xi} - \left(b_{\max_{\ell_\xi}} + 1 + \sum_{u=1}^{\beta} \Delta b_{u \ell_\xi}^\bullet \right) \right\}_{u=\overline{0, 2}}$; β – индекс итерации

процесса приближения к восстанавливаемому значению ℓ_ξ -го элемента

БП числа, $1 \leq \beta \leq v_{\ell_\xi}$; $V \left(W_{\beta, 1}^{(3, \ell_\xi)}, \Lambda^{(\ell_\xi - 1)'} \right)_{\ell_\xi - 1}$ – количество допустимых

усеченных связанных БП чисел, содержащихся в $(\ell_\xi - 1)$ -мерной полной усеченной связанной биномиально-полиадической (УСБП) линейке с

начальным индексом, равным $\left(b_{\max_{\ell_\xi}} + 1 + \sum_{u=1}^{\beta} \Delta b_{u \ell_\xi}^\bullet \right)$, и с суммами

: $\{w_{0,\ell_\xi}, w_{1,\ell_\xi}, w_{2,\ell_\xi}\}; \sum_{\beta=1}^{v_{\ell_\xi}-1} \Delta b_{\beta,\ell_\xi}^\bullet$ – расстояние между $b_{\max_{\ell_\xi}}$ и истинным значением b_{ℓ_ξ} .

Если неравенство (9) не выполняется, то величина $\Delta b_{u,\ell_\xi}^\bullet$ равна

$$\Delta b_{\beta,\ell_\xi}^\bullet = \frac{\left[V \left(W^{(3,\ell_\xi)}, b_{\max_{\ell_\xi}} + 1 - \sum_{u=1}^{\beta} \Delta b_{u,\ell_\xi}^\bullet, \Lambda^{(\ell_\xi-1)'} \right)_{\ell_\xi} - N \left(W^{(3,\ell_\xi)}, \Lambda^{(\ell_\xi)'} \right)_{\ell_\xi} \right]}{V \left(W_{\beta,2}^{(3,\ell_\xi)}, \Lambda^{(\ell_\xi-1)'} \right)_{\ell_\xi-1}}, \quad (11)$$

4. Проверяется условие $\Delta b_{u,\ell_\xi}^\bullet = 0$. (12)

Если равенство не выполняется, то значение β увеличивается на 1 и осуществляется сдвиг значения $b_{\max_{\ell_\xi}} + 1$ на величину $\sum_{u=1}^{\beta} \Delta b_{u,\ell_\xi}^\bullet$, т.е. линейка с максимальным значением сдвигается в направлении истинного значения восстанавливаемого элемента. После чего организуется пересчет формул (8) – (11).

Если условие (12) выполняется, то процесс приближения считается завершенным, а истинное значение b_{ℓ_ξ} восстановленного ℓ_ξ -го элемента

БП числа будет равно $b_{\ell_\xi} = b_{\max_{\ell_\xi}} + 1 + \sum_{\beta=1}^{v_{\ell_\xi}-1} \Delta b_{\beta,\ell_\xi}^\bullet$, если неравенство (9)

выполняется. В противном случае $b_{\ell_\xi} = b_{\max_{\ell_\xi}} + 1 - \sum_{\beta=1}^{v_{\ell_\xi}-1} \Delta b_{\beta,\ell_\xi}^\bullet$.

5. Проверяется условие $\ell_\xi = 0$. (13)

В случае, когда соотношение (13) не выполняется, то осуществляется переход на восстановление очередного $b_{\ell_\xi-1}$ элемента ξ -го БП числа. Тогда значение кода-номера $N \left(W^{(3,\ell_\xi)}, \Lambda^{(\ell_\xi)'} \right)_{\ell_\xi}$ на ℓ_ξ -м шаге декодирования понижается на величину весового коэффициента элемента

b_{ℓ_ξ} , т.е. определяется значение кода-номера $N\left(W^{(3, \ell_\xi-1)}, \Lambda^{(\ell_\xi-1)}\right)_{\ell_\xi-1}$ для

очередного шага. После чего организуется процесс восстановления элемента $b_{\ell_{\xi-1}}$ на основе выражений (7) – (13).

Если равенство (13) выполняется, то декодирование ξ -го кода-номера завершено и проверяется соотношение

$$\xi = n_{\text{ТСВ}}. \quad (14)$$

Если условие, заданное формулой (14), не выполняется, то проводится переход на декодирование очередного кода-номера $N\left(W^{(3, \eta_{\xi+1})}, \Lambda^{(\eta_{\xi+1})}\right)_{\eta_{\xi+1}}$. В противном случае процесс декодирования

кодов-номеров для всей трехмерной структуры данных является завершенным, т.е. получены элементы всех БП чисел текущей ТСВ.

Этап 4. Для восстановления трехмерной структуры видеоданных необходимо определить позиции элементов БП чисел в ТСВ по формулам:

$$z = 1 + \left[\left(\sum_{\gamma=1}^{\xi-1} \eta_\gamma + \ell_\xi \right) / m \times n \right]; \quad j = 1 + \left[\left(\sum_{\gamma=1}^{\xi-1} \eta_\gamma + \ell_\xi - m \times n [z-1] \right) / m \right];$$

$$i = \sum_{\gamma=1}^{\xi-1} \eta_\gamma + \ell_\xi - m \times n [z-1] - m \times [j-1]. \quad (15)$$

С учетом переиндексации элементы ТСВ равны

$$a''_{ijz} = b_{\ell_\xi}, \quad 1 \leq \ell_\xi \leq \eta_\xi, \quad (16)$$

где b_{ℓ_ξ} – ℓ -й элемент ξ -го биномиально-полиадического числа.

Этап 5. Проводится восстановление исходного динамического диапазона элементов ТСВ. Для этого используется выражение

$$a_{ijz} = a''_{ijz} + a'_{\min_{ij}} + a_{\min_{iz}}, \quad (17)$$

где a_{ijz} – элемент ТСВ с исходным динамическим диапазоном; $a_{\min_{iz}}$ – минимальное значение среди элементов ТСВ по i -й строке z -го горизонтального сечения; $a'_{\min_{ij}}$ – минимальное значение элементов ТСВ по вертикале с координатами (i, j) .

Изображение считается полностью восстановленным тогда, когда получены все ТСВ и проведена расстановка их горизонтальных сечений на исходные позиции в кадре.

Выводы. Разработан метод трехмерного биномиально-полиадического восстановления изображений с нулевой погрешностью, включающий в себя:

1. Восстановление служебной информации о структурных признаках ТСВ.

2. Двухэтапную разметку элементов трехмерных структур видеоданных по биномиально-полиадическим числам. Разметка обеспечивает:

- предварительное (быстрое) и точное определение количества и расположения элементов БП чисел в ТСВ. Это позволяет сократить количество операций на проведение разметки ТСВ до 70%;

- сокращение количества разрядов, затрачиваемых на представление дополнительной служебной информации о размере и позициях элементов БП числа в трехмерной структуре данных.

3. Трехмерное усеченное связное биномиально-полиадическое декодирование, обеспечивающее взаимоднозначное восстановление элементов ТСВ по известному значению кода-номера, по количеству и по найденным позициям элементов БП числа в трехмерной структуре видеоданных.

4. Распределение восстановленных элементов биномиально-полиадических чисел по исходным позициям в трехмерной структуре видеоданных путем организации переиндексации из плавающего в исходный режим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубарев Ю.В., Дворкович В.П. *Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений.* – М.: Международный центр научной и технической информации, 1997. – 212 с.
2. Ватолин В., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. *Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео.* – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
3. Королёв А.В. *Версификационная избыточность изображений // Информацийно-керуючі системи на залізничному транспорті.* – 2002. – № 2. – С. 26 – 30.
4. Баранник В.В. *Метод трехмерного кодирования данных // Системи обробки інформації.* – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2003. – Вып. 1. – С. 42 – 46.
5. Баранник В.В. *Трехмерная биномиально-полиадическая нумерация // Системи обробки інформації.* – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2004. – Вып. 2. – С. 3 – 7.
6. Баранник В.В. *Метод структурного восстановления данных // Вестник НТУ “ХПИ”.* – 2003. – Вып. 26. – С. 103 – 106.

Поступила 29.01.2004

БАРАННИК Владимир Викторович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник информационно-вычислительного центра ХВУ. В 1994 году окончил ХВУ. Об-

ласть научных интересов – обработка и передача информации.