

УДК 629.391

Ю.Н. Рябуха,

кандидат технических наук

МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХМЕРНОГО КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКОВ В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

Доказывается свойство трехмерного полиадического кодирования, состоящее в возможности распараллелить вычисления кода номера для всего трехмерного полиадического числа (ТПЧ). Проводится разработка технологии трехуровневого параллельного трехмерного полиадического кодирования видеоданных. Обосновано, что такое кодирование основано на следующих этапах распараллеливания: параллельного вычисления кода за счет последовательного попарного укрупнения разрядов по столбцам; параллельного вычисления кода для строки за счет последовательного попарного укрупнения разрядов по строкам; распараллеливания для формирования кодов вертикалей на основе параллельного попарного укрупнения разрядов ТПЧ.

Ключевые слова: трехмерное кодирование видеопотоков, трехуровневое кодирование полиадических чисел.

Доведена властивість тривимірного поліадичного кодування, що полягає в можливості розпаралелити обчислення кода номеру для всього тривимірного поліадичного числа (ТПЧ). Проводиться розробка технології тривимірного поліадичного кодування структур відеоданих. Обґрунтовано, що таке кодування ґрунтується на таких етапах розпаралелювання: паралельного обчислення коду за рахунок послідовного попарного укрупнення розрядів за стовпцями; паралельного обчислення кода для рядка за рахунок послідовного попарного укрупнення розрядів по рядкам; розпаралелювання для формування кодів вертикалей на основі паралельного попарного укрупнення розрядів ТПЧ.

Ключові слова: тривимірне кодування відеопотоків, трирівневе кодування поліадичних чисел.

The feature of 3D polyadic coding that is the ability to parallelize computation code numbers for the entire 3D polyadic number is proved. The technology of 3-D polyadic coding of video data structure is developed. It is proved, that such encoding is based on the following stages of parallelization: parallel computing code due to a consistent escalation level column pair; parallel computation for the line through the pair sustained consolidation of discharges in rows; parallel for the forming of codes based on pair-wise parallel verticals escalation level.

Keywords: 3D encoding of video streams, 3D encoding of polyadic numbers.

Введение

Развитие интегрированных распределенных информационных систем неразрывно связано с ростом цифровых объемов обрабатываемых данных, где ключевое место занимают видеoinформационные ресурсы [1]. Данный аспект отражается в государственных программах информатизации и развития телекоммуникаций. В связи с чем актуальным является дальнейшее совершенствование систем обработки и передачи видеопотоков.

Направление такого совершенствования состоит в уменьшении суммарного времени на обработку и передачу достоверных видеоданных с использованием инфокоммуникационных технологий. Это будет возможным в случае одновременного выполнения двух условий, а именно: повышение степени сжатия без внесения погрешности и снижения времени на кодирование данных. Первое условие относится к обеспечению снижения времени передачи данных по сетям. Второе условие – к организации вычислительного процесса. Для выполнения данных условий осуществляется компрессия видеопотока. В то же время многие методы характеризуются тем, что дополнительное увеличение степени сжатия сопровождается ростом количества операций, затрачиваемых на обработку [1–5]. Следовательно, направление разработки методов компрессии, обладающих возможностью повысить степень компактного представления данных и снизить время на их обработку, является актуальным.

Анализ известных методов выявил, что к одним из перспективных методов относятся методы, организующие устранения структурной избыточности. В работах [6; 7] предложен метод кодирования трехмерных полиадических чисел. Данный метод позволяет повысить степень сжатия относительно методов сокращающих статистическую избыточность. Это позволяет снизить время передачи данных по сетям. В то же время компрессия данных проводится на основе последовательной схемы. Основной недостаток поэтапного рекуррентного кодирования состоит в том, что: получение текущего элемента проводится только после обработки предыдущего элемента и проверки текущего элемента на допустимость. В этом случае перед выполнением непосредственного кодирования текущего элемента трехмерного полиадического числа (ТПЧ) требуется вычислить текущее значение накопленного произведения оснований. Однако для обеспечения второго условия совершенствования информационных технологий обработки видеопотоков необходимо организовать снижение времени кодирования. Отсюда *цель статьи* состоит в разработке распараллеливаемого базиса, реализующего трехмерное полиадическое кодирование.

Формирование параллельной реализации трехмерного полиадического кодирования видеоданных

Одним из достоинств трехмерного полиадического кодирования является возможность распараллелить вычисления кода для всего ТПЧ. Это вытекает из физических особенностей процесса трехмерной полиадической нумерации и выбора единой системы оснований.

Для разработки параллельной схемы вычисления кода рассмотрим рекуррентные выражения, позволяющие сформировать код всей трехмерной структуры данных. Схема поэтапного формирования кода-номера для различных уровней укрупнения ТСД показана на рис. 1.

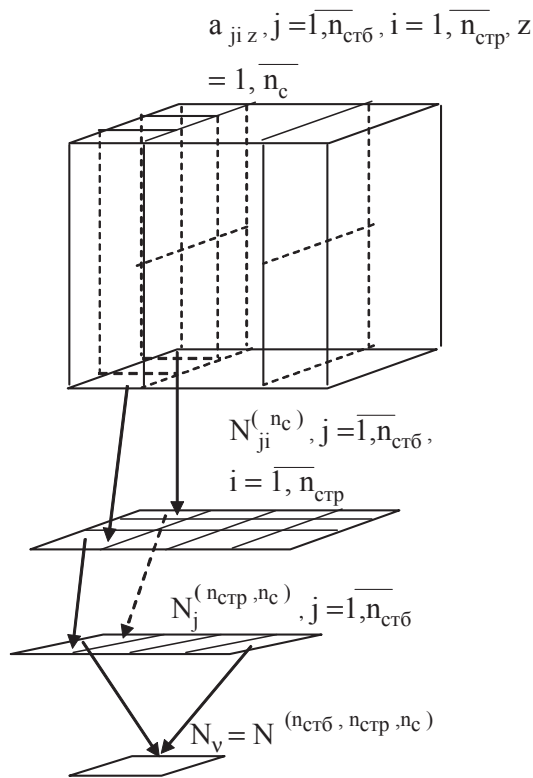


Рис. 1. Схема трехуровневого параллельного трехмерного полиадического кодирования

$$N_v = N^{(n_{стб}, n_{стр}, n_c)};$$

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

$$\text{при } V^{(n_{стб}, n_{стр}, n_c)} = \prod_{\eta=1}^{n_{стб}} V_{\eta}^{(n_{стр}, n_c)} \leq 2^M,$$

где v – индекс параллелепipedной структуры данных; $N^{(n_{стб}, n_{стр}, n_c)}$ – укрупненный разряд $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$ ТПЧ дополнительно по всем $n_{стб}$ столбцам (номер всего параллелепипеда); $V^{(n_{стб}, n_{стр}, n_c)}$ – основание укрупненного разряда $N^{(n_{стб}, n_{стр}, n_c)}$ ТПЧ

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

$N^{(j, n_{стр}, n_c)}$, $N^{(j-1, n_{стр}, n_c)}$ – укрупненные разряды $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$ ТПЧ соответственно по j и $j-1$ столбцу (номер подпараллелепипеда, образованного для n_c сечений, $n_{стр}$ строк и соответственно j и $j-1$ количества столбцов); $N^{(1, n_{стр}, n_c)}$ – код-номер, полученный на основе укрупнения разрядов $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$ по первому столбцу;

$V^{(j, n_{стр}, n_c)}$ – основание укрупненного разряда $N^{(j, n_{стр}, n_c)}$, равная накопленному произведению оснований Ψ_{jiz} для n_c сечений, $n_{стр}$ строк и j -го количества столбцов

(накопленое произведение оснований $V_j^{(n_{стр}, n_c)}$ для j укрупненных по n_c сечениям и по $n_{стр}$ строкам разрядов ТПЧ), а именно:

$$V^{(j, n_{стр}, n_c)} = \prod_{\eta=1}^j \prod_{i=1}^{n_{стр}} \prod_{z=1}^{n_c} \psi_{\eta iz} = \prod_{\eta=1}^j \prod_{i=1}^{n_{стр}} V_{\eta i}^{(n_c)} = \prod_{\eta=1}^j V_{\eta}^{(n_{стр}, n_c)}.$$

Обобщив приведенные формулы, получим соотношения для вычисления укрупненных разрядов соответственно $N^{(n_{стр}, n_{стр}, n_c)}$, $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$ и $N_{ji}^{(n_c)}$:

$$N^{(n_{стр}, n_{стр}, n_c)} = \sum_{j=1}^{n_{стр}} N_j^{(n_{стр}, n_c)} \prod_{\eta=j+1}^{n_{стр}} V_{\eta}^{(n_{стр}, n_c)}; \tag{2.65}$$

$$N_j^{(n_{стр}, n_c)} = \sum_{i=1}^{n_{стр}} N_{ji}^{(n_c)} \prod_{k=i+1}^{n_{стр}} V_{jk}^{(n_c)}; \tag{2.66}$$

$$N_{ji}^{(n_c)} = \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+i}^{n_c} \psi_{ji\gamma}. \tag{2.67}$$

Обобщив формулы (2.65) – (2.67) в одно выражение, получим

$$\begin{aligned} N^{(n_{стр}, n_{стр}, n_c)} &= \sum_{j=1}^{n_{стр}} \left(\sum_{i=1}^{n_{стр}} N_{ji}^{(n_c)} \prod_{k=i+1}^{n_{стр}} V_{jk}^{(n_c)} \right) \prod_{\eta=j+1}^{n_{стр}} V_{\eta}^{(n_{стр}, n_c)} = \\ &= \sum_{j=1}^{n_{стр}} \left(\sum_{i=1}^{n_{стр}} \left(\sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+i}^{n_c} \psi_{ji\gamma} \right) \prod_{k=i+1}^{n_{стр}} V_{jk}^{(n_c)} \right) \prod_{\eta=j+1}^{n_{стр}} V_{\eta}^{(n_{стр}, n_c)}. \end{aligned} \tag{2.68}$$

Данное выражение позволяет распараллелить процесс трехмерного полиадического кодирования.

Разработка трехуровневой параллельной технологии кодирования трехмерных структур данных

В то же время из анализа выражения (2.68) и рекуррентных формул для вычисления разрядов $N^{(n_{стр}, n_{стр}, n_c)}$, $N_j^{(n_{стр}, n_c)}$ и $N_{ji}^{(n_c)}$ следует, что можно организовать конвейерное и **параллельное** вычисление кода-номера N_v на трех этапах укрупнения (рис. 2.7).

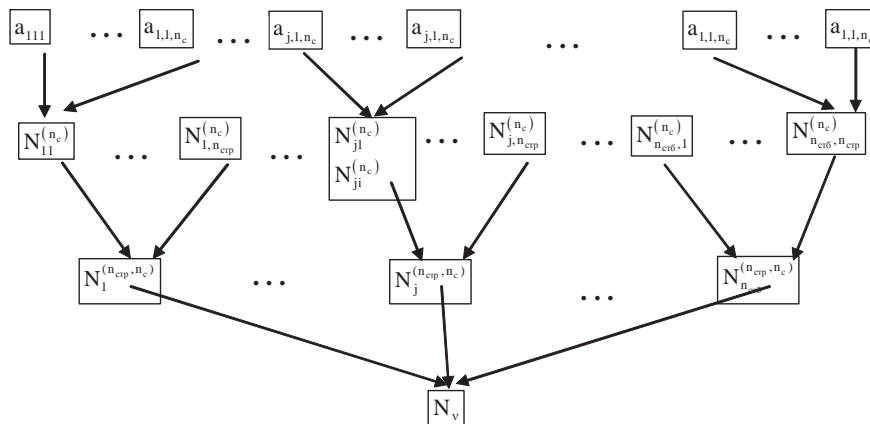


Рис. 2.7. Трехуровневая схема параллельного формирования кода-номера для трехмерного полиадического числа

Рассмотрим *первый этап распараллеливания* (распараллеливание по столбцам). Для этого распишем в формуле (1) отдельные разряды $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$:

$$\begin{aligned} N^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = & \left(N_1^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \times V_2^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_2^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \right) \times \prod_{\eta=3}^{n_{\text{стр}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \\ & + \left(N_3^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \times V_4^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_4^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \right) \times \prod_{\eta=5}^{n_{\text{стр}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \\ & + \left(N_{n_{\text{стр}}-1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \times V_{n_{\text{стр}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{n_{\text{стр}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \right). \end{aligned} \quad (2.69)$$

Обозначив суммы в скобках как $N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$, получим

$$\begin{aligned} N^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = & \left(N_{1,2}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \prod_{\eta=3}^4 V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{3,4}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \right) \times \prod_{\eta=5}^{n_{\text{стр}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \\ & + \left(N_{5,6}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \times \prod_{\eta=7}^8 V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{7,8}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \right) \times \prod_{\eta=9}^{n_{\text{стр}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \\ & + \left(N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \times \prod_{\eta=j+2}^{j+3} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{j+2, j+3}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \right) \times \prod_{\eta=j+4}^{n_{\text{стр}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \\ & + \left(N_{n_{\text{стр}}-1, n_{\text{стр}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \right), \end{aligned} \quad (2.70)$$

где $N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$ – попарноукрупненный по j -му и $(j+1)$ -му столбцам разряд ТПЧ, равный

$$N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \times V_{j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}. \quad (2.71)$$

Из анализа выражения (2.70) вытекает, что оно представляет собой взвешенную сумму попарно укрупненных разрядов $N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$. На следующем шаге продолжим процесс попарного укрупнения по формуле:

$$N_{j, j+1, j+2, j+3}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = N_{j, j+1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \times \prod_{\eta=j+2}^{j+3} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{j+2, j+3}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}, \quad (2.72)$$

где $N_{j, j+1, j+2, j+3}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$ – дважды попарноукрупненный по столбцам $j, j+1, j+2, j+3$ разряд ТПЧ.

На последнем шаге попарного укрупнения смежных разрядов вычисляется сумма следующих элементов

$$N^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} = N_{1,2,\dots,n_{\text{стр}}/2}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} \times \prod_{\eta=n_{\text{стр}}/2+1}^{n_{\text{стр}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} + N_{n_{\text{стр}}/2+1, n_{\text{стр}}/2+2, \dots, n_{\text{стр}}}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}, \quad (2.73)$$

где $N_{1,2,\dots,n_{\text{стр}}/2}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$ и $N_{n_{\text{стр}}/2+1, n_{\text{стр}}/2+2, \dots, n_{\text{стр}}}^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$ – разряды ТПЧ, полученные на основе последовательного попарного укрупнения соответственно для первой и второй равных частей столбца.

Таким образом, выражения (2.69) – (2.73) задают схему параллельного вычисления кода-номера N_{ν} за счет последовательного попарного укрупнения (получение диполиадических чисел) разрядов $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$ по столбцам. Дальнейшего распараллеливания процесса трехмерной полиадической нумерации можно добиться в результате параллельного вычисления разрядов $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})}$.

Рассмотрим **второй этап распараллеливания** (распараллеливания по строкам). В этом случае отдельные разряды $N_{ji}^{(n_c)}$ в формуле (2.38) надо расписать по формулам: $N_j^{(1, n_c)} = N_{j1}^{(n_c)}$; $N_j^{(i, n_c)} = N_j^{(i-1, n_c)} V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)}$. Тогда получим

$$N_j^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} = (N_{j1}^{(n_c)} \times V_{j2}^{(n_c)} + N_{j2}^{(n_c)}) \times \prod_{k=3}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + (N_{j3}^{(n_c)} \times V_{j4}^{(n_c)} + N_{j4}^{(n_c)}) \times \prod_{k=5}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + \dots + (N_{j, n_{\text{стр}}-1}^{(n_c)} \times V_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)} + N_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}). \quad (2.74)$$

По аналогии с предыдущим этапом обозначим сумму в скобках как $N_{ji, i+1}^{(n_c)}$. Тогда выражение (2.74) на следующем шаге примет вид

$$N_j^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} = (N_{j1,2}^{(n_c)} \times \prod_{k=3}^4 V_{jk}^{(n_c)} + N_{j3,4}^{(n_c)}) \times \prod_{k=5}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + (N_{j5,6}^{(n_c)} \times \prod_{k=7}^8 V_{jk}^{(n_c)} + N_{j7,8}^{(n_c)}) \times \prod_{k=9}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + \dots + (N_{ji, i+1}^{(n_c)} \times \prod_{k=i+2}^{i+3} V_{jk}^{(n_c)} + N_{ji+2, i+3}^{(n_c)}) \times \prod_{k=i+4}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + \dots + (N_{j, n_{\text{стр}}-1, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}), \quad (2.75)$$

где $N_{ji, i+1}^{(n_c)}$ – попарноукрупненный по i -й и $(i+1)$ -й строкам разряд ТПЧ, равный

$$N_{ji, i+1}^{(n_c)} = N_{ji}^{(n_c)} \times V_{j, i+1}^{(n_c)} + N_{j, i+1}^{(n_c)}. \quad (2.76)$$

На последнем шаге попарного укрупнения по строкам вычисляется сумма следующих диполиадических чисел

$$N_j^{(n_{\text{стр}}, n_{\text{с}})} = N_{j, 1, 2, \dots, n_{\text{стр}}/2}^{(n_c)} \times \prod_{k=n_{\text{стр}}/2+1}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} + N_{j, n_{\text{стр}}/2+1, n_{\text{стр}}/2+2, \dots, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}, \quad (2.77)$$

где $N_{j,1,2,\dots,n_{\text{стр}}/2}^{(n_c)}$ и $N_{j,n_{\text{стр}}/2+1,n_{\text{стр}}/2+2,\dots,n_{\text{стр}}}^{(n_c)}$ – разряды (диполиадические числа) ТПЧ, полученные на основе последовательного попарного укрупнения соответственно для первой и второй равных частей строки.

Распараллеливание вычисления разрядов $N_j^{(n_{\text{стр}},n_c)}$ как и для первого этапа осуществляется за счет параллельного укрупнения каждой пары разрядов на соответствующем уровне (всего $\log_2 n_{\text{стр}}$ уровней).

Таким образом, выражения (2.74) – (2.77) задают схему параллельного вычисления кода-номера $N_j^{(n_{\text{стр}},n_c)}$ для j -й строки за счет последовательного попарного укрупнения (получение диполиадических чисел) разрядов $N_{ji}^{(n_c)}$ по строкам. Дополнительное распараллеливание процесса формирования кода-номера для параллелепipedной структуры организуется за счет параллельного вычисления кодов-номеров $N_{ji}^{(n_c)}$ ji -х вертикалей.

Рассмотрим **третий этап распараллеливания** (распараллеливания по сечениям). На этом этапе требуется разработать схему параллельного вычисления величин $N_{ji}^{(n_c)}$. Для этого необходимо представить выражение (2.67) в виде попарного укрупнения смежных разрядов a_{jiz} . С учетом выражения (2.77) для попарного укрупнения (вычисление диполиадических чисел для вертикалей) разрядов a_{jiz} ТПЧ формула (2.67) примет вид

$$N_{ji}^{(n_c)} = (a_{ji1} \times \psi_{ji2} + a_{ji2}) \times \prod_{\gamma=3}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + (a_{ji3} \times \psi_{ji4} + a_{ji4}) \times \prod_{\gamma=5}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \dots + (a_{ji,n_c-1} \times \psi_{jin_c} + a_{jin_c}). \quad (2.78)$$

По аналогии с предыдущими этапами распараллеливания на следующем шаге формула (2.78) преобразуется к виду

$$N_{ji}^{(n_c)} = (a_{ji1,2} \times \prod_{\gamma=3}^4 \psi_{ji\gamma} + a_{ji3,4}) \times \prod_{\gamma=5}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + (a_{ji5,6} \times \prod_{\gamma=7}^8 \psi_{ji\gamma} + a_{ji7,8}) \times \prod_{\gamma=9}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \dots + (a_{jiz,z+1} \times \prod_{\gamma=z}^{z+1} \psi_{ji\gamma} + a_{jiz+2,z+3}) \times \prod_{\gamma=z+4}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \dots + (a_{ji,n_c-1,n_c}), \quad (2.79)$$

где $a_{jiz,z+1}$ – диполиадическое число, полученное за счет укрупнения разрядов a_{jiz} для z -го и $(z+1)$ -го сечений.

Продолжая процесс параллельного формирования диполиадических чисел по вертикалям, получим на последнем шаге сумму величин

$$N_{ji}^{(n_c)} = a_{ji,1,2,\dots,n_c/2} \times \prod_{\gamma=n_c/2+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + a_{ji,n_c/2+1,n_c/2+2,\dots,n_c}, \quad (2.80)$$

где $a_{ji,1,2,\dots,n_c/2}$ и $a_{ji,n_c/2+1,n_c/2+2,\dots,n_c}$ – диполиадические числа, полученные на основе последовательного попарного укрупнения соответственно для первой и второй равных частей вертикали.

Формулы (2.78) – (2.80) определяют процесс распараллеливания для формирования кодов-номеров $N_{ji}^{(n_c)}$ вертикалей на основе параллельного попарного укрупнения разрядов a_{jiz} ТПЧ. Обобщенная для трех этапов (по трем направлениям) схема формирования кода-номера N_v выводится при вложенной подстановки формул (2.69) – (2.80) в выражение (2.68). В этом случае распараллеливание достигается за счет одновременного попарного укрупнения разрядов a_{jiz} ТПЧ по всем вертикалям.

Таким образом, получены системы выражений, обеспечивающих распараллеливание процесса трехмерного полиадического кодирования данных на следующих этапах: параллельного вычисления кода-номера N_v за счет последовательного попарного укрупнения (получение диполиадических чисел по столбцам) разрядов $N_j^{(n_{сп}, n_c)}$ по столбцам; параллельного вычисления кода-номера $N_j^{(n_{сп}, n_c)}$ для j -й строки за счет последовательного попарного укрупнения (получение диполиадических чисел по строкам) разрядов $N_{ji}^{(n_c)}$ по строкам; распараллеливания для формирования кодов-номеров $N_{ji}^{(n_c)}$ вертикалей на основе параллельного попарного укрупнения разрядов a_{jiz} ТПЧ; распараллеливание за счет одновременного попарного укрупнения разрядов a_{jiz} ТПЧ по всем вертикалям.

Выводы

1. Обосновано свойство трехмерного полиадического кодирования, состоящее в возможности распараллелить вычисления кода номера для всего трехмерного полиадического числа (ТПЧ). Это вытекает из физических особенностей процесса трехмерной полиадической нумерации и выбора единой системы оснований.

2. Разработана технология трехуровневого параллельного трехмерного полиадического кодирования структур видеоданных. За счет этого была разработана параллельная реализация трехмерного полиадического кодирования. Такое кодирование основано на следующих этапах распараллеливания: параллельного вычисления кода-номера N_v за счет последовательного попарного укрупнения (получение диполиадических чисел по столбцам) разрядов $N_j^{(n_{сп}, n_c)}$ по столбцам; параллельного вычисления кода-номера $N_j^{(n_{сп}, n_c)}$ для j -й строки за счет последовательного попарного укрупнения (получение диполиадических чисел по строкам) разрядов $N_{ji}^{(n_c)}$ по строкам; распараллеливания для формирования кодов-номеров $N_{ji}^{(n_c)}$ вертикалей на основе параллельного попарного укрупнения разрядов a_{jiz} ТПЧ; распараллеливание за счет одновременного попарного укрупнения разрядов a_{jiz} ТПЧ по всем вертикалям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Баранник В.В. Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. – Х.: ХУПС, 2009. – 252 с.
4. Беляев Е.А. Сжатие видеoinформации на основе трехмерного дискретного псевдо-косинусного преобразования для энерго эффективных систем видеонаблюдения / Е.А. Беляев, Т.М. Сухов, Н.Н. Шостацкий // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, 2. – С. 260–272.
5. Glen P. Abousleman, Michael W. Marcellin, Bobby R. Hunt. Compression of hyperspectral imagery using the 3-D DCT and hybrid DPCM-DCT, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, vol. 33. No. 1, 1995.

6. Yui-Lam Chan and Wan-Chi Siu. Variable temporal-length 3-D discrete cosine transform coding // IEEE Transactions on image processing, Vol. 6, No. 5, 1997.

7. B. Furht, Ken Gustafson, Hesong Huang and Oge Marques, An Adaptive Three-Dimensional DCT Compression Based on Motion Analysis // Proceedings of the 2003 ACM symposium on Applied computing, 2003.

8. *T. Mekky*. On the computation of the 3-D DCT // IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, vol. 3, pp.1141 – 1143, 2003.

3. *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.

9. *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 04.08.2014