

# Обработка інформації в складних технічних системах

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник<sup>1</sup>, Ю.Н. Колтун<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський університет Воздушних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

<sup>2</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИАДИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ

*Выявляются отличительные требования к методам сжатия изображений в системах аэрокосмического мониторинга. Обосновывается направление совершенствования процессов компрессии изображений для повышения эффективности функционирования систем аэрокосмического мониторинга. Излагаются основные этапы разработки методологии формирования компонентных составляющих динамического сжатия. Показывается, что для уменьшения суммарного количества разрядов на кодовое представление элементов видеопоследовательностей в системе динамического сжатия требуется строить многоуровневое дифференциальное полиадическое пространство.*

**Ключевые слова:** динамическое полиадическое кодирование, аэрокосмический мониторинг.

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

В современных мировых условиях важная составляющая развития общества заключается в создании и совершенствовании систем аэрокосмического мониторинга (АКМ) [1; 2]. Аэрокосмический мониторинг осуществляется на основе использования группировки низкоорбитальных космических аппаратов (КА), беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), аэробусов и пилотируемых летательных аппаратов (ПЛА).

Однако технические возможности подсистемы обработки и передачи видеoinформации для космического и наземного сегментов систем аэрокосмического мониторинга не адекватны объемам информационных потоков, требуемых для безошибочного решения комплекса общемировых и отраслевых задач в реальном времени. Необходимо решить *научно-прикладную задачу*, состоящую в повышении оперативности доведения видеоданных в системах аэрокосмического мониторинга для заданного уровня достоверности получаемой информации.

#### Обоснование базовой технологии динамического сжатия изображений

Одно из направлений снижения суммарного времени на обработку и передачу достоверной видеoinформации на основе уменьшения их объемов заключается в использовании подсистем сжатия изображений (ПСИ) [3; 4].

Отличительные требования к системам сжатия изображений АКМ вызваны:

1) особенностями систем АКМ, проявляющимися в ограничениях относительно: времени сеанса связи; пропускной способности каналов связи; вычислительных возможностей бортовых систем обработки данных; энергетических ресурсов борта летательного аппарата; допустимых вносимых погрешностей на этапе цифровой обработки, что диктуется повышенным требованием относительно разрешения снимков и степени достоверности получаемой информации; возможности предварительного анализа изображений с участием человека; участия оператора в анализе изображения в центрах приема и сбора информации – проводится машинная обработка без участия человека;

2) особенностями формирования изображений на борту летательных аппаратов, а именно: строятся многоканальные изображения, каждое из которых имеет большой объем порядка нескольких сотен Мбит; нестационарность статистических свойств для отдельных изображений, проявляющаяся в интенсивном изменении значений элементов изображений, отсутствии линейных статистических зависимостей между элементами кадра; наличии корреляции между изображениями как составляющими МКИ.

С учетом данных особенностей к методам сжатия видеоданных в системах АКМ выдвигаются следующие требования:

1. Необходимо совместить, возможно, высокую скорость формирования информационного потока с возможностью реализации сжатия бортовыми вычислительными системами.

2. Увеличить объем  $Q$  передаваемых видеоданных за время сеанса между летательным аппаратом и пунктом приема информации.

3. Обработка должна осуществляться с учетом: отсутствия априорных сведений об изображении; наличия возможности автоматически управлять степенью сжатия, количеством операций на обработку и величиной PSNR .

4. Технология сжатия изображений должна иметь возможность осуществлять обработку в одном потоке с компактным представлением телеметрических и полетных данных.

5. Обработка изображений должна осуществляться как на основе устранения статистической избыточности, так и на основе сокращения других видов избыточности.

В качестве базового подхода для создания метода компрессии предлагается использовать компактное представление, основанное на стационарном одноуровневом полиадическом кодировании (СОПК). Это обосновывается: меньшей зависимостью степени сжатия от статистических свойств изображений; обработкой без внесения погрешности; линейной затратой количества целочисленных операций; степень сжатия сложно-структурных изображений на уровне степени сжатия, обеспечиваемой методами форматов JPEG и JPEG2000.

Для кода СОПК характерна:

1. Стационарность кодирования, заключающаяся в том, что не учитывается изменение динамического диапазона внутри обрабатываемого массива видеоданных.

2. Одноуровневость кодирования, состоящая в том, что основаниями элементов полиадического числа являются абсолютные значения их динамических диапазонов относительно нулевого уровня шкалы квантования.

Данные особенности СОПК приводят к недостаткам, заключающимся в:

а) снижении степени сжатия за счет:

- увеличения динамического диапазона обрабатываемых данных. Это приводит к увеличению значений весовых коэффициентов элементов полиадического числа, а как следствие к повышению значения кода-номера.

- затрат количества разрядов на представление служебной информации – на представление оснований полиадического числа. Это приводит к снижению степени сжатия и к отсутствию такого свойства как минимальное гарантированное значение степени сжатия;

б) увеличению количества операций на обработку в результате: выполнения двух проходов для формирования кодограммы (первый проход выполняется для формирования единой системы оснований, второй – для вычисления кода-номера); увеличения цифрового объема промежуточных данных (поскольку требуется хранить массивы данных больших размеров).

Для выхода из такой ситуации предлагается организовывать сжатие видеоданных на основе динамической обработки. Поэтому предлагается разработать динамическое сжатия изображений на базе

полиадического кодирования, обеспечивающего сокращение комбинаторной избыточности [4; 5]. **Цель исследований** состоит в разработки компонентных составляющих динамического полиадического кодирования

### Разработка методологии формирования компонент динамического сжатия блоков видеоданных

Для уменьшения суммарного количества разрядов на кодовое представление элементов видеопоследовательностей предлагается:

1. *Строить многоуровневое дифференциальное полиадическое пространство на основе таких подходов.*

**Многоуровневость.** В этом случае для количества уровней в пространстве диапазонов выполняется неравенство  $K \geq 2$ , т.е.  $K = k_B + |k_H|$ .

Данный подход обусловлен тем, что с увеличением количества уровней в динамическом пространстве снижается кодовый объем  $Q(\Theta_{K,T})$ , затрачиваемый на представление видеопоследовательности  $\Theta_{K,T}$ . Видеопоследовательность  $\Theta_{K,T}$  формируется на основе T-последовательности блоков видеоданных, размером  $m \times n$ . Индекс начального уровня равен  $k=0$ . Индексы остальных уровней изменяются от 1 до  $k_B$ , если элементы имеют больший относительно начального уровня динамический диапазон. И, наоборот, от  $-1$  до  $k_H$ , в случае, когда элементы имеют меньший динамический диапазон по сравнению с начальным;

**Динамичность.** В этом случае количество уровней  $K$ , границы уровней  $d_{\min}^{(k)}$ ,  $d_{\max}^{(k)}$  и его высота  $d^{(k)}$  изменяются в зависимости от поступающих на обработку элементов  $x(t)_j$  видеопоследовательности. В таком случае между границами уровней МДПП будет существовать следующая взаимосвязь:

- случай увеличения значений обрабатываемых элементов относительно максимального уровня

$$x(t)_j \geq d_{\max}^{(k_B)}, \quad (1)$$

где  $k_B$  - индекс верхнего уровня МДПП,  $k_B = \max_{1 \leq k \leq K} \{k\}$ ;  $d_{\max}^{(k_B)}$  - верхнее значение диапазона уровня  $k_B$ .

Для такого случая верхняя граница  $d_{\max}^{(k_B+1)}$  нового уровня  $(k_B+1)$  будет равна максимальному значению  $\lambda(t)_i$  из  $n$  элементов, для которых выполняется неравенство (1):

$$d_{\max}^{(k_B+1)} = \lambda(t)_i = \max_{1 \leq j \leq n} \{x(t)_j\} + 1. \quad (2)$$

Нижнее значение  $d_{\min}^{(k_B+1)}$  уровня  $(k_B+1)$  выражается через значение  $d_{\max}^{(k_B)}$ :

$$d_{\min}^{(k_B+1)} = d_{\max}^{(k_B)} \quad (3)$$

- вариант, когда для значений обрабатываемых элементов относительно минимального уровня  $k_H$  МДПП выполняется условие

$$x(t)_{ij} < d_{\min}^{(k_H)} \quad (4)$$

где  $d_{\min}^{(k_H)}$  - нижнее значение диапазона уровня  $k_H$ , т.е.  $k_H = \min_{1 \leq k \leq K} \{k\}$ . Тогда верхняя граница  $d_{\max}^{(k_H-1)}$  нового уровня  $(k_H-1)$  будет равна минимальному значению  $d_{\min}^{(k_H)}$  диапазона нижнего уровня  $k_H$

$$d_{\max}^{(k_H-1)} = d_{\min}^{(k_H)} \quad (5)$$

Нижнее значение  $d_{\min}^{(k_H-1)}$  уровня  $(k_H-1)$  будет равно величине  $\alpha(t)_i$ , определяемой как минимальное значение из  $n$  элементов, для которых выполняется неравенство (4):

$$d_{\min}^{(k_H-1)} = \alpha(t)_i = \min_{1 \leq j \leq n} \{x(t)_{ij}\} \quad (6)$$

Для формируемых границ уровней МДПП на основе соотношений (2), (3) и (5), (6) существует зависимость между значениями  $d_{\min}^{(k)}$ ,  $d_{\max}^{(k)}$  уровня  $k$  и остальными (предыдущими и последующими  $\xi = \overline{1, K}$ ,  $\xi \neq k$ ) уровнями МДПП, которая выражается следующими системами формул:

$$d_{\max}^{(k)} = \begin{cases} \min_{k+1 \leq \xi \leq k_B} \{d_{\min}^{(\xi)}\}, & \text{для } k \leq k_B; \\ \lambda(t)_i, & \text{для } k > k_B; \end{cases} \quad (7)$$

$$d_{\min}^{(k)} = \begin{cases} \max_{0 \leq \xi \leq k-1} \{d_{\max}^{(\xi)}\}, & \text{для } k \geq 1; \\ \max_{k_H \leq \xi \leq -1} \{d_{\max}^{(\xi)}\}, & \text{для } k = 0; \end{cases} \quad (8)$$

$$d_{\max}^{(k)} = \min_{k+1 \leq \xi \leq 0} \{d_{\min}^{(\xi)}\}, \text{ для } k_H \leq k < 0; \quad (9)$$

$$d_{\min}^{(k)} = \begin{cases} \max_{k_i \leq \xi \leq k-1} \{d_{\max}^{(\xi)}\}, & \text{а } \ddot{a} \ddot{e} \ddot{y} k_i \leq k < 0; \\ \alpha(t)_i, & \text{а } \ddot{a} \ddot{e} \ddot{y} k < k_i. \end{cases} \quad (10)$$

Соотношения (7) – (10) задают динамический подход относительно определения границ уровней многоуровневого дифференциального полиадического пространства (МДПП);

**Дифференциальность.** Динамический диапазон элементов  $\theta(k, t)_{ij}$ , принадлежащих  $k$ -му уровню находится как

$$d^{(k)} = d_{\max}^{(k)} - d_{\min}^{(k)} \quad (11)$$

Причем значения  $d_{\min}^{(k)}$  и  $d_{\max}^{(k)}$  отсчитываются от начального уровня исходной шкалы квантования, т.е.  $0 \leq d_{\min}^{(k)} \leq N$ ,  $0 \leq d_{\max}^{(k)} \leq N$ , где  $N$  - количество уровней квантования при оцифровке изображения.

С другой стороны на основе систем выражений

(7) – (10) величины  $d_{\min}^{(k)}$  и  $d_{\max}^{(k)}$  можно вычислить с учетом предыдущих значений границ уровней МДПП:

$$d_{\max}^{(k)} = d_{\min}^{(k_H)} + \sum_{\xi=k_H}^k d^{(\xi)}; \quad (12)$$

$$d_{\min}^{(k)} = \begin{cases} d_{\min}^{(k_H)} + \sum_{\xi=k_H}^{k-1} d^{(\xi)}, & \text{для } k \geq 0; \\ d_{\min}^{(k_H)} + \sum_{\xi=k_H}^{k+1} d^{(\xi)}, & \text{для } k < 0, \end{cases} \quad (13)$$

где  $\sum_{\xi=k_H}^k d^{(\xi)}$  - сумма динамических диапазонов для

предшествующих уровней и  $k$ -го уровня МДПП.

На основе выражений (12) и (13) описание МДПП можно строить не на последовательности величин  $d_{\min}^{(k)}$  и  $d_{\max}^{(k)}$ ,  $k = \overline{k_H, k_B}$ , а на последовательности пар  $\{d^{(k)}; k\}$ ,  $k = \overline{k_H, k_B}$  и значения нижней границы  $d_{\min}^{(k_H)}$  минимального уровня МДПП.

Значение величины динамического диапазона  $d^{(k)}$  для  $k$ -го уровня МДПП через информацию о предыдущих уровнях определяется по формуле

$$d^{(k)} = d_{\max}^{(k)} - d_{\min}^{(k_H)} - \sum_{\xi=k_H}^{k-1} d^{(\xi)}. \quad (14)$$

На кодовое представление величин  $d^{(k)}$  потребуется значительно меньшее количество разрядов, чем на представление величин  $d_{\max}^{(k)}$ .

**Полиадичность.** На значения величин  $d^{(k)}$  не накладываются ни какие ограничения кроме условия  $\theta(k, t)_{ij} < d^{(k)}$ ,  $k = \overline{1, K}$ . Здесь  $\theta(k, t)_{ij}$  -  $(i; j)$ -й элемент  $t$ -го блока в многоуровневом дифференциальном пространстве. Тогда в общем случае величины  $d^{(k)}$  не будут равны друг другу. Количество комбинаций, которое можно составить из последовательности, элементы которой принадлежат одному из уровней МДПП равно

$$\prod_{k=k_H}^{k_B} d^{(k)} = \prod_{k=k_H}^{k_B} (d_{\max}^{(k)} - d_{\min}^{(k_H)} - \sum_{\xi=k_H}^{k-1} d^{(\xi)}).$$

2. Для сокращения количества оснований организовывать направление обхода элементов в последовательности блоков  $X_t$  видеоданных по следующему принципу (рис. 1):

- сначала обходятся строки  $t$ -го массива  $1 \leq j \leq n$ ;

- если  $j=n$  и  $i=m$ , то осуществляется переход на обработку строки  $(t+1)$ -го массива видеоданных.

Количество оснований (т.е. количество уровней МДПП) сокращается за счет учета когерентности изображений по строкам, столбцам и между блоков видеопоследовательности.

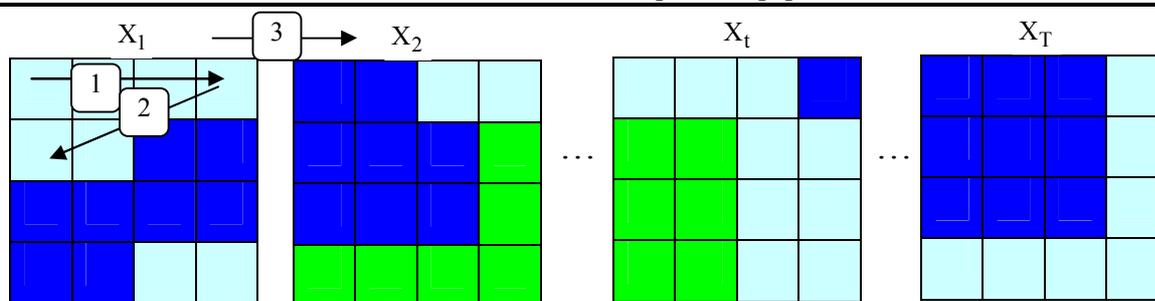


Рис. 1. Схема обхода элементов видеопоследовательности

На основе изложенного материала следует, что обоснованы: основные подходы для построения многоуровневого дифференциального полиадического пространства; порядок обхода элементов в последовательности блоков видеоданных.

Для организации сжатия изображений на основе предложенных подходов требуется: разработать метод формирования уровней МДПП; построить кодирование элементов с одновременным учетом предложенных подходов.

### Выводы

Разработана методология формирования компонентных составляющих динамического сжатия. Обосновано, что для уменьшения суммарного количества разрядов на кодовое представление элементов видеопоследовательностей в системе динамического сжатия требуется строить многоуровневое дифференциальное полиадическое пространство на основе таких подходов как:

- многоуровневость, обусловленная тем, что с увеличением количества уровней в динамическом пространстве снижается кодовый объем, затрачиваемый на представление видеопоследовательности;
- динамичность – количество уровней, границы уровней и его высота изменяются в зависимости от поступающих на обработку элементов видеопоследовательности;
- дифференциальность – динамический диапазон элементов данных, принадлежащих уровню

МДПП рассчитывается как разность между его максимальным и минимальным значениями;

- полиадичность, на значения величин оснований не накладываются ограничения.

Для сокращения количества оснований организовывать направление обхода элементов в последовательности блоков видеоданных по следующему принципу: сначала обходятся строки массива сверху вниз, а затем элементы очередного блока слева направо.

### Список литературы

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1073 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. Динамическое кодирование трансформант изображений в двухуровневом полиадическом пространстве / В.В. Баранник, И.В. Хаханова, В.В. Елисеев // Радиотехника и информатика. – Вып. 2. – 2007. – С. 90 – 96.
5. Колтун Ю.Н. Метод формирования динамических полиадических чисел в одноуровневом дифференциальном пространстве / Ю.Н. Колтун // Сучасна спеціальна техніка. – Вып. 4(19). – 2010. – С. 30 – 36.

Поступила в редколлегию 1.03.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.И. Хаханов, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### МЕТОДОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ КОМПОНЕНТНИХ СКЛАДОВИХ ДИНАМІЧНОГО ПОЛІАДИЧНОГО КОДУВАННЯ

В.В. Баранник, Ю.М. Колтун

*Виявляються відмітні вимоги до методів стискування зображень в системах аерокосмічного моніторингу. Обґрунтовується напрям вдосконалення процесів компресії зображень для підвищення ефективності функціонування систем аерокосмічного моніторингу. Висловлюються основні етапи розробки методології формування компонентних складових динамічного стискування. Показується, що для зменшення сумарної кількості розрядів на кодове представлення елементів відео послідовностей в системі динамічного стискування потрібно будувати багаторівневий диференціальний поліадичний простір.*

**Ключові слова:** динамічне поліадичне кодування, аерокосмічний моніторинг.

### METHODOLOGY OF FORMING OF COMPONENT CONSTITUENTS OF THE DYNAMIC POLYADICAL ENCODING

V.V. Barannik, Yu.N. Koltun

*Distinctive requirements come to light to the methods of compression of images in the systems of the aerospace monitoring. Direction of perfection of processes of compression of images is grounded for the increase of efficiency of functioning of the systems of the aerospace monitoring. Basic design of methodology of forming of component constituents of dynamic compression times are expounded. Shown, that for diminishing of total amount of digits on code presentation of elements of video sequences in the system of dynamic compression it is required to build multilevel differential polyadical space.*

**Keywords:** dynamic polyadical encoding, aerospace monitoring.