УДК 629.391

В.В. БАРАННИК, П.Н. ГУРЖИЙ

Харьковский университет Воздушных Сил, Украина

ПОЛИАДИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ МАССИВОВ ДЛИН СЕРИЙ В СМЕШАННОЙ СИСТЕМЕ ОСНОВАНИЙ

Излагается смешанное полиадическое кодирование массивов длин серий. Проводится оценка степени сжатия видеоданных.

смешанное полиадическое пространство, разностное полиадическое пространство, длины серий, комбинаторная избыточность

Введение

Современный этап развития авиационных систем характеризуется растущими объемами обрабатываемой и передаваемой телеметрической информации. Это позволяет передавать и обрабатывать в реальном времени лишь очень ограниченные объемы необходимой информации [1]. Модернизация старых и разработка новых каналов связи с более высокой пропускной способностью является дорогостоящим и не всегда себя оправдывающим процессом. Одно из направлений решения данного противоречия состоит в сжатии информации. В настоящие время среди методов сжатия используются как методы с потерей качества восстановленных изображений, так и без потери. Методы с потерей качества обеспечивают наибольшие степени сжатия. Однако при этом могут возникнуть безвозвратные потери информации [2]. Поэтому разработка методов сжатия видеоданных, позволяющих дополнительно повысить степень сжатия без потери качества восстановленных изображений, является актуальным направлением.

Формулирование проблемы. Проведенный анализ свойств различных классов изображений показал, что они обладают структурной избыточностью, вызванной повторяемостью элементов. Для устранения такого вида избыточности используется кодирование с выявлением длин серий (ДС). К достоинствам метода относятся простота технической реализации, небольшое количестве операций на обработку, сжатие без внесения погрешности. Одним из методов, обеспечивающих наибольшую степень сжатия изображений с выделением ДС, является метод комбинированного полиадического кодирования ДС и цветовых координат [3]. Однако, ему присущи недостатки, состоящие в том, что:

– при обработке реалистических изображений с преобладанием серий единичной длины коэффициент сжатия снижается;

– отбор элементов для полиадического кодирования осуществляется на основе по-столбцовой схемы. Такая обработка приводит к повышению времени сжатия изображений и уменьшению коэффициента сжатия. Поэтому ***цель статьи*** заключается в разработке метода, который обеспечит повышение коэффициента сжатия для различных классов изображений без потери качества при их восстановлении. На величину коэффициента сжатия изображений на основе полиадического кодирования влияют динамический диапазон длин серий и количество разрядов, затрачиваемое на представление служебной информации [4]. Для рассматриваемого кодирования в качестве служебной информации выступают основания полиадических чисел, причем служебной информацией при кодировании массивов ДС в абсолютном полиадическом пространстве (АПП) будут являться основания двумерного полиадического числа – $\psi_{ij}^{\partial c}$, а при представлении массивов ДС в разностном полиадическом пространстве (РПП) дополнительной служебной информацией являются минимальные значения в строках $\mu_i^{\partial c}$. При обработке реалистических изображений в массивах ДС характерно появление строк, которые полностью состоят из единичных серий. Значит для уменьшения затрат на представление служебной информации и соответственно уменьшения объема кодового представления сжатого изображения предлагается проводить кодирование массива ДС в смешенном полиадическом пространстве. В этом случае кодирование строк массива ДС будет осуществляться в абсолютном полиадическом пространстве, если максимальное значение длинны серии $\lambda_i^{\partial c}$ в i-й строке массива ДС равно 1. В противном случае кодирование строк массива ДС организовывается в разностном полиадическом пространстве.

Разработка полиадического кодирования массивов длин серий в смешанной системе оснований

В связи с тем, что единичные серии преобладают в реалистических изображениях, возможны варианты, когда нулевые элементы будут образовывать полную строку массива ДС, при этом. максимальное значение $\lambda_i^{\partial c}$ в этой строке будет равно 1. Следовательно, количество разрядов, затрачиваемых на представление кода расстояния массива ДС в разностном полиадическом пространстве, будет равно количеству разрядов, отводимых на представление кода массива ДС в абсолютном полиадическом пространстве. Но при этом будут затрачиваться дополнительные разряды на служебную информацию. Для строк с динамическим диапазоном большим 1, количество разрядов, затрачиваемых на компактное представление массива ДС в разностном полиадическом пространстве, будет меньше, чем количество разрядов, отводимых на его представление в абсолютном пространстве. При обработке в смешанном полиадическом пространстве (СПП) формирование кода-номера осуществляется одновременно для элементов массивов ДС независимо от того, в каком пространстве они представлены. Тогда значения $\mu_i^{\partial c}$ будут передаваться только для тех строк, которые представлены в разностном полиадическом пространстве.

Вид кодовой комбинации в смешанном полиадическом пространстве приведен на рис. 1.

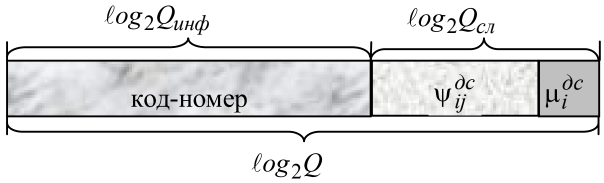

Рис. 1. Кодовая комбинация массива ДС в СПП

На рис. 1 величина $\ell og_2 Q_{инф}^{\partial c}$ представляет собой количество разрядов, затрачиваемых на представление информационной части кода, $\ell og_2 Q_{сл}^{\partial c}$ – количество разрядов, затрачиваемых на представление служебной части. Количество разрядов, отводимое на представление служебной информации $\ell og_2 Q_{сл}^{\partial c}$ в смешанном пространстве определяется по формуле:

$$\ell og_2 Q_{сл} = (y\, m + n)\, \ell og_2\ \ell_{\max}\,,\ 1 \le y \le 2\,, \qquad (1)$$

где y – коэффициент, зависящий от того, какое количество строк массива ДС обработано в разностном полиадическом пространстве. Если все строки представлены в АПП, то y = 1. Если все строки представлены в РПП, то y = 0. В случае, когда одна половина строк массива ДС обработана в РПП, а вторая часть в АПП, $y = 1{,}5$.

Описание смешанного полиадического пространства основывается на векторе Z, состоящем из ограничений:

$$Z = \left\{ z_{i1}^{\partial c}, z_{i2}^{\partial c}, \ldots, z_{in}^{\partial c} \right\};\; z_{ij}^{\partial c} = \begin{cases} s_{ij}^{\partial c}, \text{ если } \lambda_i^{\partial c} > 1; \\ \psi_{ij}^{\partial c}, \text{ если } \lambda_i^{\partial c} = 1, \end{cases} \quad (2)$$

где $s_{ij}^{\partial c}$ – разность между максимальным $\psi_{ij}^{\partial c}$ и минимальным $\mu_i^{\partial c}$ значениями в i-й строке массива ДС:

$$s_{ij}^{\partial c} = \psi_{ij}^{\partial c} - \mu_i^{\partial c}, \qquad j = \overline{1, n}; \quad (3)$$

$$\mu_i^{\partial c} = \min_{1 \le j \le n} \left\{ \ell_{ij} \right\},\; i = \overline{1, m}_{\partial c},\; \mu_i^{\partial c} \le \ell_{ij} \le \psi_{ij}^{\partial c}. \quad (4)$$

Из анализа выражения (4) следует, что значения ℓ_{ij} могут находиться на разном расстоянии от соответствующих значений нижнего и верхнего уровней полиадических чисел. Представим левую и правую части неравенства (4) как $\Delta\ell_{ij}^{(\min)}$, $\Delta\ell_{ij}^{(\max)}$, равные:

$$\Delta\ell_{ij}^{(\min)} = \ell_{ij} - \mu_i^{\partial c};\quad \Delta\ell_{ij}^{(\max)} = \psi_{ij}^{\partial c} - 1 - \ell_{ij}. \quad (5)$$

С учетом соотношений (5), обозначим длину расстояния от текущего массива ДС до минимального и максимального уровней полиадических чисел в смешанном полиадическом пространстве соответственно как $Q_{инф}(\min)$ и $Q_{инф}(\max)$:

$$Q_{инф}(\min) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \omega_{ij}^{(\min)} \prod_{\xi=j+1}^{n} z_{i\xi}^{\partial c} \prod_{\gamma=i+1}^{m} \prod_{\xi=1}^{n} z_{\gamma\xi}^{\partial c}; \quad (6)$$

$$Q_{инф}(\max) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \omega_{ij}^{(\max)} \prod_{\xi=j+1}^{n} z_{i\xi}^{\partial c} \prod_{\gamma=i+1}^{m} \prod_{\xi=1}^{n} z_{\gamma\xi}^{\partial c}, \quad (7)$$

где $\omega_{ij}^{(\min)}, \omega_{ij}^{(\max)}$ – разности соответственно между верхним и нижним уровнем полиадических чисел, равные:

$$\omega_{ij}^{(\min)} = \begin{cases} \Delta\ell_{ij}^{(\min)}, \text{ если } \lambda_i^{\partial c} > 1; \\ \ell_{ij}, \text{ если } \lambda_i^{\partial c} = 1; \end{cases}$$

$$\omega_{ij}^{(\max)} = \begin{cases} \Delta\ell_{ij}^{(\max)}, \text{ если } \lambda_i^{\partial c} > 1; \\ \ell_{ij}, \text{ если } \lambda_i^{\partial c} = 1. \end{cases}$$

При этом с учетом соотношения (4) выполняется неравенство $Q_{инф}(\min) \ne Q_{инф}(\max)$. Поэтому для дополнительного уменьшения объема кодового представления массива ДС предлагается гибко выбирать начальный уровень отсчета кода-номер на основе выбора минимального значения

$$Q_{инф} = \min\{Q_{инф}(\min),\; Q_{инф}(\max)\}. \quad (8)$$

Для дополнительного снижения времени на обработку относительно постолбцового кодирования, избежания потерь информации из-за переполнения машинного слова и снижения требований на выбор максимальной длины серии предлагается осуществлять рекуррентный отбор элементов массивов ДС для смешанного полиадического кодирования. В этом случае проводится поэлементная проверка элементов ω_{ij} на возможность добавления их к текущему смешанному полиадическому числу. Правило отбора заключается в проверки признака переполнения машинного слова. Значение кода-номера вычисляется по мере добавления очередного элемента к текущему смешанному полиадическому числу.

Процесс рекуррентного полиадического кодирования массивов ДС в смешанной системе оснований, с учетом адаптивного выбора начального уровня отсчета кода номер осуществляется по строкам и состоит из следующих этапов:

Этап 1. Выявляются основания полиадического числа $\psi_{ij}^{\partial c}$, а для строк массива ДС, в которых $\lambda_i^{\partial c}$ больше 1, необходимо также выявить минимальные значения в строках $\mu_i^{\partial c}$.

Этап 2. Осуществляется проверка неравенства

$$Z_1^{(\beta)} = z_{ij}^{\partial c} \le 2^M,$$

где $Z_1^{(\beta)}$ – значение проверочного показателя для одного элемента β-го кода-номера в смешанном полиадического пространстве.

Если неравенство не выполняется, то смешанное полиадическое число состоит из одного элемента смешанного полиадического пространства:

$$Q_\beta^{(1)} = \min\left(Q_{(i,1)}^{(\min)},\, Q_{(i,1)}^{(\max)}\right);$$

$$Q_{(i,1)}^{(\min)} = \omega_{i1}^{(\min)}; \quad Q_{(i,1)}^{(\max)} = \omega_{i1}^{(\max)},$$

где $Q_i^{(\beta)}$ – значение β-го кода-номера, состоящего из одного элемента смешанного полиадического пространства.

Если же результат сравнения положителен, то процесс формирования β-го кода-номера продолжается.

Этап 3. Проверяется неравенство

$$Z_2^{(\beta)} = \prod_{j=1}^{2} z_{ij}^{\partial c} \le 2^M,$$

где $Z_2^{(\beta)}$ – значение проверочного показателя для двух элементов β-го кода-номера в смешанном полиадического пространстве.

Если неравенство не выполняется, то код-номер в смешанном полиадическом пространстве равен:

$$Q_i^{(\beta)} = \min\left(Q_{(i,2)}^{(\min)},\, Q_{(i,2)}^{(\max)}\right);$$

$$Q_{(i,2)}^{(\min)} = Q_{(i,1)}^{(\min)} \times z_{i,2}^{\partial c} + \omega_{i,2}^{(\min)};$$

$$Q_{(i,2)}^{(\max)} = Q_{(i,1)}^{(\max)} \times z_{i2}^{\partial c} + \omega_{i2}^{(\max)},$$

где $\mathrm{Q}_i^{(\beta)}$ – значение β-го кода-номера, состоящего из двух элементов смешанного полиадического пространства.

В противном случае проводится переход на следующий этап, выполняющийся по аналогии с прошедшими.

. . . .

Этап n. На этом этапе проверяемое неравенство выглядят следующим образом:

$$Z_{n-1}^{(\beta)} = \prod_{j=1}^{n-1} z_{ij}^{\partial c} \le 2^M,$$

где $Z_{n-1}^{(\beta)}$ – значение проверочного показателя для $(n-1)$-го элемента β-го кода-номера в смешанном полиадического пространстве.

В случае отрицательного результата сравнения код-номер вычисляется по формуле

$$Q_\beta^{(n-2)} = \min\left(Q_{(i,n-2)}^{(\min)},\, Q_{(i,n-2)}^{(\max)}\right),$$

где $Q_\beta^{(n-2)}$ - значение β-го кода-номер, состоящего из $(n-2)$-х элементов смешанного полиадического пространства.

При положительном результате сравнения происходит переход на следующий этап.

Этап n + 1. По аналогии с предыдущими этапами на завершающем этапе выполняются действия:

1) проверяется неравенство

$$Z_n^{(\beta)} = \prod_{j=1}^{n} z_{ij}^{\partial c} \le 2^M; \tag{9}$$

где $Z_n^{(\beta)}$ – значение проверочного показателя для n элементов β-го кода-номера в смешанном полиадического пространстве;

2) если $Z_n^{(\beta)} \le 2^M$, то код-номер β-го полиадического числа в смешанной системе оснований равен:

$$Q_{(\beta)}^{(n)} = \begin{cases} Q_{(i,n-1)}^{(\max)} \times z_{i,n}^{\partial c} + \omega_{i,n}^{(\max)}, \\ \text{если} \quad Q_{(i,n)}^{(\min)} \ge Q_{(i,n)}^{(\max)}; \\ Q_{(i,n-1)}^{(\min)} \times z_{i,n}^{\partial c} + \omega_{i,n}^{(\min)}, \\ \text{если} \quad Q_{(i,n)}^{(\min)} < Q_{(i,n)}^{(\max)}, \end{cases} \tag{10}$$

где $\mathrm{Q}_{(\beta)}^{(\mathrm{n})}$ – значение β-го кода-номер состоящего из n элементов смешанного полиадического пространства;

3) если $Z_n^{(\beta)} > 2^M$, то полиадическое число в СПП состоит из (n – 1)-го элемента массива ДС:

$$Q_{(\beta)}^{(n-1)} = \begin{cases} Q_{(i,n-2)}^{(\max)} \times z_{i,n-1}^{\partial c} + \omega_{i,n-1}^{(\max)}, \\ \text{если} \quad Q_{(i,n-1)}^{(\min)} \geq Q_{(i,n-1)}^{(\max)}; \\ Q_{(i,n-2)}^{(\min)} \times z_{i,n-1}^{\partial c} + \omega_{i,n-1}^{(\min)}, \\ \text{если} \quad Q_{(i,n-1)}^{(\min)} < Q_{(i,n-1)}^{(\max)}, \end{cases} \qquad (11)$$

где $Q_{(\beta)}^{(n-1)}$ – значение β-го кода-номер состоящего из n – 1 элементов смешанного полиадического пространства.

Таким образом, выражения (9) – (11) позволяют на основе рекуррентной схемы вычислить код-номер β-го полиадического числа в смешанной системе оснований.

Оценка эффективности

С учетом формул (2) – (4) количество полиадических чисел массива ДС в смешанном полиадическом пространстве равно

$$\left| Q_{\text{инф}} \right| = \prod_{j=1}^{n_{\partial c}} \prod_{i=1}^{m_{\partial c}} z_{ij}^{\partial c} . \qquad (12)$$

Отсюда минимальное увеличение степени сжатия $k_{\min}^{\partial c\ \text{абс}}$ и $k_{\min}^{\partial c\ \text{разн}}$ за счет перехода к смешанному полиадическому кодированию относительно абсолютного разностного находятся соответственно по формулам:

$$k_{\min}^{\partial c\ \text{абс}} = \frac{\ell og_2 N_{\text{инф}}^{\partial c} + \ell og_2 N_{\text{сл}}^{\partial c}}{\ell og_2 Q_{\text{инф}} + \ell og_2 Q_{\text{сл}}}; \qquad (13)$$

$$k_{\min}^{\partial c\ \text{разн}} = \frac{\ell og_2 R_{\text{инф}}^{\partial c} + \ell og_2 R_{\text{сл}}^{\partial c}}{\ell og_2 Q_{\text{инф}} + \ell og_2 Q_{\text{сл}}}. \qquad (14)$$

Проведенная оценка эффективности по коэффициенту сжатия для разработанного кодирования массивов ДС в смешанной системе оснований показывает, что минимальная дополнительная степень сжатия относительно комбинированного полиадического кодирования равна 1,5 раза.

Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Разработано полиадическое кодирование массивов ДС в смешанной системе оснований с учетом адаптивного выбора начального уровня отсчета кода-номера и динамического диапазона значений длин серий в массиве.

2. Доказано, что разработанное кодирование обеспечивает дополнительное повышение коэффициента сжатия за счет:

– дополнительного исключения комбинаторной избыточности, вызванной уменьшением количества разрешенных комбинаций;

– уменьшения количества затрачиваемых разрядов на передачу служебной информации.

3. Полиадическое кодирование в смешанной системе оснований обеспечивает относительно комбинированного кодирования дополнительное увеличение степени сжатия минимум в 1,5 раза.

Литература

1. Асташкин А.А. Космические системы аппараты и приборы для решения задач природоиспользования и экономического контроля. – М.: ВИНИТИ, 1991. – 142 с.

2. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.

3. Баранник В.В., Королева Н.А., Поляков П.Ф. Метод комбинированного полиадического кодирования массивов длин серий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 5. – С. 42 – 46.

4. Баранник В.В., Гуржий П.Н. Кодирование массивов цветовых координат в разностном полиадическом пространстве // Радіоелектронні і комп’ютерні системи. – 2005. – № 1. – С. 44 – 49.

Поступила в редакцию 29.07.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Ф. Поляков, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков.