

УДК 621.39

В.В. Баранник,
доктор технических наук, профессор,
Р.И. Акимов,
М.В. Думанский

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ БИАДИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МЕЖКАДРОВЫХ АПЕРТУР ВИДЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА

Показывается, что для повышения безопасности видеoinформационных ресурсов в процессе функционирования железнодорожного транспорта необходимо использовать технологии кодирования видеопотока. Создаются методологические принципы биадического представления межкадровых апертур видеoinформационного потока. Излагаются основные этапы разработки метода кодирования базовых элементов межкадровых апертур без потери информации. Доказывается, что код межкадровой апертуры формируется по блоковой схеме как номер соответствующего биадического числа во множестве допустимых чисел.

Ключевые слова: межкадровая апертура, биадическое кодирование.

Показується, що для підвищення безпеки ресурсів відеоінформацій в процесі функціонування залізничного транспорту необхідно використовувати технології кодування відеопотоку. Створюються методологічні принципи біадичного представлення міжкадрових апертур потоку відеоінформації. Наводяться основні етапи розробки методу кодування базових елементів міжкадрових апертур без втрати інформації. Доводиться, що код міжкадрової апертури формується по блоковій схемі як номер відповідного біадичного числа в безлічі допустимих чисел.

Ключові слова: міжкадрова апертура, біадичне кодування.

It is shown, that for the increase of safety of videoinformation resources in the process of functioning of railway transport it is necessary to utilize technologies of encoding of videostream. Methodological principles of biadicaly presentation of interskilled apertures of video information stream are created. It is proved, that the code of interskilled aperture is formed on a block chart as a number of the proper biadicaly number in the ensemble of possible numbers.

Keywords: interskilled aperture, biadicaly encoding.

Безопасность государства и его экономический рост определяется состоянием важнейшей стратегической отрасли как железнодорожный транспорт. При этом составляющей эффективности функционирования железнодорожного транспорта является качественный контроль за строениями, ЖД составами и грузоперевозками. Неотъемлемой частью здесь является организация объективного контроля, составная часть которого состоит в видеoinформационном мониторинге. Соответственно нарушение качественных сторон мониторинга приводит к возникновению угроз потери безопасности видеoinформационных ресурсов (ВР). Здесь видеoinформационный ресурс формируется на видеоданных, характеризующих состояние

железнодорожных объектов и перевозимых грузов. Угрозы потери безопасности ВР проявляются в несвоевременном доведении информации с неудовлетворительным качеством визуального восприятия и автоматической оценки. Такая ситуация приводит к потере целостности и доступности информации. В этой связи *актуальным* является использование методов уменьшения объемов видеопотоков [1–4].

Однако существующие технологии кодирования видеопотока не обеспечивают требуемых характеристик относительно снижения битовой скорости и повышения уровня достоверности. Используются технологии, которые не учитывают особенностей формирования видеопотока в системе объективного контроля на ЖД транспорте [1; 2]. Для устранения этих недостатков в работе [5] предложен подход, основанный на интегрированной обработке пакетов Р-кадров путем устранения структурной избыточности. Показано, что предложенный подход имеет потенциал относительно повышения эффективности технологий компрессии видеопотока. *Цель статьи* состоит в создании методологических принципов биадического представления межкадровых апертур видеоинформационного потока.

Разработка методологических принципов биадического представления межкадровых апертур

Дифференциально-представленные пакеты кадров P_z видеоинформационного потока обрабатываются с использованием построения межкадровых апертур $A^{(\xi, \gamma)}$, $A^{(\xi, \gamma)} = \{a(0)_{\xi, \gamma}, \dots, a(\tau)_{\xi, \gamma}, \dots, a(r-1)_{\xi, \gamma}\}$. Здесь (ξ, γ) – позиция межкадровой апертуры в пакете Р-кадров, $\xi = \overline{1, m}$, $\gamma = \overline{1, n}$. В таком случае пакет $\{P_z\}_{z=\overline{1, v_k}}$, состоящий из Р-кадров, заменяется набором межкадровых апертур $A^{(\xi, \gamma)}$: $\{P_z\}_{z=\overline{1, v_k}} \rightarrow \{A^{(\xi, \gamma)}\}_{\xi=\overline{1, m}, \gamma=\overline{1, n}}$. Здесь P_z – z-й кадр в пакете.

После чего каждая отдельная межкадровая апертура представляется биадическим числом с ограничением на локально-пространственное приращение

$\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)}$ по элементам $a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)}$ базовой составляющей $A(\xi; \gamma)_b$.

Элементы таких биадических чисел, удовлетворяют следующим неравенствам:

$$\ell_{\xi, \gamma}^{(\min)} > a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)} - \delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)} \leq a(\tau+1)_{\xi, \gamma}^{(b)} \leq a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)} + \delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)} > \ell_{\xi, \gamma}^{(\max)}, \quad \tau = \overline{0, v_b}, \text{ и}$$

$$a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)} \leq \begin{cases} D_{\xi, \gamma}, & \rightarrow \tau = 0; \\ \lambda(\tau)_{\xi, \gamma} - 1, & \rightarrow \tau = \overline{1, v_b}. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\lambda(\tau)_{\xi, \gamma}$ – основание элементов биадического числа, кроме первого элемента, определяемое через величину $\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)}$, как

$$\lambda(\tau)_{\xi, \gamma} = 2\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)} + 1 = \min(2\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)}; D_{\xi, \gamma}) + 1 = \min\{2 \max_{1 \leq \tau \leq v_b} \delta(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)}; D_{\xi, \gamma}\} + 1, \quad (2)$$

где $v_b = \lceil r / (r_a + 1) \rceil$ – количество базовых элементов для межкадровой апертуры.

Для компактного представления межкадровых апертур требуется построить систему формирования кодовых конструкций. При создании такой системы необходимо учитывать, что:

- 1) элементы биадических чисел удовлетворяют системе неравенств (1);
- 2) базовые элементы несут информацию для реконструкции аппроксимируемых элементов, т.е. $a(v; \phi)_{\xi, \gamma}^{(a)} = (a(\tau(v)_0)_{\xi, \gamma}^{(b)} + a(\tau(v)_{r_a+1})_{\xi, \gamma}^{(b)}) / 2$, $\phi = \overline{1, r_a}$, где $a(\tau(v)_0)_{\xi, \gamma}^{(b)}$, $a(\tau(v)_{r_a+1})_{\xi, \gamma}^{(b)}$ – базовые элементы на концах v -го участка интерполяции;

3) количество $V(\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)})$ допустимых биадических чисел определяется по формуле $V(\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)}) = \prod_{\tau=0}^{v_b-1} \lambda(\tau)_{\xi, \gamma} = (D_{\xi, \gamma} + 1)(\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)} + 1)^{v_b-1}$, $v_b = \lceil r / (r_a + 1) \rceil$.

Второе условие выдвигает требование относительно необходимости кодирования базовых элементов межкадровой апертуры без потери информации. Третье условие позволяет формировать код межкадровой апертуры по блоковой схеме как номер соответствующего биадического числа во множестве $\Psi(\lambda(\tau)_{\xi, \gamma}; v_b)$ допустимых БЧ, элементы которых удовлетворяют системе неравенств (1). Здесь необходимо условиться с порядком назначения номеров для биадических чисел во множестве допустимых. Для этого используется такое понятие как лексикографическое правило. В связи с чем зададим лексикографическое правило для биадических чисел $A^{(\xi, \gamma)} = \{a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)}\}$, $\tau = \overline{0, v_b - 1}$ с учетом апертурной аппроксимации по базовым элементам следующим образом:

$$V(A^{(\xi, \gamma)}) = E(\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)})_{v_b} = \sum_{\tau=0}^{v_b-1} \sum_{\ell=a_{\min}^{\tau}}^{a(\tau)_{\xi, \gamma}-1} V(a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau-1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \ell), \quad (3)$$

где $E(\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)})_{v_b} - V(A^{(\xi, \gamma)})$ – номер биадического числа $A^{(\xi, \gamma)}$ в упорядоченном множестве допустимых чисел; $V(a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau-1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \ell)$ – количество одномерных биадических чисел, у которых первые $(\tau + 1)$ базовых элементов равны соответственно $(a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau-1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \ell)$.

В данном случае принимается, что упорядочивание биадических чисел проводится по наибольшему значению старшего базового элемента в случае равенства их предыдущих элементов. Обозначим количество одномерных биадических чисел, у которых первые $(\tau + 1)$ базовых элементов равны $(a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau-1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)})$, без учета исключения контекстно-запрещенных последовательностей как $V(a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau-1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)})$. Тогда код $E(\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)})_{v_b}$ искомого БЧ на основе принципа упорядочивания определяется по формуле (3).

Полученная формула (3) в процессе лексикографической нумерации множества комбинаторных объектов (одномерных биадических чисел) учитывает только базовую составляющую, для которой формируется межкадровое приращение, и обеспечивает исключение избыточных БЧ, элементы которых выходят за пределы апертуры.

Разработка кодирования межкадровых апертур представленных биадическими числами по базовым элементам

Формирование кодового представления межкадровой апертуры $A^{(\xi, \gamma)}$, осуществляется на основе построения кода биадического числа по базовой составляющей $A(\xi; \gamma)_b$. В связи с чем сформулируем и докажем теорему для формирования кода одномерному биадическому числу [4; 5].

Теорема о коде-номере апертуры. Значение кода $E(\delta'_{b, \max}(\xi, \gamma))_{v_b}$ для одномерного биадического числа, длиной v_b элементов с ограничениями на приращение $\delta'_{b, \max}(\xi, \gamma)$ и на высоту апертуры $D_{\xi, \gamma}$ определяется по формуле

$$E(\delta'_{b, \max}(\xi, \gamma))_{v_b} = \sum_{\tau=0}^{\lceil r/(r_a+1) \rceil - 1} a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)} (\delta'_{b, \max}(\xi, \gamma) + 1)^{\lceil r/(r_a+1) \rceil - \tau - 1}. \quad (4)$$

Здесь $a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)}$ – значение τ -го элемента базовой составляющей $A(\xi; \gamma)_b$ для $(\xi; \gamma)$ -й межкадровой апертуры; r – длина межкадровой апертуры; r_a – длина интервала аппроксимации; $\delta'_{b, \max}(\xi, \gamma)$ – величина межкадрового адаптивного приращения, определяемое как минимальное значение с использованием базовых элементов апертуры $\delta'_{\max}(\xi) = \min\{ \max_{1 \leq \tau \leq v_b} \delta(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)}; (D_{\xi, \gamma} / 2) \}$.

Доказательство. В соответствии с принятым лексикографическим правилом определим количество $V(a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau-1)_{\xi, \gamma}^{(b)})$ одномерных биадических чисел длиной v_b в условиях когда:

1) первые τ элементов фиксированы и равны соответственно $(a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau-1)_{\xi, \gamma}^{(b)})$;

2) величина адаптивного межкадрового приращения по базовым элементами апертуры равна $\delta'_{b, \max}(\xi, \gamma)$, что соответствует условию теоремы;

Тогда величина $V(a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau-1)_{\xi, \gamma}^{(b)})$ находится как количество перестановок с повторениями, составленное из $(v_b - \tau - 1)$ элементов, значения которых ограничены величиной $2\delta'_{b, \max}(\xi, \gamma)$, т.е.

$$V(a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau-1)_{\xi, \gamma}^{(b)}) = \prod_{i=\tau}^{v_b-1} \lambda(i)_{\xi, \gamma} = \lambda(\tau)_{\xi, \gamma}^{v_b - \tau - 1},$$

где $v_b = \lceil r / (r_a + 1) \rceil$ – количество базовых элементов для апертуры; $\lambda(\tau)_{\xi, \gamma}$ – основание τ -го элемента биадического числа, равное $\lambda(\tau)_{\xi, \gamma} = 2\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)} + 1$.

Учитывая особенности формирования ОБЧ, заданные формулами (1) и (2), последнее выражение примет вид

$$V(a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}, a(1)_{\xi, \gamma}^{(b)}, \dots, a(\tau-1)_{\xi, \gamma}^{(b)}) = (\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)} + 1)^{v_b - \tau - 1}.$$

Последовательности, удовлетворяющие перечисленным свойствам, образуют множество $\Psi(\lambda(\tau)_{\xi, \gamma}; v_b - \tau - 1)$ исходных одномерных биадических чисел. Данные последовательности будут предшествовать обрабатываемому ОБЧ, и в соответствии с лексикографическим правилом иметь меньшие порядковые номера в допустимом множестве. После чего, проведя суммирование по всем τ , где $\tau = 0, v_b - 1$, получим

$$E(\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)})_{v_b} = \sum_{\tau=0}^{v_b-1} a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)} \lambda(\tau)_{\xi, \gamma}^{v_b - \tau - 1}.$$

Если в полученном соотношении заменить величины $v_b = \lceil r / (r_a + 1) \rceil$ и $\lambda(\tau)_{\xi, \gamma} = 2\delta'_{b, \max}^{(\xi, \gamma)} + 1$, то получим искомое выражение (4). Теорема доказана.

Как следует из анализа соотношения (4), значение кода ОБЧ зависит от: величин высоты и длины межкадровой апертуры, адаптивного межкадрового приращения; длины интервала аппроксимации.

Значит, разработана система выражений, обеспечивающая формирование кода для одномерного биадического числа. Это позволяет построить кодовое представление межкадровой апертуры $A^{(\xi, \gamma)}$. Такой процесс будем называть одномерным биадическим кодированием межкадровой апертуры по базовым элементам. Граф-схема кодирования межкадровой апертуры рассматривается на рис. 1.

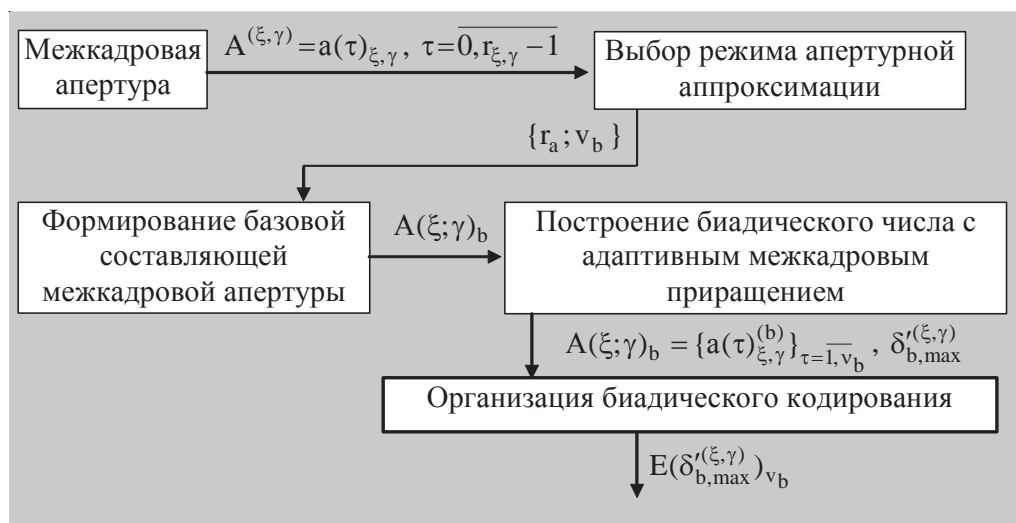


Рис. 1. Граф-схема формирование кода для одномерного биадического представления межкадровой апертуры по базовым элементам.

По изложенному материалу можно сделать такие заключения:

1) создано лексикографическое правило для упорядочивания биадических чисел во множестве допустимых, обеспечивающее учет особенностей формирования системы оснований ОБЧ и их отношение к классу позиционных числовых систем;

2) разработано одномерное биадическое кодирование по базовым элементам межкадровой апертуры, учитывающее: проведение апертурной аппроксимации; осуществление адаптивного вычисления межкадрового приращения по базовым элементам апертуры; исключение избыточных биадических чисел, элементы которых выходят за пределы межкадровой апертуры, определяемые значением ее высоты.

Здесь достигается представление базовых элементов межкадровых апертур без потери информации.

Выводы

1. Созданы методологические принципы биадического представления межкадровых апертур видеоинформационного потока, которые базируются на том, что пакеты, состоящие из дифференциально-представленных кадров заменяются набором межкадровых апертур, которые рассматриваются как равномерные биадические числа с ограничением на локально-пространственное приращение по элементам базовой составляющей; упорядочивание биадических чисел проводится по наибольшему значению старшего базового элемента в случае равенства их предыдущих элементов; код межкадровой апертуры формируется по блоковой схеме как номер соответствующего биадического числа во множестве допустимых чисел; кодирование базовых элементов межкадровой апертуры осуществляется без потери информации; базовые элементы несут необходимую информацию для реконструкции аппроксимируемых элементов.

2. Разработан метод кодирования базовых элементов межкадровых апертур без потери информации. Код межкадровой апертуры формируется по блоковой схеме как номер соответствующего биадического числа во множестве допустимых чисел. Здесь учитывается то, что межкадровое приращение вычисляется адаптивно по базовым элементам апертуры; исключаются избыточные биадические числа, элементы которых выходят за пределы межкадровой апертуры, определяемые значением ее высоты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Ватолин Д.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М. : Диалог-Мифи, 2003. – 381 с.
2. *Ричардсон Я.* Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения / Я. Ричардсон. – М. : Техносфера, 2005. – 368 с.
3. *Баранник В.В.* Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. – Х. : ХУПС, 2010. – 212 с.
4. *Баранник В.В.* Методологические принципы представления апертур во множестве одномерных двухосновных позиционных чисел / В.В. Баранник, Д.С. Кальченко // АСУ и приборы автоматики. – 2011. – Вып. 155. – С. 15–22.
5. *Акимов Р.И.* Технология кодирования пакетов предсказанных кадров в инфокоммуникационных системах / Р.И. Акимов // Сучасна спеціальна техніка. – 2012. – № 4. – С. 25–34.

Отримано 22.03.2013