

Інфокомунікаційні системи

УДК 621.39

В.В. Баранник, Р.И. Акимов

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

КОДИРОВАНИЕ МЕЖКАДРОВЫХ АПЕРТУР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ДОСТАВКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

Обосновывается, что для повышения оперативности и достоверности доведения видеоинформации объективного контроля для инфокоммуникационных систем необходимо использовать технологии кодирования видеопотока с учетом наличия областей стационарного фона. Разрабатывается кодирование межкадровых апертур для видеоинформационного потока на основе их описания биадическими числами. Показывается важность формирования для межкадровых апертур аппроксимируемой составляющей для дополнительного снижения битовой скорости. Излагаются основные этапы создания метода кодирования базовых элементов межкадровых апертур без снижения достоверности. Обосновывается, что кодовое значение межкадровой апертуры формируется по блоковой схеме как код соответствующего биадического числа. Проводится сравнительная оценка характеристик доставки видеоинформации для разработанного и существующих методов относительно битовой скорости видеопотока. Здесь учитываются различные режимы обеспечения уровня достоверности информации, скорости передачи данных по каналам связи и интенсивность видеопотока.

Ключевые слова: инфокоммуникационные системы, межкадровая апертура, биадическое число, избыточность стационарного фона, локальные приращения.

Введение

Транспортная отрасль является стратегически важной для развития и безопасности государства. В свою очередь, составляющая эффективности функционирования отрасли базируется на использовании систем объективного видеоконтроля. В этой связи повышается важность видеоинформации для принятия оперативных решений в процессе управления. Следовательно, ключевой характеристикой видеоинформации является оперативность ее доставки. При этом приложения, связанные с объективным видеоконтролем, требуют доставки видеоконтента в реальном времени. Здесь интенсивность видеопотока не должна превышать пропускной способности сети. Такое условие достигается с использованием технологий компрессии видеопотока [1 – 4]. Базовые кодеки базируются на кадровой классификации с последующей их обработкой JPEG совместимыми платформами. Основными характеристиками кодеков являются: битовая скорость; метрика достоверности видеоинформации. Оценка данных характеристик для различных кодеков в условиях требуемой достоверности на уровне 38 дБ показала, что битовая скорость превышает пропускную способность беспроводных технологий. Более низкий уровень отношения сигнал/шум от 30 дБ является недопустимым с позиции принятия решений относительно состояния объектов контроля на транспорте. В то же время рост скорости передвижения и важности объ-

ектов контроля требуют использования форматов видеопотока HD качества с уровнем достоверности не ниже 40дБ. Однако это приводит к превышению битовой скорости относительно пропускных способностей сети от 5 до 50 раз, и к росту задержек до 1,5 минут. Значит, существует актуальная научно-прикладная задача, состоящая в необходимости повышения оперативности доставки видеоинформации в инфокоммуникационных системах объективного контроля транспорта [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. Отсюда цель статьи состоит в создании кодирования межкадровых апертур для повышения оперативности доставки видеоинформационного потока в инфокоммуникациях.

Разработка кодирования межкадровых апертур видеоинформационного потока

Дифференциально-представленные пакеты кадров P_z видеоинформационного потока обрабатываются с использованием построения межкадровых апертур $A^{(\xi, \gamma)}$, $A^{(\xi, \gamma)} = \{a(0)_{\xi, \gamma}, \dots, a(\tau)_{\xi, \gamma}, \dots, a(r-1)_{\xi, \gamma}\}$, где (ξ, γ) – позиция межкадровой апертуры в пакете

Р-кадров, $\xi = \overline{1, m}$, $\gamma = \overline{1, n}$ т.е. пакет $\{P_z\}_{z=\overline{1, v_k}}$, состоящий из Р-кадров, заменяется межкадровыми аперттурами $A^{(\xi, \gamma)}: \{P_z\}_{z=\overline{1, v_k}} \rightarrow \{A^{(\xi, \gamma)}\}_{\xi=\overline{1, m}, \gamma=\overline{1, n}}$, где P_z – z-й кадр в пакете. При этом межкадровые аперттуры рассматриваются в режиме аппроксимации. Суть апертурной аппроксимации заключается в том, что элементы межкадровой аперттуры разделяются на два типа, а именно:

1) первый тип составляют элементы $a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)}$, которые являются информативными (базовыми, опорными). Такие элементы формируют составляющую $A(\xi; \gamma)_b$, т.е. $a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)} \in A(\xi; \gamma)_b$, которая сохраняется без внесения искажений;

2) наоборот, элементы $a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(a)}$ второго типа являются интерполируемыми. Элементы второго типа формируют составляющую $A(\xi; \gamma)_a$, т.е. $a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(a)} \in A(\xi; \gamma)_a$, и восстанавливаются на приемной стороне с использованием опорных элементов и дополнительной информации.

Тогда исходную межкадровую аперттуру $A^{(\xi, \gamma)}$ можно представить следующим образом: $A^{(\xi, \gamma)} = A(\xi; \gamma)_b \cup A(\xi; \gamma)_a$. Параметрами апертурной аппроксимации являются: длина τ_a участка интерполяции – количество аппроксимируемых элементов аперттуры между базовыми элементами; количество базовых элементов между двумя смежными участками интерполирования; оператором реконструкции аппроксимируемых элементов. Поэтому для проведения апертурной аппроксимации требуется задать режим аппроксимации и длину интерполируемого интервала. Режим аппроксимации определяется количеством базовых элементов между участками интерполирования и распределением длин участков интерполирования в апертуре.

Для сокращения вычислительной сложности и увеличения количества аппроксимируемых элементов для аперттуры заданной длины *предлагается* выбирать режим аппроксимации, когда:

1) участки интерполирования являются равномерными, т.е. $\tau_a = \text{const}$, с одним базовым элементом между ними;

2) восстановление аппроксимируемых элементов осуществляется на основе усреднения базовых элементов, между которыми они расположены в апертуре.

Количество v_b базовых и количество v_a интерполируемых элементов в апертуре с учетом выбранного режима апертурной аппроксимации определяется соответственно по таким выражениям: $v_b = \lceil r / (\tau_a + 1) \rceil$; $v_a = v_a \tau_a$. Здесь v_a – количество

аппроксимируемых участков в апертуре; τ_a – длина аппроксимируемого участка, являющаяся фиксированной для всех участков. Тогда получим следующие составляющие аперттуры для:

- базовой $A(\xi; \gamma)_b = \{a(0)_{\xi, \gamma}^{(b)}; \dots; a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)}; \dots; a(v_b)_{\xi, \gamma}^{(b)}\}$;

- аппроксимируемой $A(\xi; \gamma)_a = \{a(0)_{\xi, \gamma}^{(a)}; \dots; a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(a)}; \dots; a(v_a)_{\xi, \gamma}^{(a)}\}$.

Здесь $a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(b)}$ – τ -й базовый элемент составляющей $A(\xi; \gamma)_b$; $a(\tau)_{\xi, \gamma}^{(a)}$ – τ -й аппроксимируемый элемент составляющей $A(\xi; \gamma)_a$.

После чего каждая отдельная межкадровая аперттура 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:

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

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

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

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

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

Для компактного представления межкадровых аперттур 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.

$$a(v; \phi)_{\xi, \gamma}^{(a)} = (a(\tau(v))_0^{(b)}_{\xi, \gamma} + a(\tau(v))_{\tau_a+1}^{(b)}_{\xi, \gamma}) / 2,$$

$\phi = \overline{1, \tau_a}$, где $a(\tau(v))_0^{(b)}_{\xi, \gamma}$, $a(\tau(v))_{\tau_a+1}^{(b)}_{\xi, \gamma}$ – базовые элементы на концах v -го участка интерполяции;

3) количество $V(\delta'_{b, \max}(\xi, \gamma))$ допустимых биадических чисел определяется по формуле

$$V(\delta'_{b, \max}(\xi, \gamma)) = \prod_{\tau=0}^{v_b-1} \lambda(\tau)_{\xi, \gamma} = (D_{\xi, \gamma} + 1)(\delta'_{b, \max}(\xi, \gamma) + 1)^{v_b-1},$$

$$v_b = \lceil r / (\tau_a + 1) \rceil.$$

Второе условие выдвигает требование относительно необходимости кодирования базовых элементов межкадровой апертюры без потери информации. Третье условие позволяет формировать код межкадровой апертюры 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.

Разработка кодирования для повышения оперативности доставки видеoinформации

Формирование кодового представления межкадровой апертюры $A^{(\xi,\gamma)}$ осуществляется на основе построения кода биадического числа по базовой составляющей $A(\xi,\gamma)_b$ [4, 5]. 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 апертюры $D_{\xi,\gamma}$ определяется как

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

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

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

Значит, разработана система выражений, обеспечивающая формирование кода для одномерного биадического числа. Это позволяет построить кодовое представление межкадровой апертюры $A^{(\xi,\gamma)}$. Такой процесс будем называть одномерным биадическим кодированием межкадровой апертюры 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 апертюры, учитывающее: проведение апертюрной аппроксимации; осуществление адаптивного вычисления межкадрового приращения по базовым элементам апертюры; исключение избыточных биадических чисел, элементы которых выходят за пределы межкадровой апертюры, определяемые значением ее высоты.

Здесь достигается представление базовых элементов межкадровых апертюр без потери информации.

Оценка битовой скорости для сжатого потока на основе интегрирования созданной технологии сжатия

Оценим затраты количества W_t двоичных рядов на представление последовательности кадров, которые требуется доставлять за одну секунду с использованием разработанной технологии компрессии. Количество таких кадров равно v_k . Будем разбивать всю последовательность кадров на несколько пакетов Р-кадров. Количество v_n таких пакетов определяется по формуле $v_n = v_k / r$. Тогда величина W_t определяется по формуле $W_t = v_n W_n$ (бит/с). Здесь величина W_n определяется как суммарная длина кодового представления одного пакета Р-кадра, включая служебную информацию.

С учетом выражения для величины W_n получим соотношение для оценки битовой скорости:

$$W_t = v_n (W_{\text{маркер}} + W(I) + W(S) + W(\Theta) + \sum_{\alpha=1}^{Q_1 Q_c / 256} W_{\text{мб},\alpha}) \quad (\text{бит/с}),$$

где $W_{\text{маркер}}$ – длина старт кода пакета Р-кадров; $W(I)$ – длина сжатого представления базового кадра $W(S)$ – длина кодового представления информации о знаках дифференциальных кадров в видеопотоке; $W(\Theta)$ – длина кодового представления параметров режима аппроксимации апертюры; $Q_1 Q_c / 256$ – количество макроблоков в одном кадре изображения; $W_{\text{мб},\alpha}$ – длина информационной части интегрированного α -го макроблока кадра пакета.

Проведем сравнительную оценку битовых скоростей сжатых потоков кадров, обеспечиваемых для существующих MPEG технологий и с учетом интегрирования созданной технологии биадического кодирования межкадровых апертюр пакетов Р-кадров (БКМА). Здесь будут учитываться дополнительно следующие условия эксперимента:

1) поток видеок кадров формируется в условиях стационарного фона;

2) базовый кадр, на основе которого образуются дифференциальные кадры, сжимается на базе технологии JPEG в режиме ПОСШ не меньше 40дБ;

3) длина пакета Р-кадров – не меньше $r = 8$;

4) используются два режима формирования исходного потока видеок кадров, а именно: режим 1 – формат кадра 4CIF (720×576), частота кадров, равна 15 кадров/с; режим 2 – формат кадра HD (1280×720), частота кадров, равна 25-30 кадров/с;

5) компактное представление матрицы знаков дифференциально-представленных кадров проводится на основе методов сжатия без потери информации.

Сравнительные оценки представлены в виде табл. 1 (режим 1) и табл. 2 (режим 2).

Таблица 1

Значения W_t от h для разных типов кодеков, Мбит/с

| Тип кодека \ h дБ | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 |
|---------------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| H.264/AVC | 0,5 | 0,6 | 0,87 | 1,2 | 2 | 2,5 |
| MPEG-2 | 1 | 1,25 | 1,75 | 2,5 | 3,5 | 5 |
| БКМА | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 1,8 | 2,4 | 3,1 |

Таблица 2

Значения W_t от ПОСШ для разных типов кодеков, Мбит/с

| Тип кодека \ ПОСШ дБ | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 |
|----------------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| H.264/AVC | 3,5 | 4,8 | 8 | 10 | 14 | 17 | 26 | 34 | 50 | 94 |
| MPEG-4 | 4,8 | 7 | 10 | 13 | | | | | | |
| MPEG-2 | 7 | 10 | 14 | 20 | 31 | 44 | 66 | 94 | 132 | 188 |
| H.263 | 5 | 8 | 12 | 14 | | | | | | |
| БКМА | 5,1 | 7 | 9,8 | 14 | 21 | 30 | 39 | 57 | 67 | 95 |

Исследование данных, приведенных в табл. 1 и 2, позволяет сделать такие заключения:

- для разработанной технологии компрессии величина битовой скорости изменяется в следующих пределах: от 07, до 3 Мбит/с для режима 1; от 5 до 95 Мбит/с для режима 2;

- для обработки в реальном времени битовая скорость сжатого видеопотока для разработанной технологии в среднем на 30% ниже по сравнению с битовой скоростью, обеспечиваемой для технологии стандарта MPEG-2;

- величина выигрыша по битовой скорости для ПОСШ, соответствующих высокому качеству реконструкции ($h \geq 48$ дБ), увеличивается дополнительно на 20%. Для ПОСШ не ниже 48 дБ выигрыш снижения битовой скорости относительно потока MPEG-2 достигает 50%. Такие данные обеспечиваются за счет того, что в режиме низких потерь качества изображений для технологии стандарта MPEG-2 резко снижается степень компрессии. Для разработанной технологии обработки сжатие изображений достигается не только в результате устранения психовизуальной избыточности, но и путем исключения структурной избыточности, обусловленной наличием стационарного фона для динамических объектов.

Выводы

1. Создано биадическое кодирование межкадровых апертур видеoinформационного 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. Здесь учитывается то, что: межкадровое приращение вычисляется адаптивно по базовым элементам апертуры; исключаются избыточные биадические числа, элементы которых выйдут за пределы межкадровой апертуры, определяемые значением ее высоты.

3. В результате экспериментальной оценки показано, что для обработки в реальном времени битовая скорость сжатого видеопотока для разработанной технологии в среднем на 30% ниже по сравнению с битовой скоростью, обеспечиваемой для технологии стандарта MPEG-2.

Список литературы

1. 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 Ян. Вideoкодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения / Ян 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. Баранник В.В. Биадическое представление пакетов

предсказанных кадров с апертурной аппроксимацией / В.В. Баранник, Р.І. Акімов // Сучасна спеціальна техніка. – 2013. – №1. – С. 23-31.

Поступила в редколлегию 2.09.2014

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

КОДУВАННЯ МІЖКАДРОВИХ АПЕРТУР ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ДОСТАВКИ ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ПОТОКУ В ІНФОКОМУНІКАЦІЯХ

В.В. Баранник, Р.І. Акімов

Обґрунтовується, що для підвищення оперативності та достовірності доведення відеоінформації об'єктивного контролю для інфокомунікаційних систем необхідно використовувати технології кодування відеопотоку з урахуванням наявності областей стаціонарного фону. Розробляється кодування міжкадрових апертур для відеоінформаційного потоку на основі їх опису біадичними числами. Показується важливість формування для міжкадрових апертур апроксимованої складової для додаткового зниження бітової швидкості. Викладаються основні етапи створення методу кодування базових елементів міжкадрових апертур без зниження достовірності. Обґрунтовується, що кодове значення міжкадрової апертури формується за блоковою схемою як код відповідного біадичного числа. Проводиться порівняльна оцінка характеристик доставки відеоінформації для розробленого і існуючих методів щодо бітової швидкості відеопотоку. Враховуються різні режими забезпечення рівня достовірності інформації, швидкості передачі даних по каналах зв'язку і інтенсивності відеопотоку.

Ключові слова: інфокомунікаційні системи, міжкадрова апертура, біадичне число, надмірність стаціонарного фону, локальні припоєнення.

CODING INTERFRAME APERTURE TO ENHANCE THE OPERATIONAL SHIPPING VIDEO INFORMATION FLOW INFOCOMMUNICATIONS

V.V. Barannik, R.I. Akimov

It is proved that to improve efficiency and reliability of bringing video objective control for communication systems is necessary to use video encoding technology, taking into account the presence of regions of stationary background. Developed interframe coding apertures for video information stream based on their description biadic numbers. Shows the importance of forming apertures for interframe approximated component to further reduce the bit rate. Outlines the basic steps for creating a method of coding the basic elements of inter-frame apertures without compromising reliability. It is proved that a code value of frame aperture formed in block diagram as the corresponding biadic numbers code. A comparative assessment of the characteristics of the delivery of video to developed and existing methods with respect to the bit rate of the video stream. Taking into account the different modes provide a level of reliability of the information data rate communication channels and the intensity of the video stream.

Keywords: infocommunication systems, inter-frame aperture, biadic number, redundancy stationary background, local increment.