

Яковенко А.В., кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Харченко Н.А.

Хаханова А.В., кандидат технических наук, доцент

МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ПРЕДСКАЗЫВАЕМЫХ КАДРОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОТРАФИКА

Излагается метод декодирования предсказываемых кадров с использованием полиадических чисел в телекоммуникационных системах. Описана технология определения информационной части из общего потока принятого кода. Определено количество операций на выполнение декодирования сегмента изображения в предсказываемых кадрах. Проведена оценка потерь качества и времени восстановления сегментированного изображения.

Трансформированные изображения, полиадическое число, декодирование, информационная часть, система оснований, весовой коэффициент, время реконструкции

Викладається метод декодування кадрів, що передбачаються, з використанням поліадичних чисел у телекомунікаційних системах. Описано технологію визначення інформаційної частини із загального потоку прийнятого коду. Визначено кількість операцій на виконання декодування сегмента зображення в кадрах, що передбачаються. Проведена оцінка втрат якості й часу відновлення сегментованого зображення.

Трансформовані зображення, поліадичне число, декодування, інформаційна частина, система основ, ваговий коефіцієнт, час реконструкції

The method of the predicted frames decoding using polyadic numbers in telecommunication systems is given. The technology of information part extraction from the general flow of the received code is provided. The number of operations to perform image segment in the predicted frames decoding is determined. The segmented image quality loss and recovery time is evaluated.

The transformed images, polyadic number, decoding, information part, the system bases, the weighting factor, the reconstruction

Введение

Анализ современных алгоритмов сжатия показал наличие существенных недостатков при статистическом кодировании видеопотока, устранение которых возможно при использовании метода компрессии на базе полиадического кодирования. Такой метод позволяет производить формирование кода в соответствии с заданными значениями битовой

скорости, качества реконструкции изображения и уменьшении времени кодирования в сравнении со статистическими. Поэтому актуальной является разработка метода восстановления сегментированных изображений в предсказываемых кадрах. Разрабатываемый метод восстановления заключается в получении исходного сегмента по значению кода полиадического числа. Для восстановления сегмента необходимо наличие служебной информации о размерах сегмента $(\zeta; \gamma)$ и системе оснований $\Lambda(t)^{(\zeta, \gamma)}$, которая определяет длину информационной части сжатого представления сегмента изображения, а также ее элементы используются как составляющие аналитического выражения, на основании которого производится декодирование элементов столбцов сегмента. Система оснований позволяет определить верхнюю границу $h_{\max}$ значения кода одномерного полиадического числа и соответственно максимальное значение кода:

$$N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)} < h_{\max},$$

где $N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)}$ – максимально возможное значение кода для заданного вектора оснований $\Lambda(t)^{(\zeta, \gamma)}$.

Верхняя граница $h_{\max}$ значения кода одномерного полиадического числа для заданной системы оснований $\Lambda(t)^{(\zeta, \gamma)}$ вычисляется как накопленное произведение оснований всех элементов, т.е.

$$h_{\max} = \prod_{\eta=1}^n \lambda(t)_{\eta} \quad (1)$$

Знание верхней границы $h_{\max}$ необходимо для определения длины кодового представления $d_i^{(\zeta, \gamma)}$ одной компоненты $(\zeta; \gamma)$ -го сегмента. В этом случае принимается условие:

$$d_i^{(\zeta, \gamma)} = [\log_2 h_{\max}] + 1, \quad (2)$$

где $d_i^{(\zeta;\gamma)}$ - длина кодового представления i -го столбца $(\zeta;\gamma)$ -го сегмента;
 $\lceil \log_2 h_{\max} \rceil + 1$ - количество двоичных разрядов на представление максимального значения кода $N(t)_{\max}^{(\zeta;\gamma)}$ одномерного полиадического числа.

Тогда длина $d_{\inf}^{(\zeta;\gamma)}$ всей информационной части кодовой последовательности составит:

$$d_{\inf}^{(\zeta;\gamma)} = m(\lceil \log_2 h_{\max} \rceil + 1) = m \left(\left\lceil \log_2 \prod_{\eta=1}^n \lambda(t)_{\eta} \right\rceil + 1 \right), \quad (3)$$

где m - количество столбцов сегмента изображения;

$m(\lceil \log_2 h_{\max} \rceil + 1)$ - количество разрядов на представление m кодов полиадических чисел.

Структура пакета подразумевает наличие служебной и информационной частей, общая длина $d^{(\zeta;\gamma)}$ собранной кодовой последовательности определяется как количество бит, которым представлена служебная часть $d_s^{(\zeta;\gamma)}$ и длина кодового представления всех столбцов $(\zeta;\gamma)$ -го сегмента $d_{\inf}^{(\zeta;\gamma)}$, $d^{(\zeta;\gamma)} = d_s^{(\zeta;\gamma)} + d_{\inf}^{(\zeta;\gamma)}$.

Для проведения декодирования полиадических чисел необходимо выделить служебную и информационную части собранной кодовой последовательности. Это вызвано тем, что длина информационной части может изменяться для разных сегментов изображения по нескольким причинам: размеры сегментов изображения могут быть различными; сегменты изображения могут иметь разную систему оснований, что объясняется разной содержательной частью изображения.

Выборка информационной части из общей кодовой последовательности производится исходя из особенностей построения кода. Технология определения информационной части заключается в том, чтобы в общей длине кодовой последовательности определить границу служебной части.

Для этого необходимо:

1. Отвести под длину служебной части $d_{s,j}^{(\zeta;\gamma)}$ кодового представления полиадического числа для одной j -ой строки $(\zeta;\gamma)$ -го сегмента b бит. Длина кодового представления элемента основания составит $d_{s,1}^{(\zeta;\gamma)} \dots = \dots d_{s,j}^{(\zeta;\gamma)} \dots = \dots d_{s,n}^{(\zeta;\gamma)} = \log_2 b$. Тогда длина служебной части $d_s^{(\zeta;\gamma)}$ всей кодовой последовательности $(\zeta;\gamma)$ -го сегмента соответственно определяется длинами кодовых представлений всех элементов основания:

$$d_s^{(\zeta;\gamma)} = n d_{s,j}^{(\zeta;\gamma)} = n \log_2 b,$$

где n - количество строк $(\zeta;\gamma)$ -го сегмента.

2. Выделить из собранной кодовой последовательности служебную часть. Первый бит всей кодовой последовательности является служебным, а длина ее служебной части составляет $n \log_2 b$ бит. Следующий за ним $n \log_2 b + 1$ бит будет информационным.

3. Определить длину информационной части кодового представления $(\zeta;\gamma)$ -го сегмента. Необходимо перемножить все основания $\prod_{\eta=1}^n \lambda(t)_\eta$ для $(\zeta;\gamma)$ -го сегмента по формуле 2. Получим максимальную длину $d_i^{(\zeta;\gamma)}$ кодового представления одного столбца в сегменте. Затем определим длину $d_{inf}^{(\zeta;\gamma)}$ кодового представления информационной части всей кодовой последовательности $N(t)^{(\zeta;\gamma)}$ (формула 3).

4. Позиция первого бита кодового представления следующего сегмента изображения относительно текущего определяется как

$$P_1^{(\zeta+1;\gamma)} = P^{(\zeta;\gamma)} + 1,$$

где $P^{(\zeta;\gamma)}$ - последняя позиция кодограммы предыдущего сегмента, которая находится как:

$$P^{(\zeta;\gamma)} = n \log_2 b + m \left(\left\lceil \log_2 \prod_{\eta=1}^n \lambda(t)_\eta \right\rceil + 1 \right).$$

Таким образом, нет необходимости использования маркеро-разделителей для разделения служебной и информационной частей кодовой конструкции.

После выделения информационной части собранной кодовой последовательности начинается процесс восстановления изображения, который состоит из следующих этапов: декодирование полиадического числа, определение типа сегмента, декодирование разностного сигнала для сегмента Р-типа или деквантование и обратное ДКП для сегмента I-типа.

Общая схема процесса реконструкции изображения представлена на рис. 1. На вход декодера поступает совокупность $\{\Lambda(t)^{(\zeta,\gamma)}; N(t)_i^{(\zeta,\gamma)}\}$: вектор оснований $\Lambda(t)^{(\zeta,\gamma)}$ и кодовые представления столбцов (ζ,γ) -го сегмента $N(t)_i^{(\zeta,\gamma)}$.

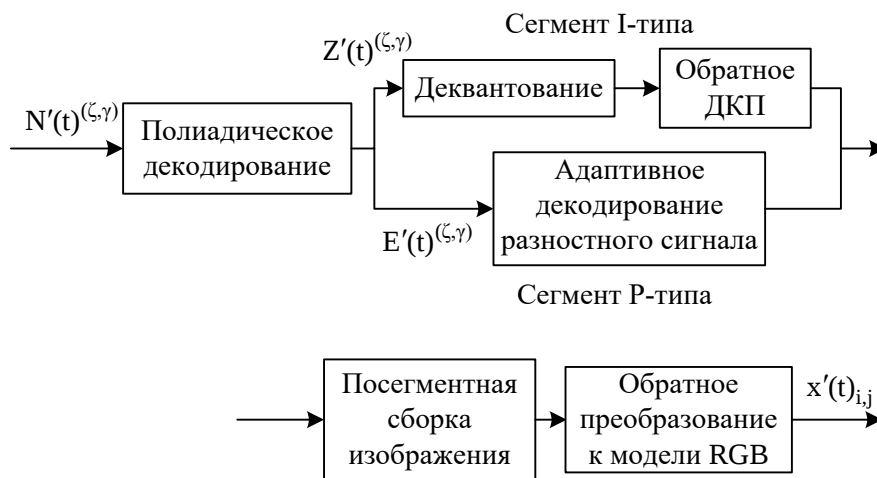


Рис. 1 – Общая схема восстановления предсказанного кадра

Процесс декодирования кодового представления сегмента изображения представлен на рис. 2.

Для начала процесса декодирования необходимо иметь вектор оснований $\Lambda(t)^{(\zeta,\gamma)} = \{\lambda(t)_1, \dots, \lambda(t)_i, \dots, \lambda(t)_n\}$ и вектор весовых коэффициентов $H(t)^{(\zeta,\gamma)} = \{h(t)_1^{(\zeta,\gamma)}, \dots, h(t)_i^{(\zeta,\gamma)}, \dots, h(t)_n^{(\zeta,\gamma)}\}$ элементов столбцов сегмента изображения.

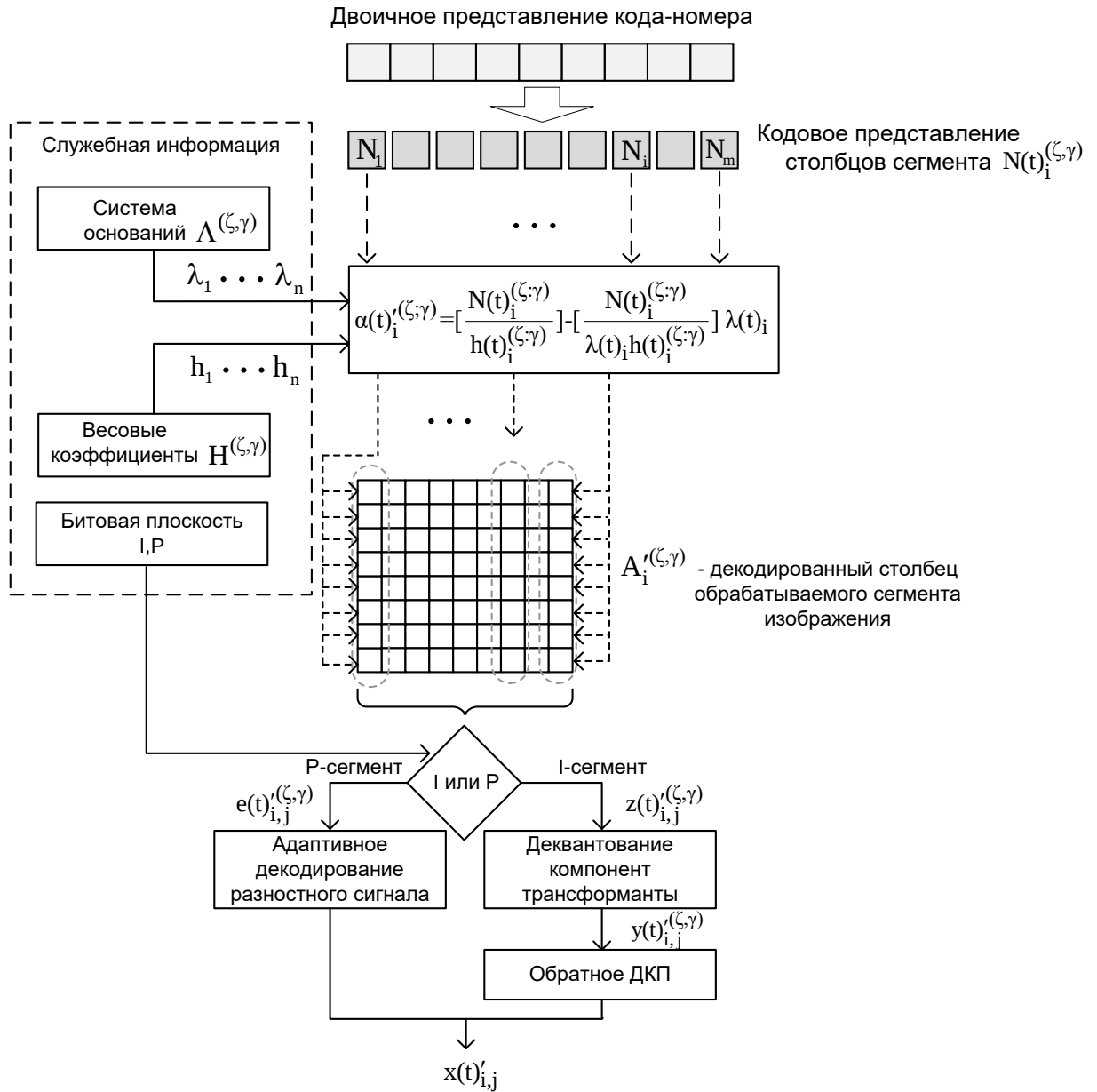


Рис. 2 – Схема декодирования элементов столбцов (ζ, γ) -го сегмента предсказываемого кадра.

Весовые коэффициенты для элементов i -го столбца (ζ, γ) -го сегмента определяются на основании выражения:

$$h(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = \prod_{\eta=1}^n \lambda(t)_\eta. \quad (4)$$

С учетом системы оснований $\Lambda(t)^{(\zeta, \gamma)}$ для i -го столбца (ζ, γ) -го сегмента и весовых коэффициентов, процедура декодирования компоненты $\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ трансформанты строится по следующему правилу:

$$\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = \left[\frac{N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}}{h(t)_i^{(\zeta, \gamma)}} \right] - \left[\frac{N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}}{\lambda(t)_i h(t)_i^{(\zeta, \gamma)}} \right] \lambda(t)_i, i=1, m, \quad (5)$$

где $\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ - декодированный элемент i -го столбца сегмента; $N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ - кодовое представление i -го столбца сегмента; $\lambda(t)_i$ - основание элемента i -го столбца сегмента.

Для дальнейшей обработки необходимо определить тип декодированного кадра. При формировании кодированной информации в передатчике возможны 2 варианта передачи необходимой служебной информации: в первом случае при формировании кадров вместе полезной информацией передаются некоторые характеристики сегмента изображения, которые позволяют при приеме определить его тип, либо в передатчике формируется маркер с конкретным указателем типа передаваемого сегмента.

Далее, в зависимости от типа обрабатываемого сегмента, производится либо адаптивное декодирование предсказанного сигнала, либо деквантование и обратное ДКП. Восстановление значений предсказанного сигнала заключается в том, что к предыдущему значению компоненты прибавляется полученная разность, $x(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)} = x'(t-1)_{i,j} + e'(t)_{i,j}$. Для получения элементов $y(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)}$ деквантованного сегмента $Y(t)^{(\zeta, \gamma)}$ трансформанты ДКП, производится умножение элементов $z(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)}$ декодированного трансформированного сегмента $Z(t)^{(\zeta, \gamma)}$ изображения на элементы $q_{i,j}$ матрицы квантования, $y(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)} = z(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)} \cdot q_{i,j}$. Далее выполняется обратное ДКП сегмента изображения на основе процедуры:

$$x(t)_{i,j}' = \frac{1}{\sqrt{mn}} C(i)C(j) \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{m-1} y(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)} \cos \left[\frac{(2\zeta + 1)i\pi}{2n} \right] \cdot \cos \left[\frac{(2\gamma + 1)j\pi}{2m} \right],$$

где $C(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & x = 0 \\ 1, & x \neq 0 \end{cases}$, $x(t)_{i,j}'$ - элемент восстановленного сегмента изображения.

Оценка характеристик процесса восстановления трансформированного сегмента изображения базируется на оценке величины среднеквадратичного отклонения и времени выполнения операций реконструкции одной трансформанты изображения.

Время реконструкции $T'(\zeta, \gamma)$ сегмента изображения определяется общим временем декодирования (ζ, γ) -го сегмента, временем сборки сегментов изображения и, либо адаптивного декодирования разностного сигнала в случае обработки сегмента Р-типа, либо деквантования и выполнения обратного ДКП в случае обработки сегмента I-типа, т.е.:

$$T'(\zeta, \gamma) = \begin{cases} T_{dc}^{(\zeta, \gamma)} + T_{dr}^{(\zeta, \gamma)} + T_s^{(\zeta, \gamma)}, & \text{если Р} \\ T_{dc}^{(\zeta, \gamma)} + T_{dq}^{(\zeta, \gamma)} + T_{odcp}^{(\zeta, \gamma)} + T_s^{(\zeta, \gamma)}, & \text{если I} \end{cases}$$

где $T_{dc}^{(\zeta, \gamma)}$ - время декодирования (ζ, γ) -го сегмента изображения на основе полиадического числа; $T_{dr}^{(\zeta, \gamma)}$ - время адаптивного декодирования разностного сигнала; $T_{dq}^{(\zeta, \gamma)}$ - время деквантования (ζ, γ) -го сегмента изображения; $T_{odcp}^{(\zeta, \gamma)}$ - время выполнения обратного дискретного косинусного преобразования; $T_s^{(\zeta, \gamma)}$ - время сборки сегментов изображения.

Временные затраты на декодирование полиадического числа одного сегмента $T_{dc}^{(\zeta, \gamma)}$ определяется временем декодирования кода для всех столбцов (ζ, γ) -го сегмента изображения:

$$T_{dc}^{(\zeta, \gamma)} = \sum_{i=1}^m t_{dci} = m t_{dci}, \quad (7)$$

где t_{dci} - время восстановления одного столбца сегмента.

Время декодирования t_{dci} одного j -го столбца состоящего из n элементов определяется по формуле:

$$t_{dci} = \sum_{i=1}^n t_{dci,j} = nt_{dci,j}, \quad (8)$$

где $t_{dci,j}$ - время получения элемента столбца.

Учитывая выражение (8), формула (7) примет вид:

$$T_{dc}^{(\zeta,\gamma)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{dci,j} = mnt_{dci,j},$$

Время реконструкции $T^{(\zeta,\gamma)}$ трансформированного (ζ,γ) -го сегмента изображения зависит от общего количества арифметических операций умножения, деления и вычитания, выполненных на всех этапах реконструкции сегмента.

Для декодирования одной компоненты сегмента необходимо выполнить одну операцию сложения в случае преобразования сегмента Р-типа, и по две операции деления, умножения и одну операцию вычитания в случае обработки сегмента I-типа. Количество арифметических операций, выполняемых при реконструкции сегмента изображения, приведено в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что при реализации предложенного метода декодирования количество арифметических операций при декодировании сегмента Р-типа уменьшается. Однако даже при обработке сегментов I-типа рассмотренный метод декодирования по количеству затрачиваемых операций не превосходит суммарные затраты на деквантование и обратное ДКП, что не оказывает существенного влияния на полное время восстановления изображения.

Таблица 1 – арифметические операции, выполняемые при реконструкции сегмента

Арифметические операции	Деление	Умножение	Вычитание (сложение)
Сегмент Р-типа			
Декодирование компоненты сегмента (операций)	2	2	1
Декодирование сегмента изображения ($m \times n$) (операций)	$2mn$	$2mn$	mn
Адаптивное декодирование разностного сигнала ($m \times n$) (операций)	-	-	mn
Сегмент I-типа			
Декодирование компоненты сегмента (операций)	2	2	1
Декодирование трансформанты ($m \times n$) (операций)	$2mn$	$2mn$	mn
Деквантование трансформанты ($m \times n$) (операций)	-	mn	-
Обратное ДКП трансформанты ($m \times n$) (операций)	-	$2mn \log_2 mn$	$2mn \log_2 mn$

Выводы:

1. Разработан метод декодирования изображений с использованием полиадических чисел. Определено количество операций на выполнение декодирования сегмента изображения в предсказываемых кадрах.

2. Рассмотренный метод восстановления изображений имеет ряд преимуществ, в сравнении со статистическими декодерами, а именно:

- нет необходимости в использовании маркеров для разделения служебной и информационной частей при формировании пакетов данных;
- повышение помехоустойчивости, т.к. ошибки могут распространяться только в пределах одного кода полиадического числа,

таким образом, их влияние распространяется только на один столбец, а не на весь сегмент.

- элементы восстанавливаемого сегмента декодируются независимо друг от друга, что позволяет применять параллельную обработку данных, что также снижает время, затрачиваемое на обработку данных.

- нет необходимости в использовании кодовых таблиц и алгоритмов поиска по ним, т.к. вся необходимая информация передается в служебной части вместе с кодом.

Список литературы:

1. Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков - Х.: ХУПС, 2010. – 212 с.

2. Анализ обработки предсказываемых кадров в технологии сжатия трансформированных изображений/Н.А.Харченко//Сучасна спеціалізована техніка №2 - Київ, 2012.

3. Метод компрессии видеопотока на основе обработки предсказываемых кадров в телекоммуникационных системах/Н.А. Харченко, В.В. Баранник// АСУ та прилади автоматики – Харків, 2012.

4. Способ обработки видеокадров с использованием технологии предсказания/Н.А.Харченко//25-я Международная научно-практическая конференция «Перспективные компьютерные управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины». Тези доповідей - Алушта, 2012.