

УДК 629.391

БАРАННИК В.В., д.т.н., професор, (ХУВС ім. І. Кожедуба),  
ХАРЧЕНКО Н.А., аспірант (ХНУРЭ),  
ЮРЧЕНКО К.Н., к.т.н., доцент кафедри економіки і управління (Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобыля Національного університету громадянської оборони України),  
ТВЕРДОХЛІБ В.В., аспірант (ХНУРЭ)

## Метод оценки битовой скорости в процессе кодирования макроблока для видеотелекоммуникационной сети

*Разработан метод оценки битовой скорости сжатой видеотелекоммуникационной информации в процессе кодирования макроблока, что необходимо для ее адаптации относительно пропускной способности канала в телекоммуникационной сети. Разработаны выражения, позволяющие оценить объем передаваемых данных сжатого видеопотока для макроблока яркостной составляющей предсказанного кадра. Предложен алгоритм обработки яркостной составляющей при двух различных вариантах формирования блоков в макроблоке в зависимости от функционала, оценивающего информативность полиадического кодирования на заключительном этапе сжатия видеоданных.*

**Ключевые слова:** видеоданные, цветовое пространство, составляющие цветовой модели, предсказанный кадр, полиадическое кодирование.

### Введение

Передача цифрового видео от источника (видеокамера или записанный видеоролик) к получателю (видеодисплей) вовлекает в работу целую цепь различных компонентов и процессов. Ключевыми звеньями этой цепи являются процессы компрессии (кодирования) и декомпрессии (декодирования). Здесь изначальный частотоемкий цифровой видеосигнал сокращается до размеров, подходящих для его дальнейшей передачи или хранения. Новые улучшенные разработки процессов компрессии и декомпрессии могут дать существенное коммерческое и техническое преимущество продукта. При этом обеспечивается лучшее качество видеозображения, большая надежность и/или гибкая приспособляемость по сравнению с уже существующими решениями. Однако наряду с параметрами сжатия необходимо так же вводить контроль битовой скорости видеопотока, который поступает в канал связи. Это обусловлено тем, что при обработке разных типов кадров формируется неравномерное количество бит на кадр. Это приводит к возникновению пульсации трафика, что негативно влияет на функционирование сети передачи данных. Поэтому есть необходимость в разработке алгоритма управления битовой скоростью видеопотока и его согласования с характеристиками ТКС. В работах [3, 4] создан алгоритм обработки Р-кадров, который основан на использовании двух типов сегментов, выбираемых по заданному пределу с учетом функционала, оценивающего информативность

полиадического кодирования на заключительном этапе сжатия видеоданных. По сравнению со стандартными методами кодирования он является предпочтительным. Однако для него отсутствует метод оценки битовой скорости видеопотока в расчете на один кадр, разработка которого и является целью данной статьи.

### Основная часть

При обработке видеоданных, если контролируемые параметры кодирования поддерживать постоянными, например, количество предсказанных кадров, шаг квантователя и т.п., то количество кодовых бит каждого макроблока будет меняться от макроблока к макроблоку в зависимости от содержания кадра. Это приведет к варьированию битовой скорости выходного потока, измеряемого в бит/кадр или в бит/с. Обычно кодер с фиксированными параметрами формирует больше бит для исходных кадров, на которых запечатлено быстрое движение или сняты мелкие детали. А для кадров с медленными изменениями и без деталей для кодирования понадобится меньшее количество бит. Такие скачки битовой скорости могут породить большие проблемы для многих протоколов транспортировки и хранения. Например, канал с постоянной скоростью (канал с коммутацией) неспособен передавать потоки данных с переменной скоростью.

© В.В. Баранник, Н.А. Харченко, К.Н. Юрченко, В.В. Твердохлеб, 2014

Сети на основе коммутации пакетов могут поддерживать переменную скорость передачи, но средняя пропускная способность в любой момент времени ограничена определенными факторами, зависящими от скорости связи и перегруженности. В этих случаях необходим контроль и адаптация битовой скорости сжатого видеопотока, производимого кодеком, для ее соответствия скоростям транспортировки.

Так как при работе кодера основным показателем эффективности его функционирования является битрейт, в первую очередь необходимо провести анализ количества бит, затрачиваемых на передачу одного кадра.

В общем случае объем данных, требующийся для передачи одного кадра, зависит от следующих параметров:

- статистические и структурные особенности изображения, в соответствии с которыми производится выбор типа кадра и дальнейший алгоритм преобразования;

- размер блока изображения, который зависит от применяемого видео стандарта, например MPEG-2 допускает использование размера блока 8x8, MPEG-4 – 8x8 и 4x4;

- тип цветовой модели и ее формат, выбирается в соответствии с областью использования видеоизображения;

- фактор качества: шаг квантования, основной параметр определяющий качество изображения;

- тип кодирования, выбирается в соответствии с требуемым временем обработки и вычислительными способностями кодера.

Все эти параметры можно разделить на такие, которыми мы не можем управлять, например особенности изображения, такие, что задаются в соответствии со стандартом (размер блока, цветовая модель) и такие, которые могут задаваться пользователем или адаптивно изменяться кодером.

В процессе обработки кадра происходит его разбиение на макроблоки. После чего проводится процедура перевода исходного изображения из RGB в цветовой формат YCbCr. В результате чего для макроблока формируются три плоскости представления: яркостная Y и две цветоразностные, представленные хроматической красной Cr и хроматической синей Cb составляющей (рис. 1). Обозначим представление макроблока яркостной составляющей для текущего P-кадра как  $S(t, Y)^{(\xi, \gamma)}$ , аналогично цветоразностные составляющие, хроматическую красную и хроматическую синюю обозначим как  $S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)}$

и  $S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)}$ , где  $(\xi, \gamma)$  – координаты макроблока в кадре,  $\xi = \overline{1, m_{mc}}$ ;  $\gamma = \overline{1, n_{mc}}$ . Здесь  $m_{mc}$  и  $n_{mc}$  – количество макроблоков в кадре по горизонтали и вертикали; t – номер текущего обрабатываемого кадра.

Каждый макроблок в свою очередь состоит из четырех блоков соответственно (рис. 1): яркостных  $B(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ , хроматических красных  $B(t, C_r)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  и хроматических синих  $B(t, C_b)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ , где  $(k, l)$  – координаты блока в макроблоке,  $k = \overline{1, 2}$ ;  $l = \overline{1, 2}$ , t – номер текущего обрабатываемого кадра. Тогда совокупность блоков яркостной составляющей в макроблоке  $S(t, Y)^{(\xi, \gamma)}$  собраны как

$$S(t, Y)^{(\xi, \gamma)} = \bigcup_{k=1}^{m_c} \bigcup_{l=1}^{n_c} B(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)},$$

здесь  $m_c$  – количество блоков в макроблоке по горизонтали;

$n_c$  – количество блоков в макроблоке по вертикали;

t – номер текущего обрабатываемого кадра;

$(\xi, \gamma)$  – координаты макроблока в кадре.

Соответственно макроблоки хроматических составляющих  $S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)}$  и  $S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)}$ , образованных соответствующими блоками цветности  $B(t, C_r)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  и  $B(t, C_b)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  будут представлены выражениями:

$$S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} = \bigcup_{k=1}^{m_c} \bigcup_{l=1}^{n_c} B(t, C_r)_{k,l}^{(\xi, \gamma)};$$

$$S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)} = \bigcup_{k=1}^{m_c} \bigcup_{l=1}^{n_c} B(t, C_b)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}.$$

Обработка макроблоков яркостной Y и цветоразностных Cr и Cb составляющих проводится по дифференцированной схеме указанной на рис. 2. Это позволяет учесть то, что яркостная составляющая несет в себе более высокую психовизуальную нагрузку чем цветоразностные составляющие. В связи с чем предлагается блоки яркостной составляющей обрабатывать двумя различными методами: с помощью ДКП как I-тип или с помощью ДИКМ как P-

тип. Для достижения более высокого качества изображения. А цветоразностные составляющие будут обрабатываться только с помощью ДИКМ.

Рассмотрим алгоритм сжатия блоков яркостной составляющей. При обработке кадров Р-типа (рис. 3)

производится предсказание по предыдущему кадру, т.е. выполняется процедура ДИКМ для блока  $B(t, Y)_{k,l}^{(\xi,\gamma)}$ .

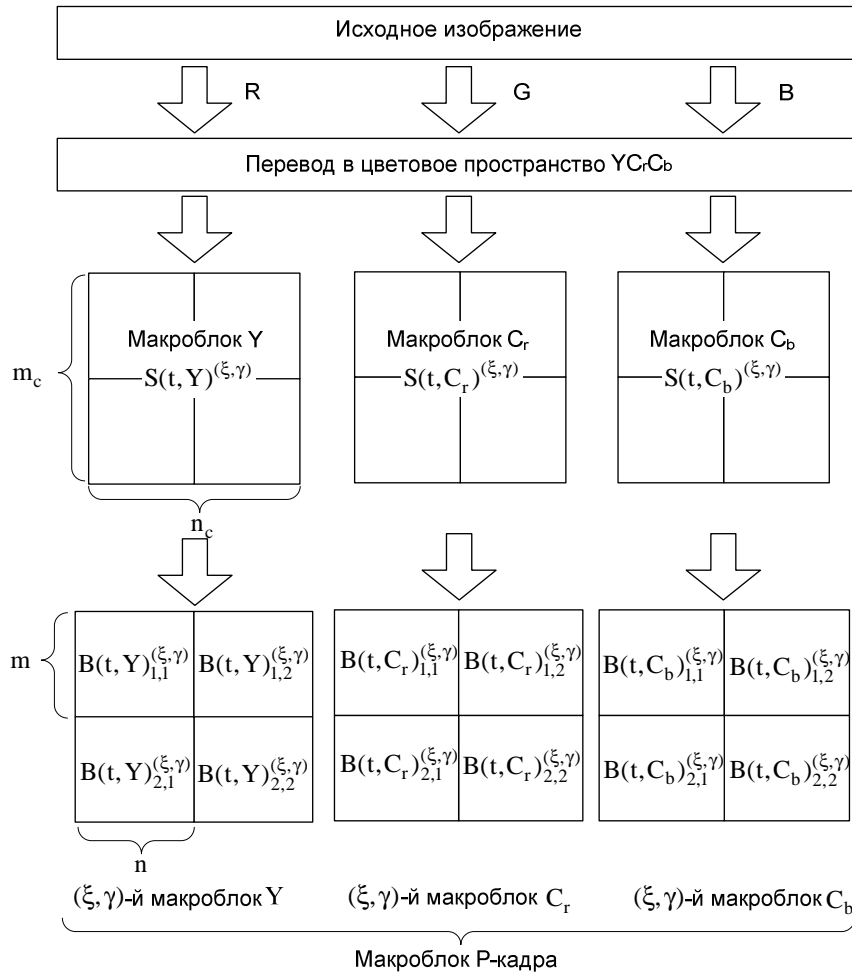


Рис. 1. Схема формирования макроблока в кадре после преобразования цветовой модели

Предсказанные разностные значения в данном случае представляют собой двумерный массив  $E(t, Y)_{k,l}^{(\xi,\gamma)}$  размером  $n \times n$  элементов:

$$E(t, Y)_{k,l}^{(\xi,\gamma)} = \begin{pmatrix} e(t, Y)_{1,1} & \dots & e(t, Y)_{1,j} & \dots & e(t, Y)_{1,n} \\ e(t, Y)_{i,1} & \dots & e(t, Y)_{i,j} & \dots & e(t, Y)_{i,n} \\ e(t, Y)_{n,1} & \dots & e(t, Y)_{n,j} & \dots & e(t, Y)_{n,n} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $e(t, Y)_{i,j} = b(t, Y)_{i,j} - b(t-1, Y)_{i,j}$  – (i, j)-я разностная компонента, показывающая значение разности между

(i, j)-ми элементами блоков  $B(t, Y)_{k,l}^{(\xi,\gamma)}$  и  $B(t-1, Y)_{k,l}^{(\xi,\gamma)}$ .

Далее проводится сравнение функционала  $f(E(t, Y)_{k,l}^{(\xi,\gamma)})$ , задающего значение информативности ДИКМ блока с порогом  $\Delta D$ . Если данная формула не превышает заданный порог, т.е.

$$f(E(t, Y)_{k,l}^{(\xi,\gamma)}) \leq \Delta D,$$

то далее блок будет обрабатываться с использованием полученных разностных значений, обработка проводится для Р-типа.

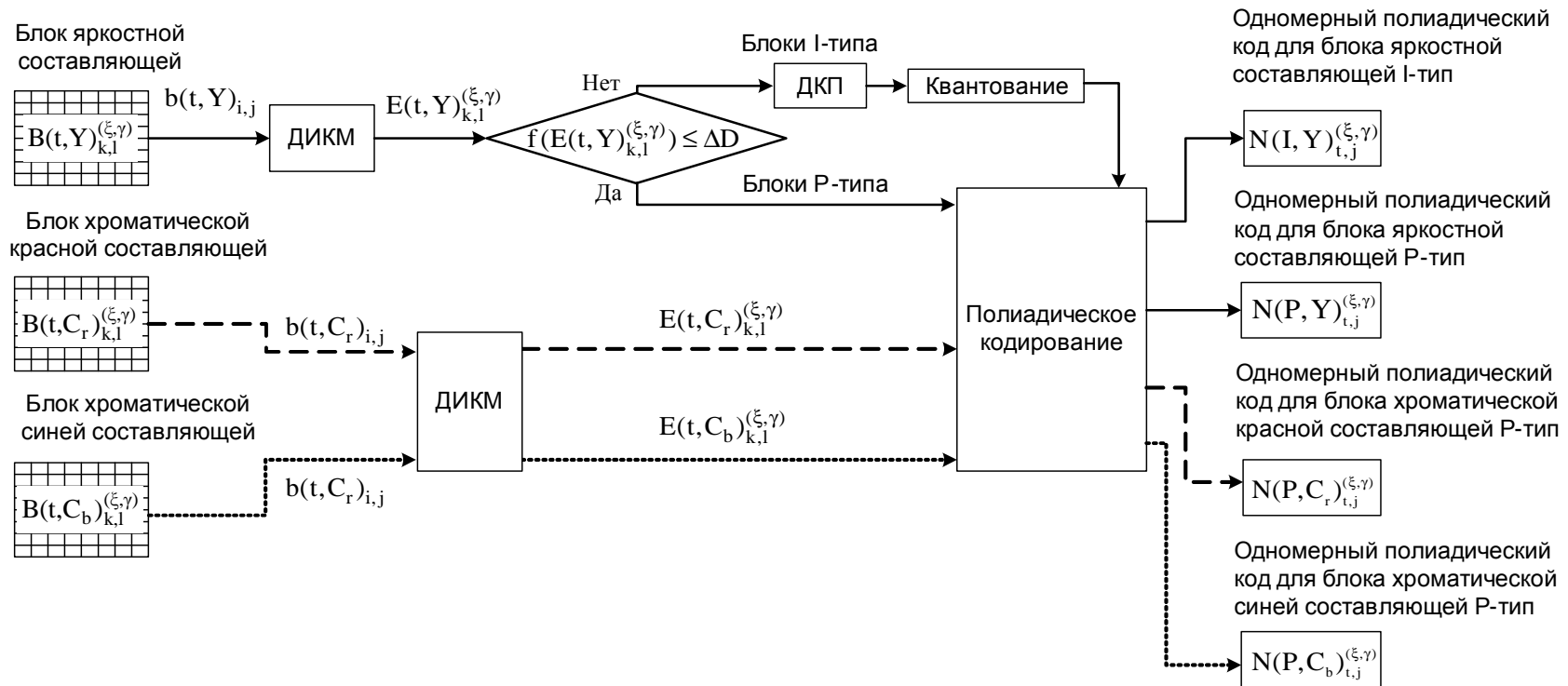


Рис. 2. Процесс дифференцированной обработки блоков после цветового преобразования

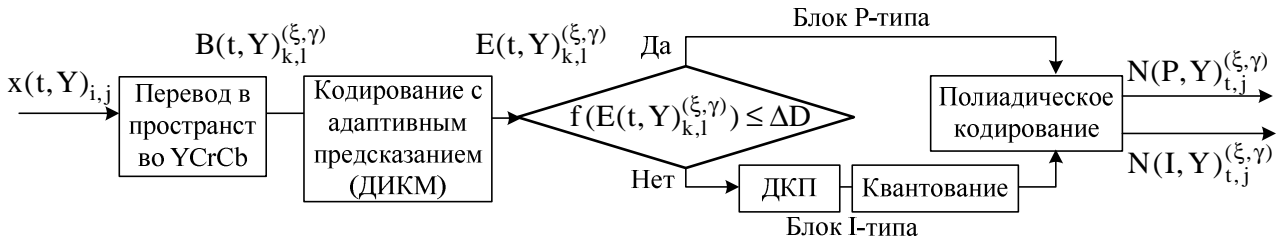


Рис. 3. Методика выбора типа обрабатываемого блока

Далее для столбцов массива  $E(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  формируются одномерные полиадические числа

$$E(t, Y)_j^{(\xi, \gamma)} = \{e(t, Y)_1, \dots, e(t, Y)_j, \dots, e(t, Y)_n\}.$$

Для чего используется построенная система оснований

$$\Lambda_P(Y)_j^{(\xi, \gamma)} = \{\lambda_P(Y)_1, \dots, \lambda_P(Y)_j, \dots, \lambda_P(Y)_n\}.$$

После чего формируется одномерный полиадический код  $N(P, Y)_{t,j}^{(\xi, \gamma)}$  для j-го столбца блока  $V(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ , где t – номер текущего обрабатываемого кадра;  $(\xi, \gamma)$  – координаты макроблока в кадре. Для этого используется формула

$$N(P, Y)_{t,j}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{i=1}^n e(t, Y)_i \prod_{\eta=i+1}^n \lambda_P(Y)_\eta,$$

где  $\prod_{\eta=i+1}^n \lambda_P(Y)_\eta$  – весовой коэффициент элемента  $e(t, Y)_i$ .

Если в блоке появился динамический объект, и значение функционала превышает порог, т.е.

$$f(E(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D,$$

то происходит переход к алгоритмам, используемым для кодирования I-кадров. Такой блок кодируется как I-блок.

Исходная последовательность, представленная как  $b(t, Y)_{i,j}$ , проходит этап трансформирования и квантования. Трансформирование осуществляется с помощью дискретного косинусного преобразования (ДКП).

Полученная трансформанта подвергается процедуре квантования, которая заключается в сопоставлении номера кванта каждому коэффициенту трансформанты

$$z(t, Y)_{i,j} = \left\lfloor \frac{y(t, Y)_{i,j} + q/2}{q} \right\rfloor,$$

где  $y(t, Y)_{i,j}$  – (i; j)-й элемент трансформанты,

q – шаг квантования.

Таким образом, получаем двумерный массив

$Z(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  размером  $n \times n$ :

$$Z(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)} = \begin{vmatrix} z(t, Y)_{1,1} & \dots & z(t, Y)_{1,j} & \dots & z(t, Y)_{1,n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ z(t, Y)_{i,1} & \dots & z(t, Y)_{i,j} & \dots & z(t, Y)_{i,n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ z(t, Y)_{n,1} & \dots & z(t, Y)_{n,j} & \dots & z(t, Y)_{n,n} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

После чего формируется одномерный полиадический код  $N(I, Y)_{t,j}^{(\xi, \gamma)}$  для j-го столбца блока I-типа, т.е.

$$N(I, Y)_{t,j}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{i=1}^n z(t, Y)_i \prod_{\eta=i+1}^n \lambda_I(Y)_\eta.$$

Из рис. 3 видно, что количественное соотношение I- и P-блоков в P-кадре будет определяться порогом  $\Delta D$ . Это в свою очередь будет влиять в целом на качество изображения и скорость его обработки. В случае обработки P-блока, общая длина кодовой последовательности будет зависеть от максимального значения разностных величин после ДИКМ, а при обработке I-блока основным показателем будет коэффициент квантования.

Определим количество разрядов  $d(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  для представления полиадического кода блока  $B(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ . В данном случае он будет равен общей длине собранной кодовой последовательности (рис. 4), которая определяется как суммарное количество бит, состоящее из служебной части  $d(t, Y)_s^{(\xi, \gamma)}$  и длины кодового представления всех столбцов блока  $d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)}$ .

$$d(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)} = d(t, Y)_s^{(\xi, \gamma)} + d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)}, \quad (3)$$

где  $(\xi, \gamma)$  – координаты макроблока в кадре.

Тогда результирующая длина  $d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)}$  всей информационной части кодовой последовательности составляет

$$d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)} = \begin{cases} d(P, Y)_{t,inf}^{(\xi, \gamma)} = \left( \left[ n \log_2 \prod_{\eta=1}^n \lambda_P(Y)_\eta \right] + 1 \right), \rightarrow f(E(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D; \\ d(I, Y)_{t,inf}^{(\xi, \gamma)} = \left( \left[ n \log_2 \prod_{\eta=1}^n \lambda_I(Y)_\eta \right] + 1 \right), \rightarrow f(E(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D, \end{cases}$$

где  $n$  – количество строк и столбцов блока полиадического числа для P- и I-блоков соответственно.

$\prod_{\eta=1}^n \lambda_P(Y)_\eta = h_{\max P}$ ,  $\prod_{\eta=1}^n \lambda_I(Y)_\eta = h_{\max I}$  – Длина служебной части  $d(t, Y)_s^{(\xi, \gamma)}$  всей кодовой последовательности одного блока соответственно определяется длинами кодовых верхняя граница значения кода одномерного представлений всех элементов основания

$$d(t, Y)_s^{(\xi, \gamma)} = n d(t, Y)_{s,j}^{(\xi, \gamma)} = \begin{cases} d(P, Y)_{t,s}^{(\xi, \gamma)} = n \log_2 b, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D; \\ d(I, Y)_{t,s}^{(\xi, \gamma)} = n \log_2 b, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D, \end{cases}$$

где  $n$  – количество столбцов блока  $B(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ ,

$$d(t, Y)_{s,1}^{(\xi, \gamma)} \dots = \dots d(t, Y)_{s,j}^{(\xi, \gamma)} \dots = \dots d(t, Y)_{s,n}^{(\xi, \gamma)} = \log_2 b - \text{длина кодового представления элемента}$$

основания массива  $E(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  или  $Z(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ ;

$b$  – количество бит, отведенных под длину служебной части.

Таким образом, длина  $d(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  кодовой составляющей будет определяться следующим выражением: последовательности передаваемых данных после сжатия для одного блока  $B(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  яркостной

$$d(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)} = \begin{cases} d(P, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)} = d(P, Y)_{t,inf}^{(\xi, \gamma)} + d(P, Y)_{t,s}^{(\xi, \gamma)}, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D; \\ d(I, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)} = d(I, Y)_{t,inf}^{(\xi, \gamma)} + d(I, Y)_{t,s}^{(\xi, \gamma)}, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D, \end{cases}, \quad (4)$$

где  $d(P, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  - длина кодовой последовательности сжатых данных для Р-блока,  
 $d(I, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  - длина кодовой последовательности сжатых данных для I-блока.

Процесс формирования кодовой последовательности для блока  $V(t, Y)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$  показан на рис. 4.

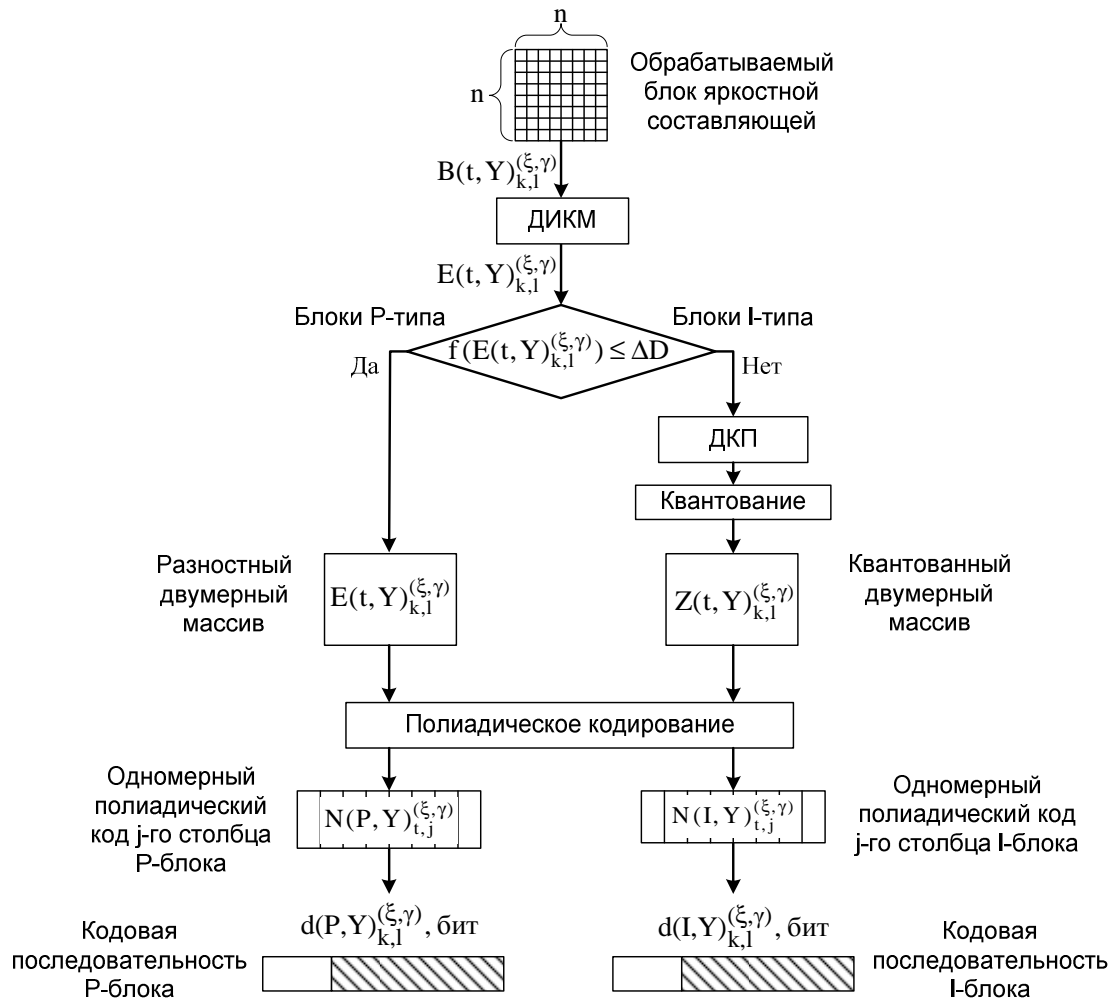


Рис. 4. Преобразование блока яркостной составляющей в кодовую последовательность

Таким образом, получены выражения для оценки длины кодовой последовательности сжатых данных яркостной составляющей кадра Р-типа.

**Выводы**

Разработан метод оценки битовой скорости сжатого видеопотока в процессе кодирования макроблока предсказанного кадра. Он учитывает следующее:

- был использован алгоритм обработки Р-кадров описанный в работах [3,4], который основан на использовании двух типов блоков, выбираемых по

заданному пределу с учетом функционала, оценивающего информативность полиадического кодирования на заключительном этапе сжатия видеоданных;

- разработана схема обработки блоков яркостной составляющей с помощью двух способов: с помощью ДКП как I-тип или с помощью ДИКМ как Р-тип. Что позволит повысить качество изображения. Такая дифференцированная схема позволяет значительно повысить скорость обработки видеоданных на один Р-кадр, поддерживая при этом заданное качество восстановленного изображения;

- определены выражения для сформированных блоков, их одномерный полиадический код и результирующие длины кодовых последовательностей передаваемых данных после компрессии при разных вариантах обработки блоков как P- и I-тип для яркостной составляющей.

Данные выражения позволяют провести оценку битовой скорости видеопотока для одного P-кадра с учетом изменения таких параметров как размер и тип блоков в кадре, при использовании в качестве итогового кодирования полиадических кодов.

Таким образом, созданный метод оценки, в итоге позволит построить систему управления битовой скоростью видеопотока. Это особенно актуально в сетях передачи данных с низкой пропускной способностью канала, малом времени обработки видеоизображений или ограниченных вычислительных возможностях устройств обработки, например реализация служб IP-TV или on-line конференций, передача данных по беспроводным Wi-Fi сетям и т.д.

#### Литература

1. Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков - Х.: ХУПС, 2010. – 212 с.
2. Ян Ричардсон. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 - стандарты нового поколения. М.: Техносфера, 2005. - 368 с.
3. Метод компрессии видеопотока на основе полиадического кодирования предсказываемых кадров / Н.А. Харченко, В.Н. Кривonos // Радиоэлектроника и информатика. - №1. – 2013. – С. 21 – 28.
4. Метод реконструкции предсказываемых кадров в телекоммуникационных технологиях кодирования видеотрафика / Н.А.Харченко // Сучасна спеціальна техніка. – Київ: МВС ДНДІ науково – практичний журнал, 2012. – Вип. 4 – С. 17 – 25.

**Баранник В.В., Харченко Н.А., Юрченко К.Н., Твердохліб В.В. Метод оцінки бітової швидкості в процесі кодування макроблоку для відеоінформаційного потоку в телекомунікаційній мережі.** Розроблено метод оцінки бітової швидкості стисненої відеоінформації в процесі кодування макроблоку, що необхідно для її адаптації відносно пропускної здатності каналу в телекомунікаційній мережі. Розроблено вирази, що дозволяють оцінити обсяг переданих даних стисненого відео потоку для складової яскравості в макроблоці передбаченого кадру. Запропоновано алгоритм обробки складової яскравості при двох різних варіантах формування блоків в макроблоці в залежності від функціонала, що оцінює інформативність поліадичного кодування на заключному етапі стиснення відеоданих.

**Ключові слова:** відеодані, кольоровий простір, складові кольорової моделі, передбачений кадр, поліадичне кодування.

**Barannik V.V., Kharchenko N.A., Yurchenko K.N., Tverdokhle V.V. Method of bit rate evaluation in macroblock encoding process for video information flow in telecommunication network.** An evaluation method for bit rate of compressed video during macroblock encoding which is necessary for its adaptation concerning bandwidth capacity in the telecommunications network has been developed. Expressions to estimate the amount of compressed video data flow transmitted for macroblock of P-frame luminance component have been developed. An algorithm of luminance component processing with two different ways of blocks formation in macroblock depending on the functional evaluating informative polyadic coding at the final stage of video data compression has been proposed.

**Key words:** video data, color space, color model components, P-frame, polyadic coding.

Рецензент д.т.н., професор Безрук В.М. (ХНУРЕ)

*Поступила 31.03.2014г.*