

# Інфокомунікаційні системи

УДК 621.391

В.В. Баранник<sup>1</sup>, Д.Э. Двухглавов<sup>2</sup>, Н.А. Харченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Харьковський університет Воздушних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

<sup>2</sup> Национальний технічний університет «ХПИ», Харків

<sup>3</sup> Харьковський національний університет радіоелектроніки, Харків

## МЕТОД КОНТРОЛЯ БИТОВОЙ СКОРОСТИ ПРИ КОМПРЕССИИ ПРЕДСКАЗАННЫХ КАДРОВ В ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

*Предложен метод управления битовой скоростью при компрессии видеоданных с учетом достижения максимального качества изображения. В процессе нахождения оптимальных параметров компрессии принято решение использовать метод дихотомии. Он позволяет находить оптимальные значения с заданной точностью, не прибегая при этом к полному перебору вариантов. Это приводит к уменьшению времени обработки кадров видеогруппы, что особенно актуально в случае передачи медиаконтента в режиме реального времени. Простота метода также является одним из необходимых требований к алгоритмам управления, при использовании их в устройствах с ограниченными вычислительными способностями. В качестве основного параметра компрессии был выбран фактор качества, с помощью которого формируется матрица квантования. Именно на этом этапе производится наибольшая потеря информации. Выбирая также метод обработки блоков в кадре, есть возможность снизить битовую скорость до необходимого предела для передачи по каналам связи.*

**Ключевые слова:** *предсказанные кадры, битовая скорость, яркостная составляющая, квантование, фактор качества, контроль битовой скорости.*

### Введение

При обработке видеопотока количество кодовых бит каждого макроблока на выходе кодера будет меняться в зависимости от содержания кадра, что приводит к варьированию битовой скорости выходного потока.

При формировании видеопоследовательности в стандарте MPEG-2 используют 3 типа кадров опорные I, разностные P и двунаправленные B [2]. Обычно опорные кадры, на которых запечатлено быстрое движение или присутствует много мелких деталей, кодируются большим количеством бит, чем кадры с медленными изменениями и без деталей [1]. Такие скачки битовой скорости могут породить большие проблемы для многих протоколов транспортировки и хранения данных. Так сети на основе коммутации пакетов могут поддерживать переменную скорость передачи, но средняя пропускная способность в любой момент времени ограничена определенными факторами, зависящими от скорости передачи и перегруженности канала.

Поэтому актуальной научной задачей является развитие подходов по контролю битовой скорости кодера для ее соответствия скоростям транспортировки в сети передачи данных.

В настоящее время, для решения задач адаптации битовой скорости при передаче видеоданных по каналам с постоянной скоростью используются бу-

феры в кодере и декодере. При этом, чем выше вариация битовой скорости, тем большим будет требуемый объем буфера и тем длиннее задержка декодирования. Кроме того, таким методом нельзя справиться с произвольными скачками битовой скорости, так как объемы буферов и задержки при передаче и декодировании имеют ограничения. Поэтому необходимо реализовать такую технологию контроля битовой скорости с использованием обратной связи, которая при снижении битовой скорости также учитывает качество реконструкции и время обработки кадра видеопоследовательности.

Так как I-кадры наиболее критичны к ухудшению качества изображения, коэффициент их сжатия будет небольшим. Поэтому для достижения необходимых значений скорости видеопоследовательности на выходе кодера предлагается разрабатывать метод управления для кадров P-типа. Так как их требования к качеству изображения значительно ниже, что позволяет применять методы компрессии с большими коэффициентами сжатия. А также их количество в видеопоследовательности на порядок больше опорных, что оказывает значительное влияние на общую битовую скорость видеопотока.

Для получения на выходе кодера потока, который соответствует пропускной способности канала передачи данных, применяют алгоритмы управления битовой скоростью. Требуемая выходная скорость достигается путем регулирования параметра

квантования. В зависимости от области применения может использоваться сжатие как с постоянной выходной скоростью (cbr – constant bit rate), так и с переменной (vbr – variable bit rate) [1]. Для сжатия с постоянной скоростью в зависимости от назначения алгоритма может варьироваться размер буфера для кодера и декодера. Если необходим более точный алгоритм контроля выходной скорости кодера, используется многопроходное кодирование (multi-pass encoding). Большое распространение получила двухпроходная схема кодирования: первый проход – этап предварительного анализа и установление необходимых параметров кодирования; второй проход – кодирование с ранее установленными параметрами. При этом выбранные параметры могут применяться как к отдельному блоку в кадре, так и ко всему кадру.

### Основная часть

В процессе обработки кадра происходит его разбиение на блоки размерностью  $m \times n$ . Таким образом, весь кадр представляет собой множество блоков  $\{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ . Эти блоки кодируются отдельно друг от друга [2]. Обозначим через  $d(t)_i$  и  $\sigma(t)_i$  битовые затраты и среднеквадратическую ошибку для блока  $b_i$  текущего кадра  $t$ . Значения  $d(t)_i$  и  $\sigma(t)_i$  зависят от вектора решений  $\Psi^i$ , который используется при кодировании каждого блока. Вектор решения входит в состав множества решений, которое обозначим буквой  $\Psi$ . Вектор решений включает в себя  $k$  компонент, т.е.  $\Psi^i = \{\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_k^i\}$ . Таким образом, выражение для  $d(t)_i$  и  $\sigma(t)_i$  можно представить в следующем виде:

$$d(t)_i = d_i(t, \Psi^i) = d(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_k^i);$$

$$\sigma(t)_i = \sigma_i(t, \Psi^i) = \sigma(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_k^i).$$

В статье [3] был предложен алгоритм обработки блоков в Р-кадрах. В соответствии с чем, предлагается блоки яркостной составляющей обрабатывать двумя различными методами: с помощью ДКП как I-тип или с помощью ДИКМ как Р-тип, а цветоразностные составляющие будут обрабатываться только с помощью ДИКМ по предыдущему кадру.

При компрессии Р-кадров вектор решений для метода управления битовой скоростью состоит из двух компонент: мера информативности блока и параметр качества, т.е.  $\Psi^i = \{\psi_1^i, \psi_2^i\}$ .

Соответственно, для каждого  $i$ -го блока битовая скорость и среднеквадратическая ошибка будут функциями от двух переменных:

$$d(t)_i = d_i(t, \Psi^i) = d(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i);$$

$$\sigma(t)_i = \sigma_i(t, \Psi^i) = \sigma(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i).$$

Среднеквадратическая ошибка для всего кадра определяется выражением:

$$\sigma(t, \Psi) = \sum_{i=1}^k \sigma(t, \Psi^i).$$

Аналогично, битовые затраты на кадр определяются как:

$$d(t, \Psi) = \sum_{i=1}^k d(t, \Psi^i).$$

Для оптимизации параметров компрессии необходимо найти такие значения вектора решений, которые будут удовлетворять следующим условиям:

$$\sigma(t, \Psi^*) = \min_{\Psi^i \in \Psi} \sigma(t, \Psi^i); \quad d(t, \Psi^*) \leq d_{req},$$

где  $d_{req}$  – требуемые битовые затраты на один кадр;  $\Psi^*$  – оптимальный вектор решений.

При обработке блоков в качестве параметра управления предлагается использовать только фактор качества, который используется для формирования матрицы квантования, так как именно на этом этапе происходит коррекция компонент трансформант под психовизуальные особенности зрительного восприятия. Мера информативности блока определяет метод формирования трансформант и его влияние на битовую скорость незначительна.

При формировании матриц квантования в стандарте JPEG используется два подхода. Один заключается в том, что в стандарт JPEG включены две рекомендуемые таблицы квантования: одна для яркости (табл. 1), вторая для цветности.

Таблица 1

Базовая матрица квантования яркостной составляющей стандарта JPEG

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Второй подход заключается в вычислении значений таблицы квантования в реальном масштабе времени. В этом случае для каждого элемента матрицы трансформированного изображения существует соответствующий элемент матрицы квантования. Результирующая матрица получается делением каждого элемента матрицы трансформант на соответствующий элемент матрицы квантования и последующим округлением результата до ближайшего целого числа. Как правило, значения элементов матрицы квантования растут по направлению слева направо и сверху вниз.

От выбора матрицы квантования зависит баланс между степенью сжатия изображения и его качеством после восстановления.

Расчет матрицы квантования состоит в следующем: задается одно значение фактора качества (Quality Factor – QF) обычно в диапазоне [1, 25] и производится расчет значений матрицы по формуле:

$$q(t)_{i,j} = 1 + (1 + i + j) \cdot QF.$$

Фактор качества задает интервал между соседними уровнями матрицы квантования, расположенными на ее диагоналях. Пример полученной матрицы квантования представлен в табл. 2

Таблица 2

Матрица квантования с фактором качества равным 2

3	5	7	9	11	13	15	17
5	7	11	13	15	17	19	21
7	11	13	15	17	19	21	23
9	11	13	15	17	19	21	23
11	13	15	17	19	21	23	25
13	15	17	19	21	23	25	27
15	17	19	21	23	25	27	29
17	19	21	23	25	27	29	31

В данной работе предлагается управлять не только количеством бит на сжатый сегмент, но и визуальным качеством каждого сегмента. Необходимо найти значение фактора качества  $QF_{opt}$ , при котором среднеквадратическая ошибка будет минимальна  $\sigma(t, \Psi^*) = \min_{\psi^i \in \Psi} \sigma(t, \psi^i)$ , с учетом того, что скорость не будет превышать требуемого значения битовой скорости  $d(t, \Psi^*) \leq d_{req}$ , которое равно пропускной способности канала передачи.

Для поиска оптимального коэффициента QF используем известный метод деления отрезка пополам (дихотомии), который, по отношению к другим методам, является более быстрым, простым и обеспечивает заданную точность ( $\epsilon$ ).

Обозначим QF как параметр  $\lambda$  и соответственно  $QF_{opt}$  как параметр  $\lambda_{opt}$ . Алгоритм реализации поиска для рассматриваемой задачи можно представить в виде следующей последовательности этапов:

*Подготовительный этап.*

Определить такие значения  $\lambda_1 = \min$  и  $\lambda_2 = \max$ , такие что заведомо справедливо  $d(t, \Psi_{\lambda_2}) < d_{req} < d(t, \Psi_{\lambda_1})$ .

*Итерация.*

Найти среднее значение  $\lambda$  в соответствии с методом дихотомии на интервале  $[\lambda_1; \lambda_2]$ :

$$\lambda = \left\lfloor \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \right\rfloor \text{ для приближения к значению } \lambda_{opt}.$$

Для проверки соответствия  $\lambda \approx \lambda_{opt}$  необходимо вычислить:  $d(t, \Psi_\lambda), \sigma(t, \Psi_\lambda)$ .

Если  $d(t, \Psi_\lambda) > d_{req}$  и  $\sigma(t, \Psi_\lambda) \leq \sigma_{req}$ , то смещается нижняя граница интервала ( $\lambda_1 := \lambda$ ).

Если  $d(t, \Psi_\lambda) > d_{req}$  и  $\sigma(t, \Psi_\lambda) > \sigma_{req}$ , то данная задача не имеет решения и алгоритм завершает работу. Если  $d(t, \Psi_\lambda) \leq d_{req}$ , то смещается верхняя граница интервала ( $\lambda_2 := \lambda$ ).

*Проверка условия окончания алгоритма.*

Если  $|\lambda_1 - \lambda_2| < \epsilon$ , то поиск решения завершен и результат является оптимальным, т.е.  $\Psi^* = \Psi_\lambda$ .

Если нет, то осуществляется переход к следующей итерации.

Блок-схема алгоритма реализации поиска оптимального параметра для управления битовой скоростью представлена на рис. 1.

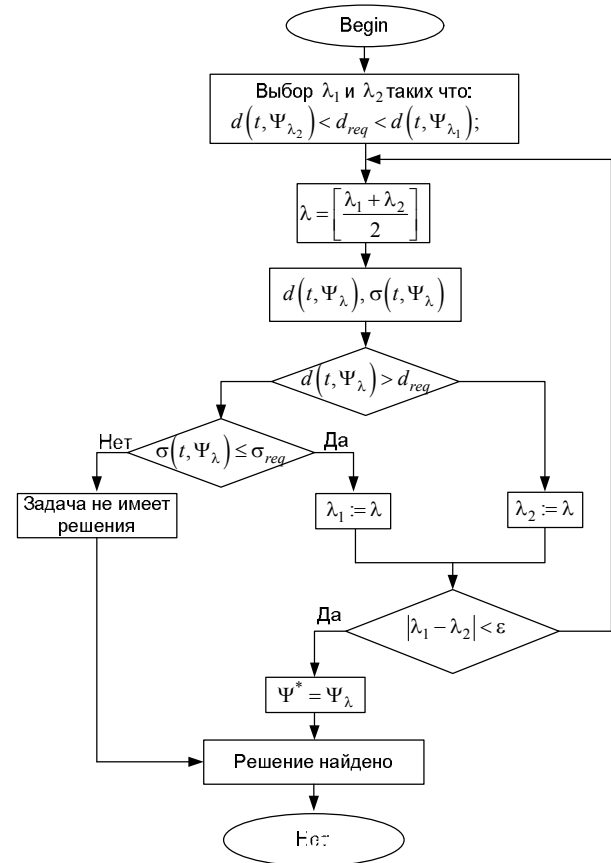


Рис. 1. Блок-схема алгоритма реализации поиска оптимального параметра управления

Рассмотрим пример работы данного алгоритма.

Анализ изменения фактора качества QF от минимума к максимуму показал, что битовая скорость и возникающая при этом ошибка соответственно будет изменяться по графикам, указанным на рис. 2. Присваиваем значения  $\lambda_1 = QF_{min}$  и  $\lambda_2 = QF_{max}$ , такие что выполняются условия

$$d(t, \Psi_{\lambda_2}) < d_{\text{req}} < d(t, \Psi_{\lambda_1}).$$

Проводим первую итерацию. Находим  $\lambda^1 = [(\lambda_1 + \lambda_2)/2]$ , и вычисляем для данного значения  $d(t, \Psi_{\lambda^1})$  и  $\sigma(t, \Psi_{\lambda^1})$ . Проводим сравнение  $d(t, \Psi_{\lambda^1}) > d_{\text{req}}$ . Если условие не выполняется, то битовую скорость необходимо увеличивать для улучшения качества изображения.

В этом случае присваиваем  $\lambda_2 := \lambda$  и далее рассматривается диапазон  $[\lambda_1; \lambda]$  как показано на рис. 2. Если условие  $d(t, \Psi_{\lambda^1}) > d_{\text{req}}$  выполняется, проводим проверку по среднеквадратической ошибке:  $\sigma(t, \Psi_{\lambda^1}) \leq \sigma_{\text{req}}$ .

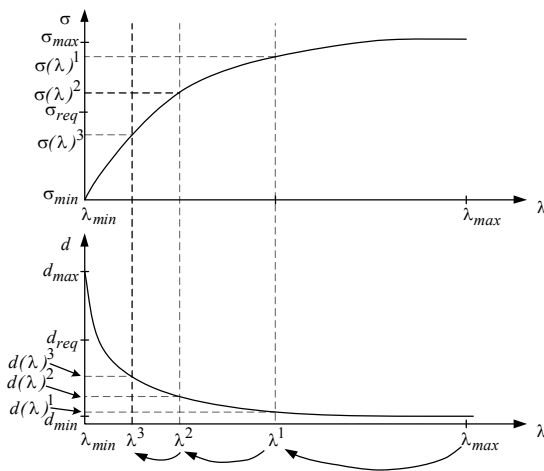


Рис. 2. Иллюстрация работы алгоритма поиска оптимального параметра

В случае если и скорость и ошибка превышают требуемые значения, не выполняется ни одно из условий:  $d(t, \Psi_{\lambda^1}) > d_{\text{req}}$ ,  $\sigma(t, \Psi_{\lambda^1}) > \sigma_{\text{req}}$ , видим, что оптимизация данным методом сжатия невозможна и необходим выбор другого метода, из тех, что предлагаются стандартом JPEG. При значении ошибки меньше требуемой  $\sigma(t, \Psi_{\lambda^1}) \leq \sigma_{\text{req}}$  присваиваем  $\lambda_1 := \lambda$  и далее нахождение оптимального

значения будет производиться в диапазоне  $[\lambda; \lambda_2]$ . Таким образом, после первой итерации в приведенном примере будет произведен сдвиг  $\lambda_{\text{max}} \rightarrow \lambda$ .

Последним этапом проводится проверка оптимальности. Проверяем условие  $|\lambda_1 - \lambda_2| < \varepsilon$ , где параметр  $\varepsilon$  показывает заданную точность вычислений. Если необходимая точность была достигнута, то оптимальным значением считаем  $\sigma(t, \Psi_{\lambda^1})$ . Решение задачи найдено. Иначе поиск продолжается и производится выполнение следующей итерации.

## Выводы

В статье был разработан метод управления битовой скоростью работы кодера, используя в качестве параметра фактор качества при квантовании блока. Для поиска оптимального значения параметра квантования было принято решение использовать метод деления отрезков пополам. Основное его преимущество заключается в том, что не требуется полный (или близкий к полному) перебор множества решений как, например, при динамическом программировании. Это позволяет снизить время обработки и передачи кадра, что необходимо при обработке видео-последовательности в реальном масштабе времени.

Простота метода позволяет также снизить нагрузку на вычислительный аппарат кодера, поэтому есть возможность его использования в системах с ограниченными вычислительными способностями.

## Список литературы

1. Ричардсон Ян. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. [Текст] / Ян Ричардсон. – М.: Техносфера, 2005. – 368 с.
2. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука [Текст] / Д. Сэломон. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
3. Харченко Н.А. Метод компрессии видеопотока на основе полиадического кодирования предсказываемых кадров / Н.А. Харченко, В.Н. Кривонос // Радиоэлектроника и информатика. – 2013. – №1. – С. 21-28.

Поступила в редколлегию 13.10.2014

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

## МЕТОД КОНТРОЛЮ БІТОВОЇ ШВИДКОСТІ ПРИ КОМПРЕСІЇ ПЕРЕДБАЧЕНИХ КАДРІВ У ВІДЕОПОСЛІДОВНОСТІ

В.В. Бараннік, Д.Е. Двухглавов, Н.А. Харченко

Запропоновано метод управління бітовою швидкістю при компресії відеоданих з урахуванням досягнення максимальної якості зображення. В процесі знаходження оптимальних параметрів компресії прийнято рішення використувати метод дихотомії. Він дозволяє знаходити оптимальні значення із заданою точністю, не вдаючись при цьому до повного перебору варіантів. Це призводить до зменшення часу обробки кадрів відеогрупи, що особливо актуально в разі передачі медіаконтенту в режимі реального часу. Простота методу також є одною з необхідних вимог до алгоритмів управління, при використанні їх в пристроях з обмеженими обчислювальними здібностями. В якості основного параметра компресії був обраний фактор якості, за допомогою якого формується матриця квантування. Саме на цьому етапі відбувається найбільша втрата інформації. Вибираючи також метод обробки блоків в кадрі, є можливість знизити бітову швидкість до необхідної межі для передачі по каналах зв'язку.

**Ключові слова:** передбачені кадри, бітова швидкість, складова яскравості, квантування, фактор якості, контроль бітової швидкості.

**METHOD OF CONTROLLING THE BIT RATE FOR COMPRESSION  
OF PREDICTED FRAMES IN A VIDEO SEQUENCE**

V.V. Barannik, D.E. Dvuhglavov, N.A. Kharchenko

*The method of management bit rate is offered at the compression of videoinformation taking into account achievement of maximal quality of image. In the process of finding of optimum parameters of compression a decision to utilize the method of dichotomy is accepted. He allows to find optimum values with the set exactness, not coming running here to the exhaustive search of variants. It results in diminishing of time of treatment of personnels of videogroup, that especially topically in the case of transmission of mediac-ontent real-time. Simplicity of method also is one of necessary requirements to the algorithms of management, at the use them in devices with the limited calculable capabilities. As a basic parameter of compression the factor of quality which the matrix of quantum is formed by was chosen. Exactly on this stage the most loss of information is made. Choosing also the method of treatment of blocks in a shot, there is possibility to reduce bit speed to the necessary limit for a transmission on ductings of connection.*

**Keywords:** *predicted frames, the bit rate, the luminance component, quantization, the quality factor, monitoring the bit rate.*