



## СПОСОБ КОНТРОЛЯ БИТОВОЙ СКОРОСТИ ВИДЕОПОТОКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

ТВЕРДОХЛЕБ В.В.

Рассматриваются принципы построения управляющих алгоритмов для контроля битовой скорости видеопотока. Показывается эффективность подходов, основанных на трехмерном представлении трансформант кадра, позволяющих осуществлять контроль скорости с одновременным учетом итоговых значений ошибки. Приводятся методики повышения быстродействия управляющих алгоритмов.

**Ключевые слова:** насыщенность трансформанты, управление битовой скоростью, битовая плоскость, СКО, пропускная способность.

**Keywords:** saturation of transformant, bitrate control, bitplane, MSE, bandwidth.

### 1. Актуальность управления интенсивностью видеопотока

Современные инфокоммуникации характеризуются стремительным ростом объема передаваемых видеоданных. Происходит постоянный рост числа пользователей систем видеоконференций и сервисов трансляции потокового видео. На фоне этого, однако, увеличение пропускной способности каналов запаздывает, что является причиной частых перегрузок сетей.

В таких условиях возможность адаптируемости интенсивности видеопотока к пропускной способности канала является актуальной [1, 2].

Данная возможность способна обеспечить эффективную передачу видеопотока, предотвратить возникновение потерь и задержек передачи видеоданных.

Целью данного исследования является построение методики управления битовой скоростью видеопотока для согласования ее величины с пропускной способностью канала инфокоммуникационной сети.

Основными задачами построения метода управления контроля битовой скоростью являются: определение условий эффективной передачи видеопотока на фоне изменяющейся пропускной способности канала, построение механизма управления битовой скоростью видеопотока, а также контроля уровня ошибки [3].

### 2. Условия эффективной передачи видеопотока

Эффективной можно считать такую передачу видеопотока, при которой обеспечивается выполнение следующих условий:

- соответствие требованиям QoS касательно величин задержки и потерь данных;
- поддержание уровня ошибки, не превышающего заданного значения;
- обеспечение визуально приемлимого качества видео на приеме.

Таким образом, наряду с управлением битовой скоростью необходимо также обеспечить значение ошибки, в качестве которой будем рассматривать уровень среднеквадратического отклонения, на требуемом уровне [4].

Тогда условия эффективной передачи видеопотока при изменяющейся пропускной способности канала могут быть представлены следующим образом:

$$\begin{cases} R \rightarrow \min ; \\ d \leq d_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

### 3. Суть метода контроля битовой скорости

Исходный видеоквадрат  $F$ , после выполнения ДКП и преобразования цветовой модели RGB в модель YCbCr, рассматривается как множество  $P$  трансформант  $Y_p$ .

В свою очередь, каждая трансформанта  $Y_p$  представлена совокупностью  $(h; w)$ -х компонент  $Y_p = \|y(p)_{hw}\|$ .

Каждая компонента  $y(p)_{hw}$  трансформанты  $Y_p$  представлена в двоичном виде [1], на основе последовательности  $\alpha(p)_{hw}^{(\mu)}$  бит (рисунок). Это эквивалентно преобразованию:

$$\|y(p)_{hw}\| \rightarrow \left\| \left\langle \alpha(p)_{hw}^{(\mu)}, \alpha(p)_{hw}^{(\mu-1)} \dots \alpha(p)_{hw}^{(0)} \right\rangle^T \right\|, \quad (2)$$

$$\alpha(p)_{hw}^{(\mu)} \in \{0, 1\}, \quad h = \overline{0, 7}; \quad w = \overline{0, 7}; \quad \mu = \overline{7, 0},$$

где  $\alpha(p)_{hw}^{(\mu)}$  – бит двоичного разложения  $(h, w)$ -й компоненты  $p$ -й трансформанты.

Множество всех бит  $\mu$ -го разряда  $p$ -й трансформанты составляет битовую плоскость  $Y(p)_\mu$ .

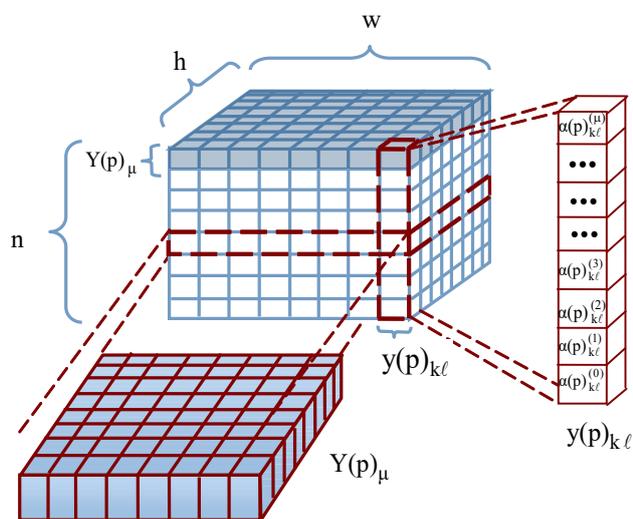
В свою очередь, совокупность двоичных представлений всех элементов матрицы  $Y_p$  составляет битовый куб  $Y_p^{(3d)}$ , пример которого представлен на рисунке.

При рассматриваемом способе организации данных верхний слой этого куба образуют старшие биты  $\alpha(p)_{hw}^{(\mu)}$  двоичного представления.

Представление трансформанты  $Y_p$  в трехмерном пространстве позволяет осуществлять передачу данных отдельными битовыми плоскостями, аналогично подходу, который используется методом последовательного приближения технологии Progressive JPEG [2, 5].

В этом случае появляется возможность контролировать объем передаваемой информации в зависимости от требований пропускной способности  $B_w$  канала.

В зависимости от требуемого объема бит для представления кадра используются либо все  $n$  битовых плоскостей  $Y(p)_\mu$  трансформанты  $Y_p$ , либо только  $(n-\mu)$  битовых плоскостей, чтобы обеспечить битовую скорость  $R_F$  кадра на уровне, не превышающем требуемое значение.



Представление трансформанты  $Y_p$  в виде битового куба  $Y_p^{(3d)}$

Таким образом, указанный способ представления данных обеспечивает возможность управления компрессией и может быть использован в качестве базового.

Принцип работы метода управления на базе технологии Progressive JPEG может быть описан следующим образом.

В начальный момент времени  $t_0$  буферное устройство отправляет в канал тестовый пакет  $R_{start}$  с известной величиной.

Используя значение времени двусторонней задержки  $RTT$ , определяется величина полосы пропускания в момент  $t_0$ :

$$c(t_0) = c RTT, \quad (3)$$

Используя значение  $c(t_0)$ , также вычисляется фактическое число кадров, которое необходимо поместить в буфер:

$$c(t_0) = c RTT. \quad (4)$$

При полученном значении  $c(t_0)$  для соответствующего количества кадров происходит оценка битовых скоростей  $R_{p\mu}$  и величины ошибки  $d_{p\mu}$  по всем битовым плоскостям каждой из трансформант кадра.

На этапе, предшествующем нахождению  $R_{p\mu}$  и  $d_{p\mu}$  битовых плоскостей трансформант, выполняется оценка насыщенности НЧ-областей трансформант [3], как показано в следующей формуле:

$$\chi_{m,n} = \log_2 \left( \prod_{\gamma=1}^L \prod_{\lambda=1}^{\Lambda} y(p)_{\gamma\lambda} \right), \quad (5)$$

где  $\gamma$  – количество диагоналей НЧ-области трансформанты;  $\lambda$  – число элементов диагонали;  $y(p)_{\gamma\lambda}$  –  $\gamma, \lambda$ -я компонента НЧ-области трансформанты.

Для кадра, состоящего из  $m \times n$  трансформант, величины  $\chi_{m,n}$  вычисляются по всем строкам.

Если в последовательности  $\chi_{m,1}, \chi_{m,n}$  выявлены значения насыщенностей, для которых разность  $|\Delta\chi| = \chi_{m,k} - \chi_{m,k+1}$  имеет несущественную величину и справедливо соотношение  $\chi_{m,1} \approx \chi_{m,k} \dots \approx \chi_{m,k+1}$ , то данные трансформанты составляют вектор стабилизации  $S_{j,\delta}$ . Индекс  $j$  при этом определяет позицию трансформанты в кадре, а  $\delta$  – количество входящих в вектор стабилизации трансформант.

В пределах вектора стабилизации  $S_{j,\delta}$ , с учетом подобия между трансформантами, существует возможность сократить количество выполняемых арифметических операций при обработке кадра.

В частности, некоторое количество значений битовых скоростей  $R_{p\mu}$  и  $d_{p\mu}$  битовых плоскостей одного разряда для трансформант вектора  $S_{j,\delta}$  может быть интерполировано.

При полученных значениях  $R_{seq}$  и  $d_{seq}$  для последовательности  $c(t_0)$  кадров определяется разность  $\Delta R = B_w - R_{seq}$  между суммарной фактической битовой скоростью кадров серии и требуемой битовой скоростью, величина которой равна  $R_{seq}^{req} = B_w$  [4].

Если  $\Delta R \leq 0$ , то вся последовательность  $c(t_0)$  передается в буфер передатчика без дополнительной обработки [6].

В случае, когда  $\Delta R < 0$ , битовую скорость  $R_{seq}$  необходимо снизить на величину  $|\Delta R|$  для обеспечения требуемой битовой скорости  $R_{seq}^{треб}$  последовательности кадров  $c(t_0)$ .

Используя величину требуемой битовой скорости [7]  $R^{треб}$ , соотношение (1) можем представить в следующем виде:

$$\begin{cases} R \leq R^{треб}; \\ d \leq d_{min} \end{cases} \quad (6)$$

Очевидно, что  $\Delta R$  определяется следующим выражением:

$$\Delta R = \sum_{i=1}^{c(t_0)} \Delta R_i, \quad (7)$$

где  $\Delta R_i$  – величина, на которую необходимо снизить битовую скорость каждого кадра последовательности  $c(t_0)$ .

В этом случае вычисление  $\Delta R_i$  производится пропорционально величинам битовых скоростей каждого кадра последовательности  $c(t_0)$  [8, 9], как показано в выражении:

$$\Delta R_i = \frac{\Delta R}{c} \cdot \frac{R_i}{R_{cp}} = \frac{\Delta R R_i}{R_{seq}}, \quad (8)$$

где  $c(t_0)$  – число кадров в серии;  $R_i$  – битовая скорость  $i$ -го кадра;  $R_{cp} = \frac{R_{seq}}{c(t_0)}$  – средняя битовая скорость кадра в серии.

В свою очередь, требуемая битовая скорость кадра последовательности  $c(t_0)$  определяется формулой:

$$R_i^{треб} = R_i - \Delta R_i. \quad (9)$$

Для эффективного учета битовой скорости трансформант в пределах кадра используется подход, учитывающий характер распределения битовой скорости в кадре:

$$R_p^{треб} = \frac{R_i^{треб}}{Q} \gamma_p, \quad (10)$$

где  $\gamma_p$  – коэффициент, зависящий от степени насыщенности  $p$ -й трансформанты.

После того, как для каждой трансформанты кадра найдены величины  $R_p^{треб}$ , определяются битовые плоскости, которые будут исключены, чтобы обеспечить значения битовых скоростей в соответствии с (10).

Для плоскостей трансформант, битовые скорости которых необходимо снизить до величины  $R_p^{треб}$ , определяется порядок ранжирования, при котором первыми обрабатываются битовые плоскости  $Y^{(p,\mu)}$ , вносящие максимальные значения  $d_{p\mu}$  в общее СКО трансформанты.

В первую очередь это относится к старшим битовым плоскостям  $Y^{(p,\mu)}$ . Далее обрабатываются битовые плоскости в порядке снижения величин  $d_{p\mu}$ , вносимых ими в общее СКО.

После определения ранжирования битовых плоскостей на каждом  $p$ -м шаге вычисляются суммарные значения СКО и битовой скорости трансформант  $Y_p^{(\mu)}$  и  $Y_{p+1}^{(\mu)}$ .

Сложение значений СКО и битовых скоростей трансформант  $Y_p^{(\mu)}$  и  $Y_{p+1}^{(\mu)}$  происходит попарно, с учетом порядка обработки.

Суммируются при этом только величины, имеющие одинаковые индексы ранжирования.

На каждом  $p$ -м шаге вычисления требуемой битовой скорости трансформанты определяется условно-оптимальное  $R_{F,p}^*$  значение битовой скорости кадра, состоящего из трансформант, исходя из условий:

$$\begin{cases} R_{i,p}^* \in \{R_{i,p}^*\} \mid R_{i,p} \leq R_p^{треб}; \\ d_{i,p} \rightarrow \min \end{cases} \quad (11)$$

Величина  $R_{F,p+1}$  для кадра  $F$  на  $(p+1)$ -м шаге в этом случае будет определяться следующим способом:

$$R_{F,p+1} = \sum_{i=p}^{p+1} \sum_{u=1}^n R_{i,u}, \quad (12)$$

где  $u$  – индекс очередности обработки битовой плоскости;  $R_{i,u}$  – битовая скорость  $u$ -й битовой плоскости трансформанты в порядке снижения вносимого уровня СКО.

В свою очередь, СКО на  $(p+1)$ -м шаге будет определяться выражением:

$$d_{F,p+1} = \sum_{i=p}^{p+1} \sum_{u=1}^n R_{i,u}, \quad (13)$$

где  $d_{i,u}$  – битовая скорость  $u$ -й битовой плоскости трансформанты.

В результате сложения битовых скоростей  $Y_p^{(\mu)}$  и  $Y_{p+1}^{(\mu)}$  СКО по трансформантам и на шаге результиру-

ющий порядок обхода полученного множества будет определяться суммарными значениями СКО по уменьшению.

Это позволяет более эффективно производить коррекцию битовой скорости трансформант, исключая необходимый объем битовых плоскостей для снижения битовой скорости трансформанты, не прибегая к дополнительным операциям.

Результирующая битовая скорость  $R_{seq}$  последовательности кадров определяется выражением:

$$R_{seq}^{треб} = \sum_{i=1}^c \sum_{p=1}^Q R_{i,p}^{треб}, \quad (14)$$

где  $R_{p,i}^{треб}$  – полученное в соответствии с (12) значение битовой скорости  $p$ -й трансформанты  $i$ -го кадра последовательности.

Выбор на каждом  $p$ -м шаге вычисления требуемой битовой скорости трансформанты в соответствии с условиями (11) гарантирует, что уровень СКО, соответствующий полученной последовательности из  $c(t_0)$  кадров, будет минимально возможным в момент времени передачи  $t_0$ . Сформированная последовательность  $c(t_0)$  кадров помещается в выходной буфер [10], размер которого рассчитывается согласно следующей формуле:

$$R_{буф} = cRTT R_{ср}. \quad (15)$$

После помещения  $c(t_0)$  кадров в буфер происходит отправка всей серии кадров в канал, а также определение  $RTT$ , по величине которой находится значение полосы пропускания  $B_w$  в момент  $t_1$ , в соответствии с (3), а также количество кадров  $c(t_1)$ , из которого будет состоять передача в момент  $t_1$ .

#### 4. Выводы

Предложена методика управления интенсивностью битовой скорости, способствующая адаптации интенсивности видеопотока в соответствии с изменяющейся пропускной способностью канала. Рассмотрены условия и способы обеспечения эффективной передачи видеопотока с использованием предложенной методики. Приведены способы эффективного распределения битовой скорости между трансформантами кадра. Показано, что при данном способе обработки кадров уровень ошибки на приемной стороне будет минимально возможным.

**Литература:** 1. Баранник В., Двухглавов Д., Твердохлеб В. Метод динамического управления битовой скоростью видеопотока с использованием трехмерного представления трансформант // АСУ и ПА. 2014. №176. С. 37 - 43. 2. Barannik, V., Dvuhglavov, D., Tverdokhlebl, V., Krasnorutskiy, A. Controlling of video stream bit rate using the dynamic programming method // 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015. Lviv-PII, 2016, № 2

Polyana; Ukraine; 24 February 2015 - 27 February 2015. P. 15-17. 3. Barannik V.B. Методологические рекомендации по совершенствованию технологии снижения интенсивности кодового представления базовых кадров / В.В. Баранник, О.Ю. Отман Шади, А.А. Подорожняк // Системы обработки информации. 2014. № 8(124). С. 87-92. 4. Barannik, V.V., Kharchenko, N., Tverdokhlebl, V.V., Kulitsa, O. The issue of timely delivery of video traffic with controlled loss of quality // 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, TCSET 2016; Lviv-Slavsko; Ukraine; 23 - 26 February 2016. P. 902-904. 5. Сэломон, Д. Сжатие данных, изображения и звука / Д. Сэломон. М.: Техносфера, 2004. 368 с. 6. Гонсалес, Р.Э. Цифровая обработка изображений/ Р.С. Гонсалес, Р.Э. Вудс. М.: Техносфера, 2006. 1072 с. 7. Ян Ричардсон. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 - стандарты нового поколения // Москва: Техносфера, 2005. 368с. 8. Баранник В.В. Технологическая концепция обработки базовых кадров для снижения интенсивности кодового представления / В.В. Баранник, О. Ю. Отман Шади // Радиоэлектронные и компьютерные системы. 2014. № 4. С. 25-31. 9. Баранник В.В. Методологические рекомендации по совершенствованию технологии снижения интенсивности кодового представления базовых кадров / В.В. Баранник, Отман Шади О.Ю., А.А. Подорожняк // Системы обработки информации. №8(124). 2014. С. 87-93. 10. Barannik, V., Kharchenko, N., Othman Shadi, O.Y., Musienko, A. A method to control bit rate while compressing predicted frames // 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015. Lviv-Polyana. Ukraine. 24 - 27 February 2015. P. 36-38.

#### Transliterated bibliography:

1. Barannik V., Dvuhglavov D., Tverdokhlebl V. Metod dinamicheskogo upravleniya bitovoy skorostyu videopotoaka s ispolzovaniem trehmernogo predstavleniya transformant // ASU i PA. 2014. #176. S. 37 - 43.
2. Barannik, V., Dvuhglavov, D., Tverdokhlebl, V., Krasnorutskiy, A. Controlling of video stream bit rate using the dynamic programming method // 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015. Lviv-Polyana; Ukraine; 24 February 2015 - 27 February 2015; pp. 15-17.
3. Barannik V.V. Metodologicheskie rekomendatsii po sovershenstvovaniyu tehnologii snizheniya intensivnosti kodovogo predstavleniya bazovyih kadrov / V.V. Barannik, O.Yu. Otman Shadi, A.A. Podorozhnyak // Sistemi obrobki Informatsiyi. 2014. # 8(124). S. 87-92.
4. Barannik, V.V., Kharchenko, N., Tverdokhlebl, V.V., Kulitsa, O. The issue of timely delivery of video traffic with controlled loss of quality // 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, TCSET 2016; Lviv-Slavsko; Ukraine; 23 - 26 February 2016. R. 902-904.
5. Selomon, D. Szhatie dannyih, izobrazheniy i zvuka / D. Selomon. M.: Tehnosfera, 2004. 368 s.
6. Gonsales R.S. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy/ R.S. Gonsales, R.E. Vuds. M.: Tehnosfera, 2006. 1072 s.
7. Yan Richardson. Videokodirovanie. N.264 i MPEG-4 - standartyi novogo pokoleniya // Moskva: Tehnosfera, 2005. 368s.

Поступила в редколлегию 12.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

**8. Barannik V.V.** Tehnologicheskaya kontsep-tsiya obrabotki bazovyih kadrov dlya snizheniya intensiv-nosti kodovogo predstavleniya / V.V. Barannik, O. Yu. Otman Shadi // Radioelektronnyie i kompyuternyye sistemyi. 2014. # 4. S. 25-31.

**9. Barannik V.V.** Metodologicheskie rekomendatsii po sovershenstvovaniyu tehnologii snizheniya intensivnosti kodovogo predstavleniya bazovyih kadrov / V.V. Barannik, Otman Shadi O.Yu., A.A. Podorozhnyak // Sistemi obrobki InformatsiYi. # 8(124). 2014. S. 87-93.

**10. Barannik, V., Kharchenko, N., Othman Shadi, O.Y., Musienko, A.** A method to control bit rate while compressing predicted frames // 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015. Lviv-Polyana. Ukraine. 24 - 27 February 2015. R. 36-38.

**Твердохлеб Виталий Викторович**, аспирант кафедры информационно-сетевой инженерии ХНУРЭ, ww80@mail.ru. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14.

**Tvervdokhleб Vitaliy Viktorovich**, PhD student of Department of information network engineering of Kharkiv National University of Radio Electronics, ww80@mail.ru.