

# КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ БИТОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ВИДЕОПОТОКА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

*Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Баранник В.В., Кривonos В.Н.,  
Слободянюк А.В., Гуржий П.М.*

## Введение

Технологии кодирования, используемые для снижения интенсивности  $R$  видеосигнала, позволяют уменьшить объем видеоданных, поступающих в информационно-коммуникационную сеть. В то же время технологии кодирования в полной мере не обеспечивают возможности согласования интенсивности  $R$  выходного видеопотока с пропускной способностью  $V_w$  сети. В свою очередь, недостаточная согласованность в данном аспекте является причиной перегрузок сети, а также нерационального ее использования.

Как следствие, не обеспечиваются требования QoS относительно значения основных показателей качества видеосервисов – задержки доставки пакетов, величины джиттера и показателя потерь пакетов [1]. Это является причиной общего снижения качества видео на приемной стороне.

Причиной несогласованности величин  $R$  и  $V_w$  является воздействие ряда факторов, влияющих на их динамику.

С одной стороны, динамика пропускной способности  $V_w$  сети формируется в результате влияния ряда основных показателей, как показано следующим выражением:

$$V_w = f(\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5), \quad (1)$$

где  $\xi_1$  - номинальная пропускная способность сети;  $\xi_2$  - коэффициент загруженности сети;  $\xi_3$  - фактор воздействия помех;  $\xi_4$  - топологические особенности сети;  $\xi_5$  - показатель интенсивности трафика в зависимости от времени суток;  $\xi_6$  - показатель сложности трафика.

С другой стороны, битовая интенсивность  $R$  видеопотока, приходящаяся на  $\Omega$  кадров, формируется как сумма битовых интенсивностей  $R^{(i)}$  отдельных кадров  $F^{(i)}$ , что эквивалентно выражению:

$$R = \sum_{i=1}^{\Omega} R^{(i)}. \quad (2)$$

Здесь  $R^{(i)}$  является переменной величиной, которая, в свою очередь, зависит от:

- 1) особенностей содержания конкретного кадра;
- 2) принадлежности кадра к одному из типов - I, P, или B;
- 3) типа и параметров кодека.

Значит, общая интенсивность  $R$  видеопотока будет меняться в соответствии с различной интенсивностью отдельных кадров [2].

Поэтому для обеспечения эффективной передачи видеоданных требуется согласовать интенсивность поступающего в канал видеопотока с динамикой изменения пропускной способности сети.

Для этого необходимо управлять интенсивностью видеоданных. В связи с чем, требуется разработать метод управления интенсивностью видеопотока.

К методу управления предъявляются следующие базовые требования:

- обеспечивать функционирование в реальном масштабе времени, так, чтобы задержка, вносимая на этапе работы метода, не оказывала существенного влияния на увеличение общей временной задержки процедуры обработки видеопотока;

- поддерживать достоверность (обеспечение коррекции видеокадров с учетом психовизуальной модели восприятия так, чтобы не снижался общий уровень качества видеоданных);

- учитывать динамику изменения пропускной способности сети в процессе работы.

Для обеспечения данных требований необходимо выбрать механизмы, участвующие в обработке видеоданных и способные изменять интенсивность данных, поступающих в выходной буфер. Тогда метод  $M$  управления интенсивностью видеопотока можно рассматривать как функционал от  $k$  отдельных технологических механизмов  $m_k$  обработки видеоданных:

$$M = \psi(m_1; m_2; \dots; m_k); \quad (3)$$

Для выбора соответствующих технологических механизмов необходимо проанализировать все этапы обработки видеоданных для разработанного метода кодирования видеопотока [3].

В процессе кодирования видеопотока, кодограмма  $C(q)^{(s,i)}$   $q$ -й трансформанты  $Y^{(q,s,i)}$   $s$ -го слайса  $i$ -го кадра видеопотока формируется кодовыми описаниями отдельных битовых плоскостей  $C(\mu)^{(q,s,i)}$ , как показано на рис. 1.

Кодовая конструкция битовой плоскости, в свою очередь, строится кодограммами неравновесно-позиционных чисел (НРПЧ), каждое из которых формируется на основании столбца массива длин серий двоичных элементов. При этом, выявление длин двоичных серий для построения массива происходит построчно, для каждой битовой плоскости трансформанты.

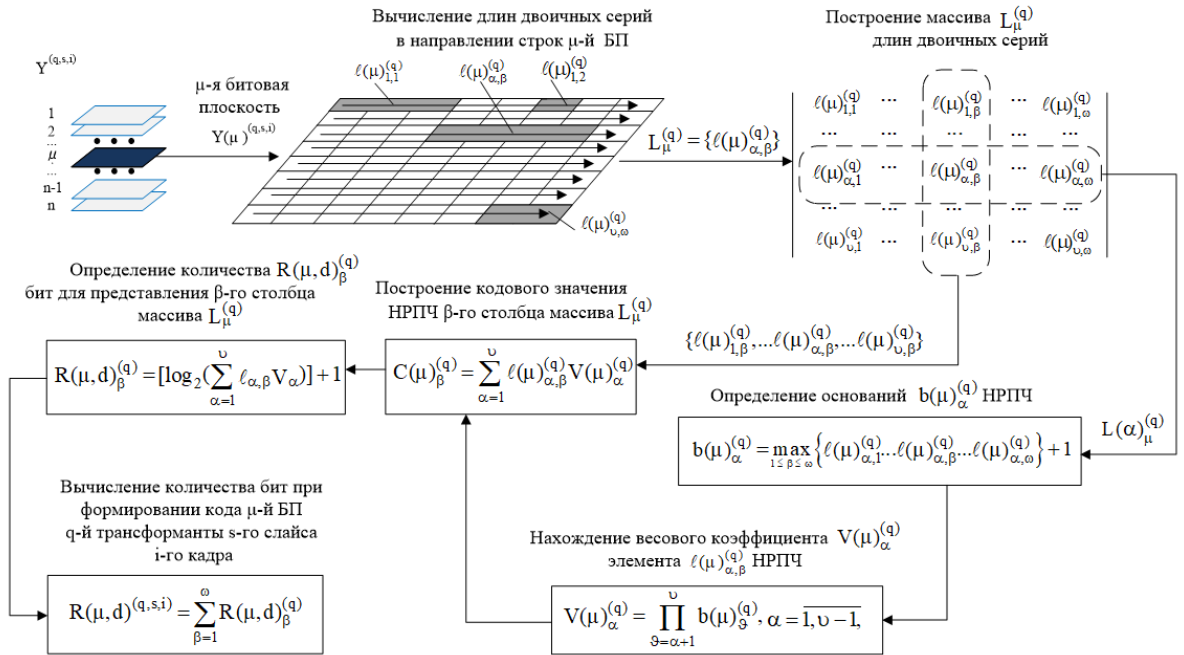


Рис. 1. Метод неравномерно-позиционного кодирования битового представления трансформанты

На передающей стороне, для разработанной технологии неравномерно-позиционного кодирования битового представления трансформант, в процессе формирования видеопотока, изменение интенсивности видеоданных, поступающих в выходной буфер, происходит на следующих этапах:

- группирование видеопотока, в процессе которого происходит выбор количества  $\eta$  кадров для формирования группы, состоящей из опорного и ряда связанных кадров;

- классификация кадров в группах по типам; на этом этапе определяется частота  $\zeta$  следования опорных кадров;

- разбиение кадров на слайсы  $S^{(s,i)}$ . В процессе этого кадр  $F^{(i)}$  представляется рядом областей (слайсов), при этом каждый слайс в дальнейшем обрабатывается независимо;

- преобразование цветовой модели, в ходе которой происходит переход из пространства RGB в яркостно-хроматическую область;

- выбор формата цветовой субдискретизации, при котором количество хроматических компонент может уменьшаться;

- неравномерно-позиционное кодирование битового представления трансформант. На этом этапе производится кодирование двоичного описания трансформанты. При этом кодограмма  $C(q)^{(s,i)}$  трансформанты представляется совокупностью кодовых конструкций  $C(\mu)^{(q,s,i)}$  отдельных битовых плоскостей, что эквивалентно выражению:

$$C(q)^{(s,i)} = \sum_{\mu=1}^n C(\mu)^{(q,s,i)}. \quad (4)$$

Для того, чтобы производить корректировку интенсивности видеопотока в реальном времени, должна обеспечиваться возможность существенного снижения интенсивности видеоданных с внесением минимальной задержки [4]. В этом случае, при суммарной  $R_{\Sigma}$  загрузке буфера выше контрольного уровня  $R_{cont}$ , требуется за минимальное число шагов достигнуть снижения загрузки до уровня  $R_{\Sigma} < R_{cont}$ .

Для существенного снижения интенсивности видеопотока за минимальный временной интервал, технология корректировки интенсивности видеоданных должна работать со структурными единицами видеопотока, имеющими достаточно необходимое количество бит от суммарного битового потока. В то же время увеличение объема исключаемых из видеопотока структурных единиц может привести к чрезмерному снижению интенсивности видеоданных гораздо ниже требуемой [5]. Следовательно, пропускная способность сети будет использована нерационально. К тому же, в отдельных случаях такой подход способствует росту уровня вносимой ошибки

Чтобы определить требуемый тип структурных единиц, манипуляция количеством которых может снизить интенсивность видеоданных за минимальный временной интервал, рассмотрим иерархию структурных единиц видеопотока.

Верхний уровень иерархии в этом случае занимает группа кадров (GOP-group of pictures). Исключение из видеопотока группы кадров способствует быстрому уменьшению общей битовой интенсивности видеопотока. В то же время это влечет за собой значительную потерю данных, поскольку каждая группа кадров видеопотока является независимой и не может быть восстановлена на приемной стороне.

На втором уровне иерархии структурных единиц видеопотока находятся кадры. Пропуск отдельных предсказанных кадров группы дает возможность снизить общую битовую интенсивность видеопотока. Такой подход может быть применим, если другими путями снизить интенсивность видеопотока до требуемого уровня не удалось.

На следующем уровне иерархии находятся слайсы кадров. Манипуляция количеством слайсов способна уменьшить интенсивность видеопотока, внося при этом определенный уровень ошибки, зависящий от особенностей содержания пропускаемого слайса.

Следующий уровень иерархии структурных единиц занимают трансформанты. Трансформанта, как составная часть слайса, обладает достаточным необходимым количеством бит для быстрого существенного снижения интенсивности видеопотока в случае ее исключения. При этом вносимая ошибка будет ниже, чем в случае использования структурных единиц более высоких уровней иерархии.

В связи с этим, для быстрого снижения интенсивности видеопотока на существенную величину, предлагается разработать технологию интерполяции трансформант.

При этом, для задания диапазона изменения интенсивности видеопотока, предлагается в качестве управляемого параметра использовать шаг интерполяции.

Достигнутая на этапе интерполяции трансформант локализация интенсивности видеопотока в ряде случаев может быть недостаточной для обеспечения снижения загрузки буфера. Следовательно, необходимо разработать технологию дополнительного снижения битовой интенсивности видеопотока после выполнения интерполяции.

Дальнейшее снижение интенсивности видеопотока, в свою очередь, может быть достигнуто на уровне изменения битовой интенсивности отдельных трансформант [6]. В этом случае битовая интенсивность трансформант, которые не были интерполированы, снижается. Для этого необходимо представить трансформанту в виде совокупность отдельных независимых элементов, количеством которых можно манипулировать, тем самым изменяя интенсивность трансформанты. После выполнения этапа неравновесно-позиционного кодирования, в качестве таких элементов могут быть использованы отдельные битовые плоскости трансформанты.

Снижение битовой интенсивности путем интерполяции трансформант может привести к тому, что достигнутая интенсивность видеоданных будет значительно ниже требуемой. Как следствие этого – уровень ошибки возрастет, а сеть при этом будет использована неэффективно. В данных условиях необходимо наличие технологии коррекции ошибки. Такую технологию предлагается построить используя подход, аналогичный принятому в технологии, направленной на дополнительное снижение интенсивности видеопотока. Однако в данном случае требуется поднять интенсивность видеоданных. В связи с этим, необходимо постепенно увеличить количество передаваемых данных, за счет введения для описания слайса дополнительных трансформант. При этом используются трансформанты из массива ранее определенных для интерполирования. Чтобы в процессе увеличения битовой интенсивности добавленной трансформанты избежать случаев переполнения буфера, поднимать интенсивность трансформанты требуется производить с небольшим шагом, соответствующим добавлению отдельных битовых плоскостей.

Каждая из предлагаемых технологий, в процессе управления битовой интенсивностью видеопотока, включается в обработку данных, поступающих с выхода кодера, последовательно. При этом условием инициализации метода управления битовой интенсивностью видеопотока выступает рост уровня суммарной загрузки буфера выше контрольного значения:

$$R_{\Sigma} < R_{cont} \cdot \quad (5)$$

С учетом выражения (5) формируются требования к методу управления битовой интенсивностью видеопотока. При этом учитывается также, что снижение интенсивности видеоданных путем исключения некоторого количества структурных единиц видеопотока ведет к возникновению ошибки [5, 7]. В итоге, требования к методу состоят в обеспечении условий

эффективной передачи видеоданных, как показано следующим соотношением:

$$\begin{cases} R_{\Sigma} < R_{\text{cont}}; \\ D^{(i)3} \geq D_{\text{min}}. \end{cases} \quad (6)$$

### Технология интерполяции трансформант для управления битовой интенсивностью видеопотока

Пусть слайс  $S^{(s,i)}$  исходного видеокadra  $F_i$  является совокупностью из  $Q$  трансформант  $Y^{(q,s,i)}$ . В этом случае каждая трансформанта обрабатывается независимо. Это соответствует начальному значению шага интерполяции  $\lambda = 0$ . На данном этапе битовая интенсивность  $R^{(i)}$  кадра  $F_i$  является суммой вкладов битовых интенсивностей  $R^{(s,i)}$  составляющих кадр слайсов  $S^{(s,i)}$ .

В свою очередь, при  $\lambda = 0$  битовая интенсивность  $R^{(s,i)}$  слайса определяется вкладами битовых интенсивностей  $R^{(q,s,i)}$  входящих в него трансформант  $Y^{(q,s,i)}$ , т.е.:

$$R(\lambda = 0)^{(s,i)} = \sum_{q=1}^Q R(\lambda = 0)^{(q,s,i)}. \quad (7)$$

Если в какой-то момент времени, при помещении в буфер очередного кодированного кадра  $F_i$ , выполняются условия (5), тогда шаг интерполяции  $\lambda$  увеличивается на единицу. В этом случае производится интерполяция еще одной трансформанты. Таким образом производится пропуск  $\lambda$  трансформант, чем достигается снижение битовой интенсивности  $R^{(s,i)}$  слайса  $S^{(s,i)}$ .

Битовая интенсивность  $R^{(s,i)}$  слайса  $S^{(s,i)}$  кадра  $F_i$ , для которого применяется технология интерполяции трансформант, может быть описана следующей формулой:

$$R(\lambda)^{(s,i)} = \sum_{q=1}^Q R^{(q,i)} - \sum_{k=1}^{\lambda} R^{(k,i)} = \sum_{q=1}^{Q-\lambda} R^{(q,i)}. \quad (8)$$

При этом каждая из интерполированных трансформант рассматривается как функционал от базовых трансформант.

Базовые трансформанты, в свою очередь, на стороне приема используются для восстановления трансформант, которые были интерполированы в процессе снижения битовой интенсивности слайса на передающей стороне. При этом  $q$ -я трансформанта  $Y^{(q,i)}$  слайса  $S^{(s,i)}$  кадра  $F_i$ , интерполированная на передающей стороне, восстанавливается в соответствии со следующим выражением:

$$Y^{(q,s,i)} = f(Y^{(q-1,s,i)}, \dots, Y^{(q+m,s,i)}), \quad (9)$$

где  $Y^{(q-1,s,i)}, Y^{(q+m,s,i)}$  - базовые трансформанты по отношению к  $Y^{(q,s,i)}$ .

Анализ формул (7, 8) показывает, что рост шага  $\lambda$  интерполяции трансформант способствует снижению битовой интенсивности слайса, и, как следствие, снижению битовой интенсивности кадра. В то же время, увеличение шага  $\lambda$  интерполяции приводит к росту уровня  $D^{(i)}$  ошибки кадра. Чтобы ограничить рост уровня  $D^{(i)}$ , шаг интерполяции ограничивается некоторым максимальным значением  $\lambda = \overline{0, \lambda_{\max}}$ . С учетом того, что для восстановления трансформанты на стороне приема, как показано зависимостью (9), необходимо наличие хотя бы двух базовых трансформант, максимальное значение шага интерполяции  $\lambda_{\max}$  принимается равным  $\lambda_{\max} = Q - 2$ .

Таким образом, условия, при которых для снижения битовой скорости кадра может быть использована технология интерполяции трансформант, определяются следующим образом:

$$\begin{cases} \lambda < Q - 2; \\ R_{\Sigma}(t_n)^3 \geq R_{\text{cont}}. \end{cases} \quad (10)$$

Процесс интерполяции трансформант слайса состоит из таких этапов:

1. Оценка заполнения буфера.
2. Увеличение шага интерполяции  $\lambda$ .
3. Установка базовых трансформант для выбранного шага  $\lambda$ .
4. Передача кодограммы, содержащей описание слайса  $S^{(s,i)}$  в буфер.
5. Оценка шага интерполяции.
6. Определение текущего уровня СКО.

Этапы 1-5 циклично повторяются, при этом шаг интерполяции  $\lambda$  последовательно увеличивается для каждого нового слайса, начиная с  $S_{i+1}$ , пока выполняются условия (10).

Если на определенном этапе работы метода интерполяции трансформант достигнуто максимально допустимое значения шага  $\lambda = Q - 2$ , либо получено снижение уровня загрузки буфера выше контрольного значения, когда  $R_{\Sigma} < V_{\text{cont}}$ , интерполяция трансформант останавливается.

В первом случае, когда в результате работы интерполяции трансформант достигнуто значение шага  $\lambda = Q - 2$ , но загрузка буфера остается на уровне  $R_{\Sigma} < V_{\text{cont}}$ , дальнейшее снижение битовой интенсивности слайса достигается применением технологии исключения битовых плоскостей базовых трансформант [8].

Во втором случае, когда на шаге  $\lambda$  достигнуто снижения уровня загрузки буфера до значения  $R_{\Sigma}(t_n) < R_{\text{cont}}$ , производится вычисление СКО кадра для текущего шага.

Если СКО  $D^{(i)}$  кадра  $F_i$  находится на уровне  $D^{(i)} \leq D_{\min}$ , это дает возможность осуществлять передачу кадров в буфер без дополнительной

обработки. При этом сохраняются значение шага интерполяции  $\lambda$  до момента нарушения условий, описанных соотношением (10).

### **Технология исключения битовых плоскостей базовых трансформант для управления битовой интенсивностью кадра**

Предположим, что в результате работы технологии интерполяции трансформант было достигнуто значение шага интерполяции  $Q-2$ , но снижения уровня загрузки буфера до величины  $R_{\Sigma} < R_{\text{cont}}$  не было получено.

В этом случае шаг интерполяции остается равным  $Q-2$ . Дальнейшее снижение загрузки буфера достигается путем применения технологии исключения битовых плоскостей  $Y(\mu)^{(q,i)}$  базовых трансформант.

Изначально для представления каждой базовой трансформанты используется  $n$  битовых плоскостей.

Для снижения битовой интенсивности  $R^{(q,s,i)}$  трансформанты происходит последовательное исключение из рассмотрения  $\vartheta$  битовых плоскостей  $Y(\mu)^{(q,i)}$ .

Если на начальном этапе работы технологии исключения битовых плоскостей, при  $\vartheta = 0$ , общее СКО трансформанты  $D^{(q,s,i)} = 0$ , то для произвольного значения  $\vartheta$  величина  $D^{(q,s,i)}$  будет определяться согласно следующему выражению:

$$D^{(q,s,i)} = \sum_{\vartheta=1}^{\sigma} d(\vartheta)^{(q,i)}, \quad 1 \leq \vartheta \leq n-1, \quad (11)$$

где  $\vartheta$  - количество исключаемых из дальнейшего рассмотрения битовых плоскостей трансформанты;  $d(\vartheta)^{(q,i)}$  - СКО, вносимое исключаемой из рассмотрения битовой плоскостью  $q$ -й трансформанты кадра  $F_i$ .

Распределение величин  $d(\vartheta)^{(q,i)}$  между битовыми плоскостями зависит от особенностей содержания каждой трансформанты и носит случайный характер [9]. Учитывая это, на предварительном этапе работы технологии происходит ранжирование битовых плоскостей  $Y(\mu)^{(q,i)}$  трансформанты  $Y^{(q,s,i)}$  в порядке снижения СКО. В результате проведенного ранжирования, порядок расположения битовых плоскостей трансформанты на этом этапе перераспределяется. В этом случае, на первых позициях (соответствующих старшему слою битового куба) в трансформанте  $Y^{(q,s,i)}$  располагаются битовые плоскости  $Y(\mu)^{(q,i)}$ , которые вносят  $d(\mu)^{(q,i)} = d(\mu)_{\text{max}}^{(q,i)}$  в случае их исключения из рассмотрения. В свою очередь, на младших позициях располагаются битовые плоскости, вносящие минимальные величины  $d(\mu)_{\text{min}}^{(q,i)}$  ошибки в результате их исключения. Такой способ размещения битовых

плоскостей позволяет эффективно производить их исключений, начиная с младших позиций, внося при этом минимальную ошибку в общую величину  $D^{(q,s,i)}$  трансформанты.

После выполнения ранжирования, на первом шаге работы технологии, при  $\vartheta = 1$ , исключаются битовые плоскости базовых трансформант младших позиций размещения.

В итоге, каждая из базовых  $Y^{(q,s,i)}$  трансформант слайса кадра представляется  $n - \vartheta$  битовыми плоскостями.

Битовая интенсивность слайса  $S^{(s,i)}$   $i$ -го кадра в процессе исключения битовых плоскостей базовых трансформант, с учетом того, что ранее был достигнут  $K$ -й шаг интерполяции, вычисляется по формуле:

$$R(K,J)^{(s,i)} = \sum_{\mu=1}^{n-\vartheta} R(\mu,d)^{(1,i)} + \sum_{\mu=1}^{n-\vartheta} R(\mu,d)^{(Q,i)}, \quad (12)$$

где  $R(\mu,d)^{(1,i)}$  и  $R(\mu,d)^{(Q,i)}$  - соответственно битовые интенсивности первой и  $Q$ -й базовых трансформант слайса.

Если на шаге  $\vartheta = 1$  было достигнуто снижение уровня загрузки буфера до значения  $R_{\Sigma} < R_{cont}$ , то выбранные параметры управления битовой интенсивностью применяются для текущего обрабатываемого  $F_i$  кадра.

$K$  параметрам управления в этом случае, помимо значения  $K$ -го шага интерполяции  $\lambda = Q - 2$ , относятся индексы битовых плоскостей, формирующих базовую трансформанту  $Y^{(q,s,i)}$ .

В противном случае, когда при  $\vartheta = 1$  величину заполнения буфера до уровня  $R_{\Sigma} < R_{cont}$  снизить не удалось, количество  $\vartheta$  исключаемых битовых плоскостей последовательно увеличивается на единицу до значения  $\vartheta = n - 1$ . При этом для каждого значения  $\vartheta = \overline{1, n-1}$  производится оценка  $R(K, \vartheta)^{(s,i)}$  битовой интенсивности на текущем шаге.

Найденное значение  $\vartheta$ , обеспечивающее снижение загрузки буфера ниже контрольного уровня  $R_{\Sigma} < R_{cont}$ , используется для обработки текущего кадра. В этом случае, для текущего кадра при полученных параметрах  $\lambda$  и  $\vartheta$  производится оценка СКО. Если при этом выполняются следующие условия:

$$D^{(i)}(\lambda, \vartheta) > D_{min}, \quad (13)$$

то в дальнейшем используется технология коррекции СКО для обеспечения уровня ошибки кадра не выше допустимого.

При условии же, что ни одно из значений  $\vartheta$  в диапазоне не привело к снижению уровня загрузки буфера ниже контрольного, количество исключаемых битовых плоскостей величина принимается равной  $n - 1$ .

В этом случае для дальнейшего снижения битовой интенсивности видеопотока используется увеличение количества кадров  $\eta$  в группе.

## Технология исключения битовых плоскостей добавленных базовых трансформант для коррекции уровня СКО кадра

Рассмотрим ситуацию, когда вследствие применения технологий интерполяции, а также исключения битовых плоскостей базовых трансформант, достигнуто значение  $R_{\Sigma}$  загрузки буфера ниже  $R_{cont}$ , однако полученный уровень ошибки кадра превышает минимально допустимое значение  $D_{min}$ . Данная ситуация эквивалентно следующему выражению:

$$\begin{cases} R_S(t_n) < R_{cont}; \\ D^{(i)3} \geq D_{min}. \end{cases} \quad (14)$$

В этом случае уровень ошибки кадра  $F_i$  может быть снижен применением технологии коррекции СКО.

Суть работы технологии коррекции СКО заключается в следующем.

Пусть слайс  $S^{(s,i)}$  на предварительном этапе процесса коррекции СКО сформирован некоторым количеством  $q$  базовых  $Y^{(q,s,i)}$  трансформант.

При этом диапазон значений  $q$  равен  $\overline{Q-1,2}$ , что соответствует изменению шага интерполяции от  $\lambda=1$  до  $\lambda=Q-2$ . В свою очередь, величина СКО слайса в этом случае формируется вкладами  $D^{(q,s,i)}$  итерполированных трансформант и определяется следующим выражением:

$$D^{(s,i)} = \sum_{q=1}^{\lambda} D^{(q,s,i)}, \quad 1 \leq \lambda \leq Q-2. \quad (15)$$

В этом случае, для снижения уровня СКО может быть добавлено  $\delta$  базовых трансформант  $Y^{(q,s,i)}$  для описания слайса  $S^{(s,i)}$   $i$ -го кадра. При этом величина  $\delta$  может принимать значение от 1 до  $\lambda-1$ .

Как видно из формулы (15), в этом случае происходит уменьшение  $\lambda$  слагаемых, учитывая зависимость:

$$Q = \lambda + q, \quad (16)$$

поскольку исходное число трансформант слайса остается неизменным [10].

После добавления  $\delta$  базовых трансформант в слайс, величина шага интерполяции будет равна  $\lambda-\delta$ , в свою очередь, количество базовых трансформант будет равным  $q+\delta$ .

Увеличение количества  $q$  базовых трансформант слайса влечет за собой повышение битовой интенсивности  $R^{(i)}$  обрабатываемых кадров. Однако, возможность частичного повышения битовой интенсивности обусловлена наличием некоторого запаса  $\Delta R$ , равного  $\Delta R = R_{cont} - R_{\Sigma}$ , который может возникнуть как на этапе исключения битовых плоскостей базовых трансформант, так и на этапе интерполяции.

Технология коррекции СКО включает в себя ряд этапов, а именно:

1. Снижение шага интерполяции  $\lambda$  добавлением базовой трансформанты.

2. Ранжирование битовых плоскостей добавленных базовых трансформант кадра.

3. Исключение из рассмотрения битовых плоскостей младших порядков ранжирования добавленных базовых трансформант.

4. Контроль величин  $R^{(s,i)}$  и  $D^{(s,i)}$  слайса.

5. Формирование кодограммы слайса.

На первом этапе происходит снижение шага интерполяции на единицу, таким образом, для описания слайса вводится дополнительная  $\delta$ -я трансформанта из диапазона  $Y^{(2,s,i)}, Y^{(Q-1,s,i)}$ .

На втором этапе битовые плоскости  $Y(\mu)^{(\delta,i)}$  добавленной базовой трансформанты ранжируются в порядке снижения СКО, аналогично ранжированию, принятому в технологии исключения битовых плоскостей базовых трансформант.

На третьем этапе работы технологии коррекции СКО производится манипуляция количеством битовых плоскостей для описания добавленной базовой трансформанты.

После выполнения ранжирования битовых плоскостей  $\phi=n-1$  младших порядков ранжирования добавленной базовой трансформанты  $Y(\mu)^{(\delta,i)}$  временно исключаются.

Следовательно, на данном шаге добавленная базовая трансформанта представляется одной битовой плоскостью  $Y(\mu)^{(\delta,i)}$ , вносящей максимальную величину  $d(\mu)^{(\delta,i)}$  СКО в случае ее исключения.

Далее производится оценка битовой интенсивности слайса  $S^{(s,i)}$  согласно формуле:

$$R^{(s,i)} = \sum_{q=Q-1}^{Q-\lambda} R^{(q,s,i)} + \sum_{\delta=1}^{Q-\lambda-1} \sum_{f=n-1}^0 R(f)^{(\delta,i)}, \lambda=Q-2, \quad (17)$$

где  $\sum_{q=Q-1}^{Q-\lambda} R^{(q,s,i)}$  - вклад в битовую интенсивность слайса, носимый  $Q$  базовыми трансформантами при условии, что была произведена интерполяция хотя бы

одной трансформанты;  $\sum_{\delta=1}^{Q-\lambda-1} \sum_{f=n-1}^0 R(f)^{(\delta,i)}$  - вклад в битовую интенсивность

слайса, вносимый  $\delta$  добавленными базовыми трансформантами при условии исключения из каждой  $\phi$  битовых плоскостей.

Если полученная на этом шаге величина  $R^{(s,i)}$  ведет к переполнению буфера выше контрольного значения, принимается решение о снижении на единицу числа добавленных базовых трансформант.

После этого производится передача кадра в канал с ранее полученными значениями  $\lambda$  и способом представления базовых трансформант, при которых  $R_{\Sigma} < R_{cont}$ .

В случае, когда полученная величина  $R^{(s,i)}$  не ведет к переполнению буфера, производится оценка текущего СКО слайса, как показано следующей формулой:

$$D^{(s,i)} = \sum_{q=2}^{\lambda-1} D^{(q,s,i)} + \sum_{\mu=n-f}^n d(\mu)^{(\delta,i)}, \quad n-1 \leq \phi \leq 0, \quad (18)$$

где  $\phi$  - количество исключаемых на данном шаге битовых плоскостей добавленной базовой трансформанты.

При этом, если значение  $D^{(s,i)} \geq D_{min}$ , принимается решение о дальнейшем снижении СКО. Для этого величина  $\phi$  снижается на единицу за счет включения в добавленную базовую трансформанту  $Y^{(\delta,s,i)}$  битовой плоскости, соответствующей следующей позиции ранжирования по величине снижения вносимого СКО.

Далее, как и на первом шаге, производится оценка величин  $R^{(s,i)}$  и  $D^{(s,i)}$  слайса согласно формул (17, 18). Если полученные значения на данном и всех последующих шагах соответствуют условиям (14), т.е. снижение СКО до нужного уровня  $D^{(s,i)} < D_{min}$  не получено, но переполнения буфера не происходит, на каждом шаге значение величины  $\phi$  последовательно уменьшается на единицу. При этом для каждого  $\phi$  производится оценка СКО и уровня загрузки буфера. Таким образом, производится постепенное снижение  $D^{(s,i)}$  СКО слайса  $S^{(s,i)}$  с одновременным ростом битовой интенсивности  $R^{(s,i)}$  [11].

Эффективным является найденное на определенном этапе коррекции СКО значение  $\phi$ , при котором обеспечивается выполнение условий (6).

Найденная величина  $\phi$  используется для формирования кодограммы слайса.

Если для добавленной  $\delta$ -й базовой трансформанты эффективное значение  $\phi$ , при котором обеспечиваются условия (условия эффективной передачи), не найдено, дальнейшая обработка трансформант слайса  $S^{(s,i)}$  производится в зависимости от достигнутой величины  $R_{\Sigma}$  битовой интенсивности на данном шаге.

При  $R_{\Sigma} < R_{cont}$ , количество добавленных базовых трансформант увеличивается на единицу. После этого, для  $\delta + 1$ -й добавленной базовой трансформанты выполняется дальнейший поиск эффективного значения  $\phi$ , аналогично описанному для  $\delta$ -й добавленной базовой трансформанты.

В случае, если в процессе нахождения  $\phi$  достигается значение  $R_{\Sigma} < R_{cont}$ , производится возврат к предыдущему количеству  $\phi + 1$  исключаемых битовых плоскостей добавленной базовой трансформанты.

Таким образом, для дальнейшего формирования кодограммы слайса используется значение  $\phi + 1$ , при котором битовая интенсивность  $R^{(s,i)}$  слайса  $S^{(s,i)}$ , обеспечивается на уровне  $R_{\Sigma} < R_{cont}$ .

### **Выводы**

Предложен комплексный метод управления битовой интенсивностью видеотока в реальном масштабе времени.

Метод представляет собой объединение ряда технологий, способных совместно обеспечить быстрое снижение интенсивности видеопотока до требуемого значения, с последующим его уточнением. Разработаны такие технологии:

- технология интерполяции трансформант слайсов кадра;
- технология исключения битовых плоскостей базовых трансформант слайса;
- технология исключения битовых плоскостей добавленных базовых трансформант для коррекции СКО.

Базисом метода управления является метод неравновесно-позиционного кодирования, что дает возможность рассматривать трансформанту совокупностью отдельных битовых плоскостей. Манипуляция количеством битовых плоскостей трансформант способствует более точной подстройке интенсивности видеопотока к требуемой величине, что способствует рациональному использованию пропускной способности канала сети.

Разработанные технологии в процессе управления битовой интенсивностью видеопотока включаются в процесс обработки видеоданных последовательно. Определены условия, при выполнении которых та или иная технология активируется. Совместная работа технологий организована таким образом, чтобы:

- осуществлять управление в реальном масштабе времени, с внесением минимальных задержек;
- обеспечить поддержание уровня ошибки не выше допустимого, предусмотреть механизм коррекции ошибки;
- учитывать динамику изменения пропускной способности сети.

### **Литература**

1. Recommendations of the International Telecommunication Union ITU-T G.1010 "End-User multimedia QoS categories".
2. Д.Э. Двухглазов, А.Г. Оксуюк, В.В. Твердохлеб. Анализ подходов к управлению скоростью передачи видеопотока // Сучасна спеціальна техніка – 2014. - №2. - С 29-35.
3. V.V Barannik., Yu.N. Ryabukha, V.V. Tverdokhleb, D.V. Barannik, "Methodological basis for constructing a method for compressing of transformants bit representation, based on non-equilibrium positional encoding". 2nd IEEE International Conference on Advanced Information

and Communication Technologies, AICT 2017, Proceedings, Lviv, 2017, pp. 188. doi: 10.1109/AIACT.2017.8020096

4. Vladimir Barannik, Vitaliy Tverdokhleб, Dmytrij Okladnoj, Aleksandr Musienko Natalia Korolyuk. "Accelerated Bit Rate of the Video Stream Dynamic Control Method". 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 21-25 February, 2017. Polyana-Svalyava (Zakarpattyа), Ukraine.

5. 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.

6. V.V. Barannik, S.S. Shulgin. "The method of increasing accessibility of the dynamic video information resource". Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016 Lviv, 2016, pp.621, doi: 10.1109/TCSET.2016.7452133.

7. R. Gonzalez. "Digital image processing" R. Gonzalez, R. Woods. M.: Technosphere, 2005. 1072 p.

8. Баранник В.В. Метод динамического управления битовой скоростью видеопотока с использованием трехмерного представления трансформант / Баранник В.В., Двухглавов Д.Э., Твердохлеб В.В. // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – Х.: ХНУРЕ, 2014. – Вып.167. – С.37-43.

9. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах: монография / В. В. Баранник, В. П. Поляков. – Х.: ХУПС, 2010. – С. 212.

10. Y. Zhang, S. Negahdaripour and Q. Li, "Error-resilient coding for underwater video transmission," OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey, Monterey, CA, 2016, pp. 1-7.

11. V. V. Barannik, N.A. Kharchenko, V.V. Tverdokhleб, O. Kulitsa, "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; 2016, pp. 902-904.