

УДК 004.9

## КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ПОТОКОВ, ТРАНСЛИРУЕМЫХ В РЕАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ВРЕМЕНИ

А. Л. Забровский

*Петрозаводский государственный университет*

В данной статье представлен критерий оценки качества образовательных мультимедийных потоков, транслируемых в реальном режиме времени в IP сети. Данный критерий используется для определения величины битового потока (битрейта), удовлетворяющего конечных пользователей.

Ключевые слова: критерий оценки качества, мультимедийный поток, битрейт.

### A. L. Zabrovskiy. THE CRITERION OF QUALITY ASSESSMENT OF EDUCATIONAL MULTIMEDIA STREAMS TRANSMITTED IN REAL TIME MODE

The criterion of quality assessment of educational multimedia streams transmitted in real time mode is presented. It gives us information about the ability of each client to receive a certain multimedia stream (bit rate) within a definite time.

Key words: criterion of quality assessment, multimedia stream, bit rate.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Трансляция образовательных мультимедийных потоков в реальном режиме времени на сегодняшний день активно используется во многих университетах мира. Поточковая передача осуществляется как в локальных сетях учебных заведений, сетях уровня города, так и между территориально разделенными образовательными учреждениями по сети Интернет. Образовательное потоковое видео становится одним из основных видов дистанционного взаимодействия участников образовательного процесса.

Основным отличием образовательного видео от других типов видео зачастую является его относительная статичность сюжета.

Данное видео обычно включает в себя такие объекты, как изображение выступающего и информационные слайды. Образовательное видео должно обеспечивать хорошую читабельность символов и букв, не упускать произносимые фразы и слова. Для организации подобного рода взаимодействия, как трансляция потокового видео, используются следующие три основных компонента: кодер, потоковый сервер и клиент [1].

В свою очередь, во время передачи мультимедиа потоков по сети в режиме реального времени (например, трансляций лекций или выступлений с конференций) медиа потоки подвергаются влиянию различных факторов, которые могут ухудшать качество воспроизведения на стороне клиента [2].

Поэтому основная задача, которая стоит перед администратором системы трансляций, – это отправка на сервер потоков с выбранными битовыми скоростями, которые называются битовый поток или битрейт и определяются как величина потока данных, передаваемого в реальном режиме времени. Битрейт выражается в битах в секунду.

На сегодняшний день тестирование способности удаленных клиентов получить тот или иной мультимедийный поток либо совсем не производится, либо происходит по следующему сценарию: удаленные пользователи получают от администратора ссылку на веб-страницу, где осуществляется тестовая трансляция мультимедийного потока, с каким-то одним битрейтом. Пользователи могут запустить плеер, посмотреть изображение и сделать самостоятельно вывод о качестве принимаемого потока. При этом время, в которое пользователи заходят на веб-страничку, является произвольным и не может точно характеризовать состояние загрузки Интернет канала. То есть, тестирование в данном случае не может правильно оценить возможности удаленных клиентов получить тот или иной медиа поток в заданное время.

Существует технология динамического переключения битрейтов медиа потоков, при возникновении, например, проблемы с сетью (большая задержка, потери пакетов и др.). Данная технология поддерживается различными потоковыми медиа серверами. Недостатком данного метода является то, что администратор должен создавать множество потоков с разными битовыми скоростями, при этом в некоторых случаях мультимедийные потоки с малыми битовыми скоростями могут быть неприемлемы для трансляции определенных мероприятий [3, 4].

В свою очередь, во многих случаях важно заранее получить достоверную информацию о возможностях клиентов получить тот или иной поток, чтобы при необходимости можно было заблаговременно исправить проблемы, вызывающие ухудшения качества мультимедийного потока. Предлагаемый критерий оценки видеопотока как раз предназначен для решения задачи определения величины битового потока, удовлетворяющего конечных пользователей. Предполагается использование данного критерия оценки в тех случаях, когда необходимо обеспечить приемлемое качество передаваемого потока. Программное обеспечение, использующее данный критерий оценки, может автоматически и заранее предоставить администратору информацию о способностях

всех клиентов получать те или иные потоки. Его можно использовать для оценки качества в технологиях динамического переключения битрейтов [5].

## ОПИСАНИЕ ВХОДНЫХ ДАННЫХ

Определение величины потоков в данной работе основано на анализе параметров, полученных от плееров удаленных пользователей [6].

Были выбраны четыре характеристики  $T_{start}$ ,  $F_{min}$ ,  $F_{drop}$ ,  $B_{min}$ , которые представлены ниже.

- $T_{start}$  – время начала воспроизведения. Время, при котором первое значение количества воспроизводимых видеокладов в секунду больше 24.

- $F_{min}$  – минимальное количество кадров в секунду, которое было зафиксировано в течение воспроизведения мультимедиа потока. Стандартное значение количества кадров в секунду FPS равняется 25 кадрам в секунду для оригинального потока, но в некоторых случаях оно может уменьшаться, например, если процессор компьютера загружен и не успевает отображать все кадры, соответственно, происходит потеря кадров.

- $F_{drop}$  – максимальный скачок потери кадров, который был зафиксирован в течение воспроизведения мультимедийного потока.

- $B_{min}$  – минимальный размер буфера в секундах, который был зафиксирован в течение всего воспроизведения мультимедийного потока.

Возникает задача: можно ли по этим четырём характеристикам определить качество мультимедийного потока.

Для решения этой задачи было решено использовать дискриминантный анализ. На основании опытных данных требуется найти функцию

$$y = G(T_{start}, F_{min}, F_{drop}, B_{min}),$$

которая принимает положительные значения, когда качество видеопотока хорошее и отрицательные значения в противоположном случае.

## ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Проводя натурные эксперименты, было получено всего 15 значений переменных, что явно недостаточно для построения дискриминантной функции, поэтому было принято решение построить систему имитационного моделирования (плеер) для определения ха-

рактических характеристик  $T_{start}, F_{min}, F_{drop}, B_{min}$ . На качество мультимедийного потока оказывают существенное влияние различные параметры состояния сети, такие как потери пакетов, задержки сети и др. Большое значение также имеет текущее состояние компьютера на стороне клиента.

Разработанный плеер запрограммирован таким образом, что способен отправлять различные характеристики состояния воспроизводимого мультимедийного потока (потери видеок кадров, уровень буфера и др.) в реальном режиме времени в удаленную базу данных (рис. 1).

В табл. 1 представлены шесть влияющих факторов, воздействие которых было исследовано в ходе проведенных в данной работе экспериментов. Третья колонка таблицы указывает на место, в котором происходило эмулирование того или иного воздействия на мультимедийный видеопоток.

Представленные в табл. 1 параметры оказывают влияние на значения состояния мультимедийного потока, воспроизводимого плеером, такие как:

- *currentFPS* – количество воспроизводимых кадров в секунду;
- *videoBufferByteLength* – количество байт видеоданных в буфере плеера;
- *droppedFrames* – количество отброшенных кадров. На основе значений состояния мультимедийного потока определялись характеристики:  $T_{start}, F_{min}, F_{drop}, B_{min}$ . То есть:

$$T_{start} = f_1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6);$$

$$F_{min} = f_2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6);$$

$$F_{drop} = f_3(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6);$$

$$B_{min} = f_4(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6).$$

На основании проведенных экспериментов были сформированы две выборки: обучающая и контрольная. Обучающая выборка включала данные по 129 экспериментам, а контрольная выборка по 66. Обучающая выборка содержит данные, полученные как в реальных условиях, так и при эмулировании.

В ходе проведения экспериментов производилась визуальная оценка качества воспроизводимого мультимедийного видеопотока на стороне клиента. Данная оценка отражает мнение эксперта о качестве мультимедийного потока и имеет 2 уровня: *Good* (хорошее качество) и *Bad* (плохое качество). Если во время

просмотра потока появлялись какие-либо задержки или длительные замирания, качество потока считалось как “плохое”, в ином случае “хорошее”. Отрывок исходных данных приведен в табл. 2.

Полученные на обучающей и контрольной выборке результаты обобщены в табл. 3. Два первых столбца табл. 3 характеризуют модельные изменения влияющих факторов.

Количество задержек и их продолжительность фиксировалась экспериментатором. Поток считается хорошего качества (помечается как “хорошее”), если в течение  $T_{exp} = 182$  секунд не было никаких задержек и остановок видео. Кроме визуальной оценки осуществлялась автоматическая передача характеристик состояния воспроизводимого потока самим плеером в удаленную базу данных каждые две секунды. С учетом того, что продолжительность эксперимента  $T_{exp}$  равна или чуть больше 182 секунд, то для каждого эксперимента была автоматически создана минимум девяносто одна запись в таблице базы данных. Также для экспериментов плеер был запрограммирован таким образом, чтобы перед началом воспроизведения видеопотока он накапливал буфер данных  $B_{start} = 10$  секунд и затем начинал отображение видеопотока. Если буфер плеера не успевал заполниться полностью за это время, то время начала воспроизведения  $T_{start}$  увеличивалось. Параметры  $F_{min}, F_{drop}, B_{min}$  вычисляются с двадцатой секунды, после нажатия кнопки проигрывания плеера, с интервалом в две секунды.

Для организации трансляций мультимедийных потоков, было установлено и настроено следующее программное обеспечение.

- Кодер: программное обеспечение WireCast 4.1.2
- Поточный медиа сервер: Adobe Flash Media Streaming Server 4.0.
- Клиент: браузер Internet Explorer 9.0 с Flash player 10.3.183 (плеер Strobe Media Playback).

В качестве эмулятора сетевых характеристик применялось программное обеспечение Wide Area Network Emulator (WANEM), которое находилось между потоковым сервером и клиентом. В качестве источника сигнала на входе кодера использовалось образовательное видео, специально созданное для экспериментов. Характеристики образовательного видеопотока представлены в табл. 4.



Рис. 1. Медиа плеер посылает различные характеристики в удаленную базу данных

Таблица 1. Влияющие параметры

Параметр	Название параметра	Место воздействия
$x_1$	задержка	сеть
$x_2$	потеря пакетов	сеть
$x_3$	джиттер	сеть
$x_4$	пропускная способность	сеть
$x_5$	загрузка процессора	компьютер клиента
$x_6$	загрузка оперативной памяти	компьютер клиента

Таблица 2. Отрывок таблицы исходных данных

<i>Experiment</i>	<i>Bit<sub>rate</sub></i>	<i>T<sub>start</sub></i>	<i>F<sub>min</sub></i>	<i>F<sub>drop</sub></i>	<i>B<sub>min</sub></i>	<i>Quality</i>
Experiment 40	1500	30	0	2	0	BAD
Experiment 41	100	12	25	0	6,41	GOOD
Experiment 42	100	12	25	0	6,17	GOOD
Experiment 43	100	12	24	0	6,43	GOOD
Experiment 44	100	12	25	0	4,61	GOOD
Experiment 45	100	20	25	0	5,81	GOOD
Experiment 46	200	12	24	0	6,33	GOOD
Experiment 47	200	10	24	0	5,59	GOOD
Experiment 48	200	10	19	0	6,34	BAD
Experiment 49	200	14	0	0	0	BAD
Experiment 50	200	14	0	0	0	BAD

Таблица 3. Обучающая и контрольная выборки

Условия эксперимента	Значения параметров	Количество экспериментов	Число совпадений
<b>Обучающая выборка</b>			
Идеальные условия	—	15	15
Эмуляция потери пакетов	2 %, 4 %, 8 %, 12 %, 16 %	25	25
Эмуляция сетевой задержки	200 мс, 400 мс, 600 мс, 800 мс, 1000 мс	25	24
Загрузка процессора	—	15	15
Загрузка процессора и памяти	—	15	15
Эмуляция сетевой задержки, потери пакетов и джиттера	Задержка: 60 мс. Джиттер: 5 % Потери пакетов: 1–15 %	34	34
<b>Контрольная выборка</b>			
Эмуляция сетевой задержки и потери пакетов	Задержка: 50 мс, 100 мс, 150 мс Потери пакетов: 0 %, 1 %, 2 %, 3 %	60	60
Использование критерия в реальных условиях	—	6	6

Таблица 4. Характеристики образовательного видеофайла

Параметр	Значение
Разрешение	640 x 360
Кодек	H.264
Частота ключевых кадров	5 секунд
Длительность	182 секунды
Количество кадров в секунду	25 кадров

Были проведены эксперименты двух типов: 1. Без каких-либо воздействий на передаваемый поток (рис. 2). При проведении данного типа экспериментов исследовались значения, которые описывают систему в условиях, максимально приближенных к идеальным условиям. Влиянием параметров  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  и  $x_6$  в данном случае можно пренебречь. 2. С эмуляцией различных сетевых воздействий на поток с помощью программного обеспечения WANEM. Сюда также включаются эксперименты по исследованию влияния загрузки процессора и памяти на стороне клиента (рис. 3). Именно влияющие факторы  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  и  $x_6$  используются в экспериментах второго типа.

Все эксперименты проводились для пяти потоков, с разными битовыми скоростями, которые представлены ниже. При этом максимальная полоса пропускания сетевого канала

для всех экспериментов была ограничена величиной 2048 Кбит/с.

- 148 Кбит/с (100 Кбит/с видео и 48 Кбит/с аудио);
- 248 Кбит/с (200 Кбит/с видео и 48 Кбит/с аудио);
- 548 Кбит/с (500 Кбит/с видео и 48 Кбит/с аудио);
- 1048 Кбит/с (1000 Кбит/с видео и 48 Кбит/с аудио);
- 1548 Кбит/с (1500 Кбит/с видео и 48 Кбит/с аудио).

С математической точки зрения задачу можно описать следующим образом. Существует два класса принадлежности объектов  $K_1$  и  $K_2$ . Класс  $K_1$  содержит объекты хорошего качества, а класс  $K_2$  плохого качества. В качестве дискриминантной функции будем использовать функцию вот такого вида:

$$y = G(T_{start}, F_{min}, F_{drop}, B_{min}) = \begin{cases} \geq 0, & G(T_{start}, F_{min}, F_{drop}, B_{min}) \in K_1 \\ < 0, & G(T_{start}, F_{min}, F_{drop}, B_{min}) \in K_2 \end{cases};$$

Функция подбиралась исходя из физических соображений исследуемого процесса. Было обнаружено, что дискриминантная функция вида:

$$y = \left( \frac{F_{min} \cdot B_{min}}{T_{start} \cdot F_{drop} + T_{start} + 2^{(25 - F_{min})}} - 5 \right) \quad (1)$$

обладает требуемым качеством.

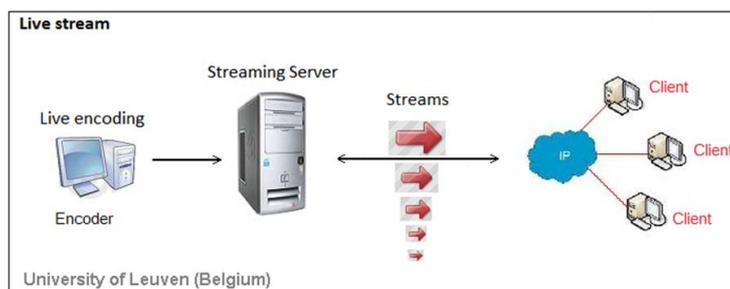


Рис. 2. Воздействия на передаваемый поток отсутствуют

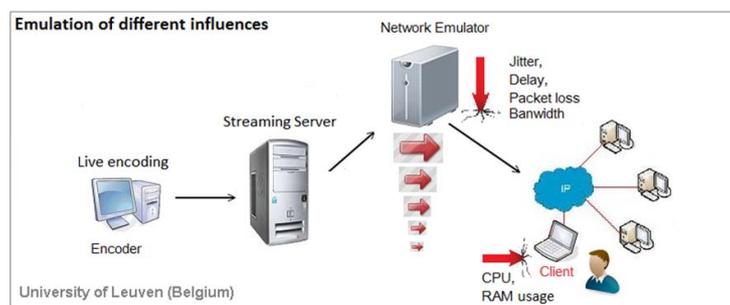


Рис. 3. Эмуляции сетевых воздействий на поток

Константа  $FPS = 25$  означает количество видеокладов в секунду в оригинальном источнике мультимедийного потока.

С помощью представленной формулы были оценены 129 экспериментов обучающей выборки. Полученные значения с помощью данного критерия оценки видеопотока были сравнены с визуальной оценкой качества мультимедийных потоков проведенных экспериментов. Из 129 экспериментов в 128 сравнение показало совпадение результатов обоих используемых подходов оценки качества.

Значения предлагаемого критерия, полученные с помощью экспериментов, принадлежат отрезку  $[-5, 19]$ . В табл. 3 в четвертом столбце приведены подробные данные о качестве предлагаемого критерия.

В свою очередь, из числителя данной формулы видно, что если одно из значений  $F_{min}$  или  $B_{min}$  принимают значение, равное нулю, то функция принимает значение, равное  $-5$ , что означает плохое качество потока. Это можно объяснить тем, что чем меньше минимальный размер буфера плеера  $B_{min}$ , тем больше вероятность того, что будет ухудшение качества, то же самое касается и минимального количества кадров  $F_{min}$ , воспроизводимого в секунду плеером. Если загрузка процессора или памяти на приемном оборудовании имеют значения, близкие к максимальным величинам, то неизбежно будут возникать потери кадров при декодировании, а, как следствие,

уменьшение качества воспроизводимого мультимедийного потока.

В знаменатель формулы входят три параметра:  $T_{start}$ ,  $F_{drop}$  и  $F_{min}$ , которые влияют на результирующее значение формулы в разной степени. Чем больше значения параметров  $T_{start}$  и  $F_{drop}$ , тем больше вероятность ухудшения мультимедийного потока.

Один эксперимент из 129, оцененный с помощью созданного критерия, в ходе обучающей выборки был определен как плохой, а визуальная оценка показала, что данный поток имеет хорошее качество. В то же время в данном эксперименте наблюдается значение  $F_{drop} = 12$ , поэтому можно предположить, что ухудшение потока было пропущено экспериментатором в ходе проведения эксперимента.

В свою очередь, в ходе проведения 66 экспериментов контрольной выборки результаты, полученные с помощью критерия оценки, совпали с визуальным наблюдением.

## Выводы

Разработан критерий оценки качества образовательных мультимедийных потоков, транслируемых в реальном режиме времени в IP сети.

Разработано программное обеспечение для проведения и отображения результатов экспериментов, использующее предложенный критерий оценки качества. Проведены тестовые

расчеты (контрольная выборка), которые подтвердили адекватность выбранного критерия оценки.

Полученные результаты и созданное экспериментальное программное обеспечение в дальнейшем будут использованы для создания автоматизированной системы тестирования удаленных пользователей. Предложенный критерий оценки можно использовать в реализации алгоритмов динамического переключения битрейтов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Austerberry D.* The Technology of Video and Audio Streaming. Burlington, Oxford: Elsevier, 2005. P. 134–144.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Забровский Анатолий Леонидович**  
аспирант, ведущий программист  
Петрозаводский государственный университет  
пр. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: z\_anatoliy@petsu.ru  
тел.: (8142) 711069

2. *Lervold M. G., Xing L., Perkis A.* [Электронный ресурс.] Режим доступа: [http://enpub.fulton.asu.edu/resp/vpqm/vpqm10/Proceedings\\_VPQM2010/vpqm\\_p34.pdf](http://enpub.fulton.asu.edu/resp/vpqm/vpqm10/Proceedings_VPQM2010/vpqm_p34.pdf)

3. *Jan L Ozer.* Video Compression for Flash, Apple Devices and HTML5., Doceo Publishing, Inc. 2011. P. 115–140.

4. *David Hassoun.* 2010. [Электронный ресурс.] Режим доступа: [http://www.adobe.com/devnet/adobe-media-server/articles/dynstream\\_advanced\\_pt1.html](http://www.adobe.com/devnet/adobe-media-server/articles/dynstream_advanced_pt1.html)

5. *Abhinav Kapoor.* 2009. [Электронный ресурс.] Режим доступа: [http://www.adobe.com/devnet/adobe-media-server/articles/dynstream\\_live.html](http://www.adobe.com/devnet/adobe-media-server/articles/dynstream_live.html)

6. *Abhinav Kapoor.* 2009. [Электронный ресурс.] Режим доступа: [http://www.adobe.com/devnet/adobe-media-server/articles/dynstream\\_actionscript.html](http://www.adobe.com/devnet/adobe-media-server/articles/dynstream_actionscript.html)

**Zabrovskiy, Anatoliy**  
Petrozavodsk State University  
33 Lenina St., Petrozavodsk, Karelia, Russia, 185910  
e-mail: z\_anatoliy@petsu.ru  
tel.: (8142) 711069