

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СЕРВИСА АТМ АВР ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СГЛАЖЕННОГО ТРАФИКА ВИДЕОИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ВИДЕО ПО ЗАПРОСУ

*В.Ф. Арсланов*

*ГУП «НИИ «Рубин», Санкт-Петербург (Россия)*

Услуга интерактивное видео по запросу (Interactive video on demand, I-VoD) предоставляет конечному пользователю доступ к удаленному видео-хранилищу и возможность интерактивного взаимодействия с ним. Сервис доступной скорости передачи (available bit rate, ABR) сети АТМ может быть использован в качестве эффективного транспортного сервиса для этой услуги. В статье предлагается методика расчета параметров сервиса АТМ АВР для передачи сглаженного видеотрафика MPEG в системе I-VoD, позволяющая обеспечить заданный уровень QoS.

\* \* \*

Interactive video on demand (I-VoD) over ATM can offer users with VCR like functions by sending requests to video servers. The Available Bit Rate service of ATM networks can be effectively used for interactive video on demand. However, non optimal values of the connection parameters can affect the Quality of Service (QoS) at the user. The objective of this paper is to develop an analytical framework to determine the ABR connection parameters to guarantee QoS to smoothed MPEG video streams in I-VoD.

*Постановка проблемы.* Прогнозируется, что услуга видео по запросу (Video on demand, VoD) станет одной из наиболее популярных услуг в широкополосных цифровых сетях с интеграцией служб на базе технологии АТМ. Пользователь этой услуги получает доступ к удаленному видео-хранилищу, имея возможность либо пассивно воспроизводить видеофильм (passive VoD, PVoD), либо взаимодействовать с видео-хранилищем, осуществляя перемотки и паузы (interactive VoD, IVoD) [1].

*Анализ известных достижений.* Для уменьшения необходимых ресурсов дискового пространства видео-хранилища и пропускной способности сети видеoinформация хранится и передается в сжатом виде. Одним из наиболее популярных стандартов сжатия являются стандарты группы MPEG. Получаемая видеопоследовательность содержит три типа кадров в порядке увеличения размера: I, P и B. Кадры структурированы в группы (Group of Pictures, GoP), состоящие из одного I кадра и следующих за ним P и B кадров. Наиболее распространена структура GoP типа IBVPBVPBVPB.

MPEG видеопоследовательности имеют высокую вариацию размеров кадров и взаимную корреляцию в различных диапазонах времени [2, 3]. Сле-

довательно, при покадровой передаче через сеть пропускная способность, необходимая для передачи каждого кадра за период его длительности, различна для всех кадров. Обычно она равна отношению размера кадра к его длительности. Очевидно, что изменение выделенной для передачи пропускной способности сети, с частотой, равной частоте кадров (т.е. 24-30 кадров/с), практически проблематично.

Уменьшение необходимой пропускной способности возможно предварительным сглаживанием видеотрафика путем упреждающего направления в сеть части больших кадров в период передачи малых, с сохранением первых до их воспроизведения в буфере получателя [4]. Сглаженный видеотрафик имеет меньшие значения пиковой скорости и колебаний скорости, но задержка воспроизведения неприемлема для работы интерактивных приложений.

Сеть АТМ для передачи подобного трафика может предложить один из трех типов сервиса (табл. 1). Сервис постоянной скорости передачи (Constant Bit Rate, CBR) эмулирует канал с постоянной пропускной способностью, характеризующейся пиковой скоростью передачи ячеек PCR (Peak Cell Rate). Значение PCR задается при установлении соединения и может являться фактической скоростью

передачи источника сколь угодно долго. Этот тип сервиса обеспечивает передаваемому трафику задан

Таблица 1

Характеристика типов сервиса

Параметры	Типы сервисов ATM			
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	ABR
Декларируемые параметры трафика				
PCR	Да	Да	Да	Да
SCR, MBS	Нет	Да	Да	Нет
MCR	Да	Да	Да	Да
Обеспечиваемые сервисом параметры QoS				
Размах CDV	Да	Да	Нет	Нет
MaxCTD	Да	Да	Нет	Нет
CLR	Да	Да	Да	Да
Особенности				
Контроль скорости	Нет	Нет	Нет	Да

ный уровень качества обслуживания (Quality of Service, QoS), выраженный в ограничении уровней значений максимальной задержки передачи ячеек (Cell Transfer Delay, CTD), вариации задержки (Cell Delay Variation, CDV) и отношения количества потерянных ячеек к переданным (Cell Loss Ratio, CLR). Тип сервиса CBR используется в основном для обслуживания приложений, требующих постоянной пропускной способности в канале, доступной на протяжении всего времени соединения.

Сервис переменной скорости передачи (variable bit rate, VBR) включает в себя подтипы: сервис переменной скорости передачи в реальном времени (real time VBR, rt-VBR) и не в реальном времени (non real time VBR, nrt-VBR), различаемые по ограничению задержки передаваемой информации. Тип сервиса rt-VBR предназначен для обслуживания VBR трафика, порождаемого приложениями, требующими ограничений задержек передаваемой информации и их изменений (delay jitter), и подходит для передачи трафика сжатой аудио и видео инфор-

мации. Тип сервиса nrt-VBR предназначен для обслуживания VBR трафика, порождаемого приложениями, безразличными к наличию задержек передаваемой информации и к их изменениям, и применяется при передаче по сетям ATM трафика компьютерных сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам с установлением соединений: Frame Relay, X.25, LLC2, и TCP. [5]. Оба типа сервиса характеризуется PCR, поддерживаемой битовой скоростью (Sustainable Cell Rate, SCR) и максимальным размером пакета (Maximum Burst Size, MBS). Параметры PCR, SCR и MBS определяются и задаются на этапе установления соединения [6], [7]. Соответствие параметров трафика пользователя этим параметрам контролируется на протяжении всего сеанса с использованием алгоритма «двойное дырявое ведро» (“Dual leaky bucket”) [8], что позволяет обеспечить трафику требуемый уровень QoS.

Тип сервиса доступной скорости передачи (available bit rate, ABR) предлагает динамическое назначение пропускной способности в зависимости от загруженности сети и гарантирует передаваемому трафику только минимальную скорость передачи ячеек (Minimum cell rate,  $M_{CR}$ ). С помощью ячеек управления ресурсами (Resource management cells, RM-cells), циркулирующих от отправителя через сеть к получателю и обратно через каждые 32 ячейки, но не дольше чем через 100 мс, сервис ABR способен увеличить скорость передачи ячеек, используя свободную пропускную способность сети [9].

Тип сервиса ABR не ограничивает величины задержки и ее изменения и поэтому при создании не рассматривался как основной для обслуживания приложений реального времени. Позже были предложены подходы, позволившие ограничить задержку передачи и ее изменение, что дало возможность эффективно применять этот вид транспорта для передачи трафика сжатой видеoinформации [10, 11].

После установления ABR соединения отправка данных начинается на начальной скорости (Initial

cell rate,  $I_{CR}$ ). После поступления к отправителю первой RM ячейки, с информацией о доступной скорости  $A_{CR}$ , отправитель выбирает скорость отправки следующей порции данных в сеть в пределах  $A_{CR}$  (схема контроля скорости ERICA [12]).

Наибольшим коэффициентом использования канала из вышеперечисленных сервисов ATM обладает сервис ABR (рис. 1). Высокий коэффициент использования канала позволяет снизить стоимость услуг, предоставляемых с помощью этого сервиса, что делает его весьма привлекательным для передачи видео [13].

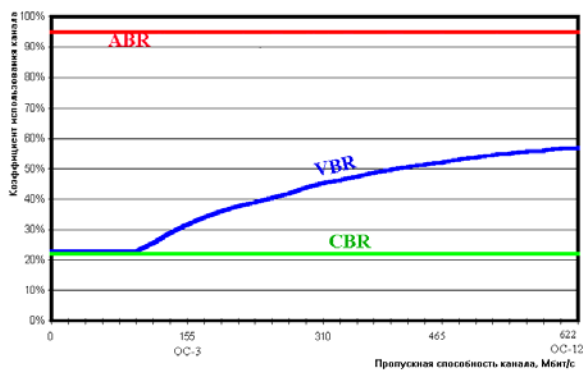


Рис. 1. Коэффициент использования канала для различных сервисов

Передача сглаженного MPEG видеотрафика с заданным уровнем качества обслуживания (Quality of Service, QoS) по сети ATM требует определения значений параметров этого сервиса. В работе [14] предлагается модель для подбора параметров в системе VoD на базе сети ATM с сервисом CBR. Однако она не рассматривает возможности интерактивности пользователя, требует длительной задержки воспроизведения (37 с) и большого буфера получателя (23 МБ). В работе [15] обсуждается передача видео по сети ATM с сервисом ABR. Уровень загрузки сети используется для изменения уровня квантования в кодере. Хотя отмечается необходимость вычисления параметров ABR соединения для исследуемого трафика, работа не дает прямого ответа на этот вопрос. В [16] предлагается метод подбора параметров в системе VoD на базе сети ATM с сервисом ABR. Однако в этой работе не учитывает-

ся возможность выбора режима передачи в зависимости от уровня загрузки сети и не рассматривается передача сглаженного трафика.

*Выделение нерешенной проблемы.* В предлагаемой нами работе исследуется передача трафика сглаженной сохраненной MPEG видеоинформации в системе VoD при различных уровнях загрузки сети ATM с сервисом ABR.

*Цель работы.* Разработать методику расчета параметров сервиса ATM ABR для обеспечения передаваемому трафику заданного уровня QoS.

### Методика расчета параметров сервиса ATM ABR

Основными элементами системы (VoD) являются (рис. 2):

- видеосервер, осуществляющий функции хранения и передачи видеофильмов;
- высокоскоростная сеть передачи, способная обеспечивать транспортный канал достаточной пропускной способности;
- видеоклиент, содержащий буфер и декодер;
- сетевой сервис, способный обеспечить достаточный уровень QoS.

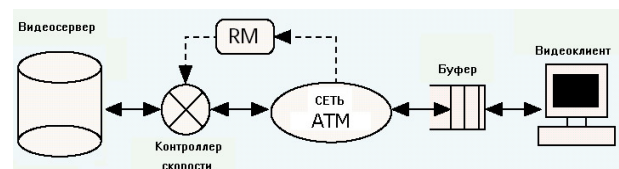


Рис. 2. Модель системы VoD использующей сервис ATM ABR

Видеоинформация хранится на видеосервере в формате MPEG, и представляет собой видеопоследовательность, состоящую из  $N$  кадров размером  $f_k$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) каждый. Сеть ATM предоставляет транспортный сервис ABR. Для предварительного хранения частей видеопоследовательности до воспроизведения на стороне видеоклиента содержится буфер емкостью  $B$ . При воспроизведении видеоклиент забирает часть содержимого буфера со скоростью соответствующей размеру  $f_k$  и частоте воспроизведения кадров  $F$ . Для уменьшения необходимой для передачи пропускной способности сети, видеоинформация подвергается сглаживанию с использо-

ванием алгоритма сглаживания, строящего план передачи согласно уровню загруженности сети [4].

Видеоклиент является активным получателем видеoinформации, имея возможность осуществлять перемотки вперед и назад. Положим, коэффициент увеличения объема передаваемой видеoinформации во время перемоток равен  $K$ .

Система VoD, использующая транспортный сервис ATM ABR, может в зависимости от уровня загруженности сети при установлении соединения выбрать один из режимов работы (рис. 3):

- плохое качество (передача только I кадров);
- удовлетворительное качество (передача только I и P кадров);
- хорошее качество (передача всех типов кадров (I, P и B));
- отличное качество (передача всех типов кадров с возможностью перемоток).

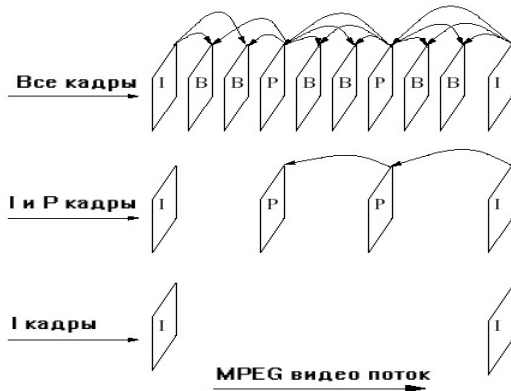


Рис. 3. Режимы передачи MPEG видео потока

*а. Плохое качество*

В этом режиме происходит передача только I кадров. После установления соединения, первая порция данных  $L_1$  покидает отправителя на начальной скорости  $I_{CR}$ , оставшаяся часть данных покидает отправителя на скорости  $M_{CR}$ .

Объем данных, поступающих в буфер воспроизведения:

$$S_{in} = I_{CR} \cdot t_1 + M_{CR} \cdot (T - t_1), \quad (1)$$

где  $t_1$  – время передачи первой порции данных;  $T$  – общая продолжительность видеопоследовательности.

Объем данных, покидающих буфер для воспроизведения,

$$S_{out} = \sum_{i=0}^{N/n-1} f_{i \cdot n+1}, \quad (2)$$

где  $f_{i \cdot n+1}$  – размер  $(i \cdot n + 1)$ -го кадра,  $n$  – расстояние между двумя последовательными I кадрами в видеопоследовательности. Очевидно, что все кадры с номерами  $(i \cdot n + 1)$  при  $i = 0, 1, 2, \dots, (N/n - 1)$  являются кадрами типа I.

Для предотвращения опустошения буфера воспроизведения необходимо, чтобы разница между  $S_{in}$  и  $S_{out}$  была положительна или равна нулю:

$$M_{CR} \cdot (T - t_1) + I_{CR} \cdot t_1 - \sum_{i=0}^{N/n-1} f_{i \cdot n+1} \geq 0. \quad (3)$$

Отсюда значение параметра  $M_{CR}$ , необходимое для поддержания этого режима

$$M_{CR} = \max \left\{ \frac{1}{T - t_1} \cdot \left[ \sum_{i=0}^{N/n-1} f_{i \cdot n+1} - I_{CR} \cdot t_1 \right] \right\}. \quad (4)$$

*б. Удовлетворительное качество*

В этом режиме происходит передача только I и P кадров. Кадры типа B пропускаются. Выражение для объема поступающего в буфер трафика (1) не изменится. Объем данных, покидающих буфер для воспроизведения,

$$S_{out} = \sum_{i=0}^{N/m-1} f_{i \cdot m+1}, \quad (5)$$

где  $m$  – расстояние между двумя последовательными P кадрами или между ближайшими I и P кадрами. Очевидно, что все кадры с номерами  $(i \cdot m + 1)$  при  $i = 0, 1, 2, \dots, (N/m - 1)$ . Выражение для MCR тогда принимает вид:

$$M_{CR} = \max \left\{ \frac{1}{T - t_1} \cdot \left[ \sum_{i=0}^{N/m-1} f_{i \cdot m+1} - I_{CR} \cdot t_1 \right] \right\}. \quad (6)$$

*в. Хорошее качество*

В этом режиме происходит передача всех типов кадров (I, P и B). Выражения для объема поступающего в буфер трафика не изменится (1). Объем данных, покидающих буфер для воспроизведения

$$S_{out} = \sum_{k=0}^N f_k, \quad (7)$$

где  $k = 1, 2, \dots, N$  – номер кадра.

Минимальная скорость ячеек определяется аналогично (6):

$$M_{CR} = \max \left\{ \frac{1}{T - t_1} \cdot \left[ \sum_{k=0}^N f_k - I_{CR} \cdot t_1 \right] \right\}. \quad (8)$$

### г. Отличное качество

В этом режиме помимо передачи всех типов кадров допускается возможность интерактивного взаимодействия между сервером и клиентом, под которым здесь понимается возможность ускоренного просмотра вперед и назад (далее – «перемотки»). В нашей модели при перемотках передаются только I кадры. Это несколько уменьшает точность позиционирования при паузе до положения I кадра, однако существенно уменьшает необходимую пропускную способность сети.

Объем данных, поступающих в буфер воспроизведения, для этого режима вычисляется по (1).

Поведение интерактивного клиента будем рассматривать в двух состояниях: воспроизведение и перемотка. Время нахождения в каждом из состояний имеет экспоненциальное распределение с параметрами  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно (рис. 4) [17]

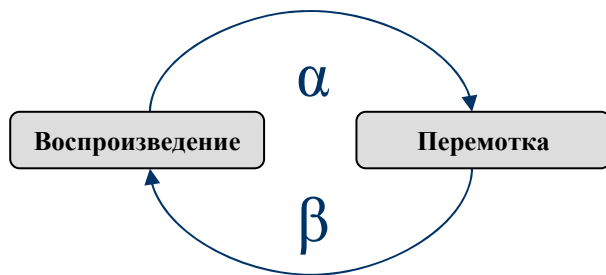


Рис. 4. Модель интерактивного пользователя

Объем данных, покидающих буфер для воспроизведения клиентом:

$$S_{out} = \frac{\beta + K \cdot \alpha}{\alpha + \beta} \sum_{k=0}^N f_k. \quad (9)$$

Тогда минимальная скорость ячеек

$$M_{CR} = \max \left\{ \frac{1}{T - t_1} \cdot \left[ \frac{\beta + K \cdot \alpha}{\alpha + \beta} \sum_{k=0}^N f_k - I_{CR} \cdot t_1 \right] \right\} \quad (10)$$

Значение необходимой для соединения пиковой скорости  $P_{CR}$  определяется из условия не переполнения буфера получателя при перемотках. В этом режиме, объем данных поступающих пользователю

$$S_{in} = I_{CR} \cdot t_1 + \frac{\beta}{\alpha + \beta} \cdot \sum_{r=2}^M L_r + \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_{CR} (T - t_1), \quad (11)$$

где  $L_r$  – размер  $r$ -й порции данных ( $r = 1, 2, \dots, M$ ).

Для предотвращения переполнения буфера, необходимо, чтобы разница между  $S_{in}$  и  $S_{out}$  была меньше размера буфера  $B$ :

$$\frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_{CR} (T - t_1) \leq B + \frac{\beta + \alpha K}{\alpha + \beta} \sum_{k=1}^N f_k - I_{CR} \cdot t_1 - \frac{\beta}{\alpha + \beta} \sum_{r=2}^M L_r. \quad (12)$$

Объем данных, содержащихся в  $(M-1)$  порциях, можно представить

$$\sum_{r=2}^M L_r = \sum_{k=1}^N f_k - I_{CR} \cdot t_1. \quad (13)$$

С учетом (12) и (13), пиковая скорость передачи ячеек

$$P_{CR} = \min \left\{ \frac{1}{T - t_1} \left[ \frac{\alpha + \beta}{\alpha} B + K \sum_{k=1}^N f_k - I_{CR} \cdot t_1 \right] \right\} \quad (14)$$

Оба параметра  $P_{CR}$  и  $M_{CR}$  зависят от начальной скорости  $I_{CR}$ . Для расчета этого параметра рассмотрим ситуацию, когда пользователь посылает команду серверу на перемотку сразу после установления соединения. Положим, задержка между отправлением команды серверу через сеть и получением клиентом результата ее выполнения равна  $t_o$ , а отклик от сервера приходится на период воспроизведения кадров второй порции. В этом случае, объем данных получаемых пользователем равен

$$S_{in} = I_{CR} \cdot t_1 + r_2 \cdot (t_o - t_1). \quad (15)$$

Объем данных, покидающих буфер для воспроизведения

$$S_{out} = K \sum_{k=1}^{t_o \cdot F} f_k. \quad (16)$$

Для избежания опустошения разность между входящим и исходящим потоками должна быть положительной.

$$I_{CR} \cdot t_1 + r_2 \cdot (t_o - t_1) - K \sum_{k=1}^{F \cdot t_o} f_k \geq 0, \quad (17)$$

где  $F \cdot t_o$  – количество кадров произведенных за время задержки  $t_o$ .

$$\text{Учитывая } r_2 \cdot (t_o - t_1) = \sum_{k=F(t_0-t_1)}^{F \cdot t_o} f_k, \quad (18)$$

имеем:

$$I_{CR} \geq \frac{1}{t_1} \left( K \sum_{k=1}^{F(t_0-t_1)-1} f_k + (K-1) \sum_{k=F(t_0-t_1)}^{F \cdot t_o} f_k \right) \quad (19)$$

### Заключение

Видео по запросу является одной из наиболее перспективных услуг в современных сетях. Предложенная методика расчета параметров сервиса ATM ABR позволяет обеспечить сглаженному трафику MPEG видеoinформации заданный уровень QoS. В дальнейших исследованиях планируется разработка математической модели для сглаженного с помощью алгоритма [4] трафика.

### Литература

1. *Deloddere D., Verbiest W., Verhille H.* Interactive video on demand // IEEE Communication magazine. 1994. Vol. 32. No. 5. P. 82-88.

2. *Rose O.* Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems. University of Wuerzburg / Report №101. 1995. February.

3. *Pancha P., Zarki M.* MPEG coding for variable bit rate video transmission // IEEE Communication magazine. 1994. Vol. 32. No. 5. P. 54-66.

4. *Арсланов В.Ф.* Алгоритм сглаживания трафика видеoinформации для передачи в сети ATM с сервисом ABR // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб, 2003. № 169.

5. *Kishino F., Manabe K.* Variable bit rate coding of video signals for ATM networks // IEEE Journal on selected areas in communications, 1989. Vol. 7. P. 801

– 806.

6. ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0, The ATM Forum, 1996.

7. ITU-T Recommendation I.371, ITU-T, 1996.

8. ATM user network interface specifications, version 3.0, the ATM Forum, 1993.

9. Traffic management specification. Version 4.1. The ATM Forum technical committee. 1999. March.

10. *Vandalore B., et al.* QoS and Multipoint Support for Multimedia Applications over the ATM ABR Service // IEEE Communications Magazine. 1999. January. P. 53-57.

11. *Vandalore B., et al.* Design and Analysis of Queue Control Functions for Explicit Rate Switch Schemes // Proceedings IEEE ICNP. 1998. October. P. 780-786.

12. *Kalyanaraman S. et al.* The ERICA switch algorithm for ABR traffic management in ATM networks // The Ohio State University. 1996.

13. *Roberts G.L.* Can ABR service replace VBR service in ATM networks. Connectware, Inc. ATM Systems Division / Report. 1999.

14. *McManus J.M., Ross K.W.* Video on demand over ATM: constant rate transmission and transport // IEEE Journal on selected areas in communications. 1996. Vol. 14. No. 6. P. 1087-1098.

15. *Lakshman T.V., Mishra P.P., Ramakrishnan K.K.* Transporting compressed video over ATM networks with explicit rate feedback control // IEEE transactions on networking. 1999. Vol. 7. No. 5. P. 710-723.

16. *Zheng B., Atiquzzaman M.* Interactive video on demand over high speed networks // Journal of high-speed networks. 2000. No. 9. P. 175-190.

17. *Li V.O., et al.* Performance model of interactive video on demand system // IEEE Journal on selected areas in communications. 1996. Vol. 14. No. 6. P. 1099-1109.

Поступила в редакцию 07.08.03

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор Лосев Ю.И., Харьковский военный университет, г. Харьков