

2. Валужис, А. К. Статистический алгоритм структурного анализа электрокардиосигнала [Текст] / А. К. Валужис, А. П. Рашимас. - Кибернетика, 1979. - 91-95 с.
3. Goldberger, A. Fractal mechanisms in the electrophysiology of the heart [Текст] / A. Goldberger. - IEEE Eng. Med. Biol., 1992. - 47-52 с.
4. Генкин, А. А. Новая информационная технология анализа медицинских данных [Текст] / А. А. Генкин. - СПб.: Политехника, 1999. - 192 с.
5. Мурашко, В. В. Электрокардиография [Текст] / В. В. Мурашко, А. В. Струтинский. - М.: Медицина, 1991. - 288 с.
6. Панага, А. И. Разработка методов и алгоритмов обработки ЭКГ для выявления гипертрофии сердца [Текст] / А. И. Панага. - Донецк, 2003. - 387 с.
7. Abreu-Lima, C. Evaluation of ECG interpretation results obtained by computer and cardiologist [Текст] / C. Abreu-Lima. - Meth. Inf. Med., 1990. - 308-316 p.
8. Methodology of ECG Interpretation in the Hanover Program [Текст] / C. Zywiencz, D. Borovsky, G. Goettsch, G. Joseph. - Meth. Inf. Med., 1990. - 375 p.
9. Furno, G. QRS detection using automata theory in battery powered microprocessor system [Текст] / G. Furno, W. Tompkins. - Proc. IEEE Frontiers Eng. Health Care, 1982. - 155 p.
10. Pan, J. A Real-Time QRS Detection Algorithm [Текст] / J. Pan, W. Tompkins. - IEEE Transaction on Biomed. Engr., 1985. - 230-236 p.

В статті проведено дослідження методів адаптивної потокової передачі мультимедіа даних в IP мережах при використанні протоколів TCP/HTTP. Показано можливість використання класичних аналітичних моделей при створенні моделей адаптивної потокової передачі з використанням множинних TCP з'єднань з метою підвищення ефективності потокової передачі

Ключові слова: потокова передача даних, мультимедіа, TCP, HTTP, адаптивна потокова передача

В статье проведено исследование методов адаптивной потоковой передачи мультимедиа данных в IP сетях при использовании протоколов TCP/HTTP. Показана возможность использования классических аналитических моделей при создании моделей адаптивной потоковой передачи с использованием множественных TCP соединений с целью повышения эффективности потоковой передачи

Ключевые слова: потоковая передача данных, мультимедиа, TCP, HTTP, адаптивная потоковая передача

УДК 621.391

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АДАПТИВНОЙ ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ДАНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TCP/HTTP

А. С. Еременко

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
доцент*

E-mail: alexere@ukr.net

А. В. Персиков

Доцент*

E-mail: white_seal@mail.ru

Н. В. Солоп

E-mail: nazar.solop@mail.ru

*Кафедра телекоммуникационных систем
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

1. Введение

Последнее десятилетие показало значительный рост популярности приложений потоковой передачи данных мультимедиа через Интернет. Существует множество мультимедийных сервисов, таких как прослушивание музыки онлайн, онлайн-радио, Интернет-телевидение и видео по запросу (VOD, Video-On-Demand), причем тенденцией последних лет является повсеместная реализация этих сервисов на

основе пиринговых сетей. Также сервис-провайдеры для удовлетворения запросов VOD пользователей стали реализовывать сервисы IPTV (Internet Protocol Television) как базовую услугу. Вследствие особенностей, присущих сервисам, доставляющим медиаданные, обеспечение гарантий качества обслуживания при использовании сетей с коммутацией пакетов по-прежнему остается сложной задачей.

Существует множество подходов по обеспечению качества потоковых мультимедийных Интернет-при-

ложений. Цели этих подходов можно разделить на две категории:

- обеспечение надежной связи через подверженный потерям данных Интернет;
- использование существующей транспортной инфраструктуры Интернета (т.е. протоколов UDP/TCP в связке с IP) для эффективной потоковой передачи мультимедийных данных соответствующими приложениями.

В настоящее время адаптивный HTTP (Hypertext Transfer Protocol) стриминг специфицируется группой потоковой передачи данных с коммутацией пакетов PSS (Packet-Switched Streaming) проекта 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) [1], [2], [3]. Связка протоколов TCP/HTTP является простой в настройке и, как правило, предоставляет возможность передачи данных через межсетевые экраны и сети с реализацией механизма трансляции адресов, что делает ее привлекательной для мультимедийных потоковых приложений, ориентированных на пользователей, хосты которых расположены во внутренней сети провайдера телекоммуникационных услуг.

Для передачи управляющего трафика, используемого для контроля потоковых данных (а также для транспорта данных реального времени), как правило, используется протокол TCP, однако алгоритм предотвращения перегрузки TCP (Transmission Control Protocol) приводит к пилообразной форме мгновенной скорости передачи. Кроме того, высокая надежность TCP является причиной чрезмерной и изменяющейся задержки, что связано с механизмами повторной передачи потерянных сегментов и их упорядоченной доставки [4], [5]. Многие исследования показали, что мгновенная скорость передачи и изменяющаяся задержка могут быть сглажены на стороне получателя путем буферизации [6], [7], [8]. Кроме того, доминирующая доля мультимедийного трафика в настоящее время передается с использованием TCP/HTTP [1], [2], [6], [7], [8], [9] и др.

Известно, что TCP-стриминг обеспечивает удовлетворительную производительность, когда доступная пропускная способность TCP приблизительно вдвое больше битовой скорости исходного мультимедийного потока. Тем не менее, в реальных условиях это требование может быть недостижимо, например, вследствие недостаточной пропускной способности пути доставки или перегрузок из-за трафика конкурирующих сетевых приложений. Таким образом, необходим адаптивный алгоритм (стриминг) для передачи мультимедийных данных поверх TCP и разработка специальных подходов к управлению скоростью этих потоков данных.

2. Стандарт MPEG-DASH для потоковой передачи мультимедиа через Интернет

2.1. HTTP-стриминг

Процесс передачи мультимедийных данных посредством Интернет в режиме реального времени стал возможным в 1990-х годах; при этом основной задачей стала своевременная доставка и возможность обработки получаемого большого объема данных. Комитетом по инженерным вопросам Интернет (IETF, Internet

Engineering Task Force) был разработан транспортный протокол реального времени (RTP, Real-Time Transport Protocol) для определения форматов пакетов для аудио и видео контента, наряду с управлением потоковыми сессиями, что позволило осуществлять эффективную доставку мультимедийных данных [2]. RTP работает хорошо в управляемых IP-сетях; однако современной тенденцией является замена управляемых сетей сетями доставки контента (CDN, Content Delivery Networks), многие из которых не поддерживают потоковый RTP. Кроме того, RTP-сессия зачастую не может быть установлена по причине фильтрации пакетов RTP межсетевыми экранами. Наконец, при потоковой передаче с использованием RTP требуется сервер для управления отдельными сессиями для каждого клиента, что приводит к значительному потреблению ресурсов при развертывании крупномасштабных сетей.

С увеличением пропускной способности Интернета и стремительного роста World Wide Web, количество доставляемых аудио- и видео- данных пакетами небольшой длины значительно сократилось. На сегодняшний день мультимедийные данные могут быть эффективно доставлены сегментами большей длины. Дополнительные преимущества появляются при потоковой передаче данных в связке TCP-HTTP [8]. Это обусловлено тем что:

1. Инфраструктура Интернета развивалась с целью эффективной поддержки HTTP. Например, сети CDN предоставляют локализованные пограничные кэши для снижения интенсивности магистрального трафика. Кроме того, HTTP является удобным для брандмауэров, так как практически все межсетевые экраны настроены на поддержку исходящих соединений. К тому же поддержка потокового HTTP для миллионов пользователей является экономически выгодной.

2. При использовании потоковой передачи с использованием HTTP, клиент управляет потоком без необходимости удержания состояния сеанса на сервере. Таким образом, одновременная работа большого количества потоковых клиентов не накладывает никаких дополнительных затрат на серверные ресурсы сверх стандартного использования HTTP, и могут управляться с помощью CDN с использованием стандартных HTTP методов оптимизации.

По этим причинам, потоковый HTTP стал популярным подходом при развертывании коммерческих проектов по предоставлению мультимедиа контента. Например, такие потоковые платформы как Apple HTTP Live Streaming, Microsoft Smooth Streaming, и Adobe HTTP Dynamic Streaming используют потоковый HTTP как базовую технологию доставки данных [1, 2]. Стандарт HTTP для потоковой передачи мультимедийного контента позволяет соответствующему стандарту клиенту получать поток данных с любого сервера, тем самым делая возможным взаимодействие между серверами и клиентами различных производителей.

Согласно прогнозам Cisco (2011 – 2016 гг), ежегодный глобальный IP трафик превысит порог секстибайта к концу 2016 года (рис. 1-3) [11]. В 2016 году уровень глобального трафика IP достигнет 1,3 секстибайт в год или 110,3 экзабайт в месяц. Прогнозы относительно глобального потребления Интернет видео представлены ниже (рис. 1), при этом Интернет видео включает

в себя короткоформатное Интернет видео (например, YouTube), длительное Интернет видео, Интернет видео в реальном времени, Интернет видео с выходом на ТВ, онлайн телемагазины, просмотр видео с Web-камер и видеомониторинг (рис. 2).



Рис. 1. Общий уровень потребления Интернет видео

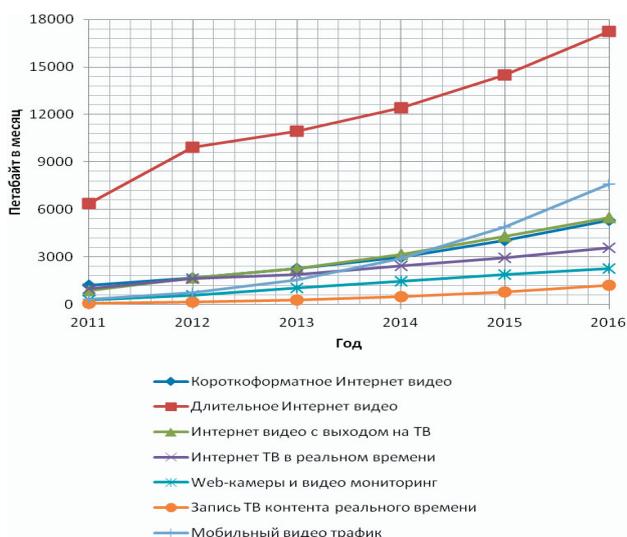


Рис. 2. Уровень потребления различных видов видео контента

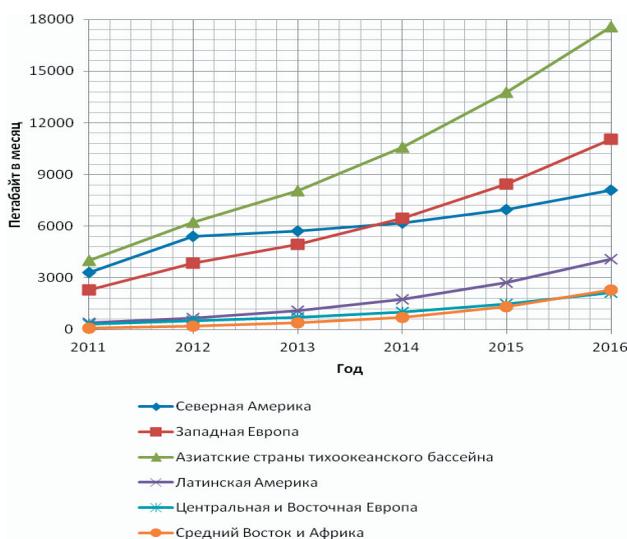


Рис. 3. География общего потребления Интернет видео

2.2. Возможный сценарий адаптивного стриминга в рамках стандарта MPEG-DASH

Рис. 4. иллюстрирует простой сценарий потоковой передачи медиа данных между сервером HTTP и DASH клиентом, согласно стандарту MPEG-DASH (Moving Picture Experts Group-Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) [1], [2], [23]. Мультимедийный контент собирается и хранится на сервере HTTP и доставляется с использованием HTTP. Контент существует на сервере в виде двух частей:

1. Описание представления медиа (MPD, Media Presentation Description), которое описывает манифест доступного контента, его различные варианты, их URL-адреса и другие характеристики.
2. Сегменты, которые содержат фактически мультимедийные битовые потоки в виде частей в одном или нескольких файлах.

Для воспроизведения контента DASH клиент сначала получает MPD. MPD может быть доставлен посредством HTTP, электронной почты, флеш-накопителя, широковещательной рассылки или другого транспортного механизма. Путем анализа MPD DASH клиент узнает о временном согласовании, наличии и доступности медиа-контента, его типе, разрешении, минимальных и максимальных значениях пропускной способности, наличии различных альтернативных кодированных мультимедийных компонентов, доступности функциональностей и необходимых DRM (Digital Rights Management) – управление правами на цифровые материалы, а также расположении медиа-компонентов в сети и других характеристиках контента.

Используя эту информацию, DASH клиент выбирает соответствующую закодированную альтернативу и начинает стриминг контента путем извлечения сегментов с использованием HTTP GET запросов.

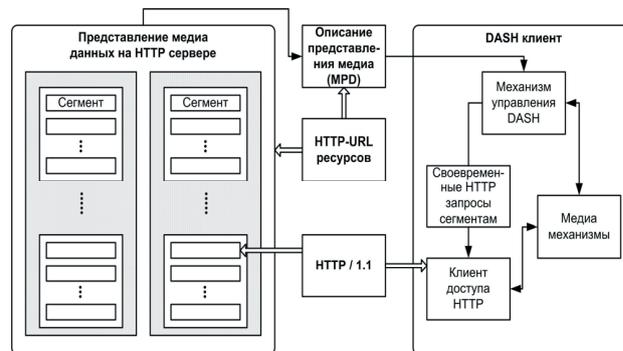


Рис. 4. Сценарий потоковой передачи медиа данных между сервером HTTP и DASH клиентом

После соответствующей буферизации, допускающей определенную вариацию пропускной способности, клиент продолжает получение последующих сегментов, а также отслеживает колебания пропускной способности сети. В зависимости от этих измерений клиент решает, как приспособиться к доступной пропускной способности путем извлечения сегментов различных альтернатив (с более низкой или более высокой битовой скоростью) для поддержания адекватного размера буфера.

MPEG-DASH спецификация определяет только MPD и формат сегментов. Доставка MPD и форматов

кодирования медиа содержимого сегментов, а также поведение клиента для выборки, адаптации, и воспроизведения контента не специфицируются стандартом MPEG-DASH [2], [23].

3. Сравнительный анализ моделей производительности классического и адаптивного TCP/HTTP видео стриминга

Адаптивный видео стриминг, основанный на TCP/HTTP, является популярным вследствие его способности адаптироваться к изменениям в сети, а именно изменять битрейт передаваемого контента с учетом доступной пропускной способности. Адаптивному стримингу поверх TCP посвящено множество научных работ последних лет [8], [9], [10], [12], [13], [15], [23].

Так как надежная передача в TCP основана на подтверждениях полученных сегментов и повторной передаче потерянных, пропускная способность TCP ограничена максимальным размером сегмента (MSS, Maximum Segment Size) и временем кругового обращения (RTT, Round-Trip Time) [4], [16], [17], [19]. Подразумевая, что после успешной передачи $1/p$ сегментов один сегмент потерян, пропускная способность соединения TCP r_{TCP} для TCP Reno может быть оценена следующим образом [17]:

$$r_{TCP} = \left(\frac{MSS}{RTT} \right) \frac{1}{\sqrt{p}} = r_{max}. \quad (1)$$

Согласно (1), очевидно, что максимальная пропускная способность отдельного TCP соединения ограничивается вероятностью потери p для данного RTT.

Классический потоковый TCP при передаче видео можно охарактеризовать следующим образом [7], [17]:

- передача видео данных осуществляется в рамках одного соединения;
- проявляет высокую производительность в сетях с малыми задержками;
- значительная потеря производительности при потере сегмента (механизм предотвращения перегрузки TCP AIMD, Additive Increase/Multiplicative Decrease);
- модель производительности согласно (1).

Как было сказано выше, классический TCP стриминг медиа данных осуществляется непрерывно от сервера к клиенту посредством длительного TCP соединения. Однако перспективным методом повышения производительности TCP стриминга является организация передачи медиа контента с использованием множественных параллельных TCP соединений [12], [13], [18].

В [14] предложена аналитическая модель производительности множественного параллельного TCP запрос-ответ (Request-Response, RR) видео стриминга, которая может быть охарактеризована следующим образом:

- передача данных осуществляется посредством коротких запрос-ответ (ЗО) TCP соединений;
- без установления соединения;
- более надежные и менее подверженные ошибкам соединения;
- агрегирование множества TCP потоков для единого использования потенциально не обладает TCP-

толерантностью по отношению к другим соединениям TCP;

- для управления TCP-толерантностью предлагается использование задержки между запросами.

Предполагается, что блок данных размером l_d передается в рамках раунда TCP за время RTT, и n_{Π} параллельных TCP потоков используются для передачи медиа данных. Рассмотрим модель ЗО потоков [14]. Верхняя граница производительности n_{Π} параллельных ЗО TCP потоков без потери сегмента представляется в виде:

$$r_{зо} = n_{\Pi} \left(\frac{l_d}{RTT + t_3} \right), \quad (2)$$

где n_{Π} – количество параллельных ЗО потоков;

RTT – время кругового обращения;

l_d – величина передаваемых данных за время одного RTT;

t_3 – временная задержка между потоками.

Предположение, что блок данных может быть передан за время одного раунда RTT, может оказаться неверным в случае передачи блоков данных значительного размера. В этом случае необходимо определить количество раундов n_p для передачи блока данных l_d как

$$n_p = \frac{l_d}{l_{зо}}, \quad (3)$$

где $l_{зо}$ – количество байт данных, которое может быть передано в отдельном запрос-ответ потоке за один раунд.

Модель (2) также может быть переопределена с учетом потери сегмента и задержки в буфере пограничного маршрутизатора сети доступа, который в свою очередь является узким местом при потоковой передаче данных множественными параллельными TCP потоками. В случае потери сегмента необходимо определить количество данных $l_{зо\Pi}$, которое может быть передано за один RTT в рамках одного запрос-ответ потока

$$l_{зо\Pi} = \min \left(l_{зо}, \frac{MSS}{\sqrt{p}} \right); \quad (4)$$

при этом используется стандартный TCP паттерн потери сегмента [17].

Так как на количество раундов, необходимых для передачи блока данных также влияют потери сегментов, оно определяется как:

$$n_{p\Pi} = \frac{l_d}{l_{зо\Pi}}. \quad (5)$$

В результате ожидаемая длительность передачи одного блока данных l_d с учетом потери сегмента

$$t_{d\Pi} = \lceil n_{p\Pi} \rceil (RTT + t_{з\Pi}), \quad (6)$$

где $t_{з\Pi}$ – средняя задержка в очереди маршрутизатора с учетом потери сегмента.

Наконец, производительность системы потоковой передачи данных запрос-ответ соединениями TCP

с учетом потери сегментов может быть определена в виде

$$r_{\text{зоп}} = n_{\text{п}} \left(\frac{l_{\text{д}}}{t_{\text{дп}} + t_3} \right), \quad (7)$$

где $n_{\text{п}}$ – количество параллельных запрос-ответ потоков;

$l_{\text{д}}$ – величина блока передаваемых данных;

$t_{\text{дп}}$ – длительность передачи блока данных $l_{\text{д}}$ с учетом потери сегмента;

t_3 – временная задержка между потоками.

Сравнивая классический потоковый TSP и предложенную модель параллельных потоков, можно сделать следующие выводы:

– несмотря на то, что запрос-ответ потоки являются потоками без установления соединения, они требуют больше вычислительных ресурсов, чем стандартный TSP поток;

– отдельный запрос-ответ TSP поток не может в полной мере использовать доступную пропускную способность;

– запрос-ответ потоки хорошо масштабируемы при увеличении размера передаваемых блоков данных или количества используемых параллельных потоков;

– при достижении высокой производительности обеспечивается TSP толерантность;

– при использовании запрос-ответ TSP потоков наблюдается значительный выигрыш в производительности в случае потери сегмента.

4. Выводы

Адаптивная потоковая передача мультимедиа данных, основанная на использовании связки протоколов TSP/HTTP, становится все более популярной благодаря своей способности приспосабливаться к изменяющимся условиям IP сетей. В представленной статье был проведен анализ различных методов адаптивной потоковой передачи данных. Адаптация при потоковой передаче необходима вследствие изменчивости сетевых условий, что является критическим при передаче мультимедийных данных и проявляется в появлении задержек при воспроизведении контента.

Проведенные исследования показали, что адаптация к сетевым условиям может проводиться на разных уровнях взаимодействия участников передачи. С концептуальной точки зрения управление потоковой передачей происходит на прикладном уровне, кроме того, поведение протокола главным образом определяется приложением – источником контента (каждый сервис свободно определяет свое поведение).

Преимуществом HTTP является возможность предоставлять обход межсетевых экранов и механизма трансляции адресов. На сегодняшний день наиболее популярным является стандарт MPEG-DASH, определяющий адаптивную потоковую передачу видео контента поверх HTTP. При этом клиент-серверное вза-

имодействие организовано согласно стандарту, что обеспечивает функциональную совместимость клиентов и серверов различных производителей.

Однако влияние на качество потоковой передачи данных оказывают и остальные уровни. Постоянные времена, наблюдаемые в различных реализациях сетей, варьируются в диапазоне от наносекунд (например, Gigabit Ethernet) до секунд (например, беспроводные сети UMTS) в зависимости от используемой технологии. Это также влияет на достигаемое время кругового обращения в таких сетях, что непосредственно отражается на производительности протоколов более высоких уровней (особенно протоколов прикладного уровня).

При передаче трафика данных посредством мобильных сотовых сетей часто скрываются потери сегментов, которые используются в TSP в качестве индикатора перегрузки сети. Однако более критической является длительная задержка сегмента при передаче, что приводит к неэффективному использованию пропускной способности. Задержки в доставке данных прикладному уровню также возникают, когда сегменты считаются потерянными, что инициирует в TSP повторные передачи сегментов.

Однако такие свойства TSP, как обеспечение упорядоченной и надежной доставки сегментов данных из конца в конец, делают дополнительные функции для обеспечения качества передаваемого видео, например, маскирование ошибок, ненужными. В сетях с низкими задержками TSP проявляет высокую производительность и низкие задержки, что делает возможным организацию интерактивных TSP сервисов.

Вследствие того, что на сегодняшний день при потоковой передаче мультимедиа данных через Интернет на транспортном уровне применяется TSP, этот протокол представляет значительный интерес в качестве использования его для организации адаптивной потоковой передачи. В качестве метода адаптации в TSP представлено использование множественных параллельных TSP-соединений для организации потоковой передачи.

Преимущества такого решения следующие:

– высокая производительность и толерантность потоков при большом количестве параллельных соединений;

– краткосрочные TSP соединения менее подвержены потерям сегментов.

Таким образом, организация адаптивной потоковой передачи мультимедийных данных в IP сети является важной практической задачей с учетом всевозрастающего объема передаваемой информации в глобальных IP-сетях и запросов пользователей.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о необходимости проведения дальнейших разработок методов адаптации на различных уровнях взаимодействия участников потоковой передачи данных с учетом особенностей разнородных конвергированных сетей.

Литература

1. Stockhammer, T. Dynamic Adaptive Streaming over HTTP – Standards and Design Principles [Текст] / T. Stockhammer // MMSys '11 Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems. – 2011. – С. 133–144.

2. Sodagar, I. The MPEG-DASH Standard for Multimedia Streaming Over the Internet [Текст] / I. Sodagar // MultiMedia, IEEE. – 2011. – Vol.18, Issue 4. – С. 62–67.
3. ETSI TS 126 234, V9.3.0 Transparent End-to-end Packet-switched Streaming Service; Protocols and codecs. [Текст] – 06.2010. – 185 с.
4. Еременко, А.С. Сравнительный анализ моделей производительности соединений TCP и их использование в объединенных сетях [Текст] / Еременко А.С. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №5/9 (53). – С. 34–39.
5. Еременко, А.С. Управление передачей трафика транспортной сетью NGN с учетом повторных передач [Текст] / Еременко А.С., Персиков А.В. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – №.5/2 (29) – С. 4–12.
6. Yan, J. An Analytical Model for Streaming over TCP [Текст] / J. Yan, W. Muhlbauer, B. Plattner // Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking, Lecture Notes in Computer Science. – 2011. – Volume 6869/2011 – С. 370–381.
7. Wang, B. Multimedia Streaming via TCP: An Analytic Performance Study [Текст] / B. Wang, J. Kurose, P. Shenoy, D. Towsley // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications. – 2008. – Vol. 4, № 2. – С. 16:1–22.
8. Goel, A. Low-Latency Adaptive Streaming over TCP [Текст] / A. Goel, C. Krasic, J. Walpole // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMCCAP). – 2008. – Vol.4, Issue 3. – С. 20:1–20:20.
9. Liu, C. Parallel Adaptive HTTP Media Streaming [Текст] / C. Liu, I. Bouazizi, M. Gabbouj // Computer Communications and Networks (ICCCN), 2011 Proceedings of 20th International Conference. – 2011. – С. 1–6.
10. Liu, C. Rate Adaptation for Adaptive HTTP Streaming [Текст] / C. Liu, I. Bouazizi, M. Gabbouj // MMSys '11 Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems. – 2011. – С. 169–174.
11. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2011–2016 [Электронный ресурс] / Cisco White Paper. – Режим доступа: \www/ URL: http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360_ns827_Networking_Solutions_White_Paper.html – 17.03.2013 г. – Загл. с экрана.
12. Kuschnig, R. An Evaluation of TCP-based Rate-Control Algorithms for Adaptive Internet Streaming of H.264/SVC [Текст] / R. Kuschnig, I. Kofler, H. Hellwagner // MMSys '10 Proceedings of the first annual ACM SIGMM conference on Multimedia systems. – 2010. – С. 157–168.
13. Kuschnig, R. Improving Internet Video Streaming Performance by Parallel TCP-Based Request-Response Streams [Текст] / R. Kuschnig, I. Kofler, H. Hellwagner // Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2010 7th IEEE, Conference Publications. – 2010. – С. 1–5.
14. Kuschnig, R. Evaluation of HTTP-based Request-Response Streams for Internet Video Streaming [Текст] / R. Kuschnig, I. Kofler, H. Hellwagner // MMSys '11 Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems. – 2011. – С. 245–256.
15. Lederer, S. Dynamic Adaptive Streaming over HTTP Dataset [Текст] / S. Lederer, C. Muller, C. Timmerer // Proceedings of the ACM Multimedia Systems Conference. – 2012. – С. 89–94.
16. ITU-T Y.2007 ITU-T Recommendation Y.2007 (2010), Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models. [Текст] – 2010 – 37 с.
17. Padhye, J. Modeling TCP Throughput: A Simple Model and its Empirical Validation [Текст] / J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, J. Kurose // Proc. ACM SIGCOMM Computer Communication Review. – 1998. – Vol.28, №4. – С. 303–314.
18. Еременко, А.С. Исследование производительности потоковой передачи данных посредством протокола TCP [Текст] / Еременко А.С. // Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – №34. – С. 80–87.
19. Afanasyev, A. Host-to-Host congestion control for TCP [Текст] / A. Afanasyev, N. Tilley, P. Reiher, L. Kleinrock // IEEE Communication Surveys and Tutorials. – 2010. – Vol.12, Issue 3. – С. 304–342.
20. Ha, S. CUBIC: A New TCP-friendly High-speed TCP Variant [Текст] / S. Ha, I. Rhee, L. Xu. // SIGOPS Operating Systems Review. – 2008. – Т. 42(5) – С. 64–74.
21. Shunmuga Krishnan, S. Video stream quality impacts viewer behavior: inferring causality using quasi-experimental designs [Текст] / S. Shunmuga Krishnan, Ramesh K. Sitaraman // Proceedings of the 2012 ACM conference on Internet measurement conference. – 2012. – С. 211–224.
22. Li, Z. Network Friendly Video Distribution [Текст] / Z. Li, M. K. Sbaiz, Y. Hadjadj-Aouly, A. Graveyz, D. Alliez, J. Garnier, G. Simonz, K. Singh // Network of the Future (NOF), 2012 Third International Conference, Conference Publications. – 2012. – с. 1–8.
23. Sanchez, Y. Efficient HTTP-based streaming using Scalable Video Coding [Текст] / Y. Sanchez, T. Schierl, C. Hellge, T. Wiegand, D. Hong, D. De Vleeschauwer, W. Van Leekwijck, Y. Le Louedec // Signal Processing: Image Communication. – 2012. – Vol.27 Issue 4. – С. 329–342.
24. Metzger, F. A performance evaluation framework for video streaming [Текст] / F. Metzger, A.F. Rafetseder, K. Tutschku // Packet Video Workshop (PV), 2012 19th International. – 2012. – С. 19–24.
25. Rafetseder, A. Exploring YouTube's content distribution network through distributed application-layer measurements: a first view [Текст] / A.F. Rafetseder, F. Metzger, D. Stezenbach, K. Tutschku // Cnet '11 Proceedings of the 2011 International Workshop on Modeling, Analysis, and Control of Complex Networks. – 2011. – С. 31–36.