

# Исследование параметров качества обслуживания (QoS), определяющих качество восприятия пользователем (QoE) потокового видео при передаче через Интернет

При разработке современных мультимедийных сервисов необходимо оценить удовлетворенность данной услугой конечного пользователя. Современная оценка предоставляемой услуги базируется на том, как она воспринимается пользователем, т.е. на качестве восприятия QoE (Quality of Experience). Дается описание основных понятий, касающихся QoS и QoE. Сравниваются технологии потокового вещания видеоконтента. Проводится анализ существующих стандартизированных методик оценки качества восприятия QoE для передачи IPTV и VOD, а также новых методик и концепций, обсуждаемых в международной научной литературе. Проводится определение списка параметров качества восприятия (QoE) специфичных для передачи потокового видео при передаче через сеть с негарантированной полосой пропускания. Приводится общий характер зависимости субъективной оценки QoE от объективных параметров качества обслуживания QoS для сервисов потоковой передачи видео. По результатам проведенного исследования делается вывод об острой необходимости разработки новых более эффективных методов оценки качества восприятия пользователем услуг потоковой передачи видео через неуправляемую среду Интернет.

**Ключевые слова:** OTT, IPTV, QoE, QoS, качество восприятия.

Деарт В.Ю., Кожухов И.С.,  
ФГБОУ ВПО МТУСИ

## Сравнение технологий IPTV и OTT

На сегодняшний день подавляющее число Интернет-провайдеров убеждены: IPTV является важнейшей и перспективнейшей составляющей концепции предоставления услуг "Triple Play" (Интернет, телефония и телевидение). Идея смотреть на экране своего телевизора широкий спектр телепрограмм в высоком качестве завлечет умы большого числа пользователей, особенно в крупных городах.

Принцип предоставления услуги цифрового телевидения заключается в том, что оператор IPTV организует широкополосный канал с гарантированной полосой пропускания достаточной для передачи всех предоставляемых телепрограмм от головной станции (IPTV Head End) до границы сети доступа абонента. Таким образом, гарантируется качество предоставляемого сервиса.

В основе технологии IPTV лежит транспортный механизм — транспортный поток MPEG-2. Этот механизм, основанный на ISO/IEC стандарте, определяет синтаксис и содержание битового потока, несущего пакетизированные видео- и аудиоданные, а также механизмы временной синхронизации, которые позволяют декодировать сигнал на приемной стороне в STB (Set-Top-Box). В совокупности с новыми технологиями компрессии (H.264/AVC и VC-1), обеспечившими более эффективное использование каналов с ограниченной полосой пропускания до пользователей, и улучшенными системами безопасности и управления, всё это позволило создать надёжный транспортный механизм доставки видеоконтента поверх различных сетей широкополосного доступа (GPON, FTTH, Wi-Fi, LTE).

В итоге технология IPTV позволяет пользователю получить все телевизионные каналы, а также дополнительные программы, в высоком качестве через единую IP-сеть, доведённую до дома с помощью кабеля или эфира. Не стоит забывать и про такие популярные сервисы как "Видео по запросу" (Video on Demand — VoD) и запись цифрового видео из сети (Network Digital Video Recording — NDRV) невозможные при стандартном вещательном телевидении.

Технология OTT (Over-The-Top) означает доставку видеоконтента на устройство пользователя (компьютер, мобильный телефон) по неуправляемой сети Интернет, в отличие от услуг IPTV, которые предоставляются через управляемую оператором сеть с гарантированным уровнем обеспечения параметров качества обслуживания QoS.

Основная задача OTT — предоставлять мультимедийные услуги (аудио/видеоматериалы в интерактивном режиме), не задействуя при этом выделенных ресурсов сети и поддерживая высокое качество. Для более эффективного распространения контента и привлечения новых абонентов OTT-операторы зачастую прибегают к услугам CDN-сетей.

Сеть CDN (Content Distribution Network) — многокомпонентная структура ввода и распределения информации с множеством точек присутствия абонентского доступа. В сети CDN существуют устройства содержащие информацию, устройства контролирующие распределение информации и устройства подключения пользователей (стримеры). Стримеры обрабатывают запросы конечных пользователей услуги и осуществляют представление видеoinформации в требуемом виде.

В реальном масштабе времени стримеры, как правило, осуществляют "прозрачное" подключение пользователей к источникам трафика (обычно, вводным устройствам, например, спутниковым приёмникам телетрансляций). В задачу стримера входит адаптация видео потока данных под требования услуги и нужды клиента. В масштабе времени не приближённом к реальному (архивные видеоматериалы) стример осуществляет выдачу видеoinформации пользователю напрямую из своего внутреннего ресурса хранения или из архива в сети CDN. Общий принцип при этом сохраняется — видеоматериалы с минимальной задержкой распределяются в рамках сети CDN между стримерами и выдаются клиентам в точке подключения к стримеру.

Предпосылками к появлению OTT являются:

- рост широкополосного доступа в интернет: FTTH, LTE, 3G/4G;
- прогресс в области видео компрессии (стандарты H.264 и H.265);
- появление крупных CDN;
- технологии адаптивного HTTP-стриминга.

Говоря о принципах работы ОТТ, следует выделить два различных подхода к передаче аудио/видео информации на уровне медиа-сервера: UDP/RTP потоком (стримом) или файлами малого размера при помощи HTTP поверх TCP.

В случае передачи пользователю видеоинформации потоком используются управляющие протоколы и специализированные контейнеры описания содержания видео данных. Наиболее распространённые управляющие протоколы потокового видео, реализованные на данный момент, это RTMP (Real Time Messaging Protocol — протокол частично закрытый компании Adobe), RTSP (Real Time Streaming Protocol — открытый протокол RFC 2326, получивший широкое распространение благодаря программному продукту QuickTime Streaming Server от компании Apple) и MPEG2-TS (MPEG2 Transport Stream — стандартизированный формат на основе формата MPEG2 ITU-T Rec. H.222.0). Основная задача управляющих протоколов образовать так называемые "контейнеры" для видеоинформации и контролировать поток UDP/RTP пакетов, поступающих к пользователю, с видеоинформацией.

Другой подход с использованием HTTP протокола (ещё его называют Adaptive HTTP Streaming, сокращённо AHS) сегодня завоевывает всё большую популярность у провайдеров, предоставляющих мультимедийные услуги на базе ОТТ. Его принцип заключается в том, что передача информации осуществляется файлами малого размера — видеоинформация, кроме упаковки в специализированные контейнеры (MPEG-2, MP4 и т. п.), проходит сегментирование на файлы небольшого размера "куски" ("chunk"). Медиа сервер составляет лист описи (плейлист) для данных файлов и с помощью управляющих протоколов HLS (HTTP Live Streaming), HDS (HTTP Dynamic Streaming) или Microsoft Smooth Streaming сообщает пользователю необходимые файлы для получения. Таким образом, видеоинформация доставляется пользователю файлами малого размера, средствами протокола HTTP с внешним управлением специализированными протоколами.

Технология IPTV подразумевает выделение в транспортном IP-ядре гарантированной полосы под каждый ТВ канал, из числа каналов, подводимых к сети доступа, независимо от того, сколько каналов и какие из них смотрят пользователи данной сети. Тогда как в ОТТ пользователь запрашивает полосу пропускания, необходимую для качественной передачи конкретного видеопотока, а получает ту полосу, которая доступна в сети в данный момент.

Наблюдаемый сейчас взрывной рост видеоконтента приводит к тому, что IPTV не в состоянии удовлетворить все потребности пользователя, из-за того, что предоставляется, хотя и большое, но всё же ог-

раниченное и заранее сформированное количество каналов вещания с гарантированной полосой пропускания. Тогда как ОТТ позволяет операторам получать дополнительную прибыль, просто предоставляя доступ к вновь организованному контенту с помощью уже существующего пользовательского канала в сеть Интернет наравне с прочим трафиком пользователя, без капитальных вложений в модернизацию инфраструктуры IP-сети.

Таким образом, сравнивая классическую технологию IPTV и новую технологию ОТТ, можно сказать, что ОТТ является более гибкой и перспективной вследствие отсутствия необходимости модернизации существующей сетевой инфраструктуры, а также из-за более персонализированного доступа к видеоматериалам.

**Факторы, влияющие на восприятие видеослужб**

Качество восприятия услуги (QoE — Quality of Experience) пользователем включает в себя все системные составляющие пути из конца в конец (абонентский терминал, сеть, сервисную инфраструктуру и т. д.) и может быть подвержено влиянию человеческого фактора, связанного с присущими индивиду ожиданиями или содержимым получаемой информации (контентом). Отличия в индивидуальном восприятии и индивидуальные предпочтения могут влиять на оценку пользователя. Следовательно, измерения качества восприятия должны проводиться на базе исследования оценок, получаемых от группы участников. При этом на восприятие влияют уровень культуры, мотивация, факторы концентрации внимания, эмоциональное состояние эксперта и др.

Существуют и другие факторы, влияющие на оценку качества формируемую пользователем. Это, в первую очередь, предыдущий опыт пользователя в работе с устройствами коммуникаций (например, опыт работы с устройствами DVD качества будет влиять на оценку восприятия IPTV и VoD), уровень оплаты за услугу и дополнительные возможности (мобильность, независимость от времени суток и др.).

Вместе с тем, такой фактор как приемлемость не является эквивалентом QoE. Например, видеоизображение с низким разрешением будет иметь более низкую оценку качества восприятия, чем изображение с высоким разрешением, однако, оно может быть полностью приемлемым в зависимости от оконечного устройства, физических размеров дисплея и целей, для которых оно сформировано.

На рис. 1 представлены факторы, от которых зависит качество восприятия QoE, с разделением на объективные и субъективные. Объективные факторы QoE разделены по уровням: приложений

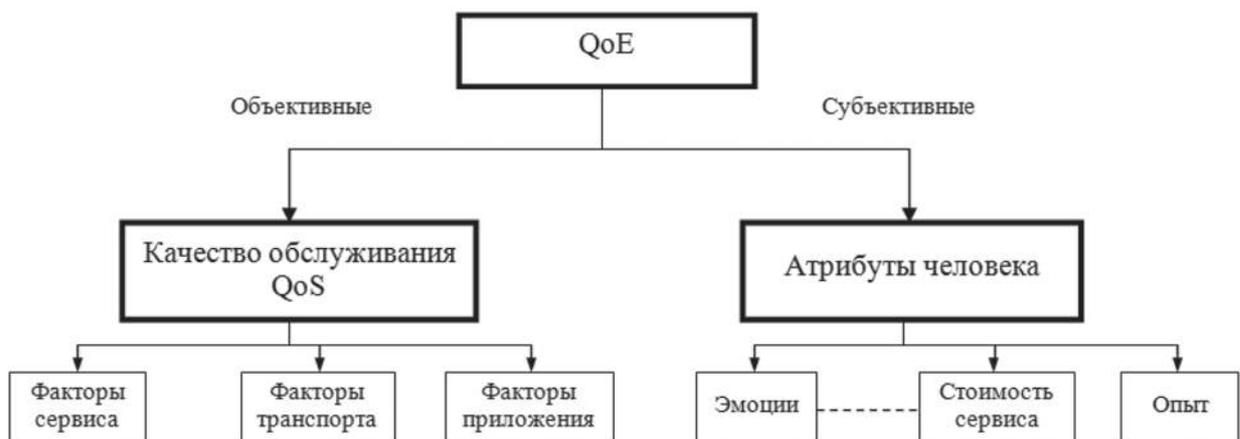


Рис. 1 Факторы, от которых зависит QoE

(applications), транспорта (transport), сервиса (service). Субъективные факторы включают такие как: эмоции, стоимость услуги, предыдущий опыт и т. д. [2].

Качество обслуживания QoS включает все характеристики телекоммуникационной услуги, которая удовлетворяет заявленные и реализованные потребности пользователя в данной услуге. В целом производительность сети является важнейшим компонентом QoS и сетевые механизмы управления качеством обслуживания приобретают наибольшее значение. Механизмы поддержки качества обслуживания обеспечивают улучшение производительности сети в целом, таким образом, улучшая восприятие пользователя.

### Параметры QoE для IPTV

Качество восприятия QoE для видео приложений обычно измеряется путём тщательного выполнения субъективных тестов (МСЭ-Р ВТ.500-11, МСЭ-Т Р.800), в которых перед экспертами проигрываются видео фрагменты и они оценивают их качество по пятибалльной шкале. Оценки по каждому эпизоду усредняются для получения усредненного значения (MOS).

Рекомендация ITU-T G.1080 [1] определяет целевые значения QoE и показывает, как требования QoE могут быть выражены в числовых значениях сетевых параметров, таких как скорость передачи и вероятность потерь пакетов.

Данная рекомендация содержит несколько групп требований к ключевым компонентам QoE для технологии IPTV, которыми являются:

- качество восприятия видео и аудио;
- время переключения каналов;
- качество передачи текста.

При этом наиболее важным компонентом, на основании которого формируется QoE для IPTV, безусловно, является "качество восприятия видео и аудио", которое в свою очередь, зависит от следующих факторов:

- вероятность потерь пакетов и модели распределения ошибок;
- синхронизация аудио и видео потоков;
- типы аудио и видео кодеков;
- стабильность и доступность выделенной в IP-ядре полосы пропускания.

Видео потоки очень чувствительны к потерям пакетов. Действительно, потеря системной информации и заголовков приводят к разным последствиям. Например, потеря I-кадров и P-кадров приводят к эффекту отличному от потери B-кадров.

С увеличением скорости кодирования увеличивается чувствительность потоков к потерям: при одной и той же вероятности потерь пакетов нарушения возникают чаще в потоках с более высокими скоростями передачи (т.е. увеличивается число видимых искажений в единицу времени), просто потому, что увеличивается число пакетов, передаваемых в секунду, а вероятность поражения пакета одинакова. Алгоритмы скрытия искажений в декодерах могут снизить влияние потерь пакетов.

Ошибка или серия ошибок в видео потоке могут приводить как незаметным искажениям в аудио видео материалах, так и к полной потере видео и аудио сигналов, в зависимости от того, что было потеряно и на сколько устойчиво данное приложение к потерям.

### Параметры QoE для ОТТ

Когда мы исследуем перспективные услуги на базе ОТТ на предмет оценки их качества, в первую очередь следует обратить внимание на особенности, связанные с передачей мультимедийного трафика методом вещания по протоколу HTTP. На практике, наличие механизма гарантированной доставки и большого клиентского буфера при методе потокового вещания по HTTP протоколу, сводит перечень возможных визуальных нарушений к следующему набору событий [5]:

— События ребуферизации являются следствием опустошения клиентского буфера. Это может происходить при несовпадении полосы пропускания вычисленной клиентом и реально доступной полосы в сети. Также ребуферизация может быть следствием наличия сильной нестабильности полосы пропускания. Кроме того смешанные кэшированные и некаэшированные сегменты могут ввести в заблуждение клиент, так как наличие кэшированных сегментов создаёт ощущение большой пропускной способности.

— Снижение качества. Если в сети низкая доступная полоса пропускания, клиент переключится на загрузку сегментов с меньшим качеством. В этом случае клиент защищает зрителя от событий буферизации.

— Колебания качества. Исследования показывают, что не только низкое качество негативно влияет на восприятие пользователя (QoE), но также и частота смены качества предоставляемой информации [8].

— (Ре)буферизация из-за взаимодействий с пользователем. Данный тип событий может происходить в момент запуска воспроизведения при начальной буферизации или при ребуферизации,

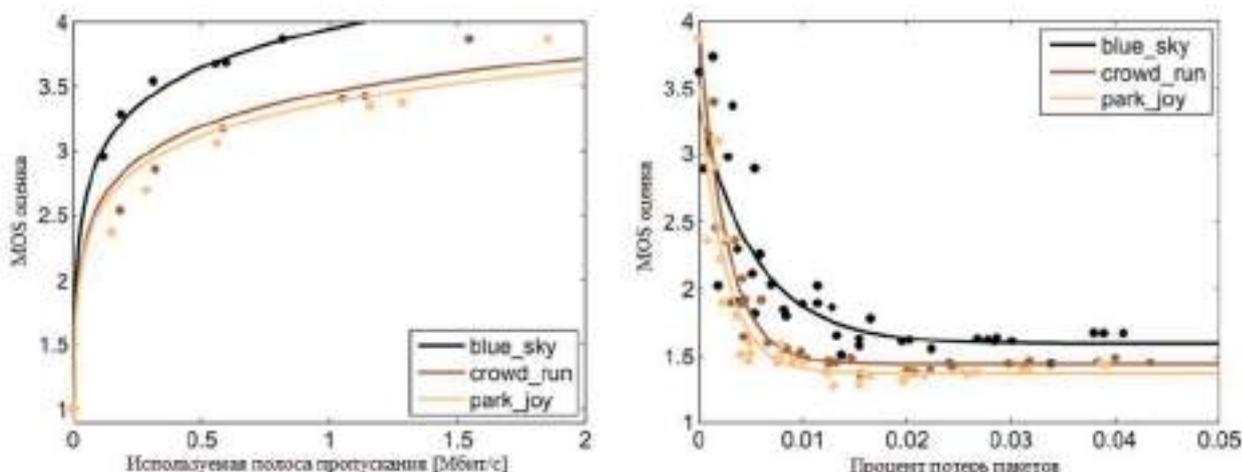


Рис. 2 Зависимость MOS оценки от а — используемой полосы пропускания; б — процента потерянных пакетов

когда система вынуждена реагировать на перемотку пользователем видео материала в случайное место. В таком случае существующий буфер становится недействительным и воспроизведение останавливается. Клиент выдаст новый запрос на основании текущего положения видео курсора. В целом, такие типы ре-буферизации можно рассматривать как интерактивные задержки, и они похожи на задержки при переключении каналов в системах IPTV. При этом есть исследования [7], показывающие сильную корреляцию между задержками переключения и оценками MOS.

Именно этот перечень событий предложено считать значимыми метриками QoE для перспективных услуг на базе ОТТ.

В работе [12] было проведено обширное исследование влияния различных факторов на воспринимаемое пользователем качество QoE услуги потоковой передачи видео. В частности, в рамках данного исследования были рассмотрены различные сочетания видео разрешений и требуемые для них полосы пропускания для трёх различных видеоклипов (рис. 2а). Далее исследователи наблюдали за изменением QoE при передаче потокового видео по каналам с различными уровнями потерь (рис. 2б).

На основании приведённых результатов очевидно, что влияние ресурсов (таких как требуемая полоса пропускания) на QoE существенно отличается от влияния успешной или неуспешной доставки (в данном случае, потери пакетов). Было отмечено, что определённые контролируемые сокращения используемой полосы пропускания соединения, например, через понижение качества передаваемого видеоматериала, влияют на QoE в гораздо меньшей степени, чем неконтролируемые ухудшения вследствие потерь, в результате которых происходит сильная обратная реакция протокола TCP и существенно увеличиваются времена отклика. Наблюдаемый эффект называется гистерезисом обеспечения предоставления сервиса (Provisioning-Delivery Hysteresis) (рис. 3).

На рис. 3 наглядно демонстрируется комплексный характер зависимости оценки качества восприятия QoE:

— верхняя кривая: функция  $QoE_r(x)$  (resource-related function) определяющая ресурсный характер зависимости QoE;

— нижняя кривая: функция  $QoE_s(x)$  (success-related function) определяющая зависимость от успешного или неуспешного предоставления сервиса;

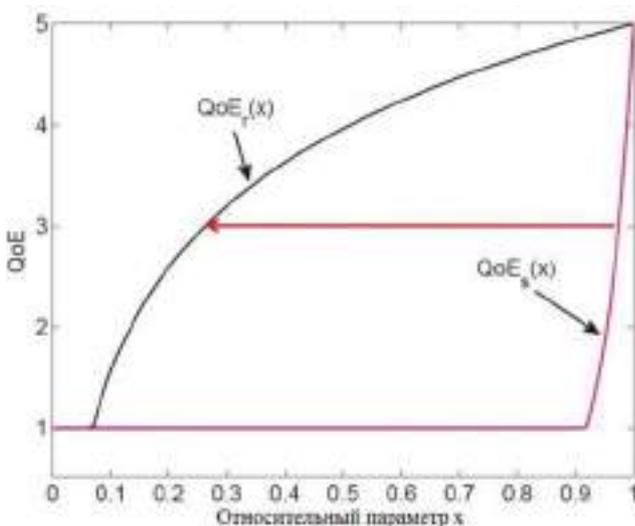


Рис. 3. Гистерезис обеспечения предоставления сервиса

## Заключение

По сравнению со стандартным IPTV, относительно новая технология ОТТ является более перспективной вследствие отсутствия необходимости модернизации существующей сетевой инфраструктуры.

В настоящее время вопросам, связанным с исследованием качества восприятия QoE для технологии IPTV, посвящено большое число работ. Технология ОТТ появилась относительно недавно, поэтому первоочередными задачами исследователей на данный период являются: проведение тщательных измерений QoE для ОТТ на реальных сетях и получение реальных зависимостей между параметрами качества обслуживания QoS и оценкой QoE, т.е. получения гистерезиса QoE для услуги передачи потокового видео на реальной сети. Вместе с тем, необходимо отметить, что результаты измерений не всегда позволяют получить данные по всему диапазону изменения параметров QoS на реальной сети. Поэтому особую актуальность приобретает необходимость разработки эмулирующего стенда для проведения полноценных измерений QoE в широком диапазоне изменения параметров QoS.

Зависимость между QoE и характеристиками QoS может использоваться двумя путями:

- а) проведя измерения QoS, можно при определенных предположениях предсказать каково будет качество восприятия QoE;
- б) задав целевое значение QoE, можно рассчитать требования к сетевым параметрам качества функционирования сети.

## Литература

1. Рекомендация МСЭ-T G.1080
2. A Survey. Ulrich Engelke, Hans-Jurgen Zepernick "Perceptual-based Quality Metrics for Image and Video Services", 2007.
3. De Vera D., Rodriguez-Bocca P. QoE Monitoring Platform for Video Delivery Networks. // IPOM'07 Proceedings of the 7th IEEE international conference on IP operations and management. Pp. 131-142.
4. Deep Singh K., Hadjadj-Aoul Y., Rubino G. Quality of experience estimation for adaptive HTTP/TCP video streaming using H.264/AVC // Author manuscript, published in "Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)", 2012.
5. Huysegems R., Vleeschauwer B. Session reconstruction for HTTP adaptive streaming: Laying the foundation for network-based QoE monitoring // Proceedings of Quality of Service (IWQoS), 2012 IEEE 20th International Workshop, June 2012.
6. Fiedler M., Hossfeld T. Quality of Experience-Related Differential Equations and Provisioning-Delivery Hysteresis // In 21st ITC Specialist Seminar on Multimedia Applications — Traffic, Performance and QoE, Miyazaki, Japan, March 2010.
7. Kooij R., Ahmed K., Brunnstrom K. Perceived quality of channel zapping // Proceedings of Fifth International Conference communication systems and networks. IASTED 2006, Palma de Mallorca, Spain, 2006, pp. 155-158.
8. Lewcia B., Belmudez B., Enghardt T., Moller S. On the way to high-quality video calls in future mobile networks // Proceedings Third international workshop of quality of multimedia experiences, QOMEX 2011, Mechelen, Belgium 2011.
9. Mok R. K. P., Chan E. W. W., Luo X. Inferring the QoE of HTTP Video Streaming from User-Viewing Activities // W-MUST'11 Proceedings of the first ACM SIGCOMM workshop on Measurements. Pp. 31-36.
10. Ramos P., Navarro Salmeron J. Estimating Perceived Video Quality from Objective Parameters in Video over IP Services // Proceedings of ICdT 2012, The Seventh International Conference on Digital Telecommunications, 2012.
11. Rubino G. Quantifying the Quality of Audio and Video Transmissions over the Internet: The PSQA Approach // Communication Networks & Computer Systems. Chapter 14. France, 2005.
12. Zinner T., Hossfeld T., Nawaz Minash T. Controlled vs. Uncontrolled Degradations of QoE — The Provisioning-Delivery Hysteresis in Case of Video // New Dimensions in the Assessment and Support of Quality of Experience (QoE) for Multimedia Applications, Tampere, June 2010.