

HTTP 移动流媒体 QoE 管理综述^①

陈 坚¹, 黄凤辉², 周文安², 黄雅君²

¹(中兴通讯股份有限公司 网管及服务规划部, 南京 210012)

²(北京邮电大学 计算机学院, 北京 100876)

摘 要: 随着移动通信网络和技术的快速发展, 多媒体信息的大量涌现, 人们对多媒体信息服务的要求也越来越高. 基于 HTTP 协议的移动流媒体由于拥有广泛运营基础的 Web 服务器网络环境, 部署简单, 适用范围广泛等优点成为研究的热点. 简要介绍了 HTTP 移动流媒体的相关特点, 重点分析了影响 HTTP 移动流媒体用户体验质量的各层因素, 归纳总结了评价方法和现有的工具, 并对 HTTP 移动流媒体相应的优化进行了介绍, 最后对 HTTP 移动流媒体 QoE 管理进行了总结和展望.

关键词: HTTP 流; 移动流媒体业务; QoE; 用户体验质量评价; 用户体验质量优化

Overview of QoE Management Based on HTTP Mobile Streaming

CHEN Jian¹, HUANG Feng-Hui², ZHOU Wen-An², HUANG Ya-Jun²

¹(Network Management & Service Planning Dept, Zhongxing Telecom Equipment Corporation, Nanjing 210012, China)

²(Computer College, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: With the development of mobile communications network technology, and the springing up of multimedia information, an increasing requirement for multimedia information service is needed. The mobile streaming media based on HTTP protocol becomes a research hotspot with its advantages of Web server network environment which has wide operating foundation, simple deployment and wide application. This paper briefly introduces the relevant characteristic of mobile streaming media based on HTTP protocol. We selectively analyse each layer factors that influence the QoE of the HTTP mobile streaming media. We investigate the evaluation methods and the existing tools. The relevant optimization methods of the HTTP mobile streaming media are introduced. Finally, we summarize and forecast the QoE management based on HTTP mobile streaming.

Key words: HTTP streaming; mobile streaming media service; QoE; quality of user experience evaluation

随着移动通信网络和技术的不断发展, 基于移动通信网络的各种流媒体技术日益走向成熟. 基于 HTTP 协议的移动流媒体服务由于拥有广泛运营基础的 Web 服务器网络环境, 部署简单, 适用范围广泛等优点成为广泛采用的技术. HTTP 移动流媒体承载于 TCP 协议之上, 由于 TCP 协议采用了拥塞控制机制、流量控制机制来保证可靠地传输, 因此基于 HTTP 协议的移动流媒体业务在分组丢失或分组出错时, 重传的分组可能会由于到达太迟而造成缓冲区无法充满, 出现视频缓冲现象, 从而影响视频质量. 因此目前基于 HTTP 移动流媒体的 QoS 评价的研究考虑的应用层

因素主要是其时间方面的因素, 如初始缓冲, 再缓冲等^[1]. 为了更好地了解网络侧因素对用户体验质量的影响, 也有不少研究从网络侧预测 QoS. HTTP 移动流媒体的用户体验质量具体的评价流程以及根据 QoE 去提升服务质量及优化网络等问题同样是学术界和工业界普遍关注的热点. 本文将在对基于 HTTP 协议的流媒体 QoE 相关研究调研的基础上, 全面分析影响 HTTP 移动流媒体用户体验质量的因素, 归纳总结评价方法和现有的工具, 并对基于 HTTP 协议的移动流媒体相应的优化进行介绍, 最后对 HTTP 移动流媒体 QoE 管理进行了总结和展望.

^①基金项目:新一代宽带无线移动通信网重大专项(2012ZX03001034);国家自然科学基金(61372113)

收稿时间:2013-11-07;收到修改稿时间:2013-12-11

1 HTTP移动流媒体QoE影响因素

QoE 是一种主观感受,是用户在与服务或者应用交互的过程中,由用户产生的对服务的一种主观感受.因此 QoE 有两个直接的影响因素:用户和服务.但是用户和服务交互的过程肯定会处在一定的客观环境中,而且客观环境对用户和服务的交互过程具有较大的影响.因此我们可以将 QoE 定义为用户在一定的客观环境中对所使用的服务或者业务的整体认可程度,并且归纳 QoE 的影响因素为服务层面,用户层面和环境层面^[2].以下具体分析了 HTTP 移动流媒体业务 QoE 的影响因素.

服务层面上,基于 HTTP 协议的视频服务由于底层使用了可靠的 TCP 协议,视频质量下降的原因主要在于重传的包到达太迟造成的视频需要填充空缓冲区.因此影响该服务视频质量的应用层 QoS 参数在于视频重缓冲和初始缓冲等时间因素方面^[1].综合文章 [3-7], 基于 HTTP 协议的视频的服务层面因素可细分为网络层因素、应用层因素以及服务层因素.网络层面因素包括带宽、丢包和时延等,具体为当实际网络下 TCP 吞吐量低于视频码率时,缓冲区数据量会逐渐减少,减少到一定程度时,视频会出现缓冲现象,而 TCP 吞吐量直接受带宽、丢包和时延等因素的影响;应用层因素包括初始缓冲时延、再缓冲时延、再缓冲频率,具体表现为为当出现缓冲时,用户需要等待缓冲完毕才能观看视频,影响体验质量;服务层参数如视频编码率、分辨率、颜色深度、视频长短、视频内容类型以及视频的种类如点播、直播等也对用户体验质量有很大的影响.

用户层面上, QoE 是用户在与服务或者应用交互的过程中,由用户产生的对服务的一种主观感受.仅根据服务层面的参数测量 QoE 就忽略了用户在观看视频时的感受对实际体验质量的影响,例如文章[8]的实验中,一位用户在视频发生第二次再缓冲后,表现了很不满意.事实上,用户本身对视频的期望以及用户当前的情绪都影响着用户的体验质量,对视频拥有不同期望值的用户观看同样的视频体验质量不同,不同情绪下的同一用户观看同样的视频体验质量也会不同.用户观看视频时的操作行为则反映了用户自身对视频的期望以及用户当前的情绪状态.同时,用户行为影响着客户端缓冲水平,也反映了视频所处的网络状态.如暂停可能意味着需要更多的时间缓冲视频;

调低分辨率可能意味着用户对当前网络条件不满意而调高分辨率的含义相反;全屏/退出全屏含义与调低/调高分辨率含义类似;快进可能意味着用户对当前视频内容兴趣不大,快退与之相反或者是由于想留出更多的时间填充缓冲区,以达到播放的流畅性^[8].

环境层面上的因素包括服务器运行环境以及用户观看视频所处的环境.服务器运行环境包括服务器软硬件环境,它直接决定了服务器提供服务的能力;用户观看视频环境包括光照条件,噪声大小以及移动设备本身的软硬件状态和它所处的运动状态,它也直接影响着用户的体验质量.

表 1 HTTP 移动流媒体 QoE 影响因素

HTTP 移动流媒体 QoE		
服务层面因素	用户层面因素	环境层面因素
1.网络层因素 带宽,丢包,时延等	1.用户行为 暂停,改变分辨率, 快进快退,全屏等	1.服务器运行环境 软、硬件环境等
2.服务层因素 编码率,分辨率,颜色深度,视频长短等	2.用户期望 对视频流畅度的期望,对视频清晰度的期望	2.用户观看环境 光线,噪声,所用设备条件和状态等
3.应用层因素 初始缓冲时延,再缓冲时延和频率等	3.用户情绪 当前情绪	

2 HTTP移动流媒体QoE量化与评价方法

现有的视音频业务常用的 QoE 评价方法按照是否有用户直接参与评价及是否给出 QoE 与其影响因素之间的关联模型可以分为主观评价方法、客观评价方法及主客观结合的方法,其中主观评价方法是让用户直接对所使用的业务做出评价,因此它最准确,一般可以作为评价其它评价方法的标准,但它所需的测试环境较为严格、消耗的代价较大.客观评价方法通过计算输出序列相对于输入序列的失真程度,来对业务做出评价,因此客观评价方法并没有考虑用户的因素,不能直接、准确地反映用户对业务的评价.主客观评价法也可以称为伪主观的评价方法,它运用人工智能以及统计学等学科作为理论支撑,具备了主观评价方法和客观评价方法的优点,可以实时运用、准确性较高,但是它需要获取足够的的数据,进行较为复杂的模型训练^[1].目前,HTTP 移动流媒体业务的 QoE 的量化方法多采用的是国际电信联盟(ITU)推荐的“平均评

估分值”(MOS)^[9]. 它将 QoE 的主观感受分为 5 个层次, 较为细致地描述了用户的主观感受. 评价多采用伪主观评价方法, 基本可分类为基于网络参数的三层映射 QoE 量化与评价法和基于应用层参数的两层映射 QoE 量化与评价法.

基于网络参数的 QoE 量化与评价法具体为: Ricky K. P. Mok 等人在文章[2]中建立了从网络层 QoS 参数到应用层 QoS 参数再到用户 QoE 之间的三层映射关系. 映射结构如图 1:

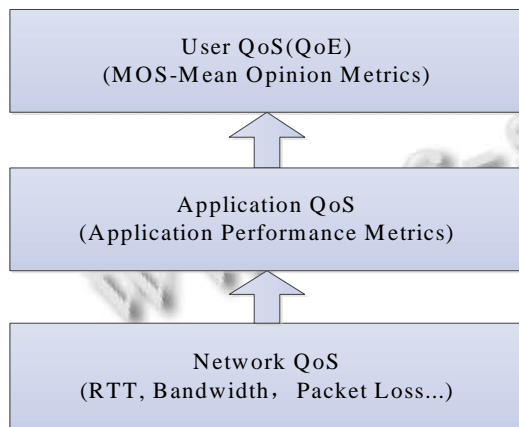


图 1 三层 QoS 映射^[2]

首先假设网络 QoS 参数带宽、往返时延以及丢包的变化, 计算网络损伤与应用层初始缓冲、再缓冲频率和时间之间的关系. 继而把测试视频按照应用层 QoS 划分等级, 如下表 2 所示, 各参数用“1”、“2”和“3”分别代表等级的低、中和高. 测试人员主观对指定视频打分, 实验结果拟合得到应用层 QoS 与 QoE 之间的关系, 具体为下式:

$$MOS = 4.23 - 0.0672L_i - 0.742L_r - 0.106L_{lr}$$

表 2 应用层参数 APMs 等级划分^[2]

Level	APMs		
	T_{ini}	f_{rebuf}	T_{rebuf}
Low	0-1s	0 - 0.02	0-5s
Medium	1 - 5s	0.02 - 0.15	5-10s
High	> 5s	>0.15	>10s

文章[2]给出了完整的评价流程, 但是没有考虑不同视频对 QoE 的影响. 文章[8]在[2]的预测模型基础考虑了用户的观影行为, 通过记录用户观影过程中的暂

停次数以及缩小屏幕尺寸的次数作为反馈, 对原有的 QoS 的预测模型做出修正, 但该文并未得到具体的映射公式, 仅证明了加入用户行为因素可以提高 QoE 预测的准确性. 文章[3]基于端到端链路路上的 TCP 信息预测启动时延, 再缓冲的发生及时长与文章[2]相比, 该方法能够在变化的网络环境中实时的预测缓冲事件的发生, 但是并未得到 MOS 值.

贝尔实验室研究的 the Alcatel-Lucent video inspector tool 工具可以模拟缓冲模型和终端用户的视频渲染, 从而分析网络层问题与终端用户体验下降之间的关系, 还提供了一个涵盖了所有层的 KPI/KQI 框架, 从而达到监视网络运营商的视频质量目的^[10], 它可以支持多数现有的视频传输协议(例如 RTP/RTSP 协议, 苹果公司的 HTTP Live Streaming 协议以及 HTTP 渐进下载协议), 进一步的视频损伤评估方法还在研究中.

基于应用层因素的 QoE 量化与评价法具体为: Kamal Deep Singh 等人在文章[11]中提出了一个专门针对 Adaptive HTTP streaming 的无参 QoE 测量模型 PSQA(Pseudo-Subjective Quality Assessment)^[12]. 采用的影响视频质量的三个主要参数, 分别为: 视频缓冲次数, 平均缓冲时间以及最大缓冲时间. 另外, 还考虑量化参数(H.264 编码中 QP 值代表了压缩率, 值越大, 压缩率越大, 比特率越低). 用伪主观评价方法, 通过让观看人员为给定的损伤样本打得出 MOS 值, 结果用于训练 RNN(随机神经网络)来捕捉应用层参数引起的损伤和感知质量之间的关系. 下一步可以根据评价结果进行相应的优化, 提升用户体验质量.

文章[13]介绍了监测 YouTube 应用舒适度的工具 YoMo, 该工具简单地将用户体验分为“好”与“坏”两个值, 当视频播放时视为“好”, 当视频缓冲时则视为“坏”, 同时定义一个缓冲区阈值, 当缓冲区的数据量小于该值时预测视频即将暂停, 并认为此时舒适度不好, 从而预测 QoE 的下降. 文章[14]基于文章[13]提出了一个预测 YouTube 渐进下载再缓冲事件次数及时长的简单模型. 该模型主要依赖于两个存储于播放器缓冲区中的数据量数量阈值: 一个是基于文章[14]中的触发视频再缓冲事件的值, 另一个是恢复播放所需要的最小值(本文实验得出). 通过比较这两个阈值, 可以计算缓冲时长.

表3 两类 QoE 量化及评价方法的比较

评价方法	基于网络参数的 QoE 评价	基于应用层参数的 QoE 评价
优点	直接根据网络侧参数评价, 评价结果直接反映网络情况, 据此可以更合理的调整网络资源.	应用层缓冲区状态更直接反应了视频的状态, 据此评价, 结果更为精确.
缺点	仅根据网络侧参数映射缓冲区状态, 进而评价可能出现网络 QoS 好而用户体验差的情况. 方法未充分考虑用户层面的因素对体验质量的影响, 尤其是用户的一些期望和情绪等因素, 模型不够个性化, 评价结果不够精确.	评价结果不能准确的反映网络条件. 方法同样没有充分考虑用户层面的因素尤其是用户的一些期望和情绪的变化对 QoE 的影响, 模型不够个性化, 评价结果不够精确.

用户体验质量是比较主观化和个体化的, 它受很多方面的因素影响. 我们可以看到, 目前已有的评价和现有的工具都只考虑了影响 QoE 的部分网络层因素以及应用层的因素, 并且评价侧重在对视频播放质量的评价, 较少的站在一个完整的视频业务角度来评估. 实验场景比较理想化, 并且极少考虑用户行为对 QoE 的影响, 样本容量较小, 因此最终的评价结果会与用户实际体验质量存在一定偏差. 为了准确评价用户满意度, 我们需要综合考虑综合网络层、应用层、服务层以及用户层面等因素, 在目前研究的基础上, 更好的引入主观维度, 例如用户对视频期望和用户当前的情绪, 扩充样本容量, 采用数据挖掘算法更好的分析出各因素之间的关系, 构建个性化且精确的评价模型.

3 HTTP移动流媒体QoE优化

如何提高移动流媒体业务的用户体验质量是备受关注的问题, 围绕着移动流媒体 QoE 优化这一问题, HTTP 移动流媒体技术在不断地发展.

HTTP 渐近下载情况下, 用户仍需下载一定量的数据才能进行观看, 实时性差, 为了解决这个问题, 目前不同的公司和组织根据自身业务特点提出了不同

的改进技术, 较为出名的是苹果公司提出的 HTTP Live Streaming, 3GPP 和 MPEG 组织提出的 DASH(Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)、微软提出的 Microsoft's Smooth Streaming 和 Adobe 提出的 HTTP Dynamic Streaming. 他们可以统一归类为 HTTP 自适应流媒体. HTTP 自适应媒体资源被分割为很多小片段存储在 Web 服务器上, 每一个小片段的解码独立于其他的片段, 索引文件给出片段之间的联系. 客户端获得相应媒体资源的索引文件后根据索引文件下载相应的片段进行播放, 具有实时性. 服务器中存储着同一媒体内容的多种码率版本, 不同网络条件下自动选择传输相应码率的视频片段, 因此 HTTP 自适应流媒体具有自适应性. 以改善用户体验为出发点, HTTP 自适应技术大致有以下方面: 时延控制, 带宽预测与管理 and 码率切换技术等方面.

对于时延方面的研究主要集中于 TCP 协议的改进. 综合文章[15-18], 减少时延主要从两个部分进行, 第一是确立适当的分段大小, 在保证服务器存储分发效率的基础上尽可能减小每个分段的持续时长, 第二个便是对 TCP 协议的改进, 为 TCP 协议引入错误适应机制, 允许一定的丢包率, 大大提高带宽利用率.

对带宽进行实时准确的预测可以为客户端提供较为合理的切换时机. 预测带宽大部分都是通过通过对缓存区数据量的计算进行, 并通过与视频比特率的对比, 为下一步的切换提供必要的信息^[19,20]. 带宽管理主要从客户端和服务端两个角度出发来实现带宽分配的公平性, 提高带宽的利用率. 在客户端要求高质量媒体内容时进行适当的带宽控制, 服务器端则是从服务器的多线程处理和服务器系统架构方面来提高带宽利用率^[21-25].

为了保证用户体验质量, 切换过程需要做到对用户透明, 即通过预测当前网络变化自适应地进行切换. 当网络条件变差时, 用户更能接受所观看的视频从较好的质量等级逐级地切换到较差等级^[26]. 切换可分为同一网络下切换和不同网络间的切换. 在文章[27-32]中, 对于切换的研究主要集中在切换时机的选择和切换过程的无缝性上. 切换时机的选择与前面的带宽预测有着紧密的联系, 正是通过对带宽, 缓冲区和比特率的比较来确定切换的时间点. 而在切换过程中, 大部分方法都尽量减小切换时延来达到无缝切换的目的. 文章[26]提出一个质量适应算法, 该算法在可用带

宽基础上选择最适合的视频质量水平, 利用缓冲的时间插入中间质量的视频逐步切换到选定的目标质量视频, 提供更好的服务质量.

另外, 针对不同的业务场景, 也有一些具体的优化策略. 如文章[33]针对用户同时进行 web 浏览和观看视频的情况, 采用基于网络层面和基于服务层面的两种调整算法: 网络调整: 在已缓冲视频低于 10 秒时重新选路, 并给予缓冲数据较少的用户较高的优先级, 优先分配资源; 质量调整: 网络较为拥塞, 当前视频距离开始播放远于 5 秒且距离上次调整远于 2 秒时, 将视频调整到较低的码率. 文章[34]针对同一用户同时进行 HTTP 下载, Web 浏览和观看视频的情况, 设置两个缓冲区阈值, $a < b$ (单位: 秒), 当某客户端缓冲区内可播放视频的时长低于 a 时, 优先传送视频数据, 高于 b 时, 认为以上三种业务同等重要.

以上对于 HTTP 移动流媒体的研究都是用于保证用户在使用服务时能在当前网络条件下获得最佳的流畅度和清晰度(用户最为直观的感受). 当用户 QoE 值较低时, 我们可以考虑以上策略进行优化, 提升用户体验质量. 未来 QoE 的优化我们要兼顾提高网络效率, 扩大用户的容量, 实现绿色网络等目标.

4 结语

本文简要介绍了 HTTP 移动流媒体的特点, 分别从服务方层面, 用户层面和环境层面全面分析了 QoE 影响因素, 重点调研了目前研究所采用的 QoE 评价方法并将其归纳分类为基于网络侧参数的 QoE 评价和基于应用层参数的 QoE 评价, 之后对两类评价方法进行了对比, 最后从三个方面详细分析了 HTTP 移动流媒体技术的演进和优化, 并给出了具体场景下的优化方法. 目前的 HTTP 移动流媒体的整个评价方面存在一定的问题, 例如具体评价的时候, 很少考虑用户观看视频时的感受以及用户的操作对实际体验质量的影响, 评价未能区分用户, 不能很好的反映个体体验质量, 并且评价并未分析和处理涉及的影响因素之间存在的一些相关性和依赖性; 优化方面, 未能考虑在提供较好的服务质量的同时, 如何提升网络效率, 实现绿色网络等问题. 下一步我们的研究主要集中于利用决策树等方法分析各因素之间的相关性, 全面分析用户因素对 QoE 的影响并采用机器学习算法等构建个性化的科学的评价模型, 另外, 我们还可以考虑 QoE 优

化相关的问题以及 HTTP 移动流媒体的质量因素如何影响用户参与度等问题, 为网络运营商, 视频服务提供商和其他研究组织提供一些参考.

参考文献

- 1 3GPP TS 26.247 v10.1.0. Transparent End-to-End Packet Switched Streaming Service (PSS); Progressive Download and Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP (3GP-DASH). Release 10, 2011-06.
- 2 林闯, 胡杰, 孔祥震. 用户体验质量(QoE)的模型与评价方法综述. 计算机学报, 2012(1):1-15.
- 3 Latré S, Staelens N, Simoens P. On-Line estimation of the QoE of progressive download services in multimedia access networks. ICOMP 2008. Las Vegas, Nevada, USA. 2008. 14-17.
- 4 Mok RKP, Chan EWW, Chang RKC. Measuring the Quality of Experience of HTTP Video Streaming. Integrated Network Management(IM). 2011 IFIP/IEEE International Symposium. Dublin. 2011. 485-492.
- 5 Dobrian F, Sekar V, Stoica I. Understanding the Impact of Video Quality on User Engagement, SIGCOMM'11. ACM, 2011.
- 6 Oyman O, Singh S. Quality of Experience for HTTP Adaptive Streaming Services. IEEE Communications Magazine, April 2012, 50(4): 20-27.
- 7 Menkovski V, Liotta A. QoE for Mobile Streaming. Mobile Multimedia-User and Technology Perspectives, 2012.
- 8 Mohamed S, Rubino G. A study of real-time packet video quality using random neural networks. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech., 2002, 12(12): 1071-1083.
- 9 International Telecommunication Union, Geneva. Methods for subjective determination of transmission quality. Report: ITU TP. 800, 1996.
- 10 Hubbe P, Kerboeuf S, Leprovost Y. An Innovative Tool for Measuring Video Streaming QoE. <http://www2.alcatel-lucent.com/techzine/an-innovative-tool-for-measuring-video-streaming-QoE/>, 2011-1.
- 11 Singh DK, Hadjadj-Aoul Y, Rubino G. Quality of Experience estimation for adaptive HTTP/TCP video streaming using H.264/AVC. The 9th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference. 2012. 127-131.
- 12 Mohamed S, Rubino G. A study of real-time packet video quality using random neural networks. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech., 2002, 12(12): 1071-

- 1083.
- 13 Staehle B, Hirth M, Wamser F, Pries R, Staehle D. YoMo: A YouTube Application Comfort Monitoring Tool. University of Würzburg, Tech. Rep.467, 2010-03.
- 14 Ameigeiras P, Azcona-Rivas A, Navarro-Ortiz J, Ramos-Muñoz JJ, López-Soler MJ. A simple model for predicting the number and duration of rebuffering events for YouTube flows. *IEEE Communications Letters*, 2012,2(16):278–280.
- 15 Lohmar T, Einarsson T, Frojdh P. Dynamic adaptive HTTP streaming of live content. *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks(WoWMoM)*. Lucca. 2011. 1–8.
- 16 Gorius M, Shuai Y, Herfet T. Dynamic media streaming over wireless and mobile IP networks. *Consumer Electronics-Berlin(ICCE-Berlin)*. Sept 2012: 158–162 .
- 17 Zhou B, Wen J, Wang J. HTTP streaming over an improved TCP congestion control algorithm. *Multimedia Technology(ICMT)*. Hangzhou. July 2011. 3093–3096.
- 18 Rajiullah M, Brunstrom A. On the effectiveness of PR-SCTP in networks with competing traffic. *Proc. of the IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. 2011. 898–905.
- 19 Zhou B, Wang JY, Zou ZX, Wen JT. Bandwidth estimation and rate adaptation in HTTP streaming. *Computing, Networking and Communications(ICNC)*. Maui. 2012. 734–738.
- 20 Thang TC, Pham AT, Nguyen HX. Video streaming over HTTP with dynamic resource prediction. *Communications and Electronics(ICCE)*. Hue. 2012-08. 130–135.
- 21 Mueller C, Lederer S, Timmerer C. A proxy effect analysis and fair adaptation algorithm for multiple competing Dynamic Adaptive Streaming over HTTP clients. San Diego. 2012. 1–6.
- 22 Ma KJ, Bartos R. HTTP Live Streaming Bandwidth Management Using Intelligent Segment Selection. *Global Telecommunications Conference(GLOBECOM 2011)*, Huston. 2011. 1–5.
- 23 Kupka T, Halvorsen P, Griwodz C. An evaluation of live adaptive HTTP segment streaming request strategies. 2011 IEEE 36th Conference on Local Computer Networks (LCN). Bonn. 2011. 604–612.
- 24 Bouten N, Latre S, Van de Meerssche W. An autonomic delivery framework for HTTP adaptive streaming in multicast-enabled multimedia access networks. *Network Operations and Management Symposium (NOMS)*. Maui, HI. April 2012. 1248–1253.
- 25 Phatak AMV, Dongaonkar BR. Applying hyperthreading technology for evaluating the performance of HTTP server for stored audio/video retrieval, Nagpur, 2009: 644–647.
- 26 Mok KPR, Luo XP, Chan WWE, Chang RKC. QDASH:A QoE-aware DASH system. *Proc. of the 3rd Multimedia Systems Conference*. 2012. 11–22.
- 27 Zhou C, Zhang XG, Huo LS. A control-theoretic approach to rate adaptation for dynamic HTTP streaming. *Visual Communications and Image Processing(VICIP)*. San Diego. 2012. 1–6.
- 28 Mitra S, Swaminathan V. An optimal client buffer model for multiplexing HTTP streams. *Multimedia Signal Processing (MMSP)*. Banff, AB. 2012. 283–288
- 29 Thang TC, Kang JW, Pham AT. Quality-guided adaptivity for audiovisual content streaming by MPEG DASH. *Consumer Electronics(ICCE)*. Las Vegas. 2012. 94–95.
- 30 Hofmann I, Farber N, Fuchs H. A study of network performance with application to adaptive HTTP Streaming, *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting(BMSB)*. Nuremberg. 2011. 1–6
- 31 Lee E, Choi T, Lee J. Fast reconnection of adaptive HTTP Streaming in heterogeneous networks. *Network Infrastructure and Digital Content(IC-NIDC)*. Beijing. 2012. 299–304.
- 32 Jang M, Oh H, Yang J. Implementation of continuous HTTP live streaming using playback position request mechanism in heterogeneous networks. *Advanced Communication Technology(ICACTION)*. 2013. 990–993.
- 33 Wamser F, Hock D, Seufert M, et al. Using buffered playtime for QoE-oriented resourcemanagement of YouTube video streaming. *Trans. on Emergin Telecommunications Technologies*, 2013, 24: 288–302
- 34 Wamser F, Staehle D, Prokopec J, Maeder A, Tran-Gia P. Utilizing buffered YouTube playtime for QoE-oriented scheduling in OFDMA networks. *Teletraffic Congress (ITC 24)*. 2012. 1–8.