

移动视频业务 QoE 自适应测量工具^①

文艺林, 黎文伟

(湖南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410082)

摘要: 针对不同无线环境(3G、WiFi)下获取用户体验质量(Quality of Experience, QoE)数据困难和不精确的问题, 提出一种基于安卓(Android)移动终端视频业务 QoE 的自适应测量方法. 通过实时测量并评估用户在线视频业务体验质量, 提高用户体验质量评价的准确性和实用性. 为此开发了能自动测量视频 QoE 的工具, 测量服务质量(Quality of Service, QoS)客观参数, 通过效用函数映射到主观 QoE(MOS 值). 通过对理论 QoE 评价模型(取自文献)与用户实际反馈相关性研究改进理论模型. 结果表明, 无线环境下改进的模型测量结果更接近用户实际反馈, 可以更好地评价 QoE.

关键词: 无线环境; 用户体验质量; 安卓移动终端; 在线视频; 效用函数

Adaptive Measuring Tool for Mobile Video Services QoE

WEN Yi-Lin, LI Wen-Wei

(Department of Information Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: An adaptive measurement method is proposed based on Android mobile terminals streaming video services QoE, which is adapted to solve the problem of difficulty and inaccuracy in getting quality of experience(QoE) data under the different wireless environments (3G, WiFi). By measuring and evaluating QoE of online video service in real time, it can be more accurate and practical. Thus, an application that can automatically measure QoE of videos is designed to measure objective quality of service (QoS) parameters and map to the subjective QoE (MOS value) through a utility function. Finally, we improve the theoretical model by studying the correlation between theoretical QoE assessment model (taken from the literature) and actual user feedback. It shows that the results obtained by the improved model measuring, under wireless environment is closer to the actual user feedback, which can better evaluate the QoE.

Key words: wireless environment; quality of experience(QoE); Android mobile terminal; online video; utility function

随着无线网络和移动终端的不断发展, 实时娱乐服务(包括流媒体服务)正成为无线网络环境下主流的 Web 服务之一. 流媒体视频服务是目前国内实时娱乐流量最大的单一来源, 在线视频网站是用户最常访问的网站. CNNIC 提供的数据显示, 网络视频用户规模在 2015 年继续保持增长趋势, 手机视频用户规模在过去的 3 年内上升了 27.3 个百分点, 达 3.54 亿人, 超过 76.7% 的视频用户选择用手机或平板观看在线视频, 移动终端已经成为大部分用户观看在线视频的选择.

移动视频业务爆发式增长和用户体验质量直接影响用户数量, 使 QoE 评价引起内容提供商和网络运营

商强烈关注, 也是目前学术界重点研究对象^[1]. 通过对相关组织和研究机构的调研分析^[2-5], 移动视频业务 QoE 评价目前还没有统一的标准.

目前主流的方法是采用基于服务质量即 QoS 的客观评价法, 基于用户体验质量的主观评价法及主客观结合的方法. 影响 QoS 的主要指标有时延、丢包率、抖动等, 但是这些指标只考虑了网络层性能, 依赖于监测网络层性能参数^[6-8]、应用层性能参数^[9]或者用户的行为方式来进行评价. QoS 测量没有考虑用户满意度, 在测量整体业务质量上不全面, 所以客观评价法具有一定的局限性. 基于用户体验质量的主观评价法

① 基金项目: 国家自然科学基金(61173168); 中央高校基本科研业务费项目

收稿时间: 2016-05-04; 收到修改稿时间: 2016-06-12 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005580]

是一种以用户满意度为标准的评价方法^[10,11]。这是从用户的角度来评价系统的整体性能,也是运营商致力于优化网络提升 QoE 的原因。以往 QoE 评价通常是通过主观测量 MOS 来获得用户满意度,运营商通过问卷调查来获得用户对业务的体验质量,再进行网络的调整与优化,所以主观评价方法比较滞后且容易引起用户厌烦。除了以上两种方法,文献[12]和文献[13]中综合了主观和客观的方法,通过结合测量得到的与服务质量有关的某些性能参数和用户反馈给测量系统的体验质量来对 QoE 进行评判。这些测量将移动设备作为调制解调器,用手提电脑执行测量和收集数据,在资源和人员方面开销很大。以上方法均未从视频质量整体评估体系出发进行研究,也没有充分考虑用户体验。

因此,近几年大量工作致力于研究移动终端客观 QoE 评价框架和移动视频 QoE 评价模型。例如,文献[14]和文献[15]在实验环境中提出一个基于 Android 平台的 QoE 评价框架,文献[16]和文献[17]估计流媒体视频服务的 MOS 值。其中,文献[17]在有线环境下提出了一个 HTTP 流媒体视频三个应用层 QoS 参数(初始缓冲时间、重缓冲频率、平均重缓冲时间)的效用函数计算 MOS 值。然而,这些现有的模型并没有针对移动场景进行特定分析来深入验证。

通过在移动终端集成用户体验质量分析测量程序可以解决上述缺点。本文根据文献[17]中建立的理论 QoE 评价模型,提出一种在不同无线环境下移动在线视频业务 QoE 自适应测量方法,可以实时自动测量并评估用户的业务体验质量。根据该方法,开发了一个基于 Android 移动终端的 QoE 数据测量工具,测量与服务相关的客观 QoS 参数,然后将这些参数映射到主观 QoE。只运行在移动终端的应用程序作为测量工具对 QoE 进行测量,具有快速、准确的特点,可以克服开销大等缺点,而且移动设备能够将测量结果发送至服务器,这将有效简化 QoE 评价过程。

1 移动视频业务QoE评价方法

1.1 QoE 评价系统总体框架

移动流媒体视频业务使用基于 HTTP 的渐进式下载技术,渐进下载是指客户端在播放媒体文件前,先用较短时间从服务器上下载媒体文件最前面部分数据并缓存到终端,然后边顺序下载,边播放已经下载的数据。因此并不依赖流媒体服务器,使用标准的 Web

服务器就能实现。

视频整个下载过程是用户发送请求(视频链接)到服务器,当客户端 Web 浏览器打开视频网站页面时,播放器向服务器发起下载视频的会话。然后服务器开始通过 HTTP 响应逐步发送视频数据。视频数据在播放之前存储在客户端的缓冲区。下载开始后,客户端与服务器就没有进一步通信(除非用户与播放器交互)。移动视频 QoE 评价过程如图 1 所示。

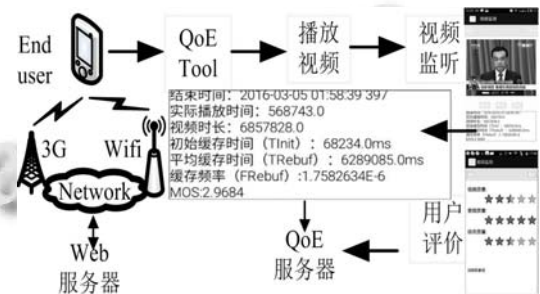


图 1 移动视频 QoE 评价系统框架图

1.2 QoE 量化与评价方法

服务器将视频数据传送到客户端包含两个阶段:初始突发阶段、节流阶段。在初始突发阶段,服务器在最大可用带宽条件下发送数据,然后进入节流阶段,其中数据以恒定的速率被发送(一般为视频片段编码速率乘以节流因子)。当网络拥塞情况时,不能以恒定速率传输的数据被缓存在服务器,拥塞得到缓解时继续发送。所以视频数据可能因为时延导致缓冲区未能充满,出现缓冲现象,从而影响用户的业务体验。因此初始缓冲、重缓冲等直接影响用户体验质量。

移动视频业务 QoE 的量化方法使用的是国际电信联盟(ITU)推荐的 MOS 平均评估分值法^[18]。用户的主观感受被分为 5 个层次(1 分到 5 分,满意度逐渐增加)。

主客观结合的 QoE 评价方法,大致分为两种:基于网络层参数的三层映射 QoE 量化与评价法、基于应用层参数的两层映射 QoE 量化与评价法^[19]。文献[17]中建立了三层映射关系并得到映射公式。基本思路分为三个步骤: 1)测量网络层 QoS 参数(吞吐量、往返时延、丢包率)。2)通过分析模型和实证研究将网络层 QoS 参数转换到应用层 QoS 参数。3)将应用层 QoS 映射到终端用户 QoE(通过 MOS 值)。

可以注意到,如果移动终端安装了直接监测和报告应用层 QoS 参数的客户端,前两个步骤可省去。否则,移动终端需通过特定的协议建模将网络层 QoS 转

换到应用层 QoS.

前两个步骤不是本文重点关注内容, 所以不详细阐述. 第三个步骤通过运用 HTTP 移动流媒体视频三个应用层 QoS 参数的效用函数来实现:

初始缓冲时间(Initial buffering time, T_{init}): 数据缓存达到缓冲区定义的阈值, 直到视频开始播放所用的时间;

重缓冲频率(Rebuffering frequency, F_{rebuf}): 视频播放期间发生重缓冲事件的频率;

平均重缓冲时间(Mean rebuffering time, T_{rebuf}): 平均一个重缓冲事件持续的时间.

按实际参数的 25%、50%、75%将每个应用层 QoS 参数(T_{init} 、 F_{rebuf} 、 T_{rebuf})划分为三个等级(低、中、高). 将对应的性能指标 L_{ti} 、 L_{fr} 、 L_{tr} 分别量化为数值 1、2、3 代表低、中、高三个等级. T_{init} 、 F_{rebuf} 、 T_{rebuf} 至 L_{ti} 、 L_{fr} 、 L_{tr} 的对应关系如表 1 所示.

表 1 三个应用层性能指标等级划分

T_{init}	L_{ti}	F_{rebuf}	L_{fr}	T_{rebuf}	L_{tr}
0 to 1s	1	0 to 0.02	1	0 to 5s	1
1 to 5s	2	0.02to0.15	2	5to10s	2
>5s	3	>0.15	3	>10s	3

基于量化指标 L_{ti} 、 L_{fr} 、 L_{tr} 采用线性回归分析法获得 MOS 估计:

$$MOS_{model} = 4.23 - 0.0672L_{ti} - 0.742L_{fr} - 0.106L_{tr} \quad (1)$$

从方程式可以看出, MOS 最高预测值为 4.23. 性能指标的系数(L_{ti} 、 L_{fr} 、 L_{tr})都为负值, 即它们值增加就会导致更差的用户体验质量. 而且容易发现, 相比于初始缓冲时间(回归系数-0.0672)和平均重缓冲时间(回归系数-0.106), 重缓冲频率指标(回归系数-0.742)对用户体验质量影响最大. 因此可以认为, 用户体验质量不仅只取决于缓冲强度(缓冲状态持续时间百分比), 缓冲频率对其影响更大, 因为用户更厌烦视频频繁的缓冲.

2 移动终端QoE数据测量工具的实现

2.1 测量工具的设计

本文设计和实现了移动视频业务 QoE 数据自适应测量工具 VE, 实时获取三个应用层 QoS 参数和用户主观数据, 再把获取的数据发送至 QoE 服务器, 便于后期进行理论 QoE 评价模型的修正. 测量工具 VE 客户端框架图如图 2 所示.

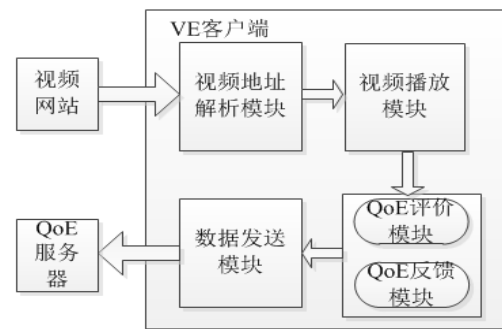


图 2 QoE 数据测量客户端框架图

测量工具 VE 由 5 个模块组成:

1) 视频地址解析模块: 在线视频需要在测量工具 VE 客户端内编写的播放器进行播放, 所以要解析用户需要观看的在线视频真实地址. 本文研究选取了目前国内三个主流的在线视频网站: 腾讯视频、优酷视频、风行视频. 以腾讯视频为例, 在编码中首先通过 get 方法获得播放界面的 URL 和视频 vid, 然后通过读取 “http://vv.video.qq.com/geturlplatform=1&otype=xml&vid=” 的 xml 信息即可获得到视频的真实地址(其他视频网站可以依照这个思路进行分析获取).

2) 视频播放模块: 该模块实现了在线视频播放的基本功能, 用户可以在无线环境下选择并观看在线视频, 从而为测量 QoE 数据提供真实的应用场景. 播放状态包括以下状态: 未开始、初始缓冲、播放、重缓冲和停止. 播放器未开始加载时处于未开始状态, 一旦开始下载视频数据, 状态转变为缓冲状态(初始缓冲). 缓存足够的数据时开始播放, 转变为播放状态. 当播放过程中出现网络拥塞导致缓冲区无法充满, 将重回到缓冲状态(重缓冲事件); 否则, 播放将继续下去, 直到结束. 根据获取的每一时刻播放器状态相关信息, 能够计算出:

初始缓冲时间(T_{init})=最初播放时间-最初缓冲时间;

重缓冲频率(F_{rebuf})=缓冲次数/(播放终止时间-最初播放时间);

平均重缓冲时间(T_{rebuf})=(播放时长-视频时长)/缓冲次数.

3) QoE 评价模块: 这个模块负责实时监听应用层 QoS 参数, 依据公式 1 自动计算视频 QoE 即 MOS 值, 不需要用户参与. VE 监听应用层 QoS 参数关键代码如下:

```

1 public void onClick(View v) {
2     switch(v.getId()){case R.id.media_play:
3         startTime = Calendar.getInstance();//最初缓冲时间}}
1         mediaPlayer.setOnPreparedListener(new
OnPreparedListener(){
2     public void onPrepared(MediaPlayer mp) {
3         startPrepareTime = Calendar.getInstance();//最初播放时
间}});
1public void onBufferingUpdate(MediaPlayer mp,int percent) {
2if(mediaPlayer.isPlaying()){Log.w("infod",percent+"");}
3     else {if(!(percent==100)) pausess++;//缓冲次数}}
1 mediaPlayer.setOnCompletionListener(new
OnCompletionListener(){
2     public void onCompletion(MediaPlayer mp) {
3         playoverTime= Calendar.getInstance();//播放终止时间}}
1 videoLong = mediaPlayer.getDuration();//获取视频时长

```

4) QoE 反馈模块: 用户观看完视频后对业务体验质量(视频, 音频和总体体验质量)进行 MOS 评分(1 至 5), 这些数据用于研究 QoE 理论模型和用户真实反馈的相关性, 用于修正理论模型并优化工具(工具优化后可根据实际需要选择性的删除该模块)。

5) 数据发送模块: 该模块采取 get 方法在客户端中发起一个 Http 请求, 数据通过 Servlet 实现保存到服务器端数据库中。所有性能参数数据、根据理论模型测得的 MOS 值和用户真实反馈数据发送至 QoE 服务器进行后期处理及分析。

服务器端部分主要是收集从移动终端发来的数据便于进一步的处理及分析。服务器端不是本文研究重点, 所以不做详细阐述。

2.2 工具的自适应测量与实现

MOS 值由 QoE 评价模块中理论 QoE 评价模型自动获得, 此外测试用户观看完视频后在 QoE 反馈模块对业务体验质量进行评分。根据理论 QoE 评价模型自动获取的数据和用户真实反馈的数据来验证文献[17]中提出的理论模型, 利用初步研究结果修正目标函数。获得修正的 QoE 评价模型后, 在 QoE 评价模块中加入监听移动设备网络连接状态的功能, 对测量工具 VE 进行优化, 使其能够根据无线网络连接类型自动切换评价模型测量 QoE, 自适应不同的网络自动对用户体验质量进行评价。VE 根据无线网络连接类型自动切换评价模型关键代码如下:

```

1 ConnectivityManager connectMgr = (ConnectivityManager)
2this.getSystemService(Context.CONNECTIVITY_SERVICE);
3     info = connectMgr.getActiveNetworkInfo();
4     if(info !=null)
5 {if(info.getType()==ConnectivityManager.TYPE_WIFI)
6 {mos = 1.339*(4.23-0.0672*Lti-0.742*Lfr-0.106*Ltr); //WiFi
状态下
7 }else if( info.getType() ==
ConnectivityManager.TYPE_MOBILE)
8 {mos = 1.235*(4.23-0.0672*Lti-0.742*Lfr-0.106*Ltr); //3G
状态下}}

```

图 3 显示了测量工具 VE(包括视频播放器)部分界面截图。视频播放结束后, 三个应用层 QoS 参数(T_{init} 、 F_{rebuf} 、 T_{rebuf})和 MOS 值会显示出来, 并发送到 QoE 服务器。



图 3 测量工具 VE 部分界面截图

3 实验结果与分析

3.1 不同无线环境下测试结果

初步实验中 15 名测试用户在不同的无线网络环境下(3G、WiFi) 不定期观看共 200 个视频来测试视频 QoE(VE 安装在不同的 Android 移动设备)。每一段视频 QoE 从两个方面测量和评估: 1) 从 VE 自动获取(通过 QoE 理论模型); 2) 通过用户在线反馈调查。在实验中共对 200 段视频(测试用户随机选取视频内容)进行评估。接下来, 对不同无线环境下(3G、WiFi)的三个应用层性能参数(T_{init} 、 F_{rebuf} 、 T_{rebuf})进行详细统计分析。从图 4 可以看出, WiFi 下测量的 T_{init} 、 F_{rebuf} 、 T_{rebuf} 值普遍低于 3G, 而且两种不同的无线网络环境下三个指标的差异较大。

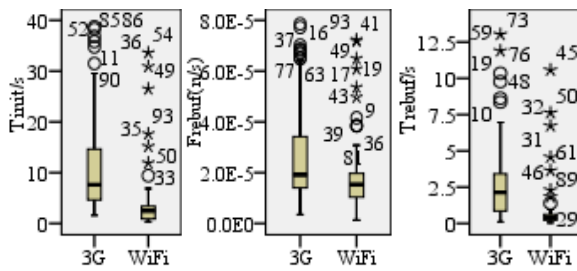
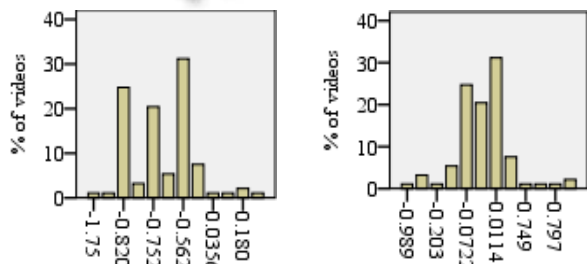


图 4 3G、WiFi 环境下三个应用层参数箱形图

3.2 理论模型的修正

下面分别在 3G 和 WiFi 环境下对理论模型(公式(1))的适当性进行分析.

在 3G 环境下通过评估理论 QoE 模型计算的 MOS 值和用户反馈 MOS 值之间的差异对理论模型(公式(1))的适当性进行分析. 图 5(a)表示出了理论 QoE 模型测量得到的 MOS 值和用户反馈 MOS 值之间的差值分布情况. 能看出, 在理论 QoE 模型 MOS 值和用户反馈 MOS 值之间的差值中只有大约 15%的视频在±0.5 里浮动.



(a) $MOS_{model}-MOS_{users}$ (b) $MOS_{mod}-MOS_{users}$

图 5 理论 QoE 模型 MOS 值(a)、修正 QoE 模型(b)和用户反馈 MOS 值差值分布直方图(3G)

利用 SPSS 工具对理论 QoE 模型(公式(1))测量得到的 MOS 值和用户反馈的 MOS 值采取线性回归分析, 其结果如表 2 所示, 得到 3G 环境下的修正结果:

$$MOS_{mod} = 1.235MOS_{model} \quad (2)$$

表 2 回归系数及显著性检验表(3G)

模型	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准误差	试用版		
(常量)	-0.012	0.174	0.905	-0.068	0.946
3G- MOS_{model}	1.235	0.061		20.260	0.000

图 5(b)表示修正后的模型测量得到的 MOS 值和用户反馈 MOS 值之间的差值分布情况. 可以观察到, 在修正 QoE 模型 MOS 值和用户反馈 MOS 值之间的差值中有大约 90%的视频在±0.5 里浮动. 由于相关系数 R 的值是 0.905^a (见表 3), 这说明自变量与因变量之间相关性好; 决定系数 R² 的值是 0.819 (见表 3), 说明有 81.9% 的自变量变化可以解释因变量变化, 其中 R² 代表总体

回归效果, 越靠近 1 越佳. 回归方差分析法显著性实验结果见表 4(F=410.452, P=0.000^a), 说明回归方程必须成立.

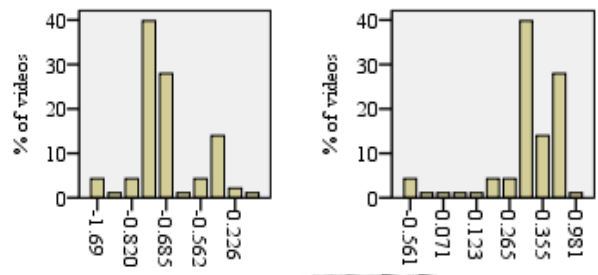
表 3 模型汇总(3G)

模型	R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差
1	0.905a	0.819	0.817	0.233

表 4 回归方差分析表(3G)

模型	平方和	df	均方	F	Sig.
回归	22.250	1	22.250	410.452	0.000 ^a
残差	4.933	91	0.054		
总计	27.183	92			

同样, 在 WiFi 环境下通过评估理论 QoE 模型计算的 MOS 值和用户反馈 MOS 值之间的差异对理论模型(公式(1))的适当性进行分析. 图 6(a)表示出了理论 QoE 模型测量得到的 MOS 值和用户反馈的 MOS 值之间的差值分布情况. 可以观察到, 在理论 QoE 模型 MOS 值和用户反馈 MOS 值之间的差值中只有大约 20%的视频在±0.5 里浮动.



(a) $MOS_{model}-MOS_{users}$ (b) $MOS_{mod}-MOS_{users}$

图 6 理论 QoE 模型 MOS 值(a)、修正 QoE 模型(b)和用户反馈 MOS 值差值分布直方图(WiFi)

对理论 QoE 模型(公式(1))测量得到的 MOS 值和用户反馈的 MOS 值采取线性回归分析, 其结果如表 5 所示, 得到 WiFi 环境下的修正结果:

$$MOS_{mod} = 1.339MOS_{model} \quad (3)$$

表 5 回归系数及显著性检验表(WiFi)

模型	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准误差	试用版		
(常量)	-0.324	0.199	0.909	-1.627	0.107
WiFi- MOS_{model}	1.339	0.064		20.862	0.000

图 6(b)表示修正后的模型测量得到的 MOS 值和用户反馈 MOS 值之间的差值分布情况. 可以观察到, 在修正 QoE 模型 MOS 值和用户反馈 MOS 值之间的差值中有大约 94%的视频在±0.5 里浮动. 由于相关系数 R 的值是 0.909^a (见表 6), 这说明自变量与因变量之间相关性好; 决定系数 R² 的值是 0.827 (见表 6), 说明有 82.7% 的自变量变化可以解释因变量变化, 其中 R² 代

表总体回归效果,越靠近1越佳。回归方差分析法显著性实验结果见表7($F=435.208$, $P=0.000a$),说明回归方程必须成立。

表6 模型汇总(WiFi)

模型	R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差
1	0.909 ^a	0.827	0.825	0.216

表7 回归方差分析表(WiFi)

模型	平方和	df	均方	F	Sig.
回归	20.276	1	20.276	435.208	0.000 ^a
残差	4.240	91	0.047		
总计	24.516	92			

将修正后的模型测量得到的 MOS 值和用户反馈的 MOS 值进行对比验证,可以看出使用优化的评价模型计算得到的 MOS 值与用户主观打分基本一致。

4 结语

本文设计并开发了一个基于 Android 移动终端在线视频业务 QoE 测量工具 VE,通过分析测量结果,改进了理论模型。VE 根据无线网络的连接类型自动切换评价模型,从而自适应网络自动测量 QoE,准确评价 3G、WiFi 网络环境下移动视频业务 QoE。

从实验的结果,能够看出在 3G 和 WiFi 环境下,文献[17]中的理论模型得到的结果和用户真实反馈存在较大差异。因此,我们对理论 QoE 模型测量得到的 MOS 值和用户反馈的 MOS 值采用线性回归获得了改进的效用函数,优化测量工具 VE。

通过改进的模型可以更准确地评价不同无线环境类型下的用户体验质量,为网络运营商和内容提供商对网络的优化和调整提供更精准的数据支持,并且实现简单易行。

参考文献

- 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,2012,35(1):1-15.
- Qiao Z. Smarter phone based live QoE measurement. 2011 15th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks (ICIN). Washington DC. IEEE. 2011. 64-68.
- Ickin S, Wac K, Fiedler M, et al. Factors influencing quality of experience of commonly used mobile applications. Communications Magazine, IEEE, 2012, 50(4): 48-56.
- Ketykó I, De Moor K, De Pessemier T, et al. QoE measurement of mobile YouTube video streaming. Proc. of the 3rd Workshop on Mobile Video Delivery. New York. ACM. 2010. 27-32.
- De Pessemier T, De Moor K, Juan A, et al. Quantifying QoE of mobile video consumption in a real-life setting drawing on objective and subjective parameters. 2011 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and

- Broadcasting. Washington DC. IEEE. 2011. 1-6.
- Chen KT, Huang CY, Huang P, et al. Quantifying Skype user satisfaction. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, NY: ACM, 2006, 36(4): 399-410.
- Chen KT, Huang P, Lei CL. Effect of network quality on player departure behavior in online games. IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 2009, 20(5): 593-606.
- Huang TY, Chen KT, Huang P. Tuning Skype's redundancy control algorithm for user satisfaction. INFOCOM 2009. IEEE. Washington DC. IEEE. 2009. 1179-1187.
- Rix AW, Beerends JG, Hollier MP, et al. Perceptual evaluation of speech quality (PESQ)-a new method for speech quality assessment of telephone networks and codecs. Proc. of 2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Washington DC. IEEE. 2001. 2. 749-752.
- Balachandran A, Sekar V, Akella A, et al. Developing a predictive model of quality of experience for internet video. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, New York: ACM, 2013, 43(4): 339-350.
- Chan AJ, Pande A, Baik E, et al. Temporal quality assessment for mobile videos. Proc. of the 18th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York. ACM. 2012. 221-232.
- Chen KT, Tu CC, Xiao WC. OneClick: A framework for measuring network quality of experience. INFOCOM 2009. Washington DC. IEEE. 2009. 702-710.
- 陈坚,华猛,杜煜,等.基于终端测量的移动流媒体 QoE 评价方法与设计.北京联合大学学报:自然科学版,2014,28(4): 24-29.
- Ketykó I, De Moor K, De Pessemier T, et al. QoE measurement of mobile YouTube video streaming. Proc. of the 3rd Workshop on Mobile Video Delivery. New York. ACM. 2010. 27-32.
- De Moor K, Ketyko I, Joseph W, et al. Proposed framework for evaluating quality of experience in a mobile, testbed-oriented living lab setting. Mobile Networks and Applications, 2010, 15(3): 378-391.
- Porter T, Peng XH. An objective approach to measuring video playback quality in lossy networks using TCP. Communications Letters, IEEE, 2011, 15(1): 76-78.
- Mok PKP, Chan EWW, Chang RKC. Measuring the quality of experience of HTTP video streaming. 2011 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM). Washington DC. IEEE. 2011. 485-492.
- Rec I.P.800: Methods for subjective determination of transmission quality. International Telecommunication Union, Geneva, 1996.
- 陈坚,黄凤辉,周文安,等. HTTP 移动流媒体 QoE 管理综述. 计算机系统应用,2014,23(7):1-6.