

面向网络传输的立体视频 QoE 评价模型

卫津津, 金志刚, 张 瑞

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

摘 要: 面向立体视频网络传输业务, 分析影响用户感知质量的关键因素, 提出了一种网络立体视频用户感知质量的多指标评价模型. 该模型融合了网络服务质量因素、立体视频内容质量因素、用户互动质量因素及终端设备质量因素, 利用模糊层次分析法对立体视频感知质量影响因素进行层次分析, 建立评估指标体系. 计算得到各指标权重, 并建立最终的评价模型. 通过网络仿真实验, 并利用主观评测值, 验证各个指标对网络传输中立体视频用户感知质量的影响. 实验结果表明, 此方法与用户主观评价相关性较高, 能够更全面地反映网络传输中立体视频的用户感知质量.

关键词: 立体视频; 用户体验质量; 模糊层次分析法; 质量评价

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 0493-2137(2016)12-1248-07

QoE Evaluation Model for Stereoscopic Video Network Business

Wei Jinjin, Jin Zhigang, Zhang Rui

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Based on analyzing the key factors affecting the quality of experience (QoE) for the stereoscopic video network business, a comprehensive multi-index evaluation model for the network stereo video QoE is proposed. The model combines the quality of service parameters, the stereo video quality of content, the quality of user interaction factor and the quality of terminal server. Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) is used to analyze the influential factors of stereo video QoE hierarchically, and establish evaluation index system. Through calculating the weight of each index, the final evaluation model is obtained. The network simulation experiments and the subjective evaluation scores are employed in verifying the influence of each index on stereo video quality of experience, which shows that the proposed method achieves consistent stereoscopic video quality evaluation result with subjective assessment and can reflect QoE of the stereoscopic video in the network.

Keywords: stereoscopic video; quality of experience; fuzzy analytic hierarchy process; quality evaluation

基于人眼的立体视觉原理, 立体视频技术能够为观众创造更加直观逼真的场景感受, 提供多样化全方位的媒体交互功能, 逐渐成为国内外学者的研究热点. 它主要应用在立体电影、立体视频会议、远程控制、远程教育和医疗等诸多领域. 然而立体视频在经过编码、传输、显示等过程之后, 需要保证其质量能为人眼所接受, 满足用户的要求, 因此, 建立能够有效反映立体视频的用户感知质量 (quality of experience, QoE) 机制具有重要的意义.

用户体验质量或者用户感知质量 (QoE) 是用户

在一定的客观环境中对终端显示的立体视频质量的整体满意度或认可程度. 也就是说, 用户感知质量是用户在与服务或应用交互的过程中, 由用户产生的对其质量的一种主观感受. 目前, 国内外对立体视频 QoE 的评价研究还不够成熟, 研究成果还很有限: Kim 等^[1]提出一种多模交互连续质量主观评价 (multimodal interactive continuous scoring of quality, MICSQ) 系统来获取 3D 视频用户感知质量结果; 文献[2]中提出利用立体视频的深度图去评估其主观质量. 主观评价模式需要专业的评价环境、耗费巨大的

收稿日期: 2015-06-11; 修回日期: 2015-09-06.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61201179).

作者简介: 卫津津 (1987—), 女, 博士研究生, weijin525@163.com.

通讯作者: 金志刚, zgjin@tju.edu.cn.

人力物力,不适用于实时视频传输系统中。基于这些因素,研究人员提出了很多客观评价方法。文献[3]分析了视频传输损失和压缩算法对立体视频质量的影响,提出相应的指标测量方法。文献[4]提出通过提取立体视频的空间活动特征和运动特征来表征其用户体验质量。文献[5]介绍的评价方法首先用峰值信噪比值、块效应和模糊性预测立体视频匹配区域质量,然后用 VQM (video quality metric) 和 SSIM (structural similarity) 方法评测相关区域质量。Mysirlidis 等^[6]利用立体视频深度图、左右视图的质量和丢包率对用户感知质量的影响,通过决策树算法提出一种改善质量的视频传输机制。文献[7]研究了网络延迟对 3D 视频和触觉媒体远程操作系统质量的影响。Hewage 等^[8]给出了一种针对深度加彩色纹理视频编码格式的 3D 视频评价方法。该方法首先提取原始视点彩色纹理图像和深度图的边缘结构特征信息,并将压缩的纹理视频和深度信息以及原始的边缘结构图等信息一并传输到接收端,然后在接收端,对受损的纹理视频图像和深度图像进行同样方法的处理得到相应的边缘结构特征图,最后,利用 MSSIM 相似性指标对受损的和原始的边缘结构特征图进行评价,得到评估结果。Chen 等^[9]提出了一种针对自然采集的双目视频的无参考信号评价方法,该方法通过提取 cyclopean 图像的频域统计分布特性、视差图的频域统计分布特性和视差估计的不稳定特性,并利用失真类型识别评价^[10]指数来评价 3D 视频或图像的整体质量。

现有的立体视频 QoE 的评价方法大都只是从立体视频本身的质量考虑,或者只考虑了在网络传输过程中的某一因素(如延迟)或某几种因素对立体视频感知质量的影响,评价方法或模型不够全面。笔者提出了一种针对在网络中传输的立体视频 QoE 的评价指标体系,综合了网络服务质量(quality of service, QoS)因素、立体视频内容质量(quality of content, QoC)因素、用户互动质量(quality of user interaction, QoI)因素及终端质量(quality of terminal, QoT)因素进行建模,以便提高质量评价模型与用户感知质量的相关性。

由于影响立体视频传输质量的因素有很多,而各种因素对视频感知质量影响的大小很难去把握,本文利用模糊层次分析法(fuzzy analytic hierarchy process, FAHP)^[11]计算各种因素对立体视频 QoE 影响的权重值。模糊层次分析法本质上是一种决策思维方式,其解决问题的思路是将问题分解成多个部分,按它们之间的重要关系将这些因素分组成有序的层次

结构,对层次中的各种因素进行两两比较,构造评判矩阵,最终确定各个因素相对重要性的顺序。在构造评判矩阵时可能给出一些不确定的权重值,得到一个模糊判断值,有利于问题的情理化。FAHP 已被用到很多领域^[12-14],文献[12]是将 FAHP 用于无线多媒体传感网络中图像和视频传输的多准则传输机制,文献[13]利用 FAHP 方法定义延迟、抖动、吞吐率、丢包率等因素对视频传输影响的权重值,进而选择终端用户接入到电信基础设施的方式。笔者利用 FAHP 建立评估指标体系,并通过网络仿真实验及主观评测值验证各个指标对网络传输中立体视频用户体验质量的影响。

1 立体视频 QoE 的影响因素分析

由于立体视频拥有至少两个视点,即使在对其进行有效压缩的前提下,立体视频的数据量依然很大,而目前网络带宽资源还很有限,导致立体视频传输时用户体验质量并不高。尤其是在无线传输中,由于用户的移动性较强,无线带宽资源更加匮乏,导致立体视频传输过程中的损失更加严重,影响用户的观看质量。网络视频提供商非常重视视频质量,正在不断提高服务质量以满足用户需求,例如提高服务器性能、提升立体视频画质、优化网络环境等。但影响网络立体视频 QoE 的因素有很多^[15],例如立体视频内容会受到图像模糊度、块效应、运动矢量、视点同步性影响。网络传输环境变化会造成视频数据包丢失,抖动等影响立体视频观看质量;视频服务器需要同时处理大量用户请求,用户终端需要进行数据交互,这些都会影响用户体验。因此评估网络立体视频 QoE 不能只考虑单一因素对其质量的影响,需要综合考虑不同的因素^[16-17]。

本文网络立体视频 QoE 综合评估模型考虑的因素有 QoS 因素、QoC 因素、QoI 因素和 QoT 因素。如图 1 所示是对 3D 视频用户体验质量造成关键影响的因素的分析,其中 QoS 是指立体视频传输时网络服务质量,例如丢包率、时延、抖动、网络带宽等;QoC 是指立体视频内容质量,例如立体视频中出现块的效应、模糊度、左右视点的同步性等;QoI 反映的是用户在请求立体视频时的等待时间、切换时间、视差感知舒适度及运动感知舒适度等;QoT 是指服务器终端和接收终端对立体视频质量的影响,例如服务器硬件性能、屏幕分辨率、操作系统等。

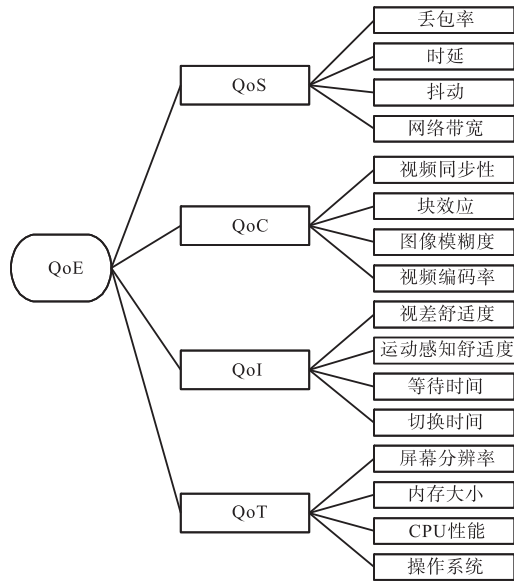


图 1 影响 3D 视频用户体验质量的因素分析

Fig.1 Influential factors analysis of 3D video QoE

2 立体视频 QoE 综合评估指标体系

在立体视频 QoE 评价模型的研究中,为了能对 QoE 有一个比较全面的把握与认识,需要尽可能多地收集立体视频传输时,影响其 QoE 的各种因素。但是这就带来了两个较大的问题:①对研究 QoE 评价指标体系带来了很大的困难;②判断提出的某个评价指标对 QoE 影响有多大的权重值问题。若未经分析便直接利用上述影响因素构建立体视频评价体系必然不准确,因此本文采用 FAHP 计算不同影响因素之间的权重大小,建立不同影响因素与 QoE 之间的关系,从而更加全面地评估立体视频用户感知质量。模糊层次分析法是层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)的一种改进,其执行步骤和 AHP 的步骤基本一致,但 AHP 是通过元素的两两比较构造判断矩阵,而 FAHP 是通过元素两两比较构造模糊一致判断矩阵。另外,由模糊一致矩阵求各元素权重的方法与由判断矩阵求权重的方法不同。

2.1 指标体系的建立

利用 FAHP 解决分析决策问题时,首先要将问题层次化,建立层次结构模型。一般可分为 3 层:目标层、准则层、决策层。上一层的元素作为准则对下一层起支配作用。在立体视频 QoE 综合评估中,本文根据图 1 建立 QoE 层次结构指标,其中目标层为分析问题的预定目标,即影响立体视频 QoE 的评估结果;准则层包含了实现目标所涉及的中间环节,即

影响立体视频 QoE 的 4 种因素;决策层则是包括了实现目标的各种具体影响因素。

将影响 QoE 的 4 种因素,即 QoS、QoC、QoI、QoT 称为关键质量指标(key quality indicators, KQI)。网络立体视频 QoE 的评估值可表示为

$$QoE = w_1 \cdot QoT + w_2 \cdot QoS + w_3 \cdot QoC + w_4 \cdot QoI \quad (1)$$

式中 w_i 为权重值。根据实际测试结果,适当地调整权重大小。同样每个 KQI 也依赖于不同的指标参数,称其为关键参数指标(key parameter indicators, KPI),KPI 可进行测量或计算得到,那么可得到

$$QoX = \sum_{i=1}^n w_i KPI_i \quad X = S, C, I, T \quad (2)$$

从式(1)和(2)可以看出,通过建立 KPI、KQI、QoE 之间的关系,可得到 QoE,即

$$QoE = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} KPI_{ij} \quad (3)$$

由于每个 KPI 指标是实际测试得到的,可采用折线无量纲化方法对 KPI 实测值进行(0, 1)范围内的转换。根据图 1 中影响网络立体视频质量的不同因素,采用 FAHP 对各因素进行分析,给不同影响因素赋予不同权重,最终评估立体视频传输质量,计算 QoE 评估值。

2.2 FAHP 基本原理

模糊层次分析法 FAHP 的核心是利用 0.1 ~ 0.9 九标刻度法,能够准确地反映任意两个因素关于特定准则的相对重要程度。

利用 FAHP 解决问题的基本步骤如下所示。

步骤 1 建立优先判断矩阵。优先判断矩阵(也称模糊矩阵)是每一层中的元素与上层元素两两比较,得出的相对重要性权重建立的矩阵,即 $R = (r_{ij})_{m \times n}$, 其中, $r_{ij} + r_{ji} = 1$, $0 \leq r_{ij} \leq 1$, $(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 。若优先判断矩阵 R 满足: $\forall i, j, k$, 有 $r_{ij} = r_{ik} - r_{jk} + 0.5$, 则称模糊矩阵 R 是模糊一致判断矩阵^[18]。为了使任意 2 个指标关于某准则的相对重要程度得到定量描述,可采用表 1 的九标刻度法给予数量标度。

步骤 2 构造模糊一致判断矩阵。记 $r_i = \sum_{k=1}^n r_{ik}$, $i = 1, 2, \dots, n$, 利用一致性,将 $r_{ij} = r_{ik} - r_{jk} + 0.5$ 公式转换为 $r_{ij} = (r_i - r_j) / 2n + 0.5$, 那么便可将优先判断矩阵构成模糊一致性判断矩阵。

表 1 数量标度

Tab.1 The number of scale

标 度	说 明
0.5	两元素同等重要
0.6	一元素比另一元素稍微重要
0.7	一元素比另一元素明显重要
0.8	一元素比另一元素重要得多
0.9	一元素比另一元素极端重要
0.1, 0.2	若元素 a_i 与元素 a_j 相比较得到判断 r_{ij} , 则元
0.3, 0.4	素 a_j 与元素 a_i 相比较得到的判断为 $r_{ji} = 1 - r_{ij}$

步骤 3 根据矩阵 R 求各指标的权重. 设元素 a_1, a_2, \dots, a_n 的权重值分别为 w_1, w_2, \dots, w_n , 那么可得

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij} + \frac{n}{2} - 1}{n(n-1)} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

步骤 4 将各层间的重要性权重值转化为相对总目标的综合权重值.

2.3 基于 FAHP 的评估模型实例

第 2.1 节与第 2.2 节中已将影响立体视频 QoE 的影响因素进行分层分析, 利用 FAHP 分析法的原理可得到各个影响因素的权重值, 如表 2 所示. 以 $KPI \rightarrow QoC$ 的权重计算为例, 选取立体视频同步性、块效应、模糊度、视频编码率这 4 个因素为影响指标, 利用 FAHP 计算各指标的权重. 基于 FAHP 的评估步骤为

步骤 1 首先获得优先判决矩阵为

$$R = (r_{ij})_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.7 & 0.8 & 0.9 \\ 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.7 \\ 0.2 & 0.4 & 0.5 & 0.7 \\ 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}$$

步骤 2 构造模糊判决矩阵, 对矩阵 R 进行矩阵变换, 得到

$$R = \begin{bmatrix} 0.5000 & 0.6000 & 0.6375 & 0.7125 \\ 0.4000 & 0.5000 & 0.5375 & 0.6125 \\ 0.3625 & 0.4625 & 0.5000 & 0.5750 \\ 0.2875 & 0.3875 & 0.4250 & 0.5000 \end{bmatrix}$$

步骤 3 利用式 (4) 求得 QoC 各指标的权重值, 即

$$W'_{QoC} = (0.2875, 0.2542, 0.2416, 0.2167)$$

同理, 得各个指标相对上一级的权重值

$$W_{QoE} = (0.371, 0.264, 0.212, 0.153)$$

$$W'_{QoS} = (0.3004, 0.2911, 0.2181, 0.1904)$$

$$W'_{QoI} = (0.2712, 0.2542, 0.2330, 0.2416)$$

$$W'_{QoT} = (0.2417, 0.2500, 0.2875, 0.2208)$$

步骤 4 根据一级指标权重 W_{QoE} , 计算出各二级

指标项的绝对权重值, 即

$$W_{QoS} = (0.1114, 0.1080, 0.0809, 0.0706)$$

$$W_{QoC} = (0.0759, 0.0671, 0.0638, 0.0572)$$

$$W_{QoI} = (0.0575, 0.0539, 0.0494, 0.0512)$$

$$W_{QoT} = (0.0370, 0.0383, 0.0440, 0.0338)$$

表 2 立体视频 QoE 评价指标体系分解表

Tab.2 Decomposition table about evaluation index system of stereo video QoE

一级指标		二级指标		
评价指标	权重	评价指标	相对权值	综合权值
QoS	0.371	丢包率	0.3004	0.1114
		时延	0.2911	0.1080
		抖动	0.2181	0.0809
		网络带宽	0.1904	0.0706
QoC	0.264	左右视点同步性	0.2875	0.0759
		块效应	0.2542	0.0671
		图像模糊	0.2416	0.0638
		立体视频编码率	0.2167	0.0572
QoI	0.212	视差舒适度	0.2712	0.0575
		运动感知舒适度	0.2542	0.0539
		等待时间	0.2330	0.0494
		切换时间	0.2416	0.0512
QoT	0.153	屏幕分辨率	0.2417	0.0370
		内存大小	0.2500	0.0383
		CPU 性能	0.2875	0.0440
		操作系统	0.2208	0.0338

3 实验搭建及结果分析

3.1 仿真实验平台及操作

由于在真实网络环境中无法通过设置网络的参数实现网络损伤的可控可重复性, 本文按图 2 的系统框图设计了仿真实验平台来模拟立体视频传输的过程, 其中网络传输部分是基于 NS2 实现 QoS 参数的改变来控制网络损伤; 立体视频服务器中选择的编码方法为 H.264, 模拟不同的编码率对 QoC 的影响; 终端立体 PC 显示器使用 3D WINDOWS-19A01 型立体视窗, 方便评估者对传输后的立体视频进行观看评价, 分辨率为 1280×1024 , 终端手机显示的分辨率为 480×720 .

为了主观评分在统计上有意义, 保证数据的可靠性和稳定性, 参加评分的评测者具有正常的视力 (含校正视力) 和色觉, 共 36 个评测者: 年龄在 22 岁和 40 岁之间的老师和学生, 其中男性 19 人, 女性 17 人; 有立体技术背景的 16 人, 没有立体技术背景的 20 人. 设置每段视频播放 150 帧, 但立体视频场景内容不做任何变化. 对立体视频进行主观评价, 主观实验分为 3 组进行, 每组让 36 个评测者看多组原始立

体视频对和网络传输后的失真立体视频的组合, 评测者根据被测视频的损伤程度按照双刺激连续质量评价方法(double stimulus continuous quality scale,

DSCQS)的 5 级标准对立体视频序列质量进行打分, 见表 3. 实验中选取的立体视频包括 hehua(见图 3)和 fire(见图 4).

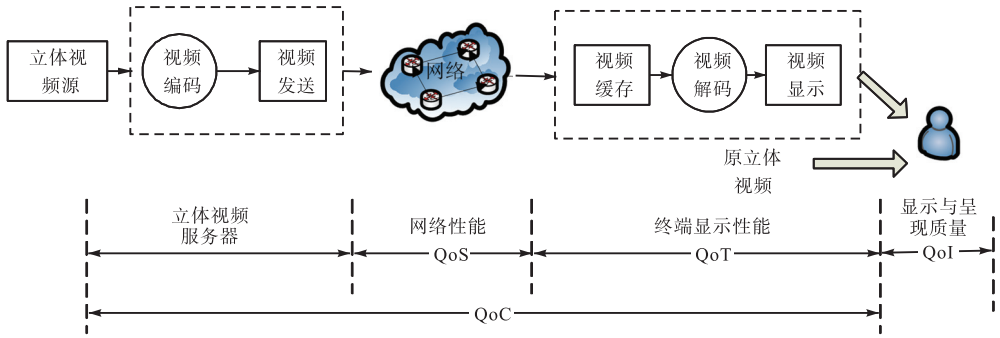


图 2 系统仿真示意
Fig.2 Schematic diagram of system simulation

表 3 视频主观评价得分标准

Tab.3 Video subjective evaluation score standard

级 别	质量尺度	妨碍尺度
5	非常好	观察不到损伤
4	好	能观察到损伤但不讨厌
3	一般	略微讨厌
2	差	讨厌
1	非常差	非常讨厌



图 3 立体视频 hehua
Fig.3 Stereo video of hehua

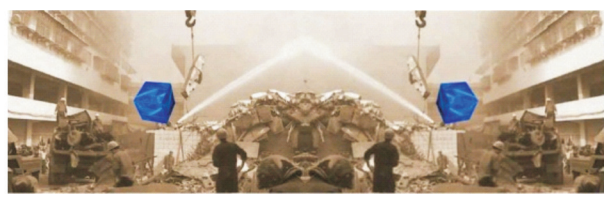


图 4 立体视频 fire
Fig.4 Stereo video of fire

3.2 实验结果分析

有了上述实验仿真环境, 就可以进行不同影响因素的组合, 测试它们对 QoE 的影响. 这里进行 4 方面的测试: ①QoS 变化, QoC、QoI 和 QoT 固定不变, 测试 QoS 对 QoE 的影响; ②QoC 变化, QoS、QoI 和 QoT 固定不变, 测试 QoC 对 QoE 的影响; ③QoI 变化, QoC、QoS 和 QoT 固定不变, 测试 QoI 对 QoE 的影响; ④QoT 变化, QoS、QoC 和 QoI 固定不变, 测试 QoT 对 QoE 的影响.

测试过程按照以下步骤进行: ①构建测试仿真实

验, 设置相关参数, 例如改变立体视频左右视图的同步性、改变立体视频编码率、调整 QoS 参数等; ②安排 36 名评测人员通过双刺激连续质量评价方法对立体视频质量进行打分, 记录并计算 36 名评测者对某段立体视频质量评估的平均值, 得到主观值; ③测试不同实验环境下的 KPI 值, 进行数值转换, 乘以相应的权重值, 得出客观值; ④对比主客观值, 验证算法的有效性.

1) QoS 对 QoE 的影响

保证 QoC、QoI 和 QoT 固定不变, 测试 QoS 的变化对 QoE 的影响. 确保视频清晰完整, 接收终端固定不变, 然后在宽带接入和无线接入两种网络环境下改变延迟、抖动、丢包率 3 因素, 以测试 QoE 变化. 具体为: 序列 1~4 是延迟因素在 30~80 ms 范围内变化, 其他因素不变; 序列 5~10 是抖动因素在 10~60 ms 范围内改变, 其他因素不变; 序列 11~15 是丢包率因素在 1%~8% 范围内改变, 其他因素不变, 最终得到主客观评估实验结果, 如图 5 所示.

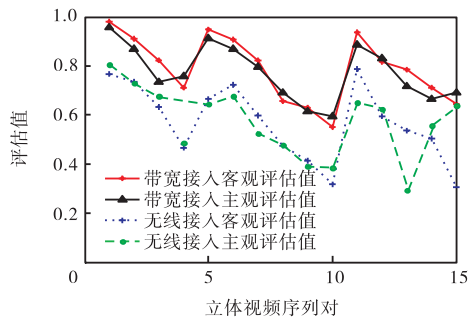


图 5 QoS各因素对 QoE影响的曲线
Fig.5 Influence of the QoS factors on QoE

从图 5 中可以看出, 网络立体视频对网络环境很敏感, 网络传输环境越好, 立体视频质量会得到更好

的保证,如果传输环境恶化,立体视频质量会受到影响.本文所提出的 QoS 指标(丢包率、延时、抖动)的改变对立体视频感知质量结果有很大影响.另外,在丢包率、延时、抖动因素不变的情况下,网络带宽对立体视频 QoE 也有一定的影响,比如在序列 6 处,宽带接入立体视频 QoE 评估值为 0.908,主观评估值 0.870;无线接入 QoE 评估值为 0.721,主观评估值 0.679.但在相同 QoS 的条件下,大部分主客观值很接近.但由于无线带宽不稳定性及主观分值受人为、环境等影响,导致在序列 12~15 的无线接入主观评估值波动较大.

2) QoC 对 QoE 的影响

保证 QoS、QoI 和 QoT 固定不变,测试 QoC 对 QoE 的影响.确保接收终端和网络环境固定不变,然后在不同立体视频内容下分别改变 QoC 的关键影响因素(立体视频同步率、块效应、图像模糊度、立体视频编码率),测试 QoE 的变化.

从图 6 可知,在 QoC 因素变化的条件下,hehua 立体视频内容的主客观评估值比 fire 立体视频内容整体评估值高,说明网络立体视频内容运动性越强、画面变化越频繁的视频,其视频质量更容易受到损失,尤其是在改变立体视频同步、图像模糊度、块效应、运动矢量等因素的前提下,获得的主客观评估值更小.例如在序列 18 得到 hehua 立体视频的客观评估值是 0.850 0,主观评估值是 0.866 7;fire 立体视频的客观评估值是 0.711 6,主观评估值是 0.776 5.从整体曲线图中可看出其主、客观值比较接近.

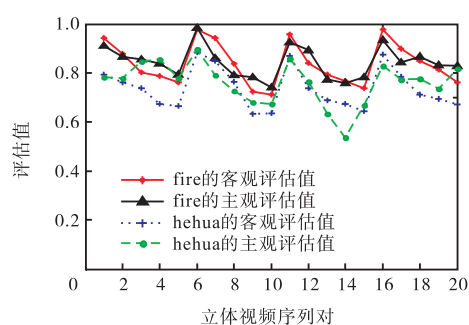


图 6 QoC 各因素对 QoE 影响的曲线
Fig.6 Influence of the QoC factors on QoE

3) QoI 对 QoE 的影响

保证 QoS、QoC 和 QoT 固定不变,测试 QoI 的变化对 QoE 的影响.确保网络环境固定不变,立体视频清晰完整,然后在不同立体视频内容下改变立体视频的视差(序列 1~7),视频场景的切换时间(序列 8~11)、等待时间(序列 12~15)等因素,预测 QoE 的变化,如图 7 所示.

由图 7 可知,立体视频内容运动性越强(比如 fire 立体视频序列),其运动感知舒适度越差.改变立体视频的视差、切换时间、等待时间等因素,会对立体视频的主客观评估值有一定的影响.另外,两个立体视频的主观评估值变化平缓,说明 QoI 因素对立体视频 QoE 的变化更敏感,考虑 QoI 因素能更合理地反映立体视频质量感知的变化.

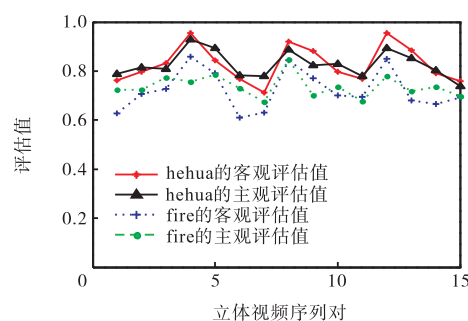


图 7 QoI 各因素对 QoE 影响的曲线
Fig.7 Influence of the QoI factors on QoE

4) QoT 对 QoE 的影响

保证 QoS、QoC 和 QoI 固定不变,测试 QoT 的变化对 QoE 的影响.确保网络环境固定不变,立体视频清晰完整,然后在 PC 和手机两个不同终端显示上,对 QoE 进行测试.手机终端显示和 PC 终端显示有很大的不同:分辨率不一样,PC 机上面是高清图像,分辨率为 1 280 × 1 024,而手机受屏幕限制分辨率为 480 × 720;CPU 及内存相差很大,数据处理速度相差就很大;PC 机操作系统是 windows,而手机终端操作系统为安卓.

终端平台性能越好,接收的立体视频质量越好,主观感受也越好,终端性能会对用户体验的影响较大.从图 8 可知,PC 机终端得到的立体视频主客观质量较稳定,而手机终端显示的立体视频质量波动较大.另外,PC 终端平台接收的立体视频主观质量趋于平缓,说明在立体视频质量改变较小的情况下,其人眼反映较迟钝,而客观评估值能更好地反映立体视频 QoE 的实际变化.

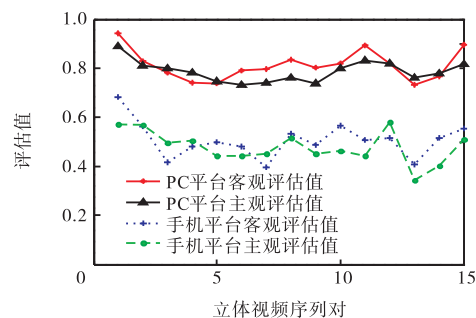


图 8 QoT 各因素对 QoE 影响的曲线
Fig.8 Influence of the QoT factors on QoE

4 结 语

通过分析网络传输中立体视频流 QoE 的关键影响因素,本文综合网络服务质量参数、立体视频内容质量因素、用户互动质量因素和终端质量因素,对立体视频的用户体验质量进行了建模,得到一种用于评价立体视频 QoE 的多指标方法,而在多个指标权重赋值中,运用 FAHP 对其进行分析计算得到。然后,利用网络仿真实验对立体视频 QoE 评价模型进行了验证。下一步的工作将在这些研究成果的基础上建立可以应用到以 QoE 评价模型为标准的立体视频传输的网络监测体系中。

参考文献:

- [1] Kim T, Kang J, Lee S, et al. Multimodal interactive continuous scoring of subjective 3D video quality of experience[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2014, 16(2): 387-402.
- [2] Umar A S, Swash R M, Sadka A H. Subjective quality assessment of 3D videos[C]//*IEEE Africon*. Livingstone, Zambia, 2011: 1-6.
- [3] Politis I, De Silva V, Dogan S, et al. Objective measurement of transmission losses and compression artifacts in stereoscopic 3D video[C]//*2013 IEEE International Conference on Communications Workshops*. Budapest, Hungary, 2013: 667-671.
- [4] Mittal A, Moorthy A K, Ghosh J, et al. Algorithmic assessment of 3D quality of experience for images and videos[C]//*2011 IEEE Digital Signal Processing Workshop and IEEE Signal Processing Education Workshop (DSP/SPE)*. Sedona, US, 2011: 338-343.
- [5] Malekmohamadi H, Fernando W A C, Kondo A M. Automatic QoE prediction in stereoscopic videos[C]//*2012 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICME)*. Melbourne, VIC, Australia, 2012: 581-586.
- [6] Mysirlidis C, Politis I, Dagiuklas T. QOE model of scalable MDC stereoscopic video over IP networks[C]//*2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. Paris, France, 2014: 66-70.
- [7] Tatematsu A, Ishibashi Y, Fukushima N, et al. QoE assessment in tele-operation with 3D video and haptic media[C]//*2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*. Barcelona, Spain, 2011: 1-6.
- [8] Hewage C, Martini M. Edge-based reduced-reference quality metric for 3D video compression and transmission[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2012, 6(5): 471-482.
- [9] Chen M, Cormack L, Bovik A. No-reference quality assessment of natural stereopairs[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, 22(9): 3379-3391.
- [10] Moorthy A, Bovik A. Blind image quality assessment: From natural scene statistics to perceptual quality[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, 20(12): 3350-3364.
- [11] Yang C C, Chen B S, Yang C C, et al. Key quality performance evaluation using fuzzy AHP[J]. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 2004, 21(6): 543-550.
- [12] Addisu A, Sciandra V, Agueh M, et al. Work in progress: Analytic hierarchy process applied to JPEG2000 video streaming over Wireless Multimedia Sensor Networks[C]//*2014 9th International Conference on Communications and Networking in China*. Maoming, China, 2014: 361-364.
- [13] Seruffo M, Francès C, Santana A, et al. Heuristic algorithm based on multicriteria analysis for selection of first mile access in standard integrated services digital broadcasting terrestrial[J]. *IET Communications*, 2012, 6(17): 2933-2940.
- [14] 于爱兵, 王 敏, 钟利军, 等. 用模糊层次分析法评价陶瓷的磨削加工性[J]. *天津大学学报*, 2006, 39(7): 842-846.
Yu Aibing, Wang Min, Zhong Lijun, et al. Grindability evaluation of ceramics via fuzzy AHP method [J]. *Journal of Tianjin University*, 2006, 39(7): 842-846 (in Chinese).
- [15] Hewage C, Martini M. Quality of experience for 3D video streaming [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2013, 51(5): 101-107.
- [16] 刘延伟, 刘金霞, 慈 松, 等. 3DQoE 评价方法及其模型研究进展综述[J]. *电子学报*, 2015, 43(3): 568-576.
Liu Yanwei, Liu Jinxia, Ci Song, et al. Overview of 3DQoE assessment and modeling[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2015, 43(3): 568-576 (in Chinese).
- [17] 周 圆, 侯春萍, 金志刚. 面向 IP 网络的多视点立体视频的实时容错传输[J]. *天津大学学报*, 2012, 45(7): 629-634.
Zhou Yuan, Hou Chunping, Jin Zhigang. Real-time error-resistent transmission of multiview 3D video over IP networks[J]. *Journal of Tianjin University*, 2012, 45(7): 629-634 (in Chinese).
- [18] Li Lingling, Su Xin, Wang Rui. A study in evaluating computer experiment teaching based on FAHP[C]//*2011 International Conference on Computer Science and Service System (CSSS)*. Nanjing, China, 2011: 2929-2932.

(责任编辑: 王晓燕)