

基于多径传输的 QoE 量化方法

鲍英, 雷为民, 戴明珠, 关云冲

(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 基于多径传输的 QoE 模型量化方法目前还没有成形规范, 大部分研究集中在承载网默认路由 QoE 量化与评价方法上. 针对这一问题, 提出了一种基于重叠网多径传输的 QoE 量化方法. 首先, 依据多径传输网络性能指标指出 QoE 量化影响要素. 然后, 对多径传输 QoE 量化计算过程进行了详细讲解, 并给出了模型的设计过程, 其中包括 QoE 量化模型公式规范、QoS 性能指标参数选取、人为因素参数设定、评分规则设置. 最后, 通过 OMNeT++ 实验仿真验证了多径传输 QoE 量化方法的有效性. 此算法解决了多径传输模式 QoE 量化方法问题, 有效地验证了多径传输模式的优越性.

关 键 词: 多径传输; 重叠网; QoE 量化模型; QoS 性能指标; 人为因素; OMNeT++

中图分类号: TP 393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2015)01-0010-05

QoE Quantification Method Based on Multipath Transmission

BAO Ying, LEI Wei-min, DAI Ming-zhu, GUAN Yun-chong

(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: BAO Ying, E-mail: chengseju@foxmail.com)

Abstract: QoE model quantification methods specification based on multipath transmission has not yet formed, so most research has focused on the default routing QoE quantification and evaluation methods of bearer network. To solve this problem, a multipath transmission QoE quantification method was proposed. In the research, it was pointed to QoE quantification affecting factors according to network performance indicators of multipath transmission. And then, multipath transmission QoE quantification calculations were explained in detail. At the same time, the design process of the proposed model was given, including QoE quantification model formula specification, QoS performance indicators selection, human factors parameters setting and the scoring rules setting. Finally, the effectiveness of multipath transmission QoE quantification method was demonstrated by OMNeT++ simulation experiments. The multipath transmission mode QoE quantification problem can be solved by this algorithm, whose superiority is also effectively demonstrated.

Key words: multipath transmission; overlay network; QoE quantification model; QoS performance indicators; human factors; OMNeT++

现有 QoE 量化研究基本停留在对传统默认路由传输模式的评价上, 把用户感知与业务质量参数间的关系分析明确, 然后根据参数间的映射关系建模、具体化, 最终计算得到 QoE 的评价指标^[1-2]. 目前 QoE 评价方法主要分为三类^[3], 即主观评价法、客观评价法以及主客观结合评价法, 这些方法都从各个方面指出了传统默认路由由单径传输上的 QoE 量化方法的优缺点, 具有一定的研究价值. 然而, 这些研究完全依赖承载网的单径传

输模式, 针对目前多径传输模式还没有相关研究. 本文主要是针对现有的多径传输模式, 提出了一个适用于多径传输的 QoE 量化方法, 为网络的多径传输提供参考.

1 承载网 QoE 量化评价方法分析

网络中默认路由 QoE 量化评价方法主要分为三类: 主观评价法、客观评价法、主客观结合评

价法. 主观评价法是被测试终端用户对使用的业务直接作出评价,该方法最准确,但客观环境要求高、代价大,不能得到广泛的应用;客观评价法是用用户通过被测试的业务输出的序列与原始序列的比较得到客观的评价,该方法准确性高,但是没有考虑到测试用户的主观感受因素;主客观结合评价方法结合了主观与客观评价方法的优点,既有测试用户主观感受的特点,又有客观评价实时性需求的特点,该方法能够实时准确地反映用户感知,但是需要足够的数据支撑与模型的建立与训练.

目前,对网络传输业务用户 QoE 的评价方法使用主客观相结合的方法较多,如文献[4]从 QoE 以及 QoS 的影响因素入手,分析了针对视频共享业务的各自影响要素,见图 1. 在该模型中, QoS 的影响要素主要涉及的是网络中的时延、抖动、丢包以及误码率和带宽等,以确保数据流在性能方面的顺利传输;QoE 的影响要素主要是从用户的心理因素和环境两个方面考虑的,其中心理因素主要是指用户对业务的兴趣程度、业务收费等方面,而环境要素主要是指用户终端和环境因素中的亮度、噪声比值等. 而文献[5]从 QoS 与 QoE 的关联模型上给出了更为详细的评价体系,它的函数模型如式(1)所示:

$$QoE(QoS) = K \left\{ \frac{e^{QoS - \alpha} + e^{-QoS + \alpha}}{e^{QoS - \alpha} + e^{-QoS + \alpha} + \beta} + 1 \right\}. \quad (1)$$

式中:QoS 是以一个函数的方式得到的,它的表示如式(2)所示; α 是网络层上式(2)得到的 QoS 分类业务得分所在的类别值,在式中作为常数表示; β 表示分类等级,这里不同的传输业务有着不同的等级取值.

$$QoS = F(D, J, L, E, B, S). \quad (2)$$

其中: D 为传输业务网络时延; J 为抖动; L 为丢包率; E 为误码率; B 为带宽; S 为业务连接成功率.

2 多径传输 QoE 量化评价方法

2.1 多径传输服务模式

多径传输 QoE 量化模型基于应用层路由重叠网多径传输模式,是以 IMS (IP multimedia system) 重叠网为基础进行设计研究的,如图 1 所示,传输路径摒弃网络层路由,采用应用层多径路由模式,因此对每条路径的把握有了宏观视角,可以有效避免因路径选择导致路由器负担造成拥塞等现象,进而产生对 QoS 的影响.

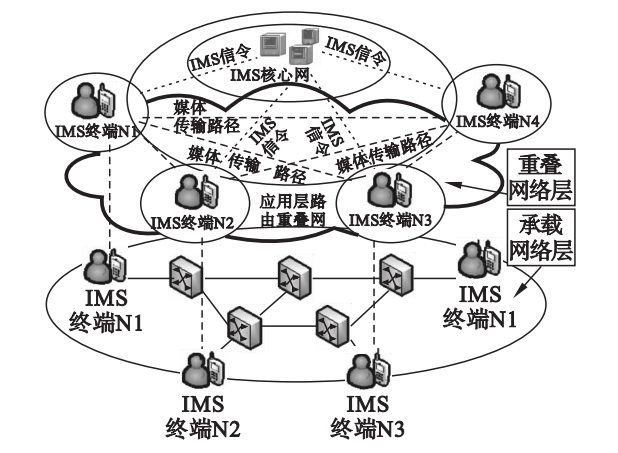


图 1 多径传输模式
Fig. 1 Multipath transmission mode

2.2 QoE 量化影响要素

QoE 影响要素是决定评价模型的重要组成部分,通常分为技术和非技术两个方面. 在多径传输服务模式中, QoE 影响要素也是如此,以传输中各分路径 QoS 参数指标^[6]作为技术因素,人为期望作为非技术因素,如图 2 所示.

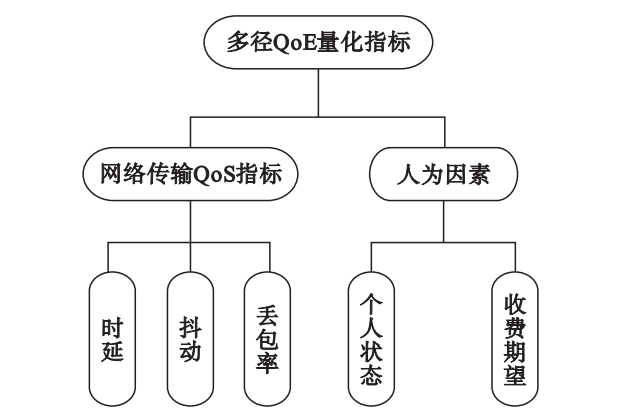


图 2 多径传输模式 QoE 指标体系
Fig. 2 QoE indicators of multipath transmission mode

1) QoS 指标因素. 在默认路由单径传输方式中, QoS 的影响要素主要分为 4 个方面:时延、抖动、丢包率和带宽. 而在多径传输的模式中,带宽不再成为制约 QoS 的主要因素,多径传输克服了带宽不足的影响. 因此,在多径传输的模式中, QoS 参数指标包括时延、抖动和丢包率.

2) 人为因素. 包括用户的主观情绪状态以及被测试业务的收费标准两个方面. 每一个测试业务传输过程中,被分为 N 个采样,用户的主观情绪就是一个非常重要的因子,这里引入了“情绪延续性”,将在 2.3.3 节中进行详细讲解.

2.3 QoE 评价模型

2.3.1 前提条件

1) 多径传输模式已经建立,业务的传输满足多径传输要求;

2) 测试业务以采样时间为单位,周期性采样,每个被测试业务可得到多个 QoE 评价值,最终以采样测试 QoE 期望值为用户最终评价评分值。

2.3.2 计算步骤

本文采用 QoE 函数模型建立分析法,采用主客观相结合分析被测试业务的 QoE 评价分值。计算步骤如下:

1) 建立测试业务传输模型。该模型以 IMS 重叠网多径传输为基础,传输协议采用多径 RTP (MPRTP)^[7] 协议,传输业务为高清视频媒体流。

2) 分析参数。对于 IP QoS 性能指标的测量,采用主动测量方式^[8]。在会话终端定期向网络中传输路径发送探测包,以便于会话建立之初和会话建立过程中探测路径网络传输参数与节点信息;对于主观因素指标参数,采用阈值限定。

3) 建立合适的函数模型。QoE 模型建立过程是把多种影响因素统一为一种机器学习的过程,期间有其他学科知识的支撑,最终建立一个满足用户 QoE 评价的模型。

4) 实验验证。

2.3.3 模型设计

QoE 数据分为两个部分:一是客观参数,通过主动测量方法得到网络 QoS 参数;二是主观参数,通过列表阈值限定选取法。客观参数影响着用户最终 QoE 评价分值,这里将 QoS 参数影响作为一个整体进行设计考虑, QoE 函数公式设计如下:

$$\text{QoE}_n = [K_1(e^{-\text{QoS}_n} - K_2) + \varepsilon_n]\gamma. \quad (3)$$

其中: QoE_n 是测试用户第 n 次 QoE 评分值; QoS_n 是第 n 次 QoS 参数影响因素构成的客观参数指标表达式; ε_n 表示主观因素的情绪延续性影响因子; γ 表示业务收费标准给用户评价造成的主观影响因子; K_1 与 K_2 是调整值。式(3)还可以改写为

$$F_n(\text{QoS}) = (f_n(\text{QoS}) + \varepsilon_n)\gamma, \quad (4)$$

$$f_n(\text{QoS}) = K_1(e^{-\text{QoS}} - K_2). \quad (5)$$

$f_n(\text{QoS})$ 是 QoS 表达式,通过大量实验收集被测试数据,应用统计学原理中回归分析法建立的参数间函数表达式。传输中时延、抖动和丢包率参数与 QoE 评分值之间成反比例指数关系,同时采用概率中乘性定律法则构成函数关系。然而,多径传输中,业务传输与每条路径网络传输参数息息相关,因此要综合考虑所有路径参数,即各路径上 QoS 参数决策采用取均值法,得到最终计算的 QoS 参数值,即

$$\text{QoS} = \sum_{i=1}^n \text{QoS}_i / n. \quad (6)$$

ε_n 是情绪延续性影响因子,主观因素中,被测试人员情绪具有一定的延续性,即如果本次测试时使用业务很好,当业务服务质量下降时,下一次用户感知可能不会直接降为客观值,比实际值略高;而当本次业务很差,下次测试值转好时,可能用户感受值比客观值低,该影响要素被称为“情绪延续性”。依据心理学定律^[9],当 $\frac{|f_n(x) - f_{n-1}(x)|}{f_{n-1}(x)} \geq 0.3$ 时,用户可以感受到业务质量的明显变化,当 $\frac{|f_n(x) - f_{n-1}(x)|}{f_{n-1}(x)} < 0.3$ 时,用户的感受不会发生明显变化,因此, ε_n 取值设计为

$$\delta = \frac{f_n(x) - f_{n-1}(x)}{f_{n-1}(x)}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_n = \begin{cases} -0.3, & \delta \geq 0.3; \\ 0.3, & -\delta \geq 0.3; \\ 0, & |\delta| < 0.3. \end{cases} \quad (8)$$

其中 $\varepsilon_0 = 0$ 。

γ 值为用户期望对 QoE 评分值的影响因子,考虑一个较重要的因素,即收费对用户 QoE 评分值的影响。对于收费应用,人们的期望往往会比免费业务高,这里 γ 的取值设计如下:

$$\gamma = \begin{cases} \gamma_0, & \text{免费服务因子;} \\ \gamma_1, & \text{收费服务因子.} \end{cases} \quad (9)$$

对于一个固定的业务来说,期望客观阈值设置为 1,如果是收费业务,被测试人员则可能会对业务的主观感受要求较高,受付费心理的影响对业务的实际使用水平相对要求会更严格一些,因此,对付费使用业务的影响因子 γ_1 值的设定低于实际客观值,阈值设定为 0.8 (依据认知心理学注意和意识一项中的分配性原理,以及情绪延续性影响因子共同作用的原理,为用户满意度进行阈值设定。以阈值 1 为实际业务客观满意度值,当付费业务被测试时,用户期望高于实际值,使得客观值在付费价格的影响下会降低);而免费使用业务的影响因子 γ_0 值的设定,被测试者会因免费业务心理而对客观值期望降低,因此,满意度会高于实际业务的分值,阈值设定为 1.2。

对于被测试业务,依据采样时间采样,最终得到 N 个采样值,即 N 个 QoE 评分值,而用户的整体 QoE 感知评分是一个确定值,因此,采用概率中的数学期望方法得到以下计算过程:

设离散型随机变量 X 的分布律为

$$P\{X=x_n\}=P_k,k=1,2,\cdots. \tag{10}$$

若级数 $\sum_{k=1}^{\infty} x_k P_k$ 绝对收敛,则称级数 $\sum_{k=1}^{\infty} x_k P_k$ 为随机变量 X 的数学期望,记为 $E(X)$. 即

$$E(X)=\sum_{k=1}^{\infty} x_k P_k. \tag{11}$$

该测试业务的样本值个数为 N ,样本值出现 M 种可能性,每个样本值设为 S_i ,样本值的随机概率 $P_i=j/N(j$ 为该样本值出现的次数),则用户 QoE 最终评分值为

$$QoE=\sum_{i=1}^M S_i P_i. \tag{12}$$

2.4 QoE 量化

在模型的量化分析上,现有的研究主要包括二元判决法、主观 SNR 法、平均判分 MOS (mean opinion score) 法、等偏爱度曲线法、多维计分 (MDS) 法等,本文采用的是 ITU 的 MOS 评分法,对被测试业务的分值进行分类,即优 (90 ~ 100)、良 (80 ~ 89)、中 (60 ~ 79)、劣 (40 ~ 59)、差 (40 以下),最终得到 QoE 评分值.

2.5 评价流程

多径传输 QoE 评价量化流程如图 3 所示. 当对被测试业务进行评价时,首先确定业务传输的路径信息、个人状态信息以及业务资费标准信息,把这些信息作为评价模型的初始条件. 在业务传输中进行周期性评价,最终得到用户对业务的最终评分.

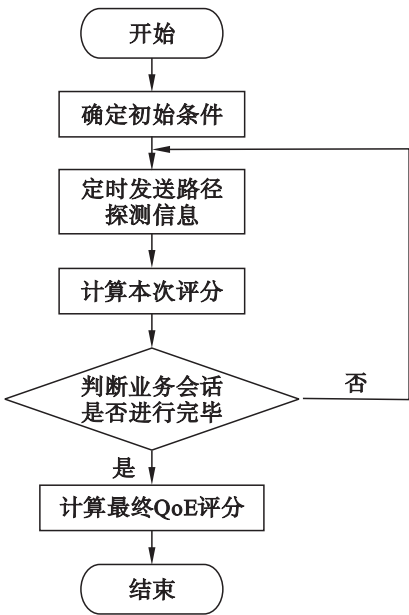


图 3 用户评价过程流程图
Fig. 3 Flow chart of user evaluation process

3 实验分析

OMNeT++ 是一款面向对象的离散事件网络模拟器,允许用户在模拟环境中绘制出实际系统的逻辑结构. 实验仿真搭建以应用层多径传输协议 MP RTP 为基础的 IMS 重叠网络,传输业务为高清视频媒体流. 业务发起端为 sender,业务接收端为 receiver,被测试用户位于 receiver 体验服务质量,其中 controller 是媒体中继控制器,relaynode1, relaynode2 是媒体中继服务器节点, switch1, switch2 是网络中的交换机, router1, router2, router3, router4, router5 是网络中的路由器. 网络传输的时延、丢包率采取随机数设置,媒体终端进行路径选择后传输通信,如图 4 所示.

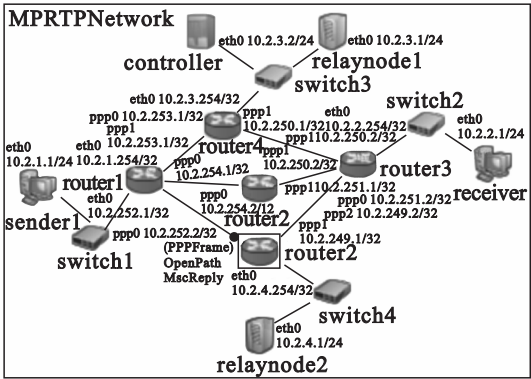


图 4 仿真场景配置图
Fig. 4 The configuration of simulation scenario

高清业务所需最小带宽为 12 MB,仿真时间为 15 s,对于 IP QoS 性能指标的测量,依据 RAQMOM 协议采取主动测量方式,在测试端定期向传输路径发送探测包;其次要确定 QoE 主观因素的影响因子. 网络中的 IP QoS 参数测试数据如图 5 所示.

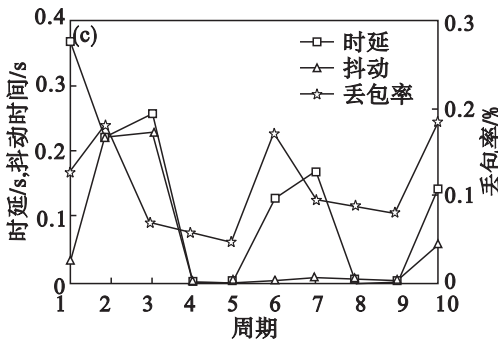


图 5 网络传输 QoS 参数探测值
Fig. 5 QoS values to network transmission detecting

QoE 评分计算过程以第三次评分计算为例,首先,第二次评分中网络 QoS 参数时延值为 0.23 s,抖动值为 0.02 s,丢包率为 0.001 7,第三次评分中网络 QoS 参数时延值为 0.25 s,抖动值为 0.03 s,数据丢包率为 0.000 7;其次,确定业务的资费标准为收费业务,因此主观参数值中的 γ 值为 0.8. 这里 K_1 取值为 106, K_2 取值为 0.999 9.

依据 QoE 的计算公式进行计算,首先得到 $f_2(x), f_3(x)$ 值为

$$f_2(x) = K_1(e^{-0.23 \times 0.02 \times 0.0017} - K_2) = 92.18,$$

$$f_3(x) = K_1(e^{-0.25 \times 0.03 \times 0.0007} - K_2) = 94.75.$$

依据式(7)得到 δ 值为

$$\delta = \frac{f_3(x) - f_2(x)}{f_2(x)} = 0.028.$$

依据式(8)得到 ε_3 值为 0.

$$QoE_3 = [K_1(e^{-QoS_3} - K_2) + \varepsilon_3]\gamma = 94.75 \times 0.8 = 75.80.$$

同理,整个评分过程得到 10 次分值,依次为 69.08, 75.56, 75.80, 79.97, 80.01, 79.96, 77.60, 79.95, 79.99, 75.56. 最终 QoE 评分分值依据数学期望公式(12)得到

$$QoE = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} QoE_i = 77.348.$$

依据 MOS 评分值法,本次业务的评分为“中”.

该评价方法与以往的 QoE 评价体系不同,现有的评价体系大多是以默认路由传输为基础,以带宽限制允许传输的业务为依据,从而评价业务用户体验的服务质量. 如文献[5]所提出的 QoE 量化标准,以默认路由能够传输的网络业务为研究标准,给出整个业务的 QoE 评价标准,对于较高带宽需求业务不能得到很好的体验,随着连接建立时间的推移,甚至无法建立连接. 而多径传输打破了默认路由传输方式的局限性,为了满足高带宽业务的用户体验需求,采用在该模式下的 QoE 评价量化,体现出了该模式的优越性,对比说明如图 6 所示.

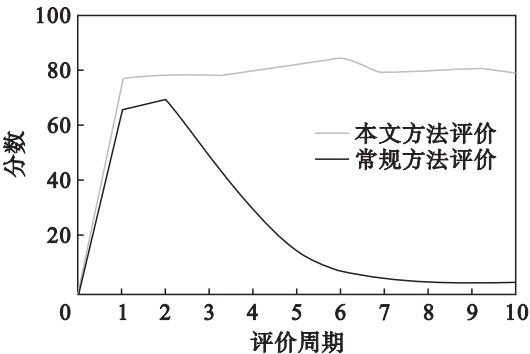


图 6 两种 QoE 量化对比

Fig. 6 Two kinds of QoE quantification comparison

4 结 语

针对多径传输 QoE 量化方法研究的问题,本文提出了一种基于重叠网多径传输 QoE 量化的方法. 通过与默认路由的单径传输 QoE 量化方法的对比实验,表明了该方法的优越性. 然而,本文假设的是一个完美的多径传输模式,对于路径的稳定性要求高,没有考虑到传输中路径切换的问题. 因此,在下一步的研究中,将综合考虑多径传输路径状况信息及路径切换给 QoE 量化带来影响的情况.

参考文献:

[1] Volk M, Sterle J, Sedlar U, et al. An approach to modeling and control of QoE in next generation networks [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2010, 48(8): 126 - 135.

[2] Sterle J, Volk M, Sedlar U, et al. Application-based NGN QoE controller [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2011, 49(1): 92 - 101.

[3] 林闯, 胡杰, 孔祥震. 用户体验质量(QoE)的模型与评价方法综述[J]. *计算机学报*, 2012, 35(1): 1 - 15.

(Lin Chuang, Hu Jie, Kong Xiang-zhen. Survey on model and evaluation of quality of experience [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2012, 35(1): 1 - 15.)

[4] Yamazaki T, Miyoshi T, Eguchi M, et al. A service quality coordination model bridging QoS and QoE [C]//IEEE the 20th International Workshop on Quality of Service (IWQoS). Coimbra, 2012: 1 - 4.

[5] Kim H J, Lee D H, Lee J M, et al. The QoE evaluation method through the QoS-QoE correlation model [C]//The Fourth International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management. Seoul, 2008: 719 - 725.

[6] International Telecommunication Union. Methods for subjective determination of transmission quality [EB/OL]. (2006 - 07 - 31) [2014 - 08 - 27]. <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800-199608-1/en>.

[7] Lei W M, Liu S W, Zhang W. Multipath message transport protocol based on application-level relay (MPMTP-AR) [EB/OL]. (2013 - 07 - 29) [2014 - 01 - 28]. <http://datatracker.ietf.org/doc/draft-leiwm-tsvwg-mpmtp-ar>.

[8] Siddiqui A, Romascanu D, Golovinsky E. Real-time application quality-of-service monitoring (RAQMON) framework [EB/OL]. (2006 - 10 - 18) [2014 - 08 - 27]. <http://web.mit.edu/rfc/rfc4710.txt>.

[9] Reichl P, Egger S, Schatz R. The logarithmic nature of QoE and the role of the Weber-Fechner law in QoE assessment [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications 2010. Sebastian, 2010: 1 - 5.