

# 基于应用区分的精细化网络服务质量评估

胡晓艳<sup>1,2</sup> 龚俭<sup>1,2</sup>

<sup>(1)</sup>东南大学 计算机科学与工程学院, 江苏省南京市 210096)

<sup>(2)</sup>江苏省计算机网络技术重点实验室, 江苏省南京市 210096)

**摘要:** 为了满足新网络应用对网络服务质量的多样化需求, 本文提出基于应用区分的精细化网络服务质量评估 (RQoSAAAD), 其计算各个测量周期内用户不同应用、不同网络互联级别流量的 QoS 达成度和 QoS 满意度, 并进一步使用辛普森法则得到用户各应用、各网络互联级别流量及总体流量大时间尺度下的 QoS 达成度、QoS 满意度及 QoS 等级, 以此细致地刻画用户所得到的 QoS。RQoSAAAD 已经在 CERNET 的新型网络管理系统原型 NBOS 中实现, 其所提供的详尽的网络服务质量评估结果让用户和运营商多方位地了解网络的 QoS, 便于运营商判断网络状态, 更新系统配置, 进行反馈控制和调节。

**关键字:** QoS 应用区分 SLA 辛普森法则 网络管理

中图分类号: TP393.0

文献标识码: A

## Refined QoS Assessment based on Application Differentiation

Hu Xiaoyan<sup>1,2</sup> Gong Jian<sup>1,2</sup>

<sup>(1)</sup> School of Computer Science & Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

<sup>(2)</sup> Key Laboratory of Computer Network Technology of Jiangsu province, Nanjing, 210096, China)

**Abstract:** To meet the diversified demands for Quality of Service (QoS) of new network applications, a Refined QoS Assessment based on Application Differentiation is proposed (RQoSAAAD) in the paper. The QoS achievement ratio and degree of satisfaction of traffic of different applications and internetworking in a measurement period is computed respectively by analyzing the performance metrics; and the QoS achievement ratio, degree of satisfaction of different applications, internetworking and users' holistic traffic and the QoS level in a large time scale is further deduced using Simpson's rule so as to thoroughly distinguish the QoS of different users. RQoSAAAD has been implemented in NBOS, a prototype system of a late-model network management system in CERNET. The detailed QoS report provided by RQoSAAAD in NBOS renders users and operators understand network QoS from different aspects and facilitates the processes of network status evaluation, configuration update, feedback control and adjustment.

**Key words:** QoS; Application Differentiation; SLA; Simpson's rule; Network Management

收稿日期: 2010-08-19. 基金项目: 国家科技支撑项目 (No.2008BAH37B04) 及国家重点基础研究发展 973 计划 (No.2009GB320505)  
作者简介: 胡晓艳(1985-), 女, 博士生, xhbreezehu@gmail.com; 龚俭(联系人, 1957-), 男, 教授, 计算机网络方向, jgong@njnet.edu.cn.

随着互联网应用的不断发展, 用户数量的急速增长, 用户的服务需求正趋于多样化, 网络服务质量 (QoS) 逐渐成为人们关注的焦点。而 QoS 评估在控制、管理 QoS 及网络资源配置方面扮演着关键的角色。

SLA(Service Level Agreement)是网络运营商与用户间的供给约定, 定义所提供服务的各方面, 一般包含网络可用性和网络性能方面的要求[1,2]。传统 SLA 评估面向网络链路, 将链路中用户流量整体的各项性能指标统计值与 SLA 中的要求比较以判断 QoS 达标与否, 评估结果粒度较粗。即使从链路流量计算出的整体 QoS 达标, 但不同用户流量在网络中被服务的方式可能不同, QoS 依然存在差异, 可在原则性达标基础上做更细致的区分。此外, 各网络应用服务要求多样化, 有的对时延和抖动有严格要求而对分组丢失要求相对宽松, 有的则相反[3,4]。各应用对 QoS 提出了更细致的要求, 需要运营商提供相应等级的有保证的 QoS, 此时各应用 QoS 评估需要使用不同标准。再者, 随着网络规模的扩展, 不同网络互联级别(国家级, 地区级别或 ISP 级别)流量出现了, 它们途经网络路径的网络状况差异较大, 有必要区分用户与不同粒度互联网络的互联质量。

基于上述需求, 本文提出基于应用区分的精细化网络服务质量评估 (RQoSAAD), 其基本思路是在兼容传统 SLA 评估(网络服务质量达成度)的基础上让用户进一步了解其服务质量满意度(超出标准的程度)。文章首先介绍 RQoSAAD 方法的计算模型, 然后给出相应的实验验证结果, 最后对该方法进行了总结。

## 1 RQoSAAD 的服务质量达成度计算模型

RQoSAAD 体现精细化网管的思想, 用流[5]、应用流、某网络互联级别流和用户流量总体四种粒度流量的 QoS 达成度和满意度刻画用户 QoS。

假设用户流量由  $L$  个网络互联级别流量组成, 测量周期  $t$  第  $Y$  网络互联级别流量中应用  $X$  由  $m$  条流组成,  $m$  条流的性能指标向量函数分别为  $\overline{f_1(t)}, \overline{f_2(t)}, \dots, \overline{f_m(t)}$ , 其中  $\overline{f_i(t)} = (f_{i1}(t), f_{i2}(t), \dots, f_{in}(t))$ ,  $n$  是影响该应用服务质量的性能指标个数, 假设该应用用户满意的性能指标向量为  $f^{YX} = (f_1^{YX}, f_2^{YX}, \dots, f_n^{YX})$ , 则用户在测量周期  $t$  不同粒度的服务质量达成度以及大时间尺度下的服务质量达成度如下定义。

**定义 1 流  $i$  性能指标函数  $f_{ij}(t)$  的达标化值  $A_{ij}(t)$  为:** 若  $f_{ij}(t)$  是正指标函数[14]且  $f_{ij}(t) > f_j^{YX}$  则  $A_{ij}(t) = 1$ , 否则  $A_{ij}(t) = 0$ ; 若  $f_{ij}(t)$  是反指标函数[14]且  $f_{ij}(t) < f_j^{YX}$  则  $A_{ij}(t) = 1$ , 否则  $A_{ij}(t) = 0$ 。

**定义 2 流  $i$  的达标标志  $A_i(t)$  为:**  $A_i(t) = F(\overline{f_i(t)}) = \prod_{j=1}^n A_{ij}(t)$

故若流  $i$  各性能指标值均达到用户满意值则流  $i$  的  $A_i(t)$  为 1 表示该流达标; 否则不达标,  $A_i(t)$  为 0。

**定义 3 假设用户测量周期  $t$  第  $Y$  网络互连级别流量中应用  $X$  的  $m$  条流的达标标志分别为  $A_1(t), A_2(t), \dots, A_m(t)$ , 则应用  $X$  的服务质量达成度为:**  $A^{YX}(t) = \left( \sum_{k=1}^m A_k(t) / m \right) \times 100\%$

$A^{YX}(t)$  越大则测量周期  $t$  用户该网络互联级别流量中越多应用  $X$  的流量达到用户要求。

**定义 4 假设测量周期  $t$  用户第  $Y$  网络互联级别流量包括  $k$  种应用流, 则该网络互联级别流量服务质量达成度为  $k$  种应用服务质量达成度的加权和  $A^Y(t) = \sum_{p=1}^k w^{Yp} A^{Yp}(t)$ 。其中  $\sum_{p=1}^k w^{Yp} = 1$ ,  $w^{Yp} = flow\_num^{Yp}(t) / flow\_num^Y(t)$ 。  $flow\_num^{Yp}(t)$ 、  $flow\_num^Y(t)$  分别为测量周期  $t$  用户第  $Y$  网络互联级别流量中第  $p$  种应用流量的数目和用户第  $Y$  网络互联级别流量的流总数。**

**定义 5 测量周期  $t$  该用户流量总体的服务质量达成度  $A(t)$  为  $L$  种网络互联级别流量服务质量达成度的加权和  $A(t) = \sum_{y=1}^L w^y A^y(t)$ 。其中  $\sum_{y=1}^L w^y = 1$ ,  $w^y = flow\_num^y(t) / flow\_num(t)$ 。**

$flow\_num^y(t)$  和  $flow\_num(t)$  分别为测量周期  $t$  第  $y$  网络互联级别流量流数和用户流量总数。

上述是各测量周期各粒度流量的 QoS 达成度计算模型, 基于此本文定义大时间尺度下用户第  $Y$  网络互连级别流量中应用  $X$  的平均服务质量达成度(在时间间隔  $(t, t + \Delta t)$ ) 为:  $A^{YX}(t, t + \Delta t) = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} A^{YX}(x) dx$ 。

根据[6], 使用辛普森法则[7]可以精确计算上述函数积分, 具体方法为: 首先将时间段  $(t, t + \Delta t)$  划分为  $n$  个等分的小时间区间  $I_1, I_2, \dots, I_j, \dots, I_n$ , 每个时间间隔长为  $\Delta t / n$ , 对任一小的时间区间  $I_j$ , 假设其起始

和结束的时刻分别为  $s_j, e_j$ ，求解积分  $\int_{s_j}^{e_j} A(t)dt$ ，根据辛普森法则有

$\int_{s_j}^{e_j} A^{YX}(x)dx \approx ((e_j - s_j)/6) \left( A^{YX}(s_j) + 4A^{YX}((s_j + e_j)/2) + A^{YX}(e_j) \right)$ 。则进一步有：

$$\begin{aligned} \int_t^{t+\Delta t} A^{YX}(x)dx &\approx \sum_{j=1}^n ((e_j - s_j)/6) \left( A^{YX}(s_j) + 4A^{YX}((s_j + e_j)/2) + A^{YX}(e_j) \right) \\ &= (\Delta t/6n) \sum_{j=1}^n \left( A^{YX}(s_j) + 4A^{YX}((s_j + e_j)/2) + A^{YX}(e_j) \right) \end{aligned}$$

故时间间隔  $(t, t + \Delta t)$  内用户平均的服务质量达成度为：

$$(1/\Delta t) \int_t^{t+\Delta t} A^{YX}(x)dx \approx (1/6n) \sum_{j=1}^n \left( A^{YX}(s_j) + 4A^{YX}((s_j + e_j)/2) + A^{YX}(e_j) \right)$$

使用辛普森法则需要注意：首先，时间区间划分得越细，计算出来的积分值越精确；其次，每个小时时间区间结束时刻函数的取值等于下一小时时间区间起始时刻函数的取值，即  $A^{YX}(e_j) = A^{YX}(s_{j+1})$ 。

用户其他粒度流量大时间尺度下平均服务质量达成度计算方法相同。根据时间尺度  $\Delta t$  的不同，可以得到用户某天、某月、某年的平均服务质量达成度。假设运营商与用户协商的最低服务质量达成度为  $A$ （一般设置为90%），若  $A(t, t + \Delta t) \geq A$ ，那么测量时间间隔  $(t, t + \Delta t)$  该用户的QoS达标；否则未达标。

因为基于用户单个测量周期最细粒度的单个流的各性能测度是否达标判断单个流达标与否能够反映用户对该流的体验，基于此后进一步计算流集合的达成度应该能够反映用户的对其流量 QoS 的达成情况。

## 2 RQoSAD 的服务质量满意度计算模型

达成是网络服务可用的最低要求，而服务质量满意度可以体现用户对 QoS 的满意程度。用户对网络 QoS 的满意度取决于其流量各性能测度值与用户期望值间关系，因而本文提出下列 QoS 满意度计算模型。

**定义 6** 假设流  $i$  的服务质量满意度向量函数为： $\overline{S_i(t)} = S(\overline{f_i(t)}) = (S(f_{i1}(t), f_{i1}^{YX}), S(f_{i2}(t), f_{i2}^{YX}), \dots, S(f_{in}(t), f_{in}^{YX}))$

**流  $i$  第  $j$  性能指标的满意度函数  $S(f_{ij}(t), f_j^{YX})$**  定义：若  $f_{ij}(t)$  是正指标函数，则  $S(f_{ij}(t), f_j^{YX}) = f_{ij}(t) / f_j^{YX}$ ；

若  $f_{ij}(t)$  是反指标函数，则  $S(f_{ij}(t), f_j^{YX}) = f_{ij}^{-1}(t) / f_j^{YX-1}$ 。

上述公式要求  $f_j^{YX}$  和  $f_{ij}(t)$  均不为 0，为此，定义  $S(f_{ij}(t), f_j^{YX})$  的界：若  $f_j^{YX} = 0$  或  $f_{ij}(t) = 0$  或  $S(f_{ij}(t), f_j^{YX}) > M$ ，令  $S(f_{ij}(t), f_j^{YX}) = M$ 。若  $S(f_{ij}(t), f_j^{YX}) < 1$  表示用户对流  $i$  该性能不满意； $S(f_{ij}(t), f_j^{YX}) = 1$  则表示用户对流  $i$  该性能正好满意， $S(f_{ij}(t), f_j^{YX}) > 1$  表示用户对流  $i$  该性能非常满意。

综合流  $i$  的  $n$  个性能指标的满意度函数得到 **流  $i$  的服务质量满意度函数** 为

$$S_i(t) = \sum_{j=1}^n w_{ij}^{YX} S(f_{ij}(t), f_j^{YX})，其中 \sum_{j=1}^n w_{ij}^{YX} = 1。w_{ij}^{YX} 的值取决于应用 X 对第  $j$  个性能指标的敏感程度，$$

由运营商和用户协商后决定， $w_{ij}^{YX}$  越大表明该指标的取值对应用 X 的服务质量影响越大。

定义 7 测量周期t用户第Y网络互连级别流量中应用X的服务质量满意度  $S^{YX}(t)$  为其m条流的服务质

量满意度的均值:  $S^{YX}(t) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_k(t)$

定义 8 测量周期 t 用户第 Y 网络互连级别流量的服务质量满意度为 k 种应用服务质量满意度的加权

和:  $S^Y(t) = \sum_{p=1}^k w^{Yp} S^{Yp}(t)$ 。其中  $\sum_{p=1}^k w^{Yp} = 1$ ,  $w^{Yp} = flow\_num^{Yp}(t) / flow\_num^Y(t)$ 。

定义 9 测量周期 t 该用户流量总体的服务质量满意度 S(t) 为:  $S(t) = \sum_{y=1}^L w^y S^y(t)$ 。其中  $\sum_{y=1}^L w^y = 1$ ,

$w^y = flow\_num^y(t) / flow\_num(t)$ 。

用户大时间尺度下各粒度流量的平均服务质量满意度 (在时间间隔  $(t, t + \Delta t)$ ) 同样用辛普森法则计

算。例如用户第 Y 网络互连级别流量中应用 X 的平均服务质量满意度 (在时间间隔  $(t, t + \Delta t)$ ) 为:

$$S^{YX}(t, t + \Delta t) = (1/\Delta t) \int_t^{t+\Delta t} S^{YX}(x) dx \approx (1/6n) \sum_{j=1}^n (S^{YX}(s_j) + 4S^{YX}((s_j + e_j)/2) + S^{YX}(e_j))$$

根据不同时间尺度  $\Delta t$ , 可得到如用户某天、某月、某年的平均服务质量满意度。结合服务质量达成度和满意度, 本文将QoS分为优、良、中、达标和未达标五等级[8]。服务质量达成度、满意度与五个QoS等级的关系如表1。从表1看到, 服务质量达成是相对较低的要求, QoS等级在服务达标基础上进一步细分; QoS等级划分与用户流量总体的服务质量满意度密切相关, 运营商应提高服务质量满意度来提高自身在市场竞争中的竞争力; QoS等级划分对服务质量满意度的具体要求需要在用户和运营商间协商, 本文基于用户对QoS评价基础上设定, 以确保真正体现用户对网络服务质量的体验。

表1 服务质量达成度和服务质量满意度与QoS等级的关系

Table 1 The relationship among QoS achievement ratio, QoS degree of satisfaction and QoS ranks

QoS等级	用户流量总体服务质量达成	用户流量总体服务质量满意度
优	达成	>2.5
良	达成	(2, 2.5]
中	达成	(1.5, 2]
达标	达成	[1, 1.5]
未达标	未达成	(0, 1)

表2 不同应用的网络性能参数权重

Table 2 Weights for different metrics of applications

应用编号	往返延迟	丢包率	时延抖动	带宽
1	1/4	1/8	3/8	1/4
2	3/8	1/4	7/24	1/12
3	2/13	3/13	5/13	3/13
4	3/13	3/13	4/13	3/13
5	3/9	2/9	1/9	1/3
6	1/4	1/4	1/8	3/8

### 3 RQoSAAD的验证

RQoSAAD 已在 CERNET 的新型网络管理系统原型 NBOS 中实现[9]。QoS 评估模块主要功能是根据数据采集平台获得的被管网络(用户)的 NetFlow[10]抽样流数据(每 5 分钟)计算出的流的往返时延[11]、丢包[12]、时延抖动[13]及带宽数据评估 CERNET 主干网向被管网络提供的服务质量情况。

CERNET 被管网络的流量被分为 CERNET 内部互联、与国内运营商互联和国际互联。按照各类网络应用对往返时延、抖动、丢包率等的敏感程度把目前互联网应用分为视频语音类、网络游戏类及数据库类等高实时高交互性业务、IPTV 及视频点播业务、普通免费语音视频聊天类、网页浏览及邮件等传统业务、断点续传 BT 下载类六种[8], 依次编号 1 至 6, 参考[8,14]中指标系统制定不同应用各性能指标的用户满意

值，依据各应用对各性能指标的敏感性为各应用的各性能指标设置不同的权重，如表 2 所示。

NBOS 系统的 QoS 评估模块将用户每月从 1 日开始每日（每日 288 个测量周期，使用辛普森积分法则时反复实验后划分为 24 个小的时间区间）各网络互联级别各应用的服务质量达成度和满意度的变化趋势及用户每月累积的整体流量的平均服务质量达成度、满意度和 QoS 等级呈现给用户和运营商，如图 1、2 分别给出了东南大学 2010 年 6 月份前 8 日 QoS 评估结果中 CERNET 内部各应用流量的服务质量达成度和满意度的变化趋势。从图 1 看到，前 8 日内东南大学 CERNET 内部 6 种应用流量的服务质量达成度基本在 99%附近上下波动，趋势比较平稳，最小的达成度也在 95%以上，由此推断前 8 日东南大学 CERNET 内部流量的 QoS 是达标的。从图 2 可以看到，前 8 日东南大学 CERNET 内部各应用的服务质量满意度在 3.2 附近上下波动，且基本都大于 3，由此可以初步判断前 8 日东南大学 CERNET 内部流量的 QoS 等级为优。

QoS 评估模块还给出了该 8 日内各网络互连级别流量、用户流量整体的服务质量达成度和满意度的变化趋势，以及前 8 日内用户流量整体的平均服务质量达成度是 99.14%，平均服务质量满意度是 3.17，以及 QoS 等级为优（为节省空间图略）。通过调查用户对 QoS 的体验，此评估结果的合理性得到认可。

每个用户服务质量评估需要依次计算用户流粒度、各应用、各网络互联级别、用户流量整体的服务质量达成度和满意度。假设用户一个测量周期有  $N$  条流量， $K$  种应用， $L$  个网络互连级别的流量，其中  $K$ 、 $L$  为常数，则单个用户服务质量评估程序的时间复杂度为  $O(N+K+L)$  即  $O(N)$ 。假设一个周期内涉及的用户数目为常量  $M$ ，则整个服务质量评估模块的时间复杂度为  $O(M*N)$  即  $O(N)$ 。

服务质量评估模块的空间复杂度取决于评估的时间尺度。程序需要记住每个用户评估时间尺度中各个测量周期的评估结果。假设用户每个测量周期评估结果的记录需要的空间为常量  $P$ ，评估的时间尺度为  $S$  个测量周期，一个周期内涉及的用户数目为常量  $M$ ，则程序的空间复杂度为  $O(S*P*M)$  即  $O(S)$ 。

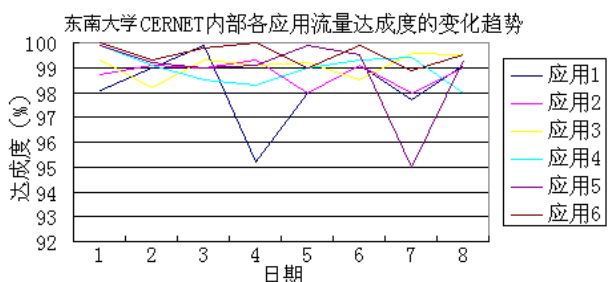


图 1 东南大学 6 月 CERNET 内部各应用达成度变化趋势

Fig 1 The QoS achievement ratio trend for different applications of CERNET traffic of Southeast University in June

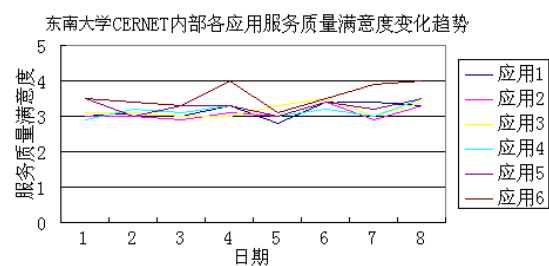


图 2 东南大学 6 月 CERNET 内部各应用服务质量满意度变化趋势

Fig 2 The QoS degree of satisfaction trend for different applications of CERNET traffic of Southeast University in June

## 4 总结

本文针对传统 SLA 评估结果粒度粗糙的缺点及当前网络应用发展提出的新需求，从用户和运营商角度出发，提出基于应用区分的精细化网络服务质量评估。其计算单个测量周期内用户不同网络互联级别、不同应用流量的服务质量达成度和满意度，基于此进一步使用辛普森法则得到用户各应用、各互联级别及总体流量大时间尺度下的服务质量达成度、满意度及 QoS 等级，便于用户和运营商多角度地了解网络的 QoS。

RQoSAAD 建立在流的性能指标数据上，以被动测量方式获得的 NetFlow 流记录数据集分析后得到的性能指标数据为依据，为 QoS 监测和评估提出了新思路。传统 QoS 监督较多应用主动测量，探测流干扰网络，测量结果不客观；并且探测报文类型单一无法获取用户各应用的性能测度数据。而分析 NetFlow 数据，一方面可以掌握即时网络流量分布状况，另一方面统计数据形成网络健康运行的可靠基准，并对网络的运行状况进行评估和管理。这项工作对网络管理领域未来的研究和发展方向具有一定的借鉴意义。

## 参考文献 (References)

- [1] Martin J, Nilsson A. On service level agreements for IP networks [C]. Proceedings of IEEE INFOCOM, New York: IEEE, 2002
- [2] The Open Group, SLA Management Handbook Series Version 2. [http://www.afutt.org/Qostic/qostic1/SLA-DI-USG-TMF-060091-SLA\\_TMForum.pdf](http://www.afutt.org/Qostic/qostic1/SLA-DI-USG-TMF-060091-SLA_TMForum.pdf). Oct 2004/Jul 2010.

- [3] Aida M, Miyoshi N, Ishibashi K. A Scalable and Lightweight QoS Monitoring Technique Combining Passive and Active Approaches [C]. Proceedings of IEEE INFOCOM, San Francisco: IEEE, 2003.
- [4] Serral-Gracia R, Labit Y, Domingo J. Towards an efficient Service Level Agreement Assessment [C]. Proceedings of IEEE INFOCOM, Brazil: IEEE, 2009.
- [5] Moore A W, Zuev D, Crogan M. Discriminators for Use in Flow-based Classification [R]. Technical Report, RR-05-13, Department of Computer Science, Queen Mary, University of London, 2005.
- [6] Sommers J, Barford P. Accurate and Efficient SLA Compliance Monitoring [C]. Proceedings of ACM SIGCOMM, Kyoto Japan: ACM, 2007.
- [7] Thomas Simpson. Simpson's rule. [http://en.wikipedia.org/wiki/Simpson's\\_rule](http://en.wikipedia.org/wiki/Simpson's_rule). Jun 2010/Jul 2010.
- [8] 韩军. IP 网运行指标与客户上网感知的关系[C]. 中国通信学会第五届学术年会论文集, 南京: 电子工业出版社, 2008。
- [9] 李鹏飞. CERNET主干网运行管理介绍. <http://www.cernet2009.edu.cn/downloads/file/16/2/file.pdf>. 2009 年 12 月/ 2010 年 7 月.
- [10] Cisco. Netflow [http://www.cisco.com/en/US/products/ps6601/products\\_ios\\_protocol\\_group\\_home.html](http://www.cisco.com/en/US/products/ps6601/products_ios_protocol_group_home.html). Jul 2010/Jul 2010.
- [11] 张晓宇. 基于流被动测量的时间测度的研究[D]. 南京: 东南大学, 2009.
- [12] Wu H, Gong J. Packet loss estimation of TCP flows based on the delayed ACK mechanism [C]. Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), Jeju, KOREA: IEEE, 2009.
- [13] Network Working Group. RFC 3393, IP Packet Delay Variation Metric for IPPM . <http://tools.ietf.org/html/rfc3393>. Nov 2002 / Jul 2010.
- [14] 王佳玮. 基于 IP 网络的 SLA 评估系统研究与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.