

一种异构网络中基于聚集流的水平 QoS 映射方法

王再见^{①②} 董育宁*^① 孙刚友^① 张晖^{①③}

^①(南京邮电大学通信与信息工程学院 南京 210003)

^②(安徽师范大学物理与电子信息学院 芜湖 241000)

^③(东南大学移动通信国家重点实验室 南京 210003)

摘要: 保证无线异构网络端到端 QoS 需求, 同时兼容现有网络业务和未来需求, 是下一代网络的一个研究热点。QoS 映射是保证异构网络端到端 QoS 的有效方法。该文提出一种基于聚集流的 QoS 映射方法(QoS Mapping Technology based on Flow Aggregate, QMT-FA), 该方法在现有物理网络上建立虚拟的流处理层, 在流处理层, 原网络中的 QoS 参数被映射执行器透明封装, 映射执行器根据网络情况决定是原样转发还是解聚集。通过建立基于高维的聚集流映射空间, 屏蔽了多级网络间映射累积误差影响终端网络 QoS 指标, 保证了异构网络端到端 QoS; 基于聚集流的 QoS 映射方法具有较好的可扩展性和伸缩性, 能应用于现有的各种异构网络系统和应用业务。最后, 通过数值和仿真分析验证了该方法的有效性。

关键词: 异构无线网络; QoS 类; 聚集流; QoS 映射

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2012)01-0089-06

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2011.00311

A Horizontal QoS Mapping Method Based on Flow Aggregate in Heterogeneous Networks

Wang Zai-jian^{①②} Dong Yu-ning^① Sun Gang-you^① Zhang Hui^{①③}

^①(College of Communications and Information Engineering,

Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

^②(The College of Physics and Electronic Information, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

^③(National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210003, China)

Abstract: To provide end-to-end QoS provisioning in heterogeneous wireless networks and meet the requirements of existing and future network applications, is a challenge in next generation networks. QoS mapping is an effective technology to resolve the problem. In this paper, a QoS Mapping Technology based on Flow Aggregate (QMT-FA) is proposed to assure end-to-end QoS for multimedia services over heterogeneous wireless networks. The proposed method establishes virtual Flow Processing Plan (FPP) above physical network, and allows QoS class mapping in intermediate networks to be transparent over FPP. Then a Mapping Evaluator (ME) entity sitting at a gateway/router determines appropriate QoS mapping to the new network at the network edge. Through mapping services into multidimensional space and designing normal data structure, the method shields the effect of intermediate network QoS mapping, assures the end-to-end QoS of multimedia services in heterogeneous wireless networks, resolves scalability problem, and reduces management complexity and implementational difficulty. Numerical and simulation results are given to demonstrate the effectiveness of the proposed method.

Key words: Heterogeneous wireless networks; QoS class; Flow aggregate; QoS mapping

1 引言

为了保证异构网络端到端 QoS, 很多组织

(IEEE, ITU-T, IETF, 3GPP, 3GPP2)和学者对此进行了研究, 提出了许多解决方案, 其中 QoS 映射是研究热点之一。相对于网络业务的数量增加和

2011-04-05 收到, 2011-09-19 改回

国家自然科学基金(60972038, 61101105, 61001077), 教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20103223110001), 安徽高校省级自然科学基金(KJ2010B357), 2011 年度江苏省研究生培养创新工程(CXZZ11_0396), 华为技术有限公司研究基金, 东南大学移动通信

国家重点实验室开放研究基金(N200911), 江苏省高校自然科学基金项目(10KJB510013), 南邮科研启动基金(NY208052)和安徽师范大学校级研究基金(xjjyxm200809)资助课题

*通信作者: 董育宁 dongyn@njupt.edu.cn

新业务增多的特点,目前映射方案利于新业务的接入。流和聚集流是各种 QoS 架构主要的控制目标,基于流粒度的网络解决方案能简化整个系统的管理,是下一代移动互联网的发展趋势之一^[1]。

不同的网络用来描述 QoS 的具体参数有所不同。IETF 的 Diffserv^[2]网络使用 IP 报头中的 DSCP 字段来为分组提供端到端 QoS 业务。WiMAX2(802.16m)^[3]为端到端 QoS 业务定义了 6 种调度业务类型(UGS, ertPS, rtPS, nrtPS, BE 和 AGP(Adaptive Granting and Polling service))。这些组织定义的 QoS 分类不尽相同,它们定义的范围不是唯一对应的。因此,建立灵活、高效的异构网络 QoS 映射方法,具有重要意义。

文献[4]讨论了 RSVP 和 802.11e 的 TSPEC 的映射问题,给出了映射表,同时也指出很难给出一个精确的一对一的映射。Xiao 等人^[5]研究了在 IEEE802.11e 出现后,如何将 UMTS QoS 映射到 WLAN QoS,但没有映射所有的 UMTS QoS 参数,只是映射了一些主要的 QoS 参数。文献[6]给出了 DiffServ PHB, IEEE802.11e 和 IEEE802.16 的 QoS 映射表。文献[7]用参数集完成 IEEE802.11 和 IEEE802.16 的映射。文献[8]研究了 WLAN 和 3GPP QoS 参数之间的关系并给出了映射表。文献[9]提出了一个简单的互操作的 QoS 类映射(QoS Class Mapping, QCM)框架。但是 QCM 必须考虑所有网络的关系,导致不同粒度的 QoS 类不确定的映射。文献[10]表明,目前仅有部分解决特定网络的技术能够实施,还缺少允许域间相容的 QoS 映射方法。

鉴于此,本文研究基于聚集流的 QoS 映射方法。本文基本思想是:(1)通过建立聚集流在高维空间的映射,利用矢量距离判决算法实现类的区分,通过获得的 QoS 参数空间的位置信息实现业务质量和 QoS 类的无缝映射;(2)原网络中的 QoS 参数被处于网络边界的映射执行器透明封装,映射执行器根据网络情况决定是原样传输还是解聚集。该方法不需要维护映射表格、能适应动态变化环境且与物理设备无关。本文的重点不是研究如何进行流的聚合/解聚合,因为已经有众多相关工作处理这个问题。

全文具体安排如下:第 1 节引言,第 2 节详细描述基于聚集流的 QoS 映射方法,第 3 节给出数值分析例子,第 4 节是仿真实验,最后是结论。

2 基于聚集流的 QoS 映射方法

本节从流的角度研究基于聚集流的 QoS 映射方法。本方法包含两个概念:迭加的流处理层和映射执行器。流处理层是建立在物理网络基础上的虚拟

子层,负责进行流的聚集/解聚集及传输管理(见图 1)。映射执行器位于网络边界(可置于网关/路由器中),其功能是执行 QoS 映射和封装、转发聚集流(如图 2)。

2.1 流处理层

如图 1 所示,当网络 1 发送流时,流处理层根据 QoS 参数以及下一跳网络 QoS 模型进行聚类,聚类得到的共同属性形成聚集参数,同时保持原数据流的 QoS 参数不变。聚集流在流处理层传输到达目标网络(网络 3)。

2.2 映射执行器

如图 2 所示,当网络 1 中的流进入映射执行器 1 后,映射执行器在流处理层对所有经过自身的流进行映射、封装和转发,建立透明的聚集流传输。如果该流目标地址是下一个网络(网络 2)中某个节点,则映射执行器不在对该流封装,而是依据映射参数数据库将其转化为下一网络可以理解的 QoS 要求,直接传递。否则,原网络中的 QoS 参数被映射执行器透明封装,聚集参数放在聚集流的包

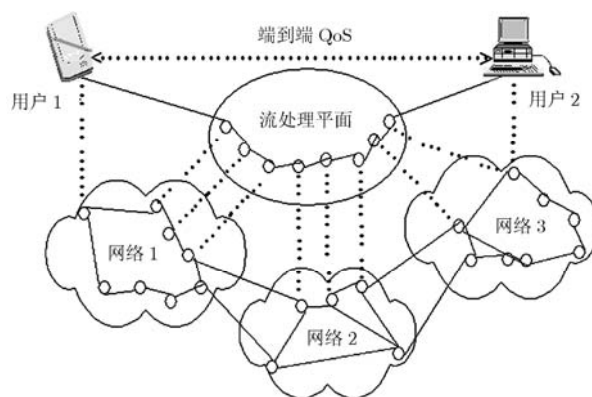


图 1 异构典型场景示意图

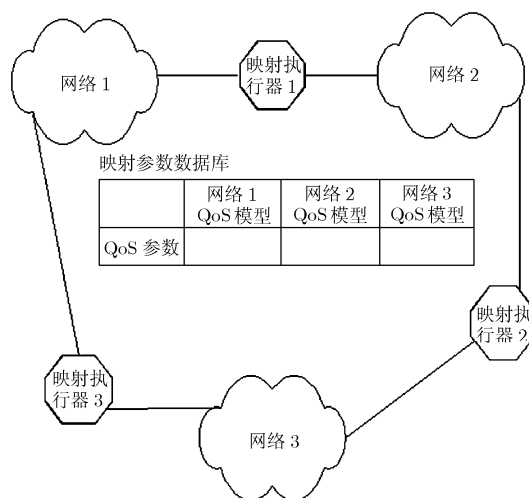


图 2 映射执行器工作示意图

头(图 3)。上述实现完全由软件执行有利于降低成本，也不需要具体网络的特殊配置，具有较好的伸缩性，适合异构网络。

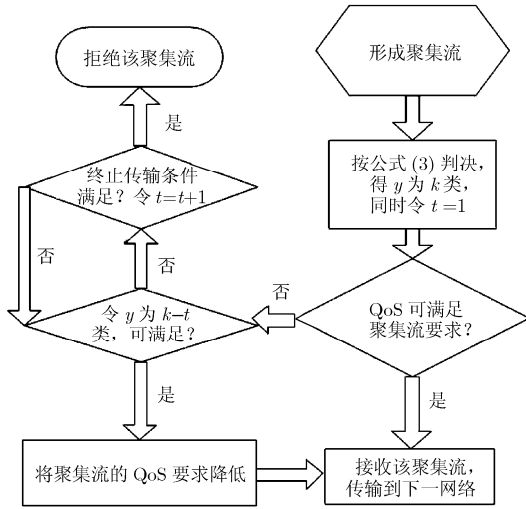


图 3 QMT-FA 流程图

2.3 聚集流在高维空间的映射

设 $X=\{x_i \mid x_i \in \{1, 2, \dots, M\}, x_i \in R^N, i=1, 2, \dots, M\}$ 是某时刻进入映射执行器中欲进入下一个网络的所有聚集流的集合， M 是聚集流的数目， R^N 表示聚集流所在的由 QoS 参数定义的 N 维空间(N 代表 QoS 参数数目)。 M_α 为 α 网络 QoS 模型中类的数目。 α 网络中第 m 个 QoS 类在 R^N 空间的描述为 $P_m^\alpha = [P_{m1}^\alpha, P_{m2}^\alpha, \dots, P_{mN}^\alpha] (m = 1, 2, \dots, M_\alpha)$ ，其中 $P_{mk}^\alpha (1 \leq k < N)$ 表示 α 网络中 QoS 类 m 在 R^N 空间的坐标。类似 QoS 类的描述， $F_i^\alpha = [P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iN}] (i = 1, 2, \dots, M)$ 用于描述聚集流 x_i ， $P_{ik} (1 \leq k < N)$ 表示聚集流 x_i 在 R^N 空间的坐标。映射时，映射执行器通过映射函数 Φ (该函数使得 $R^N \rightarrow F$ 时，存在 $x \rightarrow \Phi(x)$)，将聚集流 x_i 映射到类 y 中。依据文献[9]映射方法得式(1)。

$$c_m = \mathbf{W} \cdot (\|F_i^\alpha - P_m^\alpha\|) = \sum_{i=1}^M w_i \cdot |P_i - P_m^\alpha| \quad \forall m = 1, 2, \dots, M_\alpha \quad (1)$$

权值 $\mathbf{W} = [w_1, w_2, \dots, w_{M_\alpha}]$ ，反映应用特征。如果网络负荷较轻采用式(2)：

$$y = \left\{ k \mid c_k = \min_m \{c_m\} \right\}, \quad \forall m = 1, 2, \dots, M_\alpha \quad (2)$$

否则， F_i^α 映射到距离次近类，也就是说，在优先级排序是升序时，此时所映射的类是在式(2)映射结果的基础上逐次降低类优先级，即式(3)：

$$y = \left\{ k - t \mid c_k = \min_m \{c_m\} \right\}, \quad \forall m = 1, 2, \dots, M_\alpha; \quad 1 \leq k - t \leq M_\alpha \quad (3)$$

式(3)中 t 的取值规则为：首先令 $t = 1$ ，若 $k - 1$ 类的负荷较轻，则此时的 QoS 类为 $k - 1$ ，否则 $t = t + 1$ ，进入下一循环判断(图 3)。

相对于文献[9]，本文方法的独特之处在于以下几点：(1)聚集流是具有相同或相近特征的流的集合，与具体应用无关，新业务不影响模型的有效性；(2)聚集流在参数空间的信息没有改变，目标网络可以通过缓冲、重放等机制实现较好的 QoS 保证；(3)网络之间的 QoS 类映射不需要映射表。

3 数值分析

本文通过对 IETF, NGN 和 ITU-T 协议的整理和分析，给出 IETF QoS 分类主要指标(如表 1)，同时结合文献[11]给出了典型 e-Health 业务的特点(表 2)。

参照表 2，可将 e-Health 业务及业务流映射到 7 维的流映射空间，e-Health 业务在流映射空间上位置信息如表 3 所示。

设图 1 所示的异构网络 1 是 UMTS 网络、网络 2 是 DiffServ 网络、网络 3 是 WiMAX2 网络，网络 1 中的用户与网络 3 中的用户进行语音会议业务。当语音会议业务流由网络 1 到达网络 2 边界时，位于两个网络边界的映射执行器将该业务流在 7 维流

表 1 DiffServ QoS 分类主要指标的特点

业务类名	DSCP 名称	典型应用	延迟(ms)	丢失率	抖动(ms)
电话	EF	IP 电话	150	10^{-3}	1
高带宽数据	AF1x	存储和传输应用	250	10^{-1}	100
低延迟数据	AF2x	客户/服务器事务；基于 Web 的订单业务	250	10^{-1}	100
多媒体流	AF3x	流视频/音频	450	10^{-1}	100
多媒体会议	AF4x	H.323/V2 视频会议	450	10^{-3}	50
标准服务	BE	没有区分的应用	1.0×10^4	10^{-1}	100

表2 典型 e-Health 业务的特点

e-Health 业务	QCI	源类型	优先级	延迟(ms)	丢失率	数据(kbps)
语音会议	1	GBR	2	150	10^{-2}	25
视频会议	2	GBR	4	250	10^{-2}	384
病人指导	9	Non-GBR	9	2×10^3	0	0
涉及语音/视频交流的协作研究和教育	2	GBR	4	1.0×10^4	10^{-2}	384
远程手术	3	GBR	1	250	10^{-2}	384
涉及流的教育工具	4	GBR	5	800	10^{-2}	0

注：表2中优先级表示发送时的优先权，延迟、丢失率和数据速率都是平均值。

表3 e-Health 业务在流映射空间上位置信息(7项)

```

(1) struct E-Health_service_Location_information
    {
        float Bandwidth;//平均带宽;
(2) float TransferDelay;//平均允许时延;
(3) float LossRate; //平均丢失率
        int QCI;//QCI(QoS Class Identifier), 取值范围为[1, 9];
(4) int TrafficClassPriority;//取值范围为[1, 9];
(5) int NonGBR;//取值为0表示为GBR (Guaranteed Bit-Rate),
        取值为1表示 non-GBR;
(6) int SensitivitytoContext;//是否对环境敏感, 取值为0表示不敏
        感, 否则取值为1
    }Location_information;
(7) 定义 Location_information  $F_{\text{Audio conferencing}}^{\text{DiffServ}} = [120, 4, 150, 10^{-2}, 1, 2, 0, 1]$ 。

```

映射空间上的状态信息封装到 FAg 的包头，映射执行器根据流映射空间与 DiffServ 类定义范围的对应关系，依据满足最低要求原则确定映射类，具体计算流程如下：

$$P_{\text{Audio conferencing}}^{\text{DiffServ}} = [150, 10^{-2}, 1, 2, 1, 0], (\text{Jitter, Drop Probabilities, IP_ToS 使用缺省值})$$

$$P_{\text{EF}}^{\text{DiffServ}} = [50, 10^{-5}, 1, 1, 1, 0]$$

$$W_{\text{DiffServ}} = [0.5, 0.25, 0.125, 0.065, 0.04, 0.02],$$

各权系数之和为1。

现在根据式(1)–式(3)，计算 $F_{\text{Audio conferencing}}^{\text{DiffServ}}$ 属于 DiffServ 中哪一类。

$$c_{\text{EF}} = W_{\text{DiffServ}} \cdot \|F_{\text{Audio conferencing}}^{\text{DiffServ}} - P_{\text{EF}}^{\text{DiffServ}}\| = [0.5 \times 100/150, 0.25 \times (10^{-2} - 10^{-5})/10^{-2}, 0, 0.065 \times 1, 0, 0] = 0.333 + 0.25 + 0.065 = 0.648$$

注：[100/150, (10⁻² - 10⁻⁵)/10⁻², 0, 1/2, 0, 0] 为归一化处理。对应两项值相减时，如果时延、丢失率或抖动出现负值，则退出本次操作，转向下一个类，如果所有的类都出现负值，则通知发送方降低 QoS 指标。

同理可得 c_{AFxx} , c_{BE} , c_{CSx} ；经比较可知 c_{EF} 最小。所以根据式(2)，在网络2语音会议业务映射为 EF 类。

当语音会议业务流由网络2到达网络3边界时，位于两个网络边界的映射执行器从 FAg 的包头中提取该业务流在流映射空间上的状态信息，映射执行器根据流映射空间与 WiMAX2 类定义范围的对应关系，依据满足最低要求原则确定映射类。计算流程与网络2一致，经计算可知，在网络3语音会议业务映射为 UGS。

4 仿真实验

为了验证本文方法的有效性，以 UMTS+ DiffServ+ WiMAX2 网络架构，针对3种 QoS 模型，对映射表方法^[12]、QCM-ASM^[9]和本文方法 QMT-FA 3种 QoS 类映射方案进行仿真，并对端到端带宽利用率做对比分析。具体仿真环境参数设置如表4所示。

以 e-Health 业务为对象，假设构建6种聚集流(表5)。

仿真实验有以下假设：(1)网络层以下各层处于理想状态，对网络层的传输无影响；(2)聚集流的传输是持续的，即一旦选择该聚集流，则在仿真期间该聚集流不中断传输。该假设不影响测试不同 QoS 映射策略在端到端带宽利用率指标上的性能，故当观察到网络传输状态稳定时即可，其判断标志是端到端带宽利用率稳定。

仿真具体过程如下：随着时间增加，每秒随机在上述6种聚集流中选择若干条聚集流，加入网络进行传输，源网络为 UMTS，目标网络是 WiMAX2，经过的中间网络是 DiffServ。我们共做了50组实验，每次仿真时间为100s，表5给出典型情况下各种聚集流数目在实验中的分布对比情况，前两组实验(实验序号为1和2)针对异构网络负荷轻时的状况，前者对应最小带宽值较小的聚集流居多的情形，后者针对最小带宽值较大的聚集流居多的状况(网络资

表 4 各网络中 QoS 类带宽分配比例(%)

UMTS				DiffServ					WiMAX2					
会话类	流类	交互类	后台类	EF	AF4x	AF3x	AF1x	BE	AGP	UGS	ertPS	rtPS	nrtPS	BE
40	30	20	10	30	25	20	15	10	5	25	25	20	15	10

表 5 各种聚集流要求的 QoS 参数

聚集流对应的业务名称	聚集流标识	最大延迟 (ms)	最小带宽 (kbps)
Audio conferencing(ACS)	1	150	10
Video conferencing(VCS)	2	250	40
Tele-surgery(TSS)	3	300	50
Tele-monitoring of patient vital signs (TMPVSESS)	4	350	15
Real-time messaging(RTMS)	5	400	1
Interactive simulations(ISSS)	6	800	5

源局部不足), 实验序号为 3 的实验是异构网络负荷较重时的情形。由表 6 可见, 在异构网络负荷较轻, 资源足够分配时, 3 种映射方法性能一致(所有聚集流均能被接收传输); 在网络资源不足时, 本文所提到的 QMT-FA 映射方法具有较明显的优势(网络带宽利用率较高)。

3 种映射策略在满负载情况下, 异构网络端到端带宽利用率统计对比见图 4。由图 4 可见, 从端到端网络带宽利用率指标来衡量, QMT-FA 优于映射表方法和 QCM-ASM, 原因是 QMT-FA 充分利用了网络资源。由图可见, 在 5 s 以后, QMT-FA 的性能开始优于映射表方案; 在 9 s 以后, QMT-FA 的性能开始优于 QCM-ASM。特别是聚集流网络传

输稳定后, QMT-FA 的带宽利用率可达到 100%, 而映射表方法和 QCM-ASM 分别为 55%和 85%, 这意味着 QMT-FA 中传输的部分业务流在其它两种方案中被拒绝接收。由于 UMTS 网络类的粒度较粗(4 个), 以此为源网络, 导致与后面的网络类粒度不一致, UMTS 网络中的部分聚集流, 在没有从 DiffServ 网络中获得足够资源时被丢弃, 由于粒度不一致导致的带宽分配差异, 使得 DiffServ 网络中剩余的带宽资源没有得到整合利用, 进而影响 WiMAX 网络带宽的利用。由于 QoS 模型 QoS 类粒度不一致造成的影响, 对采用基于映射表映射策略的方案最不利, 这一点在聚集流由 UMTS 网络进入 DiffServ 网络时表现最明显, 由于聚集流(1, 2, 3, 4)在 UMTS 模型中属于会话流, 依据映射表, 在 DiffServ 模型中属于 EF 类, 由于该类聚集流较多, 导致 DiffServ 模型中 EF 类资源紧张(但其它类资源较充分), 因此系统整体的利用率较低。经分析, 这是由于映射表是确定的、但类与类之间的映射是不确定的, 逐级映射会导致聚集流的 QoS 产生累积误差, 进而降低系统整体的 QoS 要求。基于 QCM-ASM 的映射策略很好地解决了业务流 QoS 的唯一性问题, 但是由于缺乏弹性, 对网络资源的利用不够, 也没有考虑用户对业务流 QoS 的要求具有弹性的事实。QMT-FA 映射策略较好地解决了上述两种方案存在的问题。

关于网络流的聚集/解聚集方法已有许多研究成果^[13], 流识别方法包括: ①深度包监测(DPI, Deep

表 6 典型情况下各种聚集流数目在实验中的分布

实验序号	QoS 映射方法	第 1 种聚集流个数	第 2 种聚集流个数	第 3 种聚集流个数	第 4 种聚集流个数	第 5 种聚集流个数	第 6 种聚集流个数	一次实验中接受的聚集流总数
1	映射表方法	5	3	2	10	100	20	140
	QCM-ASM	5	3	2	10	100	20	140
	QMT-FA	5	3	2	10	100	20	140
2	映射表方法	2	5	7	2	2	1	19
	QCM-ASM	2	14	10	3	2	1	32
	QMT-FA	2	18	24	3	2	1	50
3	映射表方法	4	3	7	6	300	36	356
	QCM-ASM	8	13	10	6	300	36	373
	QMT-FA	9	17	13	20	326	40	425

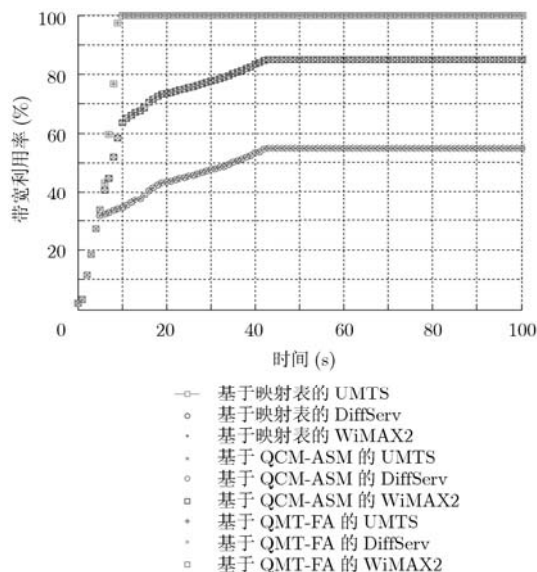


图 4 3 种映射策略下异构网络端到端带宽利用率统计对比图(50 次实验统计平均值)

Packet Inspection)。其缺点是计算效率较低、监测对象不确定和涉及侵犯个人隐私；②应用层按流/按包打标记区分。优点是计算简单，可融入用户主观感受质量因素，并按照某用户感受质量效能函数 Util 进行优先级分配；③用机器学习、模式识别方法。该方法依赖于流模式的统计特征，无需应用层标记。流分类算法主要分为 4 类：①基本数据结构算法，实现简单，但复杂度高；②基于计算几何算法，便于实现，但扩展性较差；③启发式算法，可调参数，规则规模受限；④硬件实现算法，分类时间快，但扩展性较差。在应用层面，流分类方法包括启发式方法、准确匹配和机器学习。本文框架中可以采用文献中较好的一种实现方法。流聚集/解聚集技术本身是一个需要深入研究的问题，至今似乎还未有在性能和开销上均优的解决方案。本文对该问题不做展开，它将是我们的下一步工作的研究重点。

5 结论

本文提出并分析了基于聚集流的 QoS 映射方法。该方法不需要预先对业务进行分类，这既屏蔽了各个标准对业务类区分的差异，又有利于新业务的加入，因为使用该方法，新业务的加入不需要改变软硬件资源，因而对业务性能的变化和新出现的业务具有比较好的适应性，可以克服现有方案的不足。通过该方法，可以帮助流在穿越不同网络时实现准确且灵活的 QoS 参数/类映射。数值和仿真分析例子表明了该方法的有效性。我们下一步的工作将包括利用机器智能理论工具，深入分析多媒体流的行为和统计特性，以及结合应用层业务特征和用户主观感觉质量因素的流聚合/解聚合方案。

参考文献

- [1] Ludovic Noirie, Emmanuel Dotaro, Giovanna Carofiglio, *et al.*. Semantic networking: flow-based, traffic-aware, and self-managed networking[J]. *Bell Labs Technical Journal*, 2009, 14(2): 23-38.
- [2] Blake S, Black D, Carlson M, *et al.*. An architecture for differentiated services[S]. Internet Engineering Task Group(IETF), Request for Comment(RFC): 2475, 1998.
- [3] Mehdi Alasti, Behnam Neekzad, Jie Hui, *et al.*. Quality of service in WiMAX and LTE networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2010, 48(5): 104-111.
- [4] Zhang L and Zeadally S. Enabling end-to-end QoS over hybrid wired-wireless networks[J]. *Wireless Personal Communications*, 2006, 38(2): 167-185.
- [5] Xiao Y, Leung K K, Pan Y, *et al.*. Architecture, mobility, management, and quality of service for integrated 3G and WLAN networks[J]. *Journal of Wireless Communications and Mobile Computing*, 2005, 5(7): 805-823.
- [6] Lee Myounghwan and Copeland J A. An adaptive end-to-end delay assurance algorithm with diffserv architecture in IEEE 802.11e/IEEE 802.16 hybrid mesh/relay networks[C]. Proc. ICCCN 2009, San Francisco, CA, United States, August 2009: 1-6.
- [7] Gakhar K, Gravey A, and Leroy A. IROSE: a new QoS Architecture for IEEE 802.16 and IEEE 802.11e Interworking[C]. International Conference on Broadband Networks, Boston, USA Oct. 2005: 607-612.
- [8] Oh S M, Kim J, Hwang Y, *et al.*. End-to-End QoS guaranteed service in WLAN and 3GPP interworking network[C]. APNOMS 2006, 2006, 4238: 180-189.
- [9] Ryu Misun, Kim Youngmin, and Park Hongshik. Systematic QoS class mapping framework over multiple heterogeneous networks[C]. Proc. NEW2AN 2008, 2008, 5174: 212-221.
- [10] Freitas R B, De Paula L B, Madeira E, *et al.*. Using virtual topologies to manage inter-domain QoS in next-generation networks[J]. *International Journal of Network Management*, 2010, 20(3): 111-128.
- [11] Lea Skorin-Kapov and Maja Matijasevic. Analysis of QoS requirements for e-Health services and mapping to evolved packet system QoS classes[J]. *International Journal of Telemedicine and Applications*, 2010, 20(1): 1-18.
- [12] Mehdi Alasti, Behnam Neekzad, Jie Hui, *et al.*. Quality of service in WiMAX and LTE networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2010, 48(5): 104-111.
- [13] 朱秋香, 陶军. 流分类算法综述[J]. *小型微型计算机系统*, 2004, 25(10): 1802-1810.

王再见: 男, 1980 年生, 博士生, 讲师, 研究方向为异构网络端到端 QoS 保证技术。

董育宁: 男, 1955 年生, 博士生导师, 教授, 研究方向为多媒体通信与信息处理。

孙刚友: 男, 1987 年生, 硕士生, 研究方向为无线网络。