

IP

网络的端到端 服务质量研究

樊秀梅 著



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

IP 网络的端到端 服务质量研究

樊秀梅 著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

QoS (Quality of Service, 服务质量) 是指网络提供更高优先服务的一种能力, 是用来解决网络延迟、丢失、拥塞等问题的一种技术, 确保为每种流量提供的优先权不会阻碍其他流量的进程。有效的 QoS 提供可以弥补现在 Internet 存在的固有缺陷, 提高网络的有效性。

本书讨论了有关 QoS 的基本问题, 主要进行了 4 大部分的内容研究。首先研究了已有计算机网络的 QoS 体系结构及其性能比较; 其次研究了端到端自适应 IP QoS 体系结构, 提出了基于自适应控制的 IP QoS 路由算法及拥塞控制机制; 再次研究了基于用户的可扩展路由体系设计和 QoS 路由算法; 最后采用理论与实践相结合的原则分析和评估了一个实际多媒体数据库系统, 采用理论分析、实际测量、模型模拟等多种方法混用的手段分析并提出改进方案。

本书适合对 IP QoS 的重要性及其一些研究方法感兴趣的研究人员、技术人员和学生阅读。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

IP 网络的端到端服务质量研究 / 樊秀梅著. —北京: 北京理工大学出版社, 2011. 3

ISBN 978 - 7 - 5640 - 4213 - 4

I. ①I… II. ①樊… III. ①计算机通信网 - 服务质量 IV. ①TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 011483 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 8.5

字 数 / 156 千字

版 次 / 2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3000 册

定 价 / 28.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本书讨论了有关 QoS 的基本概念、基本问题及已有计算机网络 QoS 体系结构及性能比较等方面,主要研究提出了端到端自适应 IP QoS 体系结构和基于用户的可扩展路由体系设计,并提出了相应的 QoS 控制机制及算法。这些研究主要是针对因特网的现状而提出的解决方案。

本书采用理论分析和仿真实验的手段对提出的算法进行了验证,并采用理论与实践相结合的原则对实际多媒体数据库系统分析、评估和提出改进方案。

本书是作者多年研究成果的一部分,侧重于对算法的研究。第2章研究了已有的计算机网络 QoS 体系结构问题,给出了各种 QoS 体系结构的综述性描述和其具体性能上的比较,并最后提出了存在的问题和今后的研究方向。第3章研究了端到端自适应 IP QoS 体系结构问题。由于网络状态的动荡变化,自适应性已成为实现 IP QoS 系统可扩展性的关键技术。第4章在端到端的自适应 IP QoS 体系结构下提出了基于自适应控制的 IP QoS 路由算法 (QRAC),该算法具有较强的可扩展性和动态适应性。第5章研究了时延和时延抖动受限的最小代价组播树算法及验证实验。第6章研究基于用户的可扩展路由体系,并提出具体的路由算法和 QoS 路由算法,解决不同环境下的路由选择问题。第7章在端到端的自适应 IP QoS 体系结构下提出了基于自适应控制的 IP QoS 拥塞控制算法,有效地控制和避免拥塞的发生,具有较强的鲁棒性和稳定性。第8章研究了一种多媒体数据库的性能评价系统。

本书的主旨在于提供一种研究方法,使读者在计算机网络、Internet 技术的基础上对 QoS 有较多的了解。

本书所述研究成果的取得得到了很多人的无私帮助,特别是陈常嘉教授和林闯教授。他们对我的研究工作提出了很多建设性的建议和理论指导,在此向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

作者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 主要研究工作及贡献	5
1.3 结构安排	6
第2章 QoS 体系结构综述	7
2.1 引言	7
2.2 背景知识介绍	8
2.3 研究进展	9
2.4 各种 QoS 体系结构的比较	21
2.5 进一步的研究方向	23
参考文献	23
第3章 端到端自适应 IP QoS 体系结构研究	24
3.1 引言	24
3.2 问题描述	26
3.3 相关的背景知识与研究成果	27
3.4 基于测量的端到端自适应 IP QoS 体系结构	29
3.5 具体模块的实现算法	32
3.6 本章小结	34
参考文献	34
第4章 基于自适应控制的 IP QoS 路由算法	36
4.1 引言	36
4.2 已有 QoS 路由算法比较	39
4.3 基于自适应控制的 IP QoS 路由算法及仿真实验	42
4.4 本章小结	48
第5章 IP 组播 QoS 路由算法	50
5.1 引言	50
5.2 组播路由问题综述	51
5.3 时延和时延抖动受限的最小代价组播树算法	60
5.4 本章小结	68

参考文献 68

第 6 章 基于用户的可扩展路由体系设计和 QoS 路由算法 69

6.1 引言 69

6.2 问题的引出与算法特点描述 69

6.3 基于用户的分布式、可扩展路由体系与算法描述 72

6.4 基于用户的分布式、可扩展路由算法与仿真实验 75

6.5 基于用户的可扩展 QoS 路由算法与仿真实验 86

6.6 本章小结 92

参考文献 93

第 7 章 基于自适应控制的 IP QoS 拥塞控制算法 94

7.1 引言 94

7.2 网络拥塞控制的回顾与问题 97

7.3 基于自适应控制的 IP QoS 拥塞控制算法 103

7.4 本章小结 104

参考文献 105

第 8 章 基于 IP 网络的多媒体数据库性能评价系统 106

8.1 引言 106

8.2 计算机网络性能评价的方法 107

8.3 计算机网络性能评价的主要研究工具 109

8.4 多媒体数据库的性能评价系统 111

8.5 多媒体数据库系统的广义随机 Petri 网模型及其性能分析 118

8.6 本章小结 122

参考文献 123

第 9 章 结论及下一步研究工作 124

9.1 本文的主要结论 124

9.2 进一步的研究工作 125

第 1 章

绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 服务质量的重要性

Internet 的发展过程中有许多标志——从令人振奋的“信息高速公路”到令人悲观的“世界范围的等待 (World Wide Wait)”。作为一个给人以深刻印象的、世界范围内网络互联的集成, Internet 以各种速度将大量的信息传送到各种不同的地点, 可以说 Internet 真的就像高速公路一样。但是, 大多数人经历过这个所谓的高速公路带来的不可预料的服务后, 几乎不能否认 Internet 发展中出现的“世界范围的等待”的存在。这条信息高速公路有时候就好像是一条到处是水而没有修好的街道, 为减轻交通流量, 通常会根据其重要性选择一些分组, 对其进行延迟发送或彻底丢弃。网络服务质量 (Quality of Service, QoS) 就是要最大限度地减少这类问题的发生。

在传统的 IP 网络中, 所有的报文都被无区别地等同对待, 每个路由器对所有的报文均采用先进先出 (FIFO) 的策略进行处理, 它尽最大的努力 (best-effort) 将报文送到目的地, 但对报文传送的可靠性、传送延迟等性能不提供任何保证。

随着 IP 网络上新应用的不断出现, 对 IP 网络的服务质量也提出了新的要求, 传统 IP 网络的尽力服务已不能满足应用的需要。如 VoIP 业务, 如果报文传送延时太长, 将是用户所不能接受的 (相对而言, E-mail 和 FTP 对时间延迟并不敏感)。为 Internet 提供支持 QoS 的能力是解决这些问题的可行方法。

QoS 旨在针对各种应用的不同需求, 为其提供不同的服务质量, 例如: 提供专用带宽、减少报文丢失率、降低报文传送时延及时延抖动等。大多数人在玩文字游戏的时候如果看见“尽力而为 (Best Effort)”这个词, 他们头脑里首先反应的可能就是 Internet。网际协议 (Internet Protocol, IP) 族的发展历史清晰集中

地反映出了这种能在各种情况下寻找和建立连接的网络技术的发展过程。一旦分组给定了其最终的目的地址,网络就将(尽最大可能)试图通过任何可用的链路确定一条通路,来完成分组向目的地的传送。网络完成传送的实际时间(传输延时)是应该考虑的第二个问题。如果由于网络中出现长期或短期的问题而造成网络中没有能到达目的地址的通路,分组就可能会被丢弃(延迟的一种相当极端的形式)。在这两种情况下,网络不会向分组的源端返回任何信息来指示分组发送成功还是失败。如果需要提供有保证的传递,源端和目的端之间一定要采用额外的端到端机制(例如传输控制协议 TCP)来确定分组是否被成功传送,如果失败,还要重新传送丢失的分组。

当然,在现实世界中事件的及时性是很重要的。一个穿过 IP 网络产生分组流的应用程序常常需要满足其自身的某些要求,仅仅在某一些时刻将分组发送出去是远远不够的。一个自动的、每天运行一次的文件备份程序,可能要花数分钟甚至数小时来完成备份任务,因此它可能根本不关心那些经过很长环形路径才到达的分组。如果用户在 Web 上浏览或查询一个远程数据库,那么他会忍受以秒计的延迟;如果延迟超过几分钟,他就根本不可能接受。一些要求更严格的应用程序,例如会话聊天,实时的声音、视频和交互式游戏等,必须满足用户的交互的要求,这时可以忍受的延迟是以几分之一秒来衡量的。

目前的 Internet 既不能保证分组传输的及时性,也不能保证分组时间的序列特性。这是因为 Internet 更关注向哪里发送分组,而较少注意发送分组的时间。在发展的早期这种做法是可以接受的,因为那时的应用程序通常是不要求实时性的。而对简单的实时服务,如远端登录等,当时的网络一般情况下也已经能提供足够好的服务了。网络的设计和配置通常都遵循“网络出现拥塞时就增加带宽”原则。共享可用带宽的工作完全交给了统计复用的随机原理。只要任何一条链路的可用带宽远远大于平均的通信负载,大概每个人都会感到满意。然而,时代发生了变化。企业的 IP Intranet 和商业 IP 骨干网同样都要面临许多新的需求,要求他们的网络在端到端的行为上具有更高的可预测性。这些需求是由一系列因素所引出的,这些因素包括运行网络多媒体应用程序的 PC 数量的爆炸式的增长,许多企业也正试图将其关键应用程序迁移到基于 IP 的网络中。中级和顶级 IP 骨干网的提供者也感到了压力,他们需要在其广域 IP 网络上提供可预测的和有保证的服务。只要用户仍然对 IP 互联有所需求,服务提供商就会一直处于不断改善其网络服务质量的巨大压力之下——不仅要和其他网站那里吸引新的客户,还要留住自己已有的客户。

1.1.2 IP 的基本问题

与生活中的大多数事情一样,人们对 QoS 也存在着不同的看法。对于一个具有传统网络操作背景的人来说,QoS 是网络的一个长期可靠性和可用性的问题

(连接网络的时间是一天几个小时、一星期几天还是一年几个月?)。其引申的含义是用户在相当短的时间内——即保持网络连接和传输分组的过程中——对网络行为的看法。这时, QoS 就变成了一系列问题, 包括传输速度、分组传送的及时性、网络给分组流带来的抖动总量以及完全分组丢失的概率。

在这两个极端之间是关于在网络内部出现设备失效的时候如何使网络性能实现平稳降级的工程性问题。网络中单个组件(如路由器、交换机或链路)的可靠性到底有多高? 关键设备是否都需要进行冗余配置来保证其连接性? 当冗余设备投入运行的时候, 其连接的质量如何(包括可用的带宽、延迟、突发性以及分组丢失的概率等)? 在一个网络连接质量由短期问题转变成一个连接性丢失的长期性问题以前, 可以容忍多大程度的网络性能的下降? 当一般用户发送其分组的时候一般都不会去注意 IP 网络的内部情况。然而, 在能够决定什么技术适于增强网络的 QoS 能力之前, 必须理解现有 IP 网络的弱点。这些弱点可以总结如下。

- (1) 在发生瞬时拥塞时, 路由器提供的时间响应是不可预测的。
- (2) 对不同的业务流类型不能提供动态优先级的服务。
- (3) 不能动态地请求(或修改)端到端的服务质量。
- (4) 只有有限的机制可以用于审计网络资源使用情况。

分组沿着由链路和路由器构成的通路传递。路由器和链路的互联可能构成任意的拓扑结构, 它们需要使用路由协议来为每一个分组寻找其合适的通路以到达目的地。路由器本身就像是一个数十、数百以至数千不相关分组流的汇聚点和分支点。数据应用程序可能产生许多具有数据突发(其中存在静态的间隔时间)或者有着均匀分组间隔的分组流。当分组的突发同时到达时, 到达的分组数量会超过路由器的瞬时分组传送能力, 这些试图通过该路由器的分组都将经历一个附加的延迟时间。路由器和交换机要承受瞬时的网络拥塞, 并缓冲到达的过量分组, 直到它们被发送出去。在提供 QoS 时最关键的两个因素表述如下。

- (1) 在发生瞬时网络拥塞时, 路由器如何处理不同种类的分组?
- (2) 路由器如何利用底层链路的 QoS 特性?

然而, 仅仅在单个的路由器中提供区分的分组处理能力还是不够的。在把具有 QoS 能力的 Internet 变成现实以前还需要进行两种功能的开发: 信令和统计计费。从最广泛的意义上说, 信令是指在端到端的通路上建立流分类和服务规则的过程。除此以外, 还必须对每一个人使用资源的情况进行计费。路由器的容量和链路的带宽既不是免费的也不是无限的。任何对某些业务类别提供的优先服务都意味着对其他的业务类别进行了与之相当的限制。如果没有一种相应的机制对用户使用的各种资源进行统计计费和控制, 那么每一个人都会请求最好的服务, 这将使网络回到最初的那种没有 QoS 的时代。

1.1.3 网络 QoS 的组件

如果不考虑 IP 网络的规模和范围,那么所讨论的端到端服务质量 (QoS) 是由业务流经过的每个域所提供的边缘到边缘 (edge-to-edge) 的服务质量级联构成的。从根本上讲,端到端的 QoS 是由给定路由上的每一跳 (hop) 的 QoS 特性所决定的。

IP 网络 (包括企业网、接入网和骨干网) 承载着各种业务流,这些业务来自不断增长和变化的各种用户。用户的需求也日益多样化,例如 IP 电话、IP 虚拟专用网 (VPN)、成组数据传输以及紧急事务、电子商务等。每一个用户都将提出其独特的业务需求,以达到某种可预测的服务级别。即使在网络出现了瞬时拥塞的情况下,服务级别较高的服务也应该得到保证。人们需要为业务流提供一种绝对或相对的保护,使其免受其他业务流的影响。

上述的需求将直接导致以下 3 个技术要求。

(1) 每一跳的 QoS (Per-hop QoS): 网络中最小的可控制元素是连接两条或更多条链路的节点 (路由器或交换机)。这些节点必须基于一种特定的体系结构,该结构能够在每一跳基础上提供足够的区分排队和调度功能,并能够准确适当地应用节点间链路的 QoS 特性参数。

(2) 选路和业务量工程: 由于在网络中存在着多条并行的通路,在这些路径上进行业务量分配可以降低每一条路径上的平均负载和突发度。这种技术可提高网络的实际服务质量,因为每一个路由器都将减少分组丢失和发生抖动的可能性。发现和利用非最短路径来进行转发的机制也是必要的。

(3) 信令和提供机制: 如果不容易实现管理,那么可控制的每一跳的 QoS 以及非最短路径转发将没有太大用处。实际的解决方案需要在网络中的所有节点上 (路由器或交换机) 提供某种程度的自动 QoS 参数发布及/或业务量工程约束。一旦用户使用或修改了特定的端到端 (或边缘到边缘) 的 QoS 需求时,相关的新信息将被发布。

1.1.4 各部分的协调工作支持端到端的 QoS 提供

在一个网络中,需要以下的 3 个部分来完成端到端的 QoS。

(1) 各网络元件 (路由器、以太网交换机等): 支持 QoS, 提供队列调度、流量整形等功能。

(2) 信令技术: 协调端到端之间的网络元件为报文提供 QoS。

(3) QoS: 控制和管理端到端之间的报文在一个网络上的发送。

而每个网络元件提供如下功能。

(1) 报文分类: 对不同类别的报文提供不同的处理。

(2) 队列管理和调度: 满足不同应用要求的不同服务质量。

- (3) 流量监管和流量整形：限制和调整报文输出的速度。
- (4) 允许接入控制：确定是否允许用户信息流使用网络资源。

1.2 主要研究工作及贡献

本书主要研究了两大问题：其一研究了端到端的自适应 IP QoS 体系结构以及该体系结构下的路由算法与拥塞控制算法；其二研究了计算机网络的性能评价与该理论下的一个具体的计算机系统与计算机网络的性能评价问题。首先对各种类型的计算机 QoS 体系结构进行了大力研究，分析了不同体系的主要思想及优缺点，并对它们做了相关的比较，为以后的研究和工作奠定了好的理论基础。接着提出了一种新的 QoS 体系结构，称为端到端的自适应 IP QoS 体系结构。然后在提出的体系结构下设计了它的具体的实现算法，主要有两个：基于自适应控制的 IP QoS 路由算法和基于自适应控制的拥塞控制算法。对这两个具体的实现算法做了大量的实验，得出较为翔实的实验数据，并以公式、图表的形式进行描述。最后对计算机网络中最关键和最基本的问题——计算机网络的性能评价问题进行了研究。在理论的指导下对一个具体的实际问题进行了性能评价，提出具体的改进意见，并付诸实施，取得了良好的效果。

主要工作可以简单描述如下。

(1) 研究了已有的计算机网络 QoS 体系结构问题，给出了各种 QoS 体系结构的综述性描述和其具体性能上的比较，并最后提出了存在的问题和今后的研究方向。已有的和网络有关的 QoS 体系结构主要包括 OMEGA、QoS - A、 $2K^Q$ 、QuO、GARA、ATM QoS、IntServ、DiffServ、SCORE、MPLS、Traffic Engineering 等体系结构。

(2) 研究了端到端自适应 IP QoS 体系结构问题。由于网络状态的动荡变化，自适应性已成为实现 IP QoS 系统可扩展性的关键技术。本研究是在上一章的基础上根据用户的实际服务需求和网络的动态变化而提出的一种自适应 IP QoS 体系结构 (QAAC)。该体系结构具有良好的可扩展性、自适应性与 QoS 提供的细粒度，同时与现行 Internet 的“best-effort”体系结构可以共存。

(3) 研究了端到端自适应 IP QoS 体系结构下的一种自适应 IP QoS 路由算法。路由算法是网络的关键技术之一，它的设计优化和公平合理将影响到整个网络的性能。本研究结合和借鉴 QoS 路由的已有研究和存在问题，在端到端的自适应 IP QoS 体系结构下提出了基于自适应控制的 IP QoS 路由算法 (QRAC)。该算法简单可行，具有较强的可扩展性和动态适应性。

(4) 研究了 IP 组播 QoS 路由算法，提出了时延和时延抖动受限的最小代价组播路由问题，并提出了一种实用的启发式算法来求解该问题，并分析了算法复杂度及与其他算法的比较，最后分析了动态组播路由算法。

(5) 研究基于用户的可扩展路由体系,使得路由选择的决断将主要由终端用户做出,路由器的任务将简化为通报网络信息和协调用户决断这两个较为简单的功能,试图通过用户级别的自组织路由减小网络成本、提高网络利用率和增强网络可靠性。在基于用户的可扩展路由体系下提出具体的路由算法和 QoS 路由算法,解决不同环境下的路由选择问题。

(6) 研究基于自适应控制的 IP QoS 拥塞控制算法。自 1986 年 10 月网络崩溃之后,在拥塞控制领域就开展了大量的研究工作。本研究总结了现有的各种拥塞控制机制,并在端到端自适应 IP QoS 体系结构下提出了基于自适应控制的 IP QoS 拥塞控制算法。该算法可以有效地控制和避免拥塞的发生,具有较强的鲁棒性和稳定性。

(7) 研究了计算机网络性能评价的相关问题与主要研究工具,并研究了一种多媒体数据库的性能评价系统。本研究是在计算机网络性能评价理论基础上的一个具体的实际应用。多媒体数据库是以新闻信息为主的多媒体综合数据库,它汇集了文字、图片、视音频、图表、报刊等全部资源和社会上其他有商业价值的新闻信息资源。人们的研究目的就是了解系统的运行情况、给出有效的改进方案和预测系统的实际能力。目前,研究成果已经运用于多媒体数据库的实际系统中,得到了有效的性能改善,并取得了良好的经济效益。

1.3 结构安排

本书的章节结构安排:第 2 章对 QoS 体系结构进行了综述,分析和比较了现有的 QoS 体系结构和具体的实现机制,为今后的研究工作奠定了一个坚实的基础。第 3 章提出了端到端的自适应 IP QoS 体系结构,并提出了实现的构架图和该体制下的一些具体实现策略。第 4 章、第 7 章分别研究了端到端的自适应 IP QoS 体系结构下的路由算法和拥塞控制机制。第 5 章研究了时延和时延抖动受限的最小代价组播树算法。第 6 章提出了基于用户的可扩展路由体系结构,并构建了相应的路由算法。第 8 章研究了计算机网络性能评价的相关问题,并对一个具体的多媒体数据库系统进行了性能改善研究。第 9 章进行了总结,并提出今后的研究方向和发展趋势。

第2章

QoS 体系结构综述

2.1 引言

今天的 Internet 提供一个基本的服务模式, 即 “best-effort” 的数据包传递。在这种模式下, 网络使用的是 FIFO 排队策略, 这就导致某些源可以抢占大量带宽, 而剥夺了其他源的权利, 例如一个人可以运行多个 Web 浏览器或开始多个 FTP 连接, 从而占用充足的带宽, 这就影响了 “best-effort” 模式下的其他用户的使用。尽管 Internet 的无状态性 (即路由器不需保持任何流的状态信息) 使得 Internet 是高度可扩展的和健壮的, 但是, 随着 Internet 逐渐发展成为一个全球性的商业基础结构, 人们期待着 Internet 可以提供更多的新的应用, 如 IP 电话、VOD、电子商务、远程医疗、视频会议等, 这就对现行的 “best-effort” 网络提出了挑战, 急需网络能够提供应用所需求的服务质量 (QoS)。

不同应用领域的快速增长和共存对 QoS 的提供提出了重大的挑战, 如多媒体和电子商务等。在不同的领域都有对 QoS 的考虑, 例如分布式系统平台、操作系统、传输系统和多媒体网络等, QoS 保证已成为分布式多媒体系统和互联网络的一个基本的端到端问题。

在过去的十多年中, QoS 问题成了研究的热点和难点。在这个领域中已经有很多的研究组提出了一些研究成果, 他们分别侧重在不同的结构层进行研究, 诸如分布式系统平台、操作系统、传输子系统和网络层等。

本章综述了计算机系统和计算机网络在 QoS 研究问题上提出的一些体系结构模型。本章第二部分简单介绍了一些背景知识; 在第三部分中, 评价了几种已经被电信、计算机通信和标准化组织发展的 QoS 体系结构; 在第四部分, 对这些 QoS 体系结构进行了比较和讨论; 第五部分提出了目前 QoS 体系结构存在的问题和今后的研究方向。

2.2 背景知识介绍

在多媒体通信系统中, 用户/应用要求被映射成满足一定要求的通信业务。不同的应用有不同的要求, 所以必须将需求参数化, 避免新的应用需要新的业务实现。这就要将用户/应用需求的 QoS 描述使用统一的参数描述, QoS 描述是与应用层 QoS 要求和管理政策有关的。QoS 描述在每个系统层都是不同的, 因此, QoS 描述只表明应用要求什么, 而不是如何去实现这种 QoS 机制。下面是一些常用的 QoS 描述参数, 但也不仅仅局限于这些。

① 分组延迟 (packet delay): 描述了分组从源到目的地传输中所花费的最大时间。

② 延迟抖动 (delay jitter): 描述了连续分组之间延迟的最大变化。延迟抖动的限制对多媒体实时应用是非常有用的, 因为大多数多媒体实时应用希望提供给用户一个稳定的帧速率。

③ 带宽 (bandwidth): 指的是每单位时间发送到网络上的总的的数据量。

④ 分组丢失率 (packet loss rate): 指的是每单位时间丢失的最大分组数。

⑤ 吞吐量 (application throughput): 指系统有效的处理信息量。

⑥ 服务代价 (cost of service): 它表明用户为得到需要服务级别所付出的代价。服务代价是一个非常重要的要素, 因为如果没有服务代价问题, 那么用户就没有理由不去选择最大级别的服务, 如保证服务等。

⑦ 复杂度 (complexity): 通常指有效完成信息传输的难易程度的一个量化级数。

在任何时间、任何地点通过任何计算设备提供多媒体服务正逐渐变为事实。应用层多媒体服务变得比以前更加普及、更加复杂, 亦更具有动态性, 例如媒体点播、数字图书馆、在线教育和实时监视等应用。所有这些应用都对网络提出了各种不同类型的服务质量要求。QoS 研究已成为目前学术界和工业界的一个热点问题, 已有许多这方面的工作与成果报告, 但已有的研究也存在着一些问题, 主要问题可以总结如下^①。

① 服务的不完全性 (incompleteness in service): 目前的服务界面通常不是 QoS 可配置的, 并且只提供连续媒体的控制和管理工具。

② 缺乏支持 QoS 保证的机制 (lack of mechanisms to support QoS guarantees): 研究需要在分布式控制、监控和维持 QoS 机制, 以使得服务的定制标准是可预言的和可确定的。

^① Z.-L. Zhang, Z. Duan, L. Gao, and Y. T. Hou. Decoupling QoS control from core router: A novel bandwidth broker architecture for scalable support of guaranteed services, In Proceedings of SIGCOMM' 2000, 71 - 83, Stockholm, Sweden, August 2000.

③ 缺乏连续性 (lack of continuity): 目前的 QoS 出发点是基于网络的, 并没有将其扩展到端系统, 即 QoS 是从提供者的角度来考虑并分析网络性能的, 而没有从应用需求的质量来考虑研究。

④ 缺乏全面的构架 (lack of an overall framework): 缺乏一个全面的体系结构构架去建造不同系统级别和不同网络体系结构间的现有的 QoS 概念。

2.3 研究进展

近年来, 许多研究机构和研究者都对 QoS 问题进行了深入的研究, 已取得了一些有意义的研究成果, 本节将对不同环境下的几种 QoS 体系结构进行简单的介绍和分析。

1. OMEGA

OMEGA^{①②} 是一个 QoS 体系结构, 它是由 Pennsylvania 大学开发的, 它的目标是在网络多媒体系统提供端到端 QoS 保证。OMEGA 是一个各学科研究的综合成果, 它研究了应用 QoS 要求和局域、全球资源管理去满足应用到应用的实时保证。OMEGA 的构建者认识到, 端到端 QoS 不仅要求网络 QoS, 也要求 CPU 和存储 QoS, 以确保网络 QoS 是有效的。

OMEGA 体系结构的关键部分称为 QoS Broker, QoS Broker 的作用是和所有的系统成员协商资源处理。为了简化 QoS 请求, 用户不必和下面的预留系统交互, 只需和 QoS Broker^③ 进行交互, 其结构如图 2-1 所示。

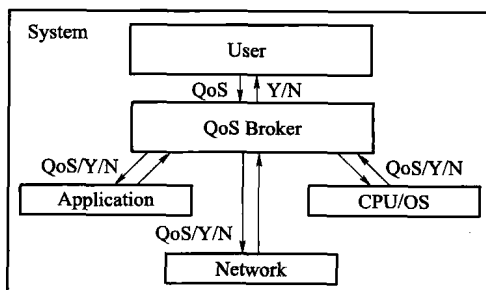


图 2-1 The OMEGA QoS Broker^④

① K. Nahrstedt and J. M. Smith. The QoS Broker [J]. *IEEE Multimedia*, 1995, 2 (1): 53-67.

② K. Nahrstedt and J. M. Smith. Design, implementation and experiences of the OMEGA end-point architecture. *IEEE JSAC*, Special Issue on Distributed Multimedia Systems and Technology, 14 (7): 1263-1279, September 1996.

③ OMG, "The Common Object Request Broker: Architecture & Specification, Rev 1.3., December 1993.

④ K. Nahrstedt and J. M. Smith. Design, implementation and experiences of the OMEGA end-point architecture. *IEEE JSAC*, Special Issue on Distributed Multimedia Systems and Technology, 14 (7): 1263-1279, September 1996.

QoS Broker (经纪人) 可以提供以下 3 个重要的功能。

(1) QoS Broker 将高层的 QoS 请求 (如 “我想发送视频流, 它是 120×60 , 以每秒 20 帧的速率”) 转化为适当的下层 QoS 需求 (如带宽和丢失率)。

(2) 为了用户的利益, QoS Broker 需要和下面的不同的预留系统通信, 以减少用户和不同的预留系统交互的复杂性。

(3) QoS Broker 提供本地均衡 (local balance) 和全网均衡 (global balance)。

OMEGA 系统也存在一些不足点, 可概括如下。

(1) OMEGA 系统综合不同类型的 QoS 仅仅是为了提供网络 QoS, 不能更加灵活地帮助应用去使用它们想要的无论什么类型的 QoS。

(2) OMEGA 系统主要是提供多媒体应用, 因此对转化应用 QoS 需求到低层 QoS 需求的 QoS Broker 可以进行合并。

(3) OMEGA 系统要求用户在网络通信时使用一个特殊的库, 而不是标准的接口。这对系统是有益的, 因为 OMEGA 可以确保通信处理使用了 CPU 预留, 但是它却增加了程序员的额外负担。而程序员为了接收 QoS, 希望尽可能少地修改他们的程序, 并且他们希望当 QoS 机制不可用时, 他们的程序也可以不需修改地进行运行。

OMEGA 体系结构的本质是资源预留和端到端的资源管理。其体系结构可分成通信模型和端点的资源模型。通信系统是一个如图 2-2 所示的两层系统。传输子系统是基于性能原理的。应用子系统包含应用层和会话层功能。资源保证是在呼叫建立期间由 QoS Broker protocol 来进行协商^①。

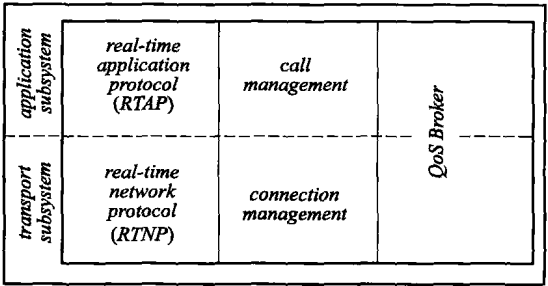


图 2-2 OMEGA 通信模型^②

^① Nahrstedt, K., and R. Steinmetz, “Resource Management in Networked Multimedia Systems”, K. Nahrstedt and R. Steinmetz, IEEE Computer Magazine, May, 1995.

^② Nahrstedt, K., and R. Steinmetz, “Resource Management in Networked Multimedia Systems”, K. Nahrstedt and R. Steinmetz, IEEE Computer Magazine, May, 1995.

2. QoS - A (QoS Architecture)

QoS - A^① 是一个提供端到端 QoS 的通常的体系结构, 它是由 Andrew Campbell 研究开发的。因为单独的网络保证常常是不够的, QoS - A 是一个完全的体系结构 (虽然只有部分被实现), 它论证了使用不同 QoS 类型的综合如何去实现端到端的 QoS 保证。QoS - A 给出了一个构架, 它指定和实现了通过 ATM (asynchronous transfer mode) 的连续媒体应用的性能要求。文献 [8] 指出, 在端到端基础上, QoS 是可配置、可预言和可维持的。图 2-3 所示为一个媒体流通常的端到端 QoS 控制和管理流程。

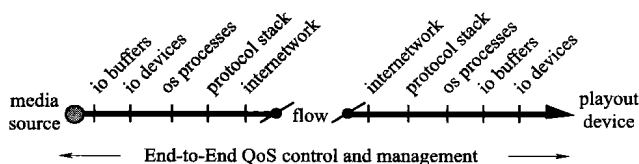


图 2-3 媒体流的 End-to-End QoS (Copy from^②)

随着多媒体信息交换的出现, 对通信提供提出了更强烈的要求。多媒体被连续媒体流所刻画, 例如声音、视频、高质量音频和图形动画 (graphical animation)。连续媒体流在通信时比静态媒体流 (如文本、图片和图表等) 有更高的要求。不同类型的连续媒体流要求不同标准的延迟、带宽和延迟抖动, 同时也要求这种标准的业务被维持的保证。例如, 视频通信要求高吞吐量保证, 而电话音频只要求适度的带宽。误码控制也应当是可配置的。QoS - A 的结构和资源管理结构如图 2-4 和图 2-5 所示。

除 “best-effort” 传输外, QoS - A 也提供两种端到端保证, 即 hard 保证和 soft 保证。hard 保证有严格的性能要求, 如保证业务; soft 保证对服务质量的小的变化是可适应的, 如统计业务。保证承诺和统计承诺的一个主要区别是: 保证承诺是基于固定的资源分配, 这里没有资源增加是有效的; 统计承诺是基于共享资源分配的, 它鼓励高度的资源利用^③。

QoS - A 也提供线程调度、端系统的流整形、缓存管理和抖动修正去确保服务保证被实现。QoS - A 的主要应用领域是网络多媒体应用, 它也可以被应用在非多媒体程序中, 但是它对不要求网络 QoS, 而希望其他 QoS 类型, 像 CPU 和磁盘 QoS 的应用并不是明显适用的。

① Andrew T. Campbell. A Quality of Service Architecture. PhD thesis, Lancaster University, England, January 1996.

② Andrew T. Campbell. A Quality of Service Architecture. PhD thesis, Lancaster University, England, January 1996.

③ Campbell, A., Coulson, G., García, F., Hutchison, D., and H. Leopold, “Integrated Quality of Service for Multimedia Communications”, *Proc. IEEE Infocom’93*, Hotel Nikko, San Francisco, CA, March 1993.