

# 实现高端应用中端到端 QoS 的关键问题及技术研究<sup>\*</sup>

张 阳 周竞扬 陆桑璐 谢 立

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室,南京大学计算机科学与技术系 南京210093)

**摘 要** 随着高端网络应用的兴起及近几年网格技术的发展,传统的传输服务模型和 QoS 实现机制已经不能适应高端应用对网络和其它资源的需求。因此,如何在高端应用间提供更优的 QoS 成为关注的焦点。本文从 IP 网络传输控制机制和端点 QoS 系统结构两个角度,探讨了端到端 QoS 实现的关键问题,同时详细分析并比较了几种端到端 QoS 实现构架及主要特点。

**关键词** 高端网络应用,服务质量,资源管理,网络

## Research on Key Issues and Technologies of End-to-End Quality of Service for High-End Applications

ZHANG Yang ZHOU Jing-Yang LU Sang-Lu XIE Li

(National Laboratory of Novel Software Technology, Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

**Abstract** With the advent of high-end applications and the development of grid techniques, the need to provide better Quality of Service (QoS) from the Internet and end-system has gained significant importance. Starting from Internet transportation controlling mechanisms and end-system QoS architectures as two points of view, evaluate the key issues that govern end-to-end QoS. Some representative QoS architectures are analyzed and their characteristics of techniques are also pointed out.

**Keywords** High-end application, QoS, Resource management, Grid

## 1 引言

随着 Internet 网络技术的飞速发展,网络已经成为人们日常生活、工作中不可或缺的一部分。传统网络中 TCP/IP 协议所支持的“尽力而为”(Best effort)传输特性服务模型,对于早期的单一数据传输是非常成功的,但对于现今的实时音频、视频应用所要求的低传输延迟、低分组丢失率及抖动控制,不能提供保证。同时,Internet 2 提出的高端应用以及网格技术所提供的高端服务<sup>[1]</sup>,如远程设备控制、虚拟协同工作等,都对网络和系统资源的服务质量(Quality of Service, QoS),提出了新的要求。如何构造一个能够真正实现端到端异质数据的发现、传输、管理的 QoS 框架和体系结构,成为国内外网络研究的重点。

本文介绍了高端网络应用的特点及其对 QoS 的需求;从网络和端点系统体系结构两个层面,提出了满足高端应用的端到端 QoS 的实现问题和技术;并详细比较分析了几种已经实现的 QoS 架构及各自的特点。

## 2 实现高端网络应用 QoS 的关键问题

QoS 技术使网络和系统能够为应用提供更可靠的服务,同时能对访问、延迟、分组丢失、质量和带宽进行控制。以往对 QoS 的研究工作主要局限于网络层面:增强网络性能,优化传输控制,使得网络能够提供具有确定性能限定的连接,从而支持已有的一般应用的要求。

但随着网络应用的复杂化,仅仅依靠传统的网络 QoS 机

制已经不能适应高端网络应用在实时、交互和数据量等方面更加苛刻的需求。

### 2.1 高端网络应用

根据 Internet 2 工作组的定义<sup>[1]</sup>,可以把高端网络应用分为以下几类:

- 高品质多方暗示交互协作应用
- 远程资源(如大型科学实验设备)的实时控制操作
- 大型、多站点的协同科学计算和数据挖掘
- 共享虚拟现实,虚拟沉浸
- Data Grid 数据网格应用

可见,不同于以往像 Web、FTP、Email 等面向 TCP 的服务和应用,高端网络应用具有更强的交互性、实时性、突发性和动态性,传输数据海量。同时,高端网络应用传输的数据和媒体流对于端到端路由上的所有节点和设备都有更高的要求。比如在 Globus 网格<sup>[2]</sup>项目中,要求在广域范围内,保证达到平均 512Mb/S 的传输速率。

### 2.2 QoS 实现的关键问题

基于高端应用的以上特点,它对 QoS 的定义已经不仅仅局限于网络带宽、分组丢失、传输延迟、抖动等传统的网络参数指标,QoS 的范围已经从网络层面扩展到 CPU、存储器等系统资源层面,换句话说,端到端的高端 QoS 不仅依赖于网络状况,同时,还在很大程度上取决于系统其它资源的状况以及端点系统的 QoS 架构,图1展示了一个抽象的 QoS 关键问题模型。

<sup>\*</sup> 课题研究得到国家863高科技发展计划资助(编号:2001AA113050),张 阳 硕士研究生,主要研究方向为分布式系统与并行计算;周竞扬 硕士研究生,主要研究方向为分布式系统与并行计算;陆桑璐 副教授,主要研究方向为分布式系统与并行计算;谢 立 教授,博士生导师,主要研究方向为分布式系统与并行计算,网络安全。

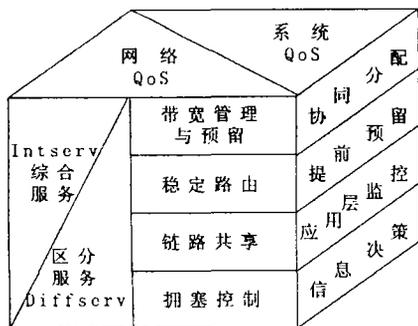


图1 QoS 关键问题模型

在网络层面,无论是综合服务(Intserv)还是区分服务(Diffserv)(将在第3节详细介绍),在带宽管理与预留、稳定路由、链路共享和拥塞控制这四个方面的问题是保证网络 QoS 的基础:

- 带宽管理与预留:对网络带宽进行分配管理,按需求进行预留,以保证申请预留的应用能得到所需要的最少带宽。
- 稳定路由:在 Internet 环境中,存在着一些与路由相关的不稳定因素,如路由抖动、循环路由等,而这都将导致网络 QoS 性能的下降。因此,需制定适当的路由机制,保证稳定路由。
- 链路共享:不同的应用共享带宽资源,这对于通用分布式环境下实现资源为多种应用共享提供了必要条件。
- 拥塞控制:当发生网络拥塞时,能够采取措施,选择丢弃部分分组,以排除拥塞,对于保持链路畅通,保证传输效率,十分重要。

在端点系统结构层面,同样需要提供一定的 QoS 保证机制,来满足高端应用的 QoS 需求。

当前问题,主要集中在多种资源的协同分配、提前预留、应用层监控和信息决策等几个方面:

- 协同分配:基于高端网络应用同时使用多种资源,而某种资源又同时可能为多个不同应用所共享,因此,资源的协同分配能力成为实现 QoS 的关键。
- 提前预留:与协同分配出于相同的考虑,对那些相对稀少而需求量大的资源,提前预留机制的引入实现了资源和服务的正常调度。
- 应用层监控:要保证良好的端到端性能,需要向应用程序层提供 API,以方便资源的发现、服务和监控,以及对 QoS 的动态修改。

·信息决策:当资源预留管理出现冲突时,如何根据应用信息进行决策,以实现资源的分配调度和应用的接入管理。

只有在网络和各端点系统间同时进行必要的设计和优化,才能真正满足高端网络应用的 QoS 保证。

### 3 网络传输控制模型

为了适应网络中多种应用不同的 QoS 特性,IETF

(Internet Engineering Task Force) 分别在 RFC1633 和 RFC2475 中提出了两种网络传输控制模型: Intserv QoS 模型和 Diffserv QoS 模型。随后,又在这两种模型的基础上,于 RFC2998 中提出了 Diff-Intserv 综合模型。

#### 3.1 Intserv 综合服务模型<sup>[3]</sup>

Intserv 模型使用资源预留协议 RSVP 作为其工作协议,以实现在 IP 网络上提供端到端的 QoS 保证。

Intserv 将所有实时应用看成一个个流(flow),每个流对应链路中一条逻辑 IP 连接。同时,考虑将网络应用按其 QoS 要求分组分类,使得不同 QoS 级别的应用能差别对待,实现了 QoS 的分级处理。而且,将不同 QoS 类别的应用统一实现在对上层应用的服务接口中,使得路由器或其它网络元素不必考虑某个数据流所对应的具体应用,实现了应用的透明性。

在 Intserv 中,还引入了资源预留协议 RSVP,两个端点进行数据传输之前,先通过 RSVP 中的 PATH 消息和 RESV 消息在发送端和接收端以及沿途路由之间进行 QoS 协商,预留资源。RSVP 协议使每个结点都要为每一个连接维护一个“软状态”(soft state),这个状态周期性地由 PATH 和 RESV 消息更新,如果在一段时间内没有收到更新消息,则该“软状态”自动取消,预留的资源也同时随之取消,从而实现了动态的资源预留。

Intserv 在每个结点进行资源预留的特点也给网络服务的可扩展性带来了一些影响:

- 网络中各结点都必须保存各条链路的预留状态信息,这种完全分布式的控制使得每个结点都必须消耗大量的内存资源和额外的 CPU 时间,随着业务数量的增加,各结点负担也加重,对于主干网上的结点,压力巨大。
- 如果沿途有一个结点不支持 RSVP 协议,则端点间的 QoS 将得不到保证。

因此,Intserv/RSVP 模型,在实际应用中,不能得到真正广泛的使用。

#### 3.2 Diffserv 区分服务模型<sup>[4]</sup>

为了克服 Intserv 模型的不足,IETF 又提出了基于分层思想的 Diffserv 模型,实现了“边缘分类,内部转发”的思想。

在 Diffserv 中,采用了聚合流的传输控制,而不是 Intserv 的单一流。同时引入了 DSCP(Diffserv Code Point)和 PHB(Per Hop Behavior)两个重要概念。DSCP 表明了其所属 IP 分组的 QoS 要求,PHB 是网络内部结点对分组队列定义的一些操作策略。数据流传输中,数据流在外部结点处分类,被赋予相应的 DSCP 值,进行聚集传输。在内部结点处,分组被施以不同的 PHB,进行调度转发。这种方式简化了网络内部结点的服务对象和服务机制,减轻了内部结点的负担。

在 Diffserv 中,路由器分为两类:边界路由器和核心路由器。边界路由器对进入域的流进行分类整形和标记,而核心路由器根据流的 DSCP 调用相应的 PHB。

Diffserv 模型克服了 Intserv 扩展性差、实现复杂的缺点,易于扩展,适合主干网的使用。但对于数据流业务类型的划分,QoS 的具体量化还有待进一步明确。



图2 Diff-Intserv 综合模型

### 3.3 Diff-Intserv 模型<sup>[5]</sup>

Diffserv 和 Intserv 都是实现端到端 QoS 保证的重要网络传输控制机制,但由于它们各自的局限性,使得两种机制的单独使用都不能真正满足端到端 QoS 的要求,因此,IETF 又提出了 Diff-Intserv 综合方案。考虑将 Intserv/RSVP 和 Diffserv 模型相结合,实现了两种机制的优势互补,共同完成端到端 QoS 的保证,其结构如图2所示。

在 Diff-Intserv 综合模型中,在网络边缘设置 Intserv 域,在核心处设置 Diffserv 域,将 Diffserv 网络看成 Intserv 网络中的一种网络元素。同时,通过 Intserv 和 Diffserv 域间服务的映射,既体现了 Intserv 中服务分类、级别清晰的特点,又保持了 Diffserv 中的灵活性和扩展性。

## 4 端系统 QoS 体系结构

建立高效、鲁棒的网络传输控制机制,是实现高端网络应用端到端 QoS 的必要条件,与此同时,对端点系统本身进行分析,提供一个扩展性强、灵活方便的统一端点系统 QoS 结构,也必不可少。下面,将分析几个比较有代表性的、已经成型的 QoS 架构。

### 4.1 OMEGA 架构<sup>[6]</sup>

OMEGA 是由 K. Nahrstedt 和 J. Smith 主持开发的针对网络多媒体系统提供端到端 QoS 保证的 QoS 体系结构。

它首先提出了实现高效的端到端 QoS,不仅需要网络 QoS,还需要 CPU、存储器等多种资源的 QoS 保证。OMEGA 中引入了 QoS 经纪人(QoS Broker)的概念<sup>[7]</sup>,用户直接通过 QoS 经纪人申请资源预留,而不用顾及底层的资源细节。

OMEGA 系统主要面向多媒体应用,因而 QoS 经纪人对于高层 QoS 要求的转换也主要面向多媒体系统,在其它高端应用如科学计算等方面,应用将十分有限。同时,在 OMEGA 中,用户通过特别的类库进行网络通信,而不提供通用的通信接口使得应用程序的可移植性大大下降,当 QoS 机制发生变化时,程序将必须做一定的修改,从而加重了程序员的工作量。

### 4.2 QoS-A 架构<sup>[8]</sup>

QoS-A 是由 A. Campbell 提出的提供端到端 QoS 支持的分层结构,其结构示意如图3所示。

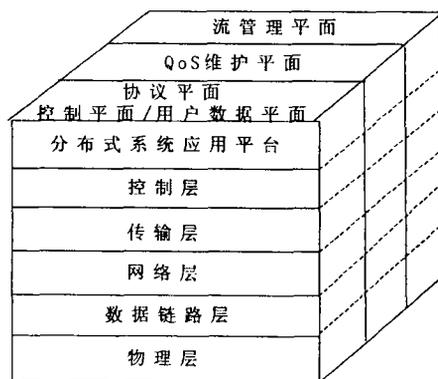


图3 QoS-A

最上层为分布式系统应用平台,向外界提供多媒体通信和 QoS 说明等服务;下一层为控制平台,提供在多个相关的应用流之间抖动校正和多媒体信息同步服务;控制平台下为传输层,包括一系列的 QoS 配置服务和机制;最底下分别为网络层、数据链路层和物理层,为端到端的 QoS 提供基础支

持。

在 QoS-A 结构中,QoS 的管理通过协议、QoS 维护和流管理三个垂直平面实现。在协议平面,由于用户应用数据和控制信息数据对 QoS 的需求不同,从而协议平面又分为控制平面和用户数据平面两部分。在 QoS 维护管理平面,对每个层都有相应的 QoS 管理模块,对各层的 QoS 状况进行管理调节。流管理平面,主要负责对流的建立(包括端到端的接纳控制,基于 QoS 的路由,资源预留等)和 QoS 映射(在各层 QoS 表示间进行转换)。

与 OMEGA 类似,QoS-A 也主要应用于网络多媒体服务领域。

### 4.3 2K<sup>Q</sup><sup>[9]</sup>和2K<sup>Q+</sup><sup>[10]</sup>架构

2K<sup>Q</sup> 是一种基于构件的统一的 QoS 体系结构,它主要具有以下特点:

- 将端到端 QoS 的设置过程分为分布式编译和运行时实例化两个阶段。

- 提供了动态的资源发现和配置协议,从而实现了运行时资源与服务的同步。

- 扩展了 QoS 监控和 QoS 反馈机制,实现了提供 QoS 保证服务的配置与重配置。

2K<sup>Q</sup> 系统的多层中间件框架由感知 QoS 的资源管理层和感知应用的服务管理层构成,资源管理层通过资源经纪人进行资源接纳、预留、分配等管理工作,而服务管理层通过 QoS 代理(QoS Proxy)实现构件的配置,以及应用服务、构件和资源间的通信。

2K<sup>Q</sup> 系统提供了高效的资源协同分配策略,当进行资源分配时,系统通过一定的算法,选择对系统影响最小的资源进行分配,因此可以从最大程度上满足服务请求的数量。

2001年,2K<sup>Q</sup> 的开发小组又在原有系统的基础上开发出了 2K<sup>Q+</sup> 系统,与 2K<sup>Q</sup> 相比,2K<sup>Q+</sup> 增加了统一的 QoS 编程环境和 QoS 编译系统(Q-Compiler),从而方便了系统在异构的环境下对应用程序的管理、控制和配置。

### 4.4 GARA 架构<sup>[11,12]</sup>

GARA 是由 I. Foster 小组最近所提出的建立在 Diffserv 服务模型之上的针对网格高端应用的 QoS 体系结构,是 Globus 项目的一部分。其目的就是向高端网络应用提供具有多种异质资源协同预留能力的端到端 QoS 保证。

与以往的端点 QoS 体系结构相比,GARA 提供了更完备、高效的 QoS 保证机制,主要包括:

- 对于各种资源的提前或即时预留,GARA 都提供了一套统一的通用接口,简化了异质资源的预留管理工作。

- 基于 GARA 对多种资源提供统一操作接口的特点,在 GARA 之上构建高层服务将更加方便。

- GARA 的分层结构提升了整个系统的扩展性,当有新的资源类型加入时,可在底层资源管理层实现,而无需了解上层结构状况。

- GARA 实现了对资源预留请求的认证和授权功能,提高了系统的安全性。

### 4.5 比较

综合以上分析,可见针对不同的应用服务对象,各系统的结构、侧重和功能等也不尽相同。表1给出了以上四个系统架构的简单比较。

**结束语** 高端网络应用和网格技术的兴起,对端到端的 QoS 保证提出了新的要求。如何满足这些应用 QoS 所具有的

交互性、实时性、突发性和动态性的特点,解决高端应用 QoS 实现过程中的关键问题,对于 IP 网络层的传输控制机制和端

点系统层的 QoS 体系机构都是新的挑战。

表1 四种系统架构简单比较

系统架构	服务应用	结构	协同预留分配	提前预留	操作接口	安全认证
OMEGA	仅对多媒体服务	Broker	提供,但仅对网络	不提供	专用	无
QoS-A	主要对多媒体服务	分层结构	提供	不提供	专用	无
$2K^Q, 2K^{Q+}$	基于 CORBA 的应用服务	基于组件	提供且高效	不提供	通用	无
GARA	多种网格应用	分层结构	提供	提供	通用	提供

一方面,在 IP 网络层要建立一个保证传输、高效灵活的传输控制模型,本文详细分析了 Intserv 和 Diffserv 的优势和不足,基于这两种模型,又介绍了将 Intserv QoS 量化保证和 Diffserv 良好的扩展性相融合的 Diff-Intserv 综合模型。

另一方面,在端点系统结构层,需要一个能够通过资源预留、协同分配管理向应用提供 QoS 保证的系统架构,同时,能够对应用状态进行监控并根据状态信息进行决策。根据当前的研究现状,本文最后介绍了几种有一定代表性的端点 QoS 架构并分析了它们的特点。

实现高端应用的端到端 QoS 保证涉及到一系列复杂问题,本文只是对其中一些认为比较重要的方面结合现在的研究进展进行探讨,要在实际中真正实现完善的 QoS 保证,还有待进一步研究。

## 参考文献

- 1 Miras D, Teitelbaum B, Sadagic A, et al. A Survey on Network QoS needs of Advanced Internet Applications. Working Document of Internet 2, Dec. 2002
- 2 <http://www.globus.org>
- 3 Braden B, Clark D, Shanker S. Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview. Internet RFC 1633, June 1994
- 4 Blake S, Black D, Carlson M, et al. An Architecture for Differentiated Services. Internet RFC 2475, Dec. 1998
- 5 Bernet Y, Ford P, Yavatkar R. A Framework for Integrated Services Operations Over Differv Networks, Internet RFC 2998, Nov. 2000
- 6 Nahrstedt K, Smith J. Design, Implementation and Experiences of the OMEGA End-Point Architecture. IEEE JSAC, Special Issue

(上接第39页)

动态成员组播。该协议通过 QoS 限制的有向搜索和本地决策来减少消息开销,通过将路由搜索和资源预留合并为一个过程来缩短成员加入时延,同时还采用了“QoS 测度控制的有条件扩散重复请求和重复路由”来防止循环和提高成功率。协议还通过“并发请求预合并”措施来适应短时间内大量成员加入的情况。分析和仿真表明,本算法和其它同类算法比,具有成功率高、消息开销少、路径建立时延短和性能稳定等优点。协议的这些优点使得它特别适合于域内宽带多媒体组播,以便 Internet 真正能够高效地实现网络电视这类宽带多媒体业务。

## 参考文献

- 1 McCanne S, Jacobson V, Vetterli M. Receiver-driven layered multicast. in ACM SIGCOMM '96, 1996. 117~130
- 2 draft-ietf-pim-sm-v2-new-03. ps-2001, PIM-SM: Protocol Specification (Revised)[S]
- 3 Wang B, Hou J C. Multicast Routing and Its Qos Extension:

- on Distributed Multimedia Systems and Technology, 1996, 14(7): 1263~1279
- 7 Nahrstedt K, Smith J. The QoS Broker. IEEE Multimedia, 1995, (2): 53~67
- 8 Compbell A, Coulson G, Hutchison D. A Quality of Service Architecture. ACM/Spinger Verlag Multimedia Systems Journal, 1998, 6(3): 138~151
- 9 Nahrstedt K, Wichadakul D, Xu D. Distributed QoS Compilation and Runtime Instantiation. In: Proc. of the IWQoS'2000, June 2000
- 10 Wichadakul D, Nahrstedt K, Gu X, Xu D.  $2K^{Q+}$ : An Integrated Approach of QoS Compilation and Rconfigurable, Component-Based Run-Time Middleware for the Unified QoS Management Framework. In: Proc. of IFIP/ACM Intl. Conf. on Distributed systems Platforms (Middleware 2001), 2001
- 11 Foster I, Kesselman C, Lee C, et al. A Distributed Resource Management Architecture that Supports Advanced Reservations and Co-allocation. In: Proc. of IWQoS'99, 1999. 27~36
- 12 Roy A. End-to-End Quality of Service for High-End Applications: [PhD Dissertation]. The University of Chicago, Aug. 2001
- 13 Chakravorty R, Kar S, Farjami P. End-to-End Quality of Service: An Overview of Issues, Architectures and Frameworks. In: Proc. of ICIT 2000, Dec. 2000
- 14 Sander V, Adamson W, Foster I, et al. End-to-End Provision of Policy Information for Network QoS. In: Proc. of the Tenth IEEE Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC 10), Aug. 2001
- 15 Stallings W. High-Speed Networks and Internets Performance and Quality of Service (Second Edition). Prentice Hall, 2002
- 16 Srinivas V, 信达工作室译. IP 服务质量. 北京人民邮电出版社, 2001

- Problems, Algorithms, and Protocols. IEEE Network, 2000, 14 (1): 22~36
- 4 Fei A, Gerla M. Receiver-initiated multicasting with multiple qos constrains. IEEE INFOCOM, 2000
- 5 Yang D-N, Liao W, Lin Y-T. MQ: An Integrated Mechanism for Multimedia Multicasting. IEEE Trans. on Multimedia, 2001, 3 (1): 82~97
- 6 Carlberg, Crowcroft J. Building shared trees using a one-to-many joining mechanism. ACM Computer Communication Review, 1997, 27(1): 5~11
- 7 Tyan H-Y, Hou J, Wang B, Chen Y-M. Qos Extension to the Core Based Tree Protocol. In: Proc. Of NOSSDAV'99, 1999
- 8 Chen S, Nahrstedt K, Shavitt Y. A QoS-aware multicast routing protocol. IEEE JSAC, 2000, 18 (12): 2580~2592
- 9 Yan S, Faloutsos M, Banerjee A. Qos-aware multicast routing for the internet: the design and evaluation of QosMIC. IEEE/ACM. Trans. Networking, 2002, 10(1): 54~66
- 10 Waxman B M. Routing of multipoint connection. IEEE JSAC, 1988, 6(9): 980~986