

层次型 IPv4 网络 QoS 算法^①

蒋建峰

(苏州工业园区服务外包职业学院, 苏州 215123)

摘要: 网络服务质量 QoS 在层次型网络中要求更高. 从 OSI 参考模型的第二层与第三层出发, 分析了传统的 QoS 体系结构和三种 QoS 模型的工作原理、优缺点以及网络应用环境. 设计了将 IntServ 与 DiffServ 模型相结合的互补算法来保证层次型网络的服务质量. 仿真结果表明, 此模型能够从传输延迟、丢包率、延时抖动和网络吞吐量等多个方面提升网络的 QoS.

关键词: 网络服务质量; 交换网; 综合服务; 差分服务

QoS Algorithms in Hierarchical IPv4 Network

JIANG Jian-Feng

(Suzhou Industrial Park Institute of Service & Outsourcing, Suzhou 215123, China)

Abstract: Hierarchical IPv4 networks put forward higher requirements for the quality of service. This paper analyzes the advantages, disadvantages and the application environment of the traditional QoS architecture based on business according to the second layer and the third layer of the OSI reference model. Then a QoS algorithm integrated differentiated service model with integrated service model is designed to enhance the QoS of a hierarchical network. The simulation results prove that the model can improve the network's QoS in many aspects such as packet loss rate, transmission delay, delay jitter and network throughput.

Key words: QoS; switched network; integrated service; differentiated service

网络服务质量 QoS^[1,2] (Quality of Service) 是指网络业务或应用的数据包经过一个或多个网络时, 所表现出的性能属性, 其主要包括以下若干典型的参数: 业务的有效性、传输延迟、抖动、吞吐率与丢包率.

随着网络技术的发展, 网络用户的增多以及各种实时多媒体业务在网络上实施, 网络的应用对于网络的服务质量 QoS 提出了更高的要求. 随着其不断的发展, 出现了大量对网络实时性要求很高的应用技术, 例如 IP 电话、视频点播、交互式视频会议、E-School, 关键业务数据等多种实时多媒体应用. 由于现在大多数网络都是采用基于 IP 技术建设的层次型交换网, 而 IP 技术采用的是存储转发模式, 基本上不具备流量和网络带宽管理的功能, 导致网络经常会发生拥塞, 而这些拥塞也是网络管理者很难控制的, 因而如何在现

有的带宽上提供可靠地 QoS 支持, 是现在网络建设与管理中所要考虑的新问题. 由于物理层只提供原始比特流的传送, 所以 QoS 机制主要在 OSI 第二层及其以上的各层中提供和实现. 本文主要从 OSI 的第二、三层出发, 探讨如何在采用以太网为主干的 IP 交换网络中实现 QoS 功能.

1 IP网络中QoS模型的总体架构

IETF(Internet 工程任务组)在 REC2212 中关于 QoS 的定义是: 用带宽、分组延迟和分组丢失率等参数描述的关于分组传输的质量, 其基本的框架结构如图 1 所示:

基于 IP 网络的 QoS 的体系结构包括三种服务模型: Best-Effort service 模型、Integrated service 模型^[3,4]、

^① 基金项目: 苏州市云计算基金项目(SXZ201301); 苏州工业园区服务外包职业学院科研重点项目(KY-XJZ202)

收稿时间: 2014-04-14; 收到修改稿时间: 2014-05-12

Differentiated service 模型^[5,6].

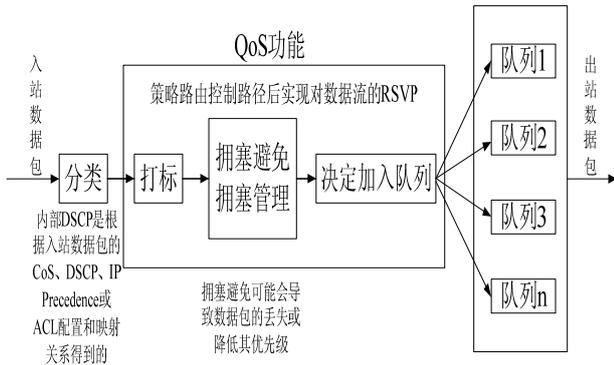


图 1 QoS 框架结构

1.1 Best-Effort service

Best-Effort 服务模型是一个单一的服务模型，也是最简单的服务模型。对 Best-Effort 服务模型，应用程序可任意发送任意报文，不需要事先得到批准或通知网络，网络尽最大的可能性来发送报文。但对延时、可靠性等性能不提供任何保证。Best-Effort 服务模型是网络的缺省服务模型，通过 FIFO(first in first out 先入先出)队列来实现。

1.2 Integrated service

IntServ 模型是一个综合服务模型，它可以满足多种 QoS 需求。该模型使用资源预留协议^[7,8](RSVP)，RSVP 运行在从源端到目的端的每个设备上，可以监视每个流，以防止其消耗资源过多。这种体系能够明确区分并保证每一个业务流的服务质量，为网络提供最细粒度化的服务质量区分。

1.3 Differentiated service

DiffServ 是一种基于服务分类的 QoS 实现模式，其核心思想是将 IntServ 模型中复杂信息流通过报文分类机制(如 CoS、DSCP 等)转换成若干个复杂度较低的服务级别，并按服务级别分配网络资源，以简化 QoS 实现的复杂度。但当网络出现拥塞时，级别高的数据流在排队和占用资源时比级别低的数据流拥有更高的优先权。

1.4 Integrated service 与 Differentiated service 比较

(1)实现服务粒度不同: IntServ 模型实现的是基于数据流的细粒度 QoS，而 DiffServ 模型实现的是基于业务流的粗粒度 QoS。

(2)实现复杂度不同: IntServ 模型中的每一个数据包经过的路由器或交换机都需要经过 QoS 的配置与调

节，所有的路由器需要为数据流保留带宽资源的软状态，控制非常复杂，设备 CPU 消耗较大。而 DiffServ 模型通过对业务流的分级，一般是在网络的边缘对数据流进行分级，内部网络中的路由器无需占用 CPU 额外的资源，对服务质量的控制提升到了域的范围，控制相对比较简单。

(3)网络额外开销不同: IntServ 模型网络中的每一个设备都需要维持一个资源预留软状态和发送表中的记录项，当网络的应用增多时，设备需要维护庞大的数据库和消耗大量 CPU 资源。而 DiffServ 模型将数据流按照业务进行分类，降低了信息流的复杂性，使得网络负担较小。

(4)网络的可扩展性: IntServ 模型中因为每个设备需要维持软状态与庞大的数据库，网络扩展能力将极大的降低。而 DiffServ 模型下因为边缘设备维持了分类工作，使得内部网络扩展比较容易，而且影响较小。

通过以上比较可知，IntServ 模型中的每个设备都需要维持一个软状态与数据库，使得整个网络的控制比较复杂，不适合应用于大型的网络，而 DiffServ 模型主要通过边缘设备实现业务流的分类，内部路由器的控制比较简单，因此适合大型网络的 QoS 部署。本文针对各类 QoS 模型的研究特性，设计出一种以 DiffServ 模型为主与 IntServ 模型相结合的互补 QoS 策略应用于大型交换网络。

2 层次型网络QoS算法设计

2.1 QoS 设计模型

在实际大型网络应用中，为了实现端到端的 QoS，需要同时将多种 QoS 技术结合使用。而目前将 QoS 技术结合在还没有统一的规范，搭建各种尽可能提供统一的端到端 QoS 体系结构是研究正在进行，这也是本文探讨的问题。针对大型交换网络的实际情况，文采用 IntServ 与 DiffServ 相结合的一种端对端的 QoS 模型，其基本的 QoS 处理过程如图 2 所示。

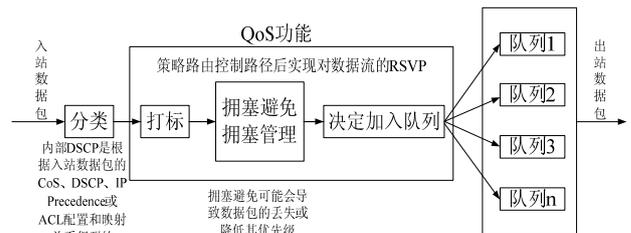


图 2 QoS 处理过程

其中边缘设备根据 ACL 与二层 CoS 及三层 DSCP 实现数据流^[9]的分类及打标形成汇聚流, 然后由策略路由控制精确路径, 由于 RSVP 信令协议实现与控制复杂度高, 所以在本模型中只对优先级高的数据流预留资源, 而 RSVP 的控制只需要在关键路径上的网络设备上部署, 不需要在全网部署, 端系统利用 RSVP 向网络请求资源, 关键路径设备将 RSVP 预留资源映射到相应的服务类别上。

2.2 交换网 QoS 设计方案

2.2.1 报文分类及标记

分类是在网络中实现 QoS 策略的第一个步骤. 如果数据分组没有被分类, 策略也不能实现. 分类将网络数据流分成类别, 并为这些类别分配不同的服务类别. 当数据分组被分类后, QoS 方法用来为特定的类别实现适当的服务层次。

分类方法很多, 如使用 CoS 值、IP Precedence 或 DSCP 进行手工分类; 基于网络的应用识别(NBAR); 根据访问控制列表(ACL)进行分类等. 在网络分层模型中, QoS 的分类原则是选择离边缘距离近的设备, 以便管理端到端的 QoS. 本文的设计中主要使用访问控制、专家级访问控制与二层 CoS 值、IP Precedence 或 DSCP 相结合的分类方法, 把网络中各种业务划分不同的数据流和服务层次。

分组标记(Packet Marking)是一种允许网络设备根据分组类型进行不同标记的功能, 它可使网络传输中不同类型的分组更容易被区分. 在网络中, 边界设备可以在二层数据帧和三层 IP 数据包中进行标记。

(1)二层的分组标记

由于目前绝大多数网络都是采用基于交换机的层次型结构, 各层之间的链路工作在 TRUNK 模式, 工作协议 IEEE802.1Q, 供各个 VLAN 通信. 所以数据帧的格式为 802.1Q, 在 802.1Q 帧头中标记的方法见图 3 所示。

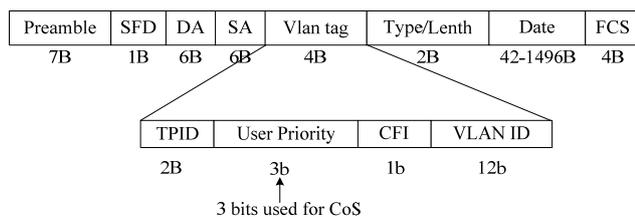


图 3 Layer 2 802.1Q 帧

(2)三层的分组标记

对于 IPv4, 使用报头的服务类型(ToS)域可以实现 3 层标记, 8 位 ToS 信息域位于 IP 报头的第 2 个字段, 支持 IP 优先级或区分服务代码点 Differentiated Services Code Point (DSCP), 如图 4 所示。

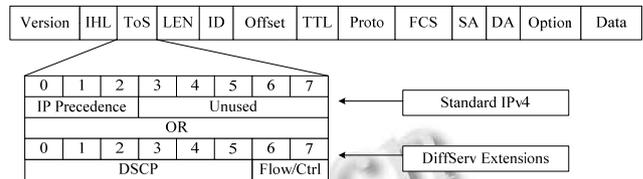


图 4 Layer 3 包

在本设计方案中, 通过数据流的分类及打标设置不同的服务质量等级, 大型网络中的业务众多, 根据不同的业务映射到不同的服务等级, 每个等级的业务数据加入相应的队列等待转发. 例如, 将 SNMP 流量标记为 NetworkAdmin, 视频会议标记为 VideoConfe, VoIP 流量标记为 Tel, Email 流量标记为 Mail, WWW 流量标记为 Web, Ftp 流量标记为 File, 优先级由高到低分别为 NetworkAdmin、VideoConfe、Tel、Mail、Web、File. 因为 QoS 策略的实时会消耗网络设备 CPU 的资源, 所以在核心层并不是考虑所有的 QoS 功能, 重点考虑拥塞避免和拥塞管理策略. 忽略流量监管、流量整形, 适当设置链路效率。

2.2.2 拥塞避免与拥塞管理

(1)拥塞避免^[9,10]

当队列的长度超过了链路的负荷就会丢弃数据包, 尾丢弃是常用的算法. 如果采用 WFQ 队列, 则可能不是尾部丢弃. 对于 TCP 数据包, 如果大量的数据包被丢弃将造成 TCP 超时, 从而引发 TCP 慢启动, TCP 将减少数据包的发送. 当队列同时丢弃多个 TCP 连接的数据包时, 将造成多个 TCP 连接同时进入慢启动, 多个 TCP 连接发向队列的数据包将同时减少, 链路带宽未能充分利用; 随后多个 TCP 连接又同时慢慢加大数据包的发送量, 队列又出现溢出的情况. 这样队列的数据包的流量总是忽大忽小, 使得线路上的流量总在极少和饱满之间波动, 平均利用率下降。

加权随机早期检测(WRED): WRED 是一种适用于主干速度的拥塞避免机制, 它在输出缓冲区达到指定的阈值后开始随机地丢弃某些类别的数据包以避免拥塞. 加权随机早期检测 WRED 是对 RED 机制的改

进, 它使用 IP 报头内的 IP 优先级确定应该丢弃哪一类业务. 丢弃选择过程是通过 IP 优先级进行加权的. 本次方案基于 DSCP 的 WRED 在丢弃选择过程中使用 IP 报文中的 DSCP 值. 当接口出现拥塞时, WRED 选择性地丢弃较低优先级(而对 DSCP 来说指更高的丢弃优先级)的业务.

(2)拥塞管理

拥塞管理被看作是两个独立的过程: 一个是排队, 它负责把流量分散到各个不同的队列或缓冲区上; 另一个是调度, 它会确定下一轮将要发送哪个队列的流量. 本方案 QoS 模型中 DiffServ 域中核心设备对数据转发主要体现在对不同的服务等级选择不同的队列, 本方案采用 CBWFQ 和低延迟队列 LLQ, CBWFQ 是基于分类好的队列实行 WFQ, 能对各类型的流量提供带宽保证, 但对与 VoIP 这样的实时业务不提供低延迟的保障. 而 LLQ 添加了更严格的优先队列机制, 对够提供低延迟的传输保证, 缓和语音会话的抖动. 所以本方案采取两者的结合, 其基于分层模型的网络实现 QoS 的具体策略如图 5 所示:

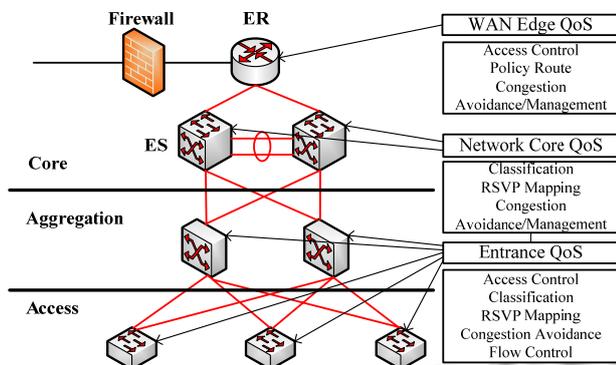


图 5 QoS 具体策略

3 仿真实验

3.1 仿真环境

本文使用 NS-2^[11]网络模拟器作为试验和测试的评估平台. NS-2 是目前网络仿真最流行的软件, 已广泛被科研院所和各大高校用于进行网络分析、研究和教学, 可以仿真各种 IP 网络环境.

对网络性能仿真测试的拓扑如图 6 所示, S1-S3、S2-S4 之间是瓶颈链路, 可通过 OTcl 语言可对链路延时、带宽、队列大小、队列类型进行设置. 这些参数的设置将影响到数据包在传输过程中的丢失、延时、

抖动.

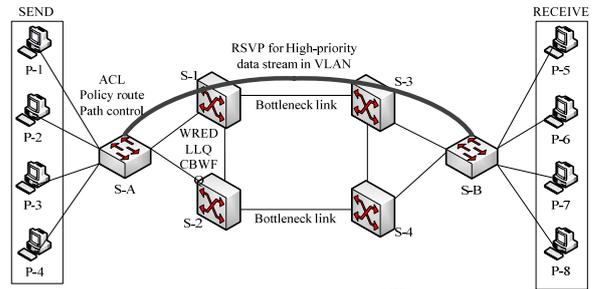


图 6 仿真拓扑

设计的拓扑中总共有 12 个节点, 其中 P1-4 是发送节点, P5-8 是接受节点, 中间 S1-4 是中继节点, S-1 到 S-3、S2-S4 是瓶颈链路. 首先数据包到达边缘设备 S-A, 对数据包进行分类与标记, ACL 与 Policy Route 对于优先级高的数据流 NetworkAdmin、VideoConfe、Tel 等, 选择拓扑中上面的路径, 基于信令的协议 RSVP 对其预留资源, 中间交换机执行 WRED 丢弃数据包, 缓冲区数据链路速率设定为 T-1(1.544Mbps), 数据包到达边界加入队列, 通过仿真比较此综合策略与单独使用 DiffServ 策略的结果.

3.2 仿真结果分析

本文通过仿真实验比较了使用 QoS 新算法与简单差分服务 DSCP 值区分算法的结果. 所有的缓冲区设置为 2 倍带宽的容量. 其中 P1 发送 VideoConfe 数据, P2 发送 Tel 数据, P3、P4 发送一般数据流, 当数据发送速率比较低的时候, 网络数据包的延迟, 丢包率, 语音的抖动影响很小; 当数据包发送速率较大时, 未使用新 QoS 算法的网络数据丢包率, 延迟较大, 而且语音的抖动比较严重, 而使用新 QoS 算法之后能改善数据包的丢包率和延迟, 并且保证了语音和视频的延迟抖动, 充分保证了网络的利用率.

图 7 是使用新 QoS 算法后延迟性能的比较, 当数据包增加时, DiffServ 策略的网络延迟比较大, 而使用综合策略的网络能改善网络延迟. 当数据流超过 400 时, 延迟性能体现明显.

图 8 是网络抖动性能的比较, 使用新算法的网络能够有效的改善抖动的情况. 而使用 DiffServ 算法的网络, 当网络的发送数据包增多时, 抖动比较严重. 随着数据包的增加, 抖动增加比较明显.

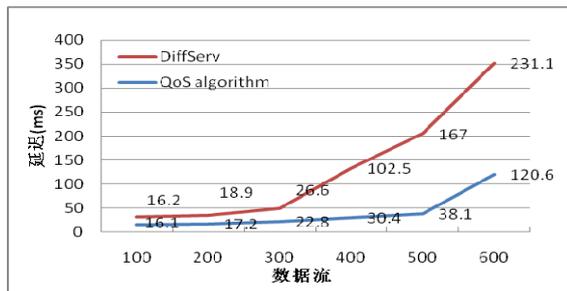


图 7 延迟性能比较

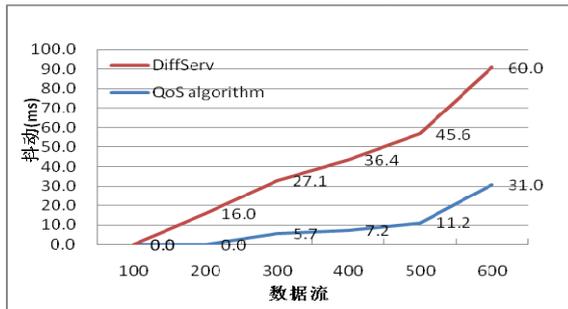


图 8 抖动性能比较

图 9 是包丢失率的性能比较, 使用新算法的网络能够保证优先级高的数据的丢包率比较低。使用 DiffServ 算法, 在数据包急剧增加是, 丢包率也随之急剧增加, 而新算法在数据包量不大时基本没有丢包。

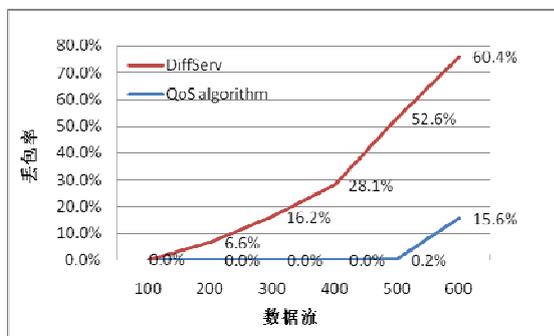


图 9 丢包率性能比较

4 结语

本文针基于层次型结构的大型网络的特点, 设计了将 IntServ 与 DiffServ 模型相结合的互补策略来保证网络的服务质量。首先在边缘设备进行数据的分类及打标, 实现不同的 QoS 服务等级划分, 利用 RSVP 对高优先级的数据流预留资源, 并且在 DS 域中利用拥塞避免和拥塞管理相结合的策略, 真正保证重点用户

的重点业务数据传输的低时延、低抖动, 并分配其有保障的带宽, 实现其全方位的 QoS 保证。最后对互补 QoS 策略进行试验仿真, 结果表明此 QoS 策略能够有效优化大型三层交换网络。

参考文献

- 1 刘志中, 王志坚, 周晓峰, 等. 基于事例推理的 Web 服务 QoS 动态预测研究. 计算机科学, 2011, 38(2): 119-122.
- 2 Ment M, Briscoe B, Tsou T. Precongestion notification: new QoS support for differentiated services IP networks. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(3): 94-103.
- 3 范小芹, 蒋昌俊, 王俊丽, 等. 随机 QoS 感知的可靠 Web 服务组合. 软件学报, 2009, 20(3): 546-556.
- 4 Maritz A. Enhancing service quality through integrated services marketing. IEEE Int'l Conf on Service Operations and Logistics, and Informatics. 2006. 557-563.
- 5 Shi HH, Xu X, Wang YJ, Yang YY. QoS control strategy simulation and analysis based on DiffServ. 2nd International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology, 2012, 538-541. 669-672.
- 6 Gan Chaudhuri S, Kumar CS, RajaKumar RV. Validation of a DiffServ based QoS model implementation for real-time traffic in a test bed. 2012 Eighteenth National Conference on Communications (NCC). 2012, 5.
- 7 Komolafe O, Sventek J. An evaluation of RSVP control message delivery mechanisms. IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing (HSRP). 2004. 43-47.
- 8 Oshlag BL, Pecelli D, Pizzi SV. An RSVP surrogate for guaranteed bandwidth for tactical communications. Proc. of IEEE Military Communications Conf. 2007. 408-811.
- 9 黄景文, 胡志华. Web 服务 QoS 的免疫多信号预测模型研究. 广西大学学报, 2009, 34(4): 535-539.
- 10 He J, Rexford J. Toward internet-wide multipath routing. IEEE Network, 2008, 22(2): 16-21.
- 11 Pullen JM. The Network workbench: network simulation software for academic investigation of internet concepts. Computer Network, 2000, 32: 365-378.