

# 用 ATM 技术提高 IP 业务服务质量的研究\*

景志钢\*\* 李乐民

(电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054)

**【摘要】** 分析了在 Internet 网中无法提供 IP 业务服务质量的原因, 阐述了其中涉及部分的关键问题。

在保证 IP 网络服务质量的几种技术的基础上, 提出了利用 ATM 技术来提高 IP 业务服务质量的方法。通过研究和比较其他几种常用的分组排队技术, 提出了一种能更好保证 IP 业务服务质量的分级排队方案, 仿真实验证明了该方案的优越性。

**关键词** 因特网; 异步转移模式; 区分服务业务类型; 分级排队

**中图分类号** TN913.24

近几年来, 电信网、计算机网、有线电视网的业务和市场开始走向融合, 人类正开始迈进网络经济时代。电信网的演变基本是按照国际电联(ITU)的标准进行的。例如, 电话交换是从公众电话网(PSTN)演变到窄带综合业务数字网(N-ISDN)再到宽带综合业务数字网(B-ISDN); 数据通信从分组交换(X.25)到帧中继再到异步转移模式(ATM)<sup>[1]</sup>; 传输/传送网从点到点传输到 SDH(Synchronous Digital Hierarchy), 再到 ATM 和波分复用(WDM)<sup>[2]</sup>。而 Internet 网却异军突起, 打破了这种平静。Internet 网上业务量每年增长400%~500%, 每23周, 网上的 Web 服务器的数量便翻一番。网上的服务也由文件传送、电子邮件、远程登录等常规数据通信向多媒体应用(www)发展, 当前 www 约占 Internet 网总业务量的70%。IP 业务从应用上可分为尽力传送型业务和有服务质量要求的多媒体业务。

本文分析了 Internet 网的服务质量(QoS)问题, 研究了用 ATM 技术提高 IP 业务 QoS 的优势和方式, 提出并研究了一种新的实现方案。

## 1 Internet 网服务质量的问题

目前, 由于 Internet 网带宽的不足和 TCP/IP 技术本身的约束, 制约了其自身的发展。集中表现为: 1) 路由器出现严重的瓶颈。现有的 Internet 网的结构仍是路由器加专线模式。IP 数据包需要在多路由器中逐一寻址, 增加了端到端的时延抖动, 也增加了发生丢失的可能性, 难以保证服务质量。2) 网络带宽严重不足。如美国 UUNET 骨干网的传输速率每100天需要增加1倍, 每年增加10倍。3) Ipv4协议中的 IP 地址结构与分配方式不灵活, 造成了地址资源的紧张等。

目前, Internet 网只能支持一类称为尽力传送业务。这类业务被网络尽力传送, 但并不能得到足够的质量保证。随着 Internet 网迅速变成一个商业性的基础设施, 用户对服务质量的要求也日渐迫切<sup>[3]</sup>。现有的很多解决方案最关键的是构造高速的 Internet 骨干网(即宽带 IP 网), 目前有代表性的方案有: 1) IP 和 ATM 的结合、以 ATM 核心层作骨干网, 称为 IP over ATM。2) IP 包不经过 ATM 层, 直接在 SDH 链路上传输, 称为 IP over SDH。3) IP 包不经 ATM 也不经 SDH, 直接用光缆连接, 在密集式波分复用(DWDM)的光缆链路上传输, 称为 IP over WDM。

IP 采用分组交换技术, 在分组交换网上实现 QoS 的方法有: 1) 业务分类; 2) 排队机制; 3) 带宽管理; 4) 拥塞控制等。这四种技术必须有机地结合使用, 才能较好地保证 IP 业务的服务质量。

2000年6月2日收稿

\* 国家自然科学基金资助项目, 基金号: 69682008; 高校博士点基金资助项目

\*\* 男 27岁 博士

对于 IP 而言,实现前两者较容易。目前 IP 的 QoS 主要是对业务的分类后通过优先排队机制,如加权公平排队(WFQ)等。IETF 提出了用区分服务业务类型来满足用户对服务质量的要求<sup>[4]</sup>;区分服务业务类型定义 IP 分组头的 DS(Differentiated Service)域,并利用它来告诉路由器如何处理该分组;分组在网络输入端的路由器被分类和标记,以产生不同的服务等级;属于不同的服务等级的分组接受到不同的服务质量。区分服务业务类型支持优先级业务类型,可信性业务类型(AS)和原有的尽力传送型业务类型等。优先级业务类型提供低时延和低时延抖动且具有恒定峰值速率的业务,每一个优先级用户都与 ISP 有一个服务等级协议(SLA),用户发送业务的峰值速率不超过协议的峰值速率,超过的部分将被丢弃或被输入端路由器标记为 out 分组,可信性业务类型可为用户提供有一定保证的服务质量(特别是在发生拥塞时)。每个 AS 用户也与 ISP 有一个 SLA 协议,在 ISP 网络的输入端,如果 AS 业务不超过服务等级协议所规定的比特率,被标记为 in 分组,否则被标记为 out 分组。尽力传送型业务可以被看成属于 out 分组,一般地, in 分组和 out 分组被放入同一个排队缓存,以保证次序。这时可利用适当的缓存管理机制(如分组丢弃算法)和排队策略(如 FIFO 算法),在发生拥塞时,率先丢弃 out 分组,更好地保证 in 分组的通过率和公平性。优先级业务比 AS 业务的价格高,而 AS 业务又比尽力传送型业务的价格高。用户可以根据不同的服务质量要求,要求不同的服务类型。

对于带宽管理,虽然可以通过资源预留协议(RSVP)来实现,但是 RSVP 处理开销较大。而对于 IP,实现拥塞控制较困难,所以在传统 IP 网上 IP 业务的服务质量较难保证。

## 2 利用 ATM 技术提高 IP 业务的服务质量

ATM 的 QoS 严格定义两类服务质量参数和具体的测试方法和指标来保证:1)与呼叫控制有关的参数,如连接建立时间、连接释放时间、呼叫阻塞概率等;2)与信元转移质量有关的参数,误码率、时延、时延抖动等。IP 尽力传送的思想很难实现 QoS。IP 如何实现 QoS,并借鉴 ATM 的 QoS 的实现方法(特别是带宽管理和拥塞控制),这些问题促进了 ATM 与 IP 的结合,不少的组织和公司提出了许多的解决办法<sup>[2-7]</sup>。

如果要在 IP 网上提供高质量的业务,需要端-端的服务质量支持。但 IP 网是无连接的网络,无法预先探知传输路径上的拥塞情况,要发送的 IP 分组被网络尽力传送,增加了发生拥塞和延时的可能性,也增加了提供服务质量的不确定性。仅依赖无连接的技术,IP 网无法满足对网络服务质量的需要,必须在广域网中采用面向连接的技术。在主要的 Internet 业务提供商的服务网络中,都采用面向连接的网络(如 X.25,帧中继,ATM)作为其骨干网络,而让 IP 业务在面向连接的网络上透明传输。

由于 ATM 网络具有提供灵活的扩展性和高的性能价格比,能够为实时业务预留带宽,支持多媒体业务和多点通信等优点,因此 ATM 技术能与 IP 很好地结合<sup>[8,9]</sup>。例如,ATM 论坛正在制定更简化的 MPOA(Multi-Protocol over ATM)标准,以支持 IP 业务在 ATM 网络上透明传输。但是由于 ATM 信令协议的复杂性,更好的解决办法是使用直通信令技术,IETF(Internet Engineering Task Force)正在制定这种直通信令技术的标准:MPLS(Multi-Protocol Label Switching)<sup>[10]</sup>。MPLS 是一种被业界看好的技术。它应用于广域网,是 IP 和 ATM 相结合技术中一种好的解决方案。IETF 的 MPLS 工作组正在积极开展和制定有关 MPLS 的标准和测试工作。虽然 MPLS 最终会应用在不同的链路层协议上,但 IETF 目前将 ATM 作为第一个链路层的应用。多协议标签交换是一种分组转发机制,是由 Cisco 公司的 Tag Switching 演变而来,它既具有为路由的网络提供 ATM 网络的面向连接等优点,又克服了 ATM 网络的连接建立时间长等缺点。当一个 IP 分组进入基于 MPLS 的网络,该分组的路由计算在输入端的路由器完成,同时被拆成 ATM 信元,每个信元都被贴上一个标签。在随后的路由器中,只根据该标签信息来进行转发,即去掉旧标签,贴上一个新标签,并转发到下一

个路由器。这一简单过程重复进行,直至 MPLS 网络的输出端路由器,该标签被去掉,分组被重新打包。

若将区分服务业务类型和多协议标签交换机制结合起来实现,可为 Internet 提供所需的服务质量。具体做法是在每一个 DS 域中采用 MPLS 技术,当一个分组到达一个 DS/MPLS 域时,将在输入端的边缘路由器进行分类、标记,并进行 MPLS 路由。实现 MPLS 的一个较好的办法是:在 ATM 交换机中,将 VCI 空间合理地划分出的一部分给 MPLS,并利用 MPLS 标签的 COS(Class of Service)域来支持 IP 分组头的 DS 域定义<sup>[10]</sup>,其余保留给原有的 ATM 面向连接的业务。这样在同一个网络中,既可以支持 ATM 的 VBR 和 CBR 等业务,又可支持 IP 的优先级业务类型、可信性业务类型和原有的尽力传送型业务类型。但是,MPLS 机制并没有给定具体的实现算法来实现区分服务的业务类型,如何在 MPLS 的 ATM 交换机上支持区分服务的业务类型是亟待深入研究的问题。目前的文献都假定交换机采用最简单的 FIFO 排队策略,而 FIFO 机制仅提供有限的服务质量,本文给出一种更好的提高区分业务服务质量的方案。

### 3 实现方案

在实际的网络环境中,信源可以根据需要(如分层编码算法)将发送的分组设置成 in 分组或 out 分组,或者网络输入端的 DS/MPLS 路由器根据用户的 SLA 协议,将不超过协议比特率的那部分分组标记为 in 分组,其余的标记为 out 分组。可见,in 和 out 分组属于不同的服务等级。

一般采用的 FIFO 方案分别对 in 分组和 out 分组提供两套 RED 算法<sup>[11]</sup>。通常,in 分组和 out 分组被放入同一缓存中,以保持信元的次序,并按照 FIFO 排队策略接受服务,这种采用 FIFO 策略的 RIO 算法可以提供有限的服务质量<sup>[12]</sup>。为了提高 FIFO 排队策略的性能,可采用分级排队的方法:将属于不同连接的 in 分组放入 in 队列(采用 RED 算法管理),将属于不同连接的 out 分组放入 out 队列(采用 RED 算法管理)。in 分组具有比 out 分组更高的优先级,out 分组必须在 in 队列中没有 in 分组时才能接受服务。所以 in 分组的通过率不会受到 out 分组到达的影响。在只有一个队列的情况下,也可以采用 push out 的思想,只要队列中存在 out 分组,in 分组就可以进入队列并将 out 分组挤出队列。

设定缓存的容量为  $B$ (信元数),令 RED 算法的低门限  $T_{\min th}$ (信元数)和高门限  $T_{\max th}$ (信元数)。RED 算法利用指数加权的滑动平均来计算平均排队长度  $avg(t)$ ,当每一个分组到达时,交换机计算平均排队长度为

$$avg(t)=(1.0-w_q)avg(t)+w_q Q(t) \quad (1)$$

式中  $w_q$  为加权系数。

交换机将平均排队长度  $avg(t)$  分别与低门限  $T_{\min th}$  和高门限  $T_{\max th}$  相比较。当平均排队长度  $avg(t)$  小于低门限  $T_{\min th}$  时,交换机接受到达的分组。当平均排队长度  $avg(t)$  大于高门限  $T_{\max th}$  时,交换机进入分组丢弃阶段,丢弃到达的分组。当平均排队长度  $avg(t)$  大于低门限  $T_{\min th}$  且小于高门限  $T_{\max th}$ ,交换机进入拥塞避免阶段,以概率  $P_a$  丢弃到达的分组, $P_a$  是平均排队长度的函数。某一连接的分组被丢弃的概率正比于该连接对交换机的带宽的占用率。

在 ATM 网络中,由于当一分组中的信元到达 ATM 交换机时,该交换机无法通过 AAL5 的标志获得该到达分组的长度  $S_p$  信息,故必须对原有的算法进行修改,利用前一个分组长度  $S_{p1}$  来对分组丢弃概率进行加权为

$$P_b=P_{\max}[avg(t)-T_{\min}]/(T_{\max}-T_{\min}) \quad (2)$$

$$P_b=P_b S_{p1}[i]/\sum_{i=1}^N S_{p1}[i] \quad (3)$$

$$P_a=P_b/(1-CP_b) \quad (4)$$

式中  $P_{\max}$  是丢弃概率的上限;  $C$  为自上一个被丢弃的分组后未被丢弃的分组数目。  $C$  越大, 分组丢弃概率也缓慢增大。

当网络的负荷持续的大幅度波动时, 交换机的缓存会溢出。这时, 应将其与 EPD 算法配合使用<sup>[12]</sup>, 即当实际排队长度超过 EPD 算法的门限值  $K$ (可令  $K=T_{\max}$ )时, 交换机以 EPD 算法丢弃到达的分组。

#### 4 实验结果和分析

设在 MPLS 的 ATM 网络内部的 ATM 交换机、AS 业务和尽力传送型业务的分组输入过程为 ON-OFF 到达过程, ON (OFF) 的持续时间服从 Pareto 分布。本文考察  $\beta_1 = \beta_2 = 1.25$  的 Pareto 分布, 此时 ON (OFF) 持续时间的方差为无穷大, 这是经统计分析较符合实际情况的参数值。对于 ON-OFF 业务源, 在 OFF 期间没有信元产生。在 ON 期间, 按 Poisson 分布到达的信元构成一个分组, ON 期间信元的到达率为  $\delta$ 。

设  $B=200$ ,  $\mu=1$ (服务率),  $w_q=0.002$ 。采用文献[13]中定义的分组通过率  $G$  指标, 将输入业务分成两组, 两组业务到达的业务特性相同, 如图1所示。ON-OFF 过程的 Pareto 分布参数:  $\alpha_1=2$ ;  $\beta_1=1.25$ ;  $\alpha_2=2$ ;  $\beta_2=1.25$ ;  $\delta=0.8$ 。且对于本文的算法而言, 这两组业务分别代表 in 分组和 out 分组。增加 out 业务源的数目, 也增加了总的分组到达率。

因为 ATM 交换机支持综合业务, 所以网络中存在实时的高优先级的 CBR 和 VBR 业务和 Premium 业务。由于存在高优先级等业务, IP 分组的有效带宽是时变的, 并受高优先级等业务的带宽占用率的控制<sup>[12, 14]</sup>。为了方便比较时变带宽对该算法性能的影响, 设 IP 分组的有效带宽表示

为一个两状态(ON/OFF)模型。在 ON-OFF 的持续时间服从 Pareto 分布时, ON 的持续期参数为:  $\alpha_{\text{ON}}=20$ ,  $\beta_{\text{ON}}=1.25$ ; OFF 持续期参数为:  $\alpha_{\text{OFF}}=20$ ,  $\beta_{\text{OFF}}=1.25$ 。在 ON 持续期, IP 分组的有效带宽为  $r_0=0.9$ ; 在 OFF 持续期, IP 分组的有效带宽为  $r_1=0.3$ 。

从图1中可以看出, 该算法通过在缓存发生拥塞时率先丢弃 out 分组, 使 in 分组的通过率在较拥塞的缓存也能维持较高的通过率。

因为分级排队算法能够为 in 分组提供独立的缓存, 故 in 分组的通过率得到了充分的保证。在时变的可用带宽下, 分级排队算法的 in 分组通过率超过采用 FIFO 排队策略的 RIO 方案下的 in 分组通过率大约0.2 左右<sup>[12]</sup>, 说明本文方案采用了分级排队的思想, 能够更好地提高 IP 业务的服务质量。

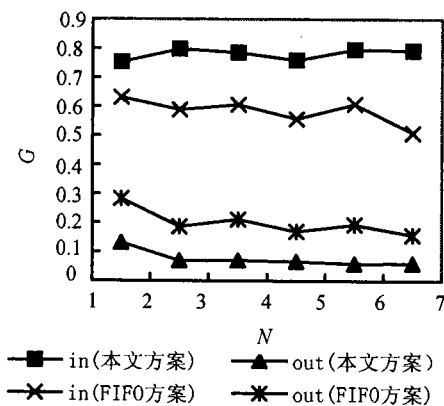


图1 in 分组和 out 分组的通过率随总信源数变化的关系曲线

#### 5 结束语

本文分析了在 Internet 网中存在的无法提供 IP 业务服务质量的原因, 提出了利用 ATM 技术来提高 IP 业务的服务质量的方法。通过研究比较, 本文提出的方案采用分级排队的思想, 能够更好地保证 IP 业务服务质量。

## 参 考 文 献

- 1 孙海荣, 李乐民. 交换式局域网. 电子科技大学学报, 1995, 24(4): 337~343
- 2 张 涛, 邱 昆, 唐明光. 一种基于波分复用的 ATM 光交换结构. 电子科技大学学报, 1998, 27(4): 371~374
- 3 Sun Hairong, Huang Ke, Li Lemin. Supporting IP on the ATM networks: an overview. Computer Communications Elsevier Science, 1998, 32(11): 445~452
- 4 Li T, Rekhter Y. Provided architecture for differentiated services and traffic engineering (PASTE). Internet Draft, 1998
- 5 ATM Forum Technical Committee. Multi-protocol over ATM v1.0, 1997
- 6 Newman P, Minshall G, Lyon T. IP switching: ATM under IP. IEEE/ACM Transaction on Networking, 1998
- 7 Rekhter Y, Davie B, Karz D. Cisco system'tag switching architecture overview. RFC 2105, 1997
- 8 Viswanathan A, Feldman N, Boivie R, *et al.* ARIS: aggregate route based IP switching. Internet Draft, 1997
- 9 Katsube Y, Nagami K, Esaki H. Cell switch router-basic concept and migration scenario. Network+Interop'96 Engineer Conference, MA, 1996
- 10 Rosen E. Multiprotocol label switching architecture. Internet Draft, 1998
- 11 Floyd S, Jacobson V. Random early detection gateways for congestion avoidance. IEEE/ACM Trans on Networking, 1993, (8): 397~413
- 12 Paxson V, Floyd S. Wide area traffic: the failure of poisson modeling. IEEE/ACM Trans on networking, 1995, (6): 227~244
- 13 Lapid Y, Rom R, Sidi M. Analysis of discard policies in high-speed networks. IEEE J-SAC, 1998, (6): 764~777
- 14 景志钢, 李乐民, 孙海荣. 在 VBR 背景业务下的 ABR 拥塞特性. 电子学报, 1999, (7): 14~18

## Study of Improving QoS of IP Traffic Using ATM Technology

Jing Zhigang      Li Lemin

(National Key Lab of Optical Fiber Communication, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** In this paper, the reason why Internet network can not provide quality of service is analyzed, and the according issues are discussed. Some proposed techniques to guarantee the quality of service in IP networks are briefly overviewed. Based on these discussions, this paper uses ATM technology to improve quality of service of IP traffic. Through a deeper view and comparison of some proposed schemes, a new queuing algorithm to guarantee the quality of service of IP traffic is proposed. The performance of the proposed algorithm is proved through simulation.

**Key words** Internet networks; asynchronous transfer mode; differentiated services; class-based queuing