

# 一种用于流控和资源管理的区分业务 Fast-TCP 机制<sup>1</sup>

王 茜 隆克平 程时端 马 健\* 张润彤\*

(北京邮电大学程控交换与通信网国家重点实验室 北京 100876)

\*(Nokia 中国研发中心和平里东街 11 号 北京 100013)

**摘 要** 该文提出了一种传统 TCP 技术的改进方案——基于区分业务的 Fast-TCP 机制, 简称区分业务 F-TCP。通过探讨和借鉴相关的流控、调度及队列管理策略, 进一步提出了区分业务 F-TCP 的实现算法。大量的仿真结果证实了这种机制及其实现算法的可行性和有效性, 以及相关的缓冲区占用量突发的估计公式。该机制可在现有的 Internet 网络中有效地提供业务区分。

**关键词** 区分业务, 业务质量, 流控, 资源管理

**中图分类号** TN919.3

## 1 引 言

近年来, Internet 网络飞速发展, 网络用户数在短短几年间增加了几十倍, 各种新业务也层出不穷。然而, 由于目前 Internet 网络带宽资源不足, 相应技术不完善, 网络拥塞现象时有发生。网络拥塞会极大地增加数据传输时延, 减小吞吐量, 降低网络资源利用率。在当前的 Internet 中, 传输控制协议 (TCP) 是常用的具有拥塞控制机制的协议, 它的关键技术是通过观测接收端的应答信息来调节信源发送数据的速率, 也就是慢启动机制<sup>[1]</sup>。TCP 拥塞控制技术的缺点在于它只有在网络发生拥塞并且丢失数据包后, 才能根据接收端的反馈信息发现拥塞, 减小发送速率。所以说, 目前的 TCP 技术可以缓和拥塞程度但不能避免拥塞的发生, 需要进一步的改进。

在整个网络中, 路由器是唯一能自始至终观察网络流量状况的网络节点, 也是最早发现网络拥塞的节点。如果我们可以根据路由器中的流量状况推断出网络进一步的流量变化, 从而在这些节点发生拥塞前通知信源, 减小发送速率, 就可以在一定程度上避免网络拥塞。为此马健博士提出了一种 TCP 的改进机制 Fast-TCP<sup>[2-4]</sup>, 这种机制通过路由器中缓冲区的占用量或输出链路的利用率判断是否将发生拥塞, 并通过延迟应答 (ACK) 消息来减小信源的发送速率。

随着计算机通信、数据处理等相关技术的不断改进, Voice Over IP (VOIP), Video Conference 等实时多媒体业务越来越多地在 Internet 网络上传输。IP QoS 问题成为国际上的一个研究热点。目前, 人们比较关注的机制是 IETF 提出的区分业务 (Differentiated Services) 体系模型<sup>[5]</sup>, 这种体系可以针对不同的业务需求采用不同 PHB 转发方式处理路由器中的数据包。区分业务体系建议了相关的业务量调节、队列调度以及资源管理等策略, 用于系统地解决不同业务在网络中的需求差别。但是它采用了比较复杂的处理技术, 并且需要在路由器和业务终端中做较大的改动, 不易于实现。

因此, 本文将区分业务的思想与 F-TCP 流控机制的思想相结合, 提出了基于区分业务的 F-TCP 机制, 同时探索了这种机制的实现算法。仿真结果证实了这种机制及其实现算法的可行性和有效性, 该机制是在现有 Internet 网中提供业务区分的有效方式。

## 2 区分业务 F-TCP 机制基本思想

### 2.1 简单的 F-TCP

简单的 F-TCP 流控机制是对传统 TCP 的改进, 适用于以 TCP 为传输层协议的网络。

<sup>1</sup> 2000-07-28 收到, 2001-05-02 定稿  
诺基亚研究中心合作项目资助

F-TCP 的基本思想是: 路由器监视网络的流量状况, 网络可能发生拥塞时, 路由器通过延迟信宿向信源返回的应答消息 ACK, 通知信源网络将拥塞, 并利用 TCP 的慢启动机制减缓发送速率, 从而减小网络中的流量增加速度, 尽可能地避免拥塞发生。当然, 路由器发现拥塞预示时, 可以在本节点直接处理, 也可以根据需要通知其它网络节点延迟 ACK。在路由器中, F-TCP 是单向的控制机制, 它不影响正向的数据传输, 而只是延迟反向的 ACK 传送。图 1 表示 F-TCP 流控机制在路由器中的工作原理。

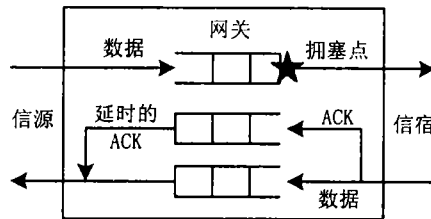


图 1 简单 F-TCP 流控机制的工作原理

F-TCP 流控机制的主要优点在于不需要改动传统的 TCP 协议, 也不需要业务终端中增加操作, 它只在拥塞节点处延迟 ACK 的发送, 并借用 TCP 的本身机制实现流量控制和拥塞避免功能。F-TCP 还可以通过不同的 ACK 延时策略整形业务流, 而不象其它流控机制那样要求信源改变发送机制和发送速率才能调整流量特性, 如 Internet 控制信息协议 (ICMP)<sup>[6]</sup> 和明显的拥塞指示 (ECN) 策略<sup>[7]</sup> 等。因此, F-TCP 具有其它流控机制不具备的简单性和易于实现性。

## 2.2 区分业务 F-TCP 机制

区分业务 F-TCP 机制是 F-TCP 和 IETF (Internet Engineering Task Force) 定义的区分业务体系二者思想的结合。简单而言, 它将不同的业务按其质量需求分类, 通过网络节点的不同处理机制实现各自的业务质量。区分业务体系要求在 IP 包头中使用 DS 域 (IPv4 中的 ToS 域或 IPv6 中的 Traffic Class 域), 标识每个数据包的业务类型和质量需求。然而目前的多数传输协议和应用程序不使用这个域, 在传输过程中也被忽略。因此, 我们考虑到当前的 Internet 中存在多种基于 TCP 的业务, 如 WWW 业务 (基于超文本传输协议 HTTP), 文件传输 FTP 以及远程登录 Telnet 等, 这些业务都具有各自不同的质量需求。WWW 业务与传统 TCP 业务不同, 它要求为一页内的多个对象同时建立短时间的连接, 以提高整页的传输速度, 因此 WWW 业务对时延要求较高; FTP 业务用于传送较大的文件, 具有吞吐量大的特性, 它对时延的要求较低, 但也需要较短的 RTT (Round Trip Time) 来提高吞吐量; 相对于这两种业务, 其它业务的质量要求较低。因此, 我们将这些业务分成三类, 相对于每一类设置相应的 ACK 延时等级和触发条件, 在网络将拥塞时根据每种类型的缓冲区占用量触发延时不同等级的业务。采用这种协议分类方式可以不改动目前存在的所有 Internet 应用程序, 只需在传输节点中按 RFC793 建议的端口号来区分不同业务, 可行性较强。

## 3 区分业务 F-TCP 机制的实现算法

为了在现有的网络中实现区分业务 F-TCP 机制, 4 个重要的问题有待解决:

### 3.1 拥塞检测机制

如果业务流量大于网络带宽资源, 来不及转发的数据包将在路由器中缓存, 当缓冲区的占有量超过了它的容量时, 拥塞就会发生。因此, 我们可以通过实时观测路由器缓冲区的占有量及

其增长速度判断网络的拥塞程度。另一方面,为了满足区分业务的不同质量要求,需要在网络中加权分配资源。我们研究了 GPS(Generalized Processor Sharing) 算法<sup>[8]</sup>,它的每个业务流  $i$  具有相应的权  $\Phi_i$ ,所有激活的业务流按照自己的权值分配网络资源(链路带宽或缓冲区)。在我们的算法中,设定了一个缓冲区总占有量的门限值以及 3 种业务的权值,当缓冲区内数据超过总门限时,我们进一步判断每种业务的占有率是不是超过相应权值分配的资源,只有在两个条件都满足时,我们才延时发送通过这个路由器的该类业务的 ACK 来减缓其信源的发送速度。如果  $Th$  表示缓冲区总占有量的门限值,则业务流  $i(i=1,2,3\cdots)$  各自的门限值为  $\{\Phi_i / \sum_i \Phi_i\} \times Th$ 。

### 3.2 队列调度策略

通常网络中使用的路由器只有一个队列并且采用“先进先出”调度算法,这种方式不能满足区分业务 F-TCP 机制对数据分组和 ACK 分组区别处理的需要。如果设置两个队列调度数据和 ACK 分组,不能有效地区分延时不同种类业务的 ACK 分组。如果设置 6 个队列,则会增加调度的复杂性而没有特殊的效用。综合以上考虑,我们共设 4 个队列,一个是数据队列,用于调度所有业务类型的数据分组;另外 3 个是 ACK 队列,用于调度不同业务类型的 ACK 分组。同时,我们采用轮询的方式调度各队列。当然,在进一步研究中,也可以采用更加复杂的排队策略,如 CBQ(Class-Based Queuing)<sup>[9]</sup>, WFQ(Weighted Fair Queuing)<sup>[10]</sup> 系列等,来处理更多的业务类型。

### 3.3 延时计算算法

在传统 TCP 中,慢启动阶段和拥塞避免阶段信源发送窗口的增长速度是不同的。慢启动阶段,信源收到一个 ACK 后发送窗口值将增加一个,可以再发送两个数据包,也就是速率增加一倍;拥塞避免阶段,信源只有收到所有包的 ACK,窗口值才能增加一个。因此,我们主要考虑慢启动阶段的大增长率情况时避免拥塞。假设  $R$  表示较拥塞链路的传输速率, $L$  表示分组的平均长度,则一个数据包在该链路中的传输时延  $D = L/R$ 。在网络非拥塞状态下,链路上的数据包背靠背地传送,反向 ACK 的发送间隔,也就是延时量与  $D$  相同时可以使发送速率保持平衡,因此在路由器中延时  $D$  发送 ACK 可以适当整形业务流。如果网络发生拥塞,ACK 的延时量应是它引起的连续两个数据包传输的时延值  $2D$ 。而这就是我们所采用的  $D/2D$  延时算法(见图 2)。

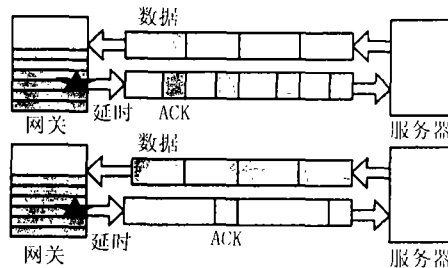


图 2 ACK 延时  $D$  和  $2D$  的情况

### 3.4 延时设置算法

在简单 F-TCP 机制中,不管是什么业务的 ACK 分组只设置一种延时值,这样不能有效地控制各种业务的业务量特性。相应于区分业务 F-TCP 机制中的 3 种业务类型,我们设置了 3 种延时等级: HTTP 等对延时敏感的业务为最高等级,即延时时间最短; FTP 等对带宽需求大的业务为中等级别,即延时时间中等;其它业务归为 Best-effort 级,延时时间最长。在算法中我们采用标准延时时间乘以不同系数  $a$  的方式实现 3 种延时等级。这里  $a$  取值范围为  $(1, 1.5)$ 。对 HTTP 等业务  $a$  可设为 1,而 Best-effort 比 FTP 业务的  $a$  值大。

综合以上问题的考虑, 本文提出了一种有效的区分业务 F-TCP 实现算法. 这种算法采用 GPS 机制确定延迟门限, 通过 3 种延时等级和  $D/2D$  延时策略区别延迟不同业务的 ACK 分组. 算法及其参数描述如下:

$Q$ : 数据缓冲区的占有量;

$Th$ : 触发拥塞避免的缓冲区门限值;

$Th\text{-http}$ ,  $Th\text{-ftp}$ ,  $Th\text{-others}$ : HTTP, FTP 或其它业务 ACK 包的延时触发门限;

$Q\text{-http}$ ,  $Q\text{-ftp}$ ,  $Q\text{-others}$ : HTTP, FTP 或其它业务在数据缓冲区的占有量;

$D\text{-http}$ ,  $D\text{-ftp}$ ,  $D\text{-others}$ : HTTP, FTP 或其它业务 ACK 包的延时值;

$D$ : 拥塞链路中数据包的传输时延;

$\Phi 1$ ,  $\Phi 2$ ,  $\Phi 3$ : HTTP, FTP 或其它业务的权值;

$a 1$ : FTP 业务与 HTTP 业务 ACK 包延时值的相差系数;

$a 2$ : 其它业务与 HTTP 业务 ACK 包延时值的相差系数;

用简单的程序语言表示算法:

$Th\text{-http} = Th \times \Phi 1$ ;  $Th\text{-ftp} = Th \times \Phi 2$ ;  $Th\text{-others} = Th \times \Phi 3$ ;

If  $Q < Th$

If  $Q\text{-http} < Th\text{-http}$   $D\text{-http} = D$ ;

If  $Q\text{-ftp} < Th\text{-ftp}$   $D\text{-ftp} = a 1 \times D$ ;

If  $Q\text{-others} < Th\text{-others}$   $D\text{-others} = a 2 \times D$ ;

Else

If  $Q\text{-http} > Th\text{-http}$   $D\text{-http} = 2D$ ;

If  $Q\text{-ftp} > Th\text{-ftp}$   $D\text{-ftp} = a 1 \times 2D$ ;

If  $Q\text{-others} > Th\text{-others}$   $D\text{-others} = a 2 \times 2D$ ;

## 4 区分业务 F-TCP 的仿真结果分析

为了验证区分业务 F-TCP 机制及其实现算法的正确性和有效性, 我们在 OPNET 仿真工具上建立了简单的和较复杂的仿真模型.

### 4.1 单链路网络模型

由一个路由器连接的单客户机 - 服务器对模型.

在这个仿真模型中, 路由器的数据包转发速率为 1500 包 /s, 数据缓冲区容量为 1Mbit; 从服务器到路由器的链路 1 速率为 44Mb/s, 从路由器到客户端的链路 2 速率为 1.544Mb/s, 因此链路 2 是拥塞链路, 当网络流量增加时, 路由器很快就会拥塞. IP 包长为 576 字节, 按照公式延时参数  $D = L/R = 576 \times 8/1.544\text{Mb/s} = 2.98\text{ms}$ . 另外, 链路 1 的传播时延为 3ms, 链路 2 的传播时延为 10ms. 区分业务拥塞触发门限值 600kb/s, 不同业务的权值  $\Phi 1, \Phi 2, \Phi 3$  分别为 0.4, 0.5, 0.1, 则 HTTP 业务延时触发门限值为 240kb/s, FTP 业务延时触发门限值 300kb/s, 其它业务延时触发门限值 60kb/s. 算法参数  $a 1$  为 1.1,  $a 2$  为 1.3. 仿真中, 客户机与服务器支持 HTTP, FTP, Telnet 及客户应用业务.

通过修改和调试仿真程序, 我们在网络中实现了区分业务 F-TCP 机制. 下面的仿真结果表明采用区分业务 F-TCP 后网络性能有了很大提高.

4.1.1 区分业务 F-TCP 机制对流控和拥塞避免的作用 首先需要说明的是, 在图 3 所示的仿真结果中数据队列占用量超过 1Mbit. 因为在实际仿真中我们将队列容量都设为无穷大, 两种机制的网络都不会出现拥塞和分组丢失, 可以公平地比较区分业务 F-TCP 与传统 TCP 机制对流控与拥塞避免的作用. 但我们仍设定虚队列容量为 1Mbit, 这样当占用量超过 1Mbit 时, 认为网络已经发生拥塞.

图 3 表示在相同网络条件下, 采用区分业务 F-TCP 的路由器的队列占用量不超过 700kbit, 而传统 TCP 路由器的占用量超过了 1Mbit, 且前者的占用量比后者更加平滑. 也就是说, 采

用区分业务 F-TCP 机制后会减少队列溢出,降低拥塞率和数据丢失率,明显减少数据量的突发以及网络拥塞的情况。另外,图 4 表示采用区分业务 F-TCP 的路由器有更高的吞吐量,这也说明区分业务 F-TCP 不仅可以减少缓冲区溢出,减少拥塞,还能提高网络吞吐量。

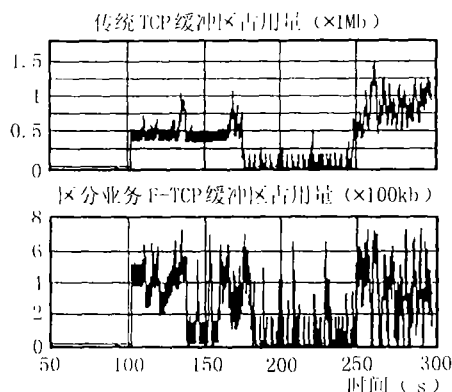


图 3 路由器缓冲区占用量

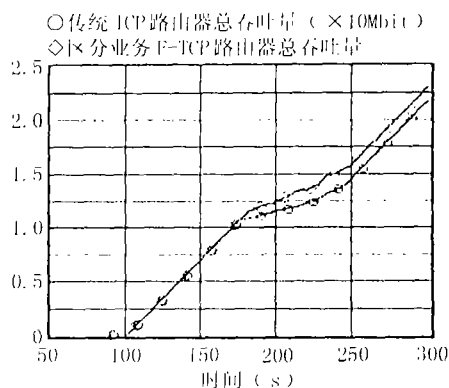


图 4 路由器数据吞吐量

4.1.2 区分业务 F-TCP 机制对不同等级业务资源分配管理的作用 在 ACK 延时算法中,有两种类型的门限控制着每种业务等级的延时。一种是总缓冲区门限,用于检测队列是否将被拥塞;另一种是每种业务的子门限,用于判断该业务的缓冲区占用量是否超过其权值所能分配的份额。加上不同的延时等级,区分业务 F-TCP 机制可以很好地控制每种业务在网络中的资源分配。

图 5,图 6 显示,区分业务 F-TCP 路由器可以控制每类业务的缓冲区占有量,如果没有超过总门限,每种业务可以随意占用缓冲区,即使是一种业务占有所有缓冲区;一旦超过总门限,则判断哪种业务超过了自己的门限,只有超过自己门限的业务才会被延时  $2D$ 。如图 5 显示出传统 TCP 路由器中,不管其它业务是否需要更多资源,FTP 业务始终占有 500kbit 缓冲区(由于 FTP 业务是由传送一定大小的文件产生的,在传送两个文件之间,可能会有一段时间无 FTP 业务,如图 5 中 175s 至 250s 之间。而图 6 中 100 到 110s 阶段没有 HTTP 和其它业务,FTP 业务几乎占有 500kbit 缓冲区,当 HTTP 业务建立后(110s 之后),FTP 业务减小其缓冲区占用量至 300kbit 左右,而 HTTP 业务的占用量达到 240kbit,这与权值分配(0.5, 0.4)的比例大致相吻合。图 6 显示 HTTP 是由许多短 TCP 连接形成,尖峰多表示建立的连接多,则它占用的资源就多,而且由于 FTP 业务量的相应减少,HTTP 业务的突发不会引起缓冲区总占用量的突发。因此在传统网络中,HTTP 等高级业务可能因为建立时间晚而占用很少的资源,而区分业务 F-TCP 网络中就不会出现这样的情况。

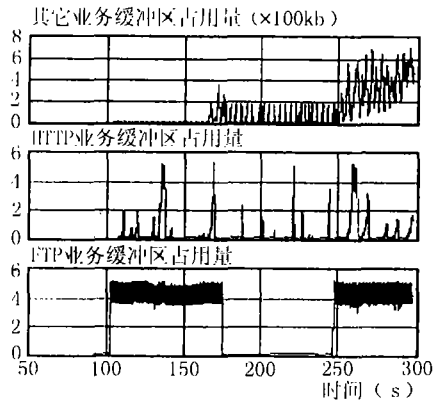


图 5 传统 TCP 路由器缓冲区占用量

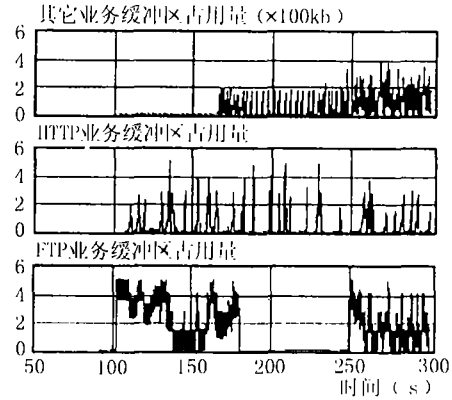


图 6 区分业务 F-TCP 路由器缓冲区占用量

另一方面, 区分业务 F-TCP 也控制了链路带宽的分配。仿真中, 拥塞链路 2 的带宽将由 HTTP, FTP 及其它业务共享。仿真结果同时也证明了与传统 TCP 网络相比, 区分业务 F-TCP 网络中 HTTP 业务占有量增加且比较均匀, FTP 业务占用的带宽有所减小, 其它业务的带宽几乎没有变化。由此可见, 区分业务 F-TCP 网络中, 不同等级业务可以按分配的权值  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  占用资源, 通过不同触发门限值的设置, 调节业务对资源的占用比例, 并使之获得相应的性能保障。而且在实际网络中, 可以按照客户的要求调整这些权值来区别不同等级的业务, 具有一定的灵活性。

#### 4.2 多链路网络模型

较复杂仿真网络模型如图 7 所示。共有 4 台路由器, 3 台服务器和 5 台客户机。网络同样支持 FTP, HTTP 和其它业务。每条链路速率都为 1.544Mb/s, 每台路由器的缓冲区设为无穷大, 且转发速率为每秒 5000 个分组。通过链路时延的不同来调整不同客户机访问服务器的时间和频度。其中客户机 1, 2 到路由器 1, 路由器 4 到服务器 2, 以及各路由器之间时延为 1ms, 客户机 5 到路由器 4 为 25ms, 其它链路为 9.5ms。

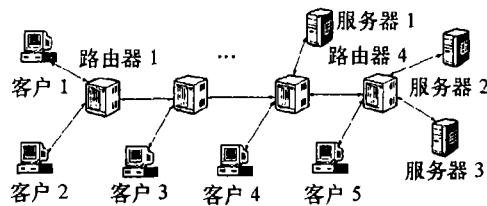


图 7 多链路网络仿真模型

由于 5 台客户机都向 3 台服务器申请业务, 则离各服务器近的路由器——路由器 3 和 4 成为主要拥塞点。通过在这两个路由器实现区分业务 F-TCP 技术 (参数设置与简单网络中相同), 从以下分析中可以看到网络具有更好的性能。

4.2.1 区分业务 F-TCP 对流量和拥塞的控制 从图 8 和 9 中我们可以看到, 通过采用区分业务 F-TCP, 路由器 3 和 4 的缓冲区占用量很好地控制在 500kbit 之下, 与设置的门限值很好地吻合。而传统 TCP 中路由器 3 的缓冲区占用量最高达到 2.4Mbit, 路由器 4 的缓冲区占用量最高也达到 1.2Mbit。如果路由器的容量设为 1Mbit, 则传统 TCP 网络的拥塞情况就会很严重。而区分业务 F-TCP 的路由器 3 和 4 中则拥塞的可能性较小。

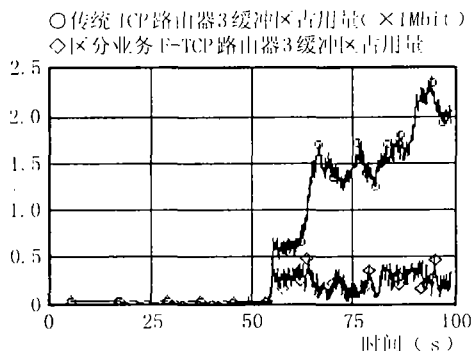


图8 路由器3的缓冲区占用量

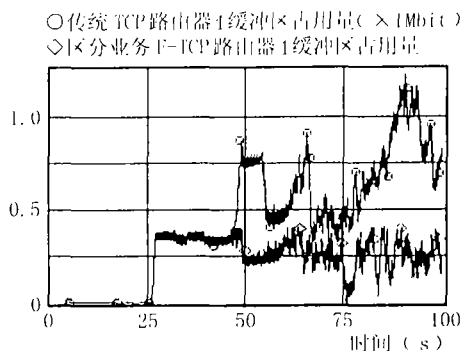


图9 路由器4的缓冲区占用量

4.2.2 区分业务 F-TCP 提高网络吞吐量 如果说路由器缓冲区的突发减小,有可能是因为各客户机的吞吐量减少而形成的。区分业务 F-TCP 中并不是这样的。通过记录客户机流量的仿真结果,可以很清楚地看到各客户机的吞吐量都有不同程度的增加。

表1显示,在相同仿真时间内,客户机2的吞吐量从传统TCP网络的600kbit增加到区分业务F-TCP网络的1Mbit,客户机4的吞吐量从150kbit上升到230kbit。其它客户机的吞吐量也增加了,网络总吞吐量共增加了大约1.7Mbit。

表1 各客户机吞吐量增量表

|              | C1  | C2  | C3  | C4 | C5  | 总量   |
|--------------|-----|-----|-----|----|-----|------|
| 吞吐量增量 (kbit) | 250 | 400 | 500 | 80 | 500 | 1730 |

另外,从各客户机的不同等级业务的仿真结果也可以得到与简单网络相同的资源分配情况,在此不再次列举。由此可见,区分业务 F-TCP 机制在单链路和多链路网络中都能获得很好的控制效果,大大改善网络性能。

### 4.3 缓冲区增量的研究

区分业务 F-TCP 能够很好地控制拥塞路由器的缓冲区占用量,但其控制能力到底如何呢?

在  $D/2D$  延时算法中,缓冲区占用量低于门限时,ACK 延时  $D$ ,而当缓冲区占用量超过门限时,ACK 延时  $2D$ 。因此,从路由器发现拥塞开始延时  $2D$ ,到延时  $2D$  的 ACK 包到达源端,源端减小发送速率之间,缓冲区的占用量仍然会增加,而且会超过门限值。这就是为什么门限值应设置成小于缓冲区容量,而不能直接等于缓冲区容量。通过分析,这个额外的增量由3部分数据包组成:拥塞链路前向链路上正在传送的数据包  $N_{\text{data}}$ ;源端发送窗口中等待发送的数据包  $W_r$ ;以及拥塞链路前向链路上正在传送的数据包  $\alpha N_{\text{ACK}}$ :

$$\text{PKT}_{\text{bit}} = (N_{\text{data}} + \alpha N_{\text{ACK}} + W_r)B \quad (1)$$

其中  $\alpha$  是一个 ACK 包引起源端发送的数据包的平均个数,  $B$  是数据包的平均长度,单位为比特。经过研究与计算,我们得出单链路仿真模型中的缓冲区增量的计算公式:

$$\text{Max}_{\text{bit}} = \frac{\alpha D_1 R_1 R_2 B}{R_1 B + 8R_2(H_{\text{IP}} + H_{\text{TCP}})} + D_1 R_1 + C(\alpha R_2 - R_1) \quad (2)$$

其中  $R_1$ ,  $R_2$  是链路1和2的速率,  $D_1$  是链路1的时延,  $H_{\text{IP}}$  和  $H_{\text{TCP}}$  分别是IP和TCP包的包头长度,  $C$  为常数。当链路速率  $R_2 \ll R_1$  时, (2) 式可以简化为

$$\text{Max}_{\text{bit}} \approx \frac{2D_1 R_1 R_2 B}{R_1 B + 8R_2(H_{\text{IP}} + H_{\text{TCP}})} + D_1 R_1 \quad (3)$$

以单链路仿真模型的参数为例, 可以计算出拥塞路由器缓冲区超过门限的增量为 141kbit。图 10 是缓冲区最大占用量与设置的门限的关系图。除了门限为 400kbit 之外, 从 300 至 900kbit 的门限值对应的缓冲区占用量曾线性增加, 且超过门限的增量都为 150kbit 左右, 与 (3) 式的结论相同。(3) 式可作为根据缓冲区容量设置门限的参考。

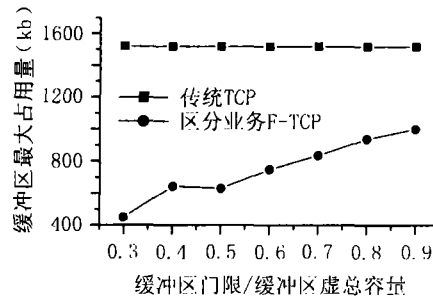


图 10 最大缓冲区占用量

## 5 结 论

本文提出了一种基于区分业务的 F-TCP 机制及其实现算法。它利用业务的不同 QoS 需求将业务分成多个等级, 通过区分延时路由器中的 ACK 来控制不同等级业务源的发送速率。它既可以缓解和避免网络拥塞, 又可以管理不同业务在网络中的资源分配, 满足它们的质量需求。大量仿真结果证实了本文提出的这种机制在使用 TCP 传输数据的 Internet 网络中具有良好的效果, 它可以增加网络的吞吐量, 平滑路由器中数据缓冲区的占用量, 从而减缓或避免拥塞的发生, 提高网络总的性能; 采用不同的拥塞门限和延时等级, 区别控制具有特定需求的业务流量, 又可满足不同业务的 QoS 需求, 并可针对 TCP/IP 网络中更多业务的 QoS 需求进行改进。另外, 文中还分析了缓冲区最大突发量的计算公式, 用于参数设置的参考。当然, 这种技术还处于实验阶段, 需要进一步考虑在实际网络中的实现。

## 参 考 文 献

- [1] W. Stevens, TCP slow start, congestion avoidance, fast retransmit and fast recovery algorithms, RFC 2001, Internet Engineering Task Force, Jan. 1997.
- [2] Jiug Wu, Peng Zhang, Jian Ma, Improving TCP performance over ATM by the fast TCP flow control, International Conference on Communication Technology (ICCT'98), Beijing China, 1998, S46-07-1-S46-07-5.
- [3] Ma Jian, Interworking between TCP and ATM flow controls, ATM Forum/97-0960, 1997.
- [4] Ma Jian, A simple fast TCP flow control in IP network or IP/ATM subnet—A significant improvement over TCP, 技术报告, Nokia Research Center, 1997.
- [5] S. Blake, D. Black, M. Carlson, An architecture for differentiated services, Drafts, Internet Engineering Task Force, Oct. 1998.
- [6] J. Postel, Internet Control Message Protocol, RFC792, Internet Engineering Task Force, Sep. 1991.
- [7] K. K. Ramakrishnan, Sally Floyd, A proposal to add Explicit Congestion Notification(ECN) to IP. Drafts, Internet Engineering Task Force, Oct. 1998.
- [8] R. Guerin, V. Peris, Quality-of-service in packet networks, Basic mechanisms and directions, Computer Networks, 1999, 31(21), 169-189.



- [9] S. Floyd, Van Jacobsan, Link-sharing and resource management model for packet networks, IEEE/ACM Trans. on Networking, 1995, 3(4), 365-386.
- [10] A. Demers, S. Keshav, S. Shenker, Analysis and simulation of a fair queuing algorithm, Journal of Internetworking Research and Experience, October 1990, 3-26.

## DIFFERENTIATED SERVICE FAST-TCP POLICY FOR FLOW CONTROL AND RESOURCE ALLOCATION

Wang Qian Long Keping Cheng Shiduan Ma Jian\* Zhang Runtong\*

*(National Key Lab of Switching Tech. and Telecom. Networks,  
Beijing Univ. of Posts and Telecom., Beijing 100876, China)*

*\*(Nokia China R&D Center, Nokia House 1, No.11, He Ping Li Dong Jie, Beijing 100013, China)*

**Abstract** This paper presents an enhancement of flow control mechanism of traditional TCP, which is called as differentiated service Fast-TCP policy. Considering relative flow control, scheduling and queuing mechanisms, an effective implementation scheme of this policy is put forward. Lots of simulation results prove the feasibility and validity of differentiated service Fast-TCP policy and its implementation algorithm, and relative formula to estimate the burst of buffer occupancy. This policy suits for supporting differentiated services in current Internet.

**Key words** Differentiated service, Quality of Service(QoS), Flow control, Resource management

- 王茜: 女, 1975年生, 博士生, 主要研究方向: QoS保障的策略及实现机制、TCP/IP协议改进等.
- 隆克平: 男 1968年生, 副教授、硕士生导师, 主要研究方向: TCP/IP协议改进、QoS保障的策略及其实现机制、移动IP技术及应用、路由器的队列调度和缓存管理策略及算法等.
- 程时端: 女, 1940年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: ISDN, ATM, ATM和IP网的话音通信技术, 协议工程, 业务量工程, 宽带网络性能和服务质量等.