

在基于 MPLS 的 ATM 交换机上 RIO 算法实现的研究¹

景志钢 李乐民 孙海荣

(电子科技大学光纤通信国家重点实验室 成都 610054)

摘 要 如何提高 Internet 网上的服务质量是目前研究的热点。本文研究了在基于多协议标签交换机制的 ATM 交换机上支持区分服务业务类型的一种实现算法。通过对该算法的通过率、公平性和时延等性能的研究表明: RIO 算法能够较好地支持区分服务的业务类型。

关键词 Internet 网, ATM, 分组丢弃算法, 区分服务业务类型

中图分类号 TN913.24

1 引 言

目前, Internet 网只能支持一类称为尽力传送 (Best Effort) 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。但随着 Internet 网迅速地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^[1-5]。

如果要在 IP(Internet Protocol) 网上提供高质量的业务, 端到端的服务质量支持是需要的。但是, 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, 也增加了提供服务的不确定性。人们也已逐渐认识到: 单单依赖无连接的技术, IP 网无法满足对网络服务质量的需要, 在广域网中采用面向连接的技术也成为必需。这也就难怪, 在主要的 Internet 业务提供商 (ISP) 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 网络能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, 使得 ATM 技术正在被利用来与 IP 进行很好的结合^[1]。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 网络上透明地传输。但是由于 ATM 信令协议的复杂性, 越来越多的人认为更好的解决办法是使用直通 (Shortcut) 信令技术, IETF(Internet Engineering Task Force) 目前正在制定这种直通信令技术的标准: 多协议标签交换 (Multi-Protocol Label Switching, MPLS)^[2]。

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。MPLS 是一种分组转发机制。它由 Cisco 公司的 Tag Switching 演变而来。它的优势在于: 既能为基于路由的网络提供基于 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, 该分组同时被拆成 ATM 信元, 每个信元都被贴上一个标签 (Label)。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, 直到到达 MPLS 网络的输出端路由器, 该标签被去掉, 分组被重新打包。

除 MPLS 以外, 最近, IETF 提出了区分服务 (Differentiated Service, DS) 业务类型^[3-4]来满足用户对服务质量的要求。区分服务业务类型定义 IP 分组头的 DS 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。区分服务业务类型的实现模型主要基于文献 [5], 并支持优先级业务 (Premium Service) 类型, 可信性业务 (Assured Service, 以下简称 AS) 类型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

¹ 1999-01-08 收到, 1999-10-13 定稿

国家自然科学基金 (69682008) 和高校博士点基金 (98061409) 资助课题

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 (Service Level Agreement, 以下简称 SLA)。用户负责发送的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, 这部分的业务被标记为 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, 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 (Scheduling, 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。可以想象, 优先级业务需要比 AS 业务支付更多的价钱, 而 AS 业务需要比尽力传送型业务支付更多的价钱。用户可以根据不同的服务质量要求, 要求不同的服务类型。将区分服务业务类型, 多协议标签交换机制结合起来实现, 将能够为 Internet 提供所需的服务质量。

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。在基于 MPLS 的 ATM 交换机上如何支持区分服务的业务类型是学术界尚未开展和亟待研究的问题。本文将给出基于 MPLS 的 ATM 交换机上的一种实现算法, 并研究这种算法的性能。文中第 2 节介绍所采用分析模型。第 3 节叙述实现算法。第 4 节为性能研究和分析。第 5 节给出结论。

2 分析模型

我们认为, 实现 MPLS 的一个较好的办法是: 在目前的 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^[2]来支持 IP 分组头的 DS 域定义; 其余的保留给原有的 ATM 面向连接的业务。这样, 在同一个网络中, 既可以支持基于 ATM 的 VBR 和 CBR 等业务, 又可支持基于 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。由于 VBR 和 CBR 业务, 以及优先级业务类型具有较高的优先级, 一旦网络同意接纳这些业务, 业务的服务质量受到网络的保护。而可信性业务类型和原有的尽力传送型业务类型的服务质量如何, 将受到网络的拥塞程度的影响, 目前缺乏深入的研究, 也将是本文的研究重点。在本文中, 我们将高优先级业务 (及其它业务) 的分组到达考虑成对这两种业务 (包括 in 分组和 out 分组) 的有效带宽的一个时变的影响。

我们假定, 在基于 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 (包括 in 分组和 out 分组), 服从 Poisson 分布, 而分组长度 (按信元) 的分布为几何分布。信元的到达率为 λ , 一个到达的信元为分组头的概率为 q 。那么, 平均分组长度和分组到达率分别为 $1/q$ 和 λq ^[6]。

3 实现算法

要支持不同服务等级的业务, 可利用适当的缓存管理机制 (如分组丢弃算法) 和排队策略 (Scheduling) 来实现。我们假定高优先级业务具有各自的排队缓存, 所以它们的服务质量不受其它业务的影响。而对于 AS 业务和尽力传送型业务 (包括 in 分组和 out 分组), 为简化算法的实现, 一般采用 FIFO 的排队策略。而缓存管理机制的选择, 目前 RED(Random Early Detection) 及其扩展算法具有较好的性能。RED 算法由 Floyd 和 Jacobson 提出, 其主要思想是通过控制缓存的平均排队长度在较小的数值上, 减小缓存的排队时延, 而在发生拥塞时, 根据各连接占用带宽的情况选择地丢弃分组, 能避免网络中的 TCP(Transmission Control Protocol) 信源由于交换机丢弃分组同时减小发送窗口而造成的通过率下降^[7-8]。由于 RED 算法较之其它的分组丢弃算法 (如 EPD(Early Packet Discard 和 PPD(Partial Packet Discard 算法)) 优越的性能, 目前 RED 算法 (及扩展算法) 正被 IETF 推荐在 Internet 网上广泛采用、测试和标准化^[9]。

RIO(RED with In and Out) 算法的思路被文献 [10,11] 引入, 作为 IP 网上一种提供优先级的方案, 它是更先进的 RED 算法。在本文中, 我们将研究在基于 MPLS 的 ATM 交换机上 RIO 算法的实现。

在基于 MPLS 的 ATM 交换机上实现 RIO 算法, 必须进行必要的修改和简化。RIO 算法分别对 in 分组和 out 分组提供两套 RED 算法。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。由于存在两套算法, 两套参数, 使 RIO 算法比较复杂^[10-11]。其实, 两套算法的一些参数是可以合并的。在本文中, 我们将两套算法合成一个算法, 简化了算法的实现。我们假定 RIO 算法具有三个门限。假定缓存的容量为 B (信元数), 低门限为 $TH1$ (信元数), 中间门限为 $TH2$ (信元数) 和高门限为 $TH3$ (信元数)。RIO 算法 (与 RED 算法一样) 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:

$$avg(t) = (1.0 - w_q) \times avg(t) + w_q \times Q(t), \quad \text{其中 } w_q \text{ 为加权系数。} \quad (1)$$

交换机将平均排队长度 $avg(t)$ 分别与三个门限相比较。

(1) 当平均排队长度 $avg(t)$ 小于低门限 $TH1$ 时, 交换机接受到达的分组。

(2) 当平均排队长度 $avg(t)$ 大于低门限 $TH1$ 且小于中间门限 $TH2$ 时, 交换机按 RED 算法以概率 pa 只丢弃到达的 out 分组。 pa 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(ATM Adaptation Layer5) 的标志获得该到达分组的长度 $packetsize$ 信息, 必须进行相应地修改。这里, 我们采用了一种符合文献 [12] 建议的较易于在 ATM 交换机上实现的算法, 即利用前一个分组长度 $packetlengthlast$ 来对分组丢弃概率进行加权 (见图 1):

$$pb = \maxp \times (avg(t) - \minth) / (\maxth - \minth), \quad (2)$$

$$pb = pb \times \text{packetlengthlast}[i] / \sum_{i=1}^N \text{packetlengthlast}[i], \quad (3)$$

$$pa = pb / (1 - \text{count} \times pb), \quad (4)$$

count 为自上一个被丢弃的分组后, 未被丢弃的分组数目。 count 越大, 分组丢弃概率也缓慢增大。

(3) 当平均排队长度 $avg(t)$ 大于中间门限 $TH2$ 时, 交换机分别按 RED 算法计算 in 和 out 分组的分组丢弃概率。且对于 out 分组的最大分组丢弃概率 \maxpout 可大于 in 分组的最大分组丢弃概率 \maxpin 。

(4) 当平均排队长度 $avg(t)$ 大于高门限 $TH3$ 时, 交换机丢弃到达的分组。

由此可见, 三个门限值的选择对 RIO 算法的实现有较大的影响: 如果低门限 $TH1$ 取得过低, 会降低 out 分组的通过率; 如果中间门限 $TH2$ 取得过低, 会使 in 分组的通过率得不到很好的保证; 同样如果高门限 $TH3$ 取得过低, 会造成 in 和 out 分组的通过率的下降。反之, 如果门限值取得过高, 又可能会因为来不及丢弃 out 分组, 缓存已经溢出而造成信元的丢失。通过以上的分析再结合实验的方法, 我们确定了算法的门限值。

```

当一个信元到达 ATM 交换机:
if (这是该分组的第一信元)
{
  if (缓存的排队长度  $Q(t)$  大于给定门限  $K$ ) 丢弃该信元;
  else 接受该信元;
  if (到达的信元属于 out 分组)
  {
    计算平均排队长度  $avg(t)$ 
    if ( $TH1 < avg(t) < TH3$ )
    {
      count=count+1;
      计算分组丢弃概率 pa:
      以概率 pa 丢弃该信元;
      if (该信元丢弃) count=0;
    }
  }
  if (到达的信元属于 in 分组)
  {
    计算平均排队长度  $avg(t)$ 
    if ( $TH2 < avg(t) < TH3$ )
    {
      count=count+1;
      计算分组丢弃概率 pa:
      以概率 pa 丢弃该信元;
      if (该信元丢弃) count=0;
    }
  }
  if ( $TH3 < avg(t)$ ) 丢弃该信元;
}
else
{
  if (该分组中已被丢弃了信元) 丢弃该信元;
  else
  {
    if (缓存的排队长度  $Q(t)$  等于缓存的大小  $B$ ) 丢弃该信元;
    else 接受该信元;
  }
}

```

图 1 采用 EPD 的 RIO 算法

RIO 算法监控平均排队长度的变化, 以尽量在网络负荷发生变化时不丢弃到达的分组。但是, 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, 有必要将 RIO 算法和 EPD 算法^[3] 配合使用, 即当实际排队长度超过 EPD 算法的门限值 K (可令 $K = TH3$) 时, 交换机以 EPD 算法丢弃到达的分组, 这便是采用 EPD 的 RIO 算法 (以下简称 RIO 算法)。

如果令中间门限等于高门限, 且对 in 分组和 out 分组采用相同的最大分组丢弃概率 $\max_{pin} = \max_{pout} = \max_p$, 此时采用 EPD 的 RIO 算法变成采用 EPD 的 RED 算法 (以下简称 RED 算法)。

当一个分组到达缓存, 它会面临三种情况: 成功地被传输, 完全被丢弃 (当第一个信元到达时, 缓存的排队长度已超过设定的门限); 部分被丢弃。假定在某一段时间内, 到达的分组数目为 $p_{in}(t)$, 被成功传输的分组为 $p_{out}(t)$, 被完全丢弃的分组数为 $p_{plc}(t)$, 被部分丢弃的分组数为 $p_{plp}(t)$, 那么, 我们采用的分组通过率 $G^{[7]}$ (Goodput) 定义为

$$G = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{p_{out}(t)}{p_{in}(t)} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{p_{out}(t)}{p_{plc}(t) + p_{plp}(t) + p_{out}(t)}. \quad (5)$$

令每 i 路业务的通过率为 $G(i) (i = 1, 2, \dots, N)$, N 为总信源数。我们采用的公平性指标

fairness^[14] 定义为

$$\text{fairness} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N G(i)\right)^2}{N \sum_{i=1}^N G(i)^2} \quad (6)$$

4 性能研究和分析

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。在本文的研究中, 我们在固定有效带宽、时变有效带宽情况下, 对称和不对称业务条件下, 研究了 RIO 算法对 in 分组和 out 分组的通过率、公平性和时延等性能的影响。我们假定 $B = 200$, $\mu = 1$ (服务率), $w_q = 0.002$ 。

4.1 固定有效带宽下的性能比较

4.1.1 对称的业务源 对称业务源是指 in 分组和 out 分组服从相同的分组到达分布。

表 1, 表 2 分别在欠载(当 $\sum_{i=1}^N \lambda_i < \mu$)和过载(当 $\sum_{i=1}^N \lambda_i > \mu$)情况下, 研究了具有相同参数的同种 Poisson 的 in/out 业务源的性能。通过分析可以得到以下结论:

(1) 在欠载的情况下, RED 算法对 in 分组和 out 分组都能够提供公平的通过率。与 RED 算法相比, RIO 算法通过对 out 分组的丢弃, 为 in 分组提供了完全的通过率。

(2) 在过载的情况下, RIO 明显提高了 in 分组的通过率; 而 out 分组由于被交换机率先地丢弃, 通过率略有降低。

(3) RIO 算法分别为 in 分组和 out 分组提供了较好的公平性。

表 1 具有相同参数的 3 路 in/3 路 out 的同种 (Poisson) 业务源的性能比较 (欠载)

	in/out packet		
	1	2	3
λ_i	0.1	0.15	0.249
q_i	0.01	0.01	0.01

	Goodput	RED(160,40) maxp=0.02	RIO(160, 80, 40) maxpin=maxpout=0.02
in packet	$G(1)$	0.989189	1.0
	$G(2)$	0.990132	1.0
	$G(3)$	0.991000	1.0
out packet	$G(1)$	0.992288	0.965989
	$G(2)$	0.994405	0.983146
	$G(3)$	0.994995	0.972864

表 2 具有相同参数的 4 路 in/4 路 out 的同种 (Poisson) 业务源的性能比较 (过载)

	in/out packet			
	1	2	3	4
λ_i	0.1	0.15	0.2	0.3
q_i	0.01	0.01	0.01	0.01

	Goodput	RED(160, 40) maxp=0.02	RIO(160, 80, 40) maxpin=0.02 maxpout=0.02
in packet	$G(1)$	0.723192	0.921053
	$G(2)$	0.707641	0.942664
	$G(3)$	0.694075	0.915737
	$G(4)$	0.676589	0.925081
	Fairness	0.999400	0.999881
out packet	$G(1)$	0.688525	0.407767
	$G(2)$	0.628617	0.422886
	$G(3)$	0.636968	0.412334
	$G(4)$	0.628205	0.393127
	Fairness	0.998498	0.999317

所以无论欠载或过载，RIO 算法通过有效的缓存管理，提供了区分服务的服务质量，且对同一种服务等级 (in 或 out 分组) 提供了公平的通过率。

4.1.2 不对称的业务环境的影响 因为，在实际的网络环境，in 分组和 out 分组的到达分布是不对称的。我们考虑两种情况下，RIO 算法的性能。第一种情况中，到达的 in 分组多于到达的 out 分组；第二种情况相反，如表 3 所示。通过分析可以看出：无论是存在过多的 in 分组或过多的 out 分组，RIO 算法都能够提供较好的性能。即对同一种服务等级的业务提供公平的通过率，对不同服务等级的业务提供不同的服务质量。

表 3 不对称业务源下的性能比较 (固定带宽)

	in/out packet 的业务参数			
	1	2	3	4
λ_i	0.1	0.2	0.3	0.4
q_i	0.01	0.01	0.01	0.01

	Goodput	RIO(160, 80, 40) maxpin=0.02 maxpout=0.02		Goodput	RIO(160, 80, 40) maxpin=0.02 maxpout=0.02
in packet	$G(1)$	0.938119	in packet	$G(1)$	0.984848
	$G(2)$	0.946988		$G(2)$	0.988820
	$G(3)$	0.939243		Fairness	0.999996
	$G(4)$	0.927353	out packet	$G(1)$	0.691460
	Fairness	0.999944		$G(2)$	0.647796
out packet	$G(1)$	0.206107		$G(3)$	0.697674
	$G(2)$	0.189421		$G(4)$	0.662469
	Fairness	0.998224	Fairness	0.999078	

(第一种情况)

(第二种情况)

4.2 时变有效带宽的影响

RIO 算法主要用以提高属于 in 的 IP 分组的通过率。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 业务和优先级业务。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所控制^[15]。虽然，ON-OFF 模型只是对实际情况的近似，但已足以说明时变带宽对 RIO 算法的影响。为了方便比较时变带宽对 RIO 算法性能的影响，我们假定 IP 分组的有效带宽表示为一个两状态 (ON/OFF) 模型。在 ON-OFF 的持续期间服从 Pareto 分布时，ON 的持续期参数为： α_{ON} ， β_{ON} ；OFF 的持续期参数为： α_{OFF} ， β_{OFF} 。在 ON 持续期，IP 分组的有效带宽为 r_0 ；在 OFF 持续期，IP 分组的有效带宽为 r_1 。(参数见表 4)

表 4 具有相同参数的 4 路 in/out Poisson 业务源的性能比较 (时变带宽)

		in/out packet			
		1	2	3	4
λ_i		0.1	0.15	0.2	0.3
q_i		0.01	0.01	0.01	0.01

(Poisson 过程的参数)					
α_{ON}	β_{ON}	α_{OFF}	β_{OFF}	r_0	r_1
20	1.25	20	1.25	0.9	0.3

(有效带宽: ON-OFF 模型的参数)				
		RED(160, 40) maxp=0.02	RIO(160, 80, 40) maxpin=0.02 maxpout=0.02	RIO(160, 80, 40) maxpout=0.02 maxpout=0.04
in packet	G(1)	0.437751	0.566600	0.600390
	G(2)	0.390000	0.591221	0.587995
	G(3)	0.428281	0.595787	0.577004
	G(4)	0.430135	0.614525	0.616734
	Fairness	0.998067	0.999168	0.999385
out packet	G(1)	0.355422	0.177730	0.164151
	G(2)	0.361111	0.160055	0.170799
	G(3)	0.376176	0.171343	0.161259
	G(4)	0.407703	0.172999	0.180993
	Fairness	0.997082	0.998555	0.997519

表 4 研究了持续期间服从 Pareto 分布的有效带宽下, in 和 out 分组的到达过程都为 4 路 Poisson 过程时, RIO 算法的性能。图 2(a), 2(b), 2(c) 分别为该业务条件下, RED 算法(高门限为 160, 低门限为 40, 最大分组丢弃概率 maxp=0.02), RIO 算法(高门限为 160, 中间门限为 80, 低门限为 40, maxpin=maxpout=0.02)和 RIO 算法(高门限为 160, 中间门限为 80, 低门限为 40, maxpin=0.02, maxpout=0.04)的缓存的平均排队长度。

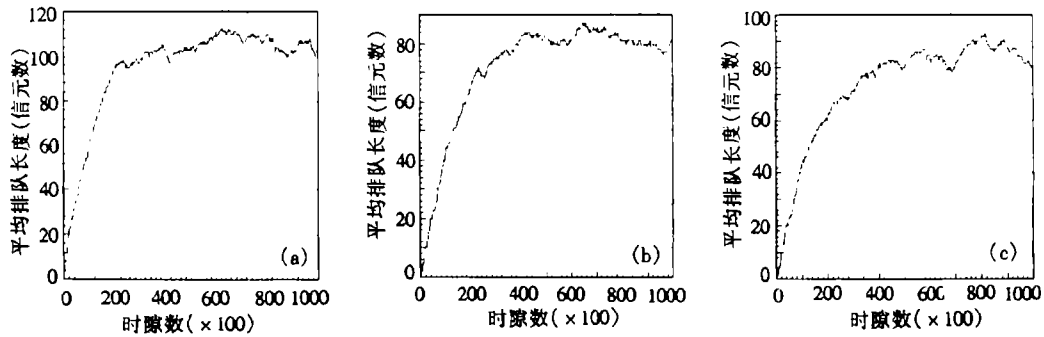


图 2 时变有效带宽下 RIO 算法对平均排队长度的影响

(a) RED 算法

(b) RIO 算法 (maxpout=0.02)

(c) RIO 算法 (maxpout=0.04)

将图 2(b) 和图 2(a) 相比较, 可以看出 RIO 算法由于率先丢弃 out 分组, 其平均排队长度(对应于平均排队时延)比 RED 算法的平均排队长度小; 将图 2(b) 和图 2(c) 相比较, 可以看出增大最大分组丢弃概率对平均排队长度的影响不大。从表 4 中看出: RIO 算法在发

生拥塞时率先丢弃 out 分组, 使 out 分组的通过率略有下降, 而使 in 分组能保持较高的通过率。另外, 增大最大分组丢弃概率对 RIO 算法的影响不大。通过分析可以得到以下结论:

(1) RIO 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。

(2) 与 RED 算法相比, RIO 算法有效控制了交换机的平均排队长度, 进一步降低的交换机的平均排队延时。

(3) 最大分组丢弃概率的改变对平均排队长度影响较小。最大分组丢弃概率改变对 RIO 算法通过率的影响也较小(见表 4)。

所以, 在时变有效带宽下, RIO 算法对同一种服务等级的业务提供公平的通过率, 对不同服务等级的业务提供不同的服务质量。

5 结 论

本文研究了在基于多协议标签交换机制的 ATM 交换机上的一种 RIO 实现算法。通过对这种算法(RIO 算法)的通过率、公平性和时延性能的研究发现, 对于 RIO 算法, 在欠载(交换机缓存不十分拥挤)的情况下, in 分组可获得完全的通过率; 在过载(交换机缓存较拥挤)的情况下, 由于 out 分组被率先丢弃, in 分组也能维持较高的通过率。RIO 算法对 in 分组和 out 分组(不同服务等级的分组)提供了不同的通过率, 且对于同一种服务等级的业务(in 或 out 分组)提供了相当公平的通过率。与 RED 算法相比, RIO 算法通过在发生拥塞时率先丢弃 out 分组, 有效控制了交换机的平均排队长度, 具有比 RED 算法更低的交换机平均排队延时。所以, 通过采用 RIO 算法, 基于多协议标签交换的 ATM 交换机能够更好地支持区分服务业务类型, 以满足用户对不同服务质量的要求。

致谢 本文的完成期间, 论文的第三作者正在美国 Duke 大学做访问研究工作。本论文工作得到了该校的电子与计算机工程系(ECE)的高级计算与通信中心(CACC)的帮助和支持。

参 考 文 献

- [1] Sun Hairong(孙海荣), *et al.* Supporting IP on the ATM networks: An overview. *Computer Communications*, 1998, 21(11): 1020-1029.
- [2] Rosen E, Viswanathan A, Callon R. Multi-protocol Label Switching Architecture. Internet Draft, Mar. 1998.
- [3] Li T, Rekhter Y. Provided Architecture for Differentiated Services and Traffic Engineering (PASTE). Internet Draft, Oct, 1998.
- [4] Black D, Black S, Carlson M, Davies E, Wang Z. An Architecture for Differentiated Services. Internet Draft, May, 1998.
- [5] Nichols K, Jacobson V, Zhang L. A Two-Bit Differentiated Services. Internet Draft, Nov, 1997.
- [6] Lapid Y, Rom R, Sidi M. Analysis of discard policies in high-speed networks. *IEEE J. on SAC*, 1998, SAC-39(1): 764-777.
- [7] Floyd S, Jacobson V. Random early detection gateways for congestion avoidance. *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 1993, 1(4): 397-413.
- [8] Floyd S, Fall K. Promoting the use of end-to-end congestion control in the internet. Available from <http://www.nrg.ee.lbl.gov/nrg-papers.html/>.
- [9] Braden B, Clark D. *et al.* Recommendation on queue management and congestion avoidance in the internet. Internet Draft, April, 1998.
- [10] Clark D, Wroclawski J. An approach to service allocation in the internet. Internet Draft, July, 1997.
- [11] Clark D, Fang W. Explicit allocation of best-effort packet delivery service. *IEEE/ACM Trans. on Networking*. 1998, 6(4): 362-373.

- [12] Floyd S. Notes on implementing RED with ATM, available from <ftp://ftp.ee.lbl.gov/email/red-atm.notes>.
- [13] Romanow A, Floyd S. Dynamics of TCP traffic over ATM networks. *IEEE, J. on SAC*, 1995, SAC-13(4): 633-641.
- [14] Goyal R, Jain R, Kalynaraman S, Fahmy S. UBR+: Improving performance of TCP over ATM-UBR service. *Computer Communications*, 1998, 21(3): 898-911.
- [15] 景志钢, 李乐民, 孙海荣. VBR 背景业务下的 ABR 拥塞特性. *电子学报*, 1999, 27(7): 9-13.

IMPLEMENTATION OF RIO ALGORITHM IN MPLS-BASED ATM SWITCHES

Jing Zhigang Li Lemin Sun Hairong

(National Key Lab. of Optical Fiber Communication, UESTC, Chengdu 610054)

Abstract How to improve the quality of service in internet networks is a hot topic at present. This paper presents an implementation algorithm—Random Early Detection with In and Out(RIO) to support differentiated services in multi-protocol label switching-based ATM switches. The throughput, fairness and delay of this algorithm are studied to show that this algorithm can support differentiated services efficiently.

Key words Internet networks, ATM, Packet discard scheme, Differentiated Services

景志钢: 男, 1972 年生, 博士生, 研究兴趣为高速网网络性能分析, Internet 网 QoS. 2000 年 3 月起美国 Polytechnic University 博士后.

李乐民: 男, 1932 年生, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 研究方向为数字信息传输与通信网.

孙海荣: 男, 1968 年生, 教授, 研究方向为宽带通信网.