

反压信号的延迟对信元丢失率的影响*

钱炜宏** 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】 分析了内部无阻塞输入/输出排队反压型 ATM 交换机因实现过程中反压信号的延迟而产生的对交换机性能的影响,提出了利用输出排队额外缓冲策略可以有效减少信元在输出端口处的丢失。文中结论对实际设计一输入/输出排队反压型 ATM 交换机具有一定参考意义。

关键词 输入/输出排队; 反压; Pareto 分布; 信元丢失率

中图分类号 TN913.24

近年来,有关内部无阻塞 ATM 交换机的研究很多^[1,2]。文献[1]指出了内部无阻塞的输入/输出排队 ATM 交换机从性能上来说具有接近于输出排队交换机的性能,而且实现比较简单,所以备受学者和各大公司的重视。在输入/输出排队 ATM 交换机中(见图 1)^[3~8],有一加速因子 S ,其含义是指在一个时隙内交换机能把最多 S 个输入端口的排头信元同时送到任一输出缓冲器中。各输入排队系统的排头构成了排头虚队列 HOL(Head of Line),排头虚队列中的信元通过仲裁输出到各输出缓冲器。常用的仲裁方式有两种:反压式(Backpressure)和信元丢失式(Queue-Loss)。在信元丢失式中,每一时隙能输送到输出缓冲器中的排头信元数只受加速因子 S 的限制,所以信元会因输出排队列满而丢失;在反压式中,理想情况下,每个输入队列能及时了解输出队列的状态,并有效防止排头虚队列在仲裁输出时的信元丢失。由此可见,反压式交换机的信元丢失只发生在缓冲容量有限的输入排队处,而信元丢失式交换机中信元的丢失除此之外还发生在输出缓存。但是,由于数字电路的延迟,反压型输入/输出排队 ATM 交换机的反压信号在实现中也会有一定的延迟,所以信元也会丢失在输出缓冲器处,需对此作一定的了解。另外近年来对现有网络中业务的大量统计表明,数据分组的到达间隔及分组长度不能用几何分布来描述,即 ON-OFF 源中 ON(OFF)的持续时间不满足几何分布^[9,10]。加州大学 Berkeley 分校的有关专家发现,TELNET 分组到达间隔及 FTPDATA 分组的长度都存在十分明显的重尾巴现象,如果用 ON-OFF 源来描述数据分组的随机过程,那么,ON(OFF)长度是一个重尾巴分布,并发现 Pareto 分布能很好地描述 TCP、FTP 分组的到达和长度。周期分布、几何分布和重尾巴分布在统计意义上有根本性差异:周期性的 ON-OFF 模型属于轻尾巴分布(light-tailed),ON(OFF)持续的时间越长,它将继续持续的时间越短;几何分布的 ON-OFF 模型属于中度尾巴分布(mediaumtailed),ON(OFF)继续持续的时间长短与已持续的时间也越长,用理论分析 Pareto 分布下交换机的性能是很难求解的。本文通过计算机仿真给出输入/输出缓冲容量有限,加速因子 S 任意,ON 态信元以概率 p 发送,基于反压式 ATM 交换机在 Pareto 分布下因反压信号延迟而引起的信元丢失率等性能影响。

* 1997 年 4 月 2 日的收稿,1997 年 5 月 7 日修改定稿

* 国家自然科学基金和电子部预研基金资助项目,自然科学基金号:69682008

** 男 27 岁 博士生

*** 男 64 岁 博士生导师 中国工程院院士

1 系统模型

考虑图 1 所示的内部无阻塞 $N \times N$ 输入/输出 ATM 交换机。输入缓冲长度有限记为 K , 输出缓冲长度有限记为 L 。交换机按时隙同步工作, 信元的接收和发送亦按时隙工作, 交换机内部不存在任何排队缓冲器。交换机的加速因子为 S , 因此交换机在一个时隙内能把最多 S 个输入排头信元同时输往某一输出排队系统。同时, 由于反压信号在实现中的延迟, 使反压型交换机信元丢失不仅发生在有限的输入缓冲器处, 而且会发生在输出缓冲器处。为了减少输出缓冲器处信元的丢失, 我们采用如图 1 所示的规则: 在交换机的输出端口处设置两个门限, 门限 1 设置为产生反压信号的输出缓冲器长度 ($= L$), 门限 2 设置为输出缓冲器总长 ($\geq L$)。假定反压信号的延时是交换机时隙的整数倍, 输出缓冲容量允许超过门限 1, 当其大于门限 2 时, 信元在输出缓冲器处发生丢失。定义 (门限 2 - 门限 1) 为输出端口的额外缓冲器 (Extra Buffering), 其目的是为了减少输出端口处信元的丢失率。排头信元的输出仲裁规则是公平随机的, 即如果本次仲裁从第 i 个输入端口开始, 则下一时隙的仲裁将从第 $(i+1) \% N$ 开始 ($\%$ 是指以交换机端口数 N 取模)。

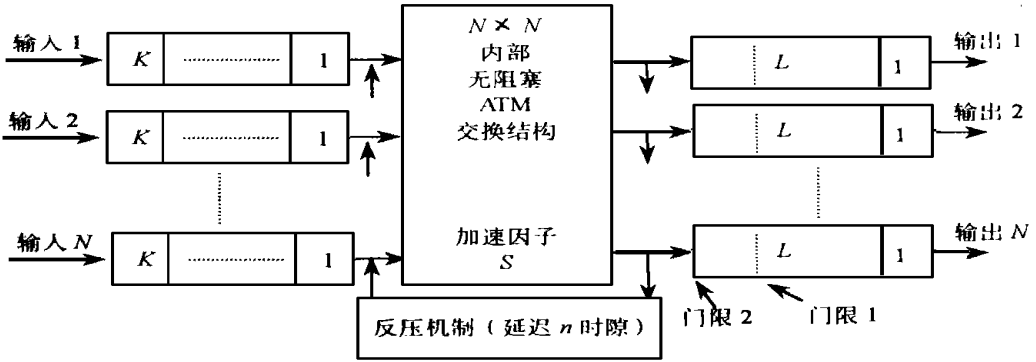


图 1 内部无阻塞 $N \times N$ 输入/输出排队反压型 ATM 交换机

1.1 输入负载模型

本文假定交换机输入端口的信元流是某一高速数据源 (100 M 以太网等), 信元在一个时隙开始时流入输入端, 一个时隙宽度为一个 ATM 信元的发送时间。为表征信元流的突发性, 我们利用 Pareto 分布的 ON-OFF 模型, 即到达交换机输入端口的信元流按 Pareto 分布在 ON 态和 OFF 态进行循环变化。属于同一突发长度的信元流假定来自同一个信源, 所以将输往同一个输出端口; 反之则以等概率 $1/N$ 输往不同的输出端口。在 Pareto 分布下, 假设 ON 和 OFF 的持续时间为 X_{ON} 和 X_{OFF} , 则其概率密度函数 f_{ON} 和 f_{OFF} 为^[9]

$$f_{OFF}(x) = \beta_1 \alpha_1^{\beta_1} x_{OFF}^{-\beta_1-1} \quad \alpha_1, \beta_1 \geq 0, x_{OFF} \geq \alpha_1 \quad (1)$$

$$f_{ON}(x) = \beta_2 \alpha_2^{\beta_2} x_{ON}^{-\beta_2-1} \quad \alpha_2, \beta_2 \geq 0, x_{ON} \geq \alpha_2 \quad (2)$$

其均值和方差有如下特性

$$E[X_{OFF}] = \begin{cases} \infty & \beta_1 \leq 1 \\ \frac{\alpha_1 \beta_1}{\beta_1 - 1} & \beta_1 > 1 \end{cases} \quad E[X_{ON}] = \begin{cases} \infty & \beta_2 \leq 1 \\ \frac{\alpha_2 \beta_2}{\beta_2 - 1} & \beta_2 > 1 \end{cases} \quad \text{的性} \quad (3)$$

$$Var[X_{OFF}] = \begin{cases} \infty & \beta_1 \leq 2 \\ \frac{\alpha_1^2 \beta_1}{(\beta_1 - 2)(\beta_1 - 1)^2} & \beta_1 > 2 \end{cases}$$

本文

$$\text{同时} \quad V_{ar}[X_{ON}] = \begin{cases} \infty & \beta_2 \leq 2 \\ \frac{\alpha_2^2 \beta_2}{(\beta_2 - 2)(\beta_2 - 1)^2} & \beta_2 > 2 \end{cases} \quad (4)$$

考察 $\beta_1 = \beta_2 = 1.1$ 的 Pareto 分布, 此时 ON (OFF) 持续时间的方差为无穷大, 这是经统计分析比较符合实际情况的参数值^[9]。另外, 当信元流处于 ON 态的时候, 在一个时隙中存在信元的概率为 p , $p=1$ 意味着在 ON 态逗留的每一个时隙中有连续信元出现, 即业务以峰值速率进入交换机, 否则信元为断续出现, 即 p 为突发强度。那么, 交换机输入端口到达的输入负载强度为

$$\text{offered-load} = \frac{E[X_{ON}]}{E[X_{ON}] + E[X_{OFF}]} p \quad p \leq 1 \quad (5)$$

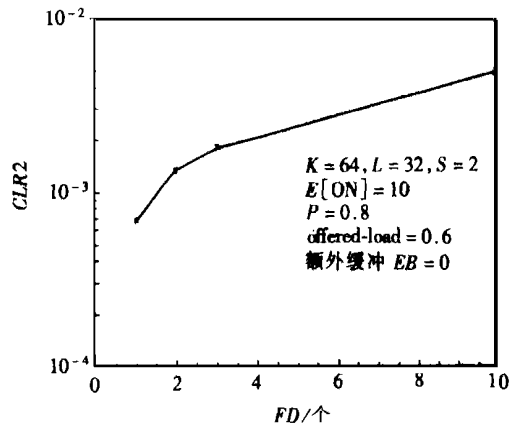
1.2 仿真设置

根据文献[8], 当交换机端口数 $N \geq 16$ 时, 继续增大 N 对交换机性能的影响不大, 所以我们在仿真时取 $N=32$, 仿真所用的时间是 10^6 个时隙, 仿真所得到的结果是所有输入或输出端口的平均值, 交换机仿真模型如图 1 所示, 在时隙 0, 交换机的各输入端口都处于 ON 状态。另外, 为了集中讨论反压信号延时的影响, 我们假定加速因子 $S=2^{[3-5]}$ 。

2 仿真结果及分析

图 2 示出了反压信号延时 FD 对输出端口信元丢失率 $CLR2$ 的影响。从图中可以看出, 若反压信号延时为 1, 输出端口的信元丢失率接近 10^{-3} 。

当然, 此时输入端口处也存在信元丢失, 可以用输出端口的额外缓冲策略来减少信元在输出端口处的丢失率。图 3 示出了额外缓冲 EB 对输出端口信元丢失率 $CLR2$ 的影响。从图中可以得出, 当反压信号延时较大时, 为得到相同的输出端口信元丢失率所需的额外缓冲容量也较大, 额外缓冲策略可以有效地降低输出端口处信元的丢失率, 并且其容量大小与反压信号延时有较大关系。上面已提到, 反压型交换机中信元丢失也会发生在输入端口处, 图 4 示出了反压信号延



对输入端口处信元丢失率 $CLR1$ 的影响。由于 Pareto

分布的重尾巴现象, 在较小的输入缓冲容量时, 输入端信元丢失率较高, 图中另一应引起重视的是, 随着反压信号延时数 n 的增加, 输入端口信元丢失率在相同的输入/输出缓冲容量下反而降低。对此, 解释如下: 反压信号延时较大时, 在输入排头虚队列所得到的输出端口排队长度信息更为“古老”, 从而对排头虚队列所作出的仲裁就更加“有误”, 所以反压信号延时较大时排头信元被仲裁的概率较大, 导致输入端口处的信元丢失率减少, 而使输出端口处的信元丢失率增大。

图 2 反压信号延时对输出端口信元丢失率的影响

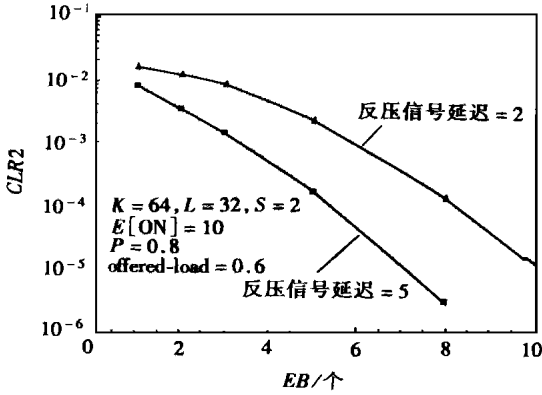


图 3 额外缓冲对输出端口信元丢失率的影响

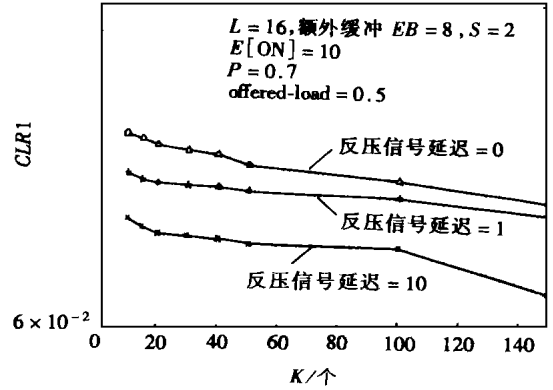


图 4 反压信号延迟对输入端口信元丢失率的影响

3 结 论

本文详尽分析了内部无阻塞输入/输出排队反压型 ATM 交换机因实现过程中反压信号的延迟对交换机性能的影响, 由此得出了如下结论: 即使反压信号延时为 1, 输出端口的信元丢失率也大为恶化; 可以用输出端口的额外缓冲策略来减少信元在输出端口处的丢失率, 并且额外缓冲容量大小与反压信号延时有较大关系; 随着反压信号延时数 n 的增加, 输入端口信元丢失率在相同的输入/输出缓冲容量下反而降低。本文结论对工程实现一反压型分组交换机具有一定实际意义。

参 考 文 献

- 1 Awdeh Ra'ed Y, Mouftah T. Survey of ATM switch architectures. *Computer Networks and ISDN Systems* 1995, (27) :1 567~1 613
- 2 Lahchime Abdelhakim, Guedon Jean-Pierre. ATM switch architecture modelling under uniform and bursty traffic. *IEEE GLOBECOM, London, 1996*, section 19. 5
- 3 Iliadis Ilias, Denzel Wolfgang. Analysis of packet switches with input and output queueing. *IEEE Trans Com*, 1993, 41(5) :731~740
- 4 Del Re Enrico, Fantacci Romano. Performance evaluation of input and output queueing techniques in ATM switching systems. *IEEE Trans Com*, 1993, 41(10) :1 565~1 575
- 5 Pattavina A, Bruzzi G. Analysis of input and output queueing for nonblocking ATM switches. *IEEE/ ACM Trans Networking* 1993, 1(13) :314~328
- 6 Eliazov T E, Willinger Ramaswami, Latouche G. Performance of an ATM switch; simulation study. *IEEE INFOCOM, Boston, 1990* :644~659
- 7 Liew Soung C. Performance of various input-buffered and output-buffered ATM switch design principles under bursty traffic; simulation study. *IEEE Trans Com*, 1994, 42, (2~4) :1 371~1 379
- 8 Badran Hosein F, Mouftah H T. ATM switch architectures with input-output-buffering; effect of input traffic correlation, contention resolution policies, buffer allocation strategies and delay in backpressure signal. *Computer Networks and ISDN Systems* 1994(26) :1 187~1 213
- 9 Paxson V, Flody S. Wide area traffic; the failure of poisson modeling. *SIGCOMM' 94* 1994 :257~268
- 10 Manthorpe S, Norros I, Boudec J Y. The self-similarity of TCP traffic. 瑞士 EPFL 技术报告, 1996

Cell Loss Rate Due to Backpressure Signal Delay

Qian Weihong Li Lemin

(National Key Lab of Broadband Optical Transmission and Communication Systems, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper, the cell loss rate of an internal nonblocking backpressure input and output ATM switch due to backpressure signal delay is investigated. An output extra buffering algorithm to reduce the cell loss rate at output ports is proposed. The conclusions of this paper give contribution to the realization of an input/output ATM switch.

Key words input/output queueing; backpressure; pareto distribution; cell loss rate

编辑 徐培红

°学术期刊介绍°

《电波科学学报》简介

《电波科学学报》是中国科协主管、中国电子学会主办的国内外公开发行的学术性刊物。该刊为《E》等国内外数据库确定的固定收录期刊, 国家科委《中国科技论文统计源期刊》。

该刊刊登内容主要包括 10 个方面:

1. 电磁理论与数值计算
2. 电波传播媒质的探测与预报
3. 各种媒质中电波传播理论
4. 电波传播在各种系统中的应用
5. 天线理论与技术
6. 天线系统与工程
7. 电磁兼容、环境电磁学的理论与技术
8. 电磁兼容设计和电磁环境的预测与控制
9. 电波科学技术新领域的探索
10. 电磁测量技术

°本刊编辑部°