

# 输入/输出 ATM 交换机在突发性业务下的性能<sup>\*</sup>

钱炜宏<sup>\*\*</sup> 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 交换机在突发性业务下信元丢失、交换机最大吞吐量等性能。输入端口信元的到达过程是 ON-OFF 突发流,且 ON 态以概率  $p$  发送信元, OFF 态的逗留时间可认为 0, ON-OFF 长度为指数分布的随机变量;属于同一突发流的信元输往同一个输出端口,不同突发流的信元等概率输往不同的输出端口;输入/输出缓冲器长度有限,交换机加速因子  $S$  任意;其中结论对实际设计一种输入/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; 开-关突发流; 信元丢失率; 吞吐量

中图分类号 TN913.24

交换机的设计要考虑性能和可实现性两个方面。交换机的性能包括信元丢失率、信元延时、延时抖动、吞吐量等因素;而交换机的可实现性包括实现的复杂程度和成本。文献[1,2]指出了内部无阻塞的输入/输出排队 ATM 交换机从性能上来讲具有接近于输出排队交换机的最佳性能,而且实现比较简单,所以近年来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),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。

文献[3~5]中所见的交换机性能分析大多基于均匀业务假设,而实际上该假设并不是对业务信元流的理想模拟,业务的非均匀性和突发性是由于业务特性的千差万别而产生的必然结果,现常用 ON-OFF 过程来表征突发级信元的特性。文献[6]分析了输入排队交换机在突发业务下的性能,主要给出了信元到达的周期性对交换机性能的影响;文献[7]分析了输入型、输出型及其变种的交换结构在突发业务下的性能,但作者假定 ON 态信元以概率 1 发送;文献[8]分析了输入/输出排队反压型交换机在突发业务下的性能,但作者假定加速因子  $S \geq \min(N, L)$ ,而且 OFF 态的逗留时间至少为 1。用理论分析突发业务下交换机的性能是很难求解的<sup>[7]</sup>,本文将通过详尽的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,OFF 态的逗留时间可以为 0 的基于反压式 ATM 交换机在突发业务下的信元丢失率、最大吞吐量等性能。

## 1 系统模型

我们考虑图 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  $S$ ,因此交换机在一时隙内能把最多  $S$  个输入排头

1997 年 3 月 19 日收稿,1997 年 4 月 4 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

信元同时输往某一输出排队系统。同时，交换机采用反压机制使输入端口及时掌握各输出端口缓冲器的状态，从而保证在交换结构内部不发生信元丢失，使信元丢失仅发生在有限的输入缓冲器处。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 ( $\%$ ：指以交换机端口数  $N$  取模)。

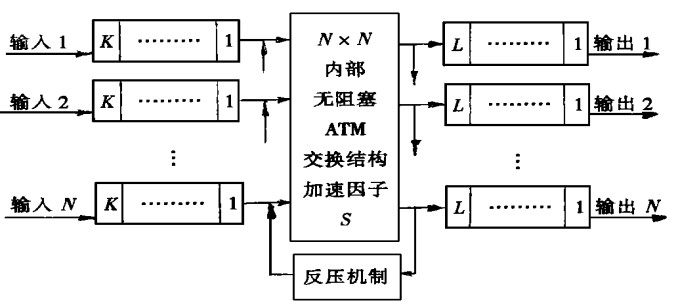


图 1 内部无阻塞  $N \times N$  输入/输出排队反压型 ATM 交换机

### 1.1 输入负载模型

交换机输入端口的信元流大多是 ATM 复接器或上一交换机输出端口的输出信元流，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 ON-OFF 模型，即到达交换机输入端口的信元流以一种几何分布的概率在 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。ON 态在某一时隙将转变为 OFF 态的概率为  $P_{ON}$ ，所以在 ON 态逗留  $i$  时隙的概率分布为指数分布，即

$$P(i) = P_{ON}(1 - P_{ON})^{i-1} \quad i \geq 1 \tag{1}$$

要引起注意的是，ON 态将起码逗留一个时隙。它的平均逗留时间(即平均突发长度)为

$$E[ON] = \sum_{i=1}^{\infty} iP(i) = \frac{1}{P_{ON}} \tag{2}$$

同样 OFF 态在某一时隙转变成 ON 态的概率为  $P_{OFF}$ ，所以在 OFF 态逗留  $j$  时隙的概率分布为指数分布，即

$$Q(j) = P_{OFF}(1 - P_{OFF})^j \quad j \geq 0 \tag{3}$$

OFF 态逗留时间可以为 0，它表征了一个长突发的信元流可以来自不同的信源，这更符合实际情况。在 OFF 态的平均逗留时间为

$$E[OFF] = \sum_{j=0}^{\infty} jQ(j) = \frac{(1 - P_{OFF})}{P_{OFF}} \tag{4}$$

另外，当信元流处于 ON 态时，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，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

$$\rho = \frac{E[ON]}{E[ON] + E[OFF]} p \quad p \leq 1 \tag{5}$$

顺便指出一点，文献[7]中假定  $p=1$ ，文献[8]假定 OFF 态的逗留时间至少为一个时隙。同时，对于原来的均匀业务流输入负载，只是上述 ON-OFF 突发流的特例( $P_{ON}=1$ ， $p=1$  且  $P_{OFF}=\rho$ )。

### 1.2 仿真设备

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  $1.0 \times 10^6$  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。仿真时假定输入端口能及时掌握输出端口缓冲器的状态，反压机制的延时为 0。在时隙 0 交换机的各输入端口均为 ON 状态，交换机仿真模型如图 1 所示。

## 2 仿真结果和解释

### 2.1 加速因子 $S$ 对交换机性能的影响

图 2 表示了加速因子  $S$  对交换机信元丢失率的影响, 其中的参数为  $K=32, L=8$ , 输入端信元流的强度  $\rho=0.8$ , 选取较小的输入/输出缓冲长度和较大的负载强度是为了能比较明显地表示出加速因子的影响。从图中可以得出, 当  $S$  从 1 变到 2 时, 突发业务下交换机的性能与均匀业务情况一样都能很好地改善; 而当  $S \geq 3$  时, 交换机的性能与加速因子关系不大, 所以在实际设计输入/输出分组交换机时, 可取  $S=2$ 。另外, 由于均匀业务的输出离散度更大, 即输出排头信元的竞争概率, 突发业务比均匀业务情况要来得大, 所以加速因子对均匀业务下交换机性能的影响更大。

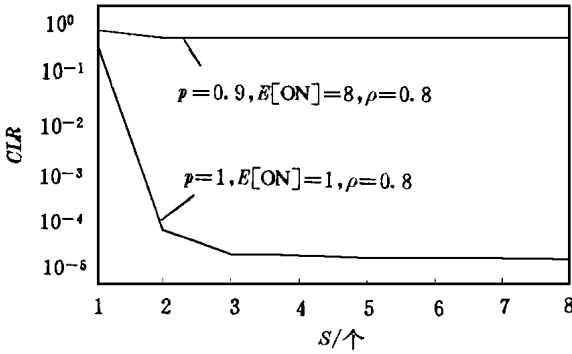


图 2 加速因子对交换机性能的影响

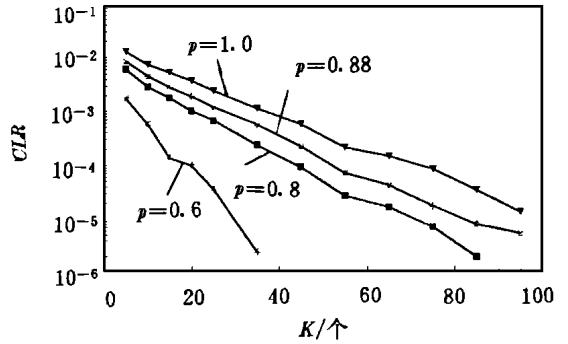


图 3 突发强度对信元丢失率的影响

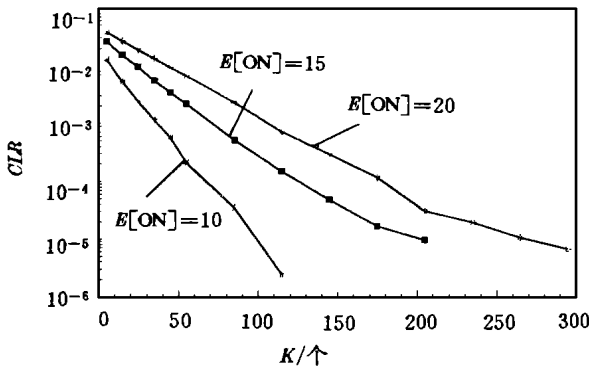


图 4 平均突发长度对信元丢失率的影响

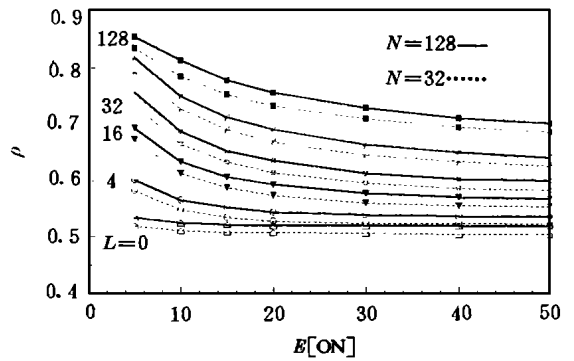


图 5  $E[ON]$ 、 $L$  对吞吐量的影响

### 3.2 突发度对交换机性能的影响

图 3 示出了突发强度  $p$  对交换机信元丢失率的影响, 图中其他参数为: 平均突发长度=10, 输入端口业务强度  $\rho=0.4$ , 加速因子  $S=2$ , 输出缓冲长度  $L=32$ (取  $L=32$  是因为它有比较好的吞吐量性能, 如图 5 所示)。从图中可以看出, 突发强度对信元丢失率的影响比较大, 特别是为得到一个信元丢失率要求, 不同突发强度下所需的输入缓冲器长度有很大区别。比如, 当输入缓冲器长度=35 时,  $p$  从 0.6 变到 0.8 所引起的信元丢失率约有 100 倍的变化。同时可以得出, 较大的突发强度  $p$  在更长的平均突发长度和更高的输入业务强度下对信元丢失率的影响更大。

图 4 示出了平均突发长度  $E[ON]$  对信元丢失率的影响, 图中其他参数为: 突发强度  $p=1$ , 输入端口业务强度  $\rho=0.4$ , 加速因子  $S=2$ , 输出缓冲长度  $L=32$ 。平均突发长度对信元丢失率的影

响很大;特别值得注意的是,尽管输入业务强度比系统吞吐量小很多,如图5所示,当 $E[ON]$ 增大时,对特定的信元丢失率输入缓冲器长度变化很大。这就说明当交换机工作于较低的输入业务强度时也不能保证始终得到可信赖的信元丢失率,尤其在平均突发长度较大时。所以,在UNI(User Network Interface)上的业务量成型器(Traffic Shaping)应尽可能使入网业务的突发长度减小。

### 2.3 突发长度、输出缓冲容量对最大吞吐量的影响

图5示出了突发长度、输出缓冲容量对最大吞吐量的影响,图中其他参数为:突发强度 $p=1$ ,加速因子 $S=2$ 。从图中可以看出,适当增大输出缓冲容量可以有效地提高系统的最大吞吐量。例如当 $L=32$ , $E[ON]=10$ 时,系统最大的吞吐量约为0.7;当 $L=0$ 时,其为纯输入排队交换机,系统的最大吞吐量约为0.5,这与以前的分析相同<sup>[7]</sup>。另外,随着突发长度的增加会减小系统吞吐量,交换机端口数 $N=16$ 与 $N=128$ 具有相当接近的吞吐量,所以 $N=16$ 可以表征 $N>16$ 的交换机性能。

## 3 结论

本文利用计算机仿真详尽分析了内部无阻塞输入/输出排队反压型ATM交换机在突发性业务下信元丢失、交换机最大吞吐量等性能。输入端口信元的到达过程是ON-OFF突发流,且ON态以概率 $p$ 发送信元,OFF态的逗留时间可以为0;属于同一突发流的信元输往同一个输出端口,不同突发流的信元等概率输往不同的输出端口;输入/输出缓冲器长度有限,交换机加速因子 $S$ 任意。得到的结论如下:在突发业务下输出排头信元的离散度要比均匀业务小,所以加速因子对交换机性能的影响比均匀业务小, $S=2$ 是理想选择。突发强度 $p$ 对信元丢失率的影响较大;由于平均突发长度 $E[ON]$ 的影响,使得交换机即使工作在较低的输入业务强度时也不能保证始终得到可信赖的信元丢失率指标,所以在UNI处应尽可能使入网业务的突发长度减小。适当增加输出缓冲器容量可以提高系统的吞吐量,在较小平均突发长度下吞吐量的变化比较大突发长度下的变化更加显著。

## 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 1996 London*, 1996, Section 19. 5
- 3 Iliadis Ilias, Denzel Wolfgang. Analysis of packet switches with input and output queueing. *IEEE Trans Commun*, 1993, 41:731 ~ 740
- 4 Re Enrico Del, Fantacci Romano. Performance evaluation of input and output queueing techniques in ATM switching systems. *IEEE Trans Commun*, 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(3):314 ~ 328
- 6 Eliazov T E, Ramaswami V, Willinger W et al. 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 Commun*, 1994, 42(2/3/4):1 371 ~ 1 379
- 8 Badran Hosein, Mouftah H T. ATM switch architectures with input-output-buffering: effect 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

# Performance Evaluation of An Input and Output ATM Switch Under Burst Traffic

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 and maximum throughput of an internal nonblocking backpressure input and output ATM switch under burst traffic is investigated. The arrival process to each input port is on-off (active and silence) cell stream with geometrical distribution. In each time slot within active period, a cell is generated with certain probability  $p$ , and the silence period may be zero slot. Cells belonging to the same burst are directed to the same output port, while bursts are addressed uniformly among the switch output ports. The length of input/output buffers is finite, and switch speed-up factors arbitrary. The comprehensive understanding is also given to realize an input/output backpressure packet switch.

**Key words** input/output queueing; on-off stream; cell loss rate; throughput

编辑 徐安玉

.....

## ·科研成果介绍·

### 自然电位测井的数值模拟及应用研究

主研人员: 聂在平 袁 宁 潘 锦 聂晓春

自然电位测井的数值模拟及应用研究包括以下四个内容:

- 1) 完成自然电位测井问题的精细建模与求解, 成功地将数值模式匹配(NMM)这一高效算法用于自然电位响应的数值模拟。
- 2) 在国内外首次给出复杂非均匀介质中多偶极层响应的全波分析, 严格匹配了偶极层激励条件和各界面边界条件。
- 3) 首次建立了电流和电压激励的两种自然电位测井模型, 分别完成了相应的自然电位响应数值模拟程序。
- 4) 首次给出了井内外和各层间地层水电阻率对比度的自然电位响应图版, 并利用奇异值分解方法依据 SP 测井响应反演出地层静自然电位。

该项目研究成果使对自然电位测井从定性分析上升到定量分析, 其理论分析有多处首创, 得出的若干结论对自然电位测井的定量分析和解释有广泛指导意义, 将会在我国大量存在的注水开发油田的应用中大大提高采油效率, 降低成本创造出可观的经济效益, 具有显著的应用前景。

### 电子系统电磁兼容性预测分析

主研人员: 胡皓全 杨显清 赵家升 王定华

电子系统电磁兼容性预测经过大量的理论分析和数学处理, 建立了电子设备内近 20 种干扰耦合形成的数学模型, 编制了相应的计算程序, 给出了预测结果曲线。建立了电子系统间各类发射机、接收机、传输通道的数学模型、混合编程, 开发出预测程序, 实现了库管理和模块化。提供的理论分析和预测软件为广泛应用于各类电子设备的 EMC 预测分析打下了良好的基础。

·科 卜·