

采用 HSPO 控制策略的共享存储器 ATM 交换机近似解析

张兴周, 孙 震

(哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 黑龙江哈尔滨 150001)

摘 要: 本文对非均匀业务下共享存储器 ATM 交换机采用热点推出 (HSPO) 优先级控制策略方案建立了系统模型. 文章通过排队理论对系统模型进行了数学解析, 推导出系统性能重要参数-信元丢失率、平均信元延迟、吞吐率等的计算公式, 并通过数值分析对系统性能进行了考察和评价. 此外, 通过与仿真结果的比较验证了数学解析的正确性和合理性.

关键词: ATM 交换机; 共享存储器; 非均匀业务; HSPO; 解析

中图分类号: TN913 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 01-0054-05

Approximate Performance Analysis of Shared Buffer ATM Switches Using HSPO Mechanism

ZHANG Xing-zhou, SUN Zhen

(College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract: In this paper, the priority control method, called "Hot-Spot Push Out" (HSPO), is used for analyzing the performance of shared buffer ATM switches under a non-uniform traffic. The system performance model is theoretically analyzed and the important calculating formulas of the system performance parameters, such as "cell loss ratio", "mean cell delay", "throughput", etc., are derived based on queueing theory. The system performance is examined by numerical analysis. In addition, the results compared with simulation show that the theoretical analysis is correct and reasonable.

Key words: ATM switches; shared buffer; non-uniform traffic; HSPO; performance analysis.

1 引言

自从异步转移模式 (ATM) 被国际电信联盟 (ITU-T) 于 1992 年定义为宽带综合业务数字网 (B-ISDN) 的统一基础传递模式以来, 越来越引起世界范围的广泛关注, 并成为通信领域的研究热点和未来通信发展的方向. 研究表明, 在诸多交换结构中, 共享存储器型具有最低的信元丢失率和最高的缓存利用率而成为最佳的选择方案^[1,2]. 作为 ATM 网络研究的一个重要方向, 关于共享存储器型 ATM 交换机的优先级控制策略的研究近年来已经取得了很多成果^[3,4]. 在诸多优先级控制策略中, "推出法" 被证明在突发业务下具有更好的性能, 但是这种控制方案迄今主要还是应用在基于均匀业务下 ATM 交换机的研究中^[5,6], 而在非均匀业务模式下的研究尚未见报道. 因为 ATM 网络所支持的各种业务具有不同的统计特征和服务质量要求, 所以非均匀业务在现实中是普遍存在的. 为此, 作为创新性探索, 在本文中采用 "热点推出 (HSPO)" 方式作为优先级控制策略对非均匀热点业务条件下共享存储器型 ATM 交换机的性能进行解析. 文章根据排队论, 应用矩阵法

对系统模型进行近似解析, 推导主要性能参数的计算公式, 并通过数值结果进行分析与评价. 最后, 通过与仿真结果的比较, 验证数学解析的正确性和合理性.

2 系统模型与控制策略

2.1 模型与假设

系统模型如图 1 所示. 假定交换机为 $N \times N$ 内部无阻塞 ATM 交换机, 共享缓存容量为 B . 我们可以把缓存器看作为 N 个虚输出信元队列, 每个虚输出队列的信元去往一个特定的输出口, 虚输出队列的长度可任意长, 但所有虚输出队列的长度总和必须小于等于 B .

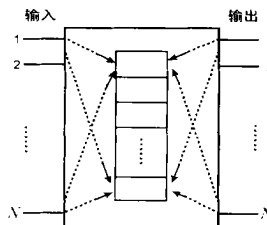


图 1 系统模型

系统假设:

- (1) 在每个时隙, 信元以独立的 Bernoulli 过程到达每个输

入端口,到达概率为 $P (P < 1)$, 即有信元到达的概率为 P , 没有信元到达的概率为 $1 - P$.

(2) 系统业务源为非均匀热点模式, 即各输入端口的信元独立不等概地到达所有输出端口, 热点输出端口的业务大于其它非热点输出端口, 为简化分析并不失一般性, 设定只有一个输出端口是热点输出端口, 其它 $N - 1$ 个端口是非热点输出端口, 而且是等概率分布的, 其它非热点输出端口的业务相等, 令热点业务概率(到达热点出口的信元概率)和非热点概率分别为 P_h 和 P_n , 并由下式确定:

$$\begin{aligned} P_h &= h + (1 - h) / N \\ P_n &= (1 - h) / N \end{aligned} \quad (1)$$

其中, h 为非均匀性系数, $h = 0$ 即为均匀业务模式.

(3) 每个时隙有 k 个信元到达交换机的概率为:

$$p_a(k) = \binom{N}{k} p^k (1 - p)^{N - k} \quad (2)$$

每个时隙有 m 个热点信元和 n 个非热点信元到达交换机的概率为:

$$p_a(m, n) = \binom{N}{m+n} p^{m+n} (1 - p)^{N - m - n} \binom{m+n}{m} P_h^m (1 - P_h)^n \quad (3)$$

2.2 HSPO 控制策略

本系统采用的 HSPO 控制策略规则^[7]为:

(1) 输出队列采用先来先服务原则; 每个时隙每个输出端口最多可离开一个信元, 因此在每一个时隙可离开缓存器的最大信元数为 N ; 只要在缓存器中有信元, 则在下一个时隙至少会有一个信元离开;

(2) 只要缓存器内有空间, 输入信元就可以进入缓存器; 如果缓存器已满, 则到达的热点信元就会被丢弃; 如果到达了一个非热点信元, 则只要缓存器中有热点信元, 一个热点信元就会被推出丢弃, 它的物理位置被刚进入的非热点信元占据, 这个非热点信元的逻辑位置排在它去往输出端口的逻辑队列的末尾, 否则这个非热点信元也会被丢弃; 每个时隙每个输入端口可进入的信元数最多只有一个.

3 数学解析

ATM 交换系统模型的解析可以归结为求解 Markov 链. 只要求出 Markov 链的一步转移概率, 就可求出系统的稳态概率分布并进一步求出系统各项参数. 因此, 上述系统模型的解析过程可归结为: 求解离开概率, 即仅有信元离开而无信元到达情况下的一步转移概率; 求解到达概率, 即仅有信元到达而无信元离开情况下的一步转移概率; 进而求出稳态概率; 求解系统主要性能指标.

在下面的解析中把系统中的总信元数作为排队系统的状态, 定义 $M_{x,y}$ 为从状态 x 到状态 y 的转移概率, $M_{x,y}$ 包含 $(x + 1)(y + 1)$ 个转移概率, 定义为 $M_{m,n;i,j}$, 其中 $m + n = x, i + j = y, 0 \leq m + n \leq B, 0 \leq i + j \leq B$, 表示从状态 (m, n) 转移到状态 (i, j) 的概率, m 和 i 为缓存器内的热点信元个数, n 和 j 为缓存器内的非热点信元, 因此 $M_{x,y}$ 可写成如下矩阵形式:

$$M_{x,y} = \begin{bmatrix} M_{0,x;0,y} & M_{0,x;1,y-1} & \dots & M_{0,x;y-1,1} & M_{0,x;y,0} \\ M_{1,x-1;0,y} & & & & \\ \dots & \ddots & & M_{m,n;i,j} & \dots \\ M_{x-1,1;0,y} & & & & \\ M_{x,0;0,y} & & \dots & & M_{x,0;y,0} \end{bmatrix} \quad (4)$$

则以 $M_{x,y}$ 为元素的状态转移概率矩阵为:

$$P = \begin{bmatrix} M_{0,0} & M_{0,1} & \dots & M_{0,y} & \dots & M_{0,B} \\ M_{0,1} & M_{1,1} & & & & \dots \\ \dots & & \ddots & \dots & & \\ M_{x,0} & \dots & & M_{x,y} & & \\ \dots & & & & \ddots & \dots \\ M_{B,0} & \dots & \dots & & & M_{B,B} \end{bmatrix} \quad (5)$$

根据系统模型假设和 HSPO 控制策略, 系统从状态 (m, n) 转移到状态 (i, j) 是两个独立转移过程的结果, 即先由状态 (m, n) 转移到中间状态 (m', n') , 再由中间状态 (m', n') 转移到状态 (i, j) , 可描述如下:

(1) 仅有信元离开而无信元到达的过程, 即由状态 (m, n) 转移到中间状态 (m', n') , 其转移概率矩阵 $P_d(m', n' | m, n)$ (简称为离开概率) 定义为:

$$P_d(m', n' | m, n) = P\{ (m - m') \text{ 个热点信元和 } (n - n') \text{ 个非热点信元离开缓存器} | \text{ 有 } m \text{ 个热点信元和 } n \text{ 个非热点信元在缓存器内} \} \quad (6)$$

显然, 如果 $(m - m') < 0$ 或 $(n - n') < 0$, 则这个概率为 0.

(2) 信元到达而无信元离开的过程, 即由状态 (m', n') 转移到状态 (i, j) , 其转移概率矩阵 $P_a(i, j | m', n')$ (简称为到达概率) 定义为:

$$P_a(i, j | m', n') = P\{ \text{合理数目范围内的热点信元和非热点信元到达使缓存器的状态为 } (i, j) | \text{ 有 } m' \text{ 个热点信元和 } n' \text{ 个非热点信元在缓存器内} \} \quad (7)$$

注意: 当 $m = 1$, 则 $(m - m')$ 必定等于 1, 如果 $m = 0$, 则 m' 必为 0; 如果在每个时隙到达或离开的信元超过最大值或低于最小值, 则 $M_{x,y}$ 为无效矩阵表示为 $M_{x,y} = 0$.

3.1 离开概率 $P_d(m', n' | m, n)$ 求解

根据式(6)的定义, 假定每一个非热点信元送往 $(N - 1)$ 个输出端口中的任何一个. 在不考虑这些信元的排序情况下, n 个信元被分配给 $(N - 1)$ 个端口的方法总数可表示为

$$Q(N - 1, n) = \frac{(N - 1 + n - 1)!}{(N - 1 - 1)! n!} \quad (8)$$

如果这些信元中只有 $(n - n')$ 个离开, 那就意味着这些输出队列中只有 $(n - n')$ 个队列不是空队列. 在 $(N - 1)$ 个非热点信元队列中选择 $(n - n')$ 个非空队列的方法数为

$$\binom{N - 1}{n - n'}$$

在这些非空队列中信元的任何配置都会引起 $(n - n')$ 个信元的离开. 这些配置的方法数也就是将 n 个信元分配在 $(n - n')$ 个队列中的方法总数(这里包括一些空队列), 因此有 $(n - n')$ 个信元要离开的方法数为

$$\binom{N - 1}{n - n'} Q(n - n', n) \quad (9)$$

固定的处理时延,另一部分是对每个信元都是随机变化的排队时延.这里仅关心信元排队时延,这是因为一方面处理时延不仅固定而且非常短;另一方面交换速度的提高,使交换时延的均值相对于长距离光纤信道传输时延可以忽略,而实时业务往往对时延的变化-时延抖动(jitter)十分敏感,排队时延的随机变化正是产生抖动的原因.

(1) 信元丢失率 L_{loss}

信元丢失率是指每个时隙内丢失的平均信元数和到达的平均信元数之比:

$$L_{loss} = L / p \cdot N \quad (16)$$

其中 L 为每个时隙内丢失的平均信元个数,可由下式求得:

$$L = \sum_{x=2}^N p_a(x) \sum_{y=B-x+2}^B \sum_{z=1}^{x-1-(B-y)} p_d(i,j,z) \quad (17)$$

其中: (y) 为缓存器有 y 个信元的稳态概率; $P_d(i, j, z)$ 为缓存器中有 i 个热点信元和 j 个非热点信元时; z 个信元离开缓存器的概率; $s_B(i, j)$ 为缓存器内所有 i, j 状态的组合.

$$s_B(i, j) = \{i, j | i+j \leq B, 0 \leq i \leq B, 0 \leq j \leq B\} \quad (18)$$

由前面讨论的离开概率可知,如果 $i=0, j>0$,则必有 $z=N-1$,于是

$$P_d(0, j, z) = \binom{N-1}{z} \frac{Q(z, j-z)}{Q(N-1, j)} \quad (19)$$

(2) 吞吐率 T

吞吐率定义为每个时隙内交换机离开信元的平均数与输出端口数的比值, $0 \leq T \leq 1$,

$$T = \sum_{z=1}^N \sum_{(i,j) \in s_B(i,j)} (i, j) p_d(i, j, z) / N \quad (20)$$

其中, (i, j) 为缓存器有 i 个热点信元和 j 个非热点信元的稳态概率.因为 N 代表了每个时隙内交换机离开信元的可能最大值,故 T 是一个归一化值.

(3) 平均信元延迟 D

平均信元延迟定义为信元在通过交换机时所引起的交换时延.如前所述,这里仅考虑信元在存储器中由于排队所引起的时延,故可以通过下式求得^[8]

$$D = \sum_{k=0}^B k \cdot (k) / T \quad (21)$$

其中, (k) 为存储器有 k 个信元的稳态概率, T 为交换机的吞吐率.在文章设定的业务模型及假定条件下,式(21)中右端分子代表了稳态时存储器中总的信元平均数和排队长度,而分母 T 由式(20)确定,代表了交换机单位时间离开的信元数,二者之比确定了 D .

4 数值结果、仿真与讨论

应用 Matlab 语言对解析结果进行了数值计算,并进一步通过离散系统仿真工具对系统进行了仿真.图 2 给出了数值计算与仿真结果比较曲线.可以看出,二者取得了令人满意的吻合.从而验证了数学解析的合理性与可信性.

图 2 给出了有关系统的各项性能指标与输入业务负荷 p

的关系曲线.实线为缓存器容量 $B=8$ 时的变化曲线,虚线为

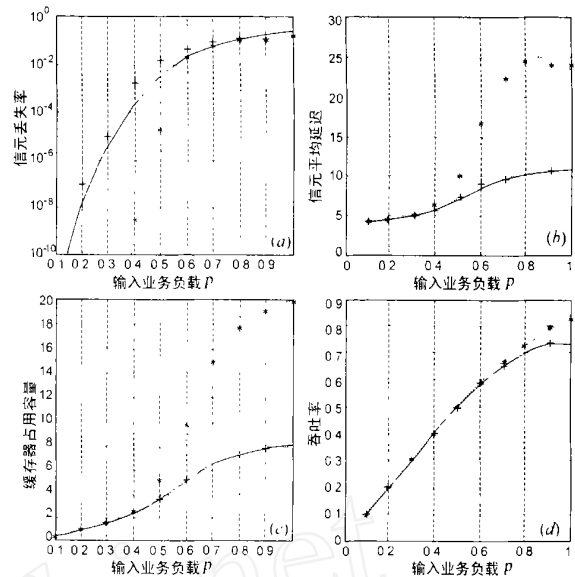


图 2 数值计算与仿真结果($N=4, p_h=0.4$)

缓存器容量 $B=20$ 时的变化曲线.图中的“+”和“*”分别表示缓存器容量 $B=8$ 和 $B=20$ 时的仿真结果.图 2(a) 为信元丢失率随输入业务强度 p 变化的曲线.在这里我们设热点业务负荷 p_h 为 0.4.从曲线可以看出,在缓存器容量一定时,随着业务负荷 p 的增加,信元丢失率也随着加大,而且加大的趋势逐渐缓慢.当缓存器容量增大时,信元丢失率在业务负荷较低时有明显的改善,说明增加 B 可使信元的丢失率迅速下降,而业务负荷较大时变化不大.图 2(b) 为信元平均时延与输入业务负荷 p 的关系.从图中可看出,延迟随着 p 的减小而降低,尤其 B 较大时,下降明显.而且当 B 较大时,延迟随着 p 的增大而增大,当 p 增到某值后(该值与 p 及 B 等参数有关),延迟不再随 p 的增加而增大,基本保持不变,甚至有减小的趋势.图 2(c) 为缓存器占用容量与输入业务负荷 p 的关系.随着 p 的增加,缓存器占用空间逐渐加大直至占用整个缓存器. B 较大时,曲线上升速率比较快.图 2(d) 为吞吐率随业务负荷 p 的变化的曲线.从图中可看出当 $B=20$ 时,吞吐率随 p 的增长趋势,且这种趋势近似为线性.

实际上,ATM 交换机在非均匀业务环境下当缓存器容量有限时,信元的丢失是不可避免的.如何合理、高效地利用有限的缓存资源改善系统的交换性能是一个非常实际而有意义且具挑战性的课题.本文的分析模型是具有典型意义的,因此它为 ATM 交换机在非均匀业务下进一步的研究和应用提供了理论依据和指导价值.

参考文献:

[1] S Fong, S Singh. Performance analysis of shared buffer ATM switches with different cell departure models [J]. Int. J. Commun. Syst., 1998, 11: 265 - 274.
 [2] Hong S, Perros G, Yamashita H. A discrete - time queuing model of the shared buffer ATM switch with bursty arrivals [J]. Telecommunication Systems, 1993, 12(1) :1 - 20.

- [3] Jorge Garcia and Olga Casals. Statistical multiplexing gain using space priority mechanisms [A]. IEEE GLOBECOM '91 [C]. 1991.
- [4] I Gdon. , Optimal buffer sharing [A]. IEEE INFOCOM 95 [C]. Boston ,USA :IEEE,1995. 24 - 31.
- [5] S Fong ,S Singh. An improved buffer sharing scheme for ATM switches under bursty traffic [J]. Computer Science ,January 1996 :26 - 34.
- [6] Choudhury A. Buffer management in a hierarchical shared memory switch [A]. IEEE INFOCOM94 [C]. Toronto ,Canada :IEEE,1994.
- [7] I Gdon. Optimal buffer sharing [A]. IEEE. INFOCOM 95 [C]. Boston ,USA :IEEE,1995.
- [8] M Saleh ,M Atiguzzaman. An accurate performance model of shared buffer ATM switches under hot spot traffic [J]. Computer Communications ,1999 ,22 :516 - 522.

作者简介 :



张兴周 男,1947年10月生于黑龙江省哈尔滨市,哈尔滨工程大学信息与通信工程学院教授、博士生导师,中国电子学会高级会员;1992-1994年赴日留学;曾先后主持、参加并完成了多项国防和民用重大科研项目,多次获得国家、省部级科技进步奖,在国内外重要学术刊物上发表论文50余篇;主要从事计算机宽带网络,光纤通信,光纤传感与检测等方面的研究。

孙 震 1973年3月生于山东省莱阳县,哈尔滨工程大学信息与通信工程学院硕士研究生,主要从事计算机宽带网络,光纤通信与信号检测等方面的研究。

www.cnki.net