

典型 ATM 交换机缓冲系统 在类 C/S 业务模式下的队列长度比较

陈永光 卢锡城 吴家铸

(国防科技大学计算机系 长沙 410073)

摘要 许多应用场合中的通信业务可以用类用户—服务器(C/S)业务模式来表达,因此有必要研究这种业务下的 ATM 交换机缓冲存储器策略;本文以计算机仿真的手段评估了四种典型缓冲结构的队列长度概率分布情况,进而比较了类 C/S 业务模式下 ATM 交换机几种典型缓冲系统的性能。

关键词 ATM 交换机, 业务模式, 缓冲存储器

分类号 TN914

Comparison of Queue Length in Typical ATM Switch Buffering Systems under the Traffic Similar to C/S Model

Chen Yongguang Lu Xicheng Wu Jiazhu

(Department of Computer, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract The communication traffic in many cases can be expressed with a model similar to client-server (C/S) traffic. Therefore it is necessary to study the buffer tactics for ATM switches under such kind of traffic. This paper evaluates the probability distribution of queue length for four kinds of typical buffer fabric with the help of computer simulation, and then compares the performance of several typical buffer systems for ATM switches under the traffic similar to C/S model.

Key words ATM switch, traffic model, buffer

均匀分布业务模式在 ATM 交换机的设计及性能分析中被广泛使用,它对于那些运送 CBR 业务的交换机可能是真实的;然而有许多迹象表明:均匀分布模式的特征并不足以代表真实业务模式而使我们设计足够的缓冲系统。基于均匀分布业务模式设计出来的

ATM 交换机缓冲存储器系统可能经受不住真实业务的考验，因此有必要根据交换机所处的业务环境，验证其缓冲系统的布局合理性。

类用户—服务器模式与用户—服务器模式类似，但也有所区别。其中后者只存在用户去向服务器的业务，而前者中用户的通信业务大多去向服务器，但也有用户之间的少量通信，同时还存在服务器向用户的业务。若以一个 $N \times N$ 规模 ATM 交换机的输入/输出口来表达这种模式，则可表述如下：

- 服务器分配了所有输入/出口的一个子集，设该子集包含 L 个口。
- 用户分配了剩余的 $N-L$ 个口。
- 服务器 L 个口上的业务只去向交换机的 $N-L$ 个用户口。
- 用户 $N-L$ 个输入口以不同负荷率分别向用户、服务器的输出口传送信元。

1 输出缓冲系统

均匀分布业务模式下， 10^7 次独立试验中一个 64 口交换机的某个指定输出口上有 36.5% 次没有业务去往^[1]，这意味着在同样多的试验中该口上有一个以上的信元同时去往，这就造成输出竞争，在竞争中失败的信元如果不加以保留就会丢失，因此在每个输出口上需要有缓冲器来保留历史。图1是输出缓冲型交换机缓冲器配置及带宽要求示意图。交换机输出带宽必须 N 倍于输入带宽；交换机结构必须是 $N \times N^2$ ，这一并行性对于处理可能发生的输入向输出的集中是必要的；每个输出缓冲器的输入侧也必须能够 N 倍于输入带宽，假如 BW 是一条链路的带宽，则输出缓冲型交换机的部缓冲系统输入带宽是 N^2BW 。

输出缓冲型交换机以高度复杂性为代价而具有最优吞吐—延迟性能^[2]，这类中一个著名的例子是 Knockout 交换机。输出缓冲型 ATM 交换机在均匀分布业务模式下的性能已经得到充分的研究，并以此为根据来设计缓冲存储器的规模。由于类 C/S 模式业务具有一定的突发性，而输出缓冲型交换机的性能被普遍认为是较好的，且以高度复杂性为代价，因此对它在这种业务模式下的研究是必不可少的，以便与其他类型缓冲系统比照。

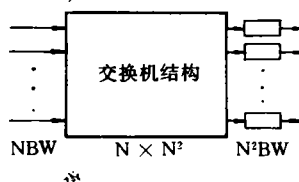


图1 输出缓冲

2 窗口顺序型输入缓冲系统

2.1 FIFO 输入缓冲系统的 HOL 阻塞

输入缓冲型交换机将所有进入的信元存在置于输入口处的缓冲器里，并在交换之前即解决竞争问题。对简单的 FIFO 输入缓冲型，均匀业务下不管在竞争队列头 (HOL) 信元过程中所用的选择策略如何，对非阻塞交换机吞吐量的最大限制是 58.6%，这么差的性能是 HOL 阻塞的结构果。定义 HOL 阻塞成立时当且仅当：

- 队列的第一个信元在本次周期中被阻止去往其目的地，
- 队列中第二个信元的 VC 与第一个信元的 VC 不同，
- 本周期中第二个信元的目的端口上无业务去往。

图2所示为FIFO输入缓冲系统的基本结构示意图,对于输入缓冲型的ATM交换机,每个输入上的缓冲器只需用链路速度运行。如果所有链路速度相同,缓冲器系统总输入带宽为 $N \times BW$,交换结构是 $N \times N$,结构的输入和输出带宽是 $N \times BW$,输出链路带宽是 $1 \times BW$ 。由此可见,FIFO输入缓冲型与输出缓冲型交换机相比具有结构简单,带宽要求不高等优点,但是必须克服HOL阻塞的影响,才能使其得到有效的应用。

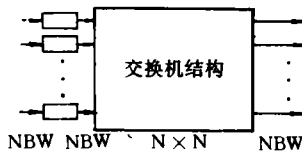


图2 输入缓冲

2.2 窗口顺序型输入缓冲系统对HOL阻塞的改善

关于HOL阻塞的仿真试验表明:在均匀分布业务下,如果所有的HOL阻塞信元能够进展的话,交换机可以有13.5%的利用率增加^[3]。根据HOL成立时的条件,为减少HOL阻塞的影响,我们可以在输入缓冲器中以一个固定大小的窗口观察输入FIFO,并用交互配对的方法找出可以进展的信元。为了保证两个来自同一输入口并去向同一输出口的连续信元的顺序完整性,在观察窗口时必须以流水线方式运作,即以先进先观察的次序在输入缓冲器的窗口中找出可以进展的信元;在缓冲器输出链路带宽不变的情况下,每个窗口中每个周期只能有一个信元进展,该信元取走后,后面的顺序递补;如果窗口中没有信元能够找到空闲输出口,则只有在下一周期重新开始这一过程。

类C/S业务模式与均匀分布业务模式相比具有更大的集中业务,HOL阻塞的影响十分明显,仿真表明:采用FIFO输入缓冲系统处理此类业务时,如果没有开窗,则在较大的负荷时,输入缓冲器队列将呈无限增长的趋势,因此在FIFO输入缓冲器中开窗就显得尤为必要。

2.3 VC组织型输入缓冲系统

处理并行到达数据和HOL阻塞以提高交换机吞吐量的另一个方法是用每个输出链路组织输入缓冲器,而不是一个简单的FIFO。如果交换机拥有VC缓冲器,则通过把去向同一输出口的VC编组,即可实现这一缓冲结构。由于VC相同的信元被放置在同一缓冲器里,并且每次以随机方式只取走一个信元,自然就消除了信元的竞争同一出口问题;这样以圆形方式服务VC的方法在输入缓冲器系统的输出侧实现了平行性,而不用增加缓冲器系统或交换机结构的带宽。阻塞影响被来自缓冲器系统的并行通路所克服。用控制信息做随机配对,每个输出口都能与有数据并以它为终点的输入匹配上。用此方法增加了控制机构而非交换机结构和缓冲器的带宽;在均匀分布业务模式下,这种方式可以与输出缓冲系统的效果相媲美,但却没有增加交换机的结构,这是用于很高速交换机的吸引人的技术,因为高速交换机中因技术所限,不允许任何大量增加交换机结构或缓冲器系统的办法。

3 窗口顺序组合型缓冲系统

如果在ATM交换机的输入和输出都加上缓冲器,则可减少交换机结构和输出缓冲器输入的加速。在输出缓冲一些数据,可以用捕获多路输入上数据的方法,增加链路利用率。交换机结构不过分的加速,可让比链路可以运送的更多数据进入输出缓冲器,这样就

可在输出缓冲器里建立起储备，也可防止 HOL 阻塞变成严重的制约。输入上的缓冲器提供了以链路速度同时从所有输入接收数据所需的带宽，输入缓冲器的输出侧和输出缓冲器的输入侧必须以交换机结构速度 (S) 运行。

放置缓冲器的大部分有两种选择；若缓冲器的大部分放在输出，则每一输出必须有足够的缓冲器来处理从所有输入链路积累的数据。若缓冲器的大部分放在输入，则每个输入人只需有足够的缓冲器处理进到该单个输入链路的数据即可。

任一给定输出可用的总缓冲量等于输入缓冲器规模乘上向输出集中的输入数，后者可以高达 N。如果缓冲移到输出侧，则总的交换机缓冲器要求为输入缓冲器数的 N^2 倍才能对所有输出产生同样的效果。

并行输入缓冲器向总缓冲器系统提供了 N 个带宽，因为它们是分开的。通过割裂缓冲器系统，输入缓冲器的输出侧、输出缓冲器的输入侧以及交换机结构只需不过分的加速因子 ($1 \sim 2X$)。并且把缓冲器的大部分放在交换机的输入侧，可使整个交换机缓冲器最少。这种结合很好地处理了 C/S 和均匀分布业务模式，在类 C/S 业务模式中也一定能够发挥作用。

在大多数缓冲器放在输入侧的组合型缓冲系统中，如果输出缓冲器数量不多，同样存在 HOL 阻塞问题，由此想到以窗口顺序技术来克服 HOL 阻塞的影响。这种缓冲系统的结构如图3所示。

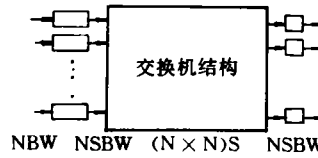


图3 组合缓冲

4 各种缓冲系统的队列长度 PMF 分析

4.1 仿真试验条件

为了对各种缓冲系统的规模有所了解，我们需要测量缓冲器中队列长度的概率群函数 (pmf)，pmf 与概率密度函数 (PDF) 相似，不同之处在于它用于离散随机变量，而非连续随机变量；输出队列长度的 pmf 是发现队列为特定长度的概率。根据队列长度的 pmf 曲线，我们便能够预测存储器的规模。以64口 ATM 交换机做仿真并将一半的入出口分配给服务器，即令 $N=64$ ， $L=N/2$ 。

由于用户和服务器的数据率、入出口分配都不同，因此有必要将它们的人出口缓冲器的队列长度分别加以考察。图4是输出缓冲型 ATM 交换机某个指定的用户出口和某个服务器出口上缓冲器的队列长度 pmf 曲线；图5是 VC 组织型输入缓冲系统入口上的队列长度 pmf 曲线；图6是窗口顺序型输入缓冲系统窗口大小为6时的入口队列长度 pmf 曲线。图7对应于大多数缓冲器放在输入端的窗口组合型缓冲系统中输入缓冲器的队列长度 pmf 曲线。

以上试验都是 10^5 次独立试验的结果，并且在试验中输入口负荷率分别是：

- 服务器 \Rightarrow 用户为 50%；
- 用户之间为 20%；
- 用户 \Rightarrow 服务器为 60%。

仿真试验中做了以下假设：

- 假定服务器入口的信元在进入及向用户出口交换时为均匀模式。
- 假定用户入口的信元进入时为均匀模式，输出时，在服务器出口之间以及用户出口之间为均匀分布。

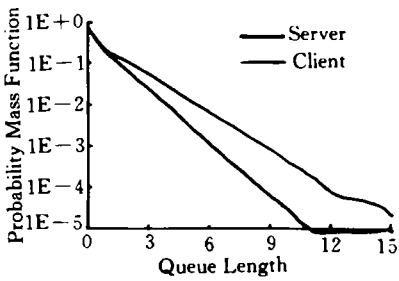


图4 输出缓冲

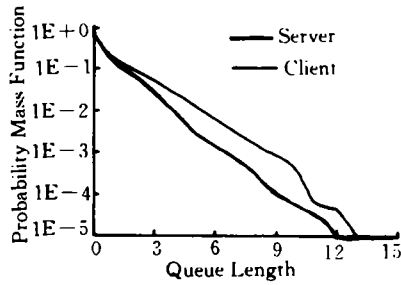
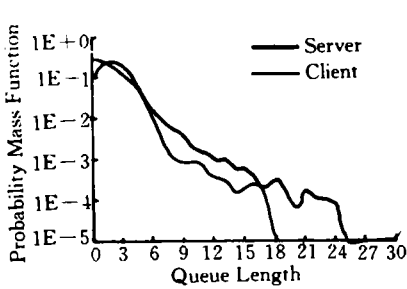
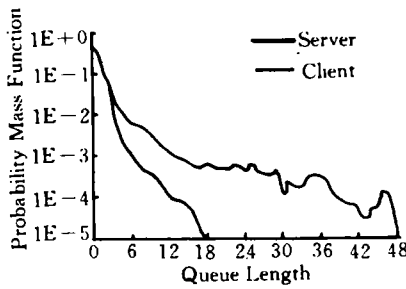


图5 VC组织型输入缓冲



窗口尺寸=6

图6 窗口顺序型输入缓冲



窗口尺寸=4，输出缓冲器尺寸=4

图7 窗口组合型缓冲

4.2 仿真结果分析

根据4.1中条件共做了4组仿真，得出8对用户/服务器缓冲器队列长度 pmf 分布曲线。图4~图7中的 pmf 值全部采用对数单位标注，为的是更清楚地表示较小的 pmf 值，以供比较；一般情况下，当队列长度大于20时，其 pmf 值都只有千分之几，用普通标注法很难看清楚它们之间的差别。

经过比较，可以得出以下几点结论：

- (1) 单纯从 pmf 值来看，输出缓冲型交换机最好，但众所周知的是它也最复杂，带宽要求最高。
- (2) VC 组织型输入缓冲系统的效果仅次于纯输出缓冲系统，是一种很有潜力的缓冲结构；需要注意解决的是控制机制的结构和带宽。
- (3) 窗口顺序型缓冲系统的窗口太大时效果改善不明显，一般认为尺寸为4~6的窗口较为合适。
- (4) 窗口组合型缓冲系统的队列长度 pmf 值收敛较快。

5 结束语

我们研究了类 C/S 业务模式下的 ATM 交换机缓冲策略。输出缓冲型 ATM 交换机虽然实现了最佳的吞吐—延迟性能,其中的大部分却深受高度复杂之害。尽管人们致力于改善输出缓冲型的结构,提出了一些建设性的意见,然而我们也不妨另寻出路,争取在其他结构种类,如窗口输入缓冲型或组合缓冲型上求得进展。本文在类用户—服务器业务模式下开展缓冲结构分析,避免一般采用的均匀业务假设的弊端,从而使交换机缓冲系统的研究更贴近实际。将各种缓冲系统置于同样的条件下用统计的方法研究其队列长度概率分布情况,不仅可使我们对缓冲器规模有所了解,而且便于比较,无疑是值得提倡的研究方法。

参 考 文 献

- 1 Robert J. Simcoe, Pei T B. Perspectives on ATM Switch Architecture and the Influence of Traffic Pattern Assumptions on Switch Design. *Computer Communication Review*, 1995, 25 (2): 93~105
- 2 Ra'ed Y. Awdeh, Mouftah H T. MS4-a High Performance Output Buffering ATM Switch. *Computer Communication*, 1995, 18 (9): 631~644
- 3 Huchyi, Karol M J. Oueuing in high-performance Packet Switching. *IEEE J. Selected Area in Communications*, 1988, 6 (9): 1587~1597

(责任编辑 张静)