

测试交换结构性能的仿真信源实现

罗俊* 李乐民 许都

(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】提出了一种用于测试交换结构性能的仿真信源的实现方案,其内容包含两种形式的交换结构信源:一种是均衡业务下的具有地址突发的信源,用于验证交换结构所需的缓存大小;另一种是非均衡的业务源,用于验证交换结构的仲裁算法的性能。经仿真证实,此模型能很好地满足测试交换结构性能的需要,有助于交换结构的研究。

关键词 自相似; 信源模型; 突发; 交换结构;

中图分类号 TN913.24 **文献标识码** A

Realization of Simulation Source for Testing of Switching Fabric

Luo Jun Li Lemin Xu Du

(State Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper, we put forward a scheme of realizing the source model to test the performance of switch fabric, and this it includes two kinds of source models. One, with the address happening suddenly, has balanced traffic and is used for designing the size of the buffer memory that the switch fabric needs. Another has non-balanced traffic and is used to verify the performance of the arbitration algorithm of the switch fabric. Simulation shows that this source model has satisfied the need of testing the performance of switch fabric and is useful for the research of switch fabric.

Key words self-similarity; source model; burst; switch fabric

随着宽带综合业务数字网的发展和标准化,网络数据流量的增多以及业务类型的多样化、复杂化,迫切需要网络的交换设备具有良好的流量控制和拥塞管理的能力,故对交换机的结构、调度算法等问题的研究显得尤为重要,而对网络数据源模型的研究也是一个重要的研究课题。

本文首先定义网络业务流为未经交换机(或路由器)线卡处理的原始业务流,交换结构业务流信源是经线卡处理后输入到switch fabric 端口的信源。研究发现网络业务流具有长期相关性和自相似的特征,因此自相似的网络业务流模型成为研究的热点,文献[1~4]提出了很多自相似的业务流模型,但对于交换机结构的信源建模问题未涉及,而对于交换结构性能的验证与这部分信源密切相关。因网络业务流是自相似的,但经过线卡的处理后(诸如切包、接入控制、流控制、调度等处理),其统计性能已经发生了很大的变化。当负载很高时,速率的突发意义已不大,这时对交换结构性能影响最大的是输出端口地址的突发问题和业务的均衡问题,故构建一种适用于交换结构性能验证的信源模型是必要的。同时,在仿真工具(如opnet)中,也没有适用于验证交换结构性能的信源模型库。本文设计一种可以产生定长或变长分组的信源仿真模型,以适应交换结构性能仿真的需要。

2002年11月25日收稿

* 男 24岁 在职硕士生 主要从事交换机调度和流量管理算法方面的研究

1 交换结构的信源

交换结构输入端口的信源是经线卡处理后的流,当负载率较高时,数据速率接近线速。因为输入端口的处理能力是按照线速设计的,所以即使在峰值下,输入端口也能够处理,这时的突发特性主要表现为输出端口地址分配的突发性,造成多个输入端口的分组在某段时间同时往同一输出端口,使输出端口拥塞。

端口地址的突发特性直接与交换结构所需缓存相关,为了验证缓存的大小,需要产生丰富的突发信源。假定在有突发性的情况下,业务流在各个端口之间的流量均衡分布,即每个输入端口到各个输出端口的数据流量相等,每个输出端口接收到的流量以相等的份额来自各个输入端口。如果输出端口所接收的流量在各个输入端口之间不均等,或者输入端口往各个输出端口的数据流量不均等,则称为非均衡业务,它主要用于验证仲裁算法的优劣。本设计主要实现热点和矩阵配置两种非均衡业务。热点业务指所有输入端口到某输出端口(热点)的业务多于往其他端口的业务,矩阵配置业务指端口间的流量分配可通过配置矩阵手动(或自动)配置,但必须遵循系统稳定的准则。

2 均衡业务下具有地址突发的信源

地址突发信源主要用来验证交换机所需缓存的大小,实现均匀分布、周期分布、几何分布和重尾分布四种地址突发的信源,均是ON/OFF模型的信源^[2,4],在ON期发送分组,形成突发。已知(用户参数设定)峰值速率 P 、负载率 r 、平均突发长度 M ,根据各种分布的特性计算出相应的其他参数,产生需要的数据流。实现时,模拟物理链路的数据传输方式,即串行产生分组,在特定时隙只产生一个分组。产生定长分组时,以发送一个分组所需的时间作为一个时隙;变长分组时,以发送一个bit或byte的时间作为一个时隙进行相应计算,其产生方法如下:根据相关参数计算出ON期和OFF期的长度(时隙数),在ON期随机选择一个端口作为输出地址,ON期内的所有分组都使用该目的地址,形成地址突发。下面证明这种方式产生的业务流在各个输出端口之间均匀分布。

证明 设端口个数为 N ,在很长一段时间内某信源发送的数据包总长度为 L ,显然

$$L = \sum_{i=1}^n L_i$$

式中 L_i 表示第 i 个ON期所发数据分组长度,令 $X = \{\text{往目的端口}j\text{的总包长}\}$,则有

$$E[X] = E\left(\sum_{i=1}^n (X_i)\right) \quad X_i = \{\text{第}i\text{个ON期中往}j\text{的包长}\}$$

因为ON期是相互独立的,所以

$$E[X] = \sum_{i=1}^n E[X_i] = \sum_{i=1}^n L_i \times \frac{1}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n L_i = \frac{L}{N}$$

可见,只要随机地选择端口地址,流量必定均匀,与突发分布特性无关。

3 非均衡业务下的热点信源

热点信源是指将某个输出端口作为热点,交换到该端口的流量比率可以特殊设定,实现业务流量的不均匀分布。定义Hotport为具有特殊负载比率的热点输出端口; W_{HotPort} 为热点端口负载的比率,取值 $[0,1]$ 。实现时,首先产生一个随机数 $r(0 < r < 1)$,若 $r < W_{\text{HotPort}}$,则该分组的输出端口为HotPort,否则在所有输出端口中均匀分布。特殊情况下,如 $W_{\text{HotPort}} = 0$,则产生均匀业务。

设输入端口的分组到达服从贝努里分布,端口的平均输入负载率为 $r(0 < r < 1)$,则热点输出端口负载率和非热点输出端口的负载率为

$$rN W_{\text{HotPort}} + r(1 - W_{\text{HotPort}}) \quad (1)$$

$$r(1 - W_{\text{HotPort}}) \quad (2)$$

因为只要有一个输出端口的负载率超过1,交换系统就不可能达到稳定状态。从式(1)和式(2)可以发现,对于非热点输出端口,其负载率永远不会大于1;对于热点输出端口,其负载率可能大于1。故系统处于稳

态的必要条件是

$$rNW_{\text{HotPort}} + r(1 - W_{\text{HotPort}}) = 1 \tag{3}$$

即

$$W_{\text{HotPort}} = \frac{(1 - r)}{(r(N - 1))} \tag{4}$$

以上面的理论分析为基础, 为仿真模型设定两个参数: Hotport(指定热点端口)和Ratio_hotport(计算 W_{HotPort} 参数), 具体操作如下: 初始化阶段, 根据 $W_{\text{HotPort}} = (1 - r)/(r(N - 1))$ 计算出临界热点输出端口负载率, 乘以 Ratio_hotport 得到实际的负载率。发送阶段产生一个随机数, 小于该负载率则发往热点端口, 否则随机发往一个输出端口。Ratio_hotport 是一个由用户进行指定的参数, $0 < \text{Ratio_Hotport} < 1$, 默认值为 1。

4 非均衡业务下矩阵配置信源

为了获得灵活分布的流量需使用矩阵进行流量的配置, 考虑到端口数目过多时, 手动地配置参数很麻烦, 故设计了自动(automatic)和手动(manual)两种配置方式。

当端口数较多时, 可以采用自动配置方式, 每个输入端口都有一个对应的热点输出端口, 如果设定 interval 参数为 2、热点比率为 0.5, 则对于输入端口 i , 其往输出端口 $i+2$ 的流量比率为 0.5, 其余输出端口均分剩下 0.5 的流量, 即产生非均衡的业务, 又确保输出端口不会超出其处理能力, 保证系统的稳定性。

进行手动配置时, 必须满足系统稳定的条件。令 a_{ij} 为第 i 个输入端口往第 j 个输出端口的流量占第 i 个输入端口总流量的比例, 输入端口负载为 r , 则必须满足

$$a_i = 1 - a_i \frac{1}{r} \tag{5}$$

因此, 在仿真模型初始化阶段, 对于从外部文件所读得的配置矩阵数据需要进行检验, 如果不满足式(5), 则给出出错信息, 结束仿真。

5 仿真结果及性能分析

本模型在 Opnet 仿真工具下实现, 有很强的适时性、通用性和模块化的特征, 其仿真结果和统计数据与理论分析较吻合。

试验 1 设定交换结构输入输出端口数均为 4, 输入负载率为 0.8, 平均速率 800, 选择输出均衡业务模式的信源, 由于 pareto 最不稳定, 表明了本设计的最差性能, 采用该随机过程产生 ON、OFF 周期, 其输出地址分布比率如表 1 所示。计算出的速率均值为 830, 存在大约 4% 的误差。其原因在于 pareto 分布是重尾分布, 可能产生一些很大的值。在负载率较高时, OFF 期的平均长度较小, 由于存在一些很大的值, 为了满足这个较小的均值, 其生成的大部分数据都很小, 而计算 OFF 期长度时有一个取整过程, 所以会得到很多 OFF 期长度为 0, 致使发送的分组偏多。同样, 当负载率很低时, 会导致发送的分组偏少, pareto 分布的这种不稳定性和重尾特性造成了仿真的误差。

表1 突发地址分布		表2 热点地址分布		表3 矩阵配置地址分布	
outport	ratio	outport	ratio	outport	ratio
0	0.241 026	0	0.228 332	0	0.198 470
1	0.254 718	1	0.231 000	1	0.301 478
2	0.276 480	2	0.229 552	2	0.201 013
3	0.227 776	3	0.311 116	3	0.299 039

试验 2 选择热点业务, 设置热点输出端口为 3。

本文主要研究各个输出端口业务的分配情况, 其热点地址分布如表 2 所示。可以看出, 出端口 3 的业务多于其他端口, 而这正是设定的热点, 计算出的速率均值为 799, 误差很小。

试验3 选择手动矩阵配置方式, 设定输出端口地址分配比率为0.2, 0.3, 0.3, 0.2, 其结果如表3所示, 与设定值很吻合, 计算出的速率均值为799, 误差很小, 说明信源很精确。

6 结束语

通过理论分析和仿真验证, 本文提出的交换机仿真信源的设计方案很好地满足了对交换结构进行性能验证的需求, 有助于缩短其设计研发的周期, 降低成本, 是网络设计的基础。模型支持具有地址突发的业务和多种非均衡业务, 具有很强的灵活性和通用性, 使用范围较广, 但本模型仅适用于传统的交换结构, 对于多维交换结构需根据其特殊需要设计信源模型。

参 考 文 献

- [1] Willinger W, Taqqu M S, Sherman R, *et al.* Self-similarity through high-variability: statistical analysis of Ethernet LAN traffic at the source level[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1997, 8(1): 71-86
- [2] Heath D, Resnick S, Samorodanitsky G. Heavy tail and long range dependence in ON/OFF process and associated fluid models[J]. Math of Operation Research, 1998, 23(1): 145-165
- [3] 许 都. 自相似业务流特性及其对ATM网络性能影响的研究[学位论文][D]. 电子科技大学, 1998
- [4] 胡 岩, 张光昭. 重尾ON/OFF源模型生成自相似业务流研究[J]. 电路与系统学报, 2001, 6(3): 72-76

编 辑 徐培红

· 简 讯 ·

四川省新闻出版局奖励《电子科技大学学报》等 获中国期刊奖的期刊

四川省新闻出版局2003年度工作会议于2003年4月下旬在成都召开, 会议对全省2002年的新闻出版工作进行了总结, 2003年的工作作了规划, 并表彰一批先进集体和个人, 对在去年获得全国各种图书、期刊奖的单位和个人也作了表彰, 《电子科技大学学报》等7家自然科技期刊和3家社会科学期刊, 因2002年分别获得中国期刊奖提名奖和重点期刊奖而获得物质奖励和有关政策, 会议鼓励全省的期刊工作者认真办刊, 办好刊, 办精品期刊, 为四川的期刊出版业作出更大的贡献。

· 宣 ·