

光突发交换边缘结点汇聚机制对业务流自相似特性的影响

刘建平, 刘增基, 文爱军

(西安电子科技大学 综合业务网与关键技术国家重点实验室 陕西 西安 710071)

摘要: 在分析光突发交换(OBS)边缘结点汇聚机制的基础上,提出了一种基于方差时间图的分析方法,利用“时间离散”和“尺度聚集”的思想,通过构造不同聚集级别 m 的聚集序列,分析得出业务流时间聚集序列的方差渐近性,从理论上证明了在组装器队长具有有限二阶矩的条件下,汇聚机制的分解、组装和合并过程不会改变业务流的Hurst参数.同时利用Opnet建立了OBS网络边缘结点的仿真模型,并通过仿真试验验证了理论分析的正确性.理论分析和仿真结果表明边缘结点汇聚输出的突发流与输入分组流具有相同的自相似特性,与所采用的组装算法无关.

关键词: 光突发交换;突发汇聚;自相似业务

中图分类号:TN929.11 文献标识码:A 文章编号:1001-240X(2005)06-0852-04

Impact of convergence mechanism on self-similarity of traffic in edge nodes of optical burst switching

LIU Jian-ping, LIU Zeng-ji, WEN Ai-jun

(State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract: Optical burst switching (OBS) is a promising paradigm of the next-generation internet infrastructure. In this paper a variance-time-based analysis method is proposed, based on the analysis of the convergence mechanism in the OBS edge node. By sampling from the traffic flow and averaging non-overlapping blocks of size m from the original series, the variance asymptotic characteristic of the averaged series is obtained, from which this method shows that the splitting, assembling and merging process of the convergence mechanism will not change the Hurst parameter of the traffic if the queue length of assemble buffer has a finite second-order moment. A simulation model of the OBS edge node is established, on which the correctness of analysis is testified. From both theoretical and simulation results, it is demonstrated that the self-similarity of the traffic after convergence is the same as that of the input traffic and has nothing to do with the assemble algorithm.

Key Words: optical burst switching; burst convergence; self-similar traffic

未来光互联网将是基于IP over DWDM 框架下的全光网络,光分组交换(Optical Packet Switching,简称OPS)将是全光网络的主要交换技术,但是受到目前光信息处理技术的限制和缺乏简便灵活、可随机存取的光存储器,OPS在目前还无法实现.光突发交换(Optical Burst Switching,简称OBS)被认为是迈向未来OPS的重要一步^[1,2].

在OBS中,突发(burst)是网络传输的基本数据单位,它是由多个具有相同目的地址和QoS等级的IP分组(packet)在边缘结点按照一定的汇聚机制组成的.汇聚后的输出业务流即突发流的业务特性(如突发长度分布、突发到达间隔分布以及自相似特性等)直接影响到OBS网络的性能,越来越多的研究证实局域网和广域网上的数据业务呈现自相似特性^[3].文献[4]通过仿真实验认为汇聚组装过程可减弱业务流的自相似特性,而文献[5,6]同样通过仿真试验认为汇聚组装过程不会改变业务流的自相似特性.上述几篇文献的研究

都是基于仿真试验,缺乏有效的理论分析.另外,研究中仅考虑了汇聚机制中的组装过程对业务流的影响,而汇聚机制还涉及业务流的分解与合并过程,这些过程也将对业务流的自相似特性产生影响.

1 边缘结点的汇聚机制

边缘结点的汇聚机制是指以何种方式将输入的 IP 分组数据流汇聚组装为突发数据流.图 1 所示为边缘结点对输入业务流的处理流程图,输入业务流到达边缘结点后首先进入路由信息处理模块,路由信息处理模块按照 IP 分组的目的地和 QoS 等级将输入业务流分成若干子业务流,各子业务流分别被送入与之相应的组装器,各组装器采用某种组装算法生成突发,从各组装器生成的突发在发送队列模块进行合并,合并后的业务流送到输出链路.

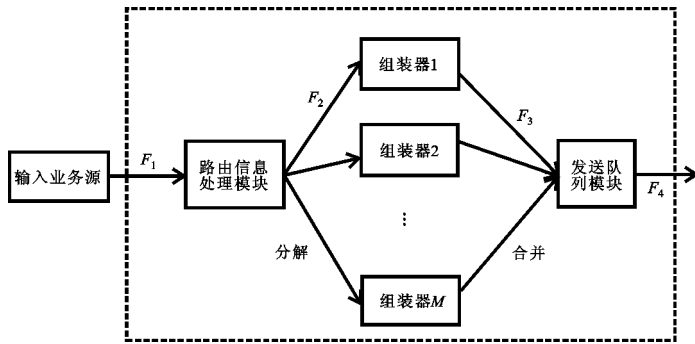


图1 边缘结点汇聚机制对输入业务流处理的流程图

从边缘结点对业务流的处理过程可看出,汇聚的全过程可分为分解—组装—合并等几个子过程,各子过程对业务流的特性都会产生影响,其中组装子过程对业务流特性的影响与所采用的组装算法有关.

突发长度和突发汇聚时间是组装算法的两个重要参数,按照这两个参数,组装算法可分为两类^[5]:基于时间的组装(FAT)算法和基于突发长度的组装(FAL)算法.在FAT算法中,为每一个组装器设定一个固定时间门限 T ,当第一个IP分组到达组装器时定时器开始计时,当计时达到时间门限 T 时,将组装器中所有到达分组组装成一个突发,定时器清零,重新开始组装下一个突发,如此循环下去.在FAL算法中,为每一个组装器设定一个固定长度门限,当组装器中到达IP分组的长度(以字节计)总和达到长度门限 L 时,将组装器中的所有数据组装成一个突发.在设计突发组装算法时,为了使突发长度和突发组装时间满足一定要求,通常时间门限和长度门限都必须考虑.一种通用的组装算法是“基于时间门限的最大最小突发长度(FTMML)”组装算法^[5],即在组装过程中,若组装时间达到 T 或队列中的数据长度达到 L 都将产生一个突发,当所生成突发的长度小于最小突发长度时,以填充方式将其补齐.

突发业务流的特性包括突发长度分布、突发到达间隔分布和自相似特性等.以下将重点分析业务流的自相似特性.业务流的自相似特性通常是以Hurst参数(简称 H 参数)来度量,当 $0.5 < H < 1$ 时,表明业务流具有自相似性, H 的值越接近1,自相似程度越大^[7].

2 边缘结点中业务流自相似特性的分析

为便于分析,对边缘结点中各业务流做如下表示,如图1所示,输入业务流为 F_1 ,组装器输入与输出业务流分别为 F_2 和 F_3 ,各组装器输出业务流合并后的业务流为 F_4 .

文献[8]分析了自相似过程的合并和分解过程,并得到如下两个结论:(1)一个严格的自相似过程被分解为多个子过程后,各子过程仍然是自相似过程且 H 参数保持不变;(2)多个 H 参数为 H_i 的互不相关的自相似过程的聚合过程仍然为一个自相似过程,其 H 参数为 $H = \max_{i=1,2,\dots,n} H_i$.由此可得出 F_1 和 F_2 应具有相同的自相似特性,若每个 F_3 的 H 参数相同,则 F_3 的 H 参数也应与 F_4 相同.

下面重点分析 F_2 与 F_3 H 参数的关系. 为了叙述简便, 首先对符号做如下定义: 设 $X = [X_1, X_2, \dots]$ 为 F_2 的时间抽样序列, 其中 X_k 为 $k-1$ 时刻到 k 时刻时间间隔内的业务量(以字节计算); $X^{(m)} = [X_1^{(m)}, X_2^{(m)}, \dots]$

为 X 的 m 阶时间叠加序列, 即 $X_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=(k-1)m+1}^{km} X_i$.

同理可定义 $Y, Y^{(m)}$ 分别为 F_3 的时间抽样序列和 m 阶时间叠加序列; $Q(t)$ 为时间 t 时组装器中存储的业务量. 另设 $V_m = \text{Var} X_k^{(m)}$, 当 X 是参数为 H 的自相似过程时, 有: 当 $m \rightarrow \infty$, $V_m \sim cm^{-\beta}$, c 为常量, $H = 1 - \beta/2$; 在组成装器无丢失的条件下有

$$Y_k = X_k + Q(k-1) - Q(k). \quad (1)$$

对式(1)进行 m 阶时间叠加可得:

$$Y_k^{(m)} = X_k^{(m)} + \{Q[(k-1)m+1] - Q(km)\}/m. \quad (2)$$

$$\text{引入不等式 } |\text{Var}^{1/2}(Y_k^{(m)}/V_m^{1/2}) - \text{Var}^{1/2}(X_k^{(m)}/V_m^{1/2})| \leq \text{Var}^{1/2}(Y_k^{(m)}/V_m^{1/2} - X_k^{(m)}/V_m^{1/2}). \quad (3)$$

对不等式两边取平方并利用关系式 $\text{Var}(A-B) = \text{Var} A + \text{Var} B - 2\text{Cov}(A, B)$ 得:

$$\text{Cov}(Y_k^{(m)}/V_m^{1/2}, X_k^{(m)}/V_m^{1/2}) \leq \text{Var}^{1/2}(Y_k^{(m)}/V_m^{1/2}) \text{Var}^{1/2}(X_k^{(m)}/V_m^{1/2}). \quad (4)$$

式(4)显然成立, 故式(3)也成立. 式(3)等价于

$$\text{Var}^{1/2}\left(\frac{X_k^{(m)}}{V_m^{1/2}}\right) - \text{Var}^{1/2}\left(\frac{Y_k^{(m)}}{V_m^{1/2}} - \frac{X_k^{(m)}}{V_m^{1/2}}\right) \leq \text{Var}^{1/2}\left(\frac{Y_k^{(m)}}{V_m^{1/2}}\right) \leq \text{Var}^{1/2}\left(\frac{X_k^{(m)}}{V_m^{1/2}}\right) + \text{Var}^{1/2}\left(\frac{Y_k^{(m)}}{V_m^{1/2}} - \frac{X_k^{(m)}}{V_m^{1/2}}\right). \quad (5)$$

由于当 $m \rightarrow \infty$, $V_m \sim cm^{-\beta}$, 故有当 $m \rightarrow \infty$, $mV_m^{1/2} \sim m\{cm^{-\beta}\}^{1/2} \rightarrow \infty$, 又因为系统处于稳态时 $Q(t)$ 具有有限二阶矩, 即 $\text{Var}\{Q(t)\} < \infty$, 故有

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \text{Var}^{1/2}\left(\frac{Y_k^{(m)}}{V_m^{1/2}} - \frac{X_k^{(m)}}{V_m^{1/2}}\right) = \lim_{m \rightarrow \infty} \text{Var}^{1/2}\left\{\frac{1}{m} \left(\frac{Q[(k-1)m+1]}{V_m^{1/2}} - \frac{Q(km)}{V_m^{1/2}}\right)\right\} = 0, \quad (6)$$

$$\text{则由式(5)可得: } \lim_{m \rightarrow \infty} \text{Var}^{1/2}\left(\frac{Y_k^{(m)}}{V_m^{1/2}}\right) = \lim_{m \rightarrow \infty} \text{Var}^{1/2}\left(\frac{X_k^{(m)}}{V_m^{1/2}}\right) = 1, \quad (7)$$

即当 $m \rightarrow \infty$, $\text{Var} Y_k^{(m)} \sim V_m \sim cm^{-\beta}$. 由此可得出 F_2 与 F_3 具有相同的 H 参数.

综上所述, F_1 与 F_4 具有相同的自相似特性, 即输入业务流经过分解、组装和合并等过程后, 其自相似特性保持不变.

3 仿真结果

为了验证上述理论分析的正确性, 利用 Opnet10.0 实现了 OBS 网络边缘结点的仿真模型, 通过向边缘结点输入自相似业务来检测边缘结点汇聚机制对业务流自相似特性的影响. 在仿真实验中, 通过将多个具有 Pareto 分布的 ON/OFF 源叠加来产生自相似业务源^[9]. 每个 ON/OFF 源在 ON 期业务源以固定速率发送数据, 而在 OFF 期不发送数据. ON 期和 OFF 期的持续时间分别服从 Pareto 分布, Pareto 分布的概率密度函数为 $f(x) = \alpha \cdot b^\alpha / x^{\alpha+1}$, 对于自相似业务要求 $1 < \alpha < 2$, Hurst 参数 $H = (3 - \alpha)/2$, 在这里选择 $\alpha = 1.6$ 即 $H = 0.7$. 对业务流 H 参数的估计采用时间方差图法^[6], 即将自相似过程的聚集过程 $X^{(m)}$ 的方差与 m 的关系绘到对数坐标图上, 结果应得到一条斜率为 $-\beta$ 的直线, β 在 $(0, 1)$ 之间取值, 而 $H = 1 - \beta/2$. 在实验中采用最小二乘法对测量数据进行直线拟合得到斜率为 $-\beta$ 的直线. 其他实验参数为: 输入业务量强度为 0.5, 输入 IP 分组的平均长度为 600 字节, 链路速率为 2.5 Gbit/s.

从图 2 可看出对各业务子流测量得到的直线几乎平行, 得到的 H 参数分别为 0.7643, 0.7494, 0.7350, 0.7643, 相互之间相差非常小. 造成各值不能完全相等的原因有两个: 一方面是仿真试验中产生的自相似输入业务流不是严格的自相似过程, 另一方面是估计 H 参数的时间方差图法精度不高.

实验中选择采用门限分别为 $10 \mu\text{s}$, $100 \mu\text{s}$, $1000 \mu\text{s}$ 的 FAT 算法和 FTMML 组装算法, 从图 3 可看出, 所得到的直线也几乎平行, 说明不同的组装算法对业务流的自相似特性没有影响, 只是改变了业务流业务量大小的平均方差.

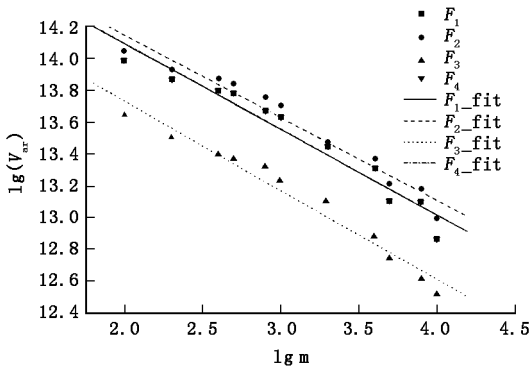


图 2 边缘结点各业务子流的时间方差图

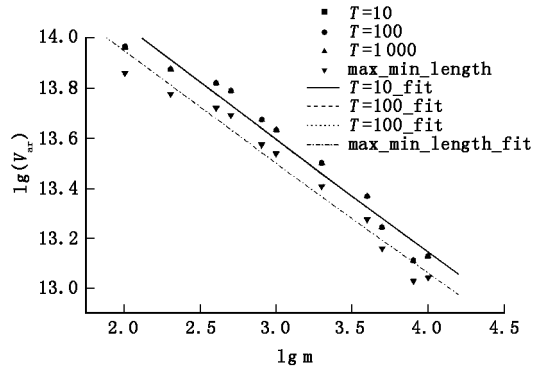


图 3 不同组装算法下 F_4 业务流的时间方差图

4 结束语

研究了光突发交换中心汇聚机制对输出业务流自相似特性的影响,理论分析和仿真结果证明汇聚输出的突发流与输入分组流具有相同的自相似特性.有关光突发交换汇聚机制的研究还需要将继续,下一步的研究方向是汇聚机制对其他网络性能如时延、吞吐率等有何影响.

参考文献:

[1] Qiao C , Yoo M. Optical Burst Switching(OBS)—a New Paradigm for an Optical Interner[J]. Journal of High Speed Networks , 1999 , 8(1) : 69-84.

[2] Zhang Shi , Qin Hao , Liu Zengji. A Distributed Wavelength Assignment Algorithm in an Optical Burst Switching Network Using Deflection Routing[J]. Journal of Xidian University , 2003 , 30(7) : 72-76.

[3] Leland W , Taquu M , Willinger W. On the Self-similar Nature of Ethernet Traffic(Extended Version) [J]. IEEE/ACM Trans on Networking , 1994 , 2(1) : 1-15.

[4] Ge A , Callegati F , Amil L. On Optical Burst Switching and Self-similar Traffic[J]. IEEE Communication Letter , 2000 , 4(3) : 98-100.

[5] Yu X , Chen Y , Qiao C. A Study of Traffic Statistics of Assembled Burst Traffic in Optical Burst Switched Networks[A]. Opti Comm 2002[C]. Boston : Opti Comm , 2002. 149-159.

[6] Hu G , Dolzer K , Gauger C. Does Burst Assembly Really Reduce the Self-similarity[A]. OFC 2003[C]. Atlanta : OSA , 2003. 124-126.

[7] [美] William S. 高速网络与因特网 性能与服务质量的英文版,第 2 版 [M]. 北京 机械工业出版社 2002.

[8] Fan Y , Georganas N. On Merging and Splitting of Self-similar Traffic in High-speed Network[A]. Proceeding of ICC95[C]. Seoul : ICC , 1995. 8A. 1. 1-6.

[9] Taquu M S , Willinger W , Sherman R. Proof of a Fundamental Result in Self-similar Traffic Modeling[J]. Computer Communication Review , 1997 , 27(2) : 5-23.

(编辑 : 李维东)

