

# OBS 网络中汇聚机制对边缘结点时延特性的影响

刘建平 刘增基 文爱军

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室 西安 710071)

**摘要** 提出了一种边缘结点时延特性分析模型,将边缘结点时延分为组装时延、突发排队时延和偏置时延;在分析光突发交换汇聚机制的基础上指出组装时延对时延特性影响最大;从理论上分析了三种不同组装算法的组装时延,并通过仿真实验验证了理论分析的正确性;利用仿真研究了在 Poisson 和自相似业务输入下边缘结点的时延特性。分析和仿真结果表明,边缘结点时延特性主要由组装时延决定,与所选取的组装算法和算法参数有密切关系,并且受输入业务自相似性的影响。

**关键词** 光交换,光突发交换,汇聚

## Impact of Convergence Mechanism on Delay of Edge Node in Optical Burst Switched Networks

LIU Jian-Ping LIU Zeng-Ji WEN Ai-Jun

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

**Abstract** Optical burst switching (OBS) is a promising paradigm for the next-generation Internet infrastructure. This paper presents a delay analysis model for OBS edge node, in which the total delay can be sorted into assembly delay, burst queuing delay and offset delay. By analyzing the convergence mechanism it is indicated that the delay performance is mainly impacted by the assembly delay. The assembly delay under three different assembly algorithms are theoretically analyzed and its correctness is validated by simulation. The impact of traffic self-similarity on the delay is also analyzed. Both theoretical and simulation result show that the delay in edge node is mostly decided by assemble delay and is relevant to the assembly algorithm, the parameters of algorithm and traffic self-similarity.

**Keywords** Optical switching, Optical burst switching, Convergence

## 1 引言

光突发交换 (Optical Burst Switching, OBS) 被认为是一种具有广阔发展前景的光交换技术,是近几年光网络领域的一个研究热点。与其他光交换技术相比, OBS 具有交换灵活、带宽利用率高、实现成本和复杂度较低的特点<sup>[1,2]</sup>。

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。将 IP 分组组装成突发进行传送,减轻了核心结点控制面的工作,弥补了核心结点电控制面处理能力与 WDM 链路高速传送能力之间的不匹配,但不可避免地增加了边缘结点的时延。

边缘结点的时延与所采用的汇聚机制有密切关系。有关汇聚机制的研究一直是 OBS 研究的一个热点,但目前大多数研究均集中在汇聚机制本身、汇聚机制对突发业务特性的影响等<sup>[3]</sup>,有关汇聚机制对时延特性影响的研究还较少。文[4]研究了网络范围受限、边缘结点输出带宽有限(单波长速率)条件下边缘结点的时延特性,但 OBS 将来的主要应用将在广域网上,因此研究网络范围较大、结点输出为多波长情况下边缘结点的时延特性具有重要意义。本文从分析边缘结点汇聚机制出发,将边缘结点时延分为组装时延、突发排队时延和偏置时延,研究了组装算法、突发调度算法和不同输入业务源特性对边缘结点时延的影响。

## 2 OBS 边缘结点的汇聚机制

边缘结点的一个重要功能是按照一定的汇聚机制将输入 IP 分组数据流汇聚组装为突发数据流。图 1 所示为边缘结

点结构模型。输入 IP 分组数据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目的地址和 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进入调度缓存器,突发调度模块采用一定的调度策略为突发分配信道资源。当有资源可分配时,向控制分组生成模块发送控制信号,产生一个控制分组,同时将突送入相应波长的发送队列,突发在发送队列等待一个偏置时间后从输出链路发送出去。

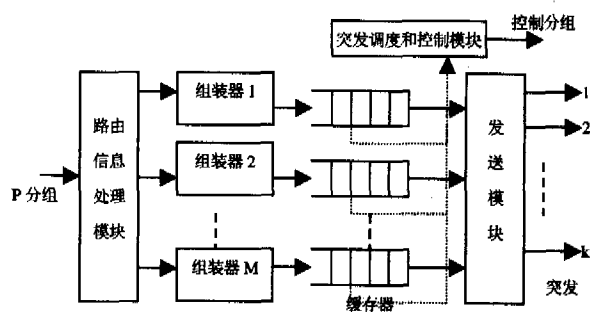


图 1 边缘结点结构模型

边缘结点的汇聚机制包含两个重要算法:组装算法和突发调度算法。

组装算法决定了汇聚机制以何种方式将 IP 分组组装成突发。突发长度和突发组装时间是组装算法的两个重要参数,按照这两个参数,组装算法可以分为两类<sup>[5]</sup>:基于时间的组装 (FAT) 算法和基于突发长度的组装 (FBL) 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

刘建平 博士生,主要研究方向为光交换和光通信网;刘增基 教授、博士生导师,主要研究方向为信息传输与通信网;文爱军 博士、副教授,主要研究方向为光通信网。

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 FBL 算法中,为每一个组装器设定一个突发长度门限  $B$ (以 IP 分组个数计)。当第一个 IP 分组到达组装器时,计数器开始计数;当计数达到计数门限  $B$  时,将组装器中所有到达分组组装成一个突发,计数器清零,重新开始组装下一个突发。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分组数 (FTMMB)”组装算法,即在组装过程中,若组装时间达到  $T$  或队列中 IP 分组数达到  $B$  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。

突发调度算法的主要作用是组装器生成的突发分配输出信道。在 OBS 网络中,突发调度算法分为有填充和无填充两大类,典型代表分别为 LAUC 和 LAUC-VF<sup>[6]</sup>。LAUC 是一种较简单的无填充突发调度算法,调度器只需保留每个输出信道的最近空闲时刻。当突发到达时,将该突发发送时刻与各个输出信道的最近空闲时刻比较,选择时刻间隙最小的输出信道;若该时刻输出信道全忙,则在缓存器中等待空闲信道的出现,其缺点是信道利用率不高,突发之间的时隙被浪费了。为了提高信道利用率,提出了有填充的 LAUC-VF 算法,该算法的基本思想是使输出信道发送的突发间空闲间隙最小,因而要求调度器除了保留每个输出信道的最近空闲时刻,还需保留调度时间范围内输出信道的未使用间隙,当突发到达时,根据其发送时间和发送长度选择最“合适”的空闲间隙。有关两种算法的详细描述参见文[6]。

### 3 OBS 边缘结点时延特性分析

从上述边缘结点对输入 IP 分组数据流的处理过程可以看出,整个汇聚过程可能引入以下 3 种时延,如图 2 所示。

- (1) 组装时延  $T_{as}$ : 指从 IP 分组到达组装器时刻起到突发产生时刻;
- (2) 突发调度和排队时延  $T_{que}$ : 从突发产生时刻起到与之相应的控制分组发送时刻(突发进入波长发送队列时刻);
- (3) 偏置时延  $T_{offset}$ : 从控制分组发送时刻到突发的第一个比特开始发送时刻。

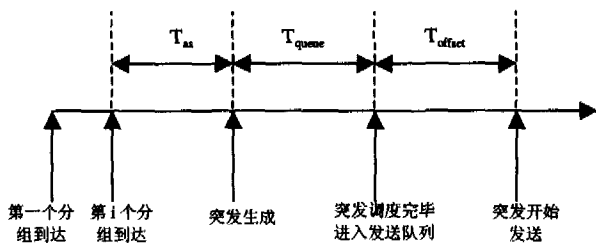


图 2 边缘结点时延示意图

因而边缘结点引入的总时延为:

$$T_{edge} = T_{as} + T_{que} + T_{offset} \quad (1)$$

在 3 种时延中,偏置时延用于补偿控制分组在核心结点的处理时间。如何准确确定偏置时延,目前还是一个有待解决的问题,一般要求  $T_{offset} \geq nq$ , 其中  $n$  为突发传送所经历的最大核心结点数,  $q$  为控制分组在每个核心结点的平均处理时间。由于偏置时延是由网络环境确定,与所采用的汇聚机制无关,因而以下对边缘结点时延特性的讨论中不包括偏置时延。

突发排队时延是突发对边缘结点输出波长资源发生竞争造成的。但在广域网环境下, OBS 网络边缘结点的输出链路

通常具有非常大的带宽资源,发生资源竞争的概率相对较小,从而使得突发排队时延很小。仿真结果表明,突发排队时延的平均值不会超过组装时延平均值的 5%(参见第 4 部分)。

在总时延中变化最大的是组装时延,其值大小与所采用的组装算法有密切关系,下面着重分析 FAT、FBL 和 FTMMB 三种组装算法的最大和平均组装时延。分析中假定输入 IP 分组的到达过程是参数为  $\lambda$  的 Poisson 过程,同时为便于叙述,对符号做如下定义:设  $N(t)$  为  $[0, t]$  时间内到达组装器的 IP 分组的个数,  $\tau_i$  为一个突发中第  $i$  个 IP 分组的平均时延,  $n$  为一个突发中包含的 IP 分组个数,则定义最大汇聚时延和平均汇聚时延分别为:

$$D^{max} = \max_{i \in n} (\tau_i), D^{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i$$

首先考虑最大汇聚时延。从汇聚过程可以看出,第一个到达汇聚器的 IP 分组所经历的时延最大,对于 FAT 和 FTMMB 算法,显然有  $D_{FAT}^{max} = T, D_{FTMMB}^{max} = T$ , 而对于 FBL 算法,  $D_{FBL}^{max} = (B-1)/\lambda$ 。

再来考虑平均汇聚时延。对于 FAT 算法,当时间门限为  $T$  时,

$$\begin{aligned} D_{FAT}^{mean} &= E \left\{ \frac{1}{N(T)+1} \left[ T + \sum_{i=1}^{N(T)} (T - \tau_i) \right] \right\} \\ &= E \left( E \left\{ \frac{1}{N(T)+1} \left[ T + \sum_{i=1}^{N(T)} (T - \tau_i) \right] \mid N(T) \right\} \right) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} E \left\{ \frac{1}{n+1} \left[ T + \sum_{i=1}^{N(T)} (T - \tau_i) \right] \mid N(T) = n \right\} P(N(T) = n) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \left( T - \frac{1}{n+1} E \left[ \sum_{i=1}^n \tau_i \mid N(T) = n \right] \right) P(N(T) = n) \end{aligned} \quad (2)$$

若为  $U_1, U_2, \dots, U_n$  为  $[0, T]$  上均匀分布的随机变量,  $U_{(1)}, U_{(2)}, \dots, U_{(n)}$  为其顺序统计量,则由随机过程理论可得<sup>[7]</sup>:

$$\begin{aligned} D_{FAT}^{mean} &= \sum_{n=0}^{\infty} \left( T - \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n E U_{(i)} \right) P(N(T) = n) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \left( T - \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n E U_i \right) P(N(T) = n) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \left( T - \frac{1}{n+1} \left( \frac{1}{2} n T \right) \right) \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T} \\ &= \frac{T}{2} + \frac{1}{2\lambda} (1 - e^{-\lambda T}) \end{aligned} \quad (3)$$

对于 FBL 算法,当长度门限为  $B$  时,

$$\begin{aligned} D_{FBL}^{mean} &= E \left\{ \frac{1}{B} \left[ \tau_{B-1} + \sum_{i=1}^{B-1} (\tau_{B-1} - \tau_i) \right] \right\} \\ &= E(\tau_{B-1}) - \frac{1}{B} \sum_{i=1}^{B-1} E(\tau_i) \\ &= \frac{B-1}{2\lambda} \end{aligned} \quad (4)$$

而 FTMMB 算法可以看作是 FAT 和 FBL 算法的结合。当汇聚  $B-1$  个 IP 分组的时间小于  $T$  时, FTMMB 与 FAT 算法等同;当汇聚  $B-1$  个 IP 分组的时间大于  $T$  时, FTMMB 与 FBL 算法等同。若令  $P$  为汇聚  $B-1$  个 IP 分组的时间大于  $T$  的概率,则有

$$\begin{aligned} D_{FTMMB}^{mean} &= P D_{FAT}^{mean} + (1-P) D_{FBL}^{mean} = D_{FAT}^{mean} \sum_{n=1}^{B-1} \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T} + \\ & D_{FBL}^{mean} \left( 1 - \sum_{n=1}^{B-1} \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

### 4 仿真结果与分析

为了验证上述分析结果,我们利用 Opnet 10 建立了边缘结点模型,在其上对边缘结点的时延特性进行仿真分析。在仿真试验中,使用两种输入业务源模型: Poisson 输入和自相

似输入。同时,为便于比较分析,将所有时间单位进行归一化,归一化单位为平均长度 IP 分组的传输时间。

在 Poission 输入条件下,输入 IP 分组相互到达间隔服从负指数分布,平均 IP 分组长度为 500Byte;采用自相似输入时,自相似业务源通过将多个具有 Pareto 分布的 ON/OFF 源叠加起来产生。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参数为  $a=1.6$  的 Pareto 相似业务源的 Hurst 参数为 0.7。其他仿真条件如下:输入 IP 分组的地址在所有输出边缘结点间均匀分配;边缘结点输出链路的波长数为 8,每个输出波长的传输速率为 10Gbit/s。组装算法参数分别为:时间门限 200 单位时间,最大组装 IP 分组数为 50,在此条件下产生的突发平均长度约为 200kbit。

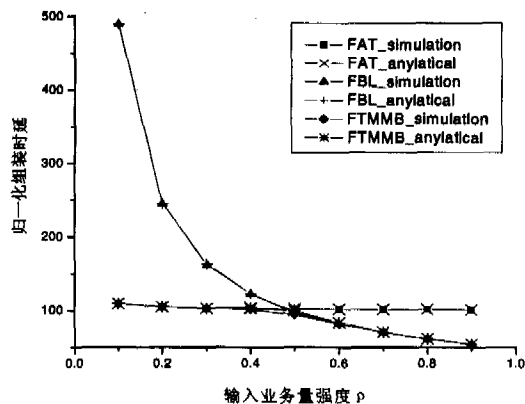


图3 三种组装算法装时延分析比较

图3为 Poission 输入条件下不同组装算法组装时延随输入业务量强度的变化曲线,可以看出三种组装算法组装时延的仿真值和分析值完全一致,证明对组装时延的分析是正确的。三种组装时延比较,FAT 和 FTMMB 的组装时延较小且随业务量强度的变化较平坦,而 FBL 的曲线变化较大,在业务量较小时组装时延较大。

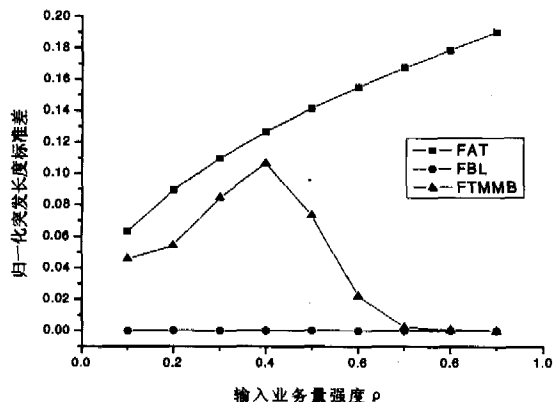


图4 三种组装算法突发长度均方差比较

图4为三种组装算法下突发长度均方差的变化曲线。从图中可以看出,与 FBL 和 FTMMB 相比,采用 FAT 时突发长度变化较剧烈,这不利于核心结点资源冲突解决方式的设计(当采用光缓存方式时)。因而从组装时延和突发长度方差两方面考虑,FTMMB 是一种较理想的组装算法。

图5为 Poission 和自相似输入条件下,突发排队时延与组装时延随输入业务量强度的变化。可以看出,随着业务量强度的增加,调度时逐步增加,而组装时延有明显的下降,突发排队时延的平均值远远小于组装时延(不超过 5%),说明在边缘结点总时延中组装时延将起主导作用。从仿真结果还可以看出,当输入为自相似输入时,突发排队时延变化不大,

而组装时延略有下降。

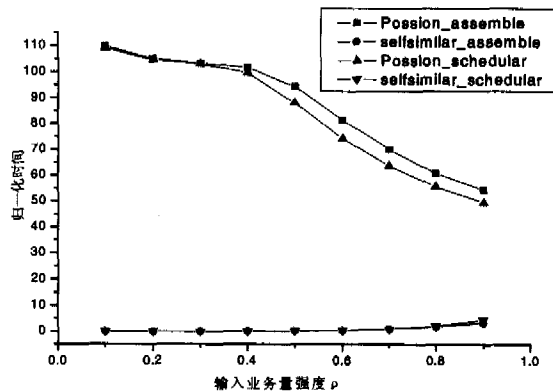


图5 级装时延与突发排队时延的比较

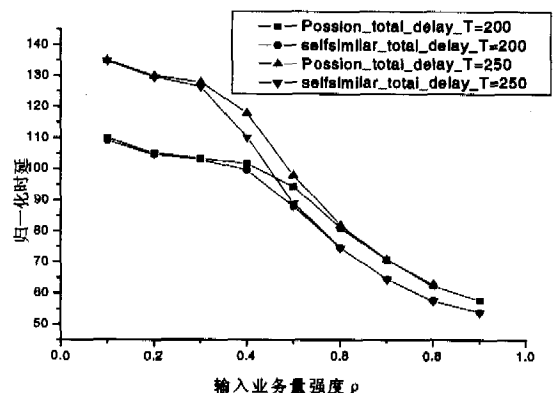


图6 采用 FTMMB 时边缘结点总延

图6为采用 FTMMB 算法时边缘结点总时延的变化曲线。图中给出了不同业务源输入和不同组装参数下总时延的变化情况,可以看出不同的输入业务源对总时延的影响与对组装时延的影响基本类似。另外,不同组装算法参数对总时延的影响比较明显。图中只给出了时间门限  $T$  变化时的情况,最大最小突发长度门限  $B$  的变化同样会影响总时延。如何确定最佳组装参数,应综合考虑时延、平均突发长度和突发长度均方差,这个问题有待进一步的研究。

**结束语** OBS 网络独特的传送方式使得 IP 分组在网络边缘结点间经历的时延只由边缘结点时延和传播时延组成,分析 OBS 网络边缘结点时延对研究 OBS 网络的时延特性有着重要意义。本文研究了广域网环境下边缘结点汇聚机制对时延特性的影响。理论分析和仿真结果表明,组装算法对时延特性影响很大,而突发调度产生的时延相对较小。另一方面,输入业务源的自相似性也会影响边缘结点时延。

参考文献

- 1 Qiao C, Yoo M. Optical burst switching(OBS)-a new paradigm for an optical Internet. Journal of High Speed Networks, 1999, 8 (1): 69~84
- 2 Battestilli T, Perros H. An introduction to optical burst switching. IEEE Optical Communication, 2003, 41(8): 10~15
- 3 Yu X, Li X J, Chen Y, et al. Traffic statistics and performance evaluation in optical burst switched networks. Journal of Lightwave Technology, 2004, 22(10): 2722~2738
- 4 Rajaduray R, Ovadia S, Blumenthal S. Analysis of an edge router for span-constrained optical burst switched(OBS) networks. Journal of Lightwave Technology, 2004, 22(11): 2693~2705
- 5 Hu G, Dolzer K, Gauger C. Does burst assembly really reduce the self-similarity? In: OFC 2003. Atlanta: OSA, 2003. 124~126
- 6 Xiong Y J, Vandenhoute M, Cankaya H. Control Architecture in Optical Burst-Switched WDM Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(10): 1838~1851
- 7 张卓奎, 陈惠婵. 随机过程. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003