

doi:10.3788/gzxb20134210.1193

# 光突发交换网络中基于优先级的可控重传方案

何婷婷, 许建真

(南京邮电大学 计算机学院, 南京 210046)

**摘要:**在光突发交换网络中,突发包重传能够在一定程度上减少由于突发包冲突而产生的数据损失,但重传次数的增加会加重网络负荷,从而增加数据丢失率.本文提出一种基于优先级的可控重传方案,根据网络负荷赋予不同优先级突发包每次重传不同的概率,并对重传次数加以控制,当重传次数达到 4 次时,便不再进行重传而将产生冲突的突发包丢弃,以此来均衡网络负荷.利用路径阻塞率和突发包丢失率来衡量模型性能,并进行仿真分析,仿真结果表明重传次数的增多以及重传概率的增大虽然会在不同程度上减少包丢失率,却也同时增大了路径阻塞率,因此必须对重传次数及重传概率加以控制;所得结果对光突发交换网络试验床设计有一定理论指导意义.

**关键词:**光通信;光突发交换;重传;突发包冲突;优先级;数据丢失率;服务质量

中图分类号:TN929.11

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2013)10-1193-4

## A Prioritized Controlled Burst Retransmission Scheme in Optical Burst Switching Networks

HE Ting-ting, XU Jian-zhen

(Computer School, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** In optical burst switching networks, burst retransmission can reduce data loss which is arising from the burst contention in optical burst switching core nodes, but uncontrolled burst retransmission may increase network load and data loss probability. A quality-of-service - supported controlled retransmission scheme was developed in optical burst switching networks. In this scheme, different values to retransmission probability were set at each contention and the total transmission times were controlled referred to the network load condition. In order to reach a balanced network load, the conflict bursts would no longer be retransmitted but be discarded when the number of burst retransmission reached our times. The path blocking probability and the burst loss probability for different priority bursts were calculated to evaluate the performance of the proposed scheme. From the simulation, with the retransmission probability and the number of retransmission increasing, it can be seen that burst loss probability is reducing while the path block probability is reducing. So it is necessary to control the retransmission probability and the number of retransmission. This result has some theoretical significance for the designing of an optical burst switching network test bed.

**Key words:** Optical communications; Optical Burst Switching (OBS); Burst retransmission; Burst contention; Prioritized traffic; Data loss probability; Quality of Service

## 0 引言

光突发交换(Optical Burst Switching, OBS)技

术被认为是下一代光网络中一种很好实现 T 比特量级传输的新型交换技术<sup>[1-3]</sup>.但由于 OBS 网络采用恰时间协议(Just Enough Time, JET)等单向资

基金项目:江苏省研究生科研创新计划项目(No. CXLX13-69)资助

第一作者:何婷婷(1991-),女,硕士研究生,主要研究方向为光网络、计算机网络. Email:tingtingher@hotmail.com

导师:许建真(1966-),男,教授,博士,主要研究方向为计算机通信与网络互连技术. Email:xujz@njupt.edu.cn

收稿日期:2012-12-10;录用日期:2013-09-17

源预留协议,并需要给予节点反馈信令,因此,突发数据包很有可能在核心交换节点中发生为竞争波长资源而导致的冲突.目前,OBS网络中解决突发包竞争的方案主要有:光缓存<sup>[4]</sup>,波长转换<sup>[5]</sup>,偏射路由<sup>[6-8]</sup>和突发包分割(Burst Segmentation, BS)<sup>[9-11]</sup>技术.

为了减少数据丢失率,突发包重传被引入并作为各种冲突解决措施的有效补充.文献[12]研究了一种基于传输控制协议(Transmission Control Protocol, TCP)协议的重传方案;文献[13]给出一种结合偏射路由的重传方案,此方案在降低数据丢失率的同时提高了信道利用率.但这两种方案都可能会因为不可控的重传带来网络负荷的增大和数据丢失率的增加.在此基础上,文献[14]提出一种可控重传方案,以此来平衡 OBS 网络负荷和端到端的数据丢失率.但文献[14]在整个重传的过程中只给出了两个重传概率,认为在第二次重传之后的每次重传概率都相等.该假设具有一定局限性,且方案中未涉及 OBS 网络中多优先级业务情况.

本文提出一种基于优先级的可控突发包重传方案,考虑到存在多优先级业务的 OBS 网络,根据网络负荷的变化赋予不同优先级每次重传以不同的重传概率,并对重传次数进行有效控制,从而保证了 OBS 网络的服务质量(Quality of Service, QoS).仿真分析了路径阻塞率和不同优先级业务的包丢失率来衡量网络的性能.

## 1 基于优先级的重传模型

在 OBS 网络中,突发包在核心交换节点由于冲突而被丢弃后,目的节点  $e$  就会发送一个反馈给源节点  $i$  要求重传丢弃突发包.如果重传后的突发包在传输过程中再次遇到冲突并被丢弃,则源节点需要再次重传此突发包.但在一个支持 QoS 的 OBS 网络中,并不需要重传所有被丢弃的突发包,而且多次重传会使得网络负荷变大,为了控制网络负荷,本文用参量  $\alpha_i$  和  $\alpha_i'$  分别表示高优先级和低优先级突发包在第  $i$  次冲突被丢弃后需要重传的概率(称重传概率).

## 2 理论分析

为了衡量所提出重传方案的性能,选择突发包丢失率及路径阻塞率作为参量指标,并提出一种计算包丢失率和路径阻塞率的分析模型.假设 0 和 1 分别表示业务的高优先级和低优先级.为了实现区分服务以保证 QoS,此分析模型在重传过程中,赋予高优先级突发包比低优先级突发包高的重传概率.

用  $\lambda_r^0$  表示路径  $r$  上高优先级突发包在源节点的到达率,  $\eta_r^k$  表示路径  $r$  上第  $k$  次重传时高优先级突发包的离开率,  $\alpha_k$  表示第  $k$  次重传时高优先级突发包的离开率,  $\mu_r$  表示路径  $r$  上突发包的服务率,  $R$  表示 OBS 网络中源节点和目的节点之间所有最短路径,  $P_r^k$  表示路径  $r$  上第  $k$  次重传时的阻塞率.根据流量守恒定律,第  $k$  次重传时路径  $r$  上源节点中等待重传的高优先级突发包的增长率等于此时高优先级突发包的离开率,即

$$P_r^k \alpha_k \eta_r^{k-1} + P_r^{k+1} \alpha_{k+1} \eta_r^k = \eta_r^k \quad (1)$$

则第  $k$  次重传时路径  $r$  上高优先级突发包的离开率为

$$\eta_r^k = \frac{\lambda_r^0 \prod_{j=1}^k P_r^j \alpha_j}{\prod_{i=2}^{k+1} (1 - P_r^i \alpha_i)} \quad (2)$$

为了简化模型,假设突发包在路径  $r$  上每个节点的到达率都相等.则第  $k$  次重传后路径  $r$  上高优先级突发包以及重传突发包总的到达率  $\lambda_r^k$  可以写为

$$\lambda_r^k = \lambda_r^0 + \sum_{m=1}^k \eta_r^m \quad (3)$$

设  $M_{r0}^k$  和  $\bar{\mu}_r^k$  分别表示  $k$  次重传后路径  $r$  上高优先级突发包的平均期望长度和平均服务率,则有

$$\frac{1}{\bar{\mu}_r^k} = \sum_{r \in \mathbf{R}} \frac{\lambda_r^k}{\lambda} M_{r0}^k \quad (4)$$

式中  $\lambda$  表示所有源节点和目的节点之间高优先级突发包总到达率.因此  $k$  次重传后路径  $r$  上高优先级突发包的链路利用率  $U_r^k$  可表示为

$$U_r^k = 1 - e^{-\lambda_r^k / \bar{\mu}_r^k} \quad (5)$$

设定当低优先级突发包与低优先级或高优先级突发包冲突时,低优先级突发包都被直接丢弃.设  $\alpha_i$  表示第  $k$  次重传时低优先级突发包的重传概率,  $\beta_r^k$  表示路径  $r$  上低优先级突发包在源节点的到达率,  $\delta_r^k$  表示路径  $r$  上第  $k$  次重传时低优先级突发包的离开率.根据流量守恒定律,第  $k$  次重传时路径  $r$  上源节点中等待重传的低优先级突发包的增长率等于此时低优先级突发包的离开率,即

$$P_r^k \alpha_i' \delta_r^{k-1} + P_r^{k+1} \alpha_{k+1}' \delta_r^k = \delta_r^k \quad (6)$$

因此,第  $k$  次重传时路径  $r$  上低优先级突发包的离开率为

$$\delta_r^k = \beta_r^0 \prod_{j=1}^k P_r^j \alpha_j' / \prod_{i=2}^{k+1} (1 - P_r^i \alpha_i') \quad (7)$$

则第  $k$  次重传后路径  $r$  上低优先级突发包总的到达率  $\beta_r^k$

$$\beta_r^k = \beta_r^0 + \sum_{m=1}^k \delta_r^m \quad (8)$$

假设核心交换节点没有波长转换功能,这样,对于不分优先级的泊松到达、负指数服务的业务,突发

包输出过程可用  $W/W/1/1$  模型描述,其阻塞率可用 Erlang B 公式<sup>[15]</sup>来计算.

$$P_r^k = \rho_r^k / (1 + \rho_r^k) \quad (9)$$

式中  $\rho_r^k = (\lambda_r^k + \beta_r^k) / \mu_r$ , 表示第  $k$  次重传时路径  $r$  上负荷.

因此,在一个重传次数最多为  $k$  的网络中,高优先级和低优先级突发包在路径  $r$  上的包丢失率  $P_{r_0}$  和  $P_{r_1}$  可以表示为

$$P_{r_0} = P_r^1(1 - \alpha_1) + \sum_{i=2}^{k-1} P_r^i(1 - \alpha_i) \prod_{j=i-1}^{k-2} P_r^j \alpha_j + \prod_{i=1}^k P_r^i \alpha_i \quad (10)$$

$$P_{r_1} = U_r^1 + (1 - U_r^1) P_r^1(1 - \alpha'_1) + \sum_{i=2}^{k-1} P_r^i(1 - \alpha'_i) \prod_{j=1}^i (1 - U_r^j) \prod_{m=1}^{i-1} P_r^m \alpha'_m + \prod_{i=1}^k (1 - U_r^i) P_r^i \alpha'_i \quad (11)$$

因此,可以得出整个网络高优先级和低优先级突发包的平均包丢失率为

$$P_{\text{loss}_0} = \sum_{r \in R} (\lambda_r P_{r_0} / \lambda) \quad (12)$$

$$P_{\text{loss}_1} = \sum_{r \in R} (\beta_r P_{r_1} / \beta) \quad (13)$$

式中,  $\lambda_r$  和  $\beta_r$  分别表示路径  $r$  上高优先级和低优先级突发包的平均到达率,  $\lambda$  和  $\beta$  分别表示所有源节点和目的节点之间高优先级和低优先级突发包总到达率.

### 3 仿真分析

图 1 给出了具有三个源节点 ( $i'_1, i'_2, i'_3$ ) 和三个目的节点 ( $e_1, e_2, e_3$ ) 的 NSFNET 网络拓扑结构. 假设网络传输速率是 80 Gbps, 突发包在源节点的到达率服从泊松分布, 进行仿真在重传四次 ( $k=4$ ) 的情况下得出.

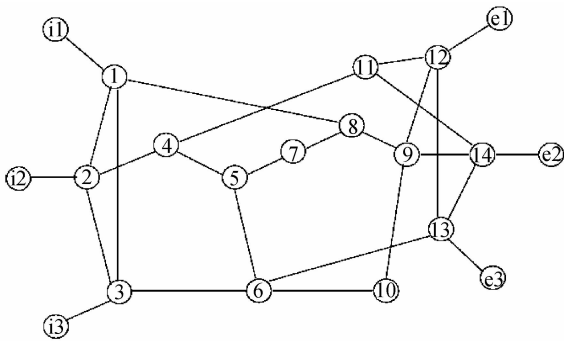


图 1 三个源节点 ( $i'_1, i'_2, i'_3$ ) 和三个目的节点 ( $e_1, e_2, e_3$ ) 的 NSFNET 网络拓扑

Fig. 1 NSFNET with three ingress nodes ( $i'_1, i'_2$  and  $i'_3$ ) and three egress nodes ( $e_1, e_2$  and  $e_3$ )

图 2 给出在路径  $r(i'_1-1-8-9-14-13-e_3)$  上不同重传概率下 OBS 网络中的路径阻塞率. 在需要多次重传的情况下, 为了控制因为重传而造成的负荷增

大, 仿真时假设一个突发包的重新传概率随重传次数的增加而减少, 并且赋予高优先级突发包比低优先级突发包高的重传概率, 令  $\alpha_i = 0.5\alpha_{i-1}$  ( $i=2, 3, 4$ ),  $\alpha'_i = 0.5\alpha_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ). 从图 2 中可以看到, 随着网络负荷的增大, OBS 网络的路径阻塞率逐渐增大; 在相同负荷下, 随着重传概率的增大路径阻塞率也逐渐增大. 从图 2 中还可以看到, 可控的重传获得了比不可控的重传更低的路径阻塞率.

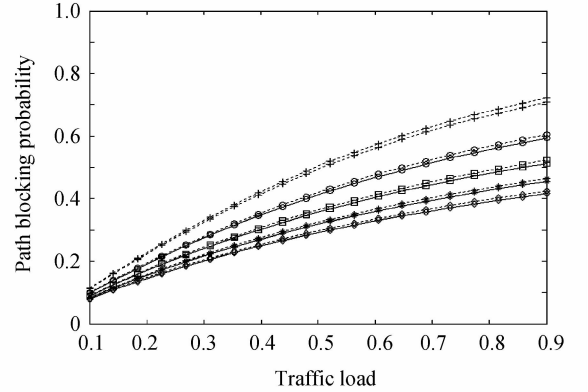


图 2 路径  $r$  上基于不同重传概率的路径阻塞率  
Fig. 2 Path blocking probability on path  $r$  with different values of retransmission probability

图 3 给出了在路径  $r(i'_1-1-8-9-14-13-e_3)$  上不同重传概率下 OBS 网络中的包丢失率. 同样, 令  $\alpha_i = 0.5\alpha_{i-1}$  ( $i=2, 3, 4$ ),  $\alpha'_i = 0.5\alpha_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ). 由图可知, 随着网络负荷的增大, OBS 网络中包丢失

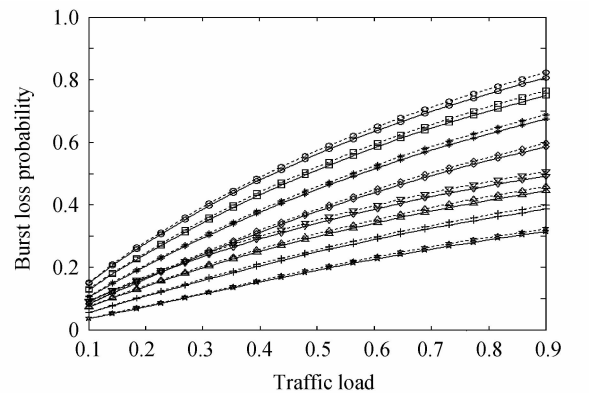


图 3 路径  $r$  上基于不同重传概率的突发包丢失率  
Fig. 3 Burst loss probability on path  $r$  with different values of retransmission probability

率逐渐增大. 在相同的负荷下, 随着重传概率的增大, 包丢失率逐渐减小. 同时, 在相同的负荷及重传概率下, 高优先级突发包获得了比低优先级突发包更低的包丢失率, 从而实现 OBS 网络的 QoS.

为了说明仿真中重传次数设定为四次的原因, 图 4 给出了重传次数  $k$  对高优先级突发包包丢失率的影响. 假设重传概率  $\alpha_i$  均为 0.5, 从图 4 中可以看到, 随着重传次数的增加, 包丢失率逐渐减少. 当  $k=4, 5, 6$  时, 几条包丢失率曲线非常接近, 当  $k \geq 4$  时, 重传次数对突发包丢失率的影响开始减小, 这意味着继续增大重传次数并不能更有效地减小突发包丢失率, 反而会增大网络中的路径阻塞率. 因此, 仿真中限制重传次数  $k=4$ .

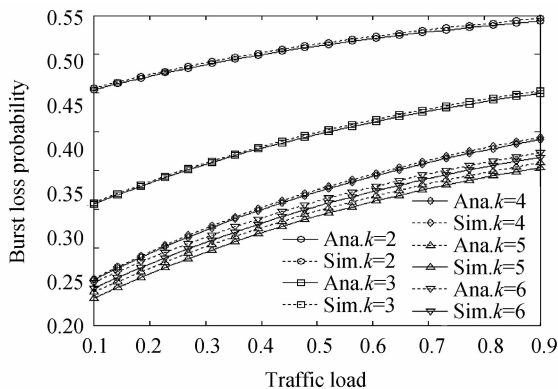


图 4 重传次数  $k$  对高优先级突发包丢失率的影响  
Fig. 4 The effect of  $k$  on the performance of Burst loss probability of high-priority bursts

## 4 结论

OBS 网络核心节点中, 突发包竞争波长资源而导致冲突是 OBS 研究领域的一个关键问题. 本文提出一种基于优先级的可控重传方案, 在对 OBS 网络中多优先级业务区分服务的同时, 根据网络负荷赋予不同优先级突发包每次重传不同的概率, 并对重传次数加以控制. 仿真结果表明, 随着重传概率的增大, 路径阻塞率增大而突发包丢失率随之减小. 所提可控重传方案使突发包的路径阻塞率低于不可控重传方案, 因此, 可以通过控制重传概率来有效改善 OBS 网络性能. 同时, 在相同的网络负荷下, 高优先级突发包获得比低优先级突发包更低的突发包丢失率, 从而实现了 OBS 网络的 QoS. 该研究结果对设定重传概率及业务优先级等问题提供了一定的理论参考价值.

### 参考文献

[1] QIAO C, YOO M. Optical burst switching (OBS)-A new paradigm for an optical Internet[J]. *Journal of High Speed Networks*, 1999, **8**(1): 69-84.  
[2] NIU Da-wei, WANG Hai, YU Wei-bo, et al. A cross traffic estimate model for optical burst switching networks[J]. *Acta*

*Optica Sinica*, 2012, **32**(11): 1106002: 1-5.

牛大伟, 王海, 于卫波, 等. 一种适用于光突发交换网络的背景流量估计模型[J]. *光学学报*, 2012, **32**(11): 1106002: 1-5.

- [3] LI Shu-biao, WU Bao-jian, WEN Feng. Optical parametric gain in the magneto-optic nonlinear fiber[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013, **42**(1): 29-33.  
李述标, 武保剑, 文峰. 磁光非线性光纤中光参量增益的研究[J]. *光子学报*, 2013, **42**(1): 29-33.  
[4] ZALESKY A, VU H L. Designing an optimal scheduler buffer in OBS networks [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2008, **26**(14): 2046-2054.  
[5] YAO M, WEN A, LIU Z. Blocking probability of asynchronous optical burst/packet switches with limited range wavelength conversion [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2006, **18**(12): 1302-1304.  
[6] BALIGA J, WONG E W M, ZUKERMAN M. Analysis of bufferless OBS/OPS networks with multiple deflection [J]. *IEEE communication letters*, 2009, **13**(12): 974-976.  
[7] GUAN Ai-hong, WANG Bo-yun, ZHANG Yuan, et al. A deflection routing algorithm based on priority and burst loss threshold in OBS networks[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(11): 2015-2019.  
管爱红, 王波云, 张元, 等. OBS 网络中一种基于优先级和门限的偏射路由算[J]. *光子学报*, 2010, **39**(11): 2015-2019.  
[8] GUAN Ai-hong, WANG Bo-yun, FU Hong-liang, et al. A deflection routing mechanism based on priority and burst segmentation in optical burst switching networks [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(2): 127-132.  
管爱红, 王波云, 傅洪亮, 等. OBS 网络中基于优先级与突发包分割的偏射路由机制[J]. *光子学报*, 2012, **41**(2): 127-132.  
[9] VOKKARANE V M, JUE J, SITARAMAN S. Burst segmentation: An approach for reducing packet loss in optical burst switched networks[C]. *IEEE International conference on Communications*, 2002, 5: 2673-2677.  
[10] HOU Rui, SUN Jun-qiang, DING Pan-feng, et al. Study of fair burst segmentation or dropping method in optical burst switched multi-hop network [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2006, **28**(11): 2144-2147.  
侯睿, 孙军强, 丁攀峰, 等. 光突发交换网络中多跳公平分割丢弃方法的研究[J]. *电子与信息学报*, 2006, **28**(11): 2144-2147.  
[11] HOU Rui, SUN Jun-qiang, DING Pan-feng. Study on a priority based contention resolution for optical burst switching networks [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2006, **28**(4): 747-751.  
侯睿, 孙军强, 丁攀峰. 一种光突发交换网络中基于优先级的冲突解决方法的研究[J]. *电子与信息学报*, 2006, **28**(4): 747-751.  
[12] ZHANG Q, VOKKARANE V M, WANG Y, et al. Analysis of TCP over optical burst-switched networks with burst retransmission [C]. *Global Telecommunications Conference*, 2005, 4, 6: 1978-1983.  
[13] NGO S H, JIANG X, HORIGUCHI S. Hybrid deflection and retransmission routing schemes for OBS networks[C]. *IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing*, 2006, 6: 385-390.  
[14] VENKATESH T, SANKAR A, JAYARAJ A, et al. A complete framework to support controlled burst retransmission in optical burst switching networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2008, **26**(3): 65-73.  
[15] ROSBERG Z, VU H L, ZUKERMAN M. Burst segmentation benefit in optical switching [J]. *IEEE Communication Letters*, 2003, **7**(3): 127-129.