

# 基于延迟抢占的突发竞争解决策略

杨九如

(黑龙江大学电子工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要** 在光突发交换网络中,将竞争突发送入光纤延迟线(FDLs)缓存以避免丢弃被认为是一种便捷、有效的竞争解决方案。基于“提前预留”模型,提出采用延迟抢占(DP)的方式来实现突发的竞争解决,比较了全延迟抢占与部分延迟抢占机制的阻塞性能。为支持区分服务,开展了两优先级系统中延迟抢占机制的研究,建立了适用于两优先级系统的阻塞分析模型,并对不同配比条件下延迟抢占机制的阻塞及延迟性能进行了仿真分析。仿真结果表明,延迟抢占机制有效地保证了高优先级突发的低阻塞要求,与低优先级突发相比,其突发阻塞率要低约 2 个数量级。此外,由于 FDL 的长度固定,数据突发的时延要求也得到了有效保障,流量载荷  $\rho = 1.0$  时,高优先级突发的平均延迟仅为  $10 \mu\text{s}$ 。

**关键词** 光通信;光突发交换;竞争解决;延迟抢占

**中图分类号** TN919.2 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200828s2.0209

## Burst Contention Resolution Strategy Based Delay Preemption

Yang Jiuru

(School of Electronic Engineering, Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang 150080, China)

**Abstract** In optical burst switching networks, it has been regarded as a convenient and efficient scheme for contention resolution that the contended bursts are buffered in the fiber delay lines (FDLs). Based on the prereservation model, a novel scheme namely delay preemption (DP) is proposed to avoid contention, and the blocking performances of full and partial DP mechanisms are compared. To support the diffserv, the research of DP mechanism is developed in the two-priority system. The blocking model of two-priority system is built up. And the DP mechanisms in terms of blocking and delay are analyzed. The simulation results show that for the high priority bursts, a low burst blocking probability is obtained by using the DP mechanism, which is about two-order level smaller than that of the low priority bursts. Besides, owing to the fixed length of FDL, the requirement of data bursts on delay is guaranteed as well. When the traffic load  $\rho$  is 1.0, the average delay time of high priority bursts is confined within  $10 \mu\text{s}$ .

**Key words** optical communications; optical burst switching; contention resolution; delay preemption

## 1 引 言

光突发交换(OBS)网络具有交换粒度适中、信道利用效率高、可重构性好、支持区分服务等优点,是下一代光因特网中最具潜力的备选方案之一<sup>[1]</sup>。在 OBS 网络的研究中,竞争解决一直是人们关注的核心问题<sup>[2~5]</sup>。然而,受当前光学器件技术水平的限制,偏折路由、信道调度与间插、突发缓存等方案还难以实现<sup>[6]</sup>;另一方面,尽管无需波长转换及光缓存设备的支持,直接抢占策略却存在着虚假竞争、乱序到达、信道利用率低等诸多缺陷<sup>[7,8]</sup>。本文将反

馈缓存与突发抢占相结合,提出采用延迟抢占(DP)的方式来实现 OBS 网络的竞争解决,并将该方案应用于两优先级系统中,力求同时满足高优先级突发在阻塞与时延两方面的服务质量要求,提高 OBS 网络支持区分服务的能力。

## 2 延迟抢占机制研究及性能评价

当产生突发竞争时,若突发控制分组(BCP)在设置突发进入光纤延迟线(FDL)的同时,立即将空闲信道无条件地分配给突发,并直至传输完毕为止,

**基金项目:** 黑龙江省教育厅科学技术项目(11521212)和黑龙江省普通高等学校电子工程重点实验室项目(DZZD2006-22)资助课题。

**作者简介:** 杨九如(1978—),男,博士,讲师,主要从事全光交换、物理检测方面的研究。E-mail: totti9555@163.com

则称之为延迟抢占或“提前预约”<sup>[9]</sup>。在延迟抢占机制中,若将竞争的突发全部丢弃,则称为全延迟抢占(FDP);否则,若只丢弃突发竞争的部分,则称为部分延迟抢占(PDP)。显然,基于“头部丢弃”的PDP机制可进一步降低网路节点的分组丢弃率<sup>[10]</sup>。

## 2.1 延迟抢占阻塞模型分析

如图1(a)所示,在FDP机制下,BCP2到达交换节点,发现信道被突发1占用,则令突发2到达节点后首先进入FDL中缓存,同时将突发1传输完毕后的信道立即分配给突发2。于是,突发2所占用的带宽为 $B_2 = b - r + L_2$ ( $b$ 为FDL长度, $L_2$ 为突发2的长度)。若在间隔 $B_2$ 内有突发到达,与突发2竞争信道,则直接将该突发丢弃。

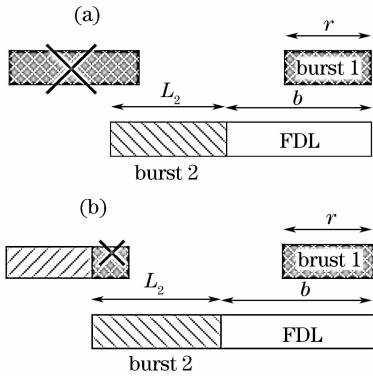


图1 延迟抢占原理。(a)全延迟抢占;  
(b)部分延迟抢占

Fig.1 DP mechanism. (a) FDP; (b) PDP

“提前预留”机制认为在全延迟抢占条件下,节点的突发阻塞率(BLP)为<sup>[11]</sup>

$$P_D = u(1 - e^{-\lambda b}), \quad (1)$$

式中 $u$ 为链路利用效率, $\lambda$ 为突发到达速率,突发进入FDL前后到达速率不变。根据文献<sup>[10]</sup>可知,突发间的平均阻塞长度为

$$\bar{r} = \frac{\bar{L}_b}{2} + \frac{\delta_{L_b}^2}{L_b}, \quad (2)$$

式中 $L_b$ 为突发长度, $\bar{L}_b$ 为平均突发长度, $\delta_{L_b}^2$ 为突发长度的方差。由于门限组装机制下, $\delta_{L_b}^2 \ll L_b$ ;因此, $\bar{r} \approx \bar{L}_b/2$ <sup>[12]</sup>。令 $B_2$ 的均值为 $\bar{B}_2 = b - \bar{r} + L_b$ ;又令 $b = \bar{L}_b$ ,则 $\bar{B}_2 = 2b - \bar{r}$ 。基于载荷( $\rho = \lambda/b$ )不变特性,相比于直通的突发1,突发2的到达速率应为

$$\lambda_{\text{FDL}} = \frac{b}{2b - \bar{r}} \lambda \approx \frac{2}{3} \lambda, \quad (3)$$

所以,在间隔 $b$ 内有突发到达光缓存的概率为 $1 - e^{-\lambda_{\text{FDL}} b}$ 。则(1)式为

$$P_D = u(1 - e^{-\lambda_{\text{FDL}} b}), \quad (4)$$

因为 $u = \rho(1 - P_D)$ <sup>[11]</sup>,所以FDP机制下节点的BLP值为

$$P_D = \frac{\rho(1 - e^{-\frac{2}{3}\rho})}{1 + \rho(1 - e^{-\frac{2}{3}\rho})}, \quad (5)$$

同理,依据(2)式和图1(b)可知,PDP机制中竞争突发剩余部分的平均长度为

$$L' = \bar{L}_b - \bar{r} \approx \bar{L}_b/2, \quad (6)$$

因此,部分延迟抢占机制下的突发丢弃概率可表示为

$$P'_D = P_D \left[ 1 - \frac{L'}{\bar{L}_b} P(\text{channel busy}) \right], \quad (7)$$

式中 $P(\text{channel busy}) = 1 - e^{-\frac{2}{3}\rho}$ 。则

$$P'_D = \frac{\rho(1 - e^{-\frac{2}{3}\rho})}{1 + \rho(1 - e^{-\frac{2}{3}\rho})} \left[ 1 - \frac{1}{2}(1 - e^{-\frac{2}{3}\rho}) \right]. \quad (8)$$

## 2.2 延迟抢占机制阻塞性能评价

设交换节点内无波长转换器件,光纤链路内的波长数 $W = 1$ ,FDL的长度固定为 $80 \mu\text{s}$ ;信道的传输速率为 $10 \text{ Gb/s}$ ,数据突发长度服从均值为 $100 \text{ kB}$ 的负指数分布,且最小突发长度与最大突发长度分别为 $20 \text{ kB}$ 和 $300 \text{ kB}$ 。于是,FDP和PDP机制下一个 $4 \times 4$ 结构交换节点的突发阻塞性能分别如图2和图3所示。

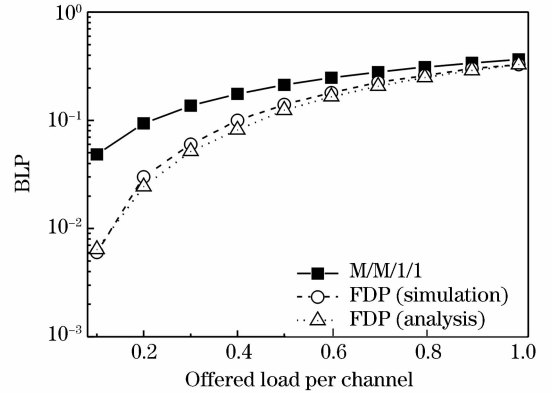


图2 全延迟抢占机制阻塞性能分析  
Fig.2 Analysis of FDP mechanism on blocking performance

如图2所示,仿真曲线与由(5)式所得的分析曲线较好地拟合。而且,当节点处于低流量状态时,与无缓存配置情况时相比,FDP机制令突发的丢弃概率降低了近一个数量级,约为 $10^{-2}$ 左右。如图3所示,与FDP机制相比,在低流量区域,PDP机制显然获得了更低的丢弃概率,仿真曲线与分析曲线也拟合得较好;而在高流量区域,两种竞争解决机制的阻塞性能则十分接近。然而,需要注意的是,“头部

丢弃”需要高性能可变光衰减器/滤波器来实现,在一定程度上增加了节点操作的复杂度<sup>[13]</sup>。

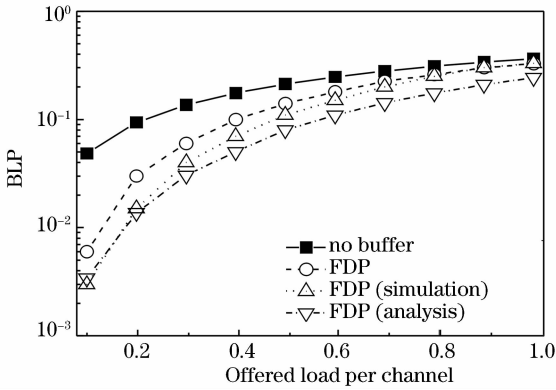


图3 延迟抢占机制阻塞性能比较

Fig. 3 Comparison of PDP mechanism on blocking performance

### 3 两优先级系统延迟抢占机制研究及性能评价

#### 3.1 阻塞模型分析

为支持区分服务,将延迟抢占机制应用于两优先级系统中。由于 PDP 机制对突发阻塞性能的改变十分有限,因此仅采用 FDP 来实现两优先级系统的竞争解决。基于“公平性”原则,设定当节点无可用信道且缓存空闲时,高优先级突发拥有优先进入缓存的权力;若缓存亦被占用,则丢弃突发。设高优先级 Class 1 的数据占总载荷的比率为  $C_1 = \rho_1/\rho$ ,低优先级 Class 2 的数据占总载荷的比率为  $C_2 = \rho_2/\rho$ ,且  $C = C_1 + C_2, \rho = \rho_1 + \rho_2$ 。若高优先级突发的到达速率为  $\lambda_1 (\lambda_1 = C_1\lambda)$ ,低优先级突发的到达速率为  $\lambda_2 (\lambda_2 = C_2\lambda)$ ,且  $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ ,则链路被 Class 1 和 Class 2 占用的概率分别表示为

$$u_1 = C_1\rho(1 - P_D), \quad (9)$$

$$u_2 = C_2\rho(1 - P_D). \quad (10)$$

由于拥有进入缓存的优先权,因此对于 Class 1 用户而言,其突发阻塞率可以表示为

$$P_{D,1} = C_1[P_{1,FDL}u_1 + P_{2,FDL}u_2 + P_{1,FDL}u_2 + P_{2,FDL}u_1], \quad (11)$$

式中  $P_{1,FDL}$  和  $P_{2,FDL}$  分别为缓存被 Class 1 和 Class 2 占用的概率。由式(4)易知,其值分别为  $P_{1,FDL} = 1 - e^{-\frac{2}{3}\lambda_1 b}$ ,  $P_{2,FDL} = 1 - e^{-\frac{2}{3}\lambda_2 b}$ 。另一方面,对于优先级为 Class 2 的用户而言,其阻塞率则由两部分构成: 1) 信道与缓存都“忙”时,突发被丢弃; 2) 信道被占用,缓存可用,但已被高优先级用户抢占,突发被丢

弃。于是,优先级为 Class 2 的用户的突发阻塞率可表示为

$$P_{D,2} = C_2[P_{1,FDL}u_1 + P_{2,FDL}u_2 + P_{1,FDL}u_2 + P_{2,FDL}u_1] + C_1\{u_1[1 - P_{1,FDL}] + u_2[1 - P_{2,FDL}] + u_1[1 - P_{2,FDL}] + u_2[1 - P_{1,FDL}]\}, \quad (12)$$

令  $u = u_1 + u_2$ ,则(12)式化简为

$$P_{D,2} = \{ (C_2 - C_1)[P_{1,FDL} + P_{2,FDL}] + 2C_1 \} \cdot u, \quad (13)$$

其中,  $u = \rho(1 - P_D)$ 。又因为  $P_D = P_{D,1} + P_{D,2}$ ,亦即

$$P_{D,2} = P_D - P_{D,1}, \quad (14)$$

联立(13),(14)式可得

$$u = \frac{\rho}{\rho[C_2(P_{1,FDL} + P_{2,FDL}) + 2C_1] + 1}, \quad (15)$$

$$P_D = \frac{\rho[C_2(P_{1,FDL} + P_{2,FDL}) + 2C_1]}{\rho[C_2(P_{1,FDL} + P_{2,FDL}) + 2C_1] + 1}. \quad (16)$$

另外,根据文献[9],在延迟抢占机制下,优先级为 Class 1 与 Class 2 的用户在 FDL 中的平均延迟时间分别为

$$D_1 = \frac{C_1 u (1 - e^{-\frac{2}{3}C_1\rho})}{C_1 u} b = (1 - e^{-\frac{2}{3}C_1\rho}) b, \quad (17)$$

$$D_2 = \frac{C_2 u (1 - e^{-\frac{2}{3}C_2\rho})}{C_2 u} b = (1 - e^{-\frac{2}{3}C_2\rho}) b. \quad (18)$$

#### 3.2 性能评价

两优先级系统中延迟抢占机制的阻塞性能如图 4 和图 5 所示。由图 4 可知,与无优先级系统相比,低流量状态时 ( $\rho < 0.3$ ),延迟抢占机制的突发丢弃率要大大高于无缓存系统的情况。而且,随着  $C_1 : C_2$  比值的增加,突发丢弃率也增加,且其数值结果均高于无优先级时交换节点的突发阻塞率。在两优先级系统中,为保证高优先级用户的低阻塞要求,延迟抢占机制需要牺牲低优先级突

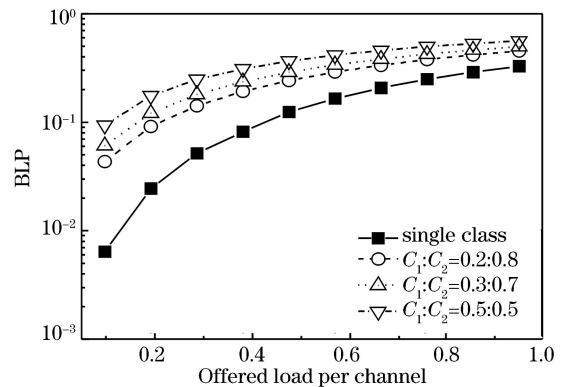


图4 延迟抢占机制阻塞性能分析

Fig. 4 Analysis of DP mechanism on blocking performance

发。以  $C_1 : C_2 = 0.3 : 0.7$  为例,由图 5 可知,节点的突发丢弃几乎完全来自于优先级为 Class 2 的用户,  $\rho = 0.3$  时,其 BLP 值就超过 0.1; 相比之下,高优先级 Class 1 的 BLP 值则在  $\rho = 0.1 \sim 0.7$  的区域内要比 Class 2 低约 2 个数量级,即便在  $\rho = 1.0$  时,  $P_{D,1}$  的值也被控制在 0.03 以内。

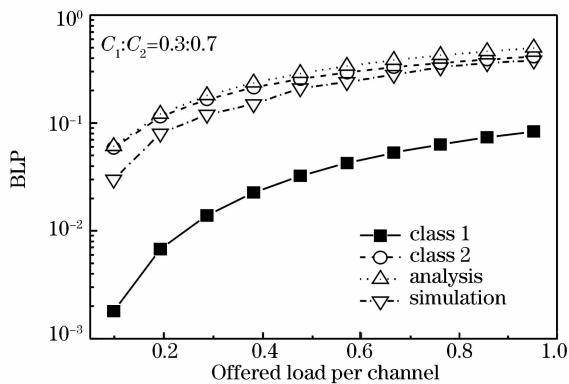


图 5 延迟抢占机制阻塞性能比较

Fig. 5 Comparison of DP mechanism on blocking performance

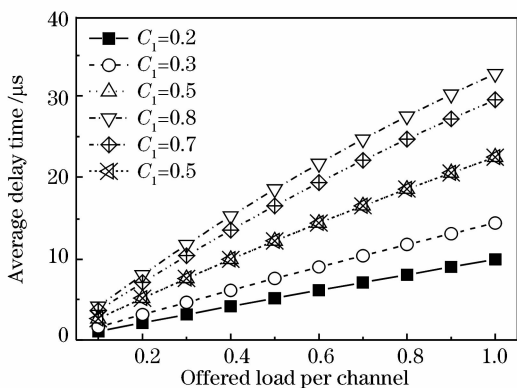


图 6 延迟抢占机制平均延迟特性分析

Fig. 6 Analysis of DP mechanism on delay performance

在延迟性能方面,由图 6 可知,数据突发在 FDL 中平均延迟时间一方面随着流量载荷的增加而呈线性增加,另一方面也随着优先级用户所占比例的增加而增加:以  $C_1 = 0.3$  为例,  $\rho = 0.1$  时,  $D_1$  仅为  $2 \mu\text{s}$ ,  $\rho = 1.0$  时,  $D_1 \approx 10 \mu\text{s}$ ; 而对于低优先级用户,  $C_2 = 0.7$  时,对应的值分别为  $4 \mu\text{s}$  和  $29.8 \mu\text{s}$ 。一方面表明高优先级用户发生竞争的概率较小,进入 FDL 中缓存的概率也较少;而且,由于 FDL 长度固定,高优先级用户的延迟要求亦能够得到保证。另一方面表明当高优先级用户所占比例较少时,光缓存主要是为低优先级用户进行服务,以保证交换节点能够具有较低的平均突发阻塞率。

## 4 结 论

为了有效避免虚假竞争,降低交换节点的突发丢弃概率,本文对延迟抢占机制在无优先级与两优先级系统中的性能分别进行了分析与仿真。结果表明,在无优先级系统中,与全延迟抢占相比,部分延迟抢占机制的复杂度较高,但对交换节点阻塞性能的改善却十分有限。在两优先级系统中,全延迟抢占机制不但可以有效地保证高优先级用户的低阻塞要求,而且固定的缓存长度还使得用户的低延迟要求可同时得到满足。因此,延迟抢占机制的应用进一步提高了 OBS 网络的实用性。

## 参 考 文 献

- 1 Y. Chen, C. Qiao, X. Yu. Optical burst switching: a new area in optical networking research [J]. *IEEE Network*, 2004, **5**:16~23
- 2 J. Turner. Terabit burst switching [J]. *J. High Speed Networks*, 1999, **8**(1):1~17
- 3 M. Yoo, C. Qiao, S. Dixit. QoS performance of optical burst switching in IP-over-WDM networks [J]. *IEEE J. Sel. Area Commun.*, 2000, **18**(10):2062~2071
- 4 Y. Xiong, M. Vandenhouste, H. Cankaya. Control architecture in optical burst-switched WDM networks [J]. *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 2000, **18**(10):1838~1851
- 5 Wang Ruyan, Long Keping, Yang Xiaolong *et al.*. A limited deflection routing algorithm based on burst loss threshold in OBS networks [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2006, **17**(1):15~18  
王汝言,隆克平,阳小龙等.一种基于门限的光突发交换受限偏射路由算法[J]. *光电子·激光*, 2006, **17**(1):15~18
- 6 R. Tucker. The role of optics and electronics in high-capacity routers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2006, **24**(12):4655~4673
- 7 L. Wang, C. Loi. Providing service differentiation for optical burst switched networks [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2004, **22**(7):1551~1560
- 8 T. Tachibana, S. Kasahara. Two-way release message transmission and its wavelength selection rules for preemption in OBS networks [J]. *IEICE Trans. Commun.*, 2007, **E90-B**(5):1079~1089
- 9 A. Rostami, S. Chakraborty. On performance of optical buffers with specific number of circulations [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(7):1570~1572
- 10 A. Detti, V. Eramo, M. Listanti. Performance evaluation of a new technique for IP support in a WDM optical network; optical composite burst switching (OCBS) [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2002, **20**(2):154~165
- 11 A. Rostami, S. Chakraborty. On performance of optical buffers with fixed length packets [C]. *IEEE WOCN 2005*, 2005. 155~158
- 12 Y. Chen, M. Hamdi, D. Tsang. Providing proportionally differentiated service over optical burst switching networks [J]. *IEEE Globecom*, 2001, **1**:1510~1514
- 13 Z. Zhang, J. Luo, Q. Zeng *et al.*. Hybrid assembly and improved head dropping scheme for service differentiation in optical burst switching [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(10):1200~1203