

光突发交换网络基于优先级与突发包分割的光缓存方法

管爱红 王波云 张元 傅洪亮

(河南工业大学信息科学与工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要 为了保证光突发交换(OBS)网络中不同优先级业务的服务质量(QoS)和有效地降低突发包的丢失率,提出了一种基于优先级与突发包分割的光缓存方法。该方法通过在输出数据信道上设置光纤延迟线组来缓存被分割的冲突突发包。当冲突发生时,基于突发包的优先级进行“竞争突发包头部分割或者原突发包尾部分割”处理;无冲突部分进行交换或者直接的事先预留的输出数据信道上处理,冲突部分的分割突发包进行光缓存。仿真结果表明,该方法能够有效地降低整个网络的丢包率,并且高优先级突发包的丢失率低于低优先级突发包的丢失率,在一定程度上可以有效地减少端到端的传输时延,减轻偏置时间对分割突发服务质量保证的压力,从而提高整个网络的性能。

关键词 光通信;光突发交换;光缓存;优先级;突发包分割;服务质量

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.060601

Optical Buffer Mechanism Based on Priority and Burst Segmentation in Optical Burst Switching Networks

Guan Aihong Wang Boyun Zhang Yuan Fu Hongliang

(School of College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract In order to guarantee quality of service (QoS) of different priority bursts and effectively reduce the burst loss probability (BLP), an optical buffer mechanism based on priority and burst segmentation in optical burst switching (OBS) networks is proposed. It intercalates the fiber delay units to buffer the segmentation part of bursts in the output data channels. When competition occurs, the header of competition burst data packet or the tail of original burst data packet is segmented according to the priority of bursts. The collision-free parts are exchanged or directly processed in reserved output data channel. Segmentation bursts are buffered in the optical buffer. Simulations show that the mechanism can reduce the burst loss probability of entire networks, and the burst loss probability of the high-priority bursts is much less than those of the low-priority bursts. It also can efficiently reduce the delay and the offset time deficit on QoS guarantee. So the scheme can improve the performance of OBS networks.

Key words optical communications; optical burst switching; optical buffer; priority; burst segmentation; quality of service

OCIS codes 060.1810; 250.6715; 130.0130; 250.0250; 260.0260

1 引言

光突发交换(OBS)技术因具有交换粒度适中、灵活性较强和实现难度适中等优点而被认为是在未来光网络中最具有可实现性的一种交换技术^[1~3]。在OBS网络中,两个或多个突发数据包(BDP)要求从某核心

收稿日期: 2011-02-17; **收到修改稿日期**: 2011-02-21; **网络出版日期**: 2011-04-25

基金项目: 国家自然科学基金(60940017)和河南省教育厅自然科学研究计划项目(2010A510002)资助课题。

作者简介: 管爱红(1973—),女,博士,副教授,硕士生导师,主要从事光纤通信、光电子器件、光网络及光突发交换技术等方面的研究。E-mail: guanaihonghust@yahoo.com.cn

节点的另一端口、同一波长、同时发送时,就会产生突发包冲突。在核心节点中配置光缓存是一种效果良好的冲突解决方法^[4,5],利用光纤延迟线(FDL)构成的各种结构的光缓存可以对冲突突发包进行暂时存储,以缓解冲突导致的损失,配置光缓存的核心节点可以较大程度地降低突发包的丢失率。传统光缓存方法(TOB)是将后到的冲突的整个突发包进行光缓存处理,这不仅增加了光缓存的硬件复杂度,而且没有考虑到不同优先级业务的实时性需求,故不能很好地保证 OBS 网络的服务质量(QoS)。基于优先级的突发包分割方法^[6](PBS)是根据突发包的优先级,采用竞争突发包头部分割策略或原突发包尾部分割策略,对优先级低的突发包进行分割处理。但是,分割后的突发包更加加重了输出数据信道的网络负荷承载能力,故不能很好地降低突发包的丢失率和保证 OBS 网络的 QoS。优先级的光缓存方法^[2](POB)基于突发包的优先级,将低优先级突发包进行光缓存,高优先级突发包进行输出处理,虽然其考虑到了不同优先级业务的实时性需求,但该方法增加了光缓存的硬件复杂度和突发包端到端的传输时延等,故也不能很好地降低突发包的丢失率和保证 OBS 网络的 QoS。

为了降低突发包的丢失率,节约有限的链路资源,保证 OBS 网络的 QoS,本文提出了一种基于优先级与突发包分割的光缓存方法(PBSOB)。该方法主要包括两个方面:根据突发包的优先级进行“突发包头部分割或尾部分割”处理;将冲突的分割突发包进行“光缓存”处理。

2 PBSOB 方法

2.1 方法思路的描述

为了研究方便,在单波长信道中,只选取一个后到的竞争突发数据包(CBDP)和一个新到的原突发数据包^[7](OBDP)。CBDP 在输入数据信道(IDC)上处理传输,OBDP 在输出数据信道(ODC)上处理传输。在配置有完全波长转换器的核心节点中,在输出数据信道上配置有 FDL。突发包的阴影部分表示由于冲突而被分割缓存的部分, P_o 和 P_c 分别为原突发包和竞争突发包的优先级, o 和 c 分别为原突发包和竞争突发包。

1) 如果原突发数据包的优先级大于竞争突发数据包的优先级,即 $P_o > P_c$,那么就将 CBDP 进行头部分割处理,分割成突发包 $CBDP'$ 和突发包 $CBDP''$ 。未受影响的突发包 $CBDP'$ 部分交换到 ODC 中与突发包 OBDP 一起进行处理,如图 1 所示。冲突部分的突发包 $CBDP''$ 交换到配置有 FDL 的 ODC 上,突发包 $CBDP''$ 部分在 FDL 中进行光缓存后输出处理。同时应该注意到,对竞争突发包进行头部分割处理后,控制系统为各个突发包生成对应的 BCP,其包含的相应信息也根据原 BCP 中信息和得到的处理情况进行相应更改。

2) 如果竞争突发数据包的优先级大于原突发数据包的优先级,即 $P_c > P_o$,那么就将 OBDP 进行尾部分割处理,分割成突发包 $OBDP'$ 和突发包 $OBDP''$ 。整个突发包 CBDP 交换到 ODC 中与未受影响的突发包 $OBDP'$ 部分一起进行处理,如图 2 所示。冲突部分的突发包 $OBDP''$ 交换到配置有 FDL 的 ODC 上,突发包 $OBDP''$ 部分在 FDL 中进行光缓存后输出处理。同时应该注意到,对原突发包进行尾部分割处理后,控制系统为各个突发包生成对应的 BCP,其包含的相应信息也根据原 BCP 中信息和得到的处理情况进行相应更改。

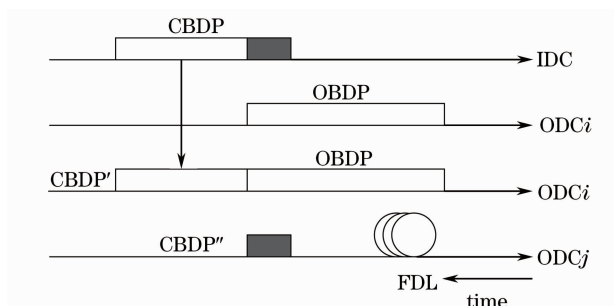


图 1 单波长信道情况下,竞争突发包头部分割时,基于优先级与突发包分割的光缓存方法示意图

Fig. 1 Sketch map of an optical buffer mechanism based on priority and burst segmentation when the header of CBDP is segmented in a single wavelength channel

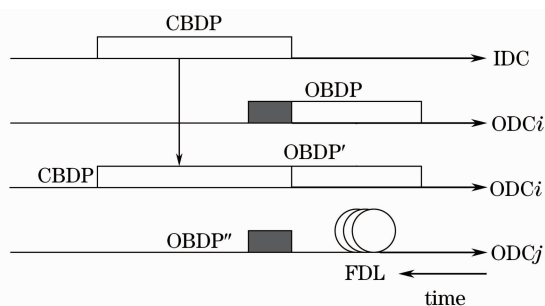


图 2 单波长信道情况下,原突发包尾部分割时,基于优先级与突发包分割的光缓存方法示意图

Fig. 2 Sketch map of an optical buffer mechanism based on priority and burst segmentation when the tail of OBDP is segmented in a single wavelength channel

2.2 方法的处理过程

假设突发包在 OBS 网络核心节点处出现冲突,方法处理过程分为以下几个步骤:

1) 发生冲突时,根据它们的优先级进行突发包分割处理。如果原突发包的优先级大于竞争突发包的优先级,采取“竞争突发包头部分割策略”;否则,采取“原突发包尾部分割策略”。无冲突部分进行交换或者直接在事先预留的输出数据信道上处理。

2) 核心节点接收到冲突部分的分割 BDP;判断是否有空闲的输出数据信道。如果有,核心节点为该 BDP 预留波长信道资源;如果没有,该 BDP 被丢弃。

3) 如果核心节点预留到了波长信道资源,则将冲突部分的分割 BDP 交换到配置有 FDL 的输出数据信道上,分割 BDP 在 FDL 中进行光缓存后输出处理。

图 3 给出了基于优先级与突发包分割的光缓存方法流程图。

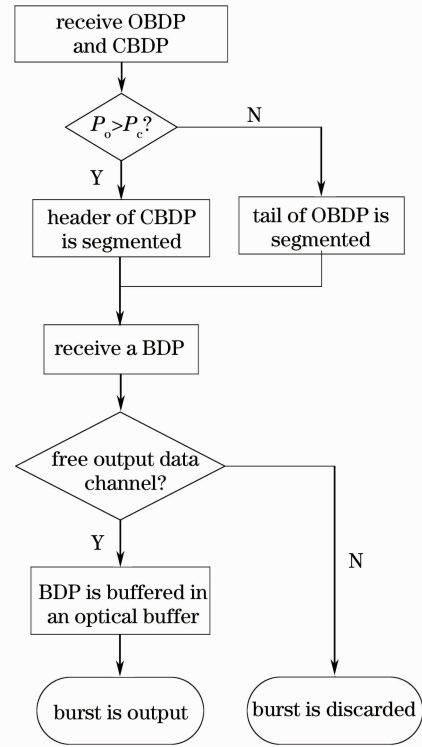


图 3 基于优先级与突发包分割的光缓存方法流程
Fig. 3 Flow chart of an optical buffer mechanism based on priority and burst segmentation

3 理论分析

设定 OBS 网络中存在有 5 种优先级突发包,即 Class1, Class2, Class3, Class4 和 Class5,其优先级逐渐降低。这里,只考虑到具备 k 个波长的单链路状态,在这条单链路中,配备有一个光缓存,这个光缓存具备 N 条 FDL。当不同优先级突发包发生冲突时,根据突发包的优先级,采用竞争突发包头部分割策略或原突发包尾部分割策略,对优先级低的突发包进行分割;核心节点将分割突发包调度进入光缓存进行暂时存储,当缓存容量达到极限时,则将此分割突发包丢弃。

设定 OBS 网络采用恰量时间(JET)资源预留协议^[8],所有优先级突发包的到达皆服从泊松(Poisson)分布,Class i 优先级突发包的到达率为 λ_i ,突发包的长度服从均值为 $1/\mu_i$ 的负指数分布, ρ_i 为 Class i 优先级突发包的网路负荷。根据 Erlang-B 公式^[9],可得突发包被分割后,Class1 优先级突发包的丢失率 $P_1(1)$ 为

$$P_1(1) = (\rho_1^k / k!) / \left[\sum_{j=0}^k (\rho_1^j / j!) \right]. \quad (1)$$

式中 $\rho_1 = \lambda_1 / \mu_1$ 。

根据 $M/G/\infty$ 排队模型以及守恒原则和数学归纳法,可以推导出突发包被分割后,各优先级突发包的丢失率 $P_1(i)$ 为^[10]

$$P_1(i) = \left(\sum_{j=1}^i \lambda_j / \lambda_i \right) (P_{1,2,\dots,i} - \xi_{1,2,\dots,i-1} P_{1,2,\dots,i-1}), \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

式中 n 为突发包的优先级数,

$$\xi_{1,2,\dots,i-1} = \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j / \sum_{j=1}^i \lambda_j, \quad (3)$$

$$P_{1,2,\dots,i} = \left[\left(\sum_{j=1}^i \rho_j \right)^k / k! \right] / \sum_{t=0}^k \left[\left(\sum_{j=1}^i \rho_j \right)^t / t! \right], \quad (4)$$

$$\rho_i = \lambda_i / \mu_i. \quad (5)$$

突发包被分割后,核心节点调度器将分割突发包调度到合适的光缓存中进行存储,那么其缓存需要参照确定的预留时间。调度的原则是:计算出分割突发包的输出时间 T ,然后选取所需要的 FDL 单元个数 N ,使得光缓存可以为分割突发包提供一个与 T 最接近的延迟时间 T' , $T' = bN$,其中 b 为单个 FDL 所能延迟的

时间。如果 $T' \gg T$, 那么就将增大分割突发包的总体延迟时间。选取 N 的原则为

$$N = \begin{cases} T/b, & b \bmod T = 0 \\ [T/b] + 1, & b \bmod T \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

假设, τ_{\max} 为光缓存可以提供的最大时延。如果 $\tau_{\max} < T$, 那么该分割突发包将被丢弃。这样配备光缓存的系统可以看作是一个 $M/M/k/D$ ($D > k$) 排队模型^[11], 其中 D 表示光缓存所能提供的最大容量, 即光缓存可以容纳的最大分割突发包的数目, 可得 D 为

$$D = (1 + N)k. \quad (7)$$

假设分割突发包的到达服从泊松(Poisson)分布, Class i 优先级分割突发包的到达率为 λ_i , 分割突发包的长度服从均值为 $1/\mu_i$ 的负指数分布, ρ'_i 为 Class i 优先级分割突发包的网路负荷。可得分割突发包被缓存后, Class 1 优先级分割突发包的丢失率 $P(1)$ 为

$$P(1) = \rho_1^D \eta_1 / (k^{D-k} k!). \quad (8)$$

由于分割丢掉的突发包都输入到光缓存中缓存, 所以光缓存中分割突发包的网路负荷就是分割机制的丢包率乘以突发包总的网路负荷, 即

$$\rho'_1 = P(1) \rho_1 = (\lambda_1 / \mu_1) P(1). \quad (9)$$

根据 $M/M/k/D$ ($D > k$) 排队模型, 以及守恒原则和数学归纳法, 可以推导出分割突发包被缓存后, 各优先级分割突发包的丢失率 $P(i)$ 为

$$P(i) = \left(\sum_{j=1}^i \lambda_j / \lambda_i \right) \left(\sum_{j=1}^i \rho'_j \right)^D \eta_i / (k^{D-k} k!) - (\lambda_{i-1} / \lambda_i) P(i-1), \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

式中

$$\eta_i = \left[\sum_{j=0}^{k-1} \left(\sum_{m=1}^i \rho'_m \right)^j / j! + \sum_{j=k}^D \left(\sum_{m=1}^i \rho'_m \right)^j / (k^{j-k} k!) \right]^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$\rho'_i = P(i) \rho_i = (\lambda_i / \mu_i) P(i). \quad (12)$$

对于给定的 n 个优先级的突发包, 由(4)式可以推出: $P_{1, 2, \dots, n} > P_{1, 2, \dots, n-1}$ 。由(2)式可以得到: $P_1(n-1) < P_1(n)$; 由(11)式可以容易推出: $\eta_n > \eta_{n-1}$ 。由(10)式和(12)式可以得到: $P(n-1) < P(n)$ 。最后, 可以得出: $P(1) < P(2) < P(3) < P(4) < P(5)$, 即突发包的优先级越高, 其丢包率越小。因此, 从理论上证明了高优先级突发包的丢失率比低优先级突发包的丢失率要低。

4 仿真分析

模拟仿真了在具有 5 个优先级突发包的 OBS 网络中, 单波长信道下, 突发包在核心节点由于冲突而导致的丢失率情况以及光缓存中的平均时延情况。这里设定网络中存在着 5 种不同优先级突发包, Class1, Class2, Class3, Class4 和 Class5, 其优先级逐渐降低, 其进入 OBS 网络系统的到达率分别为: 2, 5, 10, 15, 25 和 30。其占总突发包的比例分别为 10%, 15%, 20%, 25% 和 30%。假设网络中有 14 个核心节点, 21 条链路, 每个核心节点外接一个边缘路由器。在单波长信道中, 每条链路有 4 根双向光纤, 每根光纤只有 1 个波长信道。假设每个核心节点具有完全波长变换能力, 每根光纤的波长分配采用 first-fit 算法。边缘节点互联网协议(IP)流按照 Poisson 过程到达, IP 包的平均长度为 1250 字节, 传输速率为 10 Gb/s, 数据突发是由整数个 IP 经边缘节点汇聚而成, 突发数据包以参数为 λ 的 Poisson 过程到达, 其长度 L 服从均值为 1 Mb 的指数分布, 其传输速率为 10 Gb/s。在计算端到端的传输时延^[12,13], 假设突发包经过每个节点的排队与处理时延和交换时延之和为 0.1 ms。每个节点的流量以 Erlang 负载表示, 14 个边缘节点同时向核心网络发送数据, 目的地址随机选取除源节点外的其他 13 个节点, 核心节点采用最迟可用未占用信道(LAUC)算法调度数据突发包。

图 4 给出了单波长信道情况下, PBSOB, PBS 和 TOB 方法得到的网络总的丢包率与网络负荷的关系。设定每个 ODC 含有 4 根光纤, 每根光纤只含有 1 个波长信道。由图 4 可以看出, 采用 PBSOB 方法得到的网络总的丢包率最低, 其次是采用 PBS 方法, TOB 方法得到的网络总的丢包率最高, 且 PBSOB 方法相对于 PBS 方法得到的网络总的丢包率下降 1 个数量级左右。特别是当网络负荷比较小时, 其效果非常明显。

图 5 仿真了单波长信道情况下,采用 PBSOB 方法时,不同优先级突发包由于承载不同的网络负荷而产生的丢包率情况。设定每个 ODC 含有 4 根光纤,每根光纤只含有 1 个波长信道。由图 5 可以看出,高优先级突发包得到了比低优先级突发包更低的丢失率,并且相邻优先级突发包的丢失率的增长率随优先级的降低而逐渐减小。当网络负荷(ρ)较轻时,即当 $\rho < 0.5$ 时,不同优先级突发包的丢失率随网络负荷增加而增大的幅度比较大;当 $\rho > 0.5$ 时,不同优先级突发包的丢失率随网络负荷增加而增大的幅度比较平缓。特别是网络负荷比较小时,其效果比较明显。

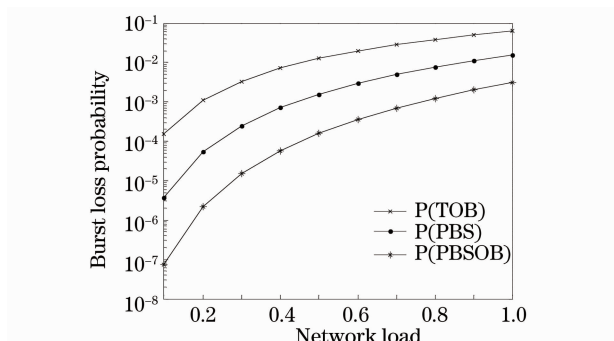


图 4 PBSOB, PBS 和 TOB 方法下,网络总的丢包率与网络负荷的关系(4 根光纤的单波长信道)

Fig. 4 Relationship between burst loss probability of overall networks and network load for PBSOB, PBS and TOB (a single wavelength channel of 4 fibers)

图 6 模拟了单波长信道情况, PBSOB, PBS 和 TOB 方法下,端到端的平均传输时延随网络负荷变化的关系。设定每个 ODC 含有 4 根光纤,每根光纤只含有 1 个波长信道。为了便于考虑光缓存方法的时延特性,以 TOB 方法的时延对 PBS 方法和 PBSOB 方法的时延进行归一化处理。由图 6 可以看出,在任何网络负荷情况下, PBS 和 PBSOB 方法都有一定的额外时延,且 PBS 方法得到的传输时延要大于 PBSOB 方法得到的时延。在最坏的情况下, PBSOB 和 TOB 方法得到的端到端的传输时延最大差距不超过 0.05 ms。所以,虽然该方法增加了一定的端到端的传输时延,但对整个网络系统的影响不大。这主要归结于采用了基于优先级的“先分割后光缓存”机制。由此可以得出:随着网络负荷的增加,尽可能选择基于优先级与突发包分割的光缓存方法。

5 结 论

提出了一种基于优先级与突发包分割的光缓存方法。该方法通过在输出数据信道上设置光纤延迟线组来缓存被分割的冲突突发包。核心思想是:当冲突发生时,基于突发包的优先级进行“竞争突发包头部分割或者原突发包尾部分割”处理;无冲突部分进行交换或者直接在事先预留的输出数据信道上处理,冲突部分的分割突发包进行光缓存。并对该方法进行了理论推导,给出了该方法下不同优先级突发包的丢失率随网络负荷和优先级数变化的一般表达式。仿真结果表明,该方法能够有效地降低整个网络的丢包率,并且得到高优先级突发包的丢失率低于低优先级突发包的丢失率,在一定程度上还可以有效地减少端到端的传输时延,减轻偏置时间对分割突发服务质量保证的压力,从而提高整个网络的性能。在实际的 OBS 网络应用该

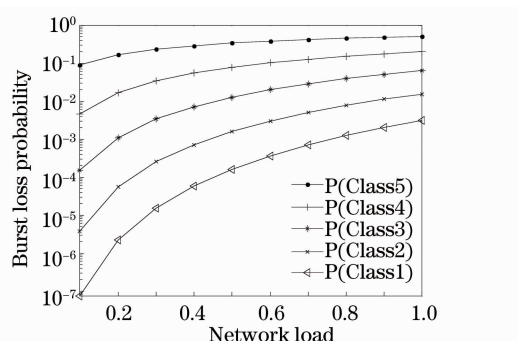


图 5 PBSOB 方法下,不同优先级突发包的丢失率与网络负荷的关系(4 根光纤的单波长信道)

Fig. 5 Relationship between burst loss probability of different priority and network load for PBSOB (a single wavelength channel of 4 fibers)

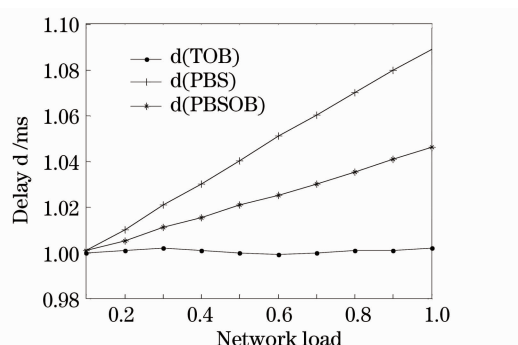


图 6 PBSOB, PBS 和 TOB 方法下,端到端的传输时延与网络负荷的关系(4 根光纤的单波长信道,传输时延的单位为:ms)

Fig. 6 Relationship between delay and network load for PBSOB, PBS and TOB (a single wavelength channel of 4 fibers)

方法时,网络中业务流量不宜过大,这些结果对 OBS 网络的设计和优化具有一定的理论指导意义。

参 考 文 献

- 1 M. Yoo, C. Qiao, S. Dixit. QoS performance of optical burst switching in IP-over-WDM networks [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, **18**(10): 2062~2072
- 2 A. Zalesky, L. V. Hai. Designing an optimal scheduler buffer in OBS networks [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2008, **26**(14): 2046~2054
- 3 E. Wong, J. Baliga, M. Zukerman *et al.*. A new method for blocking probability evaluation in OBS/OPS networks with deflection routing [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2009, **27**(23): 5335~5347
- 4 Y. Xiong, M. Vandehoute, H. C. Cankaya. Control architecture in optical burst-switched WDM networks [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, **18**(10): 1838~1851
- 5 L. Xu, G. H. Perros, G. Rouskas. Techniques for optical packet switching and optical burst switching [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2001, **39**(1): 136~142
- 6 Hou Rui, Sun Junqiang, Ding Panfeng *et al.*. Study of fair burst segmentation or dropping method in optical burst switched multi-hop network [J]. *J. 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
- 7 Hou Rui, Sun Junqiang, Ding Panfeng. Study on a priority based contention resolution for optical burst switching networks [J]. *J. 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
- 8 M. Yoo, C. Qiao. Just Enough Time (JET): a high speed protocol for burst traffic in optical networks [J]. *IEEE/LEOS Technology for a Global Information Infrastructure*, 1997, **8**(11-15): 26~27
- 9 K. Dolzer, C. Gauger, J. Spath *et al.*. Evaluation of reservation mechanisms in optical burst networks [J]. *AEU Int. J. Electronic Communication*, 2001, **55**(21): 1~8
- 10 H. L. Vu, M. Zukerman. Blocking probability for priority classes in optical burst switching networks [J]. *IEEE Communications Letters*, 2002, **6**(5): 214~216
- 11 D. Gross, C. Harris. *Fundamentals of Queueing Theory* [M]. New York: Wiley-Interscience, 1997. 11~23
- 12 M. Klinkowski, D. Careglio, J. Sole-Pareta *et al.*. Performance overview of the offset time emulated OBS network architecture [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2009, **27**(14): 2751~2764
- 13 J. Alberto Hernandez, J. Aracil, L. De Pedro *et al.*. Analysis of blocking probability of data bursts with continuous-time variable offsets in single-wavelength OBS switches [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2008, **26**(12): 1559~1568