

光突发交换网络中基于突发包分段的联合冲突解决方法研究

管爱红¹ 张海芳¹ 李青海²

¹河南工业大学信息科学与工程学院, 河南 郑州 450001

²河海大学物联网工程学院, 江苏 南京 210098

摘要 光突发交换(OBS)技术由于结合了电的灵活处理和光的高速传输,成为构建下一代全光互联干线网最具前景的交换方式,其单向资源预留方式导致的突发包冲突是限制OBS走向实用的关键。基于突发包分段的光缓存冲突解决方法和基于突发包分段的波长转换冲突解决方法,首先通过对低优先级突发包进行分段解决冲突,然后对分段后冲突部分突发包进行光缓存或波长转换降低丢包率。对基于突发包分段的光缓存和基于突发包分段的波长转换两种冲突解决机制的性能进行了比较研究,仿真结果显示:两种机制都能够有效地降低整个网络的丢包率。当网络负荷较高时,采用基于突发包分段的光缓存方法对降低突发包的丢失率效果比较明显;当网络负荷较低时,采用基于突发包分段的波长转换方法能够更加有效地降低突发包的丢失率。

关键词 光通信;光突发交换;优先级;突发包分割;光缓存;波长转换

中图分类号 TN929.11 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.040602

Composite Contention Resolution Mechanism Based on Burst Segmentation in Optical Burst Switching Networks

Guan Aihong¹ Zhang Haifang¹ Li Qinghai²

¹College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China

²College of Internet of Things Engineering, Hehai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China

Abstract Optical burst switching (OBS) is a promising solution for the next generation backbone internet which can exploit the huge bandwidth of dense wavelength division multiplexing(DWDM) technology and the flexibility of electronic switching. An important issue in OBS technology is burst contention which causes performance degradation. The optical buffer resolution based on segmentation segments burst firstly, and then the segmented burst is buffered. The wavelength conversion conflict resolution based on segmentation segments burst firstly, and then the segmented burst is wavelength converted. Comparison between the two contention resolutions is made. The result of comparison shows that when the network load is high, the optical buffer conflict resolution based on burst segmentation can efficiently reduce the burst loss probability. When the network load is low, the wavelength conversion conflict resolution based on burst segmentation can efficiently reduce the burst loss probability.

Key words optical communications; optical burst switching; priority; burst segmentation; optical buffer; wavelength conversion

OCIS codes 060.1155; 060.2330; 060.4510; 060.4250

1 引言

光交换是未来网络发展的方向,目前已提出了3种光交换技术,即光电路交换、光分组交换和光突发交换(OBS)^[1-2]。在OBS网络中,突发控制包(BCP)在每一个突发数据包(BDP)发送之前进入网络,并在该BDP将要通过的核心节点为其预留带宽资源,BDP在边缘节点等待一个偏置时间后进入OBS网络,对于某

收稿日期: 2013-10-15; 收到修改稿日期: 2013-12-11; 网络出版日期: 2014-03-11

基金项目: 河南省高等学校青年骨干教师资助计划(2011GGJS-081)、河南省教育厅自然科学研究计划(13A510163)

作者简介: 管爱红(1973—),女,副教授,主要从事光纤通信、光交换技术方面的研究。E-mail: oe_haut@126.com

一个核心节点来说,如果两个或多个即将到达的BDP要求在相重叠的时间区间内同一端口的同一数据信道输出,那么就会产生冲突,突发包之间的冲突会导致冲突数据的丢失。如何解决突发包冲突问题是OBS技术最终走向实际应用的关键技术之一,在很大程度上决定了OBS网络资源的利用率、突发包的丢失率、网络的吞吐量、网络的服务质量等性能指标。

对OBS网络中的突发包冲突问题的研究一直都在进行^[3-4],目前已经提出的比较典型的冲突解决方法有光缓存^[5]、波长变换^[6]、突发包分割^[7]和偏射路由^[8]。但是单个竞争解决机制在处理突发包冲突问题时都表现出一定的局限性,目前研究人员开始考虑将几种冲突解决方法结合起来,以便更好地解决OBS网络中突发包之间的冲突问题。文献[9]提出了一种基于门限的偏射路由算法,文献[10-11]提出了一种基于突发包分段的光缓存冲突解决方法(PBSOB);文献[12]提出了一种基于分段的波长转换冲突解决方法(BSWC);文献[13]提出了一种基于优先级的先分段后偏射路由冲突解决方法。这几种冲突解决方法都是将已有的几种单一竞争解决机制结合起来,但是都没有涉及到联合竞争解决机制综合性能的比较。本文对基于分段的光缓存冲突解决方法和基于分段的波长转换冲突解决方法的性能进行了对比分析,得出了在具体网络负荷条件下采样这两种方法的优缺点。

2 基于突发包分段的光缓存冲突解决方法

考虑两个突发包竞争的情况,先到的突发数据包称为原突发数据包(BDP_1),在输出波长信道(ODC) λ_i 上传输处理,后到的突发数据包称为竞争突发数据包(BDP_2),在输入波长信道(IDC) λ_i 上传输处理。

1) 如果 BDP_1 的优先级高于 BDP_2 ,将 BDP_2 进行头部分段处理,分成突发包 BDP'_2 和突发包 BDP''_2 。不冲突的部分 BDP'_2 直接交换到输出波长信道 λ_i 上与原突发数据包 BDP_1 一起传输。图1为基于竞争突发包头部分段的光缓存方法示意图,黑色表示冲突部分,白色表示无冲突部分。冲突部分的突发数据包 BDP''_2 进入光缓存器(FDL),缓存适当时间后交换到预留的信道 λ_j 输出。如果没有可用的光缓存,这部分突发数据包被丢弃。与此同时,控制单元为冲突部分 BDP''_2 生成相应的突发控制包,分段后突发数据包的偏置时间和包长度等信息被修改并写回相应的控制包。

2) 如果 BDP_2 的优先级高于 BDP_1 ,将 BDP_1 进行尾部分段处理,分成突发数据包 BDP'_1 和突发数据包 BDP''_1 。不冲突的部分 BDP'_1 交换到输出波长信道 λ_i 上与竞争突发数据包 BDP_2 一起传输,如图2所示。冲突部分的突发包 BDP''_1 进入光缓存器,光缓存的解决方式以及相应控制包的处理方式与 BDP''_2 相同。

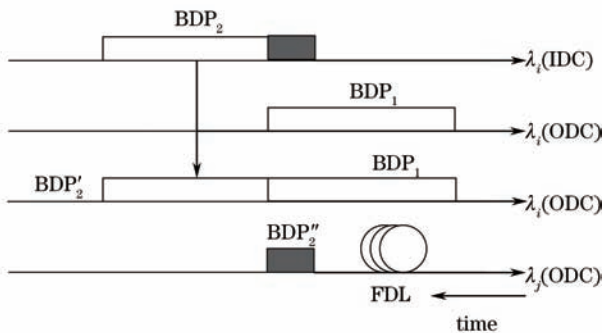


图1 基于竞争突发包头部分段的光缓存方法

Fig.1 Optical buffer based on contending burst head segmentation

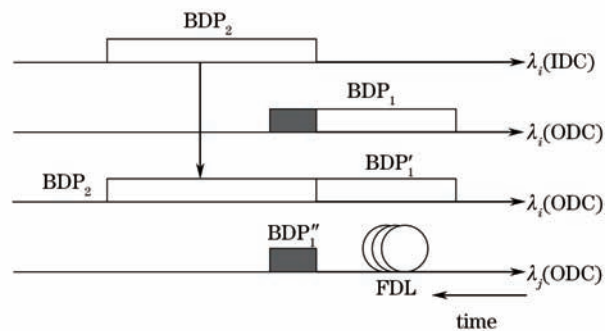


图2 基于原突发包尾部分段的光缓存方法

Fig.2 Optical buffer based on original burst tail segmentation

假设OBS网络中有 n 种优先级的突发数据包,Class 1到Class n 优先级逐渐降低,考虑单根光纤复用 w 个波长的单链路状态,OBS节点采用端口共享光纤延迟线结构。第 i 优先级突发数据包的到达率为 λ_i ,突发数据包的长度服从均值为 $1/\lambda_i$ 的负指数分布, ρ_i 为第 i 优先级突发数据包的网路负荷。根据Erlang-B公式,得到采用突发数据包分段竞争解决机制后,各优先级突发数据包的丢失率为

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

i 表示突发数据包的优先级, 其中

$$\varepsilon_{1,2,\dots,i-1} = \frac{\sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j}{\sum_{j=1}^i \lambda_j}, \quad (2)$$

$$P_{1,2,\dots,i} = \frac{\left(\sum_{j=1}^i \rho_j \right)^w / w!}{\sum_{t=0}^w \left[\left(\sum_{j=1}^i \rho_j \right)^t / t! \right]}, \quad (3)$$

$$\rho_i = \lambda_j / \mu_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

假设核心节点所需要的 FDL 单元个数为 N , 选取 N 的基本原则为

$$N = \begin{cases} T/b, & b \bmod T = 0 \\ \lceil T/b \rceil, & b \bmod T \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

由于分段后冲突部分的突发数据包都进入光缓存, 所以分段机制的数据丢包率乘以突发数据包总的网络负荷就是光缓存的网络负荷, 即

$$\rho'_i = P_1(i) \rho_i = (\lambda_i / \mu_i) P_1(i). \quad (6)$$

根据 M/M/k/D ($D > k$) 排队模型^[14], 可以推导出分段突发数据包被缓存后, 各优先级分段突发数据包的丢失率 $P(i)$ 如下

$$P(j) = \left[\sum_{i=1}^j \lambda_i / \lambda_j \right] \left[\sum_{i=1}^j \rho'_i \right]^D \eta_j / (w^{D-w} \cdot w^j) - (\lambda_{i-1} / \lambda_i) P(i-1), \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad (7)$$

其中

$$\eta_j = \left[\sum_{j=0}^{w-1} \left(\sum_{m=1}^j \beta_m \right)^j / j! + \sum_{j=w}^D \left(\sum_{m=1}^j \beta_m \right)^j / (w^{j-w} \cdot w!) \right]^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$\rho'_i = P_1(i) \rho_i = (\lambda_i / \mu_i) \cdot P_1(i). \quad (9)$$

3 基于突发包分段的波长转换冲突解决方法

1) 如果 BDP_1 的优先级高于 BDP_2 , 那么就将 BDP_2 进行头部分段处理, 分成突发数据包 BDP'_2 和突发数据包 BDP''_2 。不冲突的部分 BDP'_2 交换到预定的输出信道 λ_i 上与 BDP_1 一起传输, 如图 3 所示。冲突部分的突发数据包 BDP''_2 进入波长转换器, 转换到空闲的波长 λ_j 上输出, 若波长转换器没有空闲的波长, 则突发包被丢弃。与此同时, 控制单元为冲突部分 BDP''_2 生成相应的突发控制包, 分段后突发数据包的偏置时间和包长度等信息被修改并写回相应的突发控制包。

2) 如果 BDP_2 的优先级高于 BDP_1 , 那么就将 BDP_1 进行尾部分段处理, 分段成突发数据包 BDP'_1 和突发数据包 BDP''_1 , 不冲突的部分 BDP'_1 交换到预定的输出信道 λ_i 上与 BDP_2 一起进行传输, 如图 4 所示。冲突部分 BDP''_1 进入波长转换器, 转换到空闲的波长 λ_j 上输出, 若波长转换器没有空闲的波长, 则突发包被丢弃。与此同时, 控制单元为冲突部分 BDP''_1 生成相应的突发控制包, 分段后突发数据包的偏置时间和包长度等信息被修改并写回相应的突发控制包。

采用突发包分段竞争解决机制后, 各优先级突发包的丢失率仍然是(1)式。

低优先级突发数据包被分段后, 冲突部分突发数据包经过波长转换器转换的空闲波长输出, 所以分段机制的数据丢包率乘以突发数据包总的网络负荷就是波长转换的网络负荷, 即

$$\rho'_i = P_1(i) \rho_i. \quad (10)$$

由此求得采用 BSWC 机制时, 各优先级突发数据包总的丢包率 $P(i)$ 为

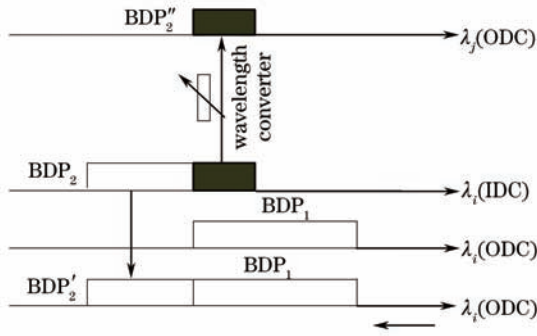


图3 基于竞争突发包头部分段的波长转换机制

Fig.3 Wavelength conversion based on contending burst head segmentation

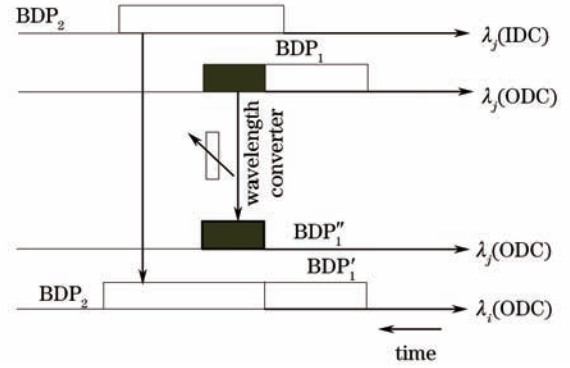


图4 基于原突发包尾部分段的波长转换机制

Fig.4 Wavelength conversion based on original burst tail segmentation

$$P(i) = \sum_{k=0}^w \left[1 - \frac{\alpha'_i(k)}{w \cdot \alpha'_i} \right] P_k, \quad (11)$$

式中

$$P_k = \frac{\alpha'_i(0)\alpha'_i(1)\cdots\alpha'_i(k-1)}{k!} P_0, \quad k = 1, 2, \dots, w \quad (12)$$

$$P_0 = \left[1 + \alpha'_i(0) + \frac{\alpha'_i(0)\alpha'_i(1)}{2!} + \cdots + \frac{\alpha'_i(0)\alpha'_i(1)\cdots\alpha'_i(w-1)}{w!} \right]^{-1}. \quad (13)$$

4 算法的处理过程

两种冲突解决机制的处理过程分为以下两个步骤：

1) 冲突发生时,根据两个突发数据包的优先级对低优先级突发数据包进分段处理,无冲突部分直接在事先预留的输出数据信道上处理;冲突部分突发数据包进入下一步。

2) 节点接收到冲突部分的BDP,判断经过FDL延迟恰量时间后该输出数据信道是否空闲(或者判断波长转换器转换范围内是否有空闲的输出波长信道),如果是(或者有),将冲突部分突发数据包经过FDL延迟恰量时间后经预留信道输出(将冲突部分的突发包转换到该空闲的数据信道上进行输出);如果不是(或者没有),则丢弃该突发数据包。图5为采用突发包分段的光缓存机制(PBSOB)算法和突发包分段的波长转换机制(BSWC)算法处理突发数据包冲突问题流程图。

5 仿真分析

为了对基于PBSOB和基于BSWC两种算法的综合性能进行比较,在4×4的mesh结构利用MATLAB软件对PBSOB方法和BSWC算法分别进行了仿真分析。设定OBS网络中存在有5种优先级突发包,即Class 5、Class 4、Class 3、Class 2和Class 1,其优先级逐渐升高,其进入OBS网路系统的到达率分别为:30、25、15、10和2.5。其占突发包的比例分别为30%、25%、20%、15%和10%。假设网络中有14个核心节点和21条链路,网络IP包的平均长度为1250字节,传输速率为10 Gb/s。突发数据包有整数个IP包经边缘节点汇聚而成,突发数据包以参数为 α 的泊松过程到达,其长度 L 服从均值为1 Mb的指数分度,其传输速率为10 Gb/s。

图6模拟了PBSOB、BSWC两种机制下,在不同的光纤延迟线数目和不同波长转换度情况下,网络总的丢包率与网络负荷的关系,其中 w 是每根光纤复用波长数, r 是波长转换度, N 是光纤延迟线的个数。由图6可知,对于PBSOB机制,设每根光纤复用4个波长信道,当网络负荷一定、光纤延迟线数目由1增加到2时,突发数据包的丢失概率急剧下降。即使当网络负荷比较大时,其改善效果也是非常明显。对于BSWC机制,当核心节点波长转换器的转换度由3增加到5,网络负荷为0.5时,突发数据包的丢失概率降低了近5个数量级。这是因为随着波长转换器转换范围的变大,分段的突发包可以在更广泛的波长范围内进行波长转换,被成功预留的概率随之增加,从而导致突发数据包丢失率降低。当网络负荷小于0.6时,随着转换度的

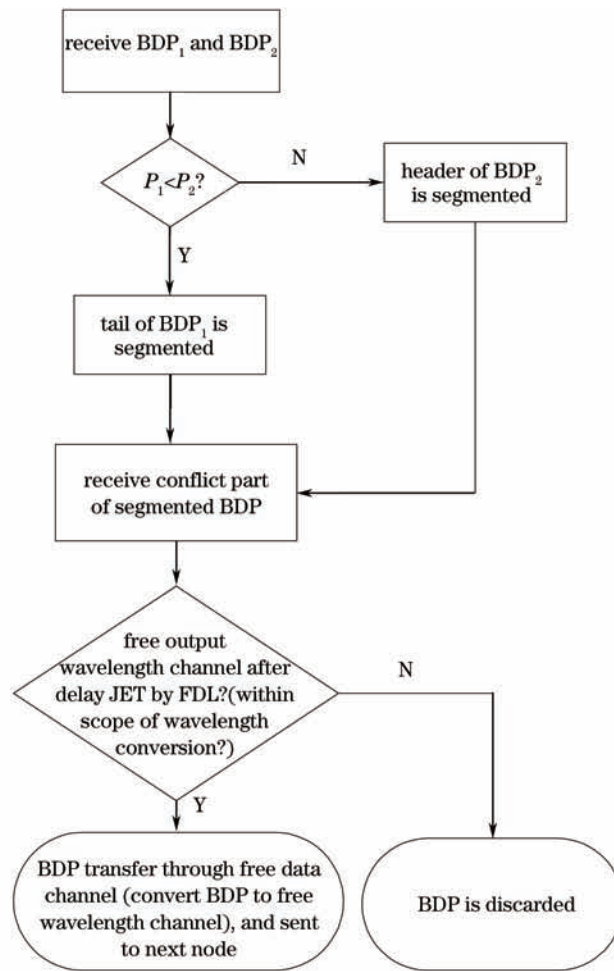


图5 基于突发包分段的光缓存和波长转换方法流程图

Fig.5 Flow chart of optical buffer and wavelength conversion based on burst segmentation

增加,突发数据包的丢失概率改善效果比较明显;当网络负荷大于0.6时,随着转换度的增加,突发数据包的丢失概率降低了1~2个数量级。这是因为,当网络负荷较高时,同一时刻空闲的波长信道数极少,波长转换器调度成功的概率降低。比较PBSOB和BSWC算法的仿真曲线可知,当同一根光纤复用的波长信道数较少,并且网络负荷较高时,采用PBSOB冲突解决方法可以更加有效地降低网络总的丢包率;当同一根光纤复用的波长信道数较多,并且网络负荷较低(小于0.6)时,采用BSWC冲突解决方法可以更加有效地降低网

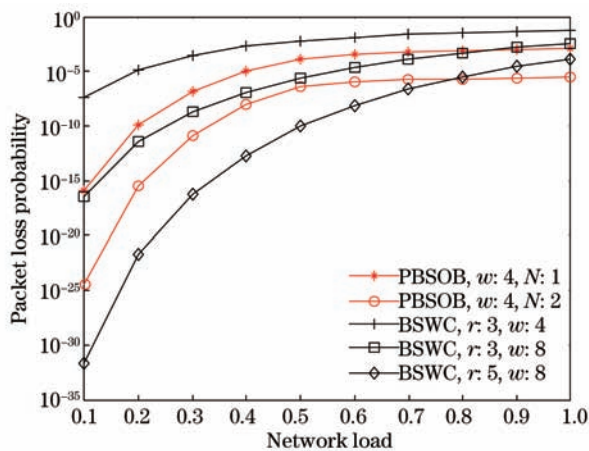


图6 网络总丢包率与网络负荷的关系

Fig.6 Total packet loss probability versus network load

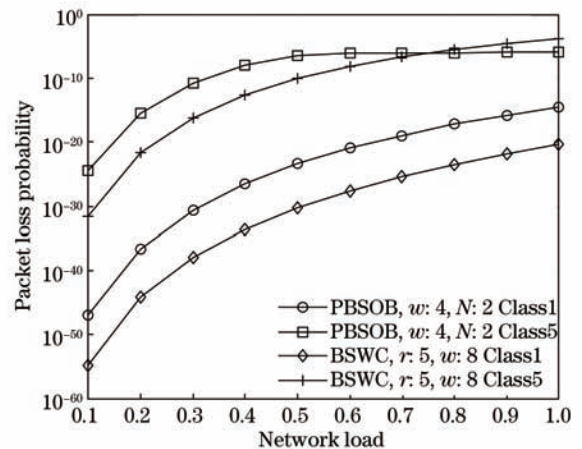


图7 不同优先级丢包率与网络负荷的关系

Fig7 Packet loss probability of different priorities burst versus network load

路总的突发数据包丢失概率。

图7模拟了采用PBSOB和BSWC两种冲突解决方法,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。由Matlab仿真结果可知,同一网络负荷下,考察优先级为Class 5突发包的丢失率。当网络负荷小于0.75时,采用PBSOB方法($w=4, N=2$)丢包率高于BSWC方法($w=8, r=5$);当网络负荷大于0.75时,采用PBSOB方法($w=4, N=2$)丢包率低于BSWC方法($w=8, r=5$);各优先级突发数据包的丢失率随着网络负载的不断增大而提升,并且得到了高优先级突发数据包的丢失率低于低优先级突发数据包的丢失概率,较好地支持了OBS网络的区分服务。

图8模拟了PBSOB机制下,突发数据包的丢失概率与光纤延迟线数目之间的变化关系。图中 r_0 为网络负荷由图可知,当网络负载一定时,FDL数目每增加1,突发数据包的丢失概率下降近3个数量级。当FDL数目不变时,随着网络负载的增大突发数据包的丢失概率随之提高。

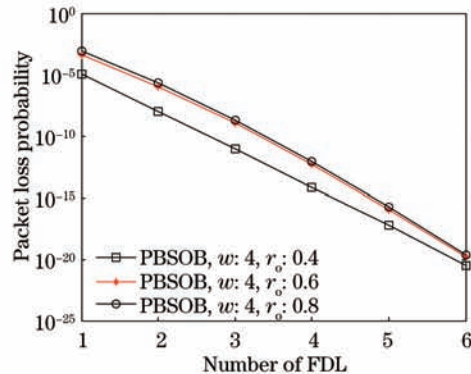


图8 网络总丢包率与FDL数目关系

Fig.8 Total packet loss probability versus network load FDL number

6 结 论

本文对基于突发包分段的联合解决方法进行了研究,对比分析了基于突发包分段的光缓存冲突解决方法和基于突发包分段的波长转换冲突解决方法的性能,仿真结果显示,两种方法都能够有效地降低整个网络的丢包率。当网络负荷较高时,采用基于突发包分段的光缓存冲突解决方法对降低突发数据包的丢失率效果比较明显;当网络负荷较低时,采用基于分段的波长转换冲突解决方法能够更加有效地降低突发包的丢失率。

参 考 文 献

- 1 Yi Houmei, Xu Shizhong, Wang Sheng, *et al.*. Designing hybrid optical switching network using protection resource [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, 47(5): 050601.
易厚梅, 徐世中, 王 晟, 等. 基于保护资源的混合光交换网络[J]. *激光与光电子学进展*, 2010, 47(5): 050601.
- 2 Zhang Jin, Xu Shizhong, Wang Sheng, *et al.*. Design of hybrid optical switching network [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, 47(6): 060602.
张 瑾, 徐世中, 王 晟, 等. 一种新的混合光交换网络组建方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2010, 47(6): 060602.
- 3 Bi Fengjun, Zhang Min, Ye Peida. A novel prioritized scheme for contention resolution in optical burst-switched networks [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(6): 900-904.
毕峰军, 张 民, 叶培大. 光突发交换网络中一种新的有优先权的冲突解决方案[J]. *光子学报*, 2005, 34(6): 900-904.
- 4 Abdeltouab Belbakkouche, Abdelhakim Hafid, Michel Gendreau. Adaptive routing and contention resolution approaches for OBS networks with QoS differentiation [C]. *Sixth International Conference on Broadband Communications, Networks, and Systems*, 2009. 1-8.
- 5 I Chlamtac, A Fumagalli, L G Kazovsky, *et al.*. COD: Contention resolution by delay lines [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1996, 6(14): 1014-1029.
- 6 A Bononi, G A Castanon, O K Tonguz. Analysis of hot-potato optical networks with wavelength conversion [J]. *J Lightwave Technol*, 1999, 4(17): 525-534.

- 7 V M Vokkarane, J P Jue, S Sitaraman. Burst segmentation: an approach for reducing packet loss in optical burst switched networks [J]. IEEE 2002, 5: 2673–2677.
- 8 T Hiroki, O Katsutoshi, C Y Bok. An effective BECN/CRN typed deflection routing for QoS guaranteed optical burst switching [J]. IEEE, 2003, 5: 2601–2606.
- 9 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): 86–90.
王汝言, 隆克平, 杨小龙, 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): 86–90.
- 10 Guan Aihong, Wang Boyun, Fu Hongliang, *et al.*. A resource reservation window mechanism in emulated-optical burst switching networks [J]. J Optoelectronics·Laser, 2012, 23(2): 273–279.
管爱红, 王波云, 傅洪亮, 等. OBS网络中基于优先级的先分割后缓存冲突解决方法 [J]. 光电子·激光, 2012, 23(2): 273–279.
- 11 Guan Aihong, Wang Boyun, Zhang Yuan, *et al.*. An optical buffer mechanism based on priority and burst segmentation in optical burst switching networks [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2011, 48(6): 32–37.
管爱红, 王波云, 张元, 等. 光突发交换网络基于优先级与突发包分割的光缓存方法[J]. 激光与光电子学进展, 2011, 48(6): 32–37.
- 12 Guan Aihong, Zhang Haifang, Wang Boyun. The contention resolution mechanism based on burst segmentation and wavelength conversion in OBS networks [J]. Optical Communication Technology, 2012, 36(7): 38–41.
管爱红, 张海芳, 王波云, 等. OBS中基于分割和波长转换的冲突解决机制[J]. 光通信技术, 2012, 36(7): 38–41.
- 13 Guan Aihong, Wang Boyun, Zhang Yuan, *et al.*. A deflection routing algorithm based on priority and parameter-tunable in optical burst switching networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(7): 1668–1672.
管爱红, 王波云, 张元, 等. OBS网络中基于优先级与参数可调的偏射路由算法 [J]. 电子学报, 2011, 39(7): 1668–1672.