

doi: 10.3788/lop47.050601

# 基于保护资源的混合光交换网络

易厚梅 徐世中 王 晟 王 雄

(电子科技大学宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室, 四川 成都 610054)

**摘要** 提出一种基于保护资源的混合光交换方案 P\_HyLABS。该方案利用光电路交换(OCS)网络中的保护资源(波长信道), 构建光突发交换(OBS)网络层, 与 OCS 工作光路组成的 OCS 网络层一起, 组成 OCS/OBS 混合交换网络。仿真结果表明, 由于将 OCS 传送的电路交换的优势与 OBS 传送的统计复用能力进行了较好的结合, 与单一的 OCS 网络和 OBS 网络相比, P\_HyLABS 混合交换在保证数据高效传输的同时, 可应对呈高突发性的数据传送, 在多失效的网络环境下也能部分恢复数据传送。

**关键词** 光通信; 混合光交换; 光突发交换; 光电路交换; 保护资源

中图分类号 TN915 OCIS 060.4510 060.4250 文献标识码 A

## Designing Hybrid Optical Switching Network Using Protection Resource

Yi Houmei Xu Shizhong Wang Sheng Wang Xiong

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission & Communication Networks, Ministry of Education, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

**Abstract** A new hybrid optical switching network based on protection resource named P\_HyLABS is presented. P\_HyLABS takes advantage of the protection resource (wavelength channels) in optical circuit switching (OCS) network to construct optical burst switching (OBS) network layer, which is combined with the OCS layer into hybrid OBS/OCS switching network. Simulation results show that compared with pure OCS network and OBS network, P\_HyLABS takes advantage of the circuit-switched connection of OCS and the statistic multiplexing characteristic of OBS, achieves higher transportation efficiency, accommodates the bursty traffic efficiently and restores part of data transmission even in the case of multiple failures.

**Key words** optical communication; hybrid optical switching; optical burst switching; optical circuit switching; protection resource

### 1 引 言

早期的光网络是点与点之间光纤链路的互联, 光信号在网络中的每一个节点都要转化为电信号进行电处理, 因此具有高的带宽资源共享率。然而电域的处理速度远远低于网络的传输速度, 因此电域成为了光网络传输的瓶颈。为了解决这一问题, 需要能在光层实现全光网络交换, 由此, 产生了波分复用(WDM)光网络的 3 种基本交换技术——光电路交换(OCS)、光分组交换(OPS)、光突发交换(OBS)。但是 OCS 对具有高突发特性的 IP 业务支持效率不高; OPS 在器件技术实现上存在难以克服的障碍, 短期内难以实用化;

收稿日期: 2009-08-02; 收到修改稿日期: 2009-11-10

基金项目: 国家 863 计划(2007AA01Z242)和国家 973 项目(2007CB307104)资助课题。

作者简介: 易厚梅(1986—), 女, 硕士研究生, 主要从事光网络优化方面的研究。E-mail: yihoumei@uestc.edu.cn

导师简介: 徐世中(1972—), 男, 博士, 副教授, 主要从事宽带网络方面的研究。E-mail: xsz@uestc.edu.cn

OBS 作为是 OCS 和 OPS 之间的一种折中方案,能有效地承载 IP 业务,但是由于没有很好地解决预约冲突问题,丢包率高。目前,研究者提出了混合交换的概念<sup>[1]</sup>,研究如何结合上述交换方式的优点,尽量避免或减少其缺点,实现网络交换。能较好地支持动态业务混合的光网络有 ORION<sup>[2,3]</sup>和 OpMiGua<sup>[4]</sup>两种,但是这两种方案资源调度复杂、器件要求较高。另一方面,光网络作为最主要的下层传送网络,随着其所能承载的流量显著增加。为了提高光网络的生存性,必须在网络中配置大量保护资源。在传统 OCS 网络中,当网络处于正常状态时,保护资源空闲造成大量的资源浪费。现在的绝大多数保护策略其有效性都依赖于单点失效假设,这在大型骨干网络中并不完全适用。而目前多失效下的保护策略<sup>[5]</sup>的基本思想是配置更多的保护资源,造成更大程度的浪费。

本文提出一种基于保护资源的混合光交换网络 P\_HyLABS,其基本思想是利用闲置的 OCS 保护资源构建 OBS 网络,与由 OCS 光路组成的 OCS 网络共同完成数据的 OBS/OCS 混合交换。在网络正常运行时,网络中大部分数据包采用 OCS 光路(称为工作光路)传送到目的节点;当突发业务量超过光路可承载业务量时,造成 OCS 光路满载,无法通过 OCS 光路进行传输的数据(称为溢出数据)可以尝试通过 OBS 网络传送到目的节点。当网络中出现光路失效,可将相应的暂时用于构建 OBS 网络的 OCS 保护资源收回,建立保护光路传输原本由失效光路承载的这一部分数据(称为失效数据)。在多失效的情况下,有限的 OCS 保护资源不能为所有失效光路建立保护光路,这些无法采用保护光路传输的失效数据则被视为溢出数据通过 OBS 网络进行传输。

## 2 P\_HyLABS 结构与工作原理

为了更清晰地阐述 P\_HyLABS 结构以及数据传输方式,首先简要介绍混合光交换网络(HyLABS)<sup>[6]</sup>的传输数据机制。在 HyLABS 中,当有数据到达时,首先选择通过 OCS 光路传送;如果 OCS 光路满载,将溢出数据组装成突发包,同时创建相应突发头发送至 OBS 网络中进行资源预约,然后将这些突发包通过已预约的 OBS 网络资源逐跳传送。

为了进行溢出数据的有效传输,网络中需预留资源建立 OBS 拓扑,否则将增加网络资源调度复杂度以及提高对光器件的要求(ORION 采用类似策略)。但是,如何预留资源建立 OBS 拓扑是一个很困难的问题。当工作光路正常运行时,网络中的保护资源处于闲置状态,造成资源浪费。P\_HyLABS 将闲置保护资源暂时用于构建 OBS 拓扑传输溢出数据。这些暂时用于构建 OBS 拓扑的闲置保护资源称为备份资源。

图 1 举例说明 4 点 P\_HyLABS 如何使用保护资源建立 OBS 拓扑。网络中有 4 个节点 A, B, C, D 以及 5 条双向链路。表 1 列举了该网络中资源分配情况。在网络运行正常时,保护资源闲置,被暂时作为备份资源构建 OBS 拓扑,与 OCS 工作光路拓扑共同构成 P\_HyLABS。假定某一时刻 AC 工作光路临时满载,当节点 A 依然有目的节点为 C 的数据到达时,溢出数据包组装成突发包在 OBS 拓扑上逐跳(A-B-C)传输。

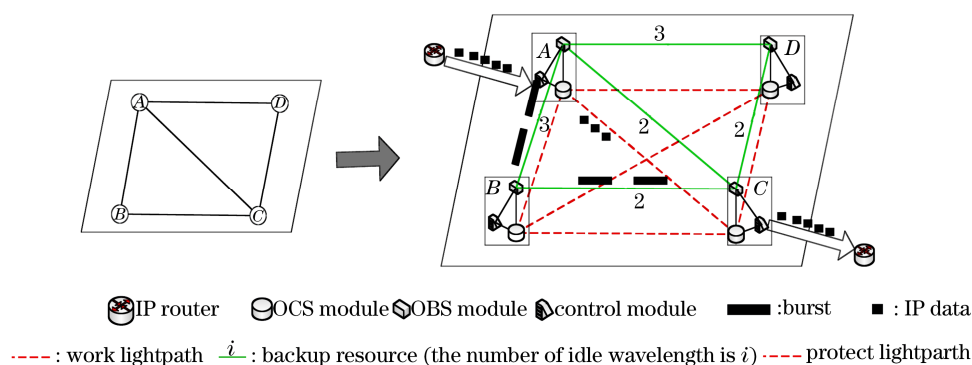


图1 P\_HyLABS 结构  
Fig.1 Architecture of P\_HyLABS

表 1 网络资源分配  
Table 1 Network resource allocation

Lightpath	Resource on work lightpath	Resource on protect lightpath	Protect type
$BC$	$B-C(\lambda_0)$	$B-A-C(\lambda_2)$	Share
$AB$	$A-B(\lambda_0)$	$A-D-C-B(\lambda_2)$	Share
$AC$	$A-C(\lambda_0)$	$A-B-C(\lambda_3)$	Share
$AD$	$A-D(\lambda_0)$	$A-C-D(\lambda_3)$	Share
$CD$	$C-D(\lambda_0)$	$C-A-D(\lambda_3)$	Share
$BD$	$B-C-D(\lambda_1)$	$B-A-D(\lambda_3)$	Dedicated

P\_HyLABS 具有一定的应对网络多失效能力, 其保护机制的基本策略是: 当工作光路失效, 将相应地暂时用于构建 OBS 拓扑的保护资源建立保护光路, 同时备份资源减少并形成新的 OBS 拓扑。保护光路一旦建立成功, 失效数据通过保护光路和新的 OBS 拓扑传送至目的节点。在多失效的情况下, 无法建立保护光路的失效数据则全部视为溢出数据, 尝试通过 OBS 拓扑向目的节点传输。由于失效保护光路需要释放保护资源, 这些被释放的保护资源再次闲置, 将参与构建 OBS 拓扑, 备份资源随之改变。

图 2 以节点  $A$  到节点  $C$  的业务传输来阐述 P\_HyLABS 的保护机制。其中图 2(a)展示了当网络中出现单点失效的数据传输机制。当链路  $AC$  出现故障导致工作光路  $AC$  失效, 网络利用暂时用作 OBS 交换的备份资源建立保护光路  $AC$ , 备份资源减少。当保护光路  $AC$  建立成功, 节点对  $AC$  间的大部分数据通过保护光路  $AC$  进行传输, 当保护光路  $AC$  满载出现数据溢出时, 这些溢出数据在新的 OBS 拓扑上逐跳传输抵达目的端点。在图 2(b)中, 假定链路  $AC$  出现故障的同时链路  $AB$  也出现故障时, 不能为失效的保护光路  $AC$  建立保护光路。在传统的保护策略中, 节点对  $AC$  之间的失效数据只能被丢弃, 但是在 P\_HyLABS 中, 这些失效数据被视为溢出数据, 组装成突发包尝试在 OBS 拓扑上向目的节点传输。

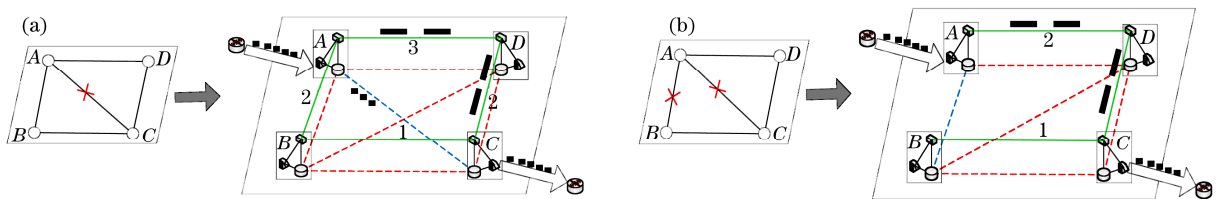


图 2 单点失效(a)多失效(b)的 P\_HyLABS 网络工作示意图  
Fig.2 Work principle of P\_HyLABS in the case of single failure (a) and multiple failures (b)

### 3 网络拓扑设计算法

在 P\_HyLABS 网络拓扑设计中, 对 OCS 虚拓扑、OBS 拓扑设计综合设计是该设计的重要问题。将该算法分为 OCS 保护拓扑设计和 OBS 路由设计两个子问题。在进行 OCS 保护拓扑和 OBS 路由算法之前, 为突发头、光路建立信令、光路拆除信令等控制信息预留一个波长作为控制信道。剩余波长资源均可被工作光路或保护光路占用。

目前, 关于 OCS 保护拓扑设计子问题的 ILP 算法<sup>[7]</sup>复杂度较高, 对于大型骨干网络并不适用。本文采用重路由启发式算法来进行 OCS 保护设计, 这个算法是基于  $K$  最短路算法进行的。首先, 采用 Yen 最短路径算法<sup>[8]</sup>得到每个业务源目节点对的  $K$  条最短路, 在这  $K$  条路可能存在关键路径, 即在网络中删除此路就会使源目节点不连通。从这  $K$  条路中删除所有关键路径, 剩下的路径集合则构成了重路由算法的路径搜索空间。接下来, 为每个业务实现路由与波长分配。采用首次命中算法在路径搜索空间寻找一条路径作为工作光路并为此分配一条波长。如果成功, 则按照保护需求尝试为此连接寻找保护光路; 否则, 开始为下一业务连接分配工作光路波长。如果连接的保护类型是专有保护, 保护光路只需要与工作光路节点分离; 如果其保护类型是共享保护, 路径上任一链路所保护的工作光路都应该满足节点分离。因此在为连接寻找

保护光路时,首先在路径搜索空间根据保护需求去掉不满足节点分离约束的路径,在剩下的路径中采用最后命中算法寻找一条最小阻塞的路径作为保护光路并为此分配一条波长。当所有业务实现路由与波长分配后,对业务进行重路由。通过为业务重新计算工作光路和保护光路(如果需要)并不断迭代获得更高的资源占用率以及更多的保护波长资源。国内外已有对相似的算法的研究<sup>[9,10]</sup>。

由于用于构建 OBS 拓扑的备份资源数量随着光路的失效或恢复而变化,为了能根据当前网络状况动态更新路由, OBS 路由算法应具有较小的算法复杂度且容易实现。同时,由于目前 OBS 技术没有很好的方法解决预约冲突问题,当传输路径越长丢包率越大。因此,采用最短路确定源目节点对的最短路已作为 OBS 路由,其路径权重为  $\sum_{\forall(i,j) \in P} w(i,j)$ , 其中,  $P$  为最短路径,  $w(i,j)$  是链路  $(i,j)$  的链路权重, 定义为

$$w(i,j) = \begin{cases} INF & n(i,j) = 0 \\ l(i,j) * |V| & n(i,j) = 1 \\ l(i,j) / [n(i,j) + 1] & n(i,j) > 1 \end{cases}, \quad (1)$$

式中  $|V|$  为该网络中节点数目,  $l(i,j)$  为链路  $(i,j)$  的物理距离,  $n(i,j)$  为链路  $(i,j)$  上作为暂时用于备份资源的保护资源的波长数。

#### 4 数值结果与性能分析

P\_HyLABS 同时实现波长路由交换和突发包交换,并且具有一定的应对多失效的能力。本文利用仿真的数值结果来体现 P\_HyLABS 带来的这种优越性能。用于性能测试的物理网络是 NSF 主干网,如图 3 所示。假设所有链路都为双向链路且每条链路物理长度为 200 km, 每条链路拥有 16 条波长, 每条波长的带宽为 10 Gb/ps。数据包包长固定为 12.5 kbit, 为了使网络溢出更为明显, 每条光路对应的光缓存队列长度只设为 10 个数据包。突发包汇聚时间门限和长度门限分别为 200  $\mu$ s 和 100 个数据包。同时假设突发头在进行资源预约时, 每个核心节点的处理延迟为 80  $\mu$ s。在仿真中, 业务量矩阵采取以下方式随机生成: 假设  $X$  对源目节点对的业务量均值大小在区间(5 Gb/s, 10 Gb/s)中随机分布, 其余源目节点对的业务量均值大小在区间(0 Gb/s, 5 Gb/s)中随机分布。本文中进行的仿真的业务量矩阵有 3 组, 其  $X$  值分别取 64, 100 和 121。

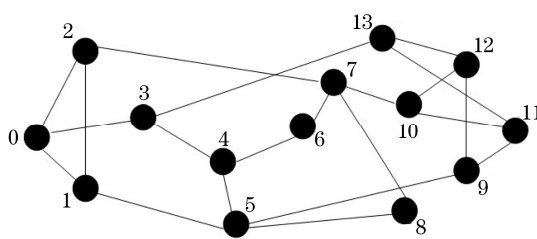


图 3 NSF 骨干网  
Fig.3 NSF backbone network

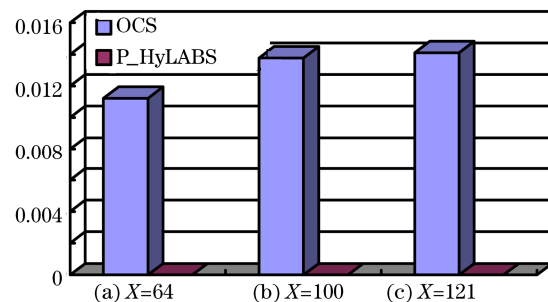


图 4 数据包丢失率  
Fig.4 Packet loss rate

图 4 与图 5 比较了在网络没有任何失效时, OCS 网络与 P\_HyLABS 的数据包丢失率以及端到端延迟的差异。在图 4 中, OCS 网络出现大量数据丢失, P\_HyLABS 的数据丢失则为 0。这是因为 OCS 网络出现溢出数据, 这些数据就被丢弃, 而 P\_HyLABS 网络充分利用闲置的备用资源传输溢出数据。图 5 显示了 P\_HyLABS 网络中数据包端到端延迟略高于 OCS 网络, 这是由于本应在 OCS 网络中丢弃的溢出数据尝试在 OBS 拓扑上进行传输, 其延迟包括突发头在核心节点的处理延迟, 造成溢出数据延迟高于光路传输延迟。

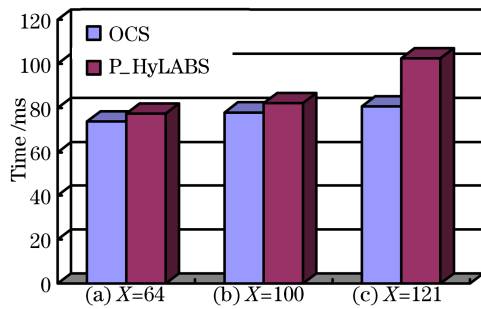


图5 端到端延迟  
Fig.5 End-to-end delay

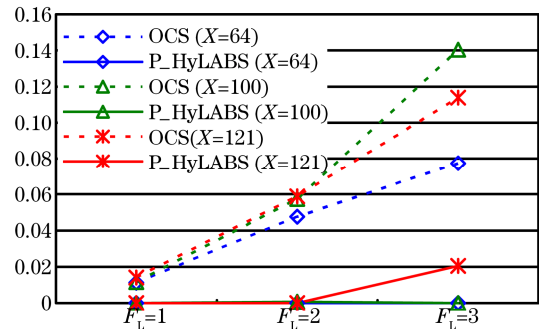


图6 多失效情况下, 数据包丢失率  
Fig.6 Packet loss rate in the case of multiple failures

图6比较了多失效情况下OCS网络与P\_HyLABS网络数据包丢失率的差异,  $F_L$ 代表网络失效链路数目。从仿真结果可以看出, OCS网络只能较好地应对网络中的单点失效, 而P\_HyLABS能应对网络的多失效, 其数据包丢失率远远低于OCS网络的数据包丢失率。这是因为当网络出现多失效, 网络中有限的保护资源不能为所有失效光路建立保护光路, 在OCS网络被丢弃的失效数据在P\_HyLABS网络视为溢出数据尝试通过OBS拓扑传送至目的端点。但是, 随着失效的增多, 部分保护资源用于建立保护光路, 用于构建OBS网络的备份资源减少的同时, 无法建立保护光路的大量失效数据组装成突发包涌入OBS网络, 造成溢出数据在预约资源时冲突概率增大, 数据丢失概率也随之增大。

## 5 结论

提出了一种基于保护资源的混合光交换网络P\_HyLABS, 能在利用OCS光路连接保证数据高效传输的同时, 利用OBS的统计复用能力可应对呈高突发性的数据传送, 在多失效的网络环境下也能恢复部分数据传送。

## 参 考 文 献

- Gauger, C. M. Kuhn, P. J. Breusegem *et al.*. Hybrid optical network architectures: bringing packets and circuits together[J]. *IEEE Commun. Mag.*, 2006, **44**(8): 36~42
- Jan Cheyins, Erik Van Breusegem, Didier Colle *et al.*. ORION: a novel hybrid network concept: overspill routing in optical networks[C]. *IEEE Proc. ICTON*, 2003. 144~147
- E. Van Breusegem, Jan Cheyins, D. de Winter *et al.*. Overspill routing in optical networks: a true hybrid optical network design[J]. *IEEE J. Select Areas Commun.*, 2006, **24**(4): 13~25
- S. Bjornstad, M. Nord, D. R. Hjelm. QoS differentiation and header/payload separation in optical packet switching using polarisation multiplexing[C]. *IEEE Proc. ECOC*, Rimini (Italy), 2003, (3.4.6): 28~29
- Hongsik Choi, S. Subramaniam, Hyeong-Ah Choi. On double-link failure recovery in WDM optical networks[C]. *IEEE Proc. INFOCOM*, 2002, **2**: 808~816
- Yeshuang Wang, Sheng Wang, Shizhong Xu *et al.*. A new hybrid optical network design consisting of lightpath and burst switch[C]. *ICACT*, 2009, **3**: 1873~1876
- S. Ramamurthy, B. Mukherjee. Survivable WDM mesh networks, part I—protection[c]. *IEEE Proc. INFOCOM*, 1999, 744~751
- Jin Y. Yen. Finding the  $K$  shortest loopless paths in a network[J]. *Manag. Sci.*, 1977, **17**(11): 712~716
- Bharat T. Doshi, S. Drarida, P. Harshavardhana *et al.*. Optical network design and restoration[J]. *Bell Labs Tech. J.*, 1999, **4**(1): 58~84
- Lu Shen, Xi Yang, Byrav Ramamurthy. Shared risk link group (SRLG)-diverse path provisioning under hybrid service level agreements in wavelength-routed optical mesh networks[J]. *IEEE/ACM Transaction on Networking*, 2005, **13**(4): 918~931