

# 基于统一控制平面的异构自动交换光网络

胡卫生<sup>1</sup>, 金辉<sup>1</sup>, 郭薇<sup>1</sup>, 姜淳<sup>1</sup>, 程扬<sup>2</sup>, 王晓冬<sup>1</sup>,  
刘芳华<sup>2</sup>, 王悦<sup>1</sup>, 黎宇峰<sup>3</sup>, 胡佩钢<sup>1</sup>, 张春蕾<sup>1</sup>, 陆<sup>1</sup>,  
徐步伟<sup>1</sup>, 祁永敏<sup>1</sup>, 曾庆济<sup>1</sup>, 魏巍<sup>1</sup>, 易小波<sup>4</sup>, 许宗幸<sup>4</sup>

(1. 上海交通大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 上海 200030;  
2. 上海华广科技公司; 3. 上海全光网络有限公司; 4. 上海贝尔阿尔卡特有限公司)

**摘要:** 本文报道了由两种不同类型的光交叉连接构成的 4 节点格状拓扑自动交换光网络. 我们对通用多协议标记交换的路由和信令协议作了扩展, 利用连接控制接口屏蔽了底层结构差异. 通过一个统一的控制平面和一个用户友好的网管系统, 实现了虚波长通道的建立、释放和恢复等功能.

**关键词:** 自动交换光网络; 控制平面; 异构网络; 虚波长通道; 格状拓扑

**中图分类号:** TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 12A-101-04

## A Heterogeneous ASON Test Bed Based on Unified Control Plane

HU Wei sheng<sup>1</sup>, JIN Yao hui<sup>1</sup>, GUO Wei<sup>1</sup>, JIANG Chun<sup>1</sup>, CHEN Yang<sup>2</sup>, WANG Xiao dong<sup>1</sup>,  
LIU Fang hua<sup>2</sup>, WANG Yue<sup>1</sup>, LI Yu feng<sup>3</sup>, HU Pei gang<sup>1</sup>, ZHANG Chun lei<sup>1</sup>, LU Yang<sup>1</sup>,  
XU Bu wei<sup>1</sup>, QI Yong ming<sup>1</sup>, ZENG Qing ji<sup>1</sup>, WEI Wei<sup>1</sup>, Yi Xiao bo<sup>4</sup>, XU Zong xin<sup>4</sup>

(1. State Key Laboratory on Fibre Optic Local Area Networks and Advanced Optical Communication Systems, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China; 2. Shanghai Huangang Inc.; 3. Shanghai All Optical Network Inc.; 4. Alcatel Shanghai Bell)

**Abstract:** We report a heterogeneous ASON test bed composed of two different types of OXC. A connection control interface in each node hides the architecture difference for control plane. A unified control plane as well as a friendly network manager runs in the heterogeneous domain to demonstrate establishment, release and recovery of virtual wavelength paths.

**Key words:** automatically switched optical networks(ASON); control plane; heterogeneous network; virtual wavelength path; mesh topology

### 1 引言

自动交换光网络(ASON, 也称自动交换传送网络)<sup>[1]</sup>是光传送网发展的必然结果, 代表着光传送网发展的主流方向, 体现了传输和交换融合的一个大趋势. 它通过在传统的网络传送和管理二层体系中间增加一层新的分布式控制平面, 可以实现: 邻居自动发现、拓扑自动发现、路由计算、快速通道建立和拆除以及动态恢复和保护等功能.

90 年代末至 2002 年, 在一些国际性和国家性的重大研究计划支持下, 建立了若干试验网络, 例如欧洲电信研究和战略研究计划(EURESCOM)支持的“光网络层间互操作”(LION)项目和“灵活、自动交换、客户层独立的光网络”(FASHION)项目, 德国联邦教育和研究部支持的新一代光网络研究计划 KomNET 项目, 中国 863 计划和国家自然科学基金(NSFC)也给予了充分支持, 部署了若干重大重点项目. 2003 年以来, 已经有电信运营商开始部署 ASON, 2004 年 6 月, 中国电信还参加了由光互联论坛(OIF)组织的自动交换光网络控制平面用户网络接口和网络网络接口的互操作试验.

在国家 863 计划和国家自然科学基金等计划的支持下, 我国的 ASON 研究取得了重要进展. 例如, 2002 年底, 清华大

学联合北京大学和北京邮电大学, 完成了一个包括有五台光交叉连接(OXC)的 ASON 实验平台; 上海交通大学联合上海贝尔阿尔卡特和上海全光网公司, 完成了一个包括有四台 OXC 的 ASON 实验平台, 独立自主地开发了一套通用多协议标记交换(GMPLS)协议栈, 实现了 GMPLS 规定的基本特征集, 并且首次演示了具有共享波长变换能力的 ASON, 部分成果在 ECOC 2003 作为特邀报告报道<sup>[2]</sup>.

目前无论是试验演示平台还是商业化产品, 在一个网络中, OXC 的结构都是完全相同的, 区别仅在于容量大小. 而从电信部门部署、升级和应用 ASON 出发, 研究在一个运营网络中, 采用统一的控制平面, 控制结构不同 OXC 具有非常重要的意义.

本文介绍了一个四节点两种不同 OXC 构成的光网络, 一种是无波长变换的波长选择交叉连接, 另一种是具有共享波长变换的 OXC. 我们设计了一个连接控制接口, 用以屏蔽底层光交叉连接的差异, 开发了基于简约波长分层图的路由算法, 扩展了 ASON 的路由和信令协议, 所有的协议实体完全相同, 形成一个统一的控制平面, 并且实现了用户界面友好的网络管理系统. 最后我们演示了虚波长通道的动态建立、拆除和恢

复等ASON功能.

## 2 传送平面

### 2.1 节点结构

如图1所示,我们实现了两种不同类型的OXC,这两种OXC的核心交换设备都是基于微电机系统(MEMS)技术的光开关.类型I图1(a)是典型的波长选择交叉连接结构,核心是1块 $8 \times 8$  MEMS光开关.演示中,我们仅用了2个波长,波长1(1530nm)和波长2(1550nm),3

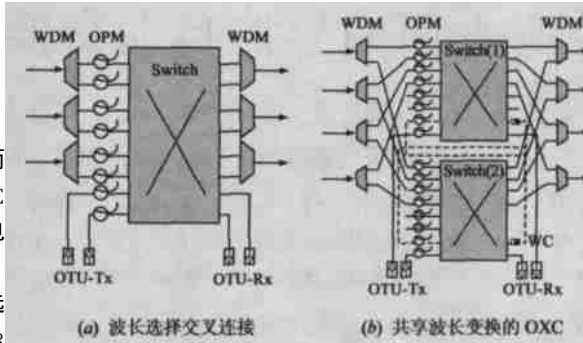


图1 OXC节点结构

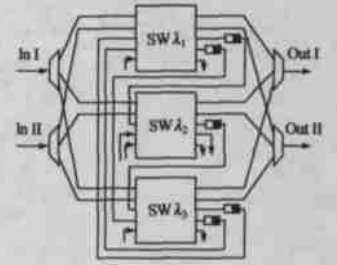


图2 具有共享波长变换 OXC 的通用结构 [3]

路波分复用群路接口(WDM),2对上下路单元(OTU),所以光路在进入光开关之前通过一个光功率监控模块(OPM)监控输入光功率.类型II图1(b)是一种共享波长变化OXC结构,图2是它的更通用结构表示<sup>[3]</sup>,它的特点是在一个光开关上的波长变换器可以被所有输入共享.核心由2块 $8 \times 8$  MEMS光开关构成,其中波长变换器采用光电光转换实现,与图1(a)相同仍然使用2个波长,2对OTU,4路WDM,同样也装配了OPM.图1(a)中物理上一块MEMS光开关被逻辑划分成属于不同波长的若干块小的光开关.

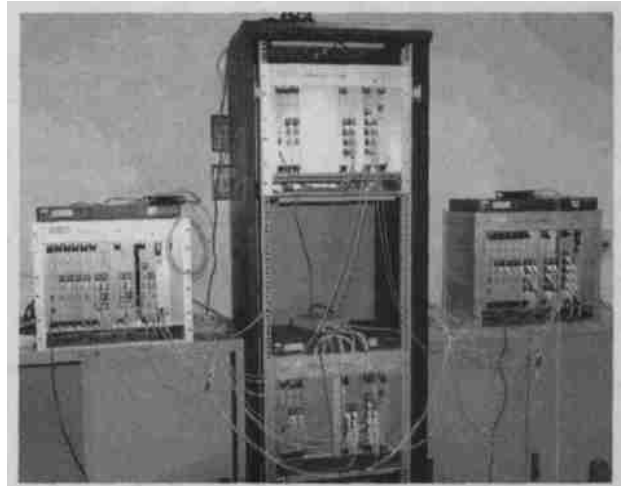


图4 异构自动交换光网络现场照片

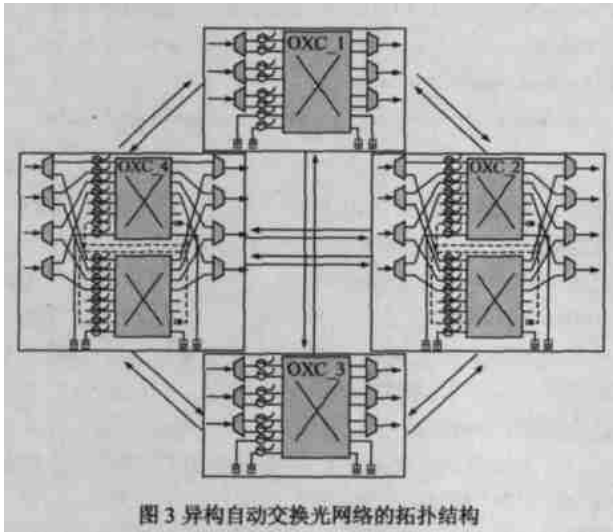


图3 异构自动交换光网络的拓扑结构

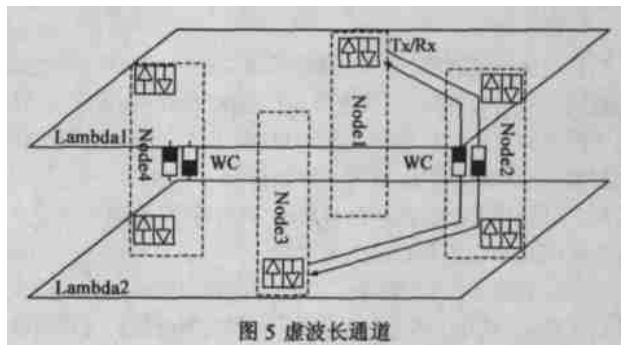


图5 虚波长通道

### 2.2 网络拓扑

图3是演示网络的格状拓扑结构,其中OXC1和3是类型I波长选择交叉连接,OXC2和4是类型II具有共享波长变化的OXC.4个OXC采用G.652光纤网状互联.其中OXC2和4之间2对光纤是为了演示GMPLS规定的链路捆束功能.为了演示虚波长通道,OTU的波长分配如下:OXC1两个OTU都采用波长1,OXC3两个OTU都采用波长2,OXC2和4的OTU波长1和2各配一个.图4是现场演示照片.

尽管OXC1和3之间有光纤链路资源相连,但是由于波长不同,受波长连续性限制,OXC1到3的通道不是它们之间最短路径1-3,而是1-2-3,在OXC2经过波长转换,形成OXC1到3的虚波长通道,如图5所示.

## 3 控制平面

### 3.1 路由算法

我们引入简约波长分层图(Reduced Wavelength Layer Graph, RWLG)表示具有共享波长变化的光网络,图6显示了一个5节点RWLG例子,其中每一个方块顶点代表图2中OXC中属于某一个波长的逻辑光开关矩阵,圆圈顶点代表OTU. RWLG是一个动态加权有向图,我们定义两种边,一种是传送边(TRE),表示在同一个波长层连接2个OXC节点之间的可用波长资源;另一种是波长转换边(WCE),表示在一个OXC节点内部不同层之间的可用波长转换资源.与辅助图<sup>[4]</sup>不同, RWLG没有交换边,交换留给每个OXC节点本地决定.

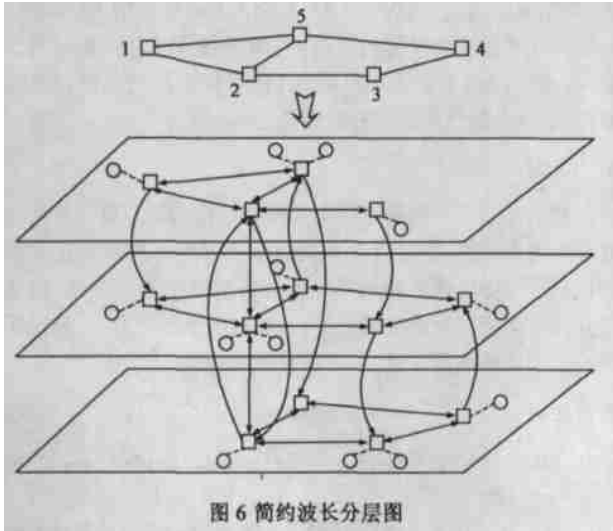


图 6 简约波长分层图

TRE 和 WCE 可以被汇聚, RWLG 可以处理 OXC 节点间多根平行光纤连接或者 OXC 节点内部一对逻辑交换矩阵之间多个波长转换器连接的情况, 这种汇聚在 GMPLS 框架下被称为链路捆束<sup>[5]</sup>, 可以有效减少路由更新的通信量. 图中如果没有资源存在, 对应的边也没有. 给定一个连接请求, 路由问题就是在波长分层图中为两个圆顶点之间找一条路径. 如果采用 Dijkstra 算法寻找最短路由, RWLG 和辅助图的复杂性分别为  $O((N \cdot W)^2)$  和  $O((N \cdot P)^2)$ , 其中  $N$ 、 $W$  和  $P$  分别代表网络中节点数、波长数和每个节点中交换端口数, 显然  $W < P$ , RWLG 降低了算法复杂性. 为了合理使用波长链路资源和波长转换资源, 我们可以给两种类型边分配不同权, 通常权与可用资源成反比, 例如 TRE 和 WCE 的权重函数分别定义为  $C_{TR}(i) = A/N_{TR}(i)$  和  $C_{WC}(j) = B/N_{WC}(j)$ , 其中  $N_{TR}(i)$  表示传送边  $i$  的可用波长数,  $N_{WC}(j)$  表示波长转换边  $j$  的可用波长转换器个数.  $A$  和  $B$  取常数,  $B > A$ , 这样可以保证如果一个连接请求有多条可行的波长通道和虚波长通道, 不需要波长转换的波长通道首先被选中.

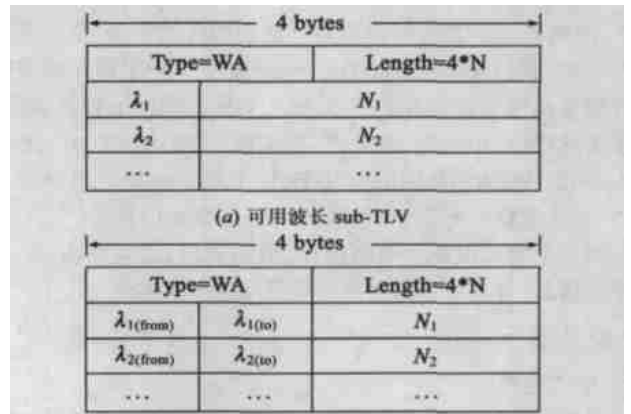
### 3.2 协议及其扩展

按照 IETF 的建议, 我们的控制平面分别采用了 OSPF-TE<sup>[6]</sup> 和 CR-LDP<sup>[7]</sup> 作为路由和信令协议. 同时还实现了链路管理协议(LMP)<sup>[8]</sup>. 所有协议自主开发, 在 Linux 操作系统下实现. 为了支持 RWLG, 我们对协议作了若干扩展.

如图 7 所示, 路由协议中, 我们定义了两个新的类型-长度-值(TLV). 一个是可用波长亚 TLV(WA sub TLV), 是 OSPF-TE 中链路 TLV 的一个新单元, 其中  $N_1$  分别表示波长  $\lambda_1$  的可用数目. 可用波长转换 TLV(WC TLV) 是一个顶级的 TLV, 其中  $N_1$  分别表示从某一波长 from 到另一波长 to 的可用波长变换器数目.

只要某一节点相应的资源改变, 路由协议将变化扩散出去, 经过一段时间后, 每个 OXC 节点的链路状态数据库收敛, 这个变化在所有节点都进行了更新. 如果有一个连接请求, RWLG 由源节点的链路状态数据库构造. 然后应用 Dijkstra 算法, 找到这个连接请求的最短路径. 在 CR-LDP 中表示为显示路由由列表. 由于这个 RWLG 路由中包含了波长信息, 我们对无

编号链路的显示路由 TLV<sup>[9]</sup> 作了扩展. 如图 8 所示, 在预留字段中增加  $W$  标志, 表示带有波长信息的无变化链路显示路由, 后面再增加显示波长. 其它字段和长度不变.



(a) 可用波长 sub-TLV

(b) 可用波长转换 TLV

图 7 路由协议扩展

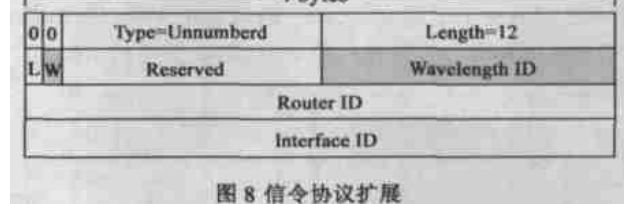


图 8 信令协议扩展

### 3.3 连接控制接口

连接控制接口(CCI)是由 ITU-T 定义的在传送平面和控制平面之间通信接口, 用于创建、删除和修改交叉连接以及性能监控如告警上报等. 除了完成 ITU-T 规范的功能外, CCI 还担负屏蔽底层硬件和操作系统差异的功能. 例如, 在我们的实现中, 传送平面 OXC 采用实时操作系统 Vxworks, 控制平面采用 Linux, CCI 的实现是一套基于 TCP 的应用协议. 控制平面不应该了解底层结构的过多细节, 否则上层协议无法通用. 所有的协议实体完全相同, 形成一个统一的控制平面.

如前所述, 我们通过协议扩展已经将底层的异构特性表述出来. 当某一个节点收到一个建路请求信令, 通过比较建议标记中的波长与显示路由下一跳的波长, 就可以知道是否需

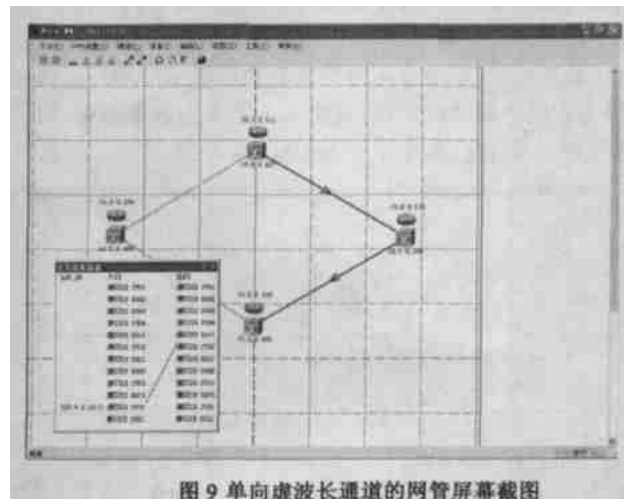


图 9 单向虚波长通道的网管屏幕截图

要波长变换. 尽管波长变换在传送平面对应的是光开关的两个交叉, 但是在控制平面看来, 仍然只对应了一个交叉连接.

## 4 管理平面

ASON 的管理平面不仅要管理底层的传送平面, 还要管理控制平面. 我们在 Windows 平台下, 开发了一个用户界面友好的控制平面网络管理系统, 网管通信采用简单网络管理协议. 管理信息库(MIB)按照 IETF 建议, 实现了三个协议 MIB: LMP MIB, OSPF MIB, RSVP MIB, 以及 TE Link MIB(本地链路资源), TE MIB(通道路由信息)和 LSR MIB(节点交叉信息).

网管系统可以显示动态拓扑、链路资源、通道路由、交叉连接等信息. 并且可以通过网管建立 ASON 软永久连接<sup>[1]</sup>.

## 5 业务演示

### 5.1 动态连接

图 9 是一条从 OXC1 经过 OXC2 到 OXC3 的虚波长通道的网管屏幕截图, 子图显示了 OXC2 交叉连接情况. 如前所述, 尽管 OXC2 在传送平面需要两个交叉来实现波长转换, 在控制平面上仅有一个逻辑交叉, 底层的差异被屏蔽. 图 10 是在 OXC2 的入口和出口测量的光谱, 从 1530nm 变换到 1550nm.

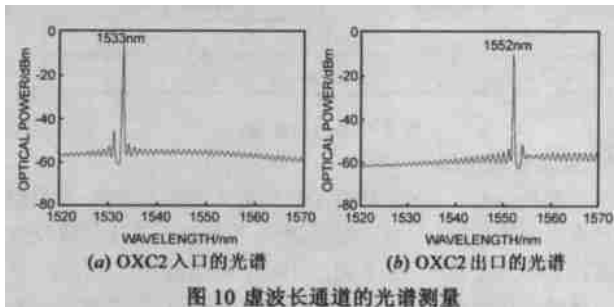


图 10 虚波长通道的光谱测量

结合 3 台 Cisco 路由器, 采用用户网络接口的代理方式<sup>[10]</sup>, 我们在 ASON 平台上还演示了 ITU-T 规定的由客户发起的交换连接<sup>[1]</sup>.

### 5.2 快速恢复

快速恢复保护是 ASON 的基本功能. 根据业务等级的要求, 有很多保护恢复方式. 其中自动重路由恢复方式是指不为主用通道预留备用通道资源, 在网络发生故障后, 源节点重新选择一条与原来主用通道不相交的备用通道, 并用信令协议建立该备用通道. 自动重路由恢复方式所需要的额外资源最少, 但是在网络负载较重时, 可能找不到备用通道路由, 属于尽力而为方式. 我们建立了一条 OXC1-4-3 双向虚波长通

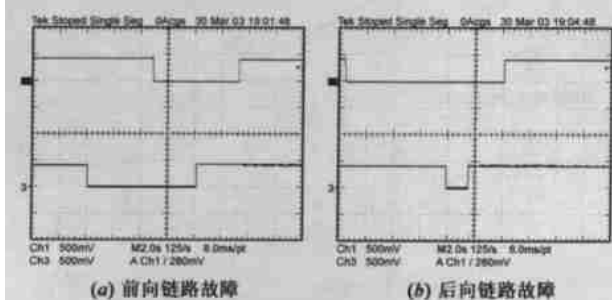


图 11 双向虚波长通道的恢复时间测量

道, 备用恢复通道是 OXC1-2-3. 图 11(a) 是拔去 OXC4 到 3 的前向光纤的故障恢复测量时间, 两条通道的总恢复时间是 230ms. 图 11(b) 是拔去 OXC3 到 4 的后向光纤的故障恢复测量时间, 两条通道的总恢复时间是 240ms.

## 6 结论

我们建立了有两种不同交叉连接结构的四节点格状拓扑波分复用光网络, 通过自主开发的基于通用多协议标记交换的控制平面协议软件 and 用户界面友好的网络管理系统, 构成了异构自动交换光网络试验平台. 在这个试验平台上, 演示了虚波长通道动态建立、拆除和恢复等功能.

### 参考文献:

- [1] ITU-T G. 8080 Architecture for the Automatic Switched Optical Network (ASON) [S].
- [2] W S Hu, Y H Jin. ASON/GMPLS in China (Invited) [C]. We3. 1. 4, ECOC 2003.
- [3] J Cnellas, et al. Design and performance analysis of a simple OXC [J]. Photonic Network Comm., 2003, 5(1): 81-88.
- [4] K Lee, V O K Li. A wavelength convertible optical network [J]. J. Lightwave Technol., 1993, 11(5-6): 962-970.
- [5] K Kompella, et al. IETF Draft, draft ietf mpls bundle 04, Link Bundling in MPLS Traffic Engineering [S].
- [6] K Kompella, et al. IETF Draft, draft ietf ccamp ospf gmpls extensions 12, OSPF Extensions in Support of Generalized Multi Protocol Label Switching [S].
- [7] P Ashwood-Smith, et al. RFC 3472, Generalized Multi Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Constraint based Routed Label Distribution Protocol (CR LDP) Extensions [S].
- [8] J Lang, et al. draft ietf ccamp lmp 10. txt, Link Management Protocol (LMP) [S].
- [9] K Kompella, et al. RFC 3480, Signalling Unnumbered Links in CR LDP [S].
- [10] OIF User Network Interface (UNI) 1.0 Signaling Specification [S].

### 作者简介:



胡卫生 男, 1964 年生于湖北省嘉鱼县, 上海交通大学电子工程系教授, 博士生导师, 区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室主任, 发表学术论文 88 篇, 获国家科技进步奖一项, 省部级科技进步奖二项, 主要研究方向为下一代光网络和新型光交换技术等.



金耀辉 男, 1971 年出生于安徽贵池, 上海交通大学电子工程系教授, 博士生导师, 曾任 Bell Labs 基础科学研究院(中国)光网络组高级研究员, 目前承担多项国家 863、自然科学基金和上海市科委项目, 研究兴趣包括自动交换光网络协议设计与测试, 光网络中的多粒度与组播, 异构光网络控制, 时隙交换波分复用光网络的 MAC 协议等.