

新一代信息通信技术书系·光网络专辑

光突发交换网络

纪越峰 王宏祥 等编著

GUANGTUFA JIAOHUAN

WANGLUO



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

新一代信息通信技术书系·光网络专辑

光突发交换网络

纪越峰 王宏祥 等编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系“新一代信息通信技术书系·光网络专辑”丛书。

光突发交换(OBS)是综合考虑到现有的技术现状和光交换的优势而提出的一种新型光交换技术,可以有效地利用链路带宽和网络资源,是一种很有发展潜力的光网络技术,已经成为下一代光网络的研究热点,具有良好的应用前景。

本书对光突发交换网络的基本原理和关键技术进行了较全面和系统的介绍,内容主要包括光网络的演进与发展、光交换技术基本原理、光突发交换机理、特点与实现技术、光突发交换网络结构与网络模型、光突发交换网络边缘汇聚机制、光突发交换网络控制协议、光突发交换网络竞争解决机制和调度机制、光突发交换网络中的路由技术、网络管理技术、光突发交换实现技术与典型组网示例等。

本书注重选材,内容丰富,深入浅出,剪系统性强。对于一些关键技术,采用了联系实际、图文并茂的方式,重点从概念上加以说明。

本书可供从事通信工作的科研和技术人员阅读,也可作为大专院校通信专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

光突发交换网络/纪越峰,王宏祥等编著. —北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-1167-9

I. 光... II. ①纪...②王... III. 光纤通信—通信网 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 107555 号

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

电话传真:010-62282185(发行部) 010-62283578(FAX)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京通州皇家印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:12

字 数:255 千字

印 数:1—3 000 册

版 次:2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1167-9/TN·406

定 价:24.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

新一代信息通信技术书系

编委会

名誉主编：周炯槃

执行主编：乐光新

编委(专辑主编/副主编)：

吴伟陵 张 平 刘元安 李道本

杨义先 顾畹仪 纪越峰 张 杰

程时端 王文东 朱其亮 舒华英

(排名不分先后)

总 序

21 世纪是经济全球化、全球信息化的崭新世纪。

信息化要靠信息系统的支持,通信则是信息系统的核心和桥梁。离开了通信来谈信息化是不可能的。今天,人们越来越倾向于以更为广义的信息通信的丰富内涵来替代相对狭义的通信的概念。

信息通信发展的目标是要实现无论何人在何时何地都能与另一用户(包括网站)进行用各种媒体表达的高质量的信息传输,实现各种信息服务。信息通信是一个巨系统,凡是人类活动之所及都能找到它的踪迹。信息通信同时又是一个整体,任何一种通信方式和通信技术都不可能孤立地存在、单独地发挥作用,各种通信方式和技术只有互相协同、配合和支撑才能构成一个完整的通信过程。当代信息通信系统还有一个特点是与计算机相互交融、相伴相随、密不可分。自 20 世纪以来,计算机与集成电子技术得到了飞速发展,与此相应,信息通信技术也呈现日新月异的发展态势。摩尔定律在信息通信领域同样显示出它的规律。

信息通信既是一个巨大的概念,又是一个巨大的系统,同时还是发展迅速、变幻莫测的领域。我们不敢奢望用一两本书的有限容量来展示它的全貌和魅力。显然,在世纪之初全面地回顾、盘点信息通信技术在近年的发展和现状,展望和评述它的趋势和变化,无疑是有意义的和必要的。基于此,北京邮电大学出版社聘请业界的著名专家、学者组成阵容强大的编委会,全面、深入、系统地分析并探讨当今信息通信最新技术的发展和未来发展的走向,条分缕析,精挑细选,决定策划出版一套反映信息通信技术最新发展及其热点的图书,并向信息通信领域的知名专家组稿。在经过周密而细致地论证、研讨,并得到方方面面的热情支持和鼎力相助之后,初步形成了现在由 4~5 个专辑组成的“新一代信息通信技术书系”。

由于覆盖面宽、内容庞大,该书系按技术基础和应用相近的原则划分为不

同的专辑,基本涵盖了当今信息通信技术发展的大部分前沿领域。每一专辑只介绍信息通信领域中的一种技术门类,包括原理综述,技术进展的评介和作者自己的工作成果。由于该书系的作者都是信息通信领域的知名学者和领军人物,他们撰写的内容无疑具有权威性和前瞻性,相信会得到广大读者的欢迎,并产生积极意义和影响。

在写作方式和篇幅上,书系不追求系统、严格和完善的理论分析,不追求大而无当的鸿篇巨制,而坚持立足于对相关技术的原理阐述、应用开发、趋势评介和引导等原则,尽可能做到深入浅出、规模适当,因此特别适合大多数信息通信和相关领域工程师及高等院校的教师学生以及从业人员阅读和参考。

本书系从一开始就得到许多领导和专家学者的热情支持和帮助,在此一并表示深切的感谢!

信息通信技术的发展变化极快,本书系虽尽可能顾及方方面面,但仍有一些内容没能被纳入,我们会不断地充实,在今后的一段时间内努力完善这一书系。另外,书系中的每一本书也会受种种条件的限制,在内容和行文中可能存在欠缺,对技术发展的评价也会因人而异,我们也并不追求一致。本书系虽经编委会、所有作者和编辑出版者的努力,疏漏和错误在所难免,我们恳请读者的批评和建议,希望能把这一有意义的工作做得更好!

乐克新

于 2005 年新春

序

在过去的十几年中,通信科技发展迅速,成为引领信息潮流的重要力量,强劲地推动着人类社会向信息化方向的迈进并改变着人们的工作和生活方式。在艳丽的现代通信技术的芳苑中,光网络奇花绽放,以接近无限的带宽潜力、卓越的传送性能和优越的联网能力而倍受人们的关注,成为支撑国家乃至国际信息基础设施的重要基石。

在20世纪90年代中期,掺铒光纤放大器(EDFA)和密集波分复用(DWDM)技术先后成熟并商用,这两项技术不仅使光纤的传输容量迅速攀升,而且也使大容量、数千公里无电中继再生的超长距离传输成为可能。目前,单纤传输容量在实际网络应用中已经达到太比特每秒数量级,无电中继的传输距离已超过7000km,满足了由于Internet业务爆炸式的激增而带来的对带宽和容量的巨大需求。与此同时,光域分插复用(OADM)、交叉连接(OXC)和交换技术的研究与应用使得光波长具备了联网能力,光通信的应用由传送扩展到交换领域,在提供巨大的传送容量的同时,极大地增加了网络节点的吞吐能力。

在目前容量和带宽问题基本解决的情况下,具有灵活带宽按需供应和满足多业务需求的动态光网络成为研究和应用的热点,主要表现在两个方面:其一是增加网络的智能、提升网络的功能、更灵活高效地支持各种新业务(尤其是数据业务),即智能光网络成为新的研究与应用热点;另一个热点是光网络在城域网和接入网中的广泛应用。

智能光网络通过控制平面的引入,允许电子交换设备根据网络中业务分布模式动态变化的需求,通过信令系统和路由机制自主地去建立或者拆除光通道,不需要人工干预。这种网络集中了IP的效率、DWDM的容量、SDH的健壮性,获得前所未有的灵活性与可升级能力,成为下一代光网络演变的主流方向。

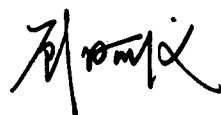
提供丰富多彩的业务是充分发挥网络带宽和资源效益的前提。城域光网络和接入光网络面向用户和业务,提供业务的接入、梳理、汇聚和传输功能,成为近几年通信网建设的重点。

“新一代信息通信技术书系·光网络专辑”目前包括六本书,论述了当前光纤骨干网、城域网和接入网中的热点和前沿问题。在内容上,该专辑涉及引领光网络潮流的智能光网络和光突发交换网,支持超长距离的 WDM 光传输的先进技术,还有光网络新业务与支撑技术,以及新一代城域光网络和接入光网络的关键技术等。

专辑的作者都是中青年学俊,长期在光网络领域进行教学与研究,先后承担并圆满完成过多项国家级科研项目和国际合作课题,参与过国家光通信示范网的研究与建设,取得了丰硕的研究成果和丰富的研究经验,并长期奋斗在教学第一线,为培养优秀的通信人才贡献了自己的力量。本次他们将多年的研究心血与教学经验凝聚在本专辑中,作为送给北京邮电大学 50 周年生日的礼物,奉献于读者面前。

北京邮电大学出版社为专辑的出版倾注了极大的热情,做了大量的工作,我们谨此致以诚挚的谢意。

是为序。

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Li Rui' (李锐), written in a cursive style.

2005 年 3 月于北京邮电大学

前 言

光突发交换(OBS)是综合考虑到现有的技术现状和光交换的优势而提出的一种新型光交换技术,在一定程度上兼顾粗粒度的光路交换(OCS)和精细粒度的光分组交换(OPS)的特点,具有中等交换粒度,降低了交换节点的复杂度和对光器件的要求,利用统计复用的方式,可以有效地利用链路带宽和网络资源。

光突发交换网络是一种新型的网络结构,对于业务数据完全透明,不需经过任何的光电转换,解决了因电子瓶颈而导致的带宽扩展困难,是一种很有发展潜力的光网络技术,已经成为下一代光网络的研究热点,具有良好的应用前景。

本书对光突发交换网络的体系结构、基本原理与关键技术进行了较全面和系统的介绍,主要内容包括3个部分,共10章,全部章节按照由浅入深、层层深入的原则安排。第1部分重点讲述OBS网络的体系结构和基本原理,使读者对OBS基本概念和网络整体架构有一个基本认识,其中第1章讲述光交换技术的演进与发展,第2章讲述光突发交换网络结构与基本原理。第2部分包括第3章至第9章,分别深入讲述OBS网络中涉及的七大关键技术,循序渐进,环环相扣,其中,第3章讲述光突发交换网络边缘汇聚技术,第4章讲述光突发交换网络中的控制协议,第5章讲述光突发交换网络的路由技术,第6章讲述光突发交换网络中的资源调度机制,第7章讲述光突发交换网络中的竞争解决方案,第8章讲述光突发交换网络中的QoS控制技术,第9章讲述光突发交换网络的管理技术。最后,第3部分(第10章)通过一些具体的OBS组网示例,希望能够给读者一个OBS网络组成的整体印象。

本书由纪越峰教授主编,以下人员参加了本书编写工作:纪越峰、王宏祥、仇英辉、孙娜、程伟强、刘辰、刘心等。本书汇集了本实验室多年来的研究成果,包括通过承担国家杰出青年科学基金、国家自然科学基金、国家863计划、教育部以及国际合作等项目取得的研究成果,特向以上项目所给予的支持与资助表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,加之光突发交换是一项很新的网络技术,涉及面广,前沿性强。不足之处,恳请同行和读者指正。

作 者

2005年8月于北京邮电大学

目 录

第 1 章 光交换技术的演进与发展

1.1 光交换技术简介	1
1.1.1 光交换技术分类	1
1.1.2 光交换技术特点	2
1.1.3 光突发交换概念的提出	3
1.2 光交换网络	3
1.2.1 光波长路由光网络	3
1.2.2 光分组交换光网络	4
1.2.3 光突发交换光网络	5
1.2.4 3 种交换网络的比较	5
1.3 光交换网络的研究与发展趋势	6
1.4 本章小结	7

第 2 章 光突发交换网络结构与基本原理

2.1 OBS 体系结构	8
2.2 OBS 节点结构	9
2.2.1 边缘节点	9
2.2.2 核心节点	10
2.3 OBS 实现原理	11
2.4 本章小结	12

第 3 章 光突发交换网络边缘汇聚技术

3.1 OBS 网络的边缘节点	13
3.2 流量模型	14
3.2.1 流量模型的演变	14
3.2.2 建立流量模型的基本方法	15
3.2.3 OBS 边缘节点流量模型的建立和分析	15

目 录	3.2.4 几种主要的业务源自相似模型·····	16
	3.3 汇聚算法·····	19
	3.3.1 汇聚算法种类·····	19
	3.3.2 固定汇聚时间算法·····	20
	3.3.3 固定汇聚长度算法·····	21
	3.3.4 MSMAP 算法·····	21
	3.3.5 自适应汇聚长度算法·····	22
	3.3.6 几种汇聚算法对自相似性的影响·····	22
	3.4 本章小结·····	23
	第4章 光突发交换网络的控制协议	
	4.1 控制协议分类·····	24
	4.1.1 按照通信路径的建立和拆除方式进行分类·····	24
	4.1.2 按照预留资源释放的控制方式进行分类·····	29
	4.2 JIT 协议·····	34
	4.2.1 协议原理·····	34
	4.2.2 通信规程·····	35
	4.2.3 JIT 信令·····	39
	4.2.4 JIT 协议的局限性·····	43
	4.3 JET 协议·····	43
	4.3.1 协议概述·····	43
	4.3.2 偏置时间的设置·····	44
	4.3.3 延迟预留机制·····	46
	4.3.4 智能存储管理·····	47
	4.3.5 自适应路由机制·····	48
	4.3.6 差别服务策略·····	49
	4.3.7 JET 协议的突发数据帧结构·····	50
	4.3.8 JET 协议的突发控制帧结构·····	51
	4.3.9 JET 协议的局限性·····	52
	4.4 本章小结·····	52
	第5章 光突发交换网络的路由技术	
	5.1 路由及路由技术·····	53
	5.2 路由协议的分类·····	54
	5.3 典型路由协议·····	56

5.3.1 边界网关路由协议	56
5.3.2 内部网关路由协议	57
5.4 OBS 网络中的路由协议	69
5.4.1 OBS 路由协议帧格式	70
5.4.2 OBS 路由协议帧说明	71
5.4.3 OBS 路由协议流程	72
5.4.4 OBS 路由协议流程图	75
5.4.5 路由算法	76
5.5 本章小结	79
第 6 章 光突发交换网络资源调度机制	
6.1 波长信道调度算法	80
6.1.1 节点具备波长变换能力	81
6.1.2 节点不具备波长变换能力	81
6.2 数据信道调度机制	82
6.2.1 LAUC 算法	82
6.2.2 LAUC-VF	84
6.3 突发包重新调度技术	85
6.3.1 重新调度算法	86
6.3.2 按需突发重新调度算法	87
6.3.3 主动突发重调度算法	89
6.4 基于优先级的调度算法	92
6.5 本章小结	93
第 7 章 光突发交换网络竞争解决机制	
7.1 竞争现象与解决方案	94
7.2 光缓存	95
7.2.1 带光缓存的 OBS 节点结构	96
7.2.2 光缓存竞争解决机制的性能	97
7.2.3 采用光缓存的特点	99
7.3 波长变换	99
7.3.1 带波长变换的 OBS 节点结构	100
7.3.2 波长变换竞争解决机制的性能	101
7.3.3 采用波长变换的优缺点	103
7.4 偏射路由	103

7.4.1	基本原理	103
7.4.2	偏射路由竞争解决机制的优缺点	104
7.5	分段丢弃	105
7.5.1	已有的突发包分段机制	105
7.5.2	CBS 分段机制	108
7.5.3	MWS 分段机制	109
7.5.4	分段丢弃竞争解决机制的优缺点	109
7.6	分段丢弃竞争解决机制的性能	109
7.7	本章小结	111
 第 8 章 光突发交换网络中的 QoS 解决方案		
8.1	OBS 网络的承载业务	113
8.1.1	业务的不同需求	113
8.1.2	业务的不同特性	114
8.2	OBS 网络中的 QoS 调度方案	115
8.2.1	基于偏置时间的 QoS 方案	115
8.2.2	比例优先级的 QoS 方案	119
8.3	区分服务	119
8.3.1	常规区分服务	120
8.3.2	OBS 网络中的区分服务	121
8.4	本章小结	123
 第 9 章 光突发交换网络管理		
9.1	网络管理系统的基本功能	124
9.2	简单网络管理协议	127
9.2.1	SNMP 的发展	128
9.2.2	SNMP 的配置	129
9.2.3	管理信息库	131
9.2.4	SNMP 消息类型	132
9.2.5	管理信息结构	135
9.2.6	SNMPv2 协议	136
9.2.7	SNMPv3 的体系结构	138
9.2.8	SNMP 轮询机制	139
9.2.9	SNMP 安全机制	139

9.2.10	SNMP 超时重传机制	140
9.2.11	SNMP 协议实现方法	140
9.2.12	公共管理信息协议	141
9.2.13	SNMP 与 CMIP 的比较	142
9.3	OBS 网络管理需求	142
9.3.1	OBS 网络管理需求分析	142
9.3.2	OBS 网络管理实现目标	143
9.3.3	OBS 网络管理协议选择	144
9.3.4	OBS 网络管理模型分析	145
9.3.5	OBS 网络管理系统分析	145
9.3.6	OBS 网络管理信令传输方式	146
9.4	OBS 网络管理实现技术	147
9.4.1	OBS 网络管理系统	147
9.4.2	网络管理数据库	148
9.4.3	OBS 网络管理系统设计举例	149
9.5	本章小结	154
第 10 章 OBS 环网示例		
10.1	OBS 环网结构	155
10.2	FTTR 组网	156
10.2.1	基于 FTTR 的 OBADM 节点结构	156
10.2.2	基于 FTTR 的控制协议	159
10.3	TTFR 组网	161
10.3.1	基于 TTFR 的 OBADM 节点结构	161
10.3.2	基于 TTFR 的控制协议	162
10.4	TTTR 组网	162
10.4.1	基于 TTTR 的 OBADM 节点结构	163
10.4.2	基于 TTTR 的控制协议	163
10.5	OBS 网络性能测试	164
10.6	本章小节	165
附录	缩略语	166
参考文献		170

光交换技术的演进与发展

实现透明的、具有高度生存性的全光通信网络是宽带通信网未来发展的目标。从系统角度来看,支撑全光通信网络的关键技术基本上可分为光传输技术、光交换技术、光放大技术和光处理技术等几大类。光交换技术作为全光网络系统中的一个重要支撑技术,在全光通信网络中发挥着重要的作用。光交换技术的发展在某种程度上也决定了全光通信网络的发展。

本章介绍了光交换技术的种类、光交换网络的概念及其未来的研究与发展趋势。

1.1 光交换技术简介

随着 DWDM 技术的成熟,通信网络的容量越来越大。传输系统容量的增长带来的是对交换系统发展的压力和动力。传输带宽的增加导致信息传输的成本迅速下降,信息交换所花费的成本相对来说占据的比例越来越高,通信网络中的交换系统的规模越来越大,运行速率也越来越高,未来的大型交换系统将需要处理总量达几百、上千太比特每秒的信息。为了解决电子瓶颈限制,降低交换成本,研究人员开始在交换系统中引入光子技术,实现光交换。

1.1.1 光交换技术分类

光交换技术是指不经过任何光/电转换,在光域上直接将输入光信号交换到不同的输出端。按照不同的交换对象和参照依据,光交换技术有不同的分类。按照复用方式的不同,光交换技术可以分为以下几种:

(1) 光时分交换技术,时分复用是通信网中普遍采用的一种复用方式,光时分交换就是在时间轴上将复用光信号的位置(时隙)转换到另一个时间位置。

(2) 光波分交换技术,光信号在网络节点中不经过光/电转换,直接将所携带的信息从一个波长转换到另一个波长上。

(3) 光空分交换技术,根据需要在两个或多个点(空间位置)之间建立物理通道,这个通道可以是光波导也可以是自由空间的波束,信息交换通过改变传输路径来完成。

(4) 光码分交换技术,光码分复用是一种扩频通信技术,不同用户的信号用互成正交

的不同码序列填充,接收时只要用与发送方向相同的发序列进行相关接收,即可恢复原用户信息。光码分交换的原理就是将某个正交码上的光信号交换到另一个正交码上,实现不同码之间的交换。

由于未来的光网络要求支持多粒度的业务,业务的多样性使用户对带宽有不同的需求。按照这一要求,光交换技术又可分为以下几种:

(1) 光路交换(OCS:Optical Circuit Switching)技术,在光子层面的最小交换单元是一个波长通道上的业务流量。

(2) 光分组交换(OPS:Optical Packet Switching)技术,以光分组(包)作为最小的交换颗粒。

(3) 光突发交换(OBS:Optical Burst Switching)技术,采用数据分组和控制分组独立传送,在时间和空间信道上都是分离的,它采用单向资源预留机制,以光突发包作为最小的交换单元。

(4) 光标记分组交换(OMPLS:Optical Multi-Protocol Label Switching)技术,将多协议标签交换(MPLS:Multi-Protocol Label Switching)技术与光网络技术相结合,由 MPLS 控制平面运行标签分发机制,向下游各节点发送标签,标签对应相应的波长,由各节点的控制平面进行光开关的倒换控制,建立光通道。

1.1.2 光交换技术特点

随着通信网络逐渐向全光平台发展,网络的优化、路由、保护和自愈功能在光通信领域中越来越重要。光交换技术能够保证网络的可靠性和提供灵活的信号路由平台,尽管现有的通信系统多数采用电路交换技术,但发展中的全光网络却需要由全光交换技术来完成信号路由功能以实现网络的高速率和协议透明性。光交换技术为进入节点的高速信息流提供动态光域处理,仅将属于该节点及其子网的信息上下路并交由电交换设备继续处理。光交换技术具有以下特点:

(1) 提高节点吞吐量,光交换不受检测器、调制器等光电器件响应速度的限制,可以大大提高交换单元的吞吐量;

(2) 降低交换成本,光信号在通过光交换单元时,不需要经过光/电/光转换,可以省掉昂贵的光电接口器件;

(3) 透明性,光交换对比特率、信号调制方式和通信协议透明,具有良好的升级能力。

总之,相对于电交换来说,光交换具有明显的优势,特别是可以大大节省成本。所以,随着业务需求的不断增长,将由单纯的电子交换演变成电交换与光交换相辅相成,各自发挥各自作用。尤其是将光传输与光交换相结合,将开创光通信的新纪元,真正实现全光通信网络。

1.1.3 光突发交换概念的提出

光突发交换的概念来源于电域的突发交换。实际上,突发交换早在 20 世纪 80 年代初期就已出现,主要用来传递话音业务,它实际上是具有可变长度的快速分组交换。但突发概念后来没有像电路交换和分组交换那样得到普及,原因是提出突发交换的时候,无论电话网还是数据网,技术都已经成熟,没有必要以突发包为单位来处理话音或数据从而改变整个网络。但是,近年来随着光纤通信技术的突飞猛进和 Internet 业务的爆炸式增长,一个深刻的变化是信息传送速率的增长大大超过处理能力的增长,如果依然按照旧式的分组方法来处理,网络处理设备将长期处于过载状态,无法满足用户的业务需求。于是,20 世纪 90 年代后期,光突发交换的概念应运而生,并引起越来越多的关注。

所谓光突发交换是一种光交换技术,它以光突发数据包为交换单位,通过在单独的信道(一般是单独的波长)中提前发送控制消息,以便预留相应的突发包所需的资源,后续核心节点在电域或光域处理控制消息,试图预留并配置相关资源,而突发包一般不需要等待确认消息,通过事先配置好的链路,透明地(全光)到达目的节点,途经的中间节点不需要对它作任何的识别或其他相关处理,只需要将其按预先配置的信息进行波长变换、延迟。突发数据包是在入口边缘节点由多个具有相同特性的分组(如相同的目的节点地址或同类的服务质量要求)汇聚而成,并在出口边缘节点完成解汇聚。OBS 的主要特点可以归纳如下:

- (1) 粒度适中:OBS 传输单元的大小介于光路交换和光分组交换之间;
- (2) 控制与数据信道分离:控制信息在分离的波长(或信道)上传输;
- (3) 单向预留:采用单向预留的方式分配资源。也就是说,源节点在开始发送突发包之前,不需要等待从目的节点的回应消息;
- (4) 变长突发:突发包的长度是可变的;
- (5) 无光缓存:在光网络中的中间节点可以不需要光缓存,突发在经过中间节点时没有延迟。

1.2 光交换网络

1.2.1 光波长路由光网络

为了满足 Internet 业务量呈爆炸式增长的需求,同时波分复用(WDM: Wavelength Division Multiplexing)技术已经发展得比较成熟,业界提出了在网络节点中采用光交换技术,其中光交换可以根据需要固定配置或手动配置,也可以通过网管或信令自动配置(如自动交换光网络)。基于波长为交换粒度的光路交换就可以实现光交换,即构建波长路由光网络(WRON: Wavelength Routed Optical Network)。基于波长路由的全光网在过去的数年中有了长足的发展,正在逐步得到规模化应用。全光网是指为客户层信号提供光域