

现代通信网实用丛书

智能光网络

——技术与应用实践

唐雄燕
左 鹏 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

现代通信网实用丛书

智能光网络——技术与应用实践

唐雄燕 左 鹏 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是一本从实际应用的角度来介绍智能光网络的实用性专著。全书包括智能光网络基础篇、组网篇以及设备与应用篇等三大部分。在基础篇中,介绍了光传送网的基本概念和发展趋势,并着重阐述了智能光网络的体系结构、用户网络接口和保护/恢复等内容;在组网篇中,从实际网络建设的角度,分析了组网的基本原则和组网时需要考虑的关键问题,给出了部署智能光网络的技术建议,并利用网络仿真工具对几个典型网络案例进行了规划研究;在设备与应用篇中,简要介绍了几家设备制造商的智能光网络解决方案,分析了光虚拟专用网(OVPN)等智能光网络业务与应用,概述了国内外智能光网络的应用状况,并阐述了智能光网络的引入策略和需要注意的问题。

本书可供电信运营商、设备制造商和研究设计机构中从事智能光网络研究、规划、建设和维护的工程技术人员和技术管理人员阅读,也可作为智能光网络的培训教材,还可供高等院校通信工程专业师生参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

智能光网络:技术与应用实践/唐雄燕等编著. —北京:电子工业出版社, 2005.3

(现代通信网实用丛书)

ISBN 7-121-00601-4

I. 智… II. 唐… III. 光纤通信—通信网 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 122987 号

责任编辑:宋 梅

印 刷:北京天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:17.5 字数:389 千字

印 次:2005 年 3 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

出版前言

通信行业正处在一个新的转折时期,无论是技术、网络、业务,还是运营模式都在经历着一场前所未有的深刻变革。从技术的角度来看,电路交换技术与分组交换技术趋于融合,其主要体现为话音技术与数据技术的融合、电路交换与分组交换的融合、传输与交换的融合、电与光的融合。这将不仅使话音、数据和图像这三大基本业务的界限逐渐消失,也将使网络层和业务层的界限在网络边缘处变得模糊,网络边缘的各种业务层和网络层正走向功能乃至物理上的融合,整个网络将向下一代融合网络演进,终将导致传统电信网、计算机网和有线电视网在技术、业务、市场、终端、网络乃至行业运营管理和政策方面的最终融合。从市场的角度来看,通信业务的竞争已达到了白热化的程度,各个通信运营商都在互相窥视着对方的传统市场。从用户的角度来看,各种新业务应运而生,从而使用户有了更多、更大的选择空间。但无论从哪个角度来看,在下一代的网络中,我们将看到三个世界:从服务层面上,看到一个 IP 的世界;从传送层面上,看到一个光的世界;从接入层面上,看到一个无线的世界。

在 IT 技术一日千里的信息时代,为了推进中国通信业的快速、健康发展,传播最新通信网络技术,推广通信网络技术与应用实践之经典案例,我们组织了一些当今正站在 IT 业前沿的通信专家和相关技术人员,以实用技术为主线,注重实际经验的总结与提炼,理论联系实际,策划出版了这套面向 21 世纪的《现代通信网实用丛书》。该丛书凝聚了他们在理论研究和实践工作中的大量经验和体会,以及电子工业出版社编书人的心血和汗水。丛书立足于现代通信中所涉及到的最新技术和成熟技术,以实用性、可读性强为其自身独有特色,注重读者最关心的内容,结合一些源于通信网络技术实践的经典案例,就现行通信网络的结构、技术应用、网络优化及通信网络运营管理方面的问题进行了深入浅出的翔实论述。其宗旨是将通信业最实用知识、最经典的技术应用案例奉献给业界的广大读者,使读者通过阅读本套丛书得到某种启示,在日常工作中有所借鉴。

本套丛书的读者群定位于 IT 业的工程技术人员、技术管理人员、高等院校相关专业的高年级学生、研究生,以及所有对通信网络运营感兴趣的人士。

在本套丛书的编辑出版过程中,我们受到了业界许多专家、学者的鼎力相助,丛书的编著者们为之付出了大量的心血,对此,我们表示衷心的感谢!同时,也热切欢迎广大读者对本套丛书提出宝贵意见,以帮助我们在未来的日子里,为广大读者及时推出更多、更好的通信网络技术类优秀图书。

电子工业出版社通信与电子技术事业部

2005 年 1 月

序

光纤通信经过 30 多年的发展，取得了举世瞩目的成就，极大地推动了通信事业的进步。在这 30 多年中，光纤通信新技术层出不穷，无论是光纤光缆与光器件，还是传输系统与组网方式都在不断地更新换代。实现更高速率、更长距离传输一直是光纤通信追求的重要目标，尤其是 DWDM 技术的出现，使得光纤通信的带宽潜力得到了充分挖掘。然而 DWDM 主要是解决了传输带宽问题，而要使带宽得到更有效的利用，还有赖于网络的合理组织。IP 技术的突飞猛进使得整个通信网络向着 IP 优化的方向在发展，而完全依赖人工配置光传送网络的传统方式不仅耗时费力，也难以适应 IP 业务的要求。为此，人们提出了智能光网络的概念，希望能将光传送网由人工配置转变为自动控制，ITU-T 提出的自动交换光网络(ASON)体系极大推动了智能光网络的标准化，得到了业界的广泛认可，智能光网络已成为光纤通信的重要方向。今天智能光网络技术仍处在快速发展阶段，其应用将不断深入，尤其是以光交换为基础的全光组网技术还有大量的研发工作需要去做。

本书的作者既有着长时间从事先进光通信研究的经历，又有着在电信运营企业的丰富实践经验。本书是一本不可多得的从电信运营角度来介绍智能光网络的专著，不仅介绍了智能光网络的基本概念和发展趋势，还融进了作者对智能光网络应用的心得体会，相信本书能够帮助读者更深刻地领会智能光网络的技术概念和应用前景。



中国科学院资深院士
北京邮电大学名誉校长

前 言

近 30 年来,通信事业的迅猛发展在很大程度上要归功于光纤通信技术进步所带来的巨大带宽资源。光纤通信自 20 世纪 70 年代走向实用以来,在一根光纤上传送更多的信息一直是科学家和研发工程师们孜孜不倦的追求。尤其是在 20 世纪 90 年代,SDH 的大规模部署极大地推动了光传送网的发展,再加上 DWDM 技术对单纤容量的极大扩充,光纤通信建设进入了一个前所未有的高潮期。然而,21 世纪初,全球电信业陡然陷入困境,一个重要原因恰恰是对带宽的盲目追逐,许多电信运营商的巨大带宽资源并未转化为实实在在的利润,整个光通信产业更是遭到了前所未有的沉重打击。在新形势下,光通信进一步发展的关键是如何能将带宽转化为业务,将业务转化为利润;如何更好地适应网络与业务 IP 化的趋势。光通信的发展重心需要从纯粹追求超大容量和超长距离传输转移到如何更好地适应 IP 业务发展需要、支持新业务开发、更加灵活高效地调度电路和快速经济地提供带宽等方面上来,于是具备智能控制能力的“智能光网络”应运而生了。智能光网络的推出是光传送网由静态基础网向动态业务网转型的重要标志,是 IP 技术思想在光通信中的应用和光通信为适应业务 IP 化的必然选择。智能光网络代表了光传送网的发展方向,也将是下一代网络(NGN)的重要组成部分,必将有广阔的发展前景。

目前,国际上主要有 ITU-T、IETF 和 OIF 等标准化组织从事智能光网络体系结构和相关协议的规范工作,而自动交换光网络(ASON)就是由 ITU-T 提出的基于重叠模型的智能光网络标准。从功能层面上讲,ASON 包括传送平面、控制平面和管理平面。同传统光传送网相比较,ASON 的一个明显特征是在网络中引入了独立的控制平面,正是这一控制平面的引入给整个光传送网带来了革命性的变化,使光传送网从此具备了自动完成网络带宽分配和动态配置电路的能力。

智能光网络技术仍处于快速发展阶段,已经得到了各标准化组织、研究机构、电信运营商和设备制造商们的广泛重视。如何将智能光网络应用到电信运营网络中,更是业界普遍关注的问题。本书正是围绕智能光网络的实际应用这一核心而编写的。本书既参考了 ITU-T、IETF 和 OIF 等相关标准规范以及部分设备制造商和系统集成商的技术解决方案,也总结了作者在中国网通集团和北京通信公司从事相关工作的心得体会,还参阅和部分引用了网上发布的有关智能光网络研究的大量材料,并融入了北京邮电大学光通信中心的部分研究成果。

本书包括智能光网络基础篇、智能光网络组网篇和智能光网络设备与应用篇等三大部分。在智能光网络基础篇中,介绍了光传送网的基本概念和发展趋势,并着重阐述了智能光网络的体系结构、用户网络接口和保护/恢复等内容;在智能光网络组网篇中,从实际网络建设的角度,分析了组网的基本原则和组网时需要考虑的关键问题,给出了部署智能

光网络的技术建议,并利用网络仿真工具对几个典型网络案例进行了规划研究;在智能光网络设备与应用篇中,简要介绍了几家设备制造商的智能光网络解决方案,分析了光虚拟专用网(OVPN)等智能光网络业务与应用,概述了国内外智能光网络的应用状况,并阐述了智能光网络的引入策略和需要注意的问题。

本书由唐雄燕和左鹏策划与编著,温锋、薛青、林毅恒、李玉辉、王妍和吴佳宁等同志也参与了本书的编写工作。北京邮电大学伍剑教授对本书进行了审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示感谢。衷心地感谢我国光纤通信学术泰斗叶培大先生亲自为本书作序,感谢电子工业出版社宋梅编辑为本书出版所做的大量耐心、细致的工作。另外,还要感谢本书中所参考和引用的诸多资料涉及的有关机构和作者。由于编者水平和视野所限,以及编写时间仓促,加之智能光网络技术发展日新月异,书中一定存在不少谬误和不足之处,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第一部分 智能光网络基础篇	(1)
第1章 光传送网技术概述	(3)
1.1 光纤通信技术基础	(4)
1.1.1 光纤的基本传输特征	(4)
1.1.2 光纤复用技术的基本原理	(6)
1.1.3 全光再生技术基础	(9)
1.2 光纤通信技术进展	(10)
1.3 电信运营网络中的前沿光通信技术	(15)
1.3.1 超长距离超大容量光传输技术	(15)
1.3.2 光网络节点技术	(16)
1.3.3 光网络组网技术	(18)
1.3.4 光网络保护 / 恢复技术	(20)
1.3.5 光接入技术	(21)
1.4 电信运营网络基本架构	(23)
1.4.1 电信运营网络概述	(23)
1.4.2 支撑业务网的传送网	(24)
1.4.3 支撑传送网的光缆网与管道网	(25)
1.5 运营商光传送网现状	(26)
1.5.1 长途传输网技术应用现状	(27)
1.5.2 本地传输网技术应用现状	(28)
1.6 光传送网的演进方向	(29)
1.6.1 向大容量传输演进	(29)
1.6.2 向多业务承载演进	(30)
1.6.3 向网络智能化演进	(32)
1.6.4 向接口开放化演进	(33)
结束语	(33)
第2章 智能光网络体系结构	(35)
2.1 智能光网络的标准化工作	(36)
2.1.1 ITU-T	(36)

2.1.2	IETF	(36)
2.1.3	OIF	(37)
2.1.4	ODSI	(37)
2.1.5	各个标准化组织之间的关系	(38)
2.2	智能光网络总体架构	(38)
2.3	智能光网络传送平面	(40)
2.4	智能光网络的控制平面	(41)
2.4.1	控制平面基本功能	(41)
2.4.2	连接配置模型	(42)
2.4.3	控制平面基本结构	(45)
2.5	智能光网络管理平面	(46)
2.6	信令及路由协议和分布式网络智能	(47)
2.6.1	信令协议	(47)
2.6.2	路由协议	(52)
2.6.3	分布式网络智能	(56)
2.6.4	GMPLS 对路由协议的扩展	(57)
2.7	相关接口(参考点)	(59)
2.7.1	用户网络接口	(60)
2.7.2	网络节点接口	(60)
	结束语	(61)
第 3 章	智能光网络的用户网络接口	(63)
3.1	用户网络接口概述	(64)
3.2	UNI 的业务调用方式	(65)
3.3	信令传送方式	(67)
3.4	UNI 地址空间	(69)
3.5	邻居发现机制和 IPCC 配置	(70)
3.6	业务发现机制	(72)
3.7	UNI 信令协议	(73)
3.8	UNI 策略控制	(75)
	结束语	(76)
第 4 章	智能光网络的保护 / 恢复技术	(77)
4.1	保护 / 恢复的意义和基本概念	(78)
4.2	SDH 的保护 / 恢复	(81)

4.3 光层网络的保护 / 恢复	(83)
4.4 ASON 中的保护 / 恢复策略和技术	(88)
结束语	(90)
第二部分 智能光网络组网篇	(91)
第 5 章 智能光网络演进及组网模式	(93)
5.1 智能光网络的演进	(94)
5.1.1 两种演进方式	(94)
5.1.2 网络结构的演进	(96)
5.2 智能光网络组网的相关问题	(97)
5.2.1 传送平面的技术考虑	(97)
5.2.2 网络结构及网络生存性	(98)
5.2.3 路由和连接控制	(99)
5.2.4 管理平面及地址空间管理	(101)
5.3 智能光网络组网的技术选择	(102)
5.3.1 智能光网络模型的选择	(102)
5.3.2 智能光网络 UNI 业务调用方式的选择	(103)
5.3.3 智能光网络信令传送方式的选择	(103)
5.3.4 智能光网络控制平面上信令协议的选择	(103)
5.3.5 智能光网络保护策略的选择	(104)
结束语	(105)
第 6 章 智能光网络实际部署的技术要求	(107)
6.1 网络拓扑与传送网组织	(108)
6.1.1 ASON 网络最高层体系视图	(108)
6.1.2 ASON 网络子域划分	(109)
6.1.3 子域间基本参考点的规定	(109)
6.1.4 各子域资源信息的共享与隐藏策略	(109)
6.1.5 控制平面、管理平面与传送平面的交互	(110)
6.1.6 路由区域结构	(110)
6.1.7 资源发现拓扑结构	(110)
6.1.8 传送平面功能的基本要求	(111)
6.2 控制平面结构与基本功能	(112)
6.2.1 控制平面构成模型与组件	(112)

6.2.2	控制平面功能	(113)
6.2.3	控制平面体系结构基本特性	(115)
6.3	DCN 与信令网	(115)
6.3.1	DCN 通信要求	(116)
6.3.2	网络隔离度	(118)
6.3.3	DCN 通信功能要求	(119)
6.3.4	DCN 保护功能要求	(120)
6.3.5	DCN 安全功能要求	(120)
6.4	呼叫连接控制	(120)
6.4.1	呼叫连接管理的基本功能	(120)
6.4.2	呼叫连接管理的基本属性	(123)
6.4.3	呼叫连接管理的消息设置	(124)
6.4.4	呼叫连接管理的状态转移	(125)
6.4.5	呼叫连接控制器的管理功能	(126)
6.4.6	呼叫连接控制协议规范	(126)
6.5	相邻设备自动发现	(128)
6.5.1	自动发现的基本要求	(128)
6.5.2	自动发现的标识规范	(129)
6.5.3	自动发现的规范	(129)
6.5.4	自动发现处理流程	(130)
6.6	路由选择与地址规则	(130)
6.6.1	ASON 路由体系结构	(130)
6.6.2	路由体系中基本的功能模块	(132)
6.6.3	ASON 路由功能要求	(133)
6.6.4	ASON 路由的相关属性	(133)
6.6.5	ASON 路由消息	(134)
6.6.6	ASON 路由发布拓扑结构	(135)
6.6.7	路由实现过程	(137)
6.6.8	设备地址规则	(137)
6.6.9	路由协议	(138)
6.7	网络接口规范	(138)
6.7.1	UNI 接口规范	(139)
6.7.2	I-NNI 接口规范	(139)
6.7.3	E-NNI 接口规范	(140)

6.8 链路资源管理	(140)
6.8.1 链路资源接口基本参数	(140)
6.8.2 链路资源管理模块基本功能	(141)
6.8.3 链路资源管理扩展性	(142)
6.9 对传送网生存性的支持	(143)
6.9.1 传送网保护生存机制	(143)
6.9.2 传送网保护组网策略	(143)
6.9.3 传送网保护等级要求	(144)
6.9.4 传送网保护策略	(144)
6.10 网络管理系统	(145)
6.10.1 ASON 网络管理性能要求	(145)
6.10.2 ASON 网络管理功能	(145)
6.10.3 对呼叫连接发起的支持	(146)
6.10.4 网络管理扩展功能	(147)
结束语	(147)
第7章 智能光网络的网络仿真	(149)
7.1 网络仿真工具	(150)
7.1.1 OPNET 仿真平台	(150)
7.1.2 Network Simulator (NS) 仿真平台	(150)
7.2 网络仿真案例分析	(154)
7.2.1 波长路由算法的实现	(154)
7.2.2 偏射路由算法的实现	(162)
7.2.3 基于资源预留的折叠总线型光分组网络模型的实现	(171)
7.2.4 网状网规划仿真	(177)
结束语	(210)
第三部分 智能光网络设备与应用篇	(211)
第8章 智能光网络设备与测试	(213)
8.1 设备厂商智能光网络解决方案示例	(214)
8.1.1 Lucent 智能光网络解决方案	(214)
8.1.2 Alcatel 智能光网络解决方案	(216)
8.1.3 华为智能光网络解决方案	(217)
8.1.4 Nortel 智能光网络解决方案	(221)

8.1.5	Ciena 智能光网络解决方案	(222)
8.2	设备厂商之间的智能光网络测试示例	(223)
8.2.1	意大利电信公司的 ASON/GMPLS 设备互通测试	(223)
8.2.2	Sycamore Network 与其他六个厂商参与的 GMPLS 测试	(224)
8.2.3	OIF 2004 年 ASON 互连互通测试	(224)
8.3	智能光网络的测试	(226)
8.3.1	控制平面测试	(227)
8.3.2	传送平面测试	(228)
8.3.3	管理平面测试	(229)
8.3.4	ASON 保护 / 恢复测试	(230)
8.3.5	ASON 业务测试	(235)
8.3.6	互操作性测试	(236)
	结束语	(236)
第 9 章	智能光网络业务	(237)
9.1	智能光网络业务概述	(238)
9.2	光虚拟专用网 (OVPN) 业务	(238)
9.2.1	IETF 定义的 OVPN 业务要求	(240)
9.2.2	基于 GMPLS 的 OVPN 技术	(242)
9.2.3	ASON 中的 OVPN 技术	(242)
9.2.4	基于 OVPN 技术的新业务	(243)
9.3	光网络业务的演进	(244)
	结束语	(246)
第 10 章	智能光网络的应用与发展	(247)
10.1	全球 ASON 商用 / 现场试验分析	(248)
10.1.1	美国	(248)
10.1.2	欧洲	(250)
10.1.3	中国	(251)
10.1.4	其他国家和地区	(252)
10.2	运营商引入 ASON 的策略	(252)
10.2.1	运营商引入 ASON 时需要考虑的因素	(252)
10.2.2	引入 ASON 的经济性考虑	(253)
10.2.3	ASON 的引入策略	(253)
10.3	GMPLS 和 ASON 的竞争与融合	(255)

10.3.1 IP 层与光传送层的融合	(256)
10.3.2 两种网络模型	(256)
10.3.3 将 MPLS 应用于光层后的扩展问题	(257)
结束语	(258)
附录 A 缩略语	(259)
参考文献	(263)

第一部分

智能光网络基础篇

第1章 光传送网技术概述

本章要点

- 光传送网基础知识
- 光传送网技术进展
- 光传送网应用现状
- 光传送网演进趋势