

新一代信息通信技术书系·光网络专辑

# 自动交换光网络原理与应用

---

纪越峰 李 慧 陆月明 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。

自动交换光网络(ASON)是一种新型的光网络,它适应了发展需要,赋予光传送网以智能化,改变了当今光传送网的网络体系和发展模式、业务配置方式和提供的服务方式,是光传送网的一次革命,具有良好的应用前景和发展潜力。

本书对自动交换光网络的关键技术进行了较全面和系统的介绍,主要包括3个部分,第一部分讲述光网络的演进与发展、ASON体系结构与基本原理等;第二部分讲述ASON实现中的多项关键技术,包括ASON传送平面、控制平面、管理平面、数据通信网、生存性等;第三部分讲述ASON应用中的多项关键技术与示例,包括ASON规划与优化、协议测试、组网与网络融合等。

本书注重选材,内容丰富,深入浅出,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,同时也讲述了一些目前先进的研究成果。

本书可作为高等院校信息与通信类研究生或本科高年级学生教材或教学参考书,也可供从事通信工作的科研和工程技术人员阅读和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

自动交换光网络原理与应用/纪越峰,李慧,陆月明等编著.—北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-1166-0

I. 自... II. ①纪...②李...③陆... 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109749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(传真)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:15.75

字 数:336千字

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 7-5635-1166-0/TN·405

定 价:28.00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 ·

# 前 言

光通信技术经过几十年的发展,在光传输、光交换、光接入、光联网及核心器件与模块等多个方面均取得了巨大的进步与成功,不仅为通信网络提供了巨大的传输带宽,而且极大地增加了网络节点的吞吐容量,目前已经成为传送网中最主要的技术手段。然而,随着信息领域相关技术的发展,特别是Internet对数据业务增长的强大推动,人们对现有光网络的功能提出了新的、更高的要求,例如:要求光网络能够实时、动态地调整网络的逻辑拓扑结构,实现资源的最佳利用,以适应IP业务的自相似性、突发性和流向的不确定性等特点;要求光网络具有更加完善的保护和恢复功能、更强大的互操作性和扩展性,以减少不断增加的网络运维费用等。这些要求的实质是要赋予现有光网络更多的智能性特征,使其发展成一个能够完成自动交换功能的智能光网络。因此智能光网络的概念一经提出,立刻吸引了国际学术界和工业界的广泛注意。作为智能光网的一种具体解决方案,自动交换光网络(ASON)代表了智能光网络发展的主流方向,是传送网领域的重大变革。最早的ASON体系结构是在2000年3月由国际电信联盟标准化组织(ITU-T)正式提出并开始规范的G.ason,在以后短短的几年时间内,无论是技术研究、标准化进程,还是试验网络都进展迅速,代表了下一代光网络的发展方向,具有良好的应用前景,而且其概念可以被推广用于各种不同的传送网技术,实现对多层网络的智能化控制和管理。

本书对自动交换光网络的体系结构、基本原理与关键技术进行了较全面和系统的介绍,主要内容包括三个部分,共10章。第一部分为原理篇,包括第1章和第2章,其中第1章讲述光网络的演进与发展,第2章讲述ASON体系结构与基本原理;第二部分为技术篇,包括第3至7章,其中第3章讲述ASON传送平面中的节点技术,第4章讲述ASON控制平面中的路由、信令、自动发现、链路资源管理和接口技术,第5章讲述ASON管理平面的结构、功能需求

和设计方法,第6章讲述ASON数据通信网的功能与结构,第7章讲述ASON的生存性技术,第三部分为应用篇,包括第8至10章,其中第8章讲述ASON的规划和优化,第9章讲述了ASON协议测试,第10章讲述ASON组网与网络融合。

本书由纪越峰教授主编。以下人员参加了本书的编写工作,纪越峰、李慧、陆月明、刘爱波、王淼、雷蕾、郭林、黄治同、冯首强、郑新刚、王文杰等。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、北京市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,加之自动交换光网络技术涉及面广,前沿性强,不足之处,恳请同行和读者指正。

作 者  
2005年8月于北邮

# 目 录

## 原 理 篇

### 第 1 章 光网络的演进与发展

1.1 光网络技术的演进 .....	3
1.2 目前光网络的局限性 .....	5
1.3 自动交换光网络 .....	6
1.3.1 什么是 ASON .....	6
1.3.2 主要优点 .....	7
1.4 下一代光网络的发展趋势 .....	8
1.5 本章小结 .....	9

### 第 2 章 ASON 体系结构与基本原理

2.1 ASON 体系结构.....	10
2.1.1 总体构架.....	10
2.1.2 功能构件.....	12
2.1.3 传送、控制和管理平面的交互 .....	12
2.2 ASON 实现原理.....	14
2.2.1 光网络与 IP 网络融合的网络模型 .....	14
2.2.2 节点结构.....	17
2.2.3 控制方式.....	18
2.2.4 示例说明.....	20
2.3 ASON 标准化与相关协议框架.....	21
2.4 本章小结.....	22

## 技术篇

## 第3章 ASON 传送平面技术

3.1 光节点的 OEO 结构 .....	25
3.1.1 核心交叉矩阵结构 .....	25
3.1.2 OEO 方式 .....	26
3.1.3 应用模式 .....	26
3.2 光交叉连接器 .....	27
3.2.1 OXC 的主要功能 .....	27
3.2.2 OXC 主要性能指标 .....	29
3.2.3 OXC 的结构分析 .....	30
3.3 光分插复用器 .....	34
3.3.1 OADM 的主要功能 .....	34
3.3.2 OADM 的技术分类及结构分析 .....	35
3.4 本章小结 .....	38

## 第4章 ASON 控制平面技术

4.1 路由技术 .....	39
4.1.1 ASON 路由的特性 .....	39
4.1.2 ASON 路由结构与功能要求 .....	41
4.1.3 GMPLS 路由协议 .....	52
4.1.4 ASON 域间路由技术 .....	54
4.2 信令技术 .....	66
4.2.1 ASON 的分布式呼叫和管理(DCM)模型及需求 .....	66
4.2.2 ASON DCM 信令操作流程 .....	68
4.2.3 ASON 信令网的恢复 .....	74
4.2.4 ASON DCM 消息 .....	75
4.2.5 ASON DCM 属性 .....	77
4.2.6 CR-LDP .....	78
4.2.7 RSVP-TE .....	79
4.2.8 PNNI .....	84
4.3 自动发现技术 .....	85

4.3.1	通用自动发现技术.....	85
4.3.2	在 SDH 和 OTN 网络中实现自动发现 .....	91
4.3.3	业务发现.....	92
4.4	链路资源管理技术.....	93
4.4.1	链路资源管理的功能.....	94
4.4.2	链路资源管理的实现.....	97
4.4.3	光网络带宽管理.....	99
4.5	接口技术 .....	101
4.5.1	UNI 和 NNI 概述 .....	101
4.5.2	UNI 的业务调用方式 .....	101
4.5.3	UNI 信令的传送 .....	103
4.5.4	UNI 的寻址 .....	105
4.5.5	UNI 的邻居发现机制和 IPCC 配置 .....	106
4.5.6	UNI 的业务发现机制 .....	109
4.5.7	UNI 信令协议 .....	110
4.5.8	NNI 的控制模式和信令传送机制 .....	112
4.5.9	NNI 邻居发现 .....	114
4.5.10	NNI 信令机制和协议 .....	114
4.5.11	E-NNI 的信令和路由 .....	115
4.5.12	UNI 和 NNI 的策略控制和安全性 .....	121
4.5.13	ASON 的其他接口.....	122
4.6	本章小结 .....	123
<b>第 5 章 ASON 管理平面技术</b>		
5.1	管理平面的分层结构 .....	124
5.1.1	网元管理层的管理需求 .....	125
5.1.2	网络管理层的管理需求 .....	126
5.1.3	与控制平面相关的管理需求 .....	128
5.1.4	ASON 管理的特定需求 .....	132
5.2	ASON 网络管理系统的设计与实现 .....	133
5.2.1	ASON 网络管理系统特点及内部关系 .....	133
5.2.2	ASON 网络管理系统结构 .....	134
5.2.3	多层结构的 ASON 网管系统管理对象分析与设计 .....	135

5.2.4	ASON 中的管理接口 .....	138
5.2.5	ASON 网络管理系统设计思想与准则 .....	138
5.3	本章小结 .....	139
<b>第 6 章 ASON 数据通信网</b>		
6.1	DCN 的应用 .....	140
6.2	DCN 组网方式 .....	141
6.2.1	DCN 传送技术 .....	141
6.2.2	DCN 的拓扑结构 .....	142
6.3	DCN 在 ASON 控制平面的应用 .....	144
6.3.1	信令通信网 SCN 结构 .....	144
6.3.2	SCN 的功能需求 .....	145
6.3.3	ASON 节点 DCF 功能需求 .....	146
6.4	本章小结 .....	147
<b>第 7 章 ASON 生存性技术</b>		
7.1	保护与恢复 .....	148
7.1.1	保护与恢复的定义 .....	148
7.1.2	保护与恢复的基本要求 .....	149
7.2	传统光网络的生存性技术 .....	150
7.2.1	SDH 的保护和恢复 .....	150
7.2.2	OTN 的保护和恢复 .....	158
7.3	ASON 生存性的优势与挑战 .....	158
7.3.1	ASON 相对于 SDH 的生存性优势 .....	158
7.3.2	ASON 生存性面临的挑战 .....	159
7.4	GMPLS 生存性机制 .....	162
7.4.1	GMPLS 生存性功能描述 .....	162
7.4.2	GMPLS 对应于恢复的扩展 .....	168
7.5	网状光网络的备用容量规划设计 .....	169
7.5.1	从环网到网状网 .....	169
7.5.2	基于区段恢复的备用容量设计 .....	171
7.5.3	基于端到端恢复的备用容量设计 .....	173
7.6	本章小结 .....	173

## 应用篇

## 第8章 ASON 规划与优化

8.1 ASON 规划的问题分析 .....	177
8.1.1 网络性能的评价 .....	177
8.1.2 业务级别协议 .....	178
8.2 ASON 网络规划与传统网络规划的区别 .....	178
8.3 ASON 网络规划的策略 .....	179
8.3.1 建立 ASON 网络动态规划模型 .....	179
8.3.2 采用现代优化理论和算法 .....	180
8.3.3 建立 ASON 网络生存性评价体系 .....	180
8.3.4 在网管上增加电路监测功能模块 .....	180
8.4 ASON 传送平面的网络规划 .....	181
8.5 ASON 控制平面的网络规划 .....	182
8.5.1 SCN 性能规划 .....	183
8.5.2 SCN 可靠性规划 .....	183
8.6 ASON 管理平面的网络规划 .....	184
8.7 ASON 优化技术 .....	186
8.7.1 路由优化 .....	186
8.7.2 网络结构优化 .....	189
8.8 本章小结 .....	190

## 第9章 ASON 协议测试技术

9.1 协议测试理论基础 .....	191
9.1.1 一致性测试 .....	191
9.1.2 互操作性测试 .....	192
9.1.3 性能测试 .....	192
9.2 主动测量技术与被动测量技术 .....	193
9.2.1 主动测量技术 .....	193
9.2.2 被动测量技术 .....	193
9.3 ASON 相关协议测试内容 .....	195
9.3.1 测试内容概述 .....	195

9.3.2	ASON 信令协议测试内容 .....	195
9.3.3	ASON 路由协议测试内容 .....	196
9.4	ASON 相关协议测试示例 .....	196
9.5	本章小结 .....	197
<b>第 10 章 ASON 组网与网络融合</b>		
10.1	网络融合.....	198
10.1.1	ASON 与 IP 网络融合的特点 .....	198
10.1.2	ASON 与 IP 网络的网络连接 .....	198
10.1.3	ASON 与 IP 网络融合的服务模型 .....	200
10.1.4	ASON 与 IP 网络融合的路由模型 .....	202
10.1.5	ASON 与 IP 网络融合的信令 .....	204
10.1.6	ASON 与 IP 网络融合的端对端保护模型 .....	206
10.1.7	ASON 与 IP 网络融合的多层网络生存性结构 .....	207
10.1.8	ASON 与 IP 网络融合的其他需求 .....	209
10.2	ASON 中的业务要求.....	212
10.2.1	业务和连接类型.....	212
10.2.2	业务调用方式.....	212
10.2.3	业务接入方式.....	212
10.2.4	业务访问控制.....	213
10.2.5	业务级别协议.....	213
10.2.6	ASON 业务模型.....	214
10.3	ASON 组网结构.....	217
10.3.1	传统电信传输网络.....	217
10.3.2	ASON 与传统网络的互通方式.....	218
10.3.3	ASON 与传统网络的混合组网.....	221
10.3.4	ASON 组网示例.....	223
10.4	本章小结.....	226
附录	缩略语.....	227
参考文献.....		232

# 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 顾晚仪 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。



2005 年 3 月于北京邮电大学



# 原理篇

# 光网络的演进与发展

随着社会的发展和技术的进步,当前信息传输网络正在经历着重大的变革。尤其是20世纪90年代中期开始,随着Internet商业化的巨大成功,对传统通信业带来了深刻的影响,全球数据通信业务量的增长率远大于传统话音业务量的增长率,以此为主要契机,揭开了传输网络进一步发展及变革的序幕。本章主要讲述光网络的演进与发展。

## 1.1 光网络技术的演进

宽带业务的需求和业务的融合带来了信息传输、交换、处理和存储技术等方面的快速发展。电信基础设施因此正在向下一代网络演变和融合。光网络技术不仅仅用于骨干传输网,对城域网、用户接入和宽带业务也提供了效益显著的解决方案,使得网络运营者通过本地、长途和国际网,以很高的可靠性为用户提供优良的服务。

尤其是随着网络化时代的到来,人们对信息的需求与日俱增。全球范围内IP业务突飞猛进的发展,在给传统电信业务带来巨大冲击和挑战的同时,也为电信网的发展提供了新的机遇。从当前信息技术发展的潮流来看,数据化、宽带化、综合化已成趋势,传输与交换的融合、电路交换向分组交换演进、网络向更加宽带化、智能化、安全可信、可运营和可管理,并具有兼容性、灵活性和高可靠性的方向发展已成必然。近10年来,随着网络的不断演进和巨大的信息传输需求,对光纤通信提出了更高的要求,同时也促进了光纤通信技术的发展。光网络作为整个信息网络的基础网络之一,从最初的PDH网络到已经广泛应用的SDH与WDM系统,又到目前的ASON网络,在20年左右的时间里经历了从单纯提高容量到实现灵活指配光连接,再到光层智能等几个重要阶段的飞跃发展。

### 1. WDM光通信系统

光纤通信应用取得突破性进展的重要标志是1995年光波分复用(WDM)技术的引入,使多个光波长在一根光纤里进行多通道复用同时传输多路信息成为可能。自从WDM技术出现后,光纤通信在不断进步,取得了飞速的发展。DWDM、CWDM、UDWDM和ULH DWDM等技术不断涌现,1.6 Tbit/s (10 Gbit/s × 160波)光传输系统已经商用。尽管目前光传输技术取得了巨大的进步,但研究和开发工作仍在继续,可以携带1 000多个波长的实验系统已经开发成功。