

北京建筑工程学院学术著作出版基金资助出版

# 智能光网络 路由与生存性技术

谭志 著



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



北京建筑工程学院学术著作出版基金资助出版

# 智能光网络路由 与生存性技术

谭 志 著



机械工业出版社

智能光网络是未来高性能宽带信息光网络发展的主要发展方向。本书从智能光网络核心技术出发,主要介绍了智能光网络中路由与生存性的核心原理、体系结构和关键技术等。全书共分6章:第1章回顾了智能光网络的发展背景和国内外发展现状,介绍了智能光网络的体系结构;第2章着重从智能光网络的分层路由技术角度入手,对分层路由体系、拓扑抽象分析方法、分层路由实现等各种技术进行了介绍;第3章介绍了带宽约束路由算法及公平流量路由模型;第4章从控制平面生存性角度出发,详细介绍了控制平面结构、失败类型、解决方案及区分弹性服务的映射策略等技术;第5章分析了智能光网络生存性的三种情景;第6章为总结和展望,给出了智能光网络存在的问题以及今后的研究方向。

本书可供从事电信传输工作的科研人员、技术人员和管理人员阅读,也可作为高等院校通信专业师生的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

智能光网络路由与生存性技术/谭志著. —北京:机械工业出版社, 2010.4

ISBN 978-7-111-29949-3

I. ①智… II. ①谭… III. ①光纤通信—通信网 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第035555号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:靳平 责任编辑:王欢 版式设计:张世琴

封面设计:陈沛 责任校对:李秋荣 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2010年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·9.25印张·202千字

0 001—2 800册

标准书号:ISBN 978-7-111-29949-3

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

近几年，随着互联网协议（Internet Protocol, IP）业务的快速增长，对网络带宽的需求变得越来越高，而且由于IP业务量本身的不确定性和不可预见性，对网络带宽的动态分配要求也越来越迫切。传统的网络带宽的动态分配方法主要靠人工配置网络连接，耗时费力容易出错，难以适应现代网络和新业务提供拓展的需要。随着密集波分复用（Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM）技术的广泛应用，波长数目不断增加，对网络带宽资源进行有效的管理和利用显得尤为重要。另一方面，通过智能光网络，电信运营商可以依据与用户达成的服务水平协议，随时随地且快速地在光层直接提供/撤销用户需求的各种特殊服务（如可用性、时延、抖动、吞吐量、约定信息速率、超越信息速率、误码率/丢包率、业务级别等），有助于运营商增加收入及增强竞争力。从而产生了一种能够自动完成网络连接的新型网络概念——自动交换传送网络（Automatic Switching Transport Network, ASTN）或自动交换光网络（Automatic Switching Optical Network, ASON）。这种利用独立的ASTN/ASON控制面，通过各种传送网络技术（包括SDH（Synchronous Digital Hierarchy, 同步数字系列）或OTN（Optical Transport Network, 光传送网络）来实施自动连接管理的光网络统称为智能光网络。智能光网络是近年来光联网技术的一个最重要的发展，它使运营商可以直接从光域快速提供业务。智能光网络将SONET/SDH（Synchronous Optical Network/Synchronous Data Hierarchy, 同步光纤网络/同步数据系列）的故障管理、性能监视和恢复功能，DWDM技术的容量优势，以IP为基础的联网规约，先进的配置软件和创新性的系统以及与管理软件有机地结合在一起，形成一个更具伸缩性、以数据为中心的基础平台，把光层从一种静态的传输媒体变成一种智能的光网络结构，并可以直接从光域提供各种灵活、高速的增值业务。它的出现使光网络从传统的“管道网络”向“服务网络”演变，这种演变不是对以前所建网络的抛弃，而是一个无缝融合的革新过程。

智能光网络的出现是传送网发展的历史性突破，它允许将网络资源动态地分配给路由，缩短了业务层升级扩容的时间，明显地增加了业务层节点的业务量负荷；具有可扩展的信令能力集；快速的业务提供和拓展；降低了维

护管理运营费用；快速的光层业务恢复能力；降低了对用于新技术配置管理的运行支持系统软件的要求，只需维护一个动态数据库，减少了人工出错的机会；还可以引入新的业务类型，如按需带宽业务、波长批发、波长出租、分级的带宽业务、动态波长分配租用业务、带宽交易、光拨号业务、动态路由分配、光层虚拟专用网（Virtual Private Network, VPN）等，使传统的传送网向业务网方向演进。

网络模型的演变必然会造成网络结构的巨大改变。其中，网络路由算法和生存性算法是变革的核心。新型的网络需要新型的路由来释放光传送网巨大的带宽资源，以便更高效、更经济地传送 IP 数据业务。因此，智能光网络的研究和大规模建设势在必行。网络发生任何故障后能尽快地将受影响的业务重新选路到空闲资源，以减少因故障而造成的社会影响和经济上损失，使网络维持一个可以接受的业务水平的能力即网络生存性。这也已经成为了人们日益关注的问题。尤其是随着波分复用（Wavelength Division Multiplex, WDM）技术的不断进步，单纤业务承载能力与日俱增，任何链路或者节点的失效将导致巨大的损失。

作为智能光网络的代表技术，ASON 是以电路交换为基础的，它需要端端的带宽保证。这使得 ASON 的网络路由与传统 IP 路由有所不同。同时 ASON 作为核心网络通常会包括很多节点设备，如何实现 ASON 的可扩展性成为随之而来的问题。这就需要金字塔式的层次路由结构，即引入自动交换光网络分层路由技术。传统的光网络中通过专用保护和共享通道保护的方法来提高网络的生存性，智能光网络又引入了动态恢复的方法。在保护和恢复共存的网络情况下，如何根据业务需求预留网络资源，以确保网络的可靠性，也成为当前智能光网络研究的关键问题。所以在通信日益发展的今天，对网络的路由和生存性进行深入阐述，不仅具有重要的实用价值，而且具有深远的理论意义。

本书以智能光网络的路由和生存性技术为核心理念，以最新国际标准和经典文献为基础，辅以作者多年对光通信技术的研究成果和参与国家相关重大项目的经验，主要介绍了智能光网络中的路由和生存性方面的核心原理、体系结构和关键技术等。本书共分 6 章：第 1 章回顾了智能光网络的发展背景和国内外发展现状，介绍了智能光网络的体系结构，给出了本书的两大主要内容：路由技术和生存性技术；第 2 章从智能光网络的分层路由技术角度入手，对分层路由体系、拓扑抽象分析方法、分层路由实现等各种技术进行了重点介绍；第 3 章从理论角度出发，介绍了带宽约束路由算法及公平流量路

由模型；第4章从控制平面生存性角度出发，详细介绍了控制平面结构、失败类型、解决方案及区分弹性服务的映射策略等技术；第5章从理论角度出发，分析了智能光网络生存性的三种情景；第6章为总结和展望，给出了智能光网络存在的问题以及今后研究的方向。

智能光网络技术是一项正在发展的技术，涉及下一代光网络的众多研究方向。但是由于作者水平有限，疏漏与不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

作 者

2010年2月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 智能光网络概述 .....	2
1.1.1 智能光网络的发展背景 .....	2
1.1.2 智能光网络的国内外研究现状 .....	5
1.1.3 智能光网络的体系结构 .....	6
1.2 智能光网络路由技术 .....	8
1.3 智能光网络生存性技术 .....	9
1.4 本书主要内容及结构 .....	13
1.5 本章小结 .....	14
参考文献 .....	15
<b>第 2 章 智能光网络分层路由技术</b> .....	17
2.1 智能光网络路由新特性 .....	17
2.1.1 基本路由策略 .....	17
2.1.2 路由特点 .....	20
2.1.3 路由协议功能扩展 .....	20
2.2 智能光网络分层路由体系 .....	21
2.2.1 分层路由结构 .....	23
2.2.2 分层路由功能要求 .....	25
2.3 拓扑抽象方法分析 .....	27
2.3.1 传统拓扑抽象方法 .....	28
2.3.2 智能光网络采用的拓扑抽象方法 .....	29
2.4 基于链路状态的分层路由实现技术 .....	30
2.4.1 分层网络物理结构 .....	30
2.4.2 分层网络逻辑结构 .....	31
2.4.3 地址分配方案 .....	32
2.4.4 节点拓扑信息通告 .....	33
2.4.5 分层路由算法 .....	35
2.5 平台构建及实验结果分析 .....	37

2.5.1	平台设计	38
2.5.2	实验验证	39
2.6	分层仿真器	41
2.6.1	结构和组成模块	43
2.6.2	仿真结果	44
2.7	分布式光网络的域间路径计算	46
2.7.1	域间路径计算方法	47
2.7.2	网络资源感知控制器技术	48
2.7.3	分布式域间光径提供	49
2.8	本章小结	50
	参考文献	51
<b>第3章 基于带宽约束的路由算法及公平流量路由费用模型</b>		<b>54</b>
3.1	基于带宽约束的并行路径路由算法	56
3.1.1	传统的单条路径算法	57
3.1.2	基于带宽约束的并行路径路由算法	57
3.1.3	算法数值分析	59
3.2	基于波长连续性的公平流量路由费用模型	63
3.2.1	公平流量路由费用模型分析	66
3.2.2	数值结果分析	68
3.3	本章小结	72
	参考文献	73
<b>第4章 控制平面生存性及区分弹性服务的光 SLA</b>		<b>75</b>
4.1	控制平面结构	75
4.2	控制平面类型	78
4.2.1	重叠模型	78
4.2.2	对等模型	79
4.2.3	增强模型	80
4.3	控制平面生存性	81
4.3.1	控制平面失败类型	82
4.3.2	控制平面失败检测	84
4.3.3	控制平面失效解决方案	84
4.3.4	控制平面状态恢复方案	86
4.4	区分弹性服务的光 SLA	88
4.4.1	光服务水平协定技术	89
4.4.2	区分业务的映射策略	92



4.4.3 区分业务的弹性策略	93
4.4.4 与恢复相关的质量特性	97
4.5 本章小结	99
参考文献	100
<b>第5章 基于 QoS 约束的智能光网络生存性技术</b>	<b>102</b>
5.1 GMPLS 保护/故障(重路由)恢复管理机制	103
5.2 GMPLS 恢复机制	106
5.2.1 保护倒换	107
5.2.2 恢复/重路由	108
5.2.3 故障重路由方案	110
5.2.4 虚拟多恢复域方案	111
5.3 基于 QoS 约束的 1:1 备份路径策略	112
5.3.1 优化理论基础	113
5.3.2 备份路径长度约束限制	114
5.3.3 QoS 约束的备份路径策略	115
5.3.4 数值结果分析	116
5.4 $M:N$ 共享备份路径提供策略	118
5.4.1 备份路径提供策略	119
5.4.2 具有回复模式的 $M:N$ 共享保护策略	121
5.4.3 数值结果分析	123
5.5 感知 QoS 优先级的 1: $N$ 保护策略	124
5.5.1 传统的共享保护策略	125
5.5.2 感知优先级的保护策略	127
5.5.3 数值结果分析	128
5.6 本章小结	129
参考文献	130
<b>第6章 总结与展望</b>	<b>132</b>
6.1 总结	132
6.2 展望	133
参考文献	135
<b>附录 常用缩略语及其中文释义</b>	<b>137</b>

# 第 1 章 绪 论

自 1976 年世界第一条商用市内光通信系统在美国亚特兰大问世以来，光通信系统受到了国际上的普遍重视。1979 年底，我国的光通信实验系统在北京、上海、武汉等地先后投入试用。当时，我国是少数拥有光通信系统的国家之一。无论是美国的亚特兰大商用系统还是我国的试用系统，当时采用的都是 850nm 的多模光纤，其传输效率低且性能不够完善<sup>[1]</sup>。

20 世纪 80 年代初，采用 1300nm（后改为 1310nm）波长窗口的单模光纤通信系统崭露头角，在北美、西欧等长途干线上得到大面积的推广应用，光纤通信已成为举世瞩目的高新应用技术。与此同时，世界通信开始出现由模拟技术转向数字技术的巨大变革，干线电缆通信迅速为光纤通信所取代，程控数字交换设备取代模拟纵横制交换设备系统已成为大势所趋。然而，当时我国在通信各方面也还处于起步阶段，特别是继续建设与发展模拟系统的倾向还很强烈，几经犹豫和周折，在 20 世纪 80 年代中后期终于走上了发展以光纤、数字通信技术为主的道路<sup>[1]</sup>。

20 世纪 90 年代以后，波分复用（Wavelength Division Multiplexing, WDM）/密集波分复用（Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM）/稀疏波分复用（Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM）技术迅速应用到通信领域。目前，光通信大多采用的复用技术是：时分复用（Time Division Multiplexing, TDM）、空分复用（Space Division Multiplexing, SDM）、波分复用（Wavelength Division Multiplexing, WDM）。但在以这些技术为基础的现有通信网中，网络的各个节点需要完成光→电→光的转换，其中的电子器件就要适应高速、大容量的需求，这就存在着诸如带宽限制、时钟偏移、严重串话、高功耗等问题，由此产生了通信网中的“电子瓶颈”。

鉴于上述问题，人们提出了全光网络（All-Optical Network, AON）的概念<sup>[2]</sup>。所谓全光网络，就是在网络中以光节点取代现有的电节点，并用光纤将光节点互连成网，在光域完成信号的传输、处理与交换。在全光网络中，由于没有光电转换的障碍，所以允许存在各种不同的协议和编码形式，信息传输具有透明性，且无需面对电子器件处理信息速率难以提高的困难。

在联网技术方面，近几年波分复用传输技术已经进入实用化和商用阶段，世界许多国家已经开始利用波分复用技术和现有的以及即将铺设的光纤联网进行全光通信网试验，以寻求一个具有透明的、可扩性的和可重构性的全光通信网的全面解决方案，为实现未来的宽带通信网奠定坚实的基础。

## 1.1 智能光网络概述

随着网络信息量迅猛增长,信息内容逐渐由以语音业务为主转向以数据、图像业务为主。人们对光网络提供的服务也提出了新的要求,例如,要求光网络能够快速、高质量地为用户提供各种带宽的服务与应用,满足正在悄然兴起的波长批发、波长出租及光虚拟专用网等业务的需求;要求光网络能够进行实时的流量工程控制,根据数据业务的需求,实时、动态地调整网络逻辑拓扑结构以避免拥塞,实现资源的最佳配置;要求光网络具有更加完善的保护和恢复功能;要求光网络设备具有更强的互操作性和可扩展性等。这些功能需求的实质是要赋予现有光网络以更多的智能,由一种简单的固定点到点传输媒质发展为智能化的动态传送网络。因此,有必要建立一个新的网络体系结构来更经济有效地支持未来大容量的数据业务。所以,一种可实现动态自动完成网络带宽分配和调度的新型网络体系结构——智能光网络应运而生。

当前,智能光网络将成为下一代光网络的代表已成业界共识。由于在传统光网络的基础上引入了控制平面,故智能光网络能提供动态、快速的连接建立功能,实现网络资源的优化配置以及提供灵活多样的服务。其中,自动交换光网络/传送网络(Automatic Switching Optical/Transport Network, ASON)就是一种典型的智能光网络,它一经国际电信联盟电信标准化委员会(ITU-T)提出,就成为了国际上各大电信公司和标准化组织竞相研究的热点技术<sup>[3-8]</sup>。

在智能光网络中,路由和生存性仍然是两项重要的支撑性网络技术,两者既有区别又有联系。路由技术主要完成正常情况下光连接路径的优化选择,而生存性技术用于保证在故障情况下网络的正常运行。其中,生存性技术中的故障恢复过程就需要在故障情况下实现路径的重新选择,其实质就是要解决在多约束条件下进行路由计算的问题。由此可见,路由和生存性技术是两项相辅相成的光网络技术。

由于基于广义多协议标签交换(Generalized Multi-Protocol Label Switching, GM-PLS)<sup>[9-11]</sup>的控制平面的引入,智能光网络可实现多种智能化的网络功能。这赋予了智能光网络中的路由和生存性技术新的特征,同时也提出了许多新的挑战。例如,如何利用控制平面实现分布式智能光网络中交换连接的选路;如何在提高网络资源利用率的条件下,选择合适的生存性策略从而更快、更好地实现故障的恢复等<sup>[12]</sup>。

本章首先介绍智能光网络的发展情况和体系结构,然后针对所要研究的智能光网络中的生存性和路由技术分别进行探讨,最后概述了本书针对以ASON为代表的智能光网络中路由和生存性技术所做的主要工作和创新点。

### 1.1.1 智能光网络的发展背景

从历史上来看,光网络发展到今天,大致可以分为两代:第一代光网络以SDH/SONET为代表,它在历史上第一次实现了全球统一的光网络互联技术<sup>[13,14]</sup>;第二代

光网络<sup>[15,16]</sup>可以认为是 ITU-T 提出的光传送网络 (Optical Transport Network, OTN), 其主要特点为在光层上增加了交换、选路和其他智能功能, 从而实现了真正意义上的“光”网络。随着光传送网络技术的成熟, 网络的智能化和自动化的程度越来越高, 同时 QoS 的保证和流量工程的特征也日益明显, 这些都预示了光网络向下一代的进一步发展。以 ASON 为代表的智能光网络正是在这一发展潮流中从各项技术中脱颖而出的。在本书中所提及的智能光网络与自动交换光网络两个术语表示相同的概念。

传统的传送网络中通常只涉及对信号的传送、复用、交叉连接、监控和保护恢复, 是一个静态的网络。而智能光网络引入了动态交换的概念, 特别是引入业务层与传送层之间的自动协同工作机制, 这种创新的体系结构代表了新一代光网络的重要发展趋势。特别是这种概念正由最初的只针对 IP 和 OTN 进一步拓展到针对业务层面 (IP/ATM 等不同业务) 和传送层面 (SDH/SONET/OTN), 成为一个更通用的网络结构。

ITU-T 是这样定义智能化的 ASON 的: 通过能提供自动发现和动态连接建立功能的分布式 (或部分分布式) 控制平面, 在 OTN 或 SDH 之上, 实现动态的、基于信令和策略驱动控制的一种网络。智能光网络除继承了光传送网的主要特点外, 还具备以下一些突出优点:

- (1) 可实现流量工程要求, 允许将网络资源动态、合理地分配给网络中的连接。
- (2) 具有灵活多样的恢复能力, 使网络在出现故障时仍能维持一定质量的业务, 特别是能提供分布、快速的恢复功能。
- (3) 能很好地利用光层资源满足数据业务动态、灵活的连接请求, 提供一个响应快、成本低的智能化底层光传输网络。
- (4) 可提供多种新型的光层业务, 如按需带宽分配和光虚拟专用网业务等<sup>[16]</sup>。

为适应光网络的这种发展和满足上述要求, 负责智能光网络标准工作的国际标准化组织和准标准化组织 ITU-T、OIF 和 IETF 等都有自己的一套结构原理和要求, 并由此开发控制面机制。

ITU-T 将 ASTN/ASON 的工作分为两个阶段: 第一阶段的标准工作重点除了总体结构外, 主要放在 G. dcm、G. ndisc 和 G. sdisc 方面。其中, G. dcm 表示分布式连接管理 (Distributed Connection Management, DCM) 方面。该建议主要涉及信令方面, 诸如属性规范、消息栈、接口要求、DCM 状态图及互通功能。G. ndisc 和 G. sdisc 分别表示广义自动相邻节点发现 (AND) 和广义自动业务发现 (ASD) 方面。这两个建议主要涉及为协助 DCM 而需要的自动相邻节点发现和自动业务发现的规范, 目标是提供协议中性的属性表示、消息栈和业务发现机制等, 发现机制可适用于 UNI 和 NNI 等。第二阶段工作主要完成有关选路、连接许可控制和链路管理的标准制定。目前已经完成了大部分标准的制定工作。

图 1-1 所示为 ITU-T、IETF、OIF 和 TMF 等标准化组织已经完成或正在制定的标准项目, 以及相互之间的关系。纵向上对 ASON 标准按功能领域划分, 分别包括自动

发现、信令、路由，还包括 DCN/SCN（传送管理和控制信息的基础网络），以及对这些组件的管理；横向上则是各标准化组织与相关标准的对应情况<sup>[24]</sup>。

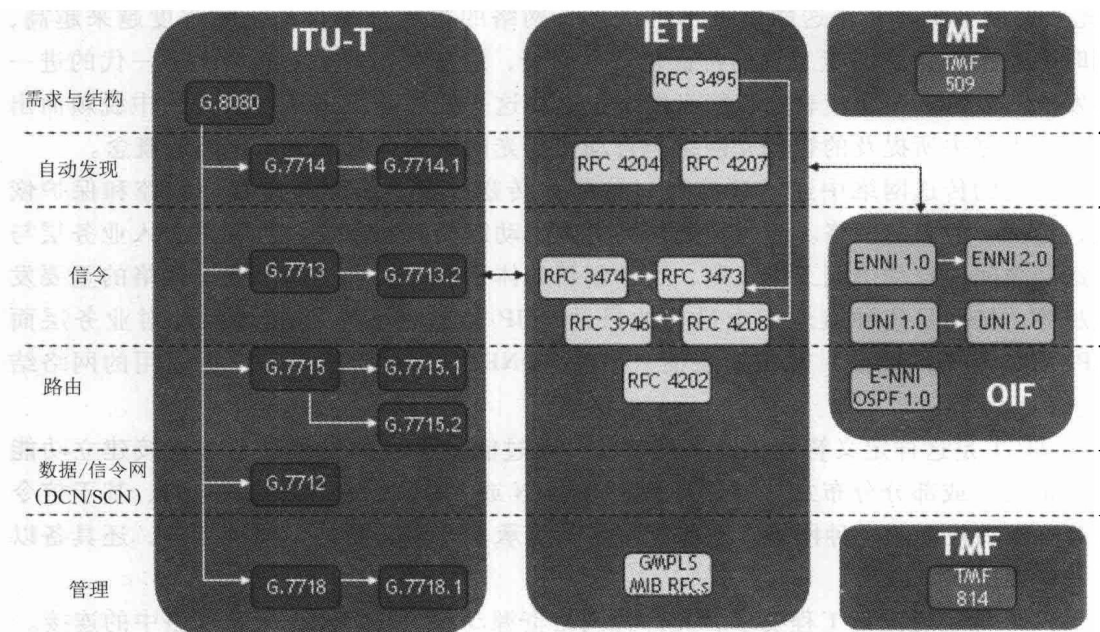


图 1-1 ITU-T、IETF、OIF 和 TMF 光控制平面标准化进程

另外，ITU-T 已完成的标准<sup>[3-5,17-23]</sup>包括：G.807，定义了自动交换传送网络的总体要求；G.8080，定义了 ASON 的结构；G.7712/Y.1703，定义了数据通信网络的体系结构与规范；G.7713/Y.1704，定义了分布式呼叫和连接管理；G.7713.1，定义了基于 PNNI 的 DCM 信令；G.7713.2，定义了基于 GMPLS RSVP-TE 的 DCM 信令；G.7713.3，定义了基于 GMPLS CR-LDP 的 DCM 信令；G.7714/Y.1705，定义了 ASTN/ASON 中的自动发现技术；G.7715/Y.1706 定义了 ASON 路由技术体系结构，G.7716 定义了链路资源管理技术。

IETF 也对 GMPLS 的框架协议进行了多次修改，对基于 GMPLS 的智能光网络控制平面框架，以及路由、信令等控制平面应用协议进行了扩展，包括：用于邻居发现的 LMP，用于链路状态发布和路由的 OSPF 和 IS-IS，用于路径管理和控制的 RSVP-TE 和 CR-LDP。GMPLS 的标准化工作主要由 Sub-IP 域中的 CCAMP 工作组进行。IETF 的工作有别于 ITU-T，后者侧重于制定完整的框架，而 IETF 则侧重于构建工具和协议组件来支撑架构。从这点来看，IETF 的 GMPLS 有点“自下向上”的味道，而 ITU-T 很明显是“自上向下”。

OIF 主要的两个议题是 UNI 和 E-NNI 两方面。目前，UNI1.0 已经成为被众多厂家支持的标准。OIF 于 2003 年 3 月组织了 UNI/NNI 互操作测试，验证域间 E-NNI 的概念和 UNI/NNI 互操作方案，证明了 UNI1.0 的成熟性<sup>[25]</sup>。UNI2.0 对 UNI1.0 的功能进行了扩充和改进，已经形成草案。同时，用于定义 E-NNI 接口信令互通操作的 E-

NNI1.0 也已完成草案。在 2004 年、2005 年 SUPERCOMM 大会上还进行了多运营商全球网络的 E-NNI 互通演示和测试。

### 1.1.2 智能光网络的国内外研究现状

近年来,支持下一代光网络的光通信技术已成为国际和国内相关研究的重点。以美国、欧洲为代表的许多发达国家和地区已经投入大量的资金,开展了一系列针对下一代光网络的研究计划。其中,投资在数千万美元/欧元的代表项目有美国的“国家光干线(NLR)”项目<sup>[26]</sup>、“基于 GMPLS 光网络的动态资源分配(DRAGON)”项目<sup>[27]</sup>,加拿大的 CA\*net 4 项目<sup>[28]</sup>,欧盟的“面向宽带欧洲的下一代光网络(NOBEL)”项目<sup>[29]</sup>等。欧洲 OST-266 项目重点研究下一代光网络的体系架构,对单域网络和多域网络控制平面模型、智能光网络的路由和波长分配、基于 GMPLS 和 O-PNNI 的控制平面协议实现与性能对比等问题正在展开研究<sup>[30]</sup>。欧盟第六框架计划(6FP)支持的 IST 项目 NOBEL 联盟也正在研究下一代智能灵活光网络的创新性网络解决方案与技术,研究的内容包括基于 ASON/GMPLS 的核心光网络与数据网络的集成解决方案,分层业务光网络的路由、互通、流量工程以及分层光网络端到端的连接管理和控制策略等<sup>[31]</sup>。OptIPuter 计划由美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)的信息技术研究(Information Technology Research, ITR)项目资助,将光网络技术、IP 技术和计算机技术三者有机地融合为一体,实现分布式的虚拟计算机,并基于分布式协议实现了光网络域内和域间的路由信令过程<sup>[32]</sup>。

我国在下一代光网络的基础研究方面也加大了力度。我国“十五”863 计划在通信技术主题下设立光纤通信分项研究计划,称之为“光时代”(Optical Technology for Internet with Multi-wavelength Environment, O-TIME)计划<sup>[33]</sup>。O-TIME 计划针对未来几年信息网络与光纤通信技术的发展趋势与需求,研究支撑互联网多波长传送环境的光波技术,重点研究和掌握超长光传输、宽带光接入、节点光交换和智能光联网等核心技术。另一方面,863 计划还设立重大专项“中国高性能宽带信息网”(3TNet),跨多技术领域开展我国新一代运营级的高性能宽带应用示范网的研究<sup>[34]</sup>。同时,包括清华大学、北京邮电大学等高校在内的科研机构与华为、中兴和烽火等公司也开展了智能光网络的研究工作,并合作对 ASON 路由相关理论、关键技术以及协议实现和组网应用等方面开展深入的研究,构建大规模试验平台,并参与 ASON 路由技术协议的标准制定,达到 ASON 技术实用化的目的。国内各大运营商也都在积极跟踪研究,立项试验网项目。中国移动公司已于 2004 年展开了大规模测试,中国电信广东公司也进行了试验网现网测试,这些都体现了国内运营商正务实、稳妥地引入 ASON。而迄今最为成功的全网业务(包括 2G 语音、3G 语音、2G 数据、3G 数据等)运营商——英国沃达丰公司,其 ASON 网络的引入也是先在英国境内部署成功后才推广到欧洲全境的<sup>[35]</sup>。

863 计划项目已经开始 ASON/ION 方面的研究。“自动交换光网络关键技术与试

验系统”项目是新一轮 863 计划的重大专项课题。它旨在掌握自动交换光网络 (ASON) 的核心技术, 研制节点设备, 完成系统试验, 提出标准规范, 通过相关测试, 实现光网络的智能化功能。它包括三个 B 类子课题, 自动交换光网络节点设备研制与系统试验, 自动交换光网络分层路由技术, 自动交换光网络测试技术。目前, 这些课题已完成了验收工作并取得了重大突破。

“支持多层多域的自动交换光网络设备”项目是另一项 863 计划的重大专项课题。它旨在研究和开发出实用化技术和符合多层网络应用的新硬件单板、接口及相关部件, 建立支持多层多域的自动交换光网络现场试验平台和研制支持多层多域自动交换光网络的网络管理系统等。

### 1.1.3 智能光网络的体系结构

作为下一代智能光网络的核心技术之一, ASON 在底层光纤网络之上引入了以 IP 为核心的控制和管理技术。这样可以实现端到端的业务配置, 并按照用户的需求分配网络资源, 提供更好的网络生存性能。通过引入 ASON 智能控制技术, 可以对光通道应用流量工程机制, 并且对各种新兴的网络服务进行支持, 如“波长出租”、OVPN 等。ITU-T G. 8080 建议规范给出了高度概括的 ASON 网络体系结构模型。图 1-2 所示为 ASON 网络结构, 主要由三个部分构成, 即控制平面、管理平面和传送平面。

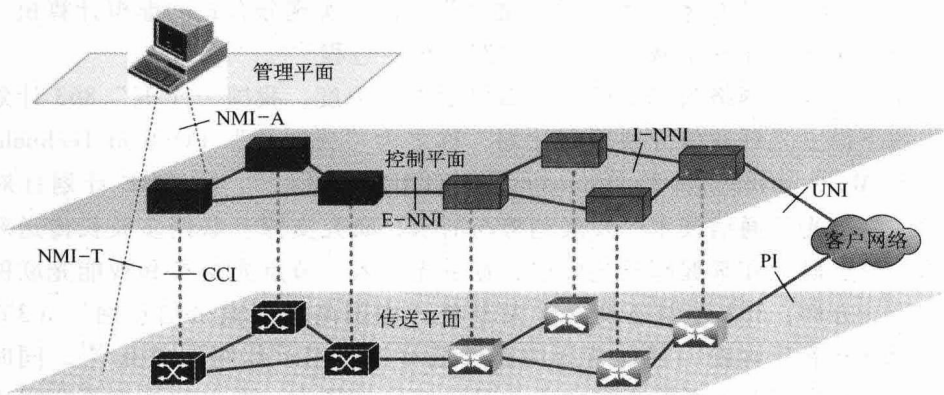


图 1-2 ASON 网络结构

#### (1) 传送平面

ASON 传送平面可以提供用户信息的端到端的单向或者双向传输, 并能够对外提供粒度灵活的各种光层管道。近年来, 在互联网业务爆炸性增长的推动下, 光网络技术发展迅猛, 出现了以密集波分复用 (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) 为基础构建的核心光传送网络 (Optical Transport Network, OTN), 并且随着带宽需求的快速增长, 网络节点结构变得越来越复杂。多粒度光交换技术的出现可以简化光交叉连接器的结构, 同时大大降低设备的成本。因此, 多粒度光交换技术必将成为构建下一代光传送平台的核心技术<sup>[36,37]</sup>。在传送平面中, 由若干关键的部件组成

包括支持多种光层保护机制的网状 (Mesh) 网、全光交换机 (OXC) 组成的光核心网络和用于长途传输的高速 DWDM 传输系统, 可以在一条光纤的不同波长上同时传送 2.5Gbit/s、10Gbit/s 或者 40Gbit/s 等高速光信号。另一个需要的网元是可配置 OADM, 用于在节点上有选择地进行上下路波长, 而不需要配备昂贵的光收发器。传送平面可为用户提供从一个端点到另一个端点双向或单向信息传输、监测连接状态信息 (如故障和信号质量), 并提供给控制平面。

### (2) 管理平面

管理平面主要负责对底层网络资源的管理, 这与传统的光网络管理系统有所不同。由于控制平面的出现, 一方面可以减轻网络管理的负担, 如很多网络业务的配置可以不通过管理平面而由控制平面单独完成; 另一方面, 控制平面使得连接配置的形式更加多样化, 也为管理系统提出了更高的要求, 而且控制平面本身出现的新的网络管理对象也为 ASON 管理系统提出了新的挑战。它包括网元管理系统和网络管理系统, 具有 M.3010 所规范的管理功能 (即性能管理、故障管理配置管理、计费管理和安全管理功能)。

### (3) 控制平面

控制平面是整个 ASON 网络体系中的核心组成部分。控制平面主要实现路由、信令、资源管理等功能, 通过控制平面的引入, 采用接口、协议以及其他控制信息, 可以进行光通道的动态建立和拆除, 实现了网络资源的动态分配管理。ASON 内的呼叫控制和连接控制的功能都由控制平面完成。控制平面由数据/信令通信网络 (Data/Signaling Communication Network, DCN, DCN) 支持, 由多种功能部件组成, 包括一组通信实体、控制单元及相应接口。这些功能部件主要用来调用传送网的资源, 提供与连接的建立维持和拆除 (释放网络资源) 有关的功能。这些功能中最主要的就是信令功能和路由功能。

控制平面的核心功能是连接控制功能, 它实际上是控制平面对传送平面的智能化操作。控制平面接口的主要功能是实现控制平面与上层用户之间、控制平面内部各功能实体之间以及控制平面与传送平面、管理平面之间的连接。控制平面涉及的接口主要有五种: 用户网络接口 (User Network Interface, UNI)、外部网络节点接口 (External-Network Node Interface, E-NNI)、内部网络节点接口 (Internal-Network Node Interface, I-NNI)、连接控制接口 (Connection Controller Interface, CCI) 和管理平面与控制平面之间的接口 (Network Management Interface-A, NMI -A)。

控制平面的核心功能是连接控制功能, 它实际上是控制平面对传送平面的智能化操作。通过三个平面的协作, ASON 能够支持三种连接, 即永久连接、交换连接和软永久连接。永久连接也被称为供给式连接, 由网管系统或者由人工完成。用户网络通过用户网络接口 (User Network Interface, UNI) 直接向管理平面提出请求, 通过网管系统或人工手段对端到端连接通道上的每个网元进行配置。在由网管系统实现连接时, 需要利用接入网络的数据库, 由管理平面计算路由, 找出最适宜的路由并分配波



长，再直接向传送平面发送连接建立消息，来实现各网元的连接。该连接方式不与控制平面发生任何关系。目前的传送网就是采用这种连接方式，其特点是静态的连接。而交换连接也被称为信令式连接，由终端用户向控制平面发起请求命令，再由控制平面通过信令和协议来控制传送平面建立端到端的电路连接，这种方式类似于 PSTN。因此基于交换的动态连接方式又称为交换连接方式，这种方式是实现光网络智能化的重要手段。软永久连接也被称为混合式连接，是用户到用户的连接。其中，端到端连接的用户至网络部分与永久连接一样，由网管系统建立；而端到端连接的网络部分同交换连接一样，使用控制平面建立。此外连接的网络部分的连接建立请求是由管理平面发起，由控制平面建立完成的。

## 1.2 智能光网络路由技术

网络模型的演变必然会造成网络结构的巨大改变，其中网络资源配置算法和路由算法是变革的核心。为了释放光传送网巨大的带宽资源，新型的网络需要新型的路由以便更高效、更经济地传送 IP 数据业务。因此智能光网络的研究和大规模建设势在必行。作为智能光网络的代表技术，ASON 是以电路交换为基础的。它需要端到端的带宽保证，这使得 ASON 网络路由与传统 IP 路由有所不同。同时，ASON 作为核心网络通常会包括很多节点设备，如何实现 ASON 的可扩展性成为随之而来的问题。为此，需要金字塔式的层次路由结构，即引入自动交换光网络分层路由技术。“分层路由”是针对自动交换光网络而提出的一个概念。实际上，其原理类似于 ATM 网络的 PNNI 路由技术<sup>[38]</sup>。但在实际应用中，由于 ATM 的连接业务更多的是永久虚连接，通过静态配置就可以实现，而交换虚连接的业务很少。因此，很多 ATM 交换机中并没有提供 PNNI 的动态路由功能。利用分层路由技术来解决 ASON 网络的可扩展性已成为业界的一种共识。分层路由结构是 ITU-T G.7715 协议规定实现路由的一个基本条件<sup>[22]</sup>。分层路由技术的优势主要有两点：首先，通过拓扑抽象对较低层的网络拓扑信息进行聚合，来降低对网络进行选路的复杂性，并大大减少网络中进行网络状态广播时所需的控制信息，提高资源的利用率，同时也提高了网络的可扩展性。另外，在某些情况下，出于安全性考虑，分层路由技术可以方便地实现网络子集之间信息的有效屏蔽，在子网间只传递必需的可达性信息，并且可以任意配置内部网络结构，使整个光网络具有高度的灵活性和可扩展性。因此，多域分层的网络结构是未来核心光网络具有良好的灵活性和可扩展性的重要保证，并直接影响到整个光网络的性能。ASON 的大规模应用是光通信技术发展的大势所趋，对其组网实现的各种关键技术进行研究具有战略意义。因此，对 ASON 分层路由技术的研究是非常必要的，对于 ASON 未来组网实现具有重要的实际意义。

随着 ASON 标准化的不断开展，在未来几年内，ASON 技术将逐渐步入实用阶段。引入 ASON 的初衷不但是要对光网络进行智能化，同时也要解决组网中不同厂家之间