

"十五"国家重点图书出版规划项目: **光通信技术丛书**

自动交换光网络

Z I D O N G J I A O H U A N G U A N G W A N G L U O

编著 吴健学 李文耀



北京邮电大学出版社
<http://www.buptpress.com>

自动交换光网络

吴健学 李文耀 编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

自动交换光网络是以 WDM 为基础的光层组网技术和以 IP 为基础的网络智能化技术相结合的产物。

本书系统地收集了目前国际和国内关于自动交换光网络方面的最新标准、建议、研究成果和科研资料,并结合作者多年从事光网络研究和实践的经验和体会,系统地介绍了自动交换光网络的产生、发展现状、技术特色、体系结构、相关协议及解决方案等方面的内容。

本书选材新颖、内容详实、条理清晰、系统性强,可供具备一定通信技术知识的专业技术人员和工程远程人员阅读,也适合于系统学习现代光网络前沿技术的大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动交换光网络/吴健学,李文耀编著. —北京:北京邮电大学出版社,2003
(光通信技术丛书)

ISBN 7-5635-0816-3

I. 自... II. ①吴...②李... III. 光通信—通信网 IV. TN929.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 087772 号

书 名: 自动交换光网络

编 著: 吴健学 李文耀

责任编辑: 李欣一

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

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: 23.25

字 数: 579 千字

印 数: 000 1—3 000 册

版 次: 2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0816-3/TN·307

定 价: 39.00 元

前言

随着信息社会的发展,各种新的业务不断涌现,人类对于通信的容量、距离和智能性提出了越来越高的要求,传统的通信网络越来越难以适应这些需要。随着光电子技术的迅猛发展,传统通信网络正在向新一代网络演变。

现代通信网络演进的主要趋势之一是传输与交换的融合。如数字程控交换机和路由器等交换设备配有传输用的光接口、数字程控交换机的远端用户模块等都是交换向传输渗透的例子;传输网中使用数字交叉连接(DXC)设备和光交叉(OXC)设备则是传输向交换渗透的示例。当然这些渗透并不是真正意义上的融合,而仅仅是某些物理形态和部分逻辑功能的组合。

现代通信网络的另一个重要演变趋势是由以电路型交换为主的交换模式向以 IP 等数据的包交换为主的交换模式过渡。包交换的重要特点是数据码流的突发性和不可预见性,这要求通信网络能自动地、动态地分配带宽资源。而现有的基于语音业务设计的传送网,一般采用固定的链路连接模式,只涉及客户层信号的传送、复用、交叉连接、监控和生存性处理,通常不含交换功能,其对高速带宽的指配基本上是静态的。可见,数据业务不可预测的流量模式要求现有传送网向智能化方向逐步演进。

从网络运营商的角度来看,在多厂商、多运营商环境下,提供一种能够极大提高网络运营工作效率的技术手段显得尤其迫切。在激烈竞争的电信市场,快速提供服务已经成为运营商制胜的关键优势之一。但现有的传送网功能重叠冗余、网络层次结构复杂、缺乏互操作性,极大地降低了网络的灵活性、可靠性和可扩展性,增加了网络运营的成本和管理的难度。因此,由于技术因素的限制,传统网络已难担其任。

在这样的背景下,人们考虑借鉴交换网络中的通用信令协议的模式,实现复杂网络环境中配置通道和带宽的思路,在网络结构中增加具有智能化的控制平面,实现动态连接,快速、灵活地提供新的高带宽服务。在网络建设、技术发展以及市场需求的驱动下,以 WDM 为基础的光层组网技术和以 IP 为基础的网络智能化技术迅速发展并结合,一种能够自动完成网络连接的新型网络——自动交换传送网(ASTN)——就应运而生了。其中以光的传送方式为基础的 ASTN 称为自动交换光网络(ASON),是开发 ASTN 的主要方向。

具备自动交换功能的传送网作为一种由用户发出请求,利用独立的控制平面来实施传送网内链路的连接/拆线、交换、传送等一系列功能的新一代传送网络,其实质是传送网与智能化的结合。而 ASON 的着眼点是要把富有潜力的光网络发展成能高度自主地应对业务需要的、经济有效的、可在光层上直接为全网提供端到端服务的智能传送网。在传统的传送网中引入动态交换的概念是几十年来传送网概念和技术的一次重要突破。

要说明的是,在互联网泡沫刺激下的“网络热”催生了“光技术热”,寻求网络的透明性直接产生了全光网的概念。但随着泡沫的破灭、全光网探索步履维艰以及人们认识的深化,传送技术开始从单一寻求透明性转向寻求智能性、逐步实现透明性的思路,以便更好地迎合实际的需要,并积极稳妥地向全光方向展开探索和研究。

光传输是当前信息传送的主要手段,目前 80% 以上的信息量由光传送网来承载,因此,ASON 已成为光通信领域研究最为热门的技术之一。诞生于创业型中小公司的该项技术首先在各大公司、实验室和大学展开了广泛的研究,建立了多个试验网。诸多标准化组织,如 ITU-T、IETF、OIF、ODSI 等也同步跟进,形成了较为完善的研究体系,陆续颁布了一系列的建议或标准,以指导和规范 ASON 项目的研究和开发。

本书是在阅读了大量的国内外参考文献,特别是 ITU-T 关于自动交换光网络的有关建议的基础上编写而成的。全书共分 9 章:第 1 章以光传送网的演进过程为主线,描述了光传送网演进历程,说明了现有光网络向下一代智能光网络演进是技术发展的必须趋势,并分析了光网络演进结构及演进策略;第 2 章是对 ASON 的总体概念性描述,系统阐明了自动交换光网络的体系架构、网络组成、主要研究内容、特色技术及应用,并详细说明了自动交换光网络的标准化建设现状及进展,从中可以窥见 ASON 的技术全貌。此章在全书中起承上启下的作用,后续的 3~8 章以自动交换光网络的传送平面、控制平面和管理平面 3 个平面为主线分别展开描述,使全书层次分明、条理清晰。第 3 章是对传送平面的描述,针对自动交换光网络的可重构特征,介绍其逻辑拓扑结构、网元的结构和功能、可重构网元 OADM 和 OXC 以及相关的技术。控制平面是自动交换光网络

的核心,因此,本书分3个章节对其展开叙述。其中第4章是控制平面的总体描述,内容包括控制平面的基本功能、体系结构、功能部件等,还介绍了实现控制平面功能的通用多协议标签交换(GMPLS)技术。鉴于控制平面的主要功能是实现信令功能和路由功能,因而信令技术,包括信令通信网、分布式呼叫和连接管理、信令消息格式、信令网络的故障与恢复以及信令协议等专辟第5章论述,而路由技术,包括自动发现技术、路由结构以及路由原理等则在第6章中展开论述;网络的生存性无论是对设备制造商,还是对网络运营商而言,都是十分关注的问题,因此第7章重点描述了自动交换光网络的生存性课题,包括自动交换光网络的保护技术和恢复技术,重点是多层生存性技术和基于IP层的生存性技术;第8章对于管理平面的介绍,旨在阐明自动交换光网络的网络管理体系架构,介绍ASON的管理对象模型和网络管理功能;本书最后从应用与实践的角度,在第9章介绍了国内外自动交换光网络研究与应用的现状以及产品的开发情况,提供给关心ASON进展的广大读者。

本书是在ITU-T组织成员、武汉邮电科学研究院副院长兼总工程师毛谦老师的亲自指导下编写的。从选题到内容的润色斧正,毛总倾注了大量的心血。在编写过程中,作者还得到了武汉邮电科学研究院烽火科技学院常务副院长李勇、武汉邮电科学研究院烽火通信公司王志军等同志的鼎力支持和无私帮助,在此谨向他们以及其他长期爱护、关心和支持作者及本书编写工作的广习朋友们致以由衷的谢意。

参加本书编写的作者具有多年从事通信网、光传输技术、IP技术研究和教学的经验,曾经编写过与ASON主题相关的多种教材,并在国内外科技期刊和国际会议上发表了多篇与ASON相关的论文。本书的第1、2、3、7、9章由吴健学编写,第4、5、6、8章由李文耀编写,全书由吴健学统稿。

自动交换光网络是一种新型网络,对其研究和开发还刚刚开始,许多问题目前尚不明了,其标准化工作也正在紧锣密鼓地进行之中。同时,由于作者对自动交换光网络的理解尚欠深入,文中难免有诸多遗憾和谬误之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2003年8月于武汉

目 录

第1章 光网络的演进

1.1 光网络及其发展	1
1.1.1 SDH 向智能传送平台的演进	5
1.1.2 WDM 向智能传送平台的演进	10
1.1.3 IP 与智能光网技术的结合	14
1.1.4 NGN 中的光网络	19
1.2 光传送网	19
1.2.1 OTN 的分层结构	20
1.2.2 向 OTN 演进的方案和策略	21
1.3 全光网	25
1.3.1 全光网的特点	26
1.3.2 全光网是光网络的努力方向	27
1.4 网络的演进结构	28
1.4.1 重叠模型	28
1.4.2 对等模型	30
1.4.3 演进策略	30

第2章 ASON 体系架构

2.1 概述	33
2.1.1 ASON 的产生背景	33
2.1.2 ASON 的技术特色	35
2.1.3 ASON 的应用特色	38
2.2 ASON 的体系结构	41
2.2.1 ASON 的层次性结构	41
2.2.2 ASON 的功能性结构	42
2.3 ASON 的网络组成	44
2.3.1 ASON 的网络构件	44
2.3.2 ASON 的功能组件	47
2.4 ASON 的主要研究内容	49
2.4.1 连接及连接的管理	50
2.4.2 信令和路由	52
2.4.3 网络管理	59
2.4.4 智能节点技术	59
2.4.5 生存性机制	60
2.4.6 网络性能	61
2.5 ASON 的标准化现状	62

2.5.1 ITU-T 标准	62
2.5.2 IETF	69
2.5.3 OIF	72
第3章 传送平面	
3.1 传送平面逻辑拓扑	76
3.3.1 网络拓扑元件	76
3.3.2 传送实体	77
3.2 传送平面网元的结构和功能	78
3.2.1 网元节点的功能和属性	78
3.2.2 传送平面网元的选择	79
3.2.3 网元的交叉结构	80
3.3 可重构网元 OADM 和 OXC	83
3.3.1 OADM/OXC 实现方法	83
3.3.2 OADM/OXC 控制结构	87
3.3.3 OADM/OXC 性能监视与波长管理	89
3.3.4 OADM/OXC 功率均衡技术	91
3.3.5 OADM/OXC 波长变换技术	92
3.3.6 OADM/OXC 的部署	95
3.4 传送平面的相关技术	96
3.4.1 光纤和器件技术	96
3.4.2 高速大容量技术	108
第4章 ASON 的控制平面	
4.1 ASON 控制平面的基本功能	119
4.1.1 信令功能	
4.1.2 选路功能	119
4.2 ASON 控制平面的体系结构	122
4.2.1 控制平面结构的描述	123
4.2.2 控制平面功能结构参考模型	127
4.2.3 控制平面的工作过程	130
4.3 ASON 控制平面的功能部件	133
4.3.1 信令部分的控制组件	134
4.3.2 路由部分的控制组件	139
4.3.3 链路管理部分的控制组件	140
4.3.4 其他控制组件	143
4.3.5 功能部件之间的通信过程	144
4.4 ASON 控制平面的 GMPLS 技术	145
4.4.1 GMPLS 控制平面的结构	146
4.4.2 MPLS 的标签格式及扩展	149
4.4.3 GMPLS 的接口及标签格式	153
4.4.4 GMPLS 的标签交换路径	160
4.4.5 GMPLS 协议的体系结构	163

第5章 ASON 的信令技术

5.1 信令通信网	175
5.2 分布式连接管理——DCM	177
5.2.1 DCM 模型与要求	177
5.2.2 DCM 信令操作	179
5.3 DCM 的信令消息格式	185
5.3.1 DCM 信令消息	185
5.3.2 DCM 属性	186
5.3.3 DCM 消息	192
5.4 信令网络的故障与恢复	198
5.4.1 信令故障的类型	199
5.4.2 信令故障的处理	200
5.5 ASON 的信令协议	208
5.5.1 GMPLS CR-LDP 信令协议	209
5.5.2 GMPLS RSVP-TE 信令协议	210

第6章 ASON 的路由技术

6.1 ASON 的自动发现技术	217
6.1.1 邻接发现	218
6.1.2 自动发现原理	221
6.2 ASON 的路由结构	225
6.2.1 路由结构组成及要求	225
6.2.2 路由域及分层结构	228
6.3 ASON 的路由原理	237
6.3.1 ASON 路由的算法	237
6.3.2 ASON 路由的消息格式	244
6.3.3 ASON 路由的操作	246
6.4 GMPLS-OSPF 路由协议	253
6.4.1 OSPF 扩展	253
6.4.2 GMPLS-OSPF 扩展	256

第7章 ASON 的生存性

7.1 光网络的生存性	261
7.1.1 生存率与可靠性	261
7.1.2 故障处理	263
7.1.3 网络结构与生存性	264
7.1.4 节点运行状态与生存性	267
7.2 光网络保护技术	270
7.2.1 点到点结构	270
7.2.2 环网结构	272
7.3 光网络恢复技术	277
7.3.1 恢复控制	277
7.3.2 恢复方案	278

7.3.3 恢复算法	281
7.3.4 传送网的多层恢复	283
7.3.5 恢复和保护的比较	286
7.4 基于 IP 层的生存性技术	288
7.4.1 动态路由方案	288
7.4.2 MPLS 恢复模型	288
7.4.3 备份路径的恢复	291
7.4.4 资源管理	293
第 8 章 ASON 的管理平面	
8.1 ASON 网络管理的相关技术	295
8.1.1 基于 TMN 的网络管理技术	295
8.1.2 基于 CORBA 的网络管理技术	306
8.2 ASON 管理对象模型	313
8.2.1 管理对象模型的概念	313
8.2.2 传送平面管理对象模型	315
8.2.3 控制平面管理对象模型	317
8.3 ASON 网络管理体系结构	320
8.3.1 ASON 网络管理的要求	320
8.3.2 ASON 网络管理系统的结构	321
8.4 ASON 网络管理功能	324
8.4.1 配置管理	324
8.4.2 连接管理	324
8.4.3 性能管理	325
8.4.4 故障管理	325
8.4.5 OVPN 管理	325
第 9 章 ASON 的应用与实践	
9.1 ASON 的主要研究计划	327
9.1.1 LION 的研究计划	327
9.1.2 KomNet 的研究计划	331
9.2 ASON 在我国的研究和实践	332
9.2.1 中国高速信息示范网	332
9.2.2 863 计划中的 ASON	334
9.3 智能光网节点设备产品发展及应用	337
9.3.1 Ciena 公司的 ION 现状	338
9.3.2 Lucent 公司的 ION 现状	340
9.3.3 Notel 公司的 ION 现状	342
9.3.4 Sycamore 公司的 ION 现状	343
9.3.5 Cisco 公司 ION 现状	345
缩略语	348
参考文献	357

光通信是一种利用光波作为载频的通信方式,从它诞生之日起,就引起了人们的广泛关注。随着 20 世纪 60 年代光纤波导技术的成熟和发展,光纤通信极大地满足了人们对信息传递的速度、容量和质量的要求,因此近年来获得了迅猛增长,由此构成的光纤通信网络在很大程度上改变了我们的工作和生活方式,成为世界新技术革命的重要标志。

光网络由于其具有的一系列特点,使其在通信网中居于相当重要的地位,它是通信基础网络的核心。在全球,几乎 80% 以上的信息量是通过光纤网络来传输的。近几年来,由于 DWDM 技术的发展和成熟,光纤带宽的潜力得到了进一步挖掘。我们知道,光网络只有通过适当的、合理的、科学的体系结构互联以后才能组成真正理想的网络体系结构,以提供高速、宽带、高质量的业务。伴随着光器件技术和光信号处理技术的发展,光网络在光传输层已经提供了联网能力。

现在普遍认为将来光网络一定会在世界范围的电信基础结构中扮演极其重要的角色,而且未来光网络的功能人们也基本取得了共识,这就是未来的光网络应该是一个应用灵活、可靠、性能稳定的网络,它应该满足传输各种信号(如 SDH, ATM, IP 等等)的所有基本要求(也就是其灵活性、可升级性和系统生存性能能独立于比特率和协议)。这样一个网络应该能够对各种信号进行有效的传输、调度、保护和管理。但是光技术的发展是如此之快,以至于未来光网络的具体结构、组网方式等问题至今还不十分清晰和明了。因此,现有光网络如何向下一代光网络演进就是一个值得认真思考的问题。

1.1 光网络及其发展

光网络的具体含义到底是什么,这是一个仁者见仁,智者见智的问题。但有一个事实必须注意到:尽管光纤在容量、速度、透明性等方面具有无与伦比的优势,但光纤只有通过用适当的、合理的、科学的体系结构互联以后才能组成真正高效的网络体系结构。从这个目的出发,光网络就应该是一种以光纤作为基本物理媒介,并充分利用光纤所具有非常独特的特性而组成的一种通信体系网络结构,即一种基于光纤的传送网。这种合理的高性能的光网络体系结构也必然包括比较复杂的光、电设备以及二者的结合产品。这样,光(或光波)网络未必就一定隐含地表示为是一种纯光的网络,它只不过是指由电交换设备而终结的一套光纤连接而已。

在谈到光网络及其发展时,人们经常使用以下几个有关光网的术语:

- 光网络(ON),这个术语只说明运用光的技术来组网,指的是一种技术手段、方法;
- 全光网络(AON),它强调网络的全光特性,严格地说在此网内不应该有光电转换,所

有对信号的处理全在光域内进行;

- 光传送网(OTN),该术语表示以光技术来构成一种起传送功能的网络,它不限定网络的透明性,也不排除光电转换。ITU-T 在 G.872 建议中定义光传送网为一组可为客户层信号提供主要在光域上进行传送、复用、选路、监控和生存性处理的功能实体,它能够支持各种上层技术,是适应公用通信网络演进的理想基础传送网络;
- 自动交换传送网/自动交换光网络(ASTN/ASON),按照 G.807,ASTN 指由用户发出请求,由信令网控制实现传送网内链路的连接/拆线、交换、传送等一系列功能的网络。当传送手段采用光的方式时,则成为 ASON。可见,ASON 是 ASTN 的子集,是开发 ASTN 的主要方向。

ASON 是以光传输为基础的光层组网技术和以 IP 为基础的网络智能化技术迅速发展并结合后形成的。ASON 的本质即光传送网与智能化相结合,是在传送网的光层网络基础上演进而来的,其着眼点是要把富有潜力的光网络发展成能高度自主地应对业务需要的、经济有效的、可在光层上直接为全网提供端到端服务的智能网。由于 ASTN/ASON 目前主要着重研究 IP 业务和未来光网络间的互相协调机制,因而又被叫做“IP 光网络”或“智能光网(ION)”。

仔细解析这几个术语,它实际上反映了人们对光网络的认识过程,也分别代表了各自的研究思路。从中,我们可以窥见光网络发展演进的几丝端倪:

1. 以 SDH 为代表的光电混合网络

光网络的概念是随着 SDH 技术体制的诞生而产生的。作为一种完整严密的传送网技术体制,SDH 不仅提供了统一的光接口规范,而且定义了对光信号质量的远程监控、故障定位和远程配置等重要网络管理功能。这在当时是一种革命性的概念,该技术得到了众多电信运营商的喜爱,从而迅速取代 PDH 通信系统,成为各国核心网的主要传送技术。

SDH 技术体制在我国也迅速获得了广泛的支持,1995 年起干线网上就开始全面转向 SDH 体制。经过大规模投资和建设,我国目前已建成世界上第一大 SDH 网络。

自从光纤用作通信媒介的技术成熟以后,世界各国敷设了大量的光纤光缆,但其容量潜在过去的近 20 年间始终未获得充分利用。尽管 SDH 技术的大力发展,使电时分复用技术达到了商用的 10 Gbit/s 水平,但光纤的带宽相对这种技术而言仍然是“无限的”。

从电网络向全光网络平滑过渡一定会经历一个光电混合网的过程。这种光电混合网属于光网络发展的初级阶段。光技术主要用于两个电子节点间的大容量点对点传输,主要的功能是传送和复用,而交换/选路、监控和生存性处理等联网功能则由电子技术实现。

2. 以 WDM 为代表的初等光网络

从市场需求情况看,传统话音业务对光网络的发展不具有需求上的源动力,按光纤理论带宽测算,在美国,即使是在业务高峰期所有电话业务量的总和也小于单根光纤所具有的信道容量。在以 Internet 为代表的新技术革命的推动下,各种新型通信应用大量涌现,才产生了实现网络高速化和宽带化的迫切要求。这些新型应用主要包括:互联网浏览、电子邮件、远程数据下载、视频点播、视频电话、远程教育、远程会议、远程医疗、HDTV 等。由此产生的信息爆炸终至所谓的“光纤耗尽”现象。

以美国为例,从 1994 年起,几个主要的长途电信业务承载商的光纤通信系统都持续出现了负载能力接近饱和的情况。据统计,美国 9 个主要网络提供商 Level 3、Frontier、Qwest、

GTE、IXC、Williams、Sprint、MCI World Com、AT&T 在 1996 到 2001 年为满足业务需要分别需要的带宽数量,1996 年为 1.2 Tbit/s;1999 年这一数值变为 21.7 Tbit/s;而到了 2001 年,其网络容量总和达到 100 Tbit/s,比 1996 年增长 80 倍。

在这样的背景下,随着以 EDFA 为代表的器件技术的成熟,WDM 技术迅速走向了实用,并成为光网络技术中的一颗最为耀眼的明星。从 20 世纪 90 年代中期开始,世界各国在其骨干网建设中迅速部署并开始实施了 WDM 的建设,主要工程目前集中在 $32/40 \times 2.5$ Gbit/s 和 $32/40 \times 10$ Gbit/s 水平层次,其所建网络也多为一些点到点的初等光网络。

这种光网络尽管有效提高了光纤带宽的利用率,但缺乏组网的灵活性,不能提供灵活的业务沟通能力,光层也缺乏高效的保护机制。加之技术限制,这种光网络只具备子网级的透明性。

3. 互联网泡沫中的全光网

Internet 网上各种形式的数据业务量的爆炸性增长,其规模已达到约每 6~9 月翻一番,比著名的 CPU 性能进展的摩尔定律还要快 2~3 倍。

在预期的巨大需求下,光通信市场呈现产销两旺的势头,在 1999~2000 年度,光纤甚至出现了难得的卖方市场;同时,DWDM 技术迎合了人们挖掘光纤带宽潜力的需要,各国投入研究和开发力量,在 DWDM 技术上展开了一场角逐,传输容量和传输距离的世界纪录被竞相打破。

WDM 技术与光网络有着天然的联系,从子网级透明到全光的透明似乎只是一个范围的扩展,在这样的思路下,全光网的概念就应运而生了。ITU-T 等国际标准化组织开展了全光网项目的有关标准研究,欧洲和美洲也先后启动了一系列的全光网试验床,如欧洲的 OPEN、PHOTON、LION、VTHD、POIT、ATLAS、ATRIUM、HARMONICS、TOPRATE、CAPRICORN 等,美洲的 ONTC、AON、MONET、NTONC 等。

4. 光传送网概念的延伸

随着互联网泡沫的破灭,整个 IT 业开始进入“冬天”。从最近两年的 OFC 会议上可以看出,WDM 技术从竞相破纪录的鼓噪声中开始归于平静,人们开始冷静思考光联网的明天。与此同时,人们在全光技术领域中的探索屡受挫折也迫使人们进一步加深对光通信的理解。光网络开始处于向全光网发展的困难和不确定时期。

考虑到这些实际情况,为避免技术与运营上的困难,ITU-T 决定按 OTN 的概念来规划和研究目前的光网络技术及制订相应的标准化建议。光传送网是依据网络的功能及主要特征来命名,而放弃对网络的透明性限定。

通常讨论的光传送网是一个内涵和外延非常丰富的概念。就目前而言,OTN 可以从半透明开始,即在网中允许光电转换;而 OTN 的最终目标是全透明的全光网络,也即是说全光网实际上是全光传送网的简称,是光传送网的一种高级形态,也是光传送网研究和应用的终极目标。

光传送网概念既从实际出发,反映出光网络技术的现实性,又从光网络技术的发展趋势出发预示了发展 OTN 的阶段性演进特征(如图 1.1 所示)。从网络建设来看,显然目前还只处于效率相对较低的光网络发展的初级阶段,点对点的 WDM 系统主要还是用以扩大传输容量,光传送技术的研究发展,也只是处于从点对点 WDM 向 OADM/OXC 发展,与之相应的光联网关键(如波长交换技术等)也只是处于实验室的研究阶段。远期的以快速光交换为基础

的光分组技术目前也是处于试验性探索阶段。

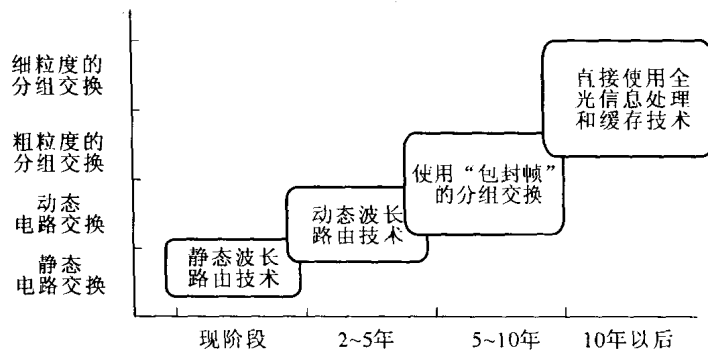


图 1.1 循序演进的组网技术与交换

ITU-T 是通过定义光传送体系(OTH)的方法来定义 OTN 的。OTH 是一种新的标准化的数字传送体系结构,用于在光纤传输网络上传送经过相应适配的净荷,OTH 支持点到点、环形、格形等各种结构光网络的操作和管理。ITU-T 建议 G.872 定义的光传送网和 ITU-T SG15 在 2001 年 10 月会议同意通过的新建议 G.8080/Y.1304(G.ason)定义的自动交换光网络均属于 OTH 范畴。

在一般意义上,按照 ITU-T SG15 对术语的定义,OTN 是特指基于 G.872 的光传送网。而通常人们所说的光传送网具有更加广泛的意义,例如,现在应该包括基于 G.872 的 OTN 和基于 G.8080 的 ASON 等。当然,G.872 的 OTN 实际上构成了 ASON 的基础传送平面,本书中如不特别申明,所说的 OTN 指基于 G.872 的 OTN。

基于 OTN 的光传送网的出现将使我们期望的智能光网络逐步变为现实,为网络运营者和客户提供安全可靠、经济有效,与客户信号无关、可管理、可操作、高效的新一代光传送平台。

从上述表述中可以看出,光网络的概念源自 SDH/WDM 网络,也伴随着 SDH/WDM 技术的发展、进步而不断产生新的内涵,从而促使人们按螺旋规则认识光网络。尽管全光的网络看来是通向一个至今难以想象的易用、多样性和成熟的未来通信世界的关键,但这一天的到来决不会是一蹴而就的。我们应该以更加务实而开拓的眼光看待光互联网的发展,即从传统的、混合型的网络环境向单一的、全交换的光网络转变是一条分阶段的、稳步发展的道路。

在网络的演进过程中,由于服务提供商们不会轻易放弃现有的基础设施,因此有必要制订有效的迁移战略,最大可能地利用这些资源。那些新兴的电信公司,他们虽然可能在干线核心网上以“全光网”起步,但也需要有效的途径将容量传送到城域核心和接入网中。灵活性和可升级性对当前的光网络设备平台来说是最为重要的特点。如何提升现有设备功能,使之能够处理复杂的数据服务,节约系统开支,使系统变得易于管理,从而在目前的光网络“市场低迷期”中寻找新的商机,这是尤为重要的。因此,有专家指出,在今后的网络演进进程中,谁能在网络的平滑过渡方面做得更好,谁就能在竞争中脱颖而出。

因此,目前基于 SDH 和利用 DWDM 技术的光纤传输网作为电信网络基础设施最重要的传送平台将逐步向 OTN 过渡,从而作为构建自动交换光网络的业务接入层面和传送层面继续扮演着各自的角色。当然,随着 OADM 和 OXC 的使用,将逐步形成在光域上连接的光传

送网。

另一方面,IP技术在光传送网的应用,必将推动通信信息技术和网络技术的迅速发展,给当今通信网络的容量、速度、质量以及服务种类等提出了很高的要求,促进了宽带骨干通信网和宽带城域网的大规模建设,并给整个通信网络的概念、体系架构、技术模式、实现方式等诸多方面带来了深远的影响,从而给我们带来新的研究课题。

1.1.1 SDH向智能传送平台的演进

从核心网看,SDH仍是目前核心网最主要的承载技术。目前 10 Gbit/s 系统已开始大量装备网络,不少电信公司实验室已开发出 40 Gbit/s 的系统。从网络应用看,带宽 10 Gbit/s 接口的路由器已经问世。随着这些路由器的大量应用,为了提高核心网的效率和功能,希望单波长内能处理多个数字连接,因此核心网的单波长速率向 40 Gbit/s 方向演进是合乎逻辑的。

目前的市场、带宽需求和技术都已显示有必要把 SDH 技术带入接入网领域,使 SDH 的功能和接口尽可能靠近用户。SDH 的固有灵活性使网络运营者可以更快、更有效地提供用户所需的业务需求以及组网需要,特别是对于发展极其迅速的蜂窝通信系统采用 SDH 系统尤其适合,它可以迅速灵活地提供所需的 2 Mbit/s 透明通道。近来,接入网领域传输体制也开始呈现向 SDH 汇聚的趋势。

城域网是各种技术融合最为波澜壮阔的地方。由于 WDM 的出现和发展,SDH 的作用和角色有了很大的转变,SDH 正开始向网络边缘转移。鉴于网络边缘复杂的客户层信号特点,SDH 必须从纯传送网转变为传送网和业务网一体化的多业务平台,即融合的多业务节点。其出发点是充分利用大家所熟悉和信任的 SDH 技术,特别是对其保护恢复能力和确保的延时性能加以改造以适应多业务应用,支持层 2 乃至层 3 的数据智能化。其基本思路是将多种不同业务通过 VC 级联等方式映射进不同的 SDH 时隙,SDH 设备与层 2 乃至层 3 和层 4 分组设备在物理上集成一个实体,即将传送节点与各种业务节点融合在一起,构成业务层和传送层一体化的下一代 SDH 节点。

但要看到,传统的 SDH 光网络主要是适应 TDM 业务的传送,在处理传送带宽可变的分组业务时显得力不从心;同时受电子瓶颈的影响,SDH 技术在核心网向更高速率发展的应用减缓;从减化网络层次结构,使网络更加高效可靠等多方面考虑,SDH 经过 20 年的高速发展后,目前正进入一个变革时期。

随着数据业务逐渐成为全网的主要业务,传统的电路交换网将逐渐向分组网特别是 IP 网演进。作为支持电路交换方式的 SDH 的 TDM 结构将越来越不适应未来业务的发展,独立的 SDH 设备的长远命运正受到严重的挑战。但是,尽管面对诸多“SDH 就要死了”的议论,SDH 作为一项技术驱动的代表性技术仍在不断发展,以寻求更大的生存空间。这种挑战在中国这样的环境下是战略性的,SDH 在中国近期仍将继续发展,主要理由如下:

- 考虑我国的电路交换网在 5 年左右的时间内仍将继续发展;
- SDH 本身高低端的发展潜力(高于 40 Gbit/s,低于 155 Mbit/s);
- 未来的超大容量的核心光传送网需要更多的 SDH 接入设备;
- 近期仍然是可靠性和生存性最高的传送网技术;
- SDH 的级联功能增强了支持 ATM/IP 的能力;

- SDH 正在融合路由功能,支持以太网透明传输。

事实上,从近几年 SDH 的新变化及发展情况看,SDH 向以下 3 个方面发展的步伐十分强劲:

1. 向更高比特率(40 Gbit/s)系统迈进

10 G 与 2.5 G 之争已尘埃落定,当年红极一时的朗讯公司与曾经是北美长途传输龙头的 AT&T,都因错失 10 G 良机而将头把交椅拱手让人。但 5 年后的今天,业内又有许多人为部署 40 Gbit/s 系统的必要性展开了争论。

既然 DWDM 技术如此普及,为什么不采用只增加 4 个 10 Gbit/s 信道的方法来实现 40 Gbit/s 的容量?这个问题可以从多个方面加以理解:第一,对于大都市而言,业务颗粒的交叉连接能力至关重要,远远超过了对传输容量的要求。在这种情况下,高速 TDM 系统远远比同等传输容量的 DWDM 系统优秀。我们不妨假设现在有一个 40 G TDM 系统与一个 4×10 G DWDM 系统,二者的传输容量相同,但当次级业务颗粒在某点需要进行交叉连接时,情况就大大不同了。对 40 G SDH 系统来说,这不过是其中某两个时隙进行交换而已,但对 DWDM 系统,由于本身不具备交叉连接功能,任何时隙交换都必须通过外接电设备完成,即使将来 OXC 的使用,也只能解决波与波之间的交叉连接,无法对其次级业务颗粒进行调配。第二,核心光网络的带宽必须大于任何单一的接入信号。10 Gbit/s 问世时,最快的交换机或路由器的接口速度只有 2.5 Gbit/s。现在路由器的速度已经赶超上来,40 G 需求的来临已是指日可待。第三,恐怕就是“上帝之手”的作用了,在残酷的市场竞争作用下,任何人毕竟都不愿重蹈覆辙!可以说再一次扩展核心网络的时机已经成熟,40 G 与 10 G 之争,主要不是争论必要与否,而是什么时候到来。40 G 的出现,可能决定整个行业未来几年内的面貌。

2000 年开始,国外运营商及设备厂商为抢占先机已开始 40 G 的现场试验。2000 年 6 月,Qwest 与北电网络宣布了全球第一个承载商用业务的 40 G 现场网络开通,该网络全长 700 km,是当前 40 G 现场实验网络中距离最长的。另外,朗讯、西门子、阿尔卡特也分别在北美、欧洲进行了 40 G 的现场实验。“40 Gbit/s SDH(STM-256)光纤通信设备与系统”已列入我国“十五”科技攻关计划项目,2002 年 4 月在信息产业部主持下,通过专家评审,经国家科技部批准,由武汉邮电科学研究院(烽火科技)及其他三家单位共同承担该项目的研发任务,并由光通信领域资深专家、武汉邮电科学研究院副院长、总工程师毛谦任项目负责人。项目将开展系统总体调试、超高速信号处理、超高速光调制/解调、40 Gbit/s 光纤传输及色散管理、网络管理系统及关键器件等方面的技术攻关与研制。

2. 构筑 SDH 的多业务传送平台(MSTP)

SDH 演进到定位于网络边缘的多业务节点,不但能够完成传统 TDM 业务的传送,而且能够接入 ATM、ETH/IP 业务,实现二层的桥接和交换功能,完成数据业务的接入和传送,是实现综合光网络业务运营的技术保障。这种多业务平台的出现不仅减少了大量独立的业务节点和传送节点设备,简化了节点结构,而且降低了设备成本,减少了机架数、机房占地、功耗以及架间互连,简化了电路指配,加快了业务提供速度,改进了网络扩展性,节省了运营维护和培训成本。

由 MSTP 组建的可运营、可管理的光网络包括业务提供和业务管理两个层面。从业务提供看,MSTP 除完成传统的语音、视频、数据交换设备的业务传送外,作为运营网,还可以提供各类带宽出租业务,满足本地运营商和集团用户的带宽需求。在 MSTP 上提供的带宽出

租业务由于不经过 ATM、IP 层设备处理,能够较好地做到带宽隔离,可以提供传输效率高、安全性好、成本低廉的解决方案。

为实现光网络业务的运营,业务管理非常重要,必须建立一套行之有效的业务流程和管理模式。当客户向运营商提出业务申请后,运营商根据网络资源管理系统看网络中是否有符合客户需求的带宽资源,决定用户接入是通过外购设备、增加业务单板还是在现有设备上直接提供业务端口来实现。

MSTP 能够实现端到端业务自动配置,即通过简单地选择源端、目的端和业务类型,几分钟内就能建立路径连接,实现业务的快速、灵活调度。

MSTP 继承了 SDH 成熟、完善的业务保护功能,包括 SNCP、MSP、DNI 等,还融合了 VP-RING、IP-RING 等技术,提供虚拟共享光路保护。多种保护共存,保证了业务在网络出现故障时,能够很快地恢复,提高电路的可用时间,保证综合业务的服务水平协议(SLA)。

网络管理除实现传统 SDH 网络的性能、告警、配置、安全等方面的管理外,还实现端到端链路性能测试和监控、网络资源优化、计费数据提供、客户网络管理(CNM)、光虚拟专用网络(OVPN)等功能。网络资源优化系统能够根据网络业务流量状况,优化业务路径,提高带宽利用率。计费策略提供时长、流量和包月制等几种方式,用不同的计费方式,提供差异化服务。通过 CNM,客户可以察看租用的总体业务视图、了解链路情况、租用端口、端口的故障状态、端口的流量信息等基本情况。所有这些充分保证了光网络运营的可管理性。

当前,信息产业部已有《基于 SDH 的多业务传送节点技术要求》(行业标准)用于规范城域传输网节点设备,各厂家也分别推出了自己的商用系列产品。如武汉邮电科学研究院烽火通信科技股份有限公司生产的 MSTP 设备,已具备多业务传送能力(除 TDM 业务外,可提供 10 M/100 M 以太网透传接口、10 M/100 M 以太网交换接口、ATM 155 M 统计复用接口等多种业务类型)、高集成度(2.5 G 的 MSTP 设备的高阶交叉达 $128VC4 \times 128VC4$)、强大的交叉处理和灵活的业务调度能力(10 G MSTP 提供 $768VC4 \times 768VC4$ 的交叉容量,可以作为业务疏导中心,提供一定容量的 DXC 交叉功能;设备最大能够支持多个 10 G 光口,可配置为 TM、ADM 或 REG,可组建 4 纤 STM-64 环或 2 纤环;单机架可终结 40 G 的支路容量。该设备非常适合用在城域网的核心/汇聚层,完成接入层业务的汇聚和大颗粒业务的调度)、强大的保护能力(除了传统的 SDH 的通道保护、复用段保护、子网连接保护以及共享光纤的逻辑通道环保护等多种保护外,还可针对不同业务提供不同的保护。如对以太网业务可以提供基于生成树协议 STP 的保护,对 ATM 业务可以提供 ATM 虚拟通道环保护)、智能化管理(除提供基于网元级的管理外,还提供基于网络级的管理,使业务配置、性能、告警、监控可直接基于向用户提供的网络业务。除了端到端的业务配置,烽火通信的 MSTP 的网络级网管还能提供计费管理基础信息,支持通道批量配置、电路自动搜索、用户等级定义、网络资源管理、虚拟网元等功能)。

3. 扩展对数据业务的支持能力

随着数据业务逐渐成为网上的主导业务,SDH 的长期市场将逐渐缩小,并将逐渐退出核心骨干网,转移到网络边缘而长期存在。在网络演进过程中,独立形态的 SDH 设备将逐渐减少,其功能将通过某种方式融合到 OTN 中去。

尽管如此,为了充分利用现有规模庞大的 SDH 网络资源,实现网络功能的平滑升级,以及针对传统 SDH 传输数据业务时存在的业务承载能力不足和带宽分配缺乏灵活性问题,