

“ 863 ” 通信高技术丛书

自动交换光网络 ASON

张杰 徐云斌 宋鸿升 桂烜 顾畹仪 编著

人 民 邮 电 出 版 社

“ 863 ” 通信高技术丛书

编 委 会

主 任：叶培大

委 员：(按姓氏笔画顺序排列)

卫 国 王志威 王 京 王柏义

韦乐平 尤肖虎 冯记春 朱近康

邬江兴 邬贺铨 孙 玉 纪越峰

杜肤生 李少谦 李世鹤 李红滨

李武强 李 星 李默芳 杨千里

杨 壮 张 凌 陈俊亮 周炯槃

郑南宁 赵梓森 赵慧玲 侯自强

姚 彦 郭云飞 唐 健 蒋林涛

曹淑敏 强小哲 谢麟振 简水生

图书在版编目 (C I P) 数据

自动交换光网络 ASON / 张杰等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2004.2

(“ 863 ” 通信高技术丛书)

ISBN 7 - 115 - 11870 - 1

. 自... . 张... . 光通信—通信网 IV . TN929.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 120869 号

内 容 提 要

自动交换光网络 (ASON) 是未来高性能宽带信息光网络发展的主要方向。本书从 ASON 的基本原理出发, 全面系统地介绍了 ASON 有关网络体系结构、关键技术和网络应用等方面的最新成果。全书包括 4 部分内容: 第 1 部分概述 ASON 的提出背景和研究现状; 第 2 部分以标准建议为基础, 阐述 ASON 网络体系结构的组成, 以及信令、路由、资源管理和自动发现等单元技术; 第 3 部分结合网络实现与运行的需要, 分析与 ASON 相关的网络管理、节点技术、数据通信网、路由波长分配以及生存性等问题; 第 4 部分介绍 ASON 新业务和网络解决方案。

本书可供从事电信传输工作的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。

“ 863 ” 通信高技术丛书

自动交换光网络 ASON

◆ 编 著 张 杰 徐云斌 宋鸿升 桂 烜 顾婉仪
责任编辑 徐享华

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67129258

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787 × 1092 1/16

印张: 25.25

字数: 605 千字 2004 年 2 月第 1 版

印数: 1- 000 册 2004 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-11870-1/TN · 2216

定价: 40.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010)67129223

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

前 言

进入 21 世纪以来,以集成芯片、电脑软件、系统网络等信息产业为物质基础,融信息和知识于一体的新经济形态的出现,代表了当前社会发展的迫切需求和必然趋势,并逐渐演变为国家乃至全球范围内经济竞争的制高点。通信技术正是引领人类迈向信息时代的一把钥匙。在姹紫嫣红的现代通信技术的芳苑中,光网络作为一株亮丽的奇葩,凭借其接近无限的带宽潜力和卓越的传送性能而倍受关注,成为建设未来国家信息基础设施的主要基石。

从信息流的角度来看,近年来,话音、数据、视频等通信业务进一步朝着综合化方向发展,Internet 业务总量每年以翻番的速度在爆炸式地增长,变为“吞噬”骨干网带宽的主力军。据统计,世界范围内话音业务量的年增长率仅为 10%,而数据业务的年增长率达到 40%,在我国数据业务的年增长率则超过 400%,发展极为迅猛。业务量的不断增长,再加上 Internet 业务自身存在的突发性、自相似性和不均衡性等特征,意味着目前面向话音设计、基于电路交换的 SDH/SONET 传送网体制需要向以数据为中心的新一代光网络进行整体的升级与更新。

从技术发展的角度来看,光纤作为一种高带宽低损耗的优良传输媒质已经广泛应用于通信网络的物理传输平台,密集波分复用(DWDM)系统的成熟又进一步挖掘了光纤的频带资源,单纤传输容量在实际网络应用中已经达到 Tbit/s 数量级。伴随着容量的攀升,新技术的引入也促使传输距离不断增大,目前已经可实现数千公里无电中继再生的超长距离传输。与此同时,光交换技术的发展正推动着大容量的光电交换器件进入交换节点中,使得在波长层面具备了联网能力,从而大大增强了波长路由的灵活性,提高了传送网的竞争力。因此,光网络的研究和建设已经成为网络发展和建设的重点。

迄今为止,光网络已经走过了第一代,即光主要应用于点到点的传输过程,光纤媒质与铜缆相比可以提供低得多的误比特率和高得多的容量,但是复用、交换、保护等与网络传送相关的功能都需要转化到电层处理来实现。目前光网络正在经历着第二阶段,即在波分复用系统基础上,提出以光的线路终端(OLT)、光分插复用器(OADM)、光交叉连接器(OXC)为核心网元构建光传送网(OTN),将波长路由和交换的概念引入光层。为适应数据业务的迅速崛起,“宽带”和“高性能”成为新一代光网络解决方案中不可或缺的两个主题。人们意识到光网络的发展思路不能仅仅局限于提高传输容量方面,更重要的是如何充分发挥由于路由和交换移进光层后所带来的组网灵活性。通过在光域增加自动控制的协议手段赋予光网络智能,成为一种极具吸引力的选择,为发展新一代智能灵巧的传送网体系结构创造了机遇。这种网络将 IP 的效率、DWDM 的容量、SDH/SONET 的健壮性,同先进的控制软件结合在一起,采取提升传送智能的方式使光网络获得前所未有的灵活性与可升级能力。自动交换光网络(ASON)就是其中一种很好的解决方案。

ASON 最早是在 2000 年 3 月日本京都召开的会议上,由 ITU-T 的 Q19/13 研究组正式提出,并将它形成 G.ason 建议草案。随后在美国、英国的支持下,ITU-T 不断对 G.ason 的内容进行修改、补充,于 2001 年发布 G.807(自动交换传送网络功能需求)和 G.8080(自动交换

光网络体系结构)两个标准。ITU-T 还陆续推出了其他一系列 ASON 相关的标准建议,为 ASON 的研究开发指明了方向。这既表明 ASON 技术实现的迫切性和重要性,另一方面也反映了欧美等国对 ASON 的研究投入巨大的人力与物力以抢占未来智能光网络市场的决心。同时,一些新老设备制造商也纷纷把注意力集中到了智能光网络上,并推出了相关产品。国际工业界、科技界对 ASON 热衷还有一个原因,就是如果对 ASON 的概念加以推广,就可以使之适用于各种不同的传送网技术,因此 ASON 具有普遍适用意义。

ASON 实质上可以看作自动交换传送网(ASTN)技术在光网络中的一种应用实例。而 ASTN 是一种更通用的网络概念,它与具体技术无关,并能提供一系列支持在传送网络上建立和释放连接的控制功能。采用 ASON 技术之后,原来复杂的多层网络结构可以变得简单和扁平化,从光网络层开始直接承载业务,避免了传统网络中业务升级时受到的多重限制。这种网络结构中最核心的特点就是支持电子交换设备(例如 IP 路由器等)动态向光网络申请带宽资源。电子交换设备可以根据网络中业务分布模式动态变化的需求,通过信令系统或者管理平面自主地去建立和拆除光通道,不需要人工干预。ASON 方案直接在光纤网络上引入了以 IP 为核心的智能控制技术,可以有效地支持连接的动态建立与拆除,可基于流量工程按需合理分配网络资源,并能提供良好的网络保护/恢复性能。因此,可以说 ASON 代表了光通信网络技术新的发展阶段和未来的演进方向。

本书围绕 ASON 核心理念,以最新国际标准和研究资料为基础,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,系统全面地介绍了 ASON 技术的原理、体系架构、关键技术、发展应用。全书内容共 16 章,其中第 1~3 章回顾了光网络的发展历程,介绍了 ASON 的提出背景和研究现状,并展望了以 ASON 为代表的下一代光网络的演进方向;第 4~8 章着重从 ASON 标准协议的角度出发,对 ASON 网络的体系结构以及信令、路由、资源管理和自动发现等各种单元技术进行了介绍;第 9~13 章从网络实践的角度出发,对 ASON 中涉及到的网络管理、节点技术、数据通信网、路由波长分配以及生存性等相关技术进行了全面分析;第 14~16 章重点介绍了城域光网络 and 核心光网络中的 ASON 解决方案,以及带宽按需分配(BOD)、光虚拟专用网(OVPN)、智能专线和存储区域网(SAN)等智能光网络提供的新型业务。

作者所在课题组自 20 世纪 90 年代中期开始研究全光通信网,先后承担并圆满完成过多项国家关于光网络的科研项目 and 实验示范网的建设,在研究中积累了较丰富的经验。本书就是在承担国家自然科学基金和国家“863”计划课题的研究过程中完成的。在此,作者对国家自然科学基金委员会和国家“863”计划多年的资助表示最衷心的感谢。

本书在作者广泛收集国内外相关资料,参阅了 ITU-T 和 IETF 的最新建议的基础上,还凝聚了作者所在课题组近年来的研究成果。这里还要感谢课题组全体同事和同学的努力。

最后,还要感谢深圳市中兴通讯股份有限公司新技术研究中心施社平、司昕、罗忠生、赵勇、古渊等同志的大力支持。他们在长期的项目合作过程中为本书的完成提供了大量有益的建议和帮助。

ASON 是一项正在发展中的新技术,涉及下一代光网络的众多研究方向。由于作者水平有限,难以做到一书概全,疏漏与不足之处,恳请同行和读者批评指正。

作者

2003.11 于北邮

目 录

第 1 章 光网络的发展历程	1
1.1 光网络传送技术的发展	1
1.1.1 同步数字体系 (SDH/SONET)	1
1.1.2 波分复用 (WDM)	3
1.1.3 光传送网 (OTN)	4
1.2 IP 智能与光层技术的融合	6
1.2.1 IP over WDM 技术	6
1.2.2 多协议标签交换 (MPLS) 技术	7
1.2.3 MP λ S 技术和 GMPLS 技术	9
1.3 光分组交换网络技术	11
1.3.1 光分组交换 (OPS) 技术	11
1.3.2 光突发交换 (OBS) 技术	13
1.4 自动交换光网络 (ASON)	14
1.4.1 为什么需要 ASON	14
1.4.2 什么是 ASON	16
1.4.3 ASON 的好处	17
1.5 小结	19
第 2 章 ASON 研究与开发现状	20
2.1 标准化进展	20
2.1.1 国际电信联盟 (ITU-T)	20
2.1.2 因特网工程任务组 (IETF)	23
2.1.3 光互联网论坛 (OIF)	24
2.1.4 光域业务互联联盟 (ODSI)	25
2.2 设备制造商和运营商概况	26
2.2.1 Sycamore 公司及其智能光网络解决方案	27
2.2.2 Ciena 公司及其智能光网络架构 LightWorks	28
2.2.3 Nortel 公司及其下一代光网络解决方案	29
2.2.4 Lucent 公司及其智能光网络解决方案	31
2.2.5 NEC 公司及其三位一体的综合解决方案	31
2.2.6 Alcatel 公司及其智能光网络解决方案	32
2.2.7 Cisco 公司及其 COMET 网络解决方案	33

2.2.8 AT&T 公司及其运营中的智能光网络	34
2.3 研究计划与试验网	35
2.3.1 IST 的 LION 研究计划	35
2.3.2 EURESCOM 的 FASHION 研究项目	37
2.3.3 中国 863 计划重大专项 3TNet	38
2.4 小结	40
第 3 章 下一代光网络的发展与 ASON 的演进	41
3.1 NGN 概述	41
3.1.1 NGN 的功能结构	41
3.1.2 NGN 的业务	42
3.1.3 NGN 的核心技术——软交换	43
3.2 下一代光网络	44
3.2.1 下一代光网络的特征	44
3.2.2 下一代光网络的研究状况	45
3.3 ASON 的演进之路	47
3.3.1 切入 ASON 的基本策略	47
3.3.2 ASON 发展三步曲	48
3.3.3 ASON 演进示例	49
3.4 小结	50
第 4 章 ASON 体系结构	51
4.1 ASON 基本概念	51
4.1.1 ASON 的提出	51
4.1.2 ASON 的新特点	51
4.2 ASON 网络体系结构	53
4.2.1 ASON 的 3 个平面	53
4.2.2 ASON 的 3 个接口	55
4.2.3 ASON 的 3 种连接	56
4.3 ASON 控制平面结构	58
4.3.1 控制平面功能需求	58
4.3.2 控制平面结构组成	59
4.3.3 控制平面接口类型	59
4.3.4 控制平面功能组件	60
4.3.5 控制平面的联合和策略	73
4.3.6 控制平面信令传送网	75
4.3.7 命名和寻址	75
4.4 ASON 控制平面实现	76
4.4.1 功能模块的实现	76

4.4.2 网络接口的实现	78
4.5 小结	82
第 5 章 分布式呼叫和连接管理信令技术	83
5.1 ASON DCM 信令的需求	83
5.2 ASON DCM 基本概念与流程	84
5.2.1 DCM 基本概念	84
5.2.2 DCM 流程	85
5.2.3 DCM 相关消息和属性	88
5.2.4 DCM 中的控制组件	92
5.3 ASON DCM 信令的协议实现	94
5.3.1 基于 PNNI 实现 DCM	94
5.3.2 基于 RSVP-TE 实现 DCM	96
5.3.3 基于 CR-LDP 实现 DCM	101
5.3.4 信令协议的比较	106
5.4 小结	108
第 6 章 ASON 中的路由技术	109
6.1 ASON 路由体系结构	109
6.1.1 路由功能结构	109
6.1.2 3 种路由方式	110
6.1.3 分层路由实现	114
6.2 ASON 路由需求和功能	118
6.2.1 ASON 路由需求	118
6.2.2 ASON 路由属性	118
6.2.3 ASON 路由消息	119
6.2.4 ASON 路径选择	122
6.3 ASON 中的路由技术	124
6.3.1 ASON 路由的新特点	124
6.3.2 基于 GMPLS 的路由	124
6.4 ASON 域内路由协议	126
6.4.1 OSPF-TE 协议扩展	126
6.4.2 IS-IS-TE 扩展	130
6.5 ASON 域间路由协议	131
6.5.1 DDRP	132
6.5.2 BGP-4	138
6.6 小结	139
第 7 章 链路资源管理技术	140

7.1	链路管理协议	140
7.1.1	控制通道管理	141
7.1.2	链路属性关联	143
7.1.3	链路连通性验证	143
7.1.4	链路故障管理	145
7.2	光网络中的链路绑定机制	146
7.2.1	共享风险链路组	147
7.2.2	链路绑定方法	147
7.2.3	绑定链路的表示	147
7.3	LMP 为 WDM 网络作出的扩展	149
7.3.1	控制通道管理	150
7.3.2	链路摘要	150
7.3.3	链路验证	151
7.3.4	故障管理	152
7.4	LMP 实现	152
7.4.1	LMP 功能模块结构	152
7.4.2	LMP 有限状态机	153
7.4.3	LMP 信息格式	157
7.5	光网络带宽管理	161
7.5.1	长途网络带宽管理	161
7.5.2	城域网络带宽管理	162
7.6	小结	163
第 8 章	自动发现技术	164
8.1	自动发现概述	164
8.1.1	基本功能	164
8.1.2	自动发现的实例	166
8.1.3	基于实例的发现流程	168
8.1.4	发现消息与属性	170
8.2	自动发现的实现	170
8.2.1	通用发现方法	170
8.2.2	传送平面的发现	171
8.2.3	控制平面的发现	172
8.3	在 SDH 网络和 OTN 中的层邻接发现	173
8.3.1	发现消息的传送机制	173
8.3.2	发现消息格式定义	174
8.3.3	层邻接发现过程	175
8.3.4	错连发现示例	175
8.4	UNI 邻居发现和业务发现	177

8.4.1	UNI 邻居发现	177
8.4.2	UNI 业务发现	179
8.5	小结	180
第 9 章	ASON 网络管理技术	182
9.1	ASON 管理平面和其他平面之间的关系	182
9.2	ASON 网络管理功能需求	183
9.2.1	传送平面管理	183
9.2.2	控制平面管理	184
9.2.3	信令网络管理	184
9.2.4	端到端连接管理	185
9.2.5	地址管理功能	185
9.2.6	多区域网络管理	186
9.2.7	业务层管理需求	186
9.2.8	安全与计费管理	186
9.3	ASON 网络管理体系架构	187
9.3.1	ASON 分层的网络管理体系架构	187
9.3.2	多区域网络管理技术	188
9.3.3	网元层管理系统	189
9.3.4	新型的智能业务管理	190
9.4	ASON 网络管理信息模型	192
9.4.1	RM-ODP 管理框架	193
9.4.2	网络管理资源模型	193
9.4.3	网络层信息模型	194
9.4.4	传送网元层信息模型	195
9.4.5	控制平面的管理信息模型	197
9.5	ASON 网络管理协议应用	197
9.5.1	网络管理协议概述	197
9.5.2	简单网络管理协议 (SNMP)	199
9.5.3	公共对象请求代理体系结构 (CORBA)	202
9.6	小结	208
第 10 章	智能光交换节点技术	210
10.1	传送平面的功能需求	210
10.2	传送平面的交换与传输技术	212
10.2.1	光交换节点结构	212
10.2.2	光开关技术	213
10.2.3	传输节点的电交换方案	214
10.3	智能光 MEMS 技术	215

10.3.1 MEMS 结构	216
10.3.2 MEMS 应用	218
10.4 多粒度光交换技术	221
10.4.1 多粒度光交换节点功能结构	223
10.4.2 多粒度节点控制与管理技术	225
10.4.3 多粒度光交换系统应用	228
10.5 小结	234
第 11 章 数据通信网 (DCN) 技术	235
11.1 DCN 概述	235
11.1.1 基本概念和特性	235
11.1.2 DCN 的接口	237
11.1.3 DCN 互操作	237
11.2 支持 ASON 的 DCN	238
11.2.1 ASON DCN 的要求	238
11.2.2 支持 ASON 的数据通信功能	240
11.3 ASON DCN 的实现	242
11.3.1 DCN 在光网络中的实现	242
11.3.2 DCN 在 UNI 的实现	245
11.3.3 在自动发现中的 DCN 应用	247
11.3.4 ASON DCN 实现分析	248
11.4 小结	251
第 12 章 ASON 中的路由和波长分配	252
12.1 WDM 网络中的 RWA 问题	252
12.1.1 RWA 问题概述	252
12.1.2 动态路由与波长分配	253
12.2 ASON 中的 RWA 问题	257
12.2.1 光网络 RWA 相关问题	258
12.2.2 ASON 中 RWA 相关问题	260
12.2.3 ASON 中 RWA 算法	261
12.3 ASON 中的 RWA 模块	264
12.4 控制协议与 RWA 的关系	265
12.5 小结	265
第 13 章 ASON 中的生存性技术	266
13.1 生存性技术概述	266
13.2 各种网络的生存性技术	269
13.2.1 IP 网络的生存性技术	269

13.2.2 SDH 网络生存性技术	270
13.2.3 WDM 网络的生存性技术	271
13.3 ASON 中的生存性	273
13.3.1 ASON 的生存性特点	273
13.3.2 ASON 中的保护/恢复	274
13.3.3 ASON 域内/域间恢复机制	276
13.4 GMPLS 实现的生存性机制	278
13.4.1 GMPLS 中的保护和恢复机制	278
13.4.2 GMPLS 的链路故障管理机制	281
13.4.3 GMPLS 的生存性路由机制	283
13.4.4 GMPLS 的生存性信令机制	283
13.5 控制平面的生存性机制	287
13.5.1 控制平面与 IP 网络的关系	287
13.5.2 可靠的路由和信令协议	288
13.5.3 控制平面的故障恢复	290
13.6 多层生存性机制	292
13.6.1 多层网络的恢复方法	293
13.6.2 多层网络备用容量机制	295
13.6.3 ASON 中的多层生存性	296
13.7 小结	298
第 14 章 ASON 在城域光网络中的应用	299
14.1 城域光网络概述	299
14.1.1 城域网络概念	299
14.1.2 城域光网络技术	301
14.1.3 城域光网络发展趋势	302
14.2 城域光网络发展现状	302
14.2.1 新一代 SDH 多业务传送平台 (MSTP)	302
14.2.2 城域光以太网技术	305
14.2.3 弹性分组环技术 (RPR)	307
14.2.4 城域 WDM 技术	308
14.3 ASON 在城域光网络中的解决方案	312
14.3.1 智能城域光网络概述	313
14.3.2 智能城域光网络技术特点	314
14.4 各大公司城域智能光网络解决方案	317
14.4.1 IDN 智能城域光网络解决方案	317
14.4.2 Ciena ONLINE 2500 智能粗波分多业务平台	319
14.4.3 Sycamore 智能光交换设备	320
14.4.4 Nortel 智能城域光网络方案	322

14.4.5 Alcatel 公司解决方案	323
14.5 小结	324
第 15 章 ASON 在核心光网络中的应用	325
15.1 核心光网络概述	325
15.1.1 核心光网络技术特点	325
15.1.2 构建新一代的智能核心光网络	329
15.2 智能核心光网络	330
15.2.1 智能核心光网络结构	330
15.2.2 智能核心光网络设备	331
15.2.3 智能核心光网络功能	332
15.3 各大公司智能核心光网络解决方案	333
15.3.1 Lucent 智能核心光网络技术	333
15.3.2 Ciena 下一代智能核心光网络	335
15.3.3 Sycamore 智能光交换设备	340
15.3.4 Siemens 公司 ASON 试验网络	342
15.3.5 Nortel 下一代核心光网络	344
15.4 小结	346
第 16 章 智能光网络中的新型业务	347
16.1 网络发展对业务的影响	347
16.1.1 业务需求的变化	347
16.1.2 网络层次的简化	348
16.1.3 智能控制的引入	350
16.2 智能光网络中的业务特点	351
16.2.1 业务种类	351
16.2.2 业务连接类型	352
16.2.3 业务等级	352
16.2.4 业务接入	353
16.3 智能光网络中的业务体系	354
16.3.1 业务管理体系结构	354
16.3.2 服务等级协定 (SLA) 的应用	354
16.3.3 多种新型业务的提供	356
16.4 带宽按需分配 (BOD) 业务	357
16.5 光虚拟专用网 (OVPN) 业务	359
16.5.1 OVPN 的参考模型	360
16.5.2 OVPN 的实现技术	361
16.5.3 OVPN 业务的应用	363
16.5.4 智能光网中的 OVPN	365

16.5.5 OVPN 的实现举例	366
16.6 智能专线业务	368
16.7 存储区域网业务	369
16.7.1 应用模式 1：存储合并	370
16.7.2 应用模式 2：集中备份应用	370
16.7.3 应用模式 3：不间断业务	370
16.8 小结	371
附录 ASTN/ASON 系列建议	372
缩略语	373
参考文献	380

第 1 章 光网络的发展历程

当今的时代是信息的时代，是网络的时代。信息网络时代的发展可由所谓的三大定律来概括。第一定律是摩尔定律，1964 年英特尔公司创始人戈登·摩尔（Gordon Moore）提出：每 18 个月，集成电路的性能将提高一倍，而其价格将降低一半。第二定律是吉尔德定律，乔治·吉尔德于 1997 年曾预测：在未来 25 年，主干网的带宽将每 6 个月增加一倍。第三定律是麦特卡尔夫定律，以太网的发明人鲍勃·麦特卡尔夫告诉我们：网络价值同网络用户数量的平方成正比。近几十年来，这 3 个定律预测、指导并验证了以电子技术为基础的互联网的发展，引领人们进入了网络的世界，影响深远。

到了 20 世纪 90 年代，人们通过各种方式看到光网络的蔚然兴起。光网络是新兴光纤通信技术的产物，带来了网络世界前所未有的变革。为把握光网络的发展动向，联合国“1999 世界电信论坛会议”副主席约翰·罗斯（John Roth）在会议开幕演说时提出光纤定律：光纤通信容量每 9 个月会增加一倍，但成本降低一半，比晶片变革速度的每 18 个月还快。按如此高的速度发展，光网络注定会在世界范围的电信基础结构中扮演极其重要的角色。

光网络并不仅仅是简单的光纤传输链路，它是在光纤提供的大容量、长距离、高可靠的传输媒质基础上，利用光和电子控制技术实现多节点网络的互联和灵活调度。光网络发展到今天，大致可以分为两代：

第一代光网络是以 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，规范了光接口，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的网络管理功能。SDH/SONET 采用光传输系统和电子节点的组合，光技术用于实现大容量传输，光信号在电子节点中转换成电信号，在电层上实现交换、选路和其他智能。随后发展的 WDM 光网络技术进一步挖掘了光纤的带宽潜能，提高了网络的传输性能，但在联网技术上没有实现统一，网络性能仍然没有改善。

ITU-T 提出的光传送网（OTN）可以认为是第二代光网络，主要特点为：增加了交换、选路和其他智能在光层上的实现，从而是真正意义上的“光”网络。随着 OTN 技术的成熟，网络的智能化和自动化的程度越来越高，同时服务质量（QoS）保证和流量工程的特性也日益明显，这些都预示了光网络正向下一代网络的发展。自动交换光网络（ASON）正是在这一历史发展潮流中从各项技术中脱颖而出的。

光网络传送技术是 ASON 发展的基础。在介绍 ASON 之前，我们首先简单介绍一下各阶段光网络技术的特点。

1.1 光网络传送技术的发展

1.1.1 同步数字体系（SDH/SONET）

随着光纤通信在电信网中获得大规模应用，1984 年美国贝尔通信研究所提出了同步光网

络 (SONET) 的概念, 后来 ITU-T 的前身 CCITT 将它发展成为同步数字体系 (SDH), 使之成为一种有机地结合了高速大容量光纤传输技术和网络管理控制技术的新体制, 建立了全球性的统一标准。SDH/SONET 建设开始在全世界范围内进入高潮, 这标志着现代光网络的兴起。

SDH/SONET 是由一整套分等级的标准数字传送结构组成的, 适用于各种经适配处理的净负荷在物理媒质上传送。这套标准化的信息结构等级, 称为同步传送模块 (STM, Synchronous Transport Module), 通常用 STM-N 标识, 当 $N=1、4、16$ 时, 其最基本的模块为 STM-1、STM-4 和 STM-16。SDH/SONET 具有一种块状帧结构, 整个帧结构由段开销区、净负荷区和管理单元指针三部分组成, 段开销区主要用于网络的运行、管理、维护及指配, 以保证信息能够正常灵活地传送; 管理单元指针用来指示净负荷区内的信息首字节在 STM-N 帧内的准确位置, 以便接收时能正确分离净负荷; 净负荷区用来存放用于信息业务的比特和少量的用于通道维护管理的通道开销字节。

SDH/SONET 规范了一整套特殊的复用方法, 允许 PDH 体系、SDH 体系和 B-ISDN 信号都能进入其帧结构, 因而具有广泛的适应性。各种业务信号进入 SDH 的帧结构都要经过 3 个步骤: 映射、定位和复用, 如图 1-1 所示。映射是将各种进来的速率不等的信号先经过码速调整, 再装入相应的标准容器 C 中, 同时加入通道开销 (POH) 形成虚容器 (VC); 定位是将帧相位发生偏差 (称帧偏移) 的信息收进支路单元或管理单元, 它通过支路单元指针或管理单元指针的功能来实现; 复用是将多个低阶通道层信号通过同步间插进入高阶通道层或将多个高阶通道层信号通过间插进入复用段层的过程。

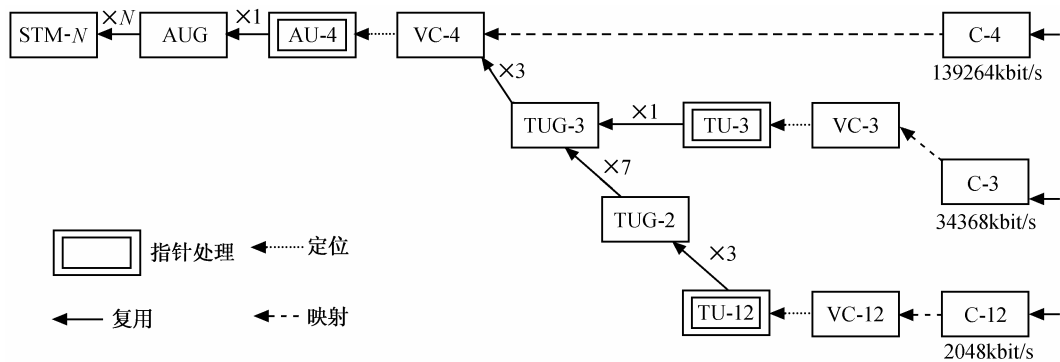


图 1-1 SDH 的复用、映射和定位

SDH/SONET 统一了北美、日本和欧洲 3 个地区性标准, 各种数字传送信号在 STM-1 等级以上获得统一, 使国际电信互通成为可能。由于 SDH/SONET 电信传送采用了同步复用方式和灵活的映射结构, 可以利用软件实现高阶信号与低阶支路信号之间所谓的一步复用, 因此, 上下业务十分容易, 大大简化了交叉连接设备。SDH/SONET 还采用了标准的光接口, 代替了大量电接口, 节省了网络投资, 提高了网络性能, 可实现多厂家设备互联, 便于组成复杂的网络。此外, 由于 SDH/SONET 帧结构中安排了大约占总信号 5% 的丰富的开销比特, 极大地加强了网络的运行、管理和维护能力。

正因为上述优点, SDH/SONET 出现后很快成为长途传送网上的主要技术。SDH/SONET 传输网是由一些 SDH 网络单元组成的, 包括终端复用器和分插复用器, 这类新型网络单元功

能强大,使 SDH/SONET 传输网融复接、传输、交换功能于一体,组网形式也很灵活,形式有如线形、环形等。实际使用的 SDH/SONET 通常由高生存性的环状结构构成,这种结构与 SDH 灵活可靠的保护方式相结合,使光纤在切断时具有自愈能力。现在,全世界遍布了超过 150 000 个 SDH/SONET 环。

虽然 SDH/SONET 已成为世界各地的网络基础,其他网络往往架构在它之上,但是,在 SDH/SONET 中,光主要起传输媒质的作用,控制管理信令处理都是通过电完成的。这不仅要求增加光/电、电/光变换设备,而且增加了开销处理时间。不仅如此,光电之间的转换抵消了光传输带来的信息透明性的优点。而且随着网络规模的扩大,SDH/SONET 开销已不再充裕,多级复用还造成带宽利用率低的缺点。更为重要的是,SDH/SONET 难以跟上数据业务高速发展的步伐,既不利于支持数据业务格式,又有容量匮乏的局限性。总之,SDH/SONET 的不足业已显现,迫切要求光网络进一步发展。

1.1.2 波分复用 (WDM)

随着数据通信的迅速发展,特别是 Internet 业务量呈爆炸性增长,对数据传输网带宽的需求越来越高。这种传输网信息容量需求的快速增长,带来的直接后果是所谓的“光纤耗尽”的现象,即现有的光纤通信系统出现了负载能力接近饱和的情况,网络扩容问题首先提上了议事日程。

网络扩容的复用技术包括波分复用 (WDM)、时分复用 (TDM)、码分复用 (CDM)。其中,TDM 和 CDM 对电子器件的要求很高,目前还没有成熟的实用化产品,而在 WDM 中,电子设备的速率只要求是一个波长信道的速率即可,而且随着掺铒光纤放大器 (EDFA) 的发明,WDM 在 20 世纪 90 年代中期以后迅速走向成熟并进入商业化应用。

所谓 WDM 技术,就是在单一光纤内同步传输多个不同波长的光波,让数据传输速度和容量获得倍增。它充分利用单模光纤的低损耗区的巨大带宽资源,采用复用器在发送端将不同波长的光载波进行合并,然后传入单模光纤,在接收端再由解复用器将不同波长的光载波分开。WDM 系统构成如图 1-2 所示。

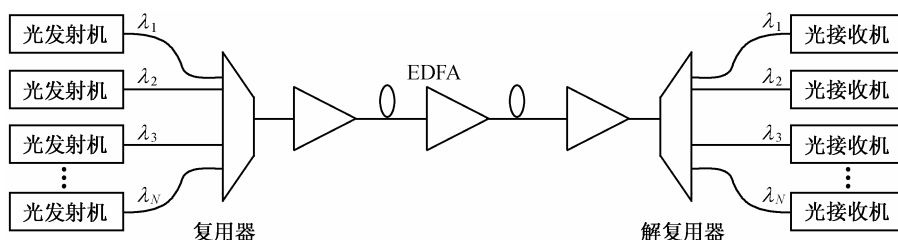


图 1-2 WDM 系统构成

采用不同的波分复用器 (分波器和合波器),可以复用不同数量的波长。由于目前一些光器件与相关技术还不十分成熟,因此要实现光信道十分密集的光频分复用还较为困难。在这种情况下,人们把在同一窗口中信道间隔较小的波分复用称为密集波分复用 (DWDM)。目前 DWDM 采用 1550nm 窗口,因为这个窗口正好对应 EDFA 增益平坦的放大区。DWDM 单纤所能复用的波长数不断攀升,从最初的 8 波、16 波,到 32 波、64 波,甚至达到 256 波、1024 波等。