

新一代信息通信技术书系·光网络专辑

新一代城域 光传送技术

张继军 杨 壮 编著

XINYIDAI CHENGYU

GUANGCHUANSONG

JISHU



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



通信技术书系·光网络专辑

新一代城域光传送技术

张继军 杨 壮 编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

随着国内外电信运营市场竞争的日趋激烈,城域网,特别是城域传送网的建设逐渐成为业界关注的重点。当前,已经出现了一系列新一代城域光传送技术,包括:基于SDH的多业务传送平台、城域DWDM和OADM、CWDM、弹性分组环RPR和城域以太网等。这些具有不同的发展背景、不同的组网和业务承载能力,以及不同的网络应用环境的新一代城域光传送技术,正在逐步适应各种类型的城域网应用需求和运营商网络建设、维护、管理的需要,并已经在实际的网络应用中初步显露出各自的竞争优势。本书对上述新一代城域光传送技术的原理与特点、最新技术发展和网络应用进行了系统、深入的介绍。

本书可供从事电信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。

图书在版编目(CIP)数据

新一代城域光传送技术/张继军,杨壮编著. —北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-1100-8

I.新... II.①张...②杨... III.光纤通信—数字传输系统—通信技术 IV.TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第052824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:北京通州皇家印刷厂印刷

开 本:787 mm×960 mm 1/16

印 张:23.25

字 数:504千字

印 数:1—3000册

版 次:2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

ISBN 7-5635-1100-8/TN·383

定 价:39.00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 ·

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 顾畹仪 纪越峰 张 杰

程时端 王文东 朱其亮 舒华英

(排名不分先后)



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 and 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!

乐之新

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。

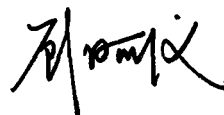
提供丰富多彩的业务是充分发挥网络带宽和资源效益的前提。城域光网络和接入光网络面向用户和业务,提供业务的接入、梳理、汇聚和传输功能,成为近几年通信网建设的重点。

“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

前 言

城域传送网位于干线网与接入网的交汇处,是通信网中应用环境最复杂的网络之一。采用不同协议类型、具有不同速率等级和 QoS 需求的各类业务流量都将直接或间接地通过城域传送网承载,在城域范围内汇聚、分流,进出干线网络。

随着电信运营市场竞争的加剧,城域网络的建设者们迫切需要针对各自的网络运营特点、网络资源现状,及其主要目标用户的应用需求,构建一个具有较强市场竞争能力的城域光传送网络。在 20 世纪末到 21 世纪初的若干年时间里,一系列“新一代城域光传送技术”产生并迅速发展起来。目前,最受关注的城域光传送技术包括:基于 SDH 的多业务传送平台、城域 DWDM 和 OADM、CWDM、RPR、城域光以太网等。

正是由于处身于城域网这一业界公认的最复杂的网络应用环境中,经过不断的技术创新与发展,新一代城域光传送技术才演绎得如此丰富多彩,令人眼花缭乱。这些具有不同的发展背景、不同的组网和业务承载能力,且仍处于不断发展之中的新一代城域光传送技术,正在逐步适应各种类型的城域网应用需求和运营商网络建设、维护、管理的需要,并已经在实际的网络应用中初步显露出各自的竞争优势。

本书分 8 章。第 1 章介绍城域网和城域光传送网的基本概念和特点,并概要地分析当前主流的新一代城域光传送技术及其应用选择与发展趋势。第 2、3、4 章详细介绍基于 SDH 的多业务传送平台 MSTP,其中,第 2 章主要介绍 MSTP 的基本概念和特点、节点的技术发展和功能要求、网络管理、在城域网中的组网与应用,以及相关标准化进展等;第 3 章主要介绍 MSTP 实现以太网业务承载的相关关键技术;第 4 章主要介绍内嵌 MPLS 部分的相关关键技术。第 5 章和第 6 章介绍基于 WDM 的新一代城域光传送技术,分别是城域 DWDM 和 OADM,以及 CWDM。第 7 章和第 8 章介绍两种类型的基于分组

的城域光传送技术,即弹性分组环 RPR 和城域光以太网。

在本书的编写过程中,得到了武汉邮电科学研究院、烽火通信公司多位专家的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,加之本书涉及的部分技术仍处于不断发展、完善的过程中,书中某些观点和论述难免有谬误之处,恳请广大读者批评指正。

作者
2005年5月于武汉

目 录

第 1 章 概述

1.1 城域网和城域光传送网	1
1.1.1 城域网的基本概念和特点	1
1.1.2 城域光传送网的基本概念和特点	4
1.1.3 城域光传送网的建设原则	9
1.2 新一代城域光传送技术	10
1.2.1 基于 SDH 的多业务传送平台	11
1.2.2 城域 DWDM 和 CWDM	12
1.2.3 基于分组的新一代城域光传送技术	13
1.2.4 自动交换光网络	16
1.3 城域光传送技术的应用选择与发展趋势	18
1.3.1 新一代城域光传送技术的应用选择	18
1.3.2 新一代城域光传送技术的发展趋势	22

第 2 章 基于 SDH 的多业务传送平台(一)——概论

2.1 基于 SDH 的 MSTP 的基本概念和特点	25
2.1.1 基于 SDH 的 MSTP 的产生	25
2.1.2 基于 SDH 的 MSTP 的基本概念	28
2.1.3 基于 SDH 的 MSTP 的特点	28
2.2 MSTP 节点的技术发展和功能要求	29
2.2.1 MSTP 节点的技术发展	29
2.2.2 MSTP 节点的功能要求	32
2.3 MSTP 的网络应用	39
2.3.1 MSTP 承载以太网业务的网络应用	39

2.3.2	MSTP 承载 ATM 业务的网络应用	47
2.4	MSTP 的网络管理	51
2.4.1	MSTP 传送网网络管理的体系结构	51
2.4.2	MSTP 网络管理的基本功能	52
2.4.3	MSTP 的用户业务管理——以太网业务管理	54
2.5	MSTP 和以太网技术的标准化进展	57
2.5.1	中国通信标准化协会	57
2.5.2	国际电信联盟	58
2.5.3	Internet 工程任务组	60
2.5.4	城域以太网论坛	61
2.5.5	电气和电子工程师协会	62

第 3 章 基于 SDH 的多业务传送平台(二)——以太网业务承载及其关键技术

3.1	新一代 SDH 关键技术	65
3.1.1	SDH 的 VC 级联与虚级联	65
3.1.2	链路容量调整方案	78
3.2	以太网业务 over SDH 的封装协议	87
3.2.1	PPP/HDLC 协议	87
3.2.2	ML-PPP 协议	92
3.2.3	LAPS 协议	95
3.2.4	通用成帧规程	100
3.3	虚拟局域网	109
3.3.1	虚拟局域网技术	109
3.3.2	虚拟局域网标准 IEEE 802.1q/p	113
3.3.3	IEEE 802.1q 中的 3 个注册协议	115
3.4	生成树协议和生成树协议的发展	117
3.4.1	生成树协议	117
3.4.2	快速生成树协议	120
3.4.3	生成树协议的进一步发展	124

第 4 章 基于 SDH 的多业务传送平台(三)——内嵌 MPLS 部分的关键技术

4.1	MPLS 技术概述	128
4.1.1	MPLS 的基本原理	128
4.1.2	MPLS 的主要特点与技术优势	130

4.1.3	MPLS 协议介绍	131
4.2	边缘到边缘伪线仿真	136
4.2.1	PWE3 概述	136
4.2.2	PWE3 体系结构	138
4.2.3	PWE3 协议分层模型	140
4.2.4	以太网业务仿真	145
4.3	内嵌 MPLS 承载以太网业务的处理过程	147
4.3.1	内嵌 MPLS 承载以太网业务的体系结构	147
4.3.2	以太网业务的处理过程	149
4.3.3	MSTP 内嵌 MPLS 部分的信令和路由	149
4.4	MPLS L2 VPN	152
4.4.1	L2 VPN 的体系结构和功能组件	153
4.4.2	L2 VPN 的业务类型	157
4.4.3	基于 MSTP 的 MPLS L2 VPN	161
4.5	MPLS 流量工程	162
4.5.1	MPLS 流量工程概述	162
4.5.2	流量中继属性和特征	164
4.5.3	资源属性	168
4.5.4	约束路由	169
4.5.5	基于 MSTP 的 MPLS 流量工程功能	170
4.6	MPLS OAM	170
4.6.1	MPLS OAM 概述	170
4.6.2	MPLS 故障检测	172
4.6.3	MPLS 缺陷通告	175
4.6.4	基于 MSTP 的 MPLS OAM 功能	177
4.7	MPLS 的保护机制	177
4.7.1	MPLS 保护机制概述	177
4.7.2	MPLS 保护倒换	178
4.7.3	MPLS 重路由	184
4.7.4	MPLS 快速重路由	186
4.7.5	基于 MSTP 的 MPLS 保护功能	187
4.8	基于 MSTP 的以太网业务的 QoS 保证	188
4.8.1	应用于 MSTP 的 QoS 构件模块和体系结构框架	188
4.8.2	MSTP 控制平面 QoS 保证机制	190

4.8.3	MSTP 数据平面 QoS 保证机制	192
4.8.4	MSTP 管理平面 QoS 保证机制	195
4.8.5	QoS 信令	197

第 5 章 城域 DWDM 和 OADM

5.1	波分复用的基本概念和技术发展	198
5.1.1	导论	198
5.1.2	DWDM 的基本概念	202
5.1.3	DWDM 的特点	205
5.1.4	DWDM 的基本组成和关键技术	206
5.1.5	DWDM 的技术发展趋势	208
5.2	城域 DWDM 的特点和网络应用	210
5.2.1	城域 DWDM 概述	210
5.2.2	城域 DWDM 的特点	212
5.2.3	城域 DWDM 的网络应用	215
5.3	城域 DWDM 和 OADM 的关键技术	218
5.3.1	OADM 的节点结构	218
5.3.2	OADM 的节点实现	220
5.3.3	OTU 功能和子速率带宽复用	225
5.3.4	城域 DWDM 的环网保护	228

第 6 章 CWDM

6.1	CWDM 的基本概念和特点	235
6.1.1	CWDM 概述	235
6.1.2	CWDM 的波长分配	237
6.1.3	CWDM 的光接口分类	239
6.1.4	CWDM 的特点	242
6.2	CWDM 的关键技术	243
6.2.1	光收发模块	243
6.2.2	复用/解复用技术	245
6.2.3	CWDM 系统保护技术	249
6.2.4	CWDM 的光纤选型	251
6.2.5	CWDM 系统的监控与网络管理	253

6.3 CWDM 的网络应用	253
6.3.1 CWDM 网络应用的拓扑类型	253
6.3.2 CWDM 和 DWDM 的混合应用	257
6.3.3 CWDM 工程设计和应用中应考虑的问题	257

第 7 章 弹性分组环

7.1 概述	259
7.1.1 RPR 的基本概念和特点	259
7.1.2 RPR 的标准化进展	264
7.1.3 RPR 在城域网中的实现与应用	266
7.1.4 RPR 的帧格式	268
7.2 RPR MAC 数据通道	273
7.2.1 RPR MAC 支持的通道类型	273
7.2.2 速率控制和发送速率同步	277
7.2.3 接收操作	279
7.2.4 发送操作	281
7.3 RPR 的公平性	282
7.3.1 环网公平性概述	282
7.3.2 RPR MAC 层的公平性特点	284
7.3.3 RPR 公平算法的实现	285
7.4 RPR 的拓扑发现和环网保护	290
7.4.1 概述	290
7.4.2 RPR 环拓扑发现算法	292
7.4.3 RPR 故障响应机制	295
7.5 RPR 的运行、管理和维护	297
7.5.1 概述	297
7.5.2 RPR 支持的 OAM 功能和故障管理	298
7.5.3 OAM 帧格式	300

第 8 章 城域光以太网

8.1 城域光以太网概述	303
8.1.1 以太网的发展历史	303
8.1.2 城域光以太网的基本概念和体系架构	305

8.1.3 城域光以太网的特点及支持的业务类型	308
8.1.4 城域光以太网的分类	310
8.2 城域光以太网的关键技术	312
8.2.1 端到端的 QoS 保证	312
8.2.2 城域光以太网的保护机制	313
8.2.3 城域光以太网的安全技术	315
8.2.4 10 Gbit/s 以太网	317
8.3 城域光以太网的扩展性问题和帧的封装	321
8.3.1 可扩展的以太网:VLAN 堆栈	322
8.3.2 可扩展的以太网桥接:MAC-in-MAC	324
8.3.3 MPLS 的链路层(Layer 2)封装	326
8.3.4 不同封装机制的比较	327
8.4 城域光以太网的运行、管理和维护	329
8.4.1 城域光以太网的 OAM 概述	329
8.4.2 以太网的基本 OAM 功能	332
附录 缩略语	339
参考文献	350

随着国内外电信运营市场竞争的日趋激烈,城域网,特别是城域传送网的建设逐渐成为业界关注的重点。城域传送网位于干线网与接入网的交汇处,是通信网络中应用环境最复杂的网络之一。采用不同协议类型、具有不同速率等级和 QoS 需求的各类业务流量都将直接或间接地通过城域传送网承载,在城域范围内汇聚、分流,进出干线网络。

近年来,已经出现了一系列新一代城域光传送技术,具体包括:基于同步数字体系(SDH, Synchronous Digital Hierarchy)的多业务传送平台、城域 DWDM 和 CWDM、基于分组的城域光传送技术(如弹性分组环、光以太网和多业务环),以及代表未来光传送技术发展方向的自动交换光网络等。正是因为处身于城域网这一业界公认的最复杂的网络应用环境中,经过 10 余年发展,新一代城域光传送技术才逐渐演绎得如此丰富多彩,令人眼花缭乱。

1.1 城域网和城域光传送网

1.1.1 城域网的基本概念和特点

1. 城域网的基本概念

城域网(MAN, Metropolitan Area Network)的概念源自数据通信。随着数据通信的发展,根据网络覆盖的地理范围大小,网络被分为局域网(LAN, Local Area Network)、城域网(MAN)和广域网(WAN, Wide Area Network)。因此,从通信发展历史看,城域网最初产生于局域网互联和数据新业务发展的需要。1990年,IEEE规范了一种覆盖城域范围的特定新型计算机网络,即 IEEE 802.6 分布式排队双总线(DQDB, Distributed Queue Dual Bus)标准,这是早期城域网建设遵循的规范。随着通信市场和网络技术的不断发展变化,城域网逐渐发展成为各类具有不同背景的通信运营公司的区域性多业务通信网,负责在城域范围内为不同的用户提供类型丰富多样的通信服务。

从基本特征看,城域网是一种面向城域范围内各类用户的,最大可覆盖城市及其郊区范围的,可提供丰富业务和支持多种通信协议的公用网,实际是一种带有某些广域网特点的本地应用型公用网络。由于城域网是一个提供电信运营服务的公用多业务网,因而它