

中国光谷(武汉)光纤通信工程应用丛书

Engineering Applications of
Optical Fiber Communications Systems

光纤通信系统工程应用

胡先志 张世海 陆玉喜 等编著

武汉理工大学出版社
Wuhan University of Technology Press

中国光谷(武汉)光纤通信工程应用丛书

Engineering Applications of
Optical Fiber Communications Systems
光纤通信系统工程应用

胡先志 张世海 陆玉喜 等编著

武汉理工大学出版社

Wuhan University of Technology Press

【内容提要】

本书是一部有关光纤通信系统工程应用的专著。书中全面介绍了光纤、光源与探测器、SDH、DWDM、城域光网络、接入网、网络管理、光网络规划及光纤通信技术的发展趋势等具体内容。

全书涉及整个光纤通信技术,书中所阐述的内容丰富、技术新颖,工程应用实例较多。本书是一本既充分展现作者各自工作专长,又展示出作者们集体智慧的技术专著。它可供从事光纤通信研究、生产和工程应用的技术人员使用,也可供从事光纤通信技术及相关专业大专院校师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信系统工程应用/胡先志,张世海,陆玉喜等编著. —武汉:武汉理工大学出版社,2003. 10

ISBN 7-5629-2016-8

I. 光… II. ① 胡… ② 张… ③ 陆… III. 光导纤维通信系统 IV. TN929. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 097673 号

武汉理工大学出版社发行

(武汉市珞狮路 122 号 邮政编码 430070)

各地新华书店经销

武汉市科普教育印刷厂印刷

*

开本:880×1230 1/32 印张:13.75 字数:400 千字

2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

印数:1~3000 册 定价:30.00 元

“中国光谷(武汉)光纤通信工程应用丛书”

出版说明

为了帮助我国从事光纤通信工程技术工作的技术人员系统地掌握光纤通信专业中所涉及到的光纤、光缆、系统设备、光有源器件和光无源器件的基础理论知识,提高解决专业技术问题、做好实际工作的能力,了解光纤通信技术领域光纤、系统、有(无)源器件等方面的最新研究成果和技术发展趋势,我们与中国光谷(武汉)核心单位之一的武汉邮电科学研究院通力协作,组织编写了这套“中国光谷(武汉)光纤通信工程应用丛书”。本丛书暂定为四卷,陆续出版。四卷的名称分别为:《光纤通信光纤光缆工程应用》、《光纤通信系统工程应用》、《光纤通信光有源器件工程应用》和《光纤通信光无源器件工程应用》。这套工程应用丛书的主要读者对象定位在从事光纤通信技术工作的各通信运营商的工程师、参加工作不久的大专院校通信学科各专业毕业生等。希望通过阅读这套丛书,使他们能够进一步提高理论水平和解决实际问题的能力。

这套工程应用丛书的特点是:强调基础理论、突出内容新颖、着重工程应用,力求做到资料丰富完备,叙述条理清楚、深广度适宜,同时也尽可能对光纤通信技术走势作出一些预测性分析,为读者日后工作和学习指明一个努力方向。

这套工程应用丛书的内容从实际应用出发,十分注意将国内外光纤通信技术标准规范的指标与国内工程应用的具体情况相结合,通过简单明了的文字和清晰直观的图表,向广大读者介绍光纤通信技术所涉及到的光纤、系统、有(无)源器件等方面的基础理论、关键技术、应用实例、发展趋势等具体内容。

对于为本丛书作序的中国工程院院士、中国光谷(武汉)首席

科学家赵梓森先生,对于参与这套工程应用丛书编写的众多专家和支持本丛书出版的有关方面人士,我们表示衷心感谢。我们也殷切希望广大读者能够对本丛书提出宝贵意见和建议,使这套光纤通信工程应用丛书日臻完善。

武汉理工大学出版社

2003 年 7 月

序 言

本人十分高兴地获悉由中国光谷(武汉)核心单位之一武汉邮电科学研究院等单位的中青年同志集体编著的这套光纤通信工程应用丛书即将由武汉理工大学出版社出版,特作序举荐给广大读者。

众所周知,21 世纪是信息社会。信息社会最重要的技术支柱之一是光纤通信。光纤通信以其通信容量大、中继距离长、光纤自重轻、抗电磁干扰能力强等优点,构筑起了以光纤通信为主,以微波和卫星通信为辅的通信格局。

自 1966 年高锟博士提出,利用石英玻璃纤维传送光信号进行通信的光纤通信思想以来,短短 30 多年,光纤通信技术领域中所涉及的光纤、光(电)器件、系统设备等相互促进、共同发展,赢得一个又一个通信领域的革命。今天,由光纤、光(电)器件、系统设备和计算机共同组成的因特网,已经实现了话音、数据和图像互通。为了实现光纤通信的更高理想——光纤到家庭,从事光纤通信技术工作的科技人员还在孜孜不倦地努力和奋斗之中。

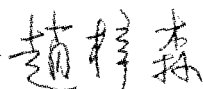
在国内的光纤通信技术发展中,尽管武汉邮电科学研究院曾经取得过不少令人瞩目的成就,但是武汉邮电科学研究院的老、中、青三代研究人员仍在光纤通信技术的各个领域中积极奋战,力求紧跟世界光纤通信技术的发展步伐。与此同时,我院的研究人员也应该在光纤通信技术的推广和应用中做出自己的贡献。

本丛书的作者都是多年来一直从事光纤通信领域各个分支方向研究工作的中青年科技人员。他们凭借自己掌握的理论基础和具体研究工作的实际经验撰写了这套光纤通信工程应用丛书。我

相信,这套丛书的陆续出版,将会对我国光纤通信技术发展起到积极的推动作用。

这套丛书的主要特点是文字叙述从实用出发,在内容新颖、图表清晰直观的基础上,还列举了许多典型工程应用实例,以利于举一反三。因此,这套丛书对从事光纤通信技术研究、生产和工程应用的广大科技人员是一套好的实用技术专著。

中国工程院院士

中国光谷(武汉)首席科学家 

2003年5月7日

前 言

21 世纪将是信息时代。光纤通信是支持信息时代的最重要的通信技术之一。为了使广大从事光纤通信技术研究、生产和工程应用的读者能够深入地了解光纤通信技术领域各个分支的研究要点、技术关键和应用要求等具体内容,我们集体编写了这本《光纤通信系统工程应用》专著。

本书首先介绍光纤通信技术发展历程;然后对光纤光缆、光源和光探测器、SDH 技术、DWDM 系统、光城域网、光接入网、光网络管理、光网络规划等内容一一作了详细讨论;最后对光纤通信技术的发展趋势——智能光网络及其它光纤通信新技术也作了简要介绍。

本书的特点是:写作目的立足实用,文字叙述力求深入浅出、简单明了;图表直观清晰;列举的实例均为典型工程,以利于读者能够充分了解光纤通信技术关键和掌握如何将光纤通信技术应用到实际工程中。

本书的作者都是多年来从事光纤通信技术领域各个分支具体研究的中青年科技人员。他们在各自繁忙的工作之余,抽出点滴时间编写这本专著。尽管本书是凝聚着作者集体的智慧结晶,但也难免会出现一些不妥之处,敬请读者批评指正。

本书的编写分工为:胡先志第 1、3 章,陆玉喜第 2 章,丹亚第 4 章,张世海第 5、6 章,唐艳芳第 7 章,庞立鹏第 8 章,高鹏第 9 章,李永红第 10 章。陆玉喜、张世海参加了本书初稿的统稿和修改工作。全书最后由胡先志统一修改定稿。

在本书的编写出版过程中参考了众多专家的研究成果,为尊重他们的劳动成果,我们在书末的参考文献中尽量一一列举,但难

免有遗漏之处,还请多加谅解。同时,正因为得到了武汉理工大学出版社雷绍锋社长、杨学忠副社长的大力支持和热心帮助,本书才得以顺利出版。特别是曹文聪教授的严谨治学态度和深厚的文字功底,使本书的质量得到升华。在此,作者向他们一并表示诚挚的敬意和由衷的感谢!

编著者

2003年1月16日

目 录

1 光纤通信的发展	1
1.1 光纤的发展	1
1.1.1 光纤的作用	1
1.1.2 光纤研究要点	2
1.1.3 光纤品种的演进	4
1.1.4 光纤发展	9
1.2 光器件的发展	10
1.2.1 光器件的作用	10
1.2.2 光器件的发展	11
1.3 光纤通信系统技术	16
1.3.1 PDH 技术	16
1.3.2 SDH 技术	17
1.3.3 SDH 应用	23
1.3.4 波分复用	25
1.3.5 全光网	28
2 光纤与光缆	31
2.1 光纤的导光原理及结构	31
2.2 光纤的制造	33
2.2.1 制棒工艺	33
2.2.2 拉丝	37
2.3 光纤的传输特性	37
2.3.1 衰减及其对系统的影响	37
2.3.2 色散及其对系统的影响	43
2.3.3 偏振模色散及其对系统的影响	46

2.3.4	光纤的非线性效应·····	48
2.4	光纤类型·····	57
2.4.1	光纤分类·····	57
2.4.2	光纤种类·····	57
2.5	光纤标准分类对比·····	72
2.6	光纤选择建议·····	74
3	光发射机和光接收机·····	78
3.1	简单的光纤通信系统·····	78
3.2	光源·····	84
3.2.1	系统要求·····	84
3.2.2	发光二极管·····	84
3.2.3	半导体激光器·····	86
3.2.4	光源的选用问题·····	92
3.3	光电探测器·····	93
3.3.1	系统要求·····	93
3.3.2	PIN 光电二极管·····	94
3.3.3	雪崩光电二极管·····	96
3.3.4	其它类型光电探测器·····	98
4	SDH 技术·····	101
4.1	概述·····	101
4.1.1	SDH 产生背景·····	101
4.1.2	SDH 概念及特点·····	102
4.2	SDH 基础·····	103
4.2.1	SDH 速率与帧结构·····	103
4.2.2	SDH 复用结构及步骤·····	107
4.2.3	网络结构与生存性·····	132
4.2.4	SDH 同步定时·····	147
4.3	SDH 技术应用·····	154

4.3.1	SDH 设备结构演进及功能特点变化	154
4.3.2	典型 SDH 产品介绍	156
4.4	SDH 技术的发展	163
4.4.1	40Gbit/s SDH 系统	163
4.4.2	对数据业务的支持	168
5	DWDM 技术及网络应用	170
5.1	概述	170
5.1.1	DWDM 发展及现状	170
5.1.2	我国光通信网络现状	172
5.1.3	DWDM 系统分类	174
5.1.4	开放式和集成式 DWDM 系统	175
5.1.5	DWDM 设备种类	179
5.2	系统关键组成、技术及规范	183
5.2.1	工作波长要求	183
5.2.2	波分复用器件特性	185
5.2.3	光放大器特性	190
5.2.4	系统接口特性	195
5.2.5	光监控通道	195
5.2.6	光层保护技术	198
5.3	DWDM 应用	203
5.3.1	DWDM 系统的跨距设计及工程规划	203
5.3.2	DWDM 系统(32/80/160 波)应用代码	209
5.4	DWDM 新技术	212
5.4.1	超大容量的 DWDM 系统	212
5.4.2	超长距离的 DWDM 系统	213
5.4.3	DWDM 在城域网中的应用	215
6	城域光网络	216
6.1	城域网建设的兴起	216

6.2	城域网技术综述	217
6.2.1	城域网总体结构	217
6.2.2	城域网分立模型	218
6.2.3	城域网综合模型	219
6.2.4	主要的城域光传送技术	220
6.3	DWDM 技术在城域网中的应用	222
6.3.1	DWDM 技术应用于城域网的原因	222
6.3.2	城域 DWDM 的技术要求	223
6.3.3	城域 DWDM 组网应用	225
6.4	CWDM 技术及应用	227
6.4.1	CWDM 应用于城域网的优势	228
6.4.2	CWDM 的现状	229
6.5	基于 SDH 的综合多业务传送平台(MSTP)	230
6.5.1	多业务传送平台的提出和特点	230
6.5.2	MSTP 对数据业务的实现方式	231
6.5.3	MSTP 的组网应用	237
6.6	弹性分组环技术(RPR)	239
6.6.1	RPR 的提出及技术特点	239
6.6.2	RPR 关键技术	242
6.6.3	RPR 与传统 SDH、吉比特以太网的比较	248
7	光纤接入网技术	250
7.1	概述	250
7.1.1	光接入网定义及分类	250
7.1.2	光接入网的模型及功能	251
7.1.3	接入网的业务种类	254
7.2	有源光接入网	255
7.3	无源光接入网	257
7.3.1	窄带 PON	257

7.3.2	APON	257
7.3.3	EPON	258
7.4	APON	260
7.4.1	APON 的功能模型	260
7.4.2	APON 协议模型	262
7.4.3	APON 技术特点	266
7.4.4	APON 的帧结构	267
7.4.5	TDMA 接入控制	268
7.4.6	测距	273
7.4.7	搅动	277
7.5	EPON	278
7.5.1	EPON 概述	278
7.5.2	EPON 体系结构及工作原理	280
7.5.3	EPON 关键技术	283
7.5.4	EPON 系统设计及应用	287
7.6	APON 与 EPON 的应用与前景	290
8	光传送网络管理系统	292
8.1	概述	292
8.1.1	光传输网网管的发展	292
8.1.2	网管系统及其标准化	294
8.2	网络管理系统体系结构	294
8.2.1	基于因特网/SNMP 的网络管理体系	296
8.2.2	基于 OSI/CMIP 的网管体系结构	299
8.2.3	TMN 网管体系结构	301
8.3	网络管理系统功能	311
8.3.1	网元管理系统管理功能	311
8.3.2	子网管理系统功能	317
8.3.3	网管系统功能	320

8.4	当前网管实用技术	323
8.4.1	面向对象的分析与设计技术	324
8.4.2	数据库技术	326
8.4.3	统一网管及北向接口技术	328
8.5	网络管理系统应用	332
8.5.1	e-Fim®系列网管概述	332
8.5.2	e-Fim OTNM 2000 子网级网络管理系统 ...	334
8.6	网络管理系统发展趋势	337
8.6.1	分散维护向集中监控转变	337
8.6.2	技术管理向业务管理过渡	340
8.6.3	人工统计向资源管理转化	340
9	光网络规划	342
9.1	光网络现状分析	342
9.1.1	干线光传输网现状浅析	342
9.1.2	城域网/本地网的传输面	351
9.2	建设什么样的光网络	352
9.2.1	规划原则	353
9.2.2	几种规划思路的分析	354
10	光通信技术的发展	359
10.1	全光网络的产生	359
10.1.1	全光网络产生的背景	359
10.1.2	光交换/选路的原理与特点	361
10.2	光网络节点技术	365
10.2.1	光交叉连接方式	365
10.2.2	光交叉连接节点(OXC)	367
10.2.3	光分插复用节点(OADM)	376
10.3	全光互连网络	380
10.3.1	IP 与 WDM 技术的融合	380

10.3.2	IP 传送的主要技术	382
10.3.3	自动交换光网络(ASON)	387
10.3.4	通用多协议标签交换技术(GMPLS)	394
10.3.5	光分组交换节点	399
10.3.6	国内外全光网络的应用情况	405
10.4	发展中的其它光通信技术	410
10.4.1	光时分复用技术(OTDM)	410
10.4.2	光孤子通信	417
参考文献		422

1 光纤通信的发展

1.1 光纤的发展

1.1.1 光纤的作用

21 世纪将是信息时代。信息时代将会大大地推动科学技术、经济贸易的全球化高速发展。现代科学技术、工业和农业的现代化及经济贸易中人与人之间的交流,必然带来全球性的海量信息交换。光纤通信以其通信容量大、中继距离长、抗电磁干扰等优点,已成为支撑全世界海量信息交换的最重要的技术支柱之一。

众所周知,光通信的发展历史十分悠久,从古代的长城烽火台用烽火狼烟来报警异族入侵,到今天指挥城市繁忙交通的车辆和拥挤的行人有序通过的红绿灯都采用的是大气光通信。然而,大气光通信受天气条件、地形地貌、建筑物阻挡和传输距离短等限制,已让位于光纤通信。光纤通信作为 20 世纪重要技术发明之一,已在国内外广泛应用了 20 多年。光纤通信正是以其通信容量大、中继距离长、抗电磁干扰等优点替代了核心网、城域网的电缆通信,正在向着接入网的用户终端推进,而在通信领域中引起了一场大革命。光纤通信是用光作为语音、数据和视频等信号载体进行通信的技术。光纤通信系统则是由光纤、光源、光探测器、光放大器、光波分复用器等器件共同组成的通信系统。光纤通信系统的具体工作特点是以具有潜在巨大传输容量的光纤(光波作为信息载体的本征带宽为 240THz)为传输介质;以可高速调制的激光器和发光二极管为光源来载送大容量信息;以光放大器对光纤中传输的所有光信号同时进行放大,从而延长中继距离;以光波分复用器将多个波长合波后送入传输光纤来充分利用光纤宽阔的工作带宽和提