



信息光子学与光通信系列丛书

丛书主编 任晓敏

FTTx ODN技术与应用

FTTx ODN Technology and Applications

李春生 李琳莹 编 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



信息光子学与光通信系列丛书

FTTx ODN 技术与应用

丛书主编 任晓敏

李春生 李琳莹 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

随着国家信息化战略和光纤入户国标的推进,FTTx 成为运营商之间竞争的重点。FTTx 的核心组成部分是光分配网络(ODN)。本书先简单介绍了互联网宽带发展现状和传统宽带接入技术,再对无源光网络(PON)技术的发展和应用进行了介绍。随后全书重点对 ODN 中涉及的弯曲不敏感玻璃光纤、塑料光纤、接入网用光缆、连接器、分路器等分别进行了系统介绍。从产品型号、类别、标准、制造、测试以及应用各个环节都进行了详尽地描述,尤其对 ODN 中广泛使用的弯曲不敏感 G.657 新型光纤的测试方法进行了深入研究和探讨。该书还对 ODN 的发展现状和前景进行了分析,详细介绍了目前智能 ODN 的标准进展情况,对智能 ODN 的应用和发展也进行了探讨。

本书可为学习和研究 ODN 技术以及相关从业人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

FTTx ODN 技术与应用 / 李春生, 李琳莹编著. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2016. 10
ISBN 978-7-5635-4784-5

I. ①F… II. ①李… ②李… III. ①光纤网—研究 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 127343 号

书 名: FTTx ODN 技术与应用

著作责任者: 李春生 李琳莹 编著

责任编辑: 刘 颖

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(邮编:100876)

发行部: 电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本: 720 mm×1 000 mm 1/16

印 张: 24.25

字 数: 487 千字

版 次: 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4784-5

定价: 50.00 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 •

丛书总序

2013年12月20日联合国第六十八届会议决定将2015年设定为“International Year of Light and Light-based Technologies”,即光和光基技术国际年,简称国际光年。人类对光的探索可以追溯到两三千以前,早在我国春秋战国时期,墨翟及其弟子所著的《墨经》中就记载了光的直线传播和光在镜面上的反射等现象。光学的发展漫长而曲折:1015年前后,伊本·海赛姆写成的《光学》(*Book of Optics*),全面介绍了希腊学者对光的认识,对后世欧洲学者产生了巨大影响;1657年费马(Fermat)得出著名的费马原理,并从原理出发推出了光的反射和折射定律,这两个定律奠定了几何光学的基础,光学开始真正形成一门科学;1815年菲涅尔(Fresnel)的光的波动性理论是光学发展之路里程碑式的贡献;1861年麦克斯韦建立起著名的电磁理论,该理论预言了电磁波的存在,这是继牛顿力学之后划时代的巨大贡献;1905年爱因斯坦运用量子论对光电效应提出了新的解释,说明了光具有粒子性;1965年华裔科学家高锟在光纤光导理论方面提出的通信新模式引起了世界信息通信技术的一次革命,高锟也由此被誉为“光纤之父”。

早期的光学主要研究物质的宏观光学特性,如光的折射、反射、衍射、成像和照明等,随着20世纪60年代初激光的出现,光学进入了现代光学的新阶段,人们着重于研究光子与物质相互作用、光子的本质,以及光子的产生、传播、探测等微观机制。光子学(Photonics)这一领域应运而生,光子学是研究以光子作为信息或能量载体的科学。光子学相对于传统的光学有如电子学相对于经典电学,光子学一经提出即引起世界的高度重视。

如今光子学技术已经广泛应用到工业、农业、交通、国防、环保、医疗、生活娱乐等各个领域,当前的因特网超过90%的信息数据通过高速光纤通信网传输;微纳米光学广泛应用在信息处理和存储上;光伏太阳能发电具有节省能源、降低污染等优势,正向数以千万计用户提供电力。在世界各国经济实力与国防力量的较量中,光子学也起着重要作用。光子学,特别是信息光子学技术的应用已经深入到人类活动的方方面面,与日常生活密不可分,我们应该让人们清楚地认识到光子学对人类生活所起到的巨大作用,以及对人类社会可持续发展产生的重要

意义。

2015年是国际光年,也是著名光学科学家王大珩院士和著名光通信科学家叶培大院士(依托北京邮电大学的信息光子学与光通信国家重点实验室创始人)诞辰100周年;2016年又恰逢通信光纤和半导体双异质结构制备成功50周年,信息论的创始人香农诞辰100周年。值此之际,信息光子学与光通信国家重点实验室编写完成了本丛书,旨在促进信息光子学的进一步发展。希望读者通过本丛书能够了解该领域中的一些新的重要进展,产生某些新的思考。

谨此小序,欢迎交流斧正。

信息光子学与光通信国家重点实验室(北京邮电大学)



任晓敏



徐坤

2016年8月

前 言

国家宽带战略、“互联网+”以及智能制造等重大战略的出台,快速地推动了国家信息化的发展步伐。当前电子商务已经成为国民经济生活中重要的组成部分。互联网必将极大的影响未来人民生活乃至国民经济的每个环节。接入网是信息通信网络的末梢环节,是和最终用户直接建立连接的网络。接入网的带宽、速度等性能直接影响用户的感受和体验,关系到国家信息化的进程。光纤接入作为接入网最普遍、最高效的接入手段,近年来得到了广泛的应用,各运营商根据应用场景都推出了各种 FTTx 接入方案。FTTx 工程涉及室内复杂环境下使用弯曲不敏感光纤、光纤连接器、分路器、交接箱等产品,也就是所谓的各种 ODN (光配线网)设备。这些设备的具体性能、标准、测试以及应用是目前光通信行业发展中关注的焦点。

本书系统地介绍了 FTTx 的 ODN 网中涉及各种设备器件的分类、规范标准、测试和应用。对弯曲不敏感光纤测试过程中出现的新的问题重点进行了研究探讨。全书共分为 9 章。第 1 章是国家宽带战略,介绍中国和世界各国宽带发展情况和战略。第 2 章是接入网技术,对接入网中曾经采用的各种接入技术做了简单介绍。第 3 章是 PON 接入技术,本章对 PON 的两大主流技术 EPON 和 GPON 分别做了介绍和比较。第 4 章是 FTTx 中的光纤光缆,该章先对光纤光缆的原理、结构以及分类进行了系统介绍,后重点讲述了 FTTx 中使用的各种光缆及其施工方法。第 5 章是 G657 弯曲不敏感光纤,详细介绍了 G657 光纤的原理、分类、标准、测试以及应用等内容。第 6 章是塑料光纤,本章对塑料光纤的制造、性能、标准和测试进行了较为详细的介绍。第 7 章是光纤活动连接器,现场光纤活动连接器是 FTTx 的 ODN 中应用较广的器件之一,本章对各种现场连接器的特性、标准、施工和应用进行了探讨。第 8 章是光分路器,光分路器是 ODN 中非常关键的一个无源光学器件,其生产过程较为复杂,工艺要求高。本章对光分路器的原理、制造、分类和应用进行了介绍,有利于深入了解光分路器。第 9 章是智能 ODN,随着 FTTx 工程的全面实施,ODN 网络越来越大,维护的工作量直线上升,智能 ODN 可以有效提高 ODN 网络的管理和维护效率。本章对智能 ODN 的现状、结构、设施、发展以及应用进行了探讨,可供相关人员参考。全书内

容通俗易懂,层次分明,实用性强。

全书由李春生主编和统稿,李琳莹参加了第5章和第6章的编写以及全书的校对,谭国华、刘骋、杨世信、李婧、王振岳等专家在本书的编写过程中提出过宝贵建议,樊俐鸥参加了具体编辑工作,特此感谢!也感谢“国家出版基金”的支持和编辑的辛勤工作,让此书得以顺利出版。

本书可作为大专院校通信、电子和信息类专业的教材,也适合信息通信、计算机网络和有线电视网络以及在信息化相关企事业单位从事科研、教学和工程技术人员阅读参考。

由于作者水平有限,加上接入网技术的日新月异,编写过程中虽然尽心尽力,但书中的不足之处肯定存在,恳请广大读者不吝赐教。

电子邮件:66508991@qq.com

编者

2016年2月于北京

目 录

第 1 章 国家宽带战略	1
1.1 中国互联网	1
1.1.1 中国互联网基础资源状况	1
1.1.2 中国网民规模及特点	2
1.1.3 中国互联网的应用	3
1.2 中国宽带接入技术的新特点	3
1.3 中国国家宽带战略	5
1.3.1 宽带网络十二五规划	5
1.3.2 光纤到户国标的发布	5
1.3.3 宽带中国战略及实施方案	6
1.3.4 国家网络安全和信息化领导小组成立	7
1.3.5 “互联网+”行动计划	8
1.3.6 宽带提速降费	9
1.4 世界各国宽带战略	10
1.4.1 日本	10
1.4.2 韩国	11
1.4.3 美国	14
1.4.4 欧盟	16
1.5 宽带战略会推动 FTTx 发展	18
参考文献	19
第 2 章 接入网技术	21
2.1 引言	21
2.1.1 接入网的基本概念	21
2.1.2 接入网的功能模型	21
2.2 接入网的分类	22
2.2.1 接入技术分类	22
2.2.2 接入网的分类	22

2.3	基于双绞线的 xDSL 技术	23
2.4	基于 HFC 网的 Cable Modem 技术	24
2.5	基于五类线的以太网接入技术 LAN	25
2.6	光接入网	27
2.6.1	光接入网的基本概念	27
2.6.2	拓扑结构	27
2.6.3	有源光纤接入网络	29
2.6.4	无源光纤接入网络	30
2.6.5	光纤接入网特点	31
2.7	光纤接入网的应用类型	32
2.8	无线宽带技术 WiFi	34
2.8.1	主流的 WiFi 种类	35
2.8.2	WiFi 突出优势	36
	参考文献	37
第 3 章	PON 接入技术	38
3.1	PON 技术概述	38
3.1.1	PON 的基本概念	38
3.1.2	PON 的工作原理	38
3.1.3	PON 网络拓扑	40
3.1.4	PON 中基本网络单元设备	41
3.1.5	PON 典型应用	43
3.1.6	PON 的分类	46
3.2	EPON	47
3.2.1	EPON 简介	47
3.2.2	EPON 协议的层次结构	48
3.2.3	EPON 多点控制协议的机制	49
3.2.4	EPON 技术发展	51
3.2.5	EPON 接入系统的特点	52
3.2.6	EPON 关键技术	53
3.3	GPON	54
3.3.1	GPON 简介	54
3.3.2	GPON 工作机制	55
3.3.3	10G-PON	57
3.3.4	GPON 的应用	57

3.4 EPON 和 GPON 的技术比较	58
3.4.1 技术参数比较	58
3.4.2 QoS 比较	59
3.4.3 成本分析	60
3.4.4 成熟度比较	60
3.4.5 业务性能与 OAM 比较	61
3.4.6 EPON 与 GPON 应用比较	61
3.5 PON 应用中实际问题	62
3.5.1 PON 网络的保护性问题	62
3.5.2 ONU 的供电问题	62
3.5.3 网管和运维的挑战	63
3.6 总结	63
参考文献	64
 第 4 章 FTTx 中的光纤光缆	 65
4.1 概述	65
4.2 光纤原理	66
4.2.1 折射和折射率	66
4.2.2 传输功率的分配与模场直径	67
4.3 光纤分类	67
4.3.1 按传输波长分类	67
4.3.2 按折射率分布分类	68
4.3.3 按套塑结构分类	69
4.3.4 按传输模式分类	69
4.3.5 按光纤的材料分类	70
4.4 常用单模光纤	71
4.4.1 G.652 光纤(非色散位移单模光纤)	71
4.4.2 G.653 光纤(色散位移单模光纤)	72
4.4.3 G.654 光纤(截止波长位移单模光纤)	73
4.4.4 G.655 光纤(非零色散位移单模光纤)	73
4.4.5 G.656 光纤(宽波长段光传输用非零色散单模光纤)	74
4.4.6 新型光纤	74
4.5 光缆基础知识	76
4.5.1 概述	76
4.5.2 光缆类别	77

4.6 光缆结构	80
4.6.1 结构类型	80
4.6.2 中心管式光缆	80
4.6.3 层绞式光缆	81
4.6.4 骨架式光缆	81
4.7 光缆的命名规范	82
4.7.1 型号的组成内容、代号及意义	82
4.7.2 规格	85
4.7.3 实例	88
4.7.4 光缆主要型式	88
4.8 FTTx 中的光纤光缆	89
4.8.1 馈线段光缆	90
4.8.2 FTTx 中的配线光缆	101
4.8.3 FTTx 中的入户光缆	102
参考文献	104
第5章 G.657 弯曲不敏感光纤	105
5.1 G.657 光纤概述	105
5.2 弯曲对光传播的影响	106
5.2.1 弯曲损耗的物理机制	106
5.2.2 光纤弯曲对数值孔径(NA)的影响	107
5.3 光纤弯曲损耗的射线分析	108
5.3.1 光纤弯曲部分中子午光线的传播	108
5.3.2 光纤弯曲后对出射光锥的影响	109
5.4 弯曲损耗的电磁理论分析	110
5.4.1 等效折射率分布	110
5.4.2 传导模的变化	110
5.4.3 弯曲损耗的表达式	113
5.5 影响弯曲损耗的因素	113
5.6 弯曲不敏感光纤 G.657 标准	114
5.6.1 国际标准	114
5.6.2 G.657 国内标准	119
5.7 G.657 光纤的设计和制造工艺	120
5.7.1 小模场直径的单模光纤	121
5.7.2 包层折射率凹陷光纤	123

5.7.3 孔助光纤	124
5.7.4 光子晶体光纤	126
5.7.5 纳米结构光纤	130
5.7.6 不同工艺 G.657 光纤性能比较	131
5.8 G.657 单模光纤的测试	133
5.8.1 高阶模影响的实验	133
5.8.2 滤除高阶模的不同方法	137
5.8.3 模场直径两种测试方法的比较	139
5.8.4 G.657 光纤模场直径的测试建议	140
5.8.5 G.657 光纤衰减谱性能测试分析	141
5.8.6 G.657 光纤衰减谱测试的建议	145
5.8.7 G.657 光纤宏弯损耗测试研究	145
5.8.8 G.657 光纤宏弯曲性能的测试	149
参考文献	150
第 6 章 塑料光纤	151
6.1 塑料光纤概述	151
6.1.1 塑料光纤简介	151
6.1.2 塑料光纤优势	151
6.1.3 塑料光纤缺点	152
6.1.4 应用分析	152
6.2 塑料光纤市场现状	153
6.2.1 塑料光纤发展进程	153
6.2.2 塑料光纤主要市场现状	155
6.3 塑料光纤的材料	158
6.3.1 塑料光纤的包层材料	158
6.3.2 塑料光纤的纤芯材料	158
6.4 塑料光纤的制备技术	159
6.4.1 塑料光纤制备	159
6.4.2 POF 制备方法比较	161
6.5 通信用塑料光纤的标准	162
6.5.1 国际塑料光纤标准情况	162
6.5.2 塑料光纤国家标准	164
6.5.3 塑料光纤的通信行业标准	164
6.5.4 塑料光纤国标和行标的对比	165

6.5.5 塑料光缆标准	165
6.5.6 塑料光纤活动连接器的标准	165
6.6 塑料光纤分类及性能	166
6.6.1 分类	166
6.6.2 几何尺寸	167
6.6.3 光学和传输性能	168
6.6.4 机械性能	173
6.6.5 环境性能	174
6.7 塑料光纤的测试要点	175
6.7.1 注入条件	175
6.7.2 稳态功率分布对塑料光纤性能测试的影响	176
6.7.3 POF 中稳态功率分布的判定	177
6.7.4 数值孔径	179
6.7.5 数值孔径	181
6.8 塑料光纤在 FTTH 中的应用	182
6.8.1 塑料光纤综合布线系统	182
6.8.2 塑料光纤家庭网络	186
6.8.3 POF 在局域网中的应用	188
6.9 塑料光纤发展展望	189
6.9.1 国内塑料光纤发展现状	189
6.9.2 产业发展方向	189
6.9.3 专家建议	190
参考文献	191
第 7 章 光纤活动连接器	194
7.1 光纤活动连接器概述	194
7.2 光纤活动连接器工作原理	197
7.2.1 光纤活动连接器基本原理	197
7.2.2 光纤活动连接器端面及检测	199
7.2.3 光纤适配器	203
7.3 光纤活动连接器分类	204
7.3.1 按照连接器结构分类	204
7.3.2 按使用的方式分类	208
7.3.3 光纤连接器的颜色与型号	209
7.4 光纤连接器性能参数	210

7.4.1	基本概念	210
7.4.2	插入损耗	211
7.4.3	回波损耗	212
7.5	机械型现场组装式光纤活动连接器	214
7.5.1	机械型现场组装式连接器分类	214
7.5.2	单连接点连接器组件	216
7.5.3	多连接点机械型现场组装式连接器组件	223
7.5.4	预置型和非预置型两类机械型现场组装式活动连接器比较	225
7.5.5	机械型现场组装式光纤活动连接器主要技术指标	226
7.6	热熔型现场组装式光纤活动连接器	227
7.6.1	原理	227
7.6.2	热熔型现场组装式连接器分类	228
7.6.3	热熔型现状组装式光纤活动连接器装配过程	229
7.6.4	主要技术指标	231
7.7	影响光纤连接器关键光学性能的主要因素	232
7.7.1	影响光纤连接器插入损耗的因素	232
7.7.2	降低光纤连接器插入损耗的途径	236
7.7.3	影响光纤连接器回波损耗的关键因素	237
7.7.4	提高光纤连接器回波损耗性能参数的途径	240
7.8	现场组装式光纤活动连接器的选择	242
7.8.1	光学性能	242
7.8.2	可操作性	242
7.8.3	经济性	243
7.8.4	现场组装式光纤活动连接器的选择	243
参考文献		244
第8章 光分路器		247
8.1	引言	247
8.2	光分路器相关基本概念	248
8.2.1	光波导	248
8.2.2	有效穿透深度	250
8.2.3	消逝场	251
8.2.4	光耦合器	252
8.3	介质平板波导的分析	253
8.3.1	概述	253

8.3.2 介质平板波导的几何光学分析	254
8.3.3 介质平板波导的波动光学分析	256
8.3.4 矩形波导的波动光学分析	261
8.4 熔融拉锥型(FBT)光分路器	264
8.4.1 FBT 原理	264
8.4.2 FBT 型光分路器制作工艺	264
8.4.3 熔融拉锥型光分路器特点	265
8.5 平面波导型光分路器	267
8.5.1 平面波导型光分路器概述	267
8.5.2 平面光波导的材料	268
8.5.3 平面光波导的制备工艺	270
8.5.4 玻璃基 PLC 制作工艺	279
8.5.5 光纤阵列的制作	284
8.5.6 封装	288
8.5.7 PLC 光分路器标准及常用技术指标	293
8.6 光分路器的选用	300
8.6.1 FBT 型分路器和 PLC 型分路器的比较	300
8.6.2 分路器的选用原则	302
参考文献	302
第 9 章 智能 ODN 技术	305
9.1 传统 ODN 现状	305
9.2 智能 ODN 概述	307
9.2.1 智能 ODN 定义	307
9.2.2 智能 ODN 系统特性	308
9.2.3 智能 ODN 在接入网中的位置	310
9.3 智能 ODN 体系结构	310
9.3.1 智能 ODN 功能架构	310
9.3.2 智能 ODN 逻辑架构	312
9.4 电子标签载体	315
9.4.1 基本要求	315
9.4.2 分类	316
9.4.3 eID 和 RFID 的性能比较	322
9.4.4 电子标签编码格式	324
9.5 智能 ODN 设施	325

9.5.1	概述	325
9.5.2	智能 ODN 功能框图	326
9.5.3	接口	327
9.5.4	主要功能	328
9.5.5	智能光纤配线架	329
9.5.6	智能光缆交接箱	336
9.5.7	智能分纤箱	339
9.6	智能管理终端	342
9.6.1	概述	342
9.6.2	设备形态	343
9.6.3	接口	344
9.6.4	智能管理终端功能	348
9.7	智能 ODN 管理系统	349
9.7.1	概述	349
9.7.2	智能 ODN 管理系统功能	350
9.7.3	智能 ODN 管理系统外部接口	352
9.8	智能 ODN 应用实践	353
9.8.1	建设策略	353
9.8.2	传统 ODN 网络智能化改造	356
9.8.3	智能 ODN 与现网运维流程的融合实践	360
9.8.4	光纤链路的监测	365
9.9	智能 ODN 应用和发展	368
9.9.1	智能 ODN 的国内试点	368
9.9.2	智能 ODN 存在的问题	368
9.9.3	智能 ODN 的发展趋势	369
	参考文献	370

第 1 章 国家宽带战略

自 1994 年中国科学院计算机中心第一次连入 Internet 以来,中国开始向国际互联网敞开大门。数十年来互联网在中国飞速发展,在购物、娱乐、传媒、沟通交流等各个方面改变着人们的生活方式。十五年前的中国人都无法想象 21 世纪的今天,互联网在人们的生活中和工作中,占据了如此重要的地位。宽带网络已经成为现代社会经济和民生的重要基础设施,是国家工业化与信息化融合的重要纽带。互联网的使用大幅度降低了信息交流的成本,使经济活动更加有效,并以前所未有的方式扩展了社会生活的互动性。互联网应用在广度和深度上都迅速发展变化,而以 FTTx 为代表的宽带网络则是所有互联网应用的基础,为互联网应用提供了一个广阔的发展平台。当前,新一代信息通信技术正孕育重大变革,我国经济发展方式又面临着全方位转型,这些都为我国宽带网络基础设施发展提供了新的战略机遇。

1.1 中国互联网

1.1.1 中国互联网基础资源状况

互联网的基础资源包括 IP 地址、域名、网站以及出口带宽等。这些基础资源的数量和质量是互联网性能的重要指标。

IP(互联网协议)地址的作用是标识上网计算机、服务器或者网络中的其他设备,是互联网中非常重要的基础资源,只有获得 IP 地址(无论以何种形式存在),才能和互联网相连。自 2011 年年初全球 IPv4 地址总库分配完毕后,我国 IPv4 地址总数就基本保持不变,IPv4 地址数量共计 3.36 亿个。

域名是互联网上识别和定位计算机层次结构的字符标识,与该计算机的 IP 地址相对应。截至 2015 年 6 月,我国域名总数增至 2 231 万个。其中,中国“.CN”域名总数为 1 225 万个,占中国域名总数比例为 54.9%;“.COM”域名数量为 842 万个,占比为 37.8%;“.中国”域名总数为 26 万个。

网站是指以域名本身或者“WWW.”+“域名”为网址的 web 站点,其中包括中国的国家顶级域名“.CN”和类别顶级域名(gTLD)下的 web 站点。到 2015 年 6 月