



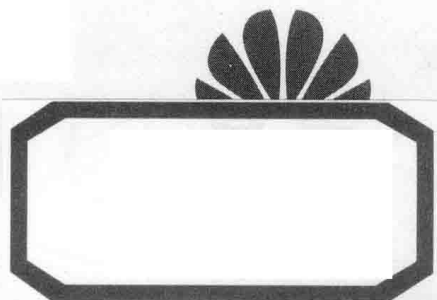
4G LTE 移动通信技术系列教程

传输网络技术

TRANSMISSION NETWORK
TECHNOLOGY

李世银 李晓滨 © 主编
杨福猛 应祥岳 李良 © 副主编





4G LTE 移动通信技术系列教程

传输网络技术

TRANSMISSION NETWORK
TECHNOLOGY

李世银 李晓滨 © 主编

杨福猛 应祥岳 李良 © 副主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

传输网络技术 / 李世银, 李晓滨主编. — 北京 :
人民邮电出版社, 2018.6
4G LTE移动通信技术系列教程
ISBN 978-7-115-47814-6

I. ①传… II. ①李… ②李… III. ①第四代移动通信系统—教材 IV. ①TN929.537

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第046015号

内 容 提 要

本书较为全面地介绍了传输网络主流技术原理、设备组成和典型组网等内容。全书共 9 章, 主要介绍了光纤通信技术原理、网络技术基础、SDH 技术原理、WDM 技术原理、OTN 技术原理、4G LTE 业务接入技术等内容, 并设置了综合应用案例和实训。全书通过二维码方式, 在相应位置穿插了很多在线视频, 可以帮助读者巩固所学的内容。

本书可以作为高校通信相关专业的教材, 也可以作为华为 HCNA 认证培训教材, 并适合作为传输网维护人员、通信设备技术支持人员和广大通信网络爱好者的自学参考书。

-
- ◆ 主 编 李世银 李晓滨
 - 副 主 编 杨福猛 应祥岳 李 良
 - 责任编辑 左仲海
 - 责任印制 马振武

 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京市艺辉印刷有限公司印刷

 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.75 2018 年 6 月第 1 版
字数: 416 千字 2018 年 6 月北京第 1 次印刷
-

定价: 49.80 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

“4G LTE移动通信技术系列教程”编委会

主任：宋铁成

副主任：朱明程 赵新胜 李世银 尉彦清 倪建军

周建勋 张立科

委员（按姓氏笔画排序）：

王春峰 王霄峻 卞璐 方朝曦 朱彤

李良 李建蕊 李晓滨 李海涛 杨福猛

杨德相 应祥岳 宋晓勤 张轲 陈启彪

陈国华 陈美娟 赵航 闻银 郭俐

当前,在云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能等新领域出现人才奇缺状况。习近平总书记指出:“我们对高等教育的需要比以往任何时候都更加迫切,对科学知识和卓越人才的渴求比以往任何时候都更加强烈”。国民经济与社会信息化和现代服务业的迅猛发展,对电子信息领域的人才培养提出了更高的要求,而电子信息类专业又是许多高等学校的传统专业、优势专业和主干专业,也是近年来发展最快、在校人数最多的专业之一。

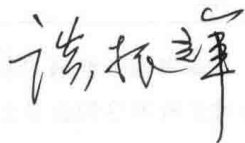
为此,高校必须深化机制体制改革,推进人才培养模式创新,进一步深化产教融合、校企合作、协同育人,促进人才培养与产业需求紧密衔接,有效支撑我国产业结构深度调整、新旧动能接续转换。机制体制改革的关键之一就是深入推进产学合作、产教融合、科教协同,通过校企联合制定培养目标和培养方案、共同建设课程与开发教程、共建实验室和实训实习基地、合作培养培训师资和合作开展研究等,鼓励行业企业参与到教育教学各个环节中,促进人才培养与产业需求紧密结合。要按照工程逻辑构建模块化课程,梳理课程知识点,开展学习成果导向的课程体系重构,建立工作能力和课程体系之间的对应关系,构建遵循工程逻辑和教育规律的课程体系。

由高校教学一线的教育工作者与华为技术有限公司、浙江华为通信技术有限公司的技术专家联合成立编委会,共同编写“4G LTE 移动通信技术系列教程”,将移动通信系统的基础理论与华为技术有限公司相关系列产品深度融合,构建完善的移动通信理论知识和工程技术体系,搭建基础理论到工程实践的知识桥梁,目标是培养具备扎实理论基础的从事工程实践的优秀应用型人才。

“4G LTE 移动通信技术系列教程”包括《移动通信技术》《网络规划与优化技术》《路由与交换技术》和《传输网络技术》四本教材,基本涵盖了通信系统的交换、传输、接入和通信等核心内容。系列教程有效融合华为技能认证课程体系,将理论教学与工程实践融为一体。教材配套华为 ICT 学堂在线视频,加入华为工程现场实际案例,读者既可以学习到前沿知识,又可以掌握相关岗位所需的能力。

我很高兴看到这套教材的出版,希望读者在学习后,能够构建起完备的移动通信知识体系,掌握相关的实用工程技能,成为电子信息领域的优秀应用型人才。

教育部电子信息与电气工程专业认证委员会学术委员会副主任委员
北京交通大学



2017年12月

4G 网络的全面覆盖,标志着高速移动通信时代的来临。传输网络始终与无线通信技术协同发展,支撑 4G 网络以实现更高的数据速率、更低的时延以及更大的系统容量。

对于通信行业从业者来说,传输网络技术是重要的网络技术之一。目前运营商需要大量传输网络工程建设和维护人员,本书从培养传输网络工程师的角度出发,以理论知识与实际应用相结合的方式,培养传输网络专业人才。

本书以传输网络技术原理为主线,介绍不同传输网络技术的概念、网络设备硬件、组网方式和网络应用。光纤通信技术原理、网络技术基础是传输的基础理论,侧重于传输基本概念和基本原理。SDH 技术、WDM 技术和 OTN 技术,是传输网络的主流应用技术,相关章节分别介绍了其原理、开销功能、组网和保护、网络应用等内容。4G LTE 业务接入技术是当前主流的承载技术,如 PTN、IP RAN、GPON 网络,相关章节从基本概念入手,以业务为载体,简单介绍了不同技术在 4G 业务承载中的应用。综合应用案例章节对传输网络分层次、分场景、分业务的网络应用进行了介绍。实训部分内容针对典型传输网络、典型业务、典型场景配制方法进行了介绍。

本书中穿插了很多在线视频二维码,读者可以通过扫描二维码,在线观看相关技术视频,帮助消化吸收相关知识。完成本书的学习,读者即能够掌握 LTE 产品工程师需要具备的各项技能。

本书的参考学时为 49~65 学时,建议采用理论实践一体化教学模式,各项目的参考学时如学时分配表所示。

学时分配表

项 目	课 程 内 容	学 时
第 1 章	绪论	1~2
第 2 章	光纤通信技术原理	2~4
第 3 章	网络技术基础	4~6
第 4 章	SDH 技术原理	6~8
第 5 章	WDM 技术原理	6~8
第 6 章	OTN 技术原理	6~8
第 7 章	4G LTE 业务接入技术	12~14
第 8 章	综合应用案例	6~8
第 9 章	实训:SDH&OTN 常见业务配置	4~5
	课程考评	2
	课时总计	49~65

本书由李世银、李晓滨担任主编,杨福猛、应祥岳、李良担任副主编。由于编者水平和经验有限,书中难免有不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

第 1 章 绪论	1	第 3 章 网络技术基础	27
1.1 4G LTE 移动通信网络架构	2	3.1 局域网简介.....	28
1.2 传输网络演进.....	3	3.2 以太网技术原理	28
1.3 传输设备	4	3.2.1 以太网技术简介.....	28
1.4 本书内容与安排	5	3.2.2 以太网的物理介质	29
第 2 章 光纤通信技术原理	6	3.2.3 以太网工作机理.....	30
2.1 光纤传输基础知识	7	3.2.4 以太网端口技术.....	30
2.1.1 折射和反射	7	3.2.5 以太网协议	31
2.1.2 光的偏振	8	3.2.6 二层交换工作原理	32
2.1.3 光的色散	8	3.3 VLAN 技术	33
2.2 光纤基础知识.....	8	3.3.1 VLAN 的基本概念	33
2.2.1 光纤的结构与折射率分布.....	8	3.3.2 VLAN 帧格式.....	33
2.2.2 光纤的模式	10	3.3.3 VLAN 的划分.....	34
2.2.3 光纤的损耗	11	3.3.4 VLAN 的应用	36
2.2.4 光纤中的色散.....	12	3.4 IP 协议	38
2.2.5 码间干扰	13	3.4.1 数据网络和 Internet 简介	38
2.2.6 截止波长	14	3.4.2 协议和标准	39
2.2.7 模场直径和有效面积	14	3.4.3 TCP/IP 协议栈以及	
2.2.8 单模光纤的分类.....	15	各层功能	40
2.2.9 单模光纤的非线性效应	16	3.4.4 IP 地址介绍	43
2.3 无源光器件	18	3.5 QinQ	45
2.3.1 介质薄膜滤波器.....	18	3.5.1 QinQ 简介.....	45
2.3.2 光纤光栅	19	3.5.2 QinQ 技术原理	46
2.3.3 阵列波导光栅.....	20	3.5.3 QinQ 应用.....	46
2.3.4 梳状滤波器	20	3.6 QoS.....	48
2.3.5 耦合器和分光器.....	21	3.6.1 QoS 基本概念	48
2.3.6 隔离器和环行器.....	22	3.6.2 QoS 实现技术	49
2.3.7 光开关.....	23	3.7 本章小结.....	54
2.4 有源光器件.....	23	3.8 练习题.....	54
2.4.1 光源.....	23	第 4 章 SDH 技术原理	55
2.4.2 光放大器	26	4.1 SDH 介绍	56
2.5 本章小结	26	4.1.1 SDH 网络的发展.....	56
2.6 练习题	26	4.1.2 PDH 及其缺陷	56

4.1.3	SDH 的工作方式.....	59	5.5	练习题.....	126
4.1.4	SDH 的特点.....	59	第 6 章 OTN 技术原理.....		127
4.1.5	SDH 传输体制的缺点.....	61	6.1	OTN 体系介绍.....	128
4.2	SDH 原理.....	61	6.1.1	OTN 概述.....	128
4.2.1	SDH 帧结构.....	61	6.1.2	OTN 技术原理.....	130
4.2.2	复用.....	63	6.1.3	OTN 功能模块的实现.....	133
4.2.3	开销.....	68	6.1.4	OTN 网络接口.....	133
4.2.4	指针.....	78	6.1.5	OTN 复用和映射结构.....	134
4.2.5	逻辑功能模块.....	81	6.1.6	OTM 复用和映射结构.....	137
4.2.6	组网与保护.....	84	6.1.7	OTN 的比特率及容量.....	138
4.3	SDH 产品硬件.....	92	6.1.8	OTN 信号的帧周期.....	140
4.3.1	华为 SDH 产品系列介绍.....	92	6.1.9	ODUk 的时分复用.....	140
4.3.2	其他厂家 SDH 产品介绍.....	97	6.2	OTN 开销.....	142
4.4	业务配置.....	98	6.2.1	电层开销.....	142
4.4.1	PDH 业务配置 (MSP/链形 1+1/SNCP).....	98	6.2.2	光层开销.....	150
4.4.2	以太网业务介绍与配置.....	100	6.2.3	OTN 维护信号和路径 层次.....	151
4.4.3	EPL/EVPL 业务介绍.....	101	6.3	OTN 产品.....	154
4.4.4	EPLAN/EVPLAN 业务介绍.....	104	6.3.1	OptiX OSN 1800 设备.....	154
4.5	本章小结.....	106	6.3.2	OptiX OSN 3800 设备.....	156
4.6	练习题.....	107	6.3.3	OptiX OSN 6800 设备.....	157
第 5 章 WDM 技术原理.....		108	6.3.4	OptiX OSN 8800 设备.....	159
5.1	WDM 技术概述.....	109	6.3.5	OptiX OSN 9600 和 OptiX OSN 9800 设备.....	161
5.1.1	WDM 的概念.....	109	6.4	本章小结.....	162
5.1.2	WDM 技术的发展背景.....	109	6.5	练习题.....	162
5.1.3	DWDM 原理概述.....	110	第 7 章 4G LTE 业务 接入技术.....		163
5.1.4	WDM 系统组成.....	111	7.1	PTN 接入技术.....	164
5.1.5	WDM 技术的优势.....	112	7.1.1	PTN 典型技术.....	164
5.1.6	传输模式与系统模式.....	112	7.1.2	PTN 的典型应用.....	166
5.1.7	DWDM 与 CWDM.....	114	7.2	IP RAN 接入技术.....	167
5.2	WDM 系统关键组件.....	115	7.2.1	IP RAN 典型组网.....	167
5.2.1	复用与解复用器.....	115	7.2.2	IP RAN 业务承载实现.....	171
5.2.2	光放大器.....	117	7.3	GPON 技术.....	173
5.2.3	监控单元.....	122	7.3.1	PON 技术发展.....	173
5.3	WDM 产品简介.....	123	7.3.2	GPON 系统结构.....	175
5.3.1	传统波分产品.....	123	7.3.3	GPON 系统数据复用方式.....	177
5.3.2	NG WDM 产品.....	124			
5.4	本章小结.....	126			

7.3.4 GPON 协议.....	178	8.2.4 动态 L2VPN+动态 L3VPN 方案.....	200
7.3.5 GPON 关键技术.....	181	8.3 iManager U2000 简介.....	201
7.3.6 GPON 终端认证及管理.....	183	8.4 本章小结.....	203
7.3.7 GPON 组网.....	186	8.5 练习题.....	204
7.4 本章小结.....	186	第 9 章 实训：SDH&OTN	
7.5 练习题.....	187	 常见业务配置.....	205
第 8 章 综合应用案例.....	188	9.1 SDH 配置.....	206
8.1 OTN 业务承载解决方案.....	189	9.1.1 复用段线性 1+1 保护的 业务配置.....	206
8.1.1 移动承载：提供大带宽、 低延迟、低成本、快速 部署的解决方案.....	189	9.1.2 二纤双向复用段环业务 配置.....	207
8.1.2 城域宽带承载：解决带宽 和光纤不足的困境.....	190	9.1.3 配置 SNCP 业务.....	209
8.1.3 租赁专线：承载多种类型 与速率的专线业务.....	190	9.1.4 以太网 EPL 业务配置.....	211
8.1.4 固网移动综合承载：一个 网络承载宽带+移动+专线....	193	9.1.5 共享 Port 的 EVPL (VLAN) 配置.....	213
8.2 PTN 业务承载解决方案.....	194	9.1.6 EVPLAN 业务 (IEEE 802.1q 网桥) 配置.....	215
8.2.1 PTN LTE 承载解决方案.....	195	9.2 OTN 配置.....	218
8.2.2 地市 L3VPN 直接对接 EPC.....	197	9.2.1 TDX 单板业务配置 (10GE LAN 业务配置).....	218
8.2.3 静态 L2VPN+动态 L3VPN 方案.....	198	9.2.2 TOA 单板业务配置.....	220
		9.3 练习题.....	225

Chapter

1

第 1 章 绪论

传输网络是各种业务网络的承载体,是公众电信网络层次中的重要网络。本章主要介绍 4G LTE 移动通信网络架构、传输网络演进以及相关设备。了解传输网络,有助于对 4G LTE 移动通信网络架构的理解。

课堂学习目标

- 了解 4G LTE 移动通信网络架构
- 了解传输网络演进
- 了解各类传输设备



1.1 4G LTE 移动通信网络架构

在过去的一段时间里,世界通信行业发生了巨大的变化,移动电话逐步代替固定电话,从单一的语音通话转为以数据业务、增值业务为主。移动通信网络也从 TDM、ATM 转为全 IP,网络架构也变得更加扁平化。LTE (长期演进)移动通信网络架构如图 1-1 所示,主要可分成下述几部分。

(1) LTE 无线接入网部分,亦称演进型通用陆地无线接入网 (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN),该部分只包含一种设备,即演进型 LTE 基站 (Evolved Node B, eNodeB)。

(2) 移动承载网部分,实现无线接入网与核心网的对接,以及跨省漫游通信。移动承载网主要包括分组传送网 (Packet Transport Network, PTN)、光传送网 (Optical Transport Network, OTN)、用户边缘 (Customer Edge, CE) 路由器、防火墙 (Firewall, FW) 等。

(3) 核心网部分,包括 2G/3G 核心网和 LTE 核心网。2G/3G 核心网包括电路交换 (Circuit Switched, CS) 域和分组交换 (Packet Switched, PS) 域,主要设备包括移动交换中心 (Mobile Switching Center, MSC) 和通用分组无线系统业务支撑节点 (Serving GPRS Support Node, SGSN)。LTE 核心网 SAE 亦称为演进型分组核心网 (Evolved Packet Core, EPC),该部分包含了移动性管理实体 (Mobility Management Entity, MME)、系统架构演进网关 (System Architecture Evolution Gateway, SAE-GW)、策略和计费规则功能 (Policy and Charging Rules Function, PCRF)、归属用户服务器 (Home Subscriber Server, HSS) 等。

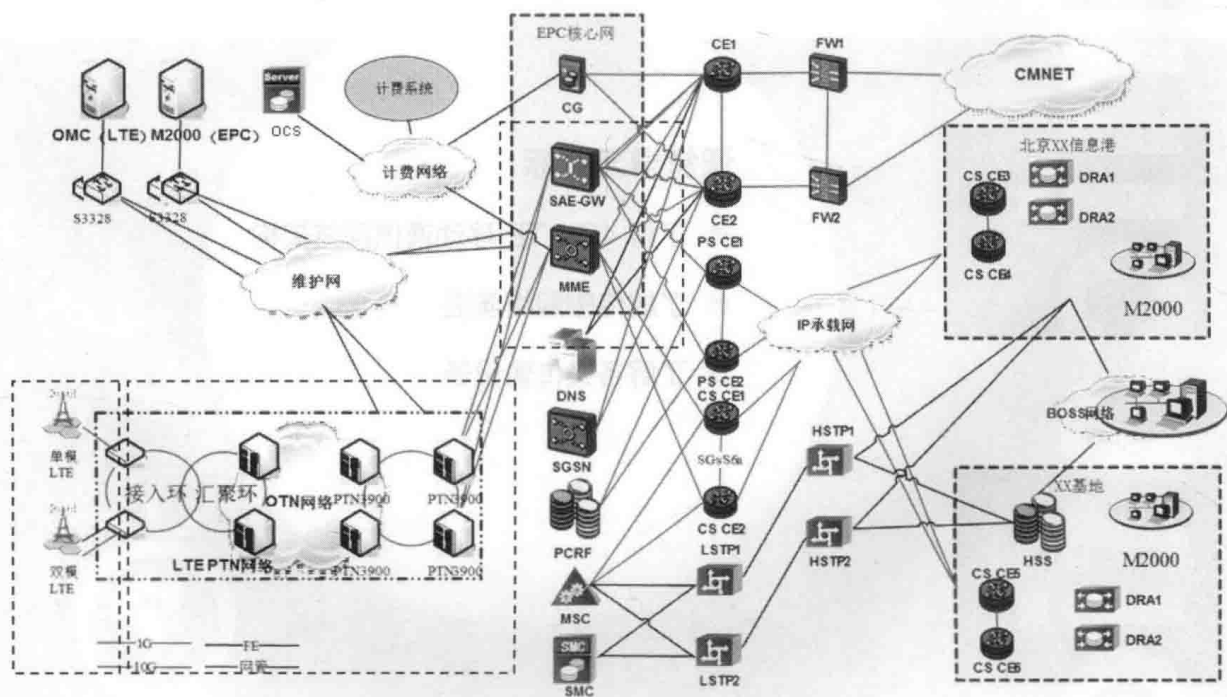


图 1-1 LTE 移动通信网络架构

(4) 配套系统部分,包含保证网络正常运行的必不可少的设备和网络,主要包括设备网管系统 M2000 或者操作维护中心 (Operation and Maintenance Center, OMC)、在线计费系统 (Online Charging System, OCS)、短消息中心 (Short Message Center, SMC)、域名服务器 (Domain Name Server, DNS)、Diameter 路由代理 (Diameter Routing Agent, DRA)、低级信令转接点 (Low-level Signaling Transfer Point,

LSTP)、高级信令转接点(High-level Signaling Transfer Point, HSTP)及业务运营支撑系统(Business and Operation Support System, BOSS)等。

本书重点介绍LTE移动通信网络传输网络部分,包括光纤通信技术、SDH技术原理、WDM技术原理、和OTN技术原理等内容。

1.2 传输网络演进

传输网络是各种业务网络的承载体,是公众电信网络层次中的重要网络。传输网络的好坏,必将制约其他业务网络的发展,影响通信业务的开展。

从1977年世界第一个光纤通信系统在美国投入商用以来,光纤通信网络技术快速发展,到了20世纪80年代,准同步数字系列(Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH)产品开始规模应用。PDH产品适用于小容量交换机组网、用户环路网、信息高速公路、移动通信(基站)、专网、DDN网等。但是由于无法适应网络高速发展的需求,PDH随着同步数字体系(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)的兴起而逐渐衰落。

20世纪90年代,SDH开始出现,作为一代理想的传输体系,具有路由自动选择的功能,上下电路方便,维护、控制、管理功能强,标准统一,便于传输更高速率的业务,能很好地适应通信网飞速发展的需要,并经过ITU-T的规范,在世界范围内快速普及。SDH网络可以承载2G/3G移动业务、IP业务、ATM业务、远程控制、视频及固话语音等业务,广泛应用于通信运营商、电力、石油、高速公路、金融、家庭及事业单位等。随着SDH接入的业务类型不断丰富,SDH产品不断更新,最终形成了以SDH为内核的基于SDH的多业务传送平台(Multi-Service Transfer Platform, MSTP)产品系列。

20世纪90年代后期,可以提供更高速率的密集波分复用(Dense Wavelength-Division Multiplexing, DWDM)技术,并开始规模建设。应用DWDM技术时,可以在一根光纤中同时传输多个波长的信息,提高了光纤资源的利用率,降低了建设投资成本。

21世纪初,为了将传输容量提高到Tbit/s甚至十几Tbit/s量级,在光层对信号进行处理(如光信号的分插/复用、光波长转换/交换等),采用光传输网络(Optical Transport Network, OTN)技术的产品的出现并应用。OTN主要应用在运营商网络,比如省际干线(国干)、省内干线(省干)、城域(本地)传输网。尤其是在4G时代,OTN设备已经下沉到城域接入层网络,承载的业务类型以GE/10GE/STM-64为主,还有少量STM-1/4/16、ATM、FE、DVB、HDTV及ANY业务。同时,一些有实力的大型企业也在自己的网络中引入了OTN产品,比如电力、石油、阿里巴巴等。

MS-OTN是继NG-WDM之后的新一代OTN产品,其标志性功能是支持MPLS-TP,满足网络ALL IP化的需求。另外,为了增强网络的智能特性,减少人工维护成本,可以基于OTN网络实施ASON/SOM/FD/T-SDN等技术。

随着数据业务的迅猛发展以及网络ALL IP化的需求,功能更强大的支撑数据业务传输的新技术出现并得以应用,如分组传送网络(Packet Transport Network, PTN)、无线接入网IP化(IP Radio Access Network, IPRAN),主要用来承载运营商的3G/4G基站回传业务、专线租赁业务。

为实现不同场合的业务传输需要,数字微波传输系统无线传输节点(Radio Transmission Node, RTN)在不适合敷设光纤介质的场合得到了广泛应用。微波通信RTN网络利用大气的视距传播,克服了光缆线路敷设周期长、建设成本高、土地资源限制等问题,具有建站快、经济效益高、无须协调土地资源等优点,是光纤通信传输技术的有力补充。

1.3 传输设备

按照技术原理,传输设备可以分为 SDH、WDM、PTN 和 RTN 四大类,SDH 演进为 MSTP,WDM 演进为 OTN。

1. MSTP (多业务传送平台)

MSTP 系统是基于 SDH 的多业务传送平台,拥有 SDH 的保护恢复功能和 OAM 功能,支持 PDH、SDH、Ethernet、ATM、PCM 等多种业务的接入与传送,早期广泛用于运营商 2G 无线通信承载,是最大的基础传输网络。随着无线通信技术带宽的快速增长和 3G/4G 技术的发展应用,PTN 或 IPRAN 网络取代了 SDH 网络承载基站回传业务,SDH 逐步开始退网。但随着大集团客户自建传输网络的需求,SDH 网络由于技术成熟、稳定且具有价格优势,依然被广泛应用,例如,石油公司、电网公司、铁道公司等大企业均采用 SDH 传输网络。

2. RTN900 系列新一代分体式 IP 微波传输系统

微波通信采用无线波通信方式,通过大气传播,不需要光电缆等传输介质,具有开通业务速度快、建网成本低等优点,被广泛应用于接入层传输。但由于微波通信容易受到天气影响,质量和速率不稳定,传输带宽偏小,所以微波通信技术在国内主要用于光缆无法到位的地方,如山区、城市高楼等,广泛应用于政府、广电、石油、电力等各个领域。

3. PTN 多业务分组传送平台

PTN (或 IPRAN 网络)即分组网络,随着 3G/4G 无线通信的发展应运而生,是目前国内运营商无线基站业务的承载回传网。

目前,各种新兴的数据业务应用对带宽的需求不断增长,同时对带宽调度的灵活性提出了越来越高的要求。作为一种电路交换网络,传统的基于 SDH 的多业务传输网已难以适应数据业务的突发性和灵活性。而传统的面向非连接的 IP 网络,由于其难以严格保证重要业务的质量和性能,因此不适宜作为电信级承载网络。

PTN 设备利用边缘到边缘的伪线仿真 (Pseudo-Wire Emulation Edge to Edge, PWE3) 技术实现面向连接的业务承载,采用针对电信承载网优化的多协议标签交换 (Multi-Protocol Label Switching, MPLS) 转发技术,配以完善的操作维护管理 (Operation Administration and Maintenance, OAM) 和保护倒换机制,集合了分组传送网和 SDH 传输网的优点,进而实现电信级别的业务。

4. 波分网络设备

波分网络也称为 OTN,即光传送网络。OTN 是由一组通过光纤链路连接在一起的光网元组成的网络,能够提供基于光通道的客户信号的传送、复用、路由、管理、监控以及保护 (可生存性)。

早期,波分网络的出现,主要解决了光纤资源不足的问题,提高了光纤传输容量。没有波分技术之前,一芯光缆只能传输一个波长,而通过波分复用技术,可以将多个不同波长复用进一芯光缆中进行传输。目前,波分网络按照系统波数可分为 40 波系统和 80 波系统,按照单波速率又可分为 10Gbit/s 系统、40Gbit/s 系统和 100Gbit/s 系统。依据不同的建网需求,当前运营商在接入层波分,主流建设 40×10Gbit/s 系统,实现 OLT 设备上联;城域波分网络主流建设 80×100Gbit/s 系统,承载大颗粒业务。

OTN 的一个明显特征 is 任何数字客户信号的传送设置与客户的特定特性无关,即具有客户无关性,支持所有业务承载。可以说,运营商的几乎所有业务都可以承载在波分网络上。

1.4 本书内容与安排

本书编者为华为技术支持专家、全球培训中心资深讲师，结合电信运营商、大集团企业客户等现网技术支持实践，收集并总结光纤通信产品最常见且最实用的解决方案（包括新产品知识介绍、新型业务应用介绍）。本书从光纤通信技术原理出发，介绍当前光纤通信领域涉及的 SDH、WDM、PTN、IPRAN 等技术。本书从技术协议原理、设备硬件和 U2000 网管业务配置等方面系统性阐述每一种技术的现网应用情形，同时分析国内三大运营商的传输网解决方案，帮助读者从真实现网案例中了解传输网的整体结构。

光纤通信技术是一门技术成熟、应用广泛的通信技术。光纤通信的基本概念已经深入到传输网的各个方面。本章从光纤传输基础知识入手,介绍了光纤通信的传输介质、无源器件和有源器件。了解光纤通信技术原理,有助于理解传输网的相关知识。

课堂学习目标

- 了解光纤传输的基本概念
- 了解光纤分类和相关参数
- 了解无源器件的分类和功能
- 熟悉光源分类和调制方式
- 熟悉掺铒光纤放大器和拉曼光纤放大器



2.1 光纤传输基础知识

光纤作为光纤通信的传输介质，始终是制约光纤通信发展的重要因素之一。无源器件，作为光纤通信产业的重要一环，在光纤通信系统中越来越受到重视。光源和光放大器作为光纤通信的重要组成部分，深刻影响着光纤通信的组网和应用。熟悉光纤传输系统的基本组成、相关参数，是掌握光纤通信网络的基础。

2.1.1 折射和反射

1. 折射和折射率

光线在不同的介质中以不同的速度传播，也就好像是不同的介质以不同的阻力阻碍光的传播。描述介质的这一特性的参数就是折射率，或者称为折射指数。如果 v 是光在某种介质中的传播速度， c 是光在真空中的传播速度，那么折射率可由下式确定。

$$n=c/v$$

在折射率为 n 的介质中，光传播速度变为 c/n ，光波长变为 λ_0/n （ λ_0 表示光在真空中的波长）。常见介质的折射率如表2-1所示。

表 2-1 不同介质的折射率

材料	空气	水	玻璃	石英	钻石
折射率	1.003	1.33	1.52~1.89	1.43	2.42

当一条光线从空气中照射到物体表面（如玻璃）时，它在另一种介质中的传播方向也会发生变化。当一条光线照射到两种介质相接的边界时，入射光线会分成反射光线和折射光线，这种现象，称为光的折射，如图2-1所示。

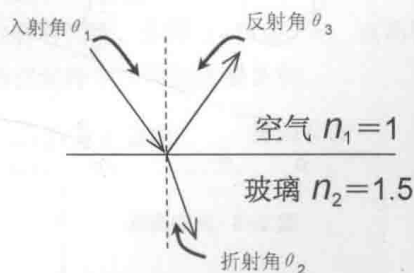


图 2-1 光的折射

入射光线、折射光线和反射光线的方向分别用入射角 θ_1 、折射角 θ_2 和反射角 θ_3 表示，这些角度由介质的折射率确定。折射定律给出了它们之间的关系，描述如下。

$$\theta_1 = \theta_3$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

所以，折射率可以根据光从一种介质进入另一介质时的弯曲程度来测量。当光从折射率较大的介质（如玻璃）进入折射率较小的介质（如空气）时，会发生什么情况呢？

2. 反射和全反射

如图2-2所示，入射角 θ （见图中虚线箭头）达到一定值时，折射角（见图中虚线箭头）等于 90° ，

光不会进入第二种介质（在这个例子中是空气），这时入射角即称为临界角 θ_c 。如果继续增大入射角至 $\theta > \theta_c$ ，所有光将反射回入射介质（见图中实线箭头），这一现象称为全反射现象。

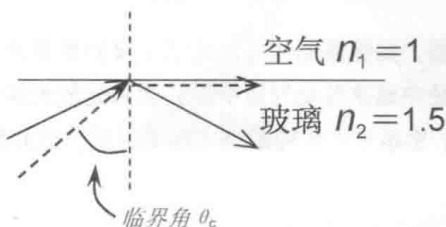


图 2-2 全反射

2.1.2 光的偏振

光属于横波，即光的电磁场振动方向与传播方向垂直。从普通光源发出的光是自然光，它具有一切可能的振动方向，在垂直于传播方向的平面内，任何一个方向的振动都不比其他方向占优势，如图 2-3a 所示。自然光在传播的过程中，由于外界的影响，各个振动方向的光强不相同，如果某一个振动方向的光强比其他方向占优势，这种光称为部分偏振光，如图 2-3b 所示。如果光波的振动方向始终不变，只是光波的振幅随相位改变，这样的光称为线偏振光，偏振（垂直）和偏振（水平）如图 2-3c 和图 2-3d 所示。实际上，可以用两个振动方向相互垂直、相位上相互独立的线偏振光来代替自然光，并且这两个线偏振光的光强等于自然光的总光强的一半。

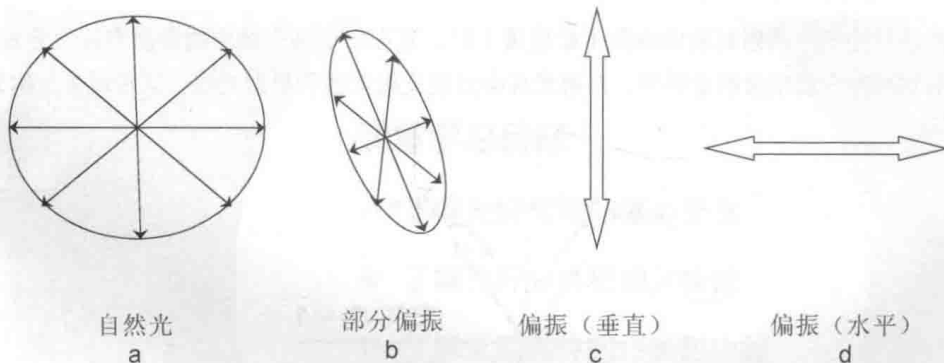


图 2-3 光的偏振

2.1.3 光的色散

光的色散是一种常见的物理现象，例如日光通过棱镜或水雾后会呈现按红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的顺序排列的彩色光谱。这是由于棱镜材料（玻璃）或水对不同波长（对应于不同的颜色）的光的折射率 n 不同，使得光的传播速度变得不同，折射角度也变得不同，最终使不同颜色的光在空间上散开。



光纤的结构、
模式及损耗

2.2 光纤基础知识

2.2.1 光纤的结构与折射率分布

光纤是光纤通信网中光信号的传输通道（介质），它由纤芯、包层与涂敷层三部分组成，剖面呈同心圆形，如图 2-4 所示。