



普通高校电子信息与通信类规划教材



光纤通信技术

GUANGXIAN TONGXIN JISHU

胡先志 胡佳妮 编 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

普通高校电子信息与通信类规划教材

光纤通信技术

胡先志 胡佳妮 编 著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统而全面地阐述了光纤通信所涉及的主要内容:通信基础知识、光纤、光缆、光器件、光纤通信系统、城域光网络、接入光网络和自动交换光网络等。

本书的特点是:①内容新颖,书中所阐述的光纤、光缆、光器件、光纤通信系统、光网络等技术内容都是取材于国内外光纤通信领域中的最新研究成果;②图文并茂,作者试图以清晰简练的文字和直观形象的图表,使读者能够轻松自如地掌握所学习的内容,享受学习过程的快乐;③实用性强,学以致用是读书目的,书中在注意清晰地叙述光纤通信的基本概念、基本原理和关键技术的同时,也列举了一些光纤、光缆、光器件选用方案,以及通信系统和光网络设计和应用实例,以彰显理论与实际相结合的特色;④目的明确,本书可作为应用型通信工程、电子信息工程、应用电子技术、光信息科学与技术等专业的“光纤通信”专业课教材使用,同时也可以用作光纤通信领域中的科研人员、工程技术人员和管理人员实用性技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信技术/胡先志,胡佳妮编著. --北京:北京邮电大学出版社,2011.4

ISBN 978-7-5635-2598-0

I. ①光… II. ①胡…②胡… III. ①光纤通信 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 031435 号

书 名: 光纤通信技术

编 著 者: 胡先志 胡佳妮

责任编辑: 付兆华

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: 北京忠信诚胶印厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 20.5

字 数: 509 千字

印 数: 1~3 000 册

版 次: 2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2598-0

定 价: 37.00 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 •

前 言

科学技术始终不渝地贯彻自己的使命:从利用材料资源制成工具,如弓箭、镰刀等,以扩展人类的体质能力;由能量资源创制工具,如机车、车床、飞机等,以扩展人类的体力能力;再到利用信息资源共享系统,如计算机网络,以扩展人类的信息交换能力。

1966年,科学家高锟博士提出了光纤通信理论,推动了通信领域技术革命,即由电通信进入光纤通信,光纤通信既提高人们的工作效率又丰富了人们的文化生活。鉴于高锟博士提出光纤通信技术,将人类带入了信息化时代,这位“世界光纤之父”于2009年10月6日荣获诺贝尔物理学奖。众所周知,信息化程度(通信)是以信息的传输和交换度量的。构建信息交流的两大要件是通信网络和终端设备。鉴于光纤具有巨大的带宽资源,现在通信网络普遍采用光网络作为信息传输平台来完成人们对各种信息的传送和交换。终端设备,如3G手机、数字电视机、个人计算机产业等则是依靠半导体材料、光电子器件和计算机科学与制造技术水平不断地推陈出新,从而推动了信息化社会进一步发展。

光纤通信技术已经成为构建信息化社会的技术之一。光纤通信技术的进步遵循了一个“点、线、面”的发展规律。“点”是指光电器件——基本组件,如激光器、光纤、光放大器等。“线”则为同步数字传输系统、波分复用传输系统、光时分复用系统——简单应用。“面”就是光网络——更加实用,如同步传送光网络、波分复用光网络、光传送网、自动交换光网络。因此,本书的内容阐述顺序采用了由“点”、“线”到“面”,从简到繁的叙述原则。首先介绍通信基础知识,接着叙述光纤结构、光波理论与光缆,其次描述光通信光器件基本结构、工作原理和工作特性,再之介绍传输系统的特点和设计,最后阐述光网络的各种类型、工作特点和应用实例。作者力求读者通过本书的学习之后,应该能够获得真实的感悟。光纤的品种更新、光器件功能增多、系统设备的多样化、光网络结构层次分工细化和控制由人工干预到智能化,彼此依靠,取长补短,是共同推动光纤通信技术发展的原动力。

如何借助于理论教学和实验手段,使通信类本科生尽快掌握光纤通信基本理论与最新技术,切实能够在今后各自从事的通信领域担当己任,这就是编写本书的目的所在。作者试图通过材料选择、内容编排、理论阐述、计算例题、应用实例和课后习题等一系列教学环节的训练之后,本科生应该掌握的知识要点是:①掌握光波导理论;②了解光纤结构与特性;③了解各种光器件的结构、工作原理和选用方法;④了解光纤通信系统特点、工作原理和设计方法;⑤掌握实现各层光网络的作用、关键技术和实际应用;⑥理解光网络的智能化管理是光网络服务和安全可靠的基础;⑦应该清晰地认识到光纤、光器件、系统设备、光网络结构和网络管理软件等方面出现的任何一个技术突破,一定会推动光纤通信技术向着更高的技术水平方向发展。

鉴于近二三年光纤通信关键技术的不断突破,光纤通信系统的传输速率、传输容量和传输距离的世界记录不断被刷新,优异性能的光器件层出不穷,进而大大缩短了光纤、光器件、

系统设备的性能和品种更新周期,使得光网络层次界限日益清晰,分工逐渐明朗,承载更多种类业务,光网络管理已正在向智能化方向迈进,正在为人类谋求更多福祉。

为了使我们高等院校通信类专业的师生及时掌握国际光纤通信的技术发展动态,国内应该积极出版一本内容新颖、重点突出、图文并茂、实用性强的光纤通信教材来满足学生学习光纤通信课程和从事光纤通信技术科研、设计和生产人员的工作需要。

本书作者以自己 20 多年从事光纤通信研究工作的亲身经验,在阅读了大量介绍光纤通信关键技术的最新研究成果的图书、期刊、文献基础上,以理论清晰、内容丰富、技术新颖、先进实用为指导,再总结国外先进经验,结合我国技术现状,认真编写了这本具有内容新颖、实用性强等特色的教材。

在本书的编写过程中,作者先后引用了赵梓森院士、韦乐平教授、顾畹仪教授等国内外众多专家的研究成果,也参考了一些国内外最新出版的图书、期刊和最新标准,从而使读者通过学习本教材既能够掌握基本理论,又可以了解到当今世界光纤通信技术的最新动态。

全书由胡先志和胡佳妮共同编写,其中第 1~3 章由胡佳妮博士编写,第 4~6 章由胡先志教授编写。胡先志教授负责全书的统稿工作。在本书编写过程中,参考、借鉴了国内外不少同行的相关著述,在此向他们表示真诚的感谢。

由于本书涉及光纤通信技术的基本理论、关键技术及光网络工程应用等诸多方面的理论和技术问题,书中内容广泛且技术新颖,加之作者专业水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者不吝赐教。

作 者

目 录

第 1 章 通信基础知识	1
1.1 通信技术简史	1
1.1.1 科学技术发展	1
1.1.2 通信技术简史	2
1.2 通信基本概念	4
1.2.1 通信	4
1.2.2 信号	5
1.2.3 光信号	7
1.2.4 信号调制	9
1.2.5 信号复用	11
1.3 通信及其业务	14
1.3.1 通信	14
1.3.2 通信业务的种类	15
1.4 通信系统	21
1.4.1 系统组成	21
1.4.2 系统分类	22
1.4.3 系统性能	23
1.5 光纤通信网络	25
1.5.1 光纤通信系统	25
1.5.2 光纤通信网络结构	26
小结	28
习题	29
第 2 章 光 纤	31
2.1 光纤的基本结构及特点	31
2.1.1 光纤的基本结构	31
2.1.2 光纤的特点	32
2.2 光波导理论	34
2.2.1 几何光学	34
2.2.2 研究目的	38

2.2.3	光射线理论	38
2.2.4	波动理论	41
2.2.5	单模光纤	45
2.3	光纤制造	48
2.3.1	光纤设计	48
2.3.2	光纤材料	48
2.3.3	光纤制造	49
2.4	光纤传输性能	50
2.4.1	衰减	50
2.4.2	色散	54
2.4.3	偏振模色散	58
2.4.4	非线性效应	60
2.5	常用光纤及其性能特点	66
2.5.1	多模光纤	66
2.5.2	单模光纤	68
	小结	73
	习题	74
第3章	光 缆	76
3.1	光缆设计原则	76
3.1.1	保护光纤	76
3.1.2	设计原则	78
3.2	光缆分类	79
3.3	结构特点	80
3.3.1	结构类型	80
3.3.2	室外光缆	80
3.3.3	室内/外两用光缆	84
3.3.4	室内光缆	84
3.4	光缆性能	87
3.4.1	机械性能	87
3.4.2	环境性能	87
	小结	88
	习题	88
第4章	光器件	90
4.1	概述	90

4.2 光源	91
4.2.1 作用	91
4.2.2 激光原理	92
4.2.3 发光二极管	96
4.2.4 激光器	103
4.2.5 光源的调制	119
4.3 波分复用器	120
4.3.1 波分复用器的作用	120
4.3.2 波分复用器的工作原理	121
4.4 光放大器	126
4.4.1 作用	126
4.4.2 分类	127
4.4.3 工作波段	127
4.4.4 掺铒光纤放大器	128
4.4.5 拉曼光纤放大器	136
4.5 色散补偿器	140
4.5.1 色散补偿	140
4.5.2 色散补偿光纤	141
4.5.3 啁啾光栅色散补偿模块	144
4.5.4 色散补偿器性能比较	146
4.6 偏振模色散补偿器	146
4.6.1 补偿意义	146
4.6.2 补偿方法	147
4.7 光电检测器	151
4.7.1 作用	151
4.7.2 性能	151
4.7.3 常用的光电检测器	153
4.7.4 PIN 光电二极管	153
4.7.5 雪崩光电二极管	156
4.8 光分插复用器	158
4.8.1 作用	158
4.8.2 工作原理	159
4.9 光开关	161
4.9.1 作用	161
4.9.2 工作原理	162
4.10 光交叉连接器	166
4.10.1 作用	166

4.10.2 工作原理和结构类型·····	166
小结·····	171
习题·····	172
第5章 光纤传输系统 ·····	174
5.1 光纤通信系统·····	174
5.1.1 通信系统·····	174
5.1.2 数字光纤通信系统·····	175
5.2 同步数字体系传输系统·····	176
5.2.1 基本概念和特点·····	176
5.2.2 SDH 速率与帧结构·····	179
5.2.3 复用与映射·····	182
5.2.4 基本复用单元·····	184
5.2.5 映射、复用结构·····	186
5.2.6 虚容器级联·····	187
5.2.7 同步复用·····	188
5.2.8 SDH 组网·····	189
5.2.9 SDH 保护与恢复·····	193
5.2.10 SDH 光接口分类与参数规范·····	198
5.2.11 SDH 传输系统设计·····	199
5.2.12 应用实例·····	208
5.3 波分复用传输系统·····	210
5.3.1 产生与发展·····	210
5.3.2 复用原理·····	212
5.3.3 关键技术·····	216
5.3.4 技术标准·····	218
5.3.5 系统分类·····	223
5.3.6 系统设备·····	225
5.3.7 光层保护技术·····	228
5.3.8 DWDM 系统设计·····	232
5.3.9 应用实例·····	240
5.4 光时分复用系统·····	241
5.4.1 产生·····	241
5.4.2 复用原理·····	241
5.4.3 系统组成·····	242
5.4.4 关键技术·····	243
5.4.5 系统特点·····	243

5.4.6 应用实例	244
小结	246
习题	246
第 6 章 光网络	249
6.1 光网络分类与功能	249
6.1.1 分类	249
6.1.2 功能	250
6.2 城域光网络	251
6.2.1 特点	251
6.2.2 技术选择	252
6.2.3 分层模型	252
6.2.4 疏波分复用技术	253
6.2.5 多业务传送平台	256
6.3 接入光网络	264
6.3.1 定义	264
6.3.2 作用	264
6.3.3 技术分类	265
6.3.4 功能模型	266
6.3.5 支持业务种类	268
6.3.6 有源光网络	268
6.3.7 无源光网络	269
6.3.8 下一代无源光网络	281
6.4 光传送网	287
6.4.1 产生	287
6.4.2 概念	288
6.4.3 体系结构	288
6.4.4 帧结构	290
6.4.5 复用/映射	291
6.4.6 应用实例	293
6.5 分组传送网	295
6.5.1 产生	295
6.5.2 概念	295
6.5.3 传输技术	295
6.5.4 特点	296
6.5.5 关键技术	297
6.5.6 业务仿真技术	297

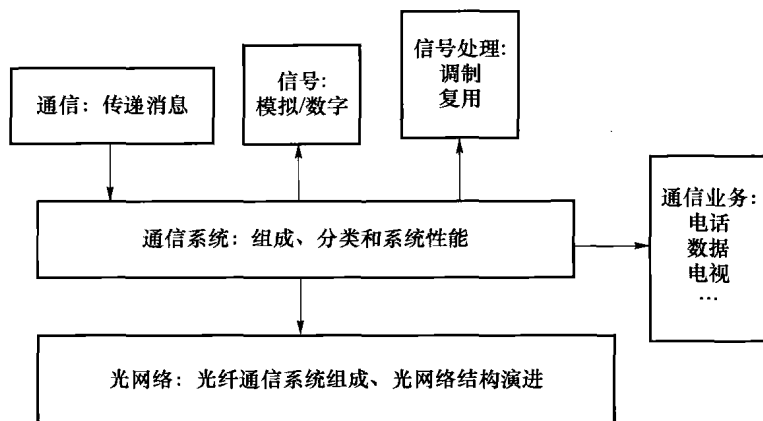
6.5.7 应用实例	298
6.6 自动交换光网络	299
6.6.1 产生	299
6.6.2 特点	300
6.6.3 体系结构	301
6.6.4 控制平面功能	303
6.6.5 信令网	305
6.6.6 3 种连接方式	306
6.6.7 ASON 网络实现原理	306
6.6.8 关键技术	308
6.6.9 ASON 设备	309
6.6.10 应用实例	309
小结	312
习题	312
参考文献	315

第 1 章 通信基础知识

学习目标

1. 了解通信技术发展简史。
2. 掌握通信基本概念。
3. 掌握业务传输技术特点。
4. 理解通信系统的组成、分类和系统性能。
5. 掌握光纤通信系统及其组成的光网络演进。

知识要点



1.1 通信技术简史

1.1.1 科学技术发展

人类的科学技术发展史经历了古代、近代和现代 3 个阶段。古代科学技术的代表是材料科学技术，它的本质使命是利用物质资源制造质料工具，如锄头、镰刀、弓箭、棍棒等，以扩展人类的体质能力。近代科学技术的代表是能量（源）科学技术，其实质是使用能源或者动力为资源创造动力工具，如机车、汽车、轮船、飞机等，以扩展人类的体力能力。现代科学技术是建立在材料科学技术和能源科学技术基础上的信息科学技术，它的本质使命是利用信息资源共享网络，如通信系统、计算机网络等，以拓展人类的信息交换能力。为了使读者能够真正认识到信息时代的特点，表 1-1 给出了人类科学技术发展历程和本质使命的简要

总结。

表 1-1 科学技术发展历程和本质使命

时代	资源	科学技术	工具	扩展能力
古代	物质	材料科学	质料	体质
近代	能源	能源科学	动力	体力
现代	信息	信息科学	网络	智力

通信的任务是及时、准确、安全地完成信息在空间上的传递。纵观通信技术的发展史，通信技术经历了由包含有简单信息的原始光通信时代，如中国古代的烽火只能传递敌人是否入侵的简单信息，利用递驿站传书系统，即以书写文字和符号的信件或者信使的形式实现较多的信息和较远距离的信息传递。

随着人类对材料科学技术和能源科学技术世界的认识逐渐深入，现在人类已经进入信息科学技术时代。信息科学技术的发展既促进了信息的创造、传递、存储和处理等过程的能力和效应，同时又提高了政府、企业的工作效率和丰富了人们文化生活。今天，当我们在回顾通信技术发展历程时，可以清晰地看到材料科学技术、半导体器件、电子器件、光电集成电路制造技术、计算机软件等领域的技术进步推动了通信技术的飞速发展。同时，随着人们对电话、数据、视频、多媒体等通信业务的需求与日俱增，既加快了通信技术更新的步伐，推动了经济发展，又催促了信息化社会的诞生，进而提高了人们的工作效率和丰富了人们的生活。读者通过以下的通信技术简史就能够领略到通信技术的进步带动人类社会发生巨大变革的魅力。

1.1.2 通信技术简史

今天，如果按照时代划分，通信技术经历了由光通信到电通信再到光纤通信的三大飞跃。光通信可以上溯西周时期建立的烽火台作为军事报警设施，下及当今指挥城市交通的信号灯和航海中使用的灯塔。光通信的缺点是其传输距离和传递信息量非常有限。为了使光通信延长传输距离和增加传递信息内容，1792 年，法国工程师 Claude Chappe 发明了采用机械臂编码来传输信息的光电报，利用中间接续站（现在通信术语称为中继站）可以实现超过 100 km 的通信。Chappe 的光电报系统是在山顶上建立一系列的尖塔，各个尖塔之间的距离在视线范围。每个塔上安装机械臂，操作人员按照机械臂编码，即通过转动机械臂至不同位置来代表字母、数字或者一些常用的语句，从而实现较多的信息和较远距离的广播式的商业信息传递。

1794 年，世界上第一个光电报在法国的两个城市——巴黎和里尔——投入商用，从而实现了相距 200 km 距离的通信。如图 1-1 所示给出了 Claude Chappe 及其发明的光电报的示意图。读者可以由该图看到这个光电报通过转动机械臂角度发出了一条由 CH、A、P、P、E 5 个字母组成的消息。这个非常有趣的消息恰好就是光电报发明人的名字——Chappe。自 1794 年到 1830 年，法国光电报系统从巴黎延伸到意大利、德国、比利时的边界。光电报系统是一种视距通信，其系统十分简单，传输距离和传递信息量少，而且保密性差。

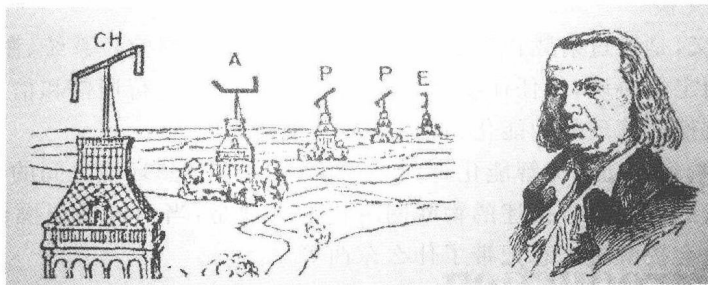


图 1-1 Claude Chappe 及其发明的光电报示意图

电信时代始于 1837 年,由 Wheatstone 和 Morse 独立发明的电报。电报是利用无线电电磁波进行快速跨越洲际的电报信号传输。Morse 利用一系列的点划线形式编码来表示字母,使电报实现了大容量和远距离的信息传递。电报是最原始、非实时数字通信的形式。1876 年,Bell 发明了电话。电话是用连续变化的电流来表示说话人的声音。电话既缩短了人与人之间的距离,又实现了实时通信。1953 年,美国成功研制出彩色电视,从而丰富了人们的生活。1969 年,美国高级研究计划局资助建立了一个名为 APPANET 的计算机网络。这个网络为研究人员创造了资源共享的研究条件。计算机网络没有时空限制,信息传输和控制简单易行,其规模一直在快速的增长,以致于发展成为世界上最大的国际性计算机因特网。光电子材料与制造、数字信号处理等技术的进步,通过各种通信终端设备,如电话、电视和计算机等提高了人们的工作效率和丰富了人们的文化生活,推动了人类向着信息化时代迈进的步伐。

1966 年 7 月,英籍华裔科学家高琨为了解决电通信中的传输介质——铜线电缆存在传输容量随频率增加,而使传输距离大幅度地降低及电磁干扰等问题,他提出可以利用石英玻璃光纤作为传输介质实现光纤通信的原创技术设想。1970 年,美国康宁公司和贝尔实验室分别制造出石英玻璃光纤和半导体激光器。1976 年,美国贝尔实验室在美国的亚特兰大将世界上的第一个光纤通信系统投入商用。因此,全球通信界业一致公认,1976 年是光纤通信的元年。1978 年,模拟蜂窝移动通信系统投入使用。这标志着通信技术由固定通信向移动通信方向发展,以求实现“无处不在,处处在”的全球通。1980 年,有线电视和综合业务数字业务。1988 年,宽带综合业务数字网。1991 年,全球移动通信系统进入商用。1995 年,美籍华裔科学家厉鼎毅倡导利用波分复用技术,即利用简单的光器件就可以在单根光纤中实现大容量的传输,进而大大地降低了传输系统的成本。1998 年,美国开通了数字电视业务,进一步提高了电视业务清晰度和服务质量。1999 年,具有宽带综合业务能力的第三代移动通信系统投入应用。

进入 21 世纪以来,以打电话、看电视、上网浏览、发电子邮件等形式实现信息的传递和交换已经成为人们日常工作和生活不可或缺的内容。人们利用各种通信网络和数字通信终端设备,如电话、计算机和电视机来获得语音、数据和电视通信业务。例如,电话网可以缩短人与人之间的距离;进入数字通信网,瞬间就可以得到海量的最新信息,使整个世界变为一个村庄——“地球村”。然而,各种宽带多媒体视频业务,如远程教育、远程专家诊断、电视会议、清晰数字电视、视频点播等既提高工作效率又使我们的文化生活变得丰富多彩。

物联网(The Internet of things),顾名思义就是物物相连的因特网。物联网具有两层含义:①物联网是在因特网基础上扩展的网络;②物联网用户终端的任何物品之间可以

进行通信和信息交换。

物联网的定义,是通过射频识别、红外线感应器、全球卫星定位系统、激光扫描仪等信息传感设备,按照约定的协议,使任何物品与因特网连接起来,进行通信和信息交换,以实现识别、定位、跟踪、监控和管理的智能化网络。

物联网利用精确和动态的智能化管理方式,促进人与自然环境之间的和谐。例如,2005年,国际电信联盟的一份报告描述的物联网时代的景观是:当司机出现操作失误时,汽车会自动报警;公文包会提醒主人忘记带了什么东西等。

2010年1月13日,在国务院常务会议上提出了电信网、电视网和因特网三网融合。三网融合的目的是通过三网互联互通、资源共享,为用户语音、数据和电视等多种业务服务,以达到促进信息产业、经济增长和文化事业健康发展的目的。

随着三网融合的发展,一定会产生一个崭新的通信模式——“统一通信”。统一通信的技术核心是:使任何人在任何时间、任何地点都可以通过任何设备、任何网络,与任何人进行语音、数据和图像的自由通信。统一通信系统集语音、数据、图像和多媒体等所有信息类型为一体,从而为人们带来了业务选择的自由和经济效率的提高。因此,统一通信既体现出以人为本的应用层面的融合又标志着通信产业的革命。

综上所述,光纤通信新技术为信息社会构建信息服务平台,让信息服务惠及每个用户,使他们能够随时随地遨游在瞬息万变的信息世界。当今的通信业正在发生着巨大的技术革命。通信技术革命体现形式在于业务的IP化、信息承载的多媒体化、网络的融合化、管理控制的智能化。通过这些技术进步来增加通信业务类型,降低网络运行维护成本,带动通信业技术进步,促进社会经济有效、健康地发展。例如,物联网和三网融合所追求的都是统一通信。统一通信就是要使未来的通信发展趋势定位在数字化、综合化、移动化、宽带化和个性化五大方向。

1.2 通信基本概念

1.2.1 通信

在当今的信息时代,通信在我们的工作和生活中扮演着非常重要的作用。通信是信息的传输和交换。就通信技术的角度而语,通信是以语音、图像、数据为媒体,通过电信号或者光信号形式将信息由一方传输到另一方。为了便于读者对于通信概念的理解,图1-2给出了一个最简单的通信系统的模型。例如,用户要与朋友通电话,首先需要思考与朋友分享什么。有关通话的内容是由图1-2所示的“处理层”完成。在现代通信中,通信一般包括信号的产生、传输和接收三个过程。例如,计算机通信的数据处理是在处理层完成的,而物理层则承担着数据传输任务。

在通信领域中,广义的术语“处理层”代表由一系列逻辑组成的极为复杂功能体系。数据处理应该在不同的处理层完成,以使要传送的消息转换成一串数据流;接着的处理是将该数据流转换成一个物理信号。例如,在电话通信中,我们可以由发音器官完成由消息到物理信号的处理。用户能够通过精确的方式产生和调制声波,以表达与朋友通话的句子。用户的发声系统扮演着一个音频发射器。随后应该完成的是物理信号的传输,声波携带能量通

过空气介质传播直到用户的朋友听到为止。接着是接收到的物理信号将其转换为由头脑处理的原始格式。人的耳朵接收这个原始信息,同时它也扮演着接收器的作用。接收器的作用是将物理信号转变为适合于神经系统进一步处理的、合适的形式。

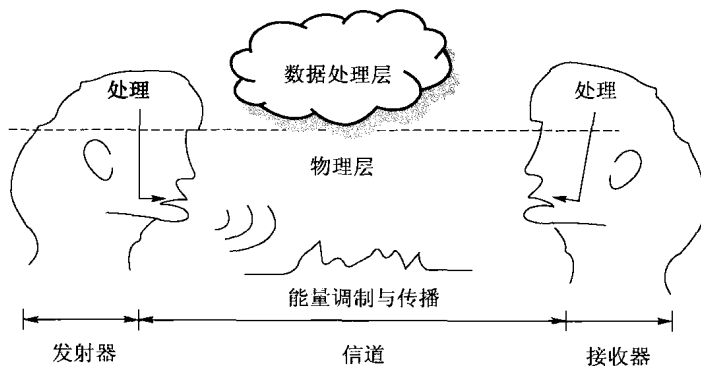


图 1-2 最简单的通信系统模型

电信是利用有线、无线、光或者其他电磁系统传输、发送或者接收代表符号、书写、影像和声音或者其他任何性质情报的信号。作为即将从事电信业工作的读者,应该掌握通信概念和电信概念的本质差异,通信是按照约定传递信息,而电信是利用电磁系统(广义泛指)传递代表媒体的信号。电磁系统完成信号传递功能。因此,电磁系统广义泛指传输系统、复用设备和交换设备的串接。在本书中,主要讨论的是光信号的传输问题。“电磁系统”是狭义特指“光信号的传输系统”,而电磁系统广义则指“实现光信号的传输与交换的光网络”。通信是一个广义的概念,而电信则是一个狭义的概念。

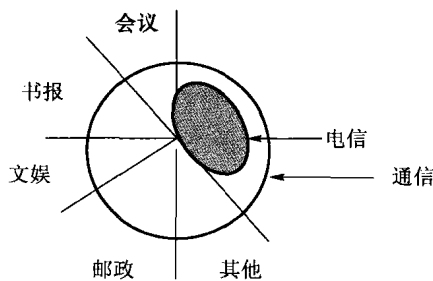


图 1-3 通信与电信之间的关系

图 1-3 揭示了通信与电信之间的关系。

1.2.2 信号

1. 信号及其分类

信息是一种资源,是人类依靠的物质、能量和信息三大要求因素之一。信号是消息的物理载体。消息则是信息的物理表现形式,如语音、文字、符号、数据和图像等。通信就是消息传输或信息传输。信息、消息和信号三者存在着十分紧密的关系。更为通俗地讲,如果说信息是思想,那么消息则是语言,而信号就是声音。信息是通过消息来表达,消息通过信号来传输。信号是通信系统直接处理的对象,了解信号的特征和处理方法,是掌握光纤、光器件、光纤通信系统、光网络的工作原理的基础。

信号具有强度、频率、相位、能量等基本特征。信号可以表示为时间的函数。按照信号在时间坐标呈现的连续变化或者阶跃变化,信号可以分为模拟信号和数字信号。模拟信号是幅度连续时变的信号。模拟信号又称为连续信号,如图 1-4(a)所示连续信号的取值可用连续的时间函数表示。例如,视频摄像机将图像转换为电信号就是模拟信号,其电压(电流)

取值为时间的连续变化值。

数字信号是幅度阶跃时变信号。数字信号又称为离散信号,如图 1-4(b)所示离散信号可用取值有限个离散值连续的时间函数表示。例如,代表文字的编码和计算机数据信号,其电压(电流)只能够取有限个离散值。

应该特别指出的是,判断信号是模拟信号还是数字信号的准则,是看信号取值是连续的还是离散的,而不是看时间是连续的还是离散的。读者可以由图 1-4 清晰地看出模拟信号的连续性和数字信号的离散性特点。

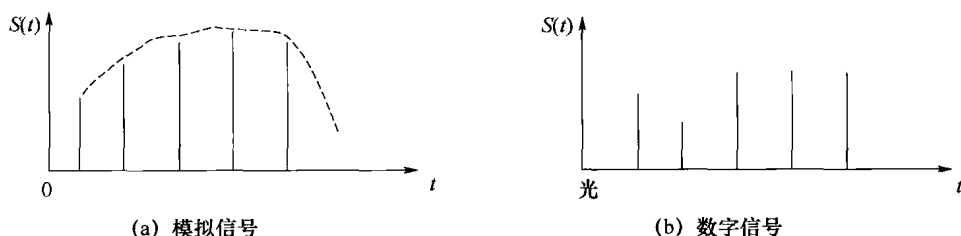


图 1-4 模拟信号和数字信号

2. 模/数变换

由于数字信号具有抗干扰、数字复接、便于加密和集成度高等诸多优点,故其在现代通信系统中得到广泛应用。然而许多信源输出的模拟信号,如原始语音信号是模拟信号,若其要在数字通信系统传输,首先必须将输入的模拟信号调制变换为数字信号,即“模/数”变换。模/数变换包括三个基本步骤:抽样、量化和编码。

抽样是模/数变换的基础。抽样是以规则的时间间隔,对连续的模拟信号进行离散的取值处理,使模拟信号可以变换为数字信号的过程。抽样速率由模拟信号的带宽 Δf 决定。由抽样定理得知,只要抽样频率 f_s 满足奈奎斯特判据 $f_s \geq 2\Delta f$,完全可以用抽样值来表示一个带宽有限的模拟信号,而抽样值不会引起任何信息损失。抽样定理为模拟信号变换为数字信号奠定了理论基础。

量化是利用预先规定的有限个电平来表示模拟信号抽样值的过程。量化过程是对信号幅度进行离散处理。编码是将量化后的信号电平数值变换成二进制码组的过程。编码的逆过程称为解码或译码。编码的目的是提高信号的传输可靠性。

在光纤通信中,最常用的编/解码是模/数变换方法,即脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)方法。PCM 方法以二进制编码为基础,将模拟信号量化后的每个抽样值变换为 0 和 1 比特数字串。为了便于读者理解,图 1-5(a)~1-5(c)所示为模拟信号变换为数字信号的 3 个基本过程及其之间的密切关系。

3. 信号特性

信号是通信系统直接处理的对象,其存在于系统的每个环节。通信中的信号基本特性可以用它们的时间特性和频率特性来表示。时间特性表示信号电压或电流随时间的变化关系。频率特性指信号可以表示为许多不同频率正弦信号的线性组合。

正弦信号包围的频率范围,称为信号的带宽(频谱)。信号带宽是信号频谱范围的度量,其可以表示信号携带的信息量。带宽是衡量传输系统的一个重要指标。在光纤通信中,带宽与传输速率、传输距离、光纤色散等有着密切的关系。