



高等学校信息工程类专业系列规划教材

现代通信技术与网络应用

(第二版)

张宝富 张曙光 田 华 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

现代通信技术与网络应用

(第二版)

张宝富 张曙光 田华 编著

李玉权 主审

西安电子科技大学出版社

2010

内 容 简 介

本书全面系统地讲述了现代通信的基本原理、通信新技术和通信网络的应用。内容包括通信系统模型、通信网络的概念与结构组成、数字通信与数据通信的基本原理、现代通信终端、数字程控交换与软交换、大容量长距离的光纤传输与超长距离的卫星传送、传统的电话网络、高速无线与 3G 移动接入网络、数据通信与计算机网络和下一代通信网络 NGN 等。

本书最大的特点是内容的选取兼顾了正在被广泛使用的通信技术和现代通信的最新进展,同时所选内容具有代表性和稳定性,从而便于理解在此基础上发展起来的各种新技术。

本书是现代通信技术的一本基础性教材,也是一本普及性读物,可作为高等院校电子工程、通信工程、广播电视及相关专业的教材和有关通信工程的自考、函授教材,也适合作为技术培训教材以及广大科技人员的自学用书。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术与网络应用 / 张宝富, 张曙光, 田华编著. —2 版.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.2

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

ISBN 978-7-5606-2368-9

I. ① 现… II. ① 张… ② 张… ③ 田… III. ① 通信技术—高等学校—教材
② 计算机网络—高等学校—教材 IV. TN91 TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 229986 号

策 划 马乐惠

责任编辑 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2010 年 2 月第 2 版 2010 年 2 月第 3 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 23.375

字 数 551 千字

印 数 10 001~13 000 册

定 价 33.00 元

ISBN 978-7-5606-2368-9/TN · 0546

XDUP 2660002-3

如有印装问题可调换 !

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

第三次全国教育工作会议以来,我国高等教育得到空前规模的发展。经过高校布局和结构的调整,各个学校的新专业均有所增加,招生规模也迅速扩大。为了适应社会对“大专业、宽口径”人才的需求,各学校对专业进行了调整和合并,拓宽专业面,相应的教学计划、大纲也都有了较大的变化。特别是进入21世纪以来,信息产业发展迅速,技术更新加快。面对这样的发展形势,原有的计算机、信息工程两个专业的传统教材已很难适应高等教育的需要,作为教学改革的重要组成部分,教材的更新和建设迫在眉睫。为此,西安电子科技大学出版社聘请南京邮电大学、西安邮电学院、重庆邮电大学、吉林大学、杭州电子科技大学、桂林电子科技大学、北京信息科技大学、深圳大学、解放军电子工程学院等10余所国内电子信息类专业知名院校长期在教学科研第一线工作的专家教授,组成了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材编审专家委员会,并且面向全国进行系列教材编写招标。该委员会依据教育部有关文件及规定对这两大类专业教学计划和课程大纲,对目前本科教育的发展变化和相应系列教材应具有的特色和定位以及如何适应各类院校的教学需求等进行了反复研究、充分讨论,并对投标教材进行了认真评审,筛选并确定了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材的作者及审稿人。

审定并组织出版这套教材的基本指导思想是力求精品、力求创新、好中选优、以质取胜。教材内容要反映21世纪信息科学技术的发展,体现专业课内容更新快的要求;编写上要具有一定的弹性和可调性,以适合多数学校使用;体系上要有所创新,突出工程技术型人才培养的特点,面向国民经济对工程技术人才的需求,强调培养学生较系统地掌握本学科专业必需的基础知识和基本理论,有较强的本专业的基本技能、方法和相关知识,培养学生具有从事实际工程的研发能力。在作者的遴选上,强调作者应在教学、科研第一线长期工作,有较高的学术水平和丰富的教材编写经验;教材在体系和篇幅上符合各学校的教学计划要求。

相信这套精心策划、精心编审、精心出版的系列教材会成为精品教材,得到各院校的认可,对于新世纪高等学校教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会

高等学校计算机、信息工程类专业 规划教材编审专家委员会

主任：杨震（南京邮电大学校长、教授）

副主任：张德民（重庆邮电大学通信与信息工程学院院长、教授）

韩俊刚（西安邮电学院计算机系主任、教授）

计算机组

组长：韩俊刚（兼）

成员：（按姓氏笔画排列）

王小民（深圳大学信息工程学院计算机系主任、副教授）

王小华（杭州电子科技大学计算机学院教授）

孙力娟（南京邮电大学计算机学院副院长、教授）

李秉智（重庆邮电大学计算机学院教授）

孟庆昌（北京信息科技大学教授）

周娅（桂林电子科技大学计算机学院副教授）

张长海（吉林大学计算机科学与技术学院副院长、教授）

信息工程组

组长：张德民（兼）

成员：（按姓氏笔画排列）

方强（西安邮电学院电信系主任、教授）

王晖（深圳大学信息工程学院电子工程系主任、教授）

胡建萍（杭州电子科技大学信息工程学院院长、教授）

徐伟（解放军电子工程学院电子技术教研室主任、副教授）

唐宁（桂林电子科技大学通信与信息工程学院副教授）

章坚武（杭州电子科技大学通信学院副院长、教授）

康健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）

蒋国平（南京邮电大学自动化学院院长、教授）

总策划：梁家新

策划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

本书按照西安电子科技大学出版社“面向 21 世纪高等学校信息工程类专业教材”规划，由高等学校计算机、信息工程类专业规划教材编审专家委员会编审、推荐出版。本书由解放军理工大学担任主编，博士生导师李玉权教授担任主审。

本书自 2004 年出版以来，已在全国许多高等院校使用。许多选用过本教材的老师和同学，通过各种方式提出了许多宝贵意见，为教材的修订工作奠定了基础。为了适应时代的需要，及时反映通信技术最新的研究成果，作者对本教材的内容进行了修订。修订后教材的内容共分 9 章，具体安排如下：

第 1 章：概述，介绍现代通信系统模型、数字与数据通信的基本原理、多路复用与多址通信技术以及通信网络概念。

第 2 章：现代通信终端，介绍了电话、传真、手机及多媒体终端。

第 3 章：现代传输技术，介绍了光纤通信、移动通信、数字微波与 VSAT 卫星通信的基本原理与关键技术。

第 4 章：现代交换技术，介绍数字程控交换、移动交换、软交换与光交换的基本原理及交换机的组成结构。

第 5 章：电话通信网，介绍传统电话网络的结构、电话网编号、公共信令网与数字同步网。

第 6 章：移动通信网，介绍 GSM 网络、CDMA 网络、集群移动网、3G 移动网及进一步演变。

第 7 章：数据与计算机通信网，介绍数字数据网 DDN、帧中继、IP 网络及 IP 电话(VOIP)网。

第 8 章：宽带接入网络，重点介绍 ADSL、Cable MODEM、高速无线接入和光纤到户等。

第 9 章：通信网络新技术，重点介绍宽带 IP 网、智能网 IN、虚拟专用网 VPN 和 NGN 网络。

本次修订主要集中在 3G 移动、无线接入、软交换和 NGN 网络等方面。修订工作得到了各位专家教授的大力支持，在此表示诚挚的谢意，全书由张宝富负责统稿。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不当之处，欢迎读者批评指正。作者电子邮箱 zhangbaofu@163.com。

编著者
2009.11

第一版前言

光纤通信的出现使大容量的信息传输成为可能；移动卫星通信使得通信具有了个性化特征；通信技术与计算机技术的融合，更使得通信具有了智能化的特点。通信与计算机技术的蓬勃发展以及架构于其上的宽带综合业务数字网 ISDN 的迅速崛起，都标志着现代通信正成为信息网络的平台和信息产业的重要支柱。

本书共分为 9 章。第 1 章概述，介绍了现代通信的概念、通信系统模型、网络概念及组成。第 2 章现代通信终端，介绍了电话、传真、图像终端、多媒体终端等现代通信终端的基本原理。第 3 章现代传输技术，介绍了光纤通信、移动通信、数字微波中继通信、卫星通信的基本原理及主要的关键技术。第 4 章现代交换技术，介绍了交换的基本原理及主要的交换方式。第 5~8 章介绍了现代通信网络的应用情况，包括电话通信网、移动通信网、数据和计算机通信网和宽带接入网。第 9 章介绍了现代通信网络的发展。

本书的写作特点是：力求按照循序渐进的原则，将现代通信的基本概念、所需的技术基础、各种通信技术手段以及通信网络应用等内容，融成一个有机的整体，避免将各种通信技术手段进行罗列。教材中安排了如模拟信号的数字化、数字复接、数字传输体制、数据传输、数据通信协议等内容，这些内容在原理课中并非重点，但对于后面的通信技术来说又是必备的。这样的安排可使现代通信原理与现代通信技术之间衔接得更好，便于教学和读者自学。

本书的第 1、2、8 章由张宝富编写，第 4、5、7、9 章由张曙光编写，第 3、6 章由田华编写。在编写的同时，编者得到了诸多专家的指导，也听取了多位教师的建设性意见以及学生提供的反馈意见，在此向他们表示诚挚的感谢。

由于本书涉及的内容是跨专业的，写作难度大，书中难免存在不足之处，请读者多提宝贵意见。E-mail: zhangbaofu@163.com。

编 者
2003 年 11 月

目 录

第 1 章 概述	1	2.1.1 电话机的组成原理	56
1.1 通信的基本概念	1	2.1.2 电话机的种类和功能	57
1.1.1 通信系统模型	1	2.2 传真机	60
1.1.2 电磁频谱	2	2.2.1 传真机的种类	60
1.1.3 通信信道与通信容量	3	2.2.2 典型传真机的组成原理	61
1.1.4 基带与频带传输	10	2.3 图像终端	70
1.1.5 通信方式	10	2.3.1 图像获取设备	70
1.1.6 模拟与数字通信	11	2.3.2 图像显示终端	71
1.1.7 通信系统性能与噪声	11	2.4 多媒体计算机	72
1.2 数字通信	14	2.4.1 多媒体的主要特点	72
1.2.1 基本概念	14	2.4.2 多媒体计算机的关键技术	73
1.2.2 信源的数字化	16	2.4.3 多媒体计算机的组成	74
1.2.3 数字复接	24	2.5 现代多媒体终端	74
1.2.4 数字信号基带传输	26	2.5.1 掌上电脑	74
1.2.5 数字编码与差错控制	27	2.5.2 多媒体手机	75
1.2.6 数字调制	31	2.5.3 信息电话	77
1.3 数据通信	38	习题	78
1.3.1 基本概念	38	第 3 章 现代传输技术	79
1.3.2 串行与并行数据传输	39	3.1 光纤通信	79
1.3.3 同步与异步数据传输	40	3.1.1 光纤通信的特点	79
1.3.4 调制与解调	42	3.1.2 光纤及其传输特性	82
1.3.5 传输格式与通信协议	43	3.1.3 光发送机	86
1.4 多路复用与多址通信	46	3.1.4 光接收机	90
1.4.1 频分复用与多址	47	3.1.5 光放大器与中继器	92
1.4.2 时分复用与多址	48	3.1.6 光纤链路设计	93
1.4.3 码分多址复用	50	3.1.7 WDM 系统	93
1.4.4 波分复用	50	3.2 移动通信	94
1.5 通信网络及其构成	51	3.2.1 移动通信的特点	95
1.6 现代通信的发展	53	3.2.2 移动通信的发展	96
习题	54	3.2.3 移动通信系统	99
第 2 章 现代通信终端	56	3.2.4 移动通信中的电波传播	100
2.1 电话机	56	3.2.5 话音编码与信道编码	103

3.2.6 数字调制与分集接收	105	4.8 光交换机	189
3.2.7 多址方式	109	4.9 移动交换机	191
3.2.8 功率控制	110	习题	193
3.2.9 组网技术	111		
3.2.10 移动数据服务	120	第 5 章 电话通信网	195
3.3 数字微波通信	126	5.1 电话网的结构	195
3.3.1 微波通信概述	126	5.1.1 市内电话网和本地电话网	195
3.3.2 数字微波通信系统	127	5.1.2 长途电话网	198
3.3.3 微波信道电波传播	128	5.1.3 国际长途电话网	199
3.3.4 SDH 数字微波通信系统	129	5.2 电话网的编号	200
3.3.5 数字微波通信的应用	130	5.2.1 本地网的编号	200
3.4 卫星通信	131	5.2.2 国内长途网的编号	201
3.4.1 概述	131	5.2.3 国际电话编号	202
3.4.2 卫星通信系统的组成 与网络结构	135	5.3 电话网的业务及服务质量	203
3.4.3 VSAT	139	5.3.1 电话网的业务种类	203
习题	142	5.3.2 电话网的服务质量	206
		5.4 电话网的支撑网	207
第 4 章 现代交换技术	144	5.4.1 数字同步网	208
4.1 引言	144	5.4.2 公共信道信令网	211
4.2 交换的有关概念	147	5.4.3 电信管理网	216
4.2.1 接线器和接续网	147	习题	219
4.2.2 交换和交换机的基本概念	148		
4.2.3 电交换与光交换	149	第 6 章 移动通信网	220
4.2.4 集中控制与分散控制	150	6.1 引言	220
4.3 主要的几种交换方式及其原理	151	6.2 GSM 数字蜂窝移动通信网	223
4.3.1 时隙交换	151	6.2.1 系统组成	224
4.3.2 分组交换	156	6.2.2 网络结构	226
4.3.3 信元交换	160	6.2.3 无线空中接口	227
4.3.4 软交换	166	6.2.4 网络控制与管理	234
4.4 交换机典型的组成原理	169	6.2.5 GPRS	240
4.4.1 数字程控交换机的 硬件组成	170	6.2.6 EDGE	244
4.4.2 程控交换机的软件组成	174	6.3 CDMA 数字蜂窝移动通信网	246
4.5 交换机的控制原理	176	6.3.1 扩频通信	246
4.6 ATM 交换机	179	6.3.2 CDMA 蜂窝移动通信技术的 演进与标准	248
4.6.1 ATM 交换机的基本组成	179	6.3.3 系统结构与特点	250
4.6.2 ATM 交换机的单元结构	181	6.3.4 无线接口特性	254
4.7 IP 交换机	185	6.3.5 cdma 2000	256
		6.4 集群移动通信网	260

6.4.1 集群通信的概念	260	7.4.2 TCP/IP	299
6.4.2 集群通信的特点与功能	260	7.4.3 IP 电话	302
6.4.3 集群系统的分类	261	习题	306
6.4.4 典型的集群移动通信网	262		
6.5 无线寻呼网	262	第 8 章 宽带接入网	307
6.5.1 无线寻呼系统概述	262	8.1 概述	307
6.5.2 无线寻呼系统的组成与分类	263	8.2 xDSL	309
6.5.3 无线寻呼技术体制	264	8.2.1 概述	309
6.6 公用无绳电话网	265	8.2.2 HDSL	312
6.6.1 CT-1 与 CT-2	266	8.2.3 ADSL	313
6.6.2 DECT	266	8.2.4 VDSL	315
6.6.3 PHS	267	8.3 混合光纤同轴网 HFC	316
6.6.4 “小灵通”	267	8.3.1 HFC 的概念	316
6.7 卫星移动通信网	268	8.3.2 HFC 的系统构成和频谱分布	316
6.7.1 低轨道卫星移动通信	268	8.3.3 局端系统 CMTS	318
6.7.2 “铱”系统	269	8.3.4 线缆调制解调器 CM	319
6.7.3 “全球星”系统	270	8.4 FTTx	319
6.8 第三代移动通信	270	8.4.1 光纤接入的基本概念	319
6.8.1 第三代移动通信系统的 基本概念	270	8.4.2 无源光网络 PON	321
6.8.2 第三代移动通信系统的 发展历程	272	8.4.3 家庭宽带 FTTH	322
6.8.3 第三代移动通信标准	272	8.5 无线接入网	323
6.8.4 向第三代系统的演进	282	8.5.1 无线接入网的概念	323
6.8.5 3G 的进一步演	283	8.5.2 超宽带无线(UWB)	323
习题	284	8.5.3 无线局域网 WLAN	324
第 7 章 数据与计算机通信网	286	8.5.4 WiMAX	336
7.1 概述	286	8.5.5 无线射频识别(RFID)	337
7.2 数字数据网 DDN	287	8.5.6 本地多点分配业务 LMDS	338
7.2.1 概述	287	8.5.7 直接广播卫星 DBS	339
7.2.2 DDN 的结构与业务	288	8.5.8 混合光纤无线 HFR	339
7.2.3 DDN 的应用	292	习题	340
7.3 帧中继 FR	292		
7.3.1 概述	292	第 9 章 通信网络新技术	341
7.3.2 帧中继技术原理	294	9.1 宽带 IP 网	341
7.3.3 帧中继业务应用	297	9.1.1 IP 网的现状	341
7.4 IP 网络	298	9.1.2 宽带 IP 技术	342
7.4.1 概述	298	9.1.3 多协议标记交换(MPLS)技术	344
		9.1.4 新一代 IP 协议 IPv6	345
		9.1.5 基于 IP 的多媒体通信业务	346
		9.1.6 宽带多媒体通信网	346

9.2 智能网 IN	349
9.2.1 IN 的概念	349
9.2.2 IN 的构成	350
9.3 虚拟专用网 VPN	354
9.3.1 VPN 的概念	354
9.3.2 VPN 的实现方法和接入方式	356
9.3.3 VPN 的业务类型	358

9.3.4 VPN 业务的典型应用	358
9.4 NGN	358
9.4.1 NGN 技术概述	358
9.4.2 NGN 的功能分层结构	359
9.4.3 NGN 的进展	360
习题	361
参考文献	362

第1章 概 述

自古以来,通信就是人们的基本需求之一。从3000多年前人们利用烽火台的火光传递信息,到1876年贝尔(Alexander Graham Bell)发明了电话;从1895年马可尼(Guglielmo Marconi)成功地进行无线电波传输信号实验,到1970年光纤通信的出现,无不验证了这一点。目前,现代通信正处于电通信(如无线、微波、卫星等)和光通信(如大气光通信、光纤通信等)共存的格局,虽然通信的实现方法和具体的电路形式千差万别,但它们所涉及的通信的基本原理(如通信系统模型、通信的容量、通信的质量(有效性和可靠性)、数字化传输、多路通信、通信网络的基本组成等)是相对稳定的。对这些基本概念的理解可帮助读者快速理解任何可能产生的通信新技术。本章对它们进行了广泛而深入的讨论,为了简化,略去了复杂的数学推导,但尽可能地列出了必需的公式。

1.1 通信的基本概念

人类社会进入信息时代以来,人们之间相互传递和交换信息日益频繁,这不仅改变了人类的生产和生活方式,而且对全球的政治、经济、军事领域产生了强烈冲击。现代通信作为信息传递和交换的手段,已成为信息时代的社会发展和经济活动的生命线。它克服了时间和空间的限制,使得大容量、远距离的信息传递和交换成为可能。

本书中的通信是指以电的形式来传递和交换信息的方式,即利用有线电、无线电、光或其他电磁系统对符号、文字、信号、图像、声音或任何性质的信息进行传递或交换。

完成信息的传递和交换要通过一套设备。将一个用户的信息传递到另一个用户所需的全部设施称为一个通信系统。通信系统传递信息量的大小(即通信容量)与其采用的电磁频谱有关。电磁能量可以由幅值连续的信号(通信中称为模拟信号)携带着向前传递,也可以由幅值不连续的间断信号(通信中称为数字信号)携带着向前传递,因此通信系统有两种最基本的类型,即模拟通信系统和数字通信系统。

1.1.1 通信系统模型

点与点之间的通信是通信的最基本形式,其模型可用图1.1表示。

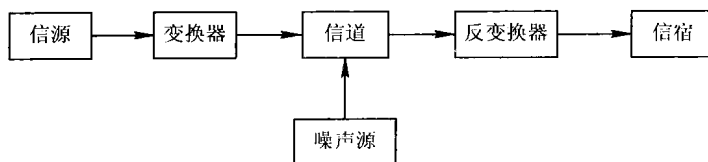


图 1.1 点到点通信系统模型

点到点通信系统模型中包括信源、变换器、信道、噪声源、反变换器和信宿等六个部分。

(1) 信源是指发出信息的信息源。在人与人之间通信的情况下,信源是指发出信息的人;在机器与机器之间通信的情况下,信源是发出信息的机器,如计算机或其他机器。不同的信源构成不同形式的通信系统,如对应语音形式信源的是电话通信系统,对应文字形式信源的是电报通信系统和传真通信系统等。

(2) 变换器的功能是把信源发出的信息变换成适合在信道上传输的信号。一般分几步完成:首先把非电信号变成电信号,然后对电信号进行变换和处理,使它适合信道传输。在现代通信系统中,为满足不同需求,需要进行不同的变换和处理,如调制、数/模转换、加密、纠错等。

(3) 信道是信号传输媒介的总称。不同的信源形式对应的变换处理方式不同,与之对应的信道形式也不同。从大的类别来分,传输信道的类型有两种,一种是电磁信号在自由空间中传输,这种信道叫做无线信道;另一种是使电磁信号被约束在某种传输线上传输,这种信道叫做有线信道。

(4) 反变换器的功能是变换器的逆变换。因为变换器把不同形式的信息变换和处理成适合信道传输的信号,通常这种信号不能为信息接收者直接接收,需要用反变换器把从信道上接收的信号变换为接收者可以接收的信息。

(5) 信宿是信息传送的终点,也就是信息接收者。它可以与信源相对应,构成人—人通信或机—机通信;也可以与信源不一致,构成人一机通信或机—人通信。

(6) 噪声源不是人为实现的实体,在实际的通信系统中客观存在,在模型中将它集中表示。实际上,干扰噪声可能在信源处就混入了,也可能从构成变换器的电子设备中引入。传输信道中的电磁感应以及接收端的各种设备中也都可能引入干扰。

1.1.2 电磁频谱

电磁能量(信号)几乎可以分布在无限的频率范围内,通信系统中所采用的电磁信号的频谱如图 1.2 所示。

频率范围的划分如下:

(1) 话音频率 VF(Voice Frequencies): 300~3000 Hz 范围内的信号,并包含通常与人类语音相关的频率。标准电话信道带宽为 300~3000 Hz,统称话音频率或话音频带信道。

(2) 甚低频 VLF(Very Low Frequencies): 3~30 kHz 范围内的信号,它包括人类听觉范围的高端。VLF 用于某些特殊的政府或军事系统,比如潜艇通信。

(3) 低频 LF(Low Frequencies): 30~300 kHz 范围内的信号,主要用于船舶和航空导航。

(4) 中频 MF(Medium Frequencies): 300 kHz~3 MHz 范围内的信号,主要用于商业 AM 无线电广播(535~1605 kHz)。

(5) 高频 HF(High Frequencies): 3~30 MHz 范围内的信号,常称为短波(Short Wave)。大多数双向无线电通信使用这个范围。业余无线电和民用波段(CB)无线电也使用 HF 范围内的信号。

(6) 甚高频 VHF(Very High Frequencies): 30~300 MHz 范围内的信号,常用于移动通信、船舶和航空通信、商业 FM 广播(88~108 MHz)及频道 2~13(54~216 MHz)的商业电视广播。

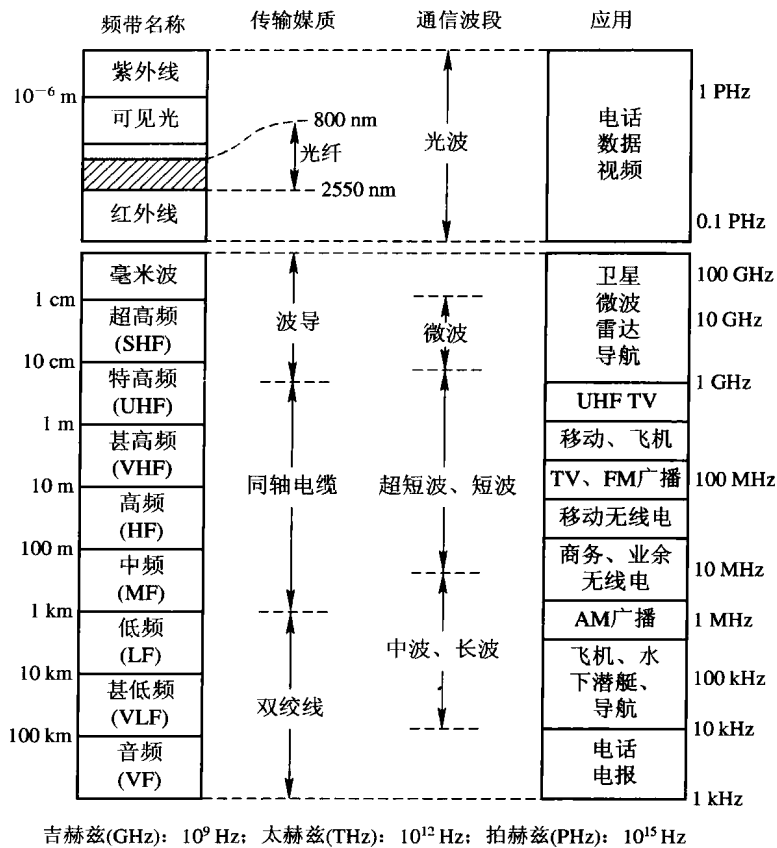


图 1.2 通信系统中的电磁频谱

(7) 特高频 UHF(Ultra High Frequencies): 300 MHz~3 GHz 范围内的信号, 由商业电视广播频道 14~83、陆地移动通信业务、蜂窝电话、某些雷达和导航系统、微波及卫星无线电系统所使用。一般说来, 1 GHz 以上的频率被认为是微波频率, 它包含 UHF 范围的高端。

(8) 超高频 SHF(Super High Frequencies): 3~30 GHz 范围内的信号, 主要包括用于微波及卫星无线电通信系统的频率。

(9) 极高频 EHF(Extremely High Frequencies): 30~300 GHz 范围内的信号, 除了十分复杂、昂贵及特殊的应用外, 很少用于无线电通信。极高频亦称毫米波。

(10) 红外(Infrared): 红外频率是 0.3~300 THz 范围内的信号, 通常不认为是无线电波。红外归入电磁辐射, 通常与热有关系。红外信号常用于制导系统、电子摄影及天文学。

(11) 可见光(Visible Light): 落入人眼视觉范围(0.3~3 PHz)内的电磁频率。

习惯将红外、可见光等称为光频区域, 对应的电磁波称为光波, 光波通信系统已成为通信系统的一种主要传输技术。

1.1.3 通信信道与通信容量

通信信道是通信系统的重要组成部分, 是信号的传输媒体, 并可以分为有线信道和无

线信道。有线信道的电磁能量被约束在某种传输线上传输,包括平行导体传输线、同轴电缆传输线、微带传输线、波导传输线、光纤传输线等。无线信道有地波、空间波、天波等。

1. 有线信道

传输线通常分为平衡式和非平衡式两类。有线信道采用双线平衡线,两个导体承载电流,其中一个导体承载发出的信号,另一个承载返回的信号,这类传输称为差分或平衡信号传输。平衡线对的优点是大部分感应的噪声,常为共模电压信号,在两条线上相等,在负载端抵消。共模信号被抵消习惯称为共模抑制(CMR),其抑制程度由共模抑制比(CMRR)来衡量,数值为40~70 dB。

只要两根导线都不与地相连,任何一对传输线都可以在平衡模式下工作,包括有两根中心导体和一个屏蔽线的同轴电缆。屏蔽线通常连接到地,以避免透过中心导体的静态干扰。

有线信道采用非平衡传输线时,一根电线是地电位,另一根是信号电位,这种传输称为单端传输或非平衡信号传输。采用非平衡信号传输,地线可以作为其他信号传输线的参考。在这种情况下,信号传输到什么地方,地线也必须连接到那里。由于电线上有阻抗、电感和电容,在地线任意两点之间有一较小的电位差,因此,地线不是理想的参考点,而且还会引入噪声。标准的两导体同轴电缆是非平衡线,屏蔽线通常连接到地。

明线电缆是双线并行导体,如图1.3(a)所示。它仅仅由两根并行线组成,中间由空气隔离。间隔相等的绝缘衬垫可以保证两导体的距离恒定,两导体的距离通常在2~6英寸(1英寸=2.54 cm)之间。在传输TEM波的两导体周围,绝缘体仅仅是空气。这类传输线的惟一优点是结构简单。因为没有屏蔽,所以明线传输线辐射损耗高并且易受噪声的影响,这些是明线传输线最大的缺点。因此,明线传输通常在平衡模式下工作。

双线电缆是另一种双线平行导体传输线,如图1.3(b)所示。双线电缆通常称为带状电缆。除了两导体间的衬垫用连续固定绝缘体取代以外,双线电缆与明线传输线本质上极为相似,电视传输用的双线电缆两导体间的距离是5~16英寸。通常,绝缘体的材料是特氟隆和聚乙烯。

双绞线电缆是由两根绝缘的导体扭绞在一起而形成的。通常以对为单位,并把它作为电缆的内核,根据用途不同,其芯线要覆以不同的护套。相邻的线对要以不同的节距(扭绞长度)进行扭绞,以减少由于相互感应而形成的干扰。双绞线电缆的主要常数是电参数(阻抗、感抗、电容和电导率),它们随物理环境,如温度、湿度和机械压力以及制造工艺误差等因素的变化而变化。双绞线电缆如图1.3(c)所示。

屏蔽电缆对是在平行双线导体传输线外包上导电的金属编织物构成的。编织物要连接到地,起屏蔽作用,以减少辐射损耗和干扰,金属编织物可以避免信号辐射出去,也可以阻止电磁干扰到达内部的信号导体。屏蔽的平行线对如图1.3(d)所示,它包括两个由固体绝缘体分隔的平行导体。整个结构是包裹在编织导管中,然后再覆盖保护的塑料外套。

同轴电缆。平行导体传输线适合于低频应用。然而在高频段,它们的辐射损耗和绝缘损耗很大。因此,同轴导体被广泛地用于高频应用以减少损耗并隔绝传输线路。基本的同轴电缆包括一个中心导体,周围是与中心导体同心的外部导体。在相对高的频段上,同轴电缆的外导体可提供极好的屏蔽以防止外部干扰。然而在低频应用中,屏蔽的作用并不有

效。同样，同轴电缆的外导体一般是接地的，这限制了它只能用于非平衡应用。

实际上同轴电缆有两种形式：空气填充型和固态柔韧型。图 1.3(e)给出了空气填充型同轴电缆的结构示意。

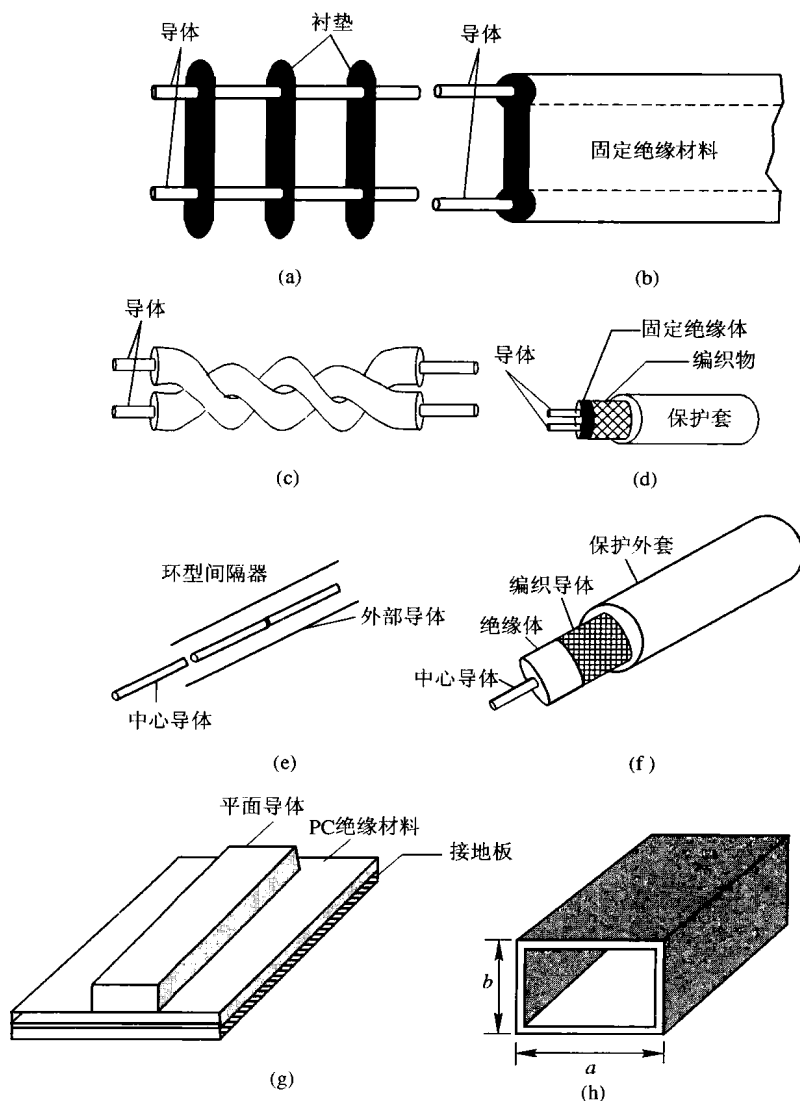


图 1.3 通信中的常用传输媒质

(a) 明线电缆；(b) 双线电缆；(c) 双绞线电缆；(d) 屏蔽电缆对；

(e) 空气填充型同轴电缆；(f) 固态柔韧型同轴电缆；(g) 微带线；(h) 矩形波导

可以看到，中心导体被一同心的管状外部导体包裹，绝缘体是空气。外部导体由间隔器与中心导体物理隔离。间隔器由耐热玻璃、聚苯乙烯和其他一些绝缘体组成。图 1.3(f)给出的是固态柔韧型同轴电缆，外部导体是柔韧的编织物，并与中心导体同轴，绝缘体是固态绝缘聚乙烯材料，以保证内外导体的电隔离。内导体是柔韧的铜线，可以是实心的也可以是空心的。空气填充型同轴电缆造价相对昂贵，为减少损耗，空气绝缘体必须对湿度有严格限制。固态柔韧型同轴电缆损耗较低并且易于制造、安装和维护。两种同轴电缆都可