



“十三五”普通高等教育规划教材

现代通信新技术

贾振堂 陈琳 袁三男 袁仲雄 李凤勤 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

现代通信新技术

贾振堂 陈琳 袁三男 袁仲雄 李凤勤 编
杨俊杰 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材,深入浅出、图文并茂地讲解了现代通信领域若干重要技术的原理和应用情况,包括通信基本理论、因特网与 TCP/IP、光纤通信、移动通信与边走边说、多媒体通信的奥秘、电力线中的通信、ISDN 与 ATM 技术,以及奇妙的量子通信等内容。内容翔实、重点突出,既包括基础知识、成熟的通信技术,又涵盖了通信技术的最新进展。

本书可作为各类高等院校非通信专业的“现代通信新技术”公共选修课教材,也可作为广大通信爱好者快速了解和学习现代通信新技术的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信新技术 / 贾振堂等编. —北京: 中国电力出版社,
2016.2

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5123-8910-6

I. ①现… II. ①贾… III. ①通信技术—高等学校—
教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 026634 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 2 月第一版 2016 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 361 千字

定价 30.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

为了让读者快速了解现代通信的基本理论概念、基本技术原理和应用、以及通信发展的前沿,编写了这本适合广大非通信专业学生选修的《现代通信新技术》教材。鉴于非通信专业的学生背景,本教材在编写过程中力求通俗易懂,注重原理的理解,尽量避免公式推导过程,但又不完全是科普,有必要的理论描述。本书内容翔实、重点突出,既包括基础的、成熟的通信技术,又涵盖了通信技术的最新进展。

本书适用于除通信专业外的所有专业学生,包括专科生,本科生,甚至研究生,以及对通信技术感兴趣的其他领域的科技工作者。

本教材的特点如下。

- (1) 定位于非通信专业,适合于广大的读者群体。
- (2) 行文通俗易懂,图文并茂,用科普的语言来讲述专业理论知识。注重原理的理解,尽量避免公式推导过程。
- (3) 包含最新的通信技术和原理。
- (4) 内容全面,结构新颖、重点突出。
- (5) 理论与实践相结合。

本书共分8章,第1章和第3章由陈琳编写,第2章、第5章、第8章由贾振堂编写,第6章由贾振堂和袁仲雄共同编写,第4章由袁三男编写,第7章由李凤勤编写。全书由贾振堂统编,桂林电子科技大学的贾佳同学协助完成图文校对工作。

本书参考和引用了大量的文献资料,在此向中外文参考文献的作者表示感谢。

由于通信技术发展迅速,编者的视野和水平有限,书中难免有疏漏和不当之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2015年12月

目 录

前言

第1章 通信基本理论	1
1.1 通信的发展简史和展望	1
1.2 通信基本概念	4
1.3 信道与噪声	8
1.4 模拟通信系统	12
1.5 数字通信系统	17
练习题	29
第2章 因特网与 TCP/IP	30
2.1 计算机网络	30
2.2 计算机局域网	32
2.3 因特网	37
2.4 因特网中的 TCP/IP 协议栈	44
2.5 IPv6	53
2.6 传输层协议	54
2.7 网络安全	57
练习题	59
第3章 光纤通信	60
3.1 光纤通信的基本概念	60
3.2 光纤	63
3.3 光纤通信器件	69
3.4 光端机	75
3.5 光纤通信系统	77
3.6 光纤通信常用仪器	81
练习题	82
第4章 移动通信，边走边说	83
4.1 移动通信概述	83
4.2 移动通信基本技术	87
4.3 GSM 系统	95
4.4 CDMA 系统	101
4.5 第三代移动通信	104

4.6	第四代移动通信技术	115
4.7	个人通信	119
	练习题	120
第 5 章	多媒体通信的奥秘	122
5.1	什么是多媒体通信	122
5.2	数字图像与视频	125
5.3	视频图像压缩	130
5.4	音频数据压缩	144
5.5	多媒体传输	147
5.6	视频通信中的差错控制	151
5.7	多媒体应用系统	155
	练习题	159
第 6 章	电力线中的通信	160
6.1	电力线通信概述	160
6.2	电能传输网络系统及高压 PLC	164
6.3	低压宽带 PLC	167
6.4	电力线通信的调制方案	172
6.5	电力线通信标准	175
6.6	电力线通信的典型应用	176
6.7	电力线载波芯片	178
6.8	电力线通信展望	180
	练习题	180
第 7 章	ISDN 与 ATM 技术	182
7.1	综合业务数字网	182
7.2	ATM 的概念	185
7.3	ATM 协议参考模型	191
7.4	ATM 交换原理	194
7.5	ATM 技术的应用与发展	204
	练习题	204
第 8 章	奇妙的量子通信	206
8.1	宇宙通信的困惑	206
8.2	量子概念	207
8.3	量子通信	213
8.4	量子保密通信	217
8.5	量子隐形传态	219
8.6	量子直接通信	220
8.7	量子通信系统的指标	223
8.8	量子通信网	223

8.9 量子中继 224

8.10 量子编码 224

8.11 目前量子通信的局限性 226

练习题 229

参考文献 230

第1章 通信基本理论

内容提要

本章介绍通信基本理论,通信的概念,如何有效且可靠地传输信息。为了使读者在学习各章内容之前,对通信技术和通信系统有个初步的了解与认识,本章将概况地介绍通信的基本概念、通信系统的各个部分,以及模拟通信和数字通信系统。

导读

本章的重点是模拟调制和数字通信系统。从线性调制和非线性调制的角度,阐述了模拟调制的原理和一般模型,并说明了频分多路技术。在数字基带传输中,阐述了基带信号传输原理和实用码型,以及无码间串扰的条件;在数字频带传输中,介绍了二进制数字频带信号的原理、调制和解调方法。

1.1 通信的发展简史和展望

通信就是互通信息。按照人类通信交流方式的不同,可以将通信的发展分为古代通信阶段、初级通信阶段、近代通信阶段和现代通信阶段。



图 1-1 烽火传讯

1.1.1 古代通信阶段

古代通信是人类基于需求的最原始通信方式,利用自然界的基本规律和人的基础感官(视觉、听觉等)来远距离的传递信息。比如,通过烽火(见图 1-1)、击鼓、旗语、信鸽等方式向远方传送信息。古代通信方式最主要的缺点是传递距离短,速度慢。

1.1.2 初级通信阶段

19 世纪后期,随着电报、电话的发明及电磁波的发现,人类通信史发生了革命性的变化。信息传递摆脱了常规的原始通信方式,用“电”作为新的载体,开启了人类通信的新时代。

初级通信的开始是以利用“电”来传递信息作为标志的,代表性事件如下。

1838 年,美国人莫尔斯(S. Morse)发明了有线电报。他成功地运用“通”“断”“长断”来代替人类的文字进行消息的传送。1844 年 5 月 24 日,在座无虚席的国会大厦里,莫尔斯用他那激动得有些颤抖的双手,操纵着他倾十余年心血研制成功的电报机,向巴尔的摩发出了人类历史上的第一份电报:“上帝创造了何等奇迹!”。电报的发明,拉开了电信时代的序幕,开创了人类利用电来传递信息的历史。但是电报传送的仅仅是符号,不能进行及时双向信息的交流。如图 1-2 所示为莫尔斯

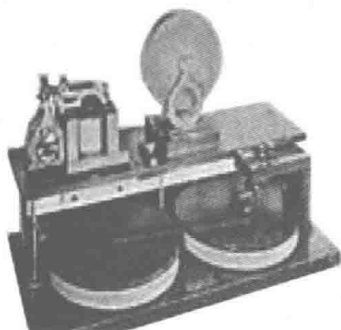


图 1-2 莫尔斯发出第一份电报设备的复制品

发出第一份电报设备的复制品。

1875 年, 苏格兰人贝尔 (A. G. Bell) 发明了电话。在为聋哑人设计助听器的过程中, 贝尔发现可以“用电流的强弱来模拟声音大小的变化, 从而用电流传送声音。”1875 年 6 月 2 日, 贝尔和沃森特正在进行模型的最后设计和改进。贝尔不小心把硫酸溅到自己的腿上, 他疼痛地叫了起来: “沃森特先生, 快来帮我啊!” 没有想到, 这句话通过实验中的电话传到了在另一个房间工作的沃森特先生的耳朵里。这句极普通的话, 也就成为人类第一句通过电话传送的话音而记入史册。1876 年 3 月, 贝尔获得了电话发明专利。1878 年, 在相距 300km 的波士顿和纽约之间进行了首次长途电话实验, 并获得了成功, 后来就成立了著名的贝尔电话公司。如图 1-3 所示为贝尔与其发明的电话装置。

电报和电话的相继发明, 使人类获得了远距离传送信息的重要手段。但是, 电信号都是通过金属线传送的, 这就大大限制了信息的传播范围。

1864 年, 英国物理学家麦克斯韦 (J. C. Maxwell) 预言了电磁波的存在。1887 年, 德国物理学家赫兹 (H. Hertz) 用实验证明了电磁波的存在。赫兹的发现, 导致了无线电的诞生, 开辟了电子技术的新纪元, 标志着从“有线电通信”向“无线电通信”的转折。

1897 年, 意大利人马可尼 (G. Marconi), 改进了无线电传送和接收设备, 在布里斯托尔海峡进行无线电通信取得成功。1901 年 12 月, 在英国与纽芬兰之间 (3540km), 实现了跨大西洋的无线电通信, 使无线电达到实用阶段。如图 1-4 所示为马可尼与无线电报。



图 1-3 贝尔与其发明的电话装置



图 1-4 马可尼与无线电报

1.1.3 近代通信阶段

20 世纪 30 年代, 信息论、调制论、预测论、统计论等都获得了一系列的突破。

1948 年香农提出了通信的数学理论, 建立了比较完整的通信科学理论体系。他提出的信源和信道编码定理、信道容量计算公式及率失真理论至今仍是重要的研究课题。

1950 年时分多路通信应用于电话系统。

维纳将数理统计理论引入通信学科, 开始建立起统计通信的概念。

1951 年直拨长途电话开通。

1956 年铺设越洋通信电缆。

1958 年发射第一颗通信卫星。

1962 年发射第一颗同步通信卫星, 开通国际卫星电话; 脉冲编码调制进入实用阶段。

20 世纪 60 年代彩色电视问世、阿波罗宇宙飞船登月、数字传输理论与技术得到迅速发展、计算机网络开始出现。

1969 年电视电话业务开通。

20 世纪 70 年代商用卫星通信、程控数字交换机、光纤通信系统投入使用；一些公司制定计算机网络体系结构。

1.1.4 现代通信阶段及发展趋势

现代通信阶段是移动通信和互联网通信时代。在全球范围内，形成数字传输、程控电话交换通信为主，其他通信为辅的综合电信通信系统；电话网向移动方向延伸，并日益与计算机、电视等技术融合。

下面介绍现代通信阶段的几个重要里程碑。

1978 年，美国贝尔实验室成功研制了先进移动电话系统（AMPS, Advance Mobile Phone Service），建成了蜂窝状移动通信系统。它结合频率复用技术，可以在整个服务覆盖区域内实现自动接入公用电话网。第一代移动通信系统的典型代表是美国标准的 AMPS 系统和后来的改进型系统 TACS，以及 NMT 和 NTT 等。

1982 年，发明了第二代蜂窝移动通信系统，以传输话音和低速数据业务为目的，因此又称为窄带数字通信系统。典型代表是欧洲标准的 GSM（Global System Mobile），美国标准的 D-AMPS 和日本标准的 D-NTT。

1983 年，TCP/IP 协议成为 ARPAnet 的唯一正式协议，伯克利大学提出内含 TCP/IP 的 UNIX 软件协议。

20 世纪 80 年代末多媒体技术的兴起，使计算机具备了综合处理文字、声音、图像、影视等各种形式信息的能力，日益成为信息处理最重要和必不可少的工具。

1988 年，成立“欧洲电信标准协会”（ETSI）。

1989 年，原子能研究组织（CERN）发明万维网（WWW）。20 世纪 90 年代爆发的因特网，更是彻底改变了人的工作方式和生活习惯。

1992 年，GSM 被选为欧洲 900MHz 系统的商标——“全球移动通信系统”。如图 1-5 所示为 GSM 电话和 3G 可视电话。由于第二代移动通信以传输话音和低速数据业务为目的，从 1996 年开始，为了解决中速数据传输问题，又出现了 2.5 代的移动通信系统，如 GPRS 和 IS-95B。

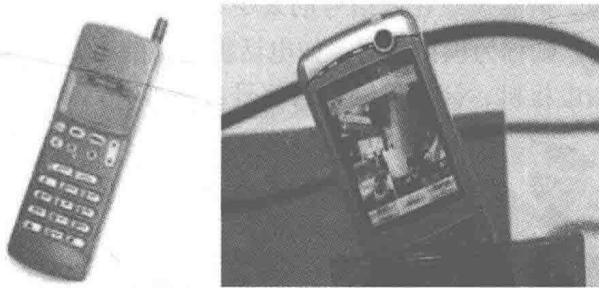


图 1-5 GSM 电话和 3G 可视电话

2000 年，提出第三代多媒体移动通信系统标准，以移动终端智能化为主要特点。典型代表是欧洲的 WCDMA、美国的 CDMA2000 和中国的 TD-SCDMA。其中，中国的 TD-SCDMA 标准于 1998 年向 ITU 提交，并于 2001 年被 3GPP 接纳为 3G 标准。2008 年中国正式颁发 3G 运营牌照。

2007 年，ITU 将 WIMAX 补选为第三代移动通信标准。

第四代移动通信（the 4th Generation）技术，基于全球移动通信长期演进技术（Long Term Evolution, LTE）标准之上，能够提供高速移动网络宽带服务。4G 的关键技术包括：正交频分复用（Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM）、智能天线（Smart Antenna, SA）技术、软件无线电（Software Defined Radio, SDR）技术、基于全 IP 的核心网络等。4G 目前已在国内开始运营，虽然普及率还不高，但 4G 的诸多优点注定其将取代以往的移动通

信技术。

我们现在就处于现代通信时代，只要你打开电脑、手机、PDA、车载 GPS，很容易就实现彼此之间的联系，人们生活更加便利。

未来通信是大融合时代，电信网络发展进入网络融合发展的历程。以思科为代表的设备制造商推出了“统一通信”的理念，未来的通信可能沿着融合 2G、3G、4G、WLAN 和宽带网络的方向发展。但是无论如何，它不会脱离现在科学技术的发展。

1.2 通信基本概念

1.2.1 消息、信息和信号

通信是互通信息，包括信息的传输与交换。通信的目的是利用电（或光）信号传输消息中所包含的信息。

信息（information）是消息中包含的有效内容。信息是消息的内涵，能消除受信者的某些不确定性。

消息（message）是通信系统传输的对象，是信息的物理表现形式。例如，语音、文字、图像、音乐、数据等。消息可分为连续消息和离散消息。连续消息是指消息的状态连续变化或不可数，如语音、温度、音乐等。离散消息则是指消息具有可数的有限个状态，如符号、文字、计算机数据等。

信号（signal）是传递信息的一种物理现象和过程，是消息的传输载体。如随信息做相应变化的电压或电流等。由于消息分为两大类，所以信号也相应分为模拟信号和数字信号两大类。消息承载在电信号的某个参量（如幅度、频率或相位）上。若电信号的参量是连续取值的，则称为模拟信号，如电话机送出的语音信号；若该参量是离散取值的，则称为数字信号，如电报机、计算机输出的信号。



消息是信息的物理形式，信息是消息的有效内容，信号是消息的传输载体，通信是消息传递的全过程（信息传输和交换）。

1.2.2 通信系统的基本组成

通信就是将信息从信源发送到一个或多个目的地。通信系统是指传递信息所需的一切技术设备和信道的总体。通信系统的一般模型如图 1-6 所示。

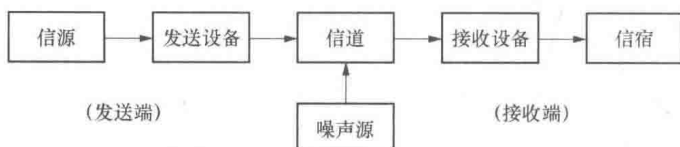


图 1-6 通信系统的一般模型

通信系统由以下几个部分组成。

1. 信源

信源又称信息源，它的作用是把各种消息转换成原始的电信号。根据输出信号的性质不同，信源可以分为模拟信源和离散信源。模拟信源（如话筒、摄像机）输出连续的模拟信号；离散信源（如电传机、计算机）输出离散的符号序列。模拟信源送出的连续信号经过抽样、量化变换后可形成数字信号。

2. 发送设备

发送设备的作用是将信源和信道匹配起来，使信源产生的信号变换为适合传送的信号形式。变换的方式有很多种，如编码、调制、放大等。

对于数字通信系统而言，发送设备中常包括信道编码和信源编码两部分，如图 1-7 所示。

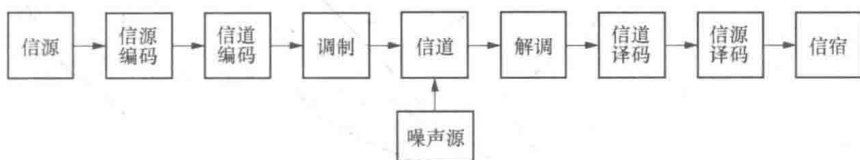


图 1-7 数字通信系统模型

信源编码的作用有两个：一是提高信息传输的有效性，即通过某种压缩编码技术减少信息的冗余度。例如，“奥林匹克运动会”变换为“奥运会”。二是把模拟信号变换为数字信号，即模/数（A/D）转换。接收端的信源译码是信源编码的逆过程。

信道编码的作用是通过差错控制来提高通信的可靠性。为了提高通信的可靠性，信道编码器对传输的信息码元按照一定的规则加入监督码元来减小差错。接收端的信道译码则是按照相应的逆规则进行译码，从中发现错误或纠错。

3. 信道

信道是信号传输的通道，即传输媒质。信道可以分为有线信道和无线信道两种。有线信道和无线信道都有多种物理媒质，如自由空间属于无线信道；光纤、电缆、架空明线属于有线信道。传输过程中必然会引入各种噪声，如热噪声、脉冲噪声、散弹噪声等。图 1-7 中的噪声源是通信系统中所有噪声和干扰的集中表示。

4. 接收设备

接收设备的作用是完成发送设备的反变换，即对受损的接收信号进行放大、解调、译码等变换，尽可能正确恢复原始电信号。

5. 信宿

信宿是传送消息的目的地。它的功能和信源相反，即把原始电信号还原成相应的消息，如扬声器将音频信号还原成声音。

图 1-7 描述了通信系统的一般模型。根据研究对象的不同，各方框的内容和作用会有所不同。在大多数场合下，信源兼为信宿，通信双方需要双向通信随时交流信息，如电话。这时，通信双方都要有发送设备和接收设备。如果通信双方有各自不同的信道，则双方可以独立地进行收发工作；但若共用一个信道，则必须用复用的方法来共享。

1.2.3 通信系统的分类

随着通信技术的发展，通信系统的内容和形式不断丰富，常见的分类方法有以下几种。

1. 按消息的物理特征分类

根据消息的物理特征,通信系统可以分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统。

2. 按调制方式分类

根据是否采用调制,可以将通信系统分为基带传输和频带传输。

基带传输是将未经调制的信号直接传送,如市内电话、有线广播等。

频带传输是对各种信号进行调制后传输,如电视广播、卫星通信、空间通信等。

3. 按传输信号的特征分类

根据信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以将通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

模拟通信系统是利用模拟信号来传递信息的通信系统。所谓模拟信号是指信号的某一参量可以取无限多个值。例如,语音信号不仅在时间上连续,而且它的幅度有无穷多个取值。模拟通信随着电话、无线电广播等语音信号的发展而发展,曾经占据通信的统治地位。模拟通信系统的结构通常都不复杂,系统的核心是调制与解调单元。

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统。所谓数字信号是指信号的某一参量只能取有限个值。例如,莫尔斯电报信号。

20 世纪 60 年代以后,随着电子计算机和网络通信的发展,数据传输量急剧增加,数字通信日益兴旺起来。与模拟通信相比,数字通信具有以下优点:

- (1) 抗干扰能力强,特别是在中继时,数字信号可以再生,从而消除噪声的积累。
- (2) 传输差错可控,可以通过信道编码技术进行检错与纠错。
- (3) 便于用现代数字信号处理技术对数字信息进行处理、变换、存储。
- (4) 易于加密且保密性好。
- (5) 易于集成,使通信设备易于制造,体积小且可靠性高。

但是数字通信系统也有其固有的缺点:它比模拟通信系统占据更宽的带宽。如一路模拟电话信号通常只需占据 4kHz 带宽,但一路数字电话信号可能要占据 20~60kHz 的带宽。可以认为数字信号的许多优点都是以占用更宽的信号频带为代价的。

4. 按传输媒介分类

根据传输媒介的不同,可以将通信系统分为有线通信系统和无线通信系统。

有线通信系统是指用导线作为传输媒介完成通信的系统,如有线电话、光纤通信系统等。

无线通信系统是指依靠电磁波在空间传递消息的系统,如短波电离层传播、卫星中继系统等。

5. 按传送信号的复用方式分类

传送多路信号有三种复用方式,即频分复用、时分复用和码分复用。

频分复用是指用频谱搬移的方法使不同信号占据不同的频率范围。频分复用方式主要用于传统的模拟通信系统中。

时分复用是用脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区间。

码分复用是用一组正交的编码分别携带不同信号。码分复用多用于扩频通信系统和移动通信系统中。



区分模拟信号和数字信号的关键在于观察信号参量（如幅值、频率、相位）的取值是连续的还是离散的，而不是看时间。

1.2.4 信息及其度量

通信系统的任务是传递信息。因此对于接收者来说，只有消息中不确定的内容才构成消息。而这种不确定性可以用概率来描述。

一个预先知道的消息不带有任何信息量，也就失去了传递的必要性。如：“今天太阳从东方升起”，这句话是必然事件，不带有任何不确定性，所以信息量为零。对于近乎不可能事件，如：“今天中午会地震”，其信息量接近无穷大。

因此，消息中所含的信息量与消息发生的概率有关系。消息出现的概率越小，所包含的信息量就越大。反之，消息出现的概率越大，所包含的信息量就越小。

1. 离散消息的信息量

假设某离散消息 x 发生的概率为 $P(x)$ ，则该离散消息携带的信息量为

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1-1)$$

信息量的单位与对数的底 a 有关系。通常以 2 为底，这时信息量单位为比特 (bit)。

对于等概率出现的 M 进制离散信源，每个码元含有 $\log_2 M$ 比特；对于等概率出现的二进制离散信源，每个码元含有 1 比特。

2. 离散信源的平均信息量

当消息很长时，用每个符号出现的概率来计算信息量是比较麻烦的。因此，引入平均信息量的概念。平均信息量是指每个符号所包含信息量的统计平均值，即

$$H(x) = -\sum_{i=1}^N P(x_i) \log P(x_i) \quad (1-2)$$

其中 N 为符号的个数。由于 H 和热力学中熵的形式相似，通常又称它为信源熵，单位为比特/符号 (bit/符号)。当离散信源中每个符号独立且等概率出现时，该信源熵出现最大值。

1.2.5 通信系统的主要性能指标

通信的任务是快速、准确地传递信息。因此，通信系统的主要性能指标是有效性和可靠性。

有效性是指传输一定信息量所占用的频带宽度，即频带利用率；可靠性是指传输信息的准确程度。这两者的关系是即相互矛盾又相互联系的。

1. 有效性

对于模拟通信系统，有效性指标和其信号带宽有关。传输同样的消息，所需的信道带宽越小，其频带利用率越高，有效性就越好。

对于数字通信系统，有效性指标和其频带利用率有关。频带利用率定义为单位带宽内的传输速率，即

$$\eta = \frac{R_B}{B} \quad (\text{Baud/Hz}) \quad (1-3)$$

或

$$\eta_b = \frac{R_b}{B} \quad (\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})) \quad (1-4)$$

R_B 是码元传输速率, 简称为传码率, 定义为单位时间内传输的码元数目, 单位是波特 (Baud)。如每 2 秒传送 2400 个码元, 则传码率为 1200 波特。 R_B 仅与码元宽度 (每个码元的持续时间 T_B) 有关, 与进制数 M 无关, 即

$$R_B = \frac{1}{T_B} \quad (\text{Baud}) \quad (1-5)$$

R_b 是信息传输速率, 简称为传信率, 定义为每秒传输的平均信息量, 单位是比特/秒 (bit/s)。若假设每个码元所含的平均信息量为 H , 则 R_b 和 R_B 之间的关系是

$$R_b = R_B \cdot H \quad (1-6)$$

对于二进制等概率信号, $R_b = R_B$ (数值相等, 单位不同)。

2. 可靠性

对于模拟通信系统, 可靠性指标通常用输出信号平均功率与噪声平均功率之比来衡量。对于数字通信系统, 可靠性指标通常用差错率来衡量。差错率常用误码率和误信率来表示。误码率 P_e 是指错误接收的码元数在传输总码元数中所占的比例; 而误信率 P_b 是指错误接收的比特数在传输总比特数中所占的比例。在二进制中, $P_e = P_b$ 。



提示

码元速率——每秒传送的码元个数, 单位为波特, 它仅与码元宽度有关; 信息速率——每秒传输的比特数, 单位为比特/秒, 它与码元宽带、进制数及信源统计特性等因素有关。

1.3 信道与噪声

1.3.1 信道的分类与影响

信道是介于发送端和接收端的通道。它是传输电、电磁波或光信号的物理媒介, 是通信系统中必不可少的环节, 如图 1-8 所示。

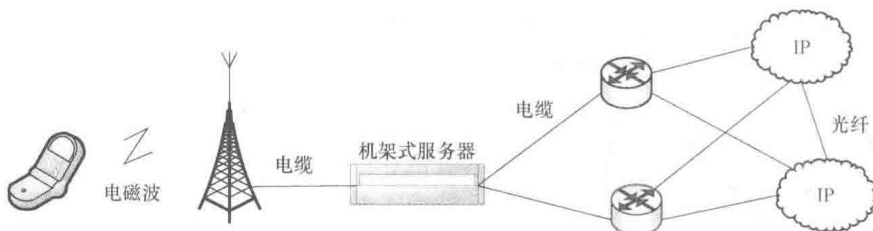


图 1-8 信道的传输媒介

(1) 根据传输媒介的不同,信道可以分成两大类:无线信道和有线信道。

无线信道是指利用电磁波在空间中的传播来传输信号,如短波电离层反射、微波视距中继、移动通信信道等。

有线信道是指利用人造的导电或光信号的媒体来传输信号,如光纤、电缆。

(2) 按照信道特性不同,信道可以分为恒参信道和随参信道。

恒参信道是指信道特性参数随时间基本不变化或缓慢变化,如有线信道。恒参信道的特性参数基本恒定,可以等效为一个线性非时变系统,对传输信号的衰减和时延为常数。

随参信道,又称为变参信道,是指信道参数随时间随机快变化,如短波电离层反射信道、散射信道等。随参信道的特性是“时变”的,具有三个共同点:①信号的传输衰减随时间而变化;②信号的传输时延随时间而变化;③存在多径效应,信号经过几条路径到达接收端,每条路径的时延和衰减都随时间而变化,所以接收到的信号是衰减和时延随时间变化的各路径信号的合成。因此必须采用一些有效减小频率选择性衰落的措施,如分集接收技术、扩频技术、智能天线技术等。

1.3.2 信道噪声

无论是无线信道,还是无线信道都会面临一个问题,那就是噪声。噪声在通信中也是一种电信号,只不过这种信号对于通信来说属于无用信号,它叠加在信号之上,永远存在于通信系统中。噪声可以看成是信道的一种干扰,也称为加性干扰,会造成模拟信号失真、数字信号误码等情况。

噪声的来源很多,有人为噪声、自然噪声和内部噪声等。人为噪声主要来自电台、家用电器、电气设备等人类活动。自然噪声来源于自然界存在的雷电、大气噪声和宇宙噪声等电磁辐射。内部噪声来源于设备本身产生的热噪声和散弹噪声等。其中热噪声是由电阻性元器件中自由电子的热运动引起的;散弹噪声是由电子管和半导体器件中电子发射不均匀引起的。

热噪声、散弹噪声和宇宙噪声,由于其波形变化不规则,可以被统称为起伏噪声。起伏噪声是遍布在时域和频域内的随机噪声,是影响通信系统的主要噪声。

起伏噪声可以定义为高斯白噪声。这种噪声的功率谱密度是个常数,在整个频率范围内均匀分布,有点像光学中的白光,因此称为白噪声。同时起伏噪声的概率密度服从高斯分布,所以可以将此噪声称为高斯白噪声。

若窄带噪声的双边功率谱密度为 $P_n(f)$, 定义噪声等效带宽 B_n 为

$$B_n = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} P_n(f) df}{2P_n(f_0)} = \frac{\int_0^{\infty} P_n(f) df}{P_n(f_0)} \quad (1-7)$$

其中噪声功率谱密度曲线的最大值为 $P_n(f_0)$ 。噪声等效带宽 B_n 的物理意义,如图 1-9 所示。高度为 $P_n(f_0)$ 、宽度为 B_n 的理想矩形滤波器特性曲线下的面积与功率谱密度 $P_n(f)$ 曲线下的积分面积相等,即功率相等。

1.3.3 常用信道

信道可以分为无线信道和有线信道两大类。常用的有线信道有同轴电缆、双绞线、光纤。常用的

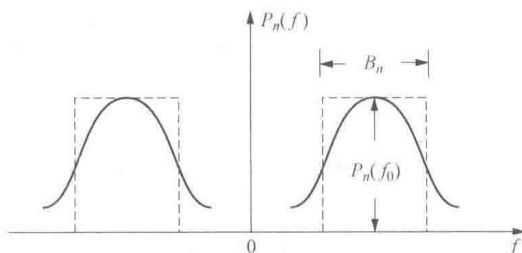


图 1-9 噪声功率谱等效带宽

无线信道有无线视距中继、卫星中继信道和移动通信信道。

1. 同轴电缆

同轴电缆 (Coaxial cable) 是由内外两根同轴的圆柱形导体构成, 在这两根导体间用绝缘体隔离开。内导体一般为实心铜线, 外导体为空心铜管或金属编织网, 在外导体外面还有一层绝缘保护层, 如图 1-10 所示。通常会将多根同轴电缆放入同一个保护套内, 以增强传输能力。它的特点是抗干扰能力好, 传输数据稳定, 价格便宜。

现在计算机局域网中一般都使用细缆组网。细缆一般用于总线型网络布线连接, 同轴电缆的两端需安装 50Ω 终端电阻器。细缆网络每段干线长度最大为 185m, 每段干线最多可接入 30 个用户。粗缆适用于较大局域网的网络干线, 布线距离较长, 可靠性较好。用户通常采用外部收发器与网络干线连接。粗缆局域网中每段长度可达 500m, 采用 4 个中继器连接 5 个网段后最长可达 2500m。用粗缆组建的局域网虽然各项性能较高, 具有较大的传输距离, 但是网络安装、维护等方面比较困难, 且造价较高。

2. 双绞线

双绞线 (Twisted-pair) 由两根相互绝缘的金属导线绞合而成。采用这种方式, 不仅可以抵御一部分来自外界的电磁波干扰, 也可以降低多对绞线之间的相互干扰。通常把一对或多对双绞线合在一起, 放在一根保护套内, 制成双绞线电缆, 如图 1-11 所示。



图 1-10 同轴电缆



图 1-11 双绞线

目前, 双绞线可分为非屏蔽双绞线 (Unshielded Twisted Pair, UTP) 和屏蔽双绞线 (Shielded Twisted Pair, STP)。屏蔽双绞线电缆的外层由铝铂包裹, 以减小辐射, 但并不能完全消除辐射。屏蔽双绞线价格相对较高, 安装起来要比非屏蔽双绞线电缆困难。双绞线常用于传输语音信号与近距离的数字信号, 包括局域网、本地环路及综合布线工程。

3. 光纤

光纤 (Optical fiber) 是光导纤维的简称, 它是一种利用光导纤维传输光波信号的通信方式。光纤本身是一种介质, 目前实用通信光纤的基础材料是二氧化硅 (SiO_2), 因此它属于介质光波导的范畴。

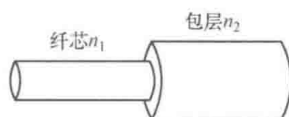


图 1-12 光纤的结构

光纤有不同的结构形式。通信用的光纤绝大多数是用石英材料做成的横截面很小的双层同心圆柱体, 外层的折射率比内层低。折射率高的中心部分称为纤芯, 其折射率为 n_1 , 半径为 a ; 折射率低的外围部分称为包层, 其折射率为 n_2 , 半径为 b , 如图 1-12 所示。

光纤通信具有以下一些独特的优点: 传输频带宽, 通信容量大;