

高等院校电子信息类规划教材

# 现代通信技术概论

(第 四 版)

索红光 王海燕 赵清杰 编著  
于摇峰 石乐义 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书以通俗易懂的语言全面介绍了各种常见的现代通信技术的基本概念、基本原理和技术发展进程,旨在使读者建立通信系统的整体概念,理解通信技术方面的专业术语,为进一步学习相关的通信专业课程打好基础。

全书共分 10 章,内容主要包括:信号与通信系统的基本概念、电话机的基本组成部件和通话电路、载波通信、脉冲编码调制、数字信号的时分复用、数字复接、数字信号传输、程控交换、短波通信、微波通信、卫星通信、移动通信、光纤通信、数据通信、计算机网络、下一代网络等技术。其中第 1 章、第 2 章、第 3 章为基础章节,其余各章在内容上相互独立,便于读者根据需要自由选择学习内容。

本书可作为普通高校通信专业低年级及非通信专业的本科生教材,也适用于相关专业专科和高职院校的学生(如需电子教案,请发邮件至 [zhangyong@163.com](mailto:zhangyong@163.com) 索取)。由于本书具有一定的科普性,所以也可作为对通信技术感兴趣的初学者及通信工程技术人员的参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术概论 张红光等编著 北京  
国防工业出版社, 2008

高等院校电子信息类规划教材

ISBN 7-115-18000-0

I 现代通信技术—高等学校—教材  
IV 621.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 100000 号

国防工业出版社出版

(北京市海淀区紫竹院南路 18 号)

(邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 10.5 插页 0 字数 250 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月北京第 1 次印刷

印数 0001—5000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68410000 发行邮购:(010)68410000

发行传真:(010)68410000 发行业务:(010)68410000

## 前 摇 摇 言

随着信息社会的到来,通信技术日益渗透到我们的日常生活中。新的通信技术名词不断涌现,如宽带网、配线架、固定电话、移动电话、网络、互联网、无线通信等。大多数人,包括通信专业低年级以及非通信专业的学生,均普遍缺乏对通信的基本概念、基本技术的了解。为拓宽知识面,以更好地适应现代信息社会、把握时代脉搏,越来越多的人希望能够全面学习了解通信技术的基本概念和基本原理,了解通信技术的最新发展趋势。

通信作为一门历史悠久、发展迅速的技术,内容庞杂,概念众多。如何快速有效地学习和掌握通信技术,对学校的课程设置及教材的选定均提出了挑战。首先,从课程设置上来讲,当然可以开设多门课程,分门别类地介绍某一方面的通信技术,但从时间和教学安排上,对大多数院校和各个层面的大学生而言都是不现实的。再者,在合适教材的选定上,也存在相当大的难度,原因是目前有关通信技术类的教材,要么是针对某一专题的介绍,其广度不够,要么虽具有一定的广度,但大都针对通信专业高年级的学生,对于通信专业低年级及非通信专业的学生来说,教学内容过多、过深,缺乏通信基础知识的介绍与铺垫。

因此,我们根据自己长期的教学经验和实践,按照教学大纲的要求,编写了这本内容丰富、深浅得当、亲和力强、通俗易懂的教材,以期为普及通信技术、培养信息类人才贡献一点绵薄之力。

### 一、本书的主要特点

本书是作者在多年从事《现代通信技术概论》教学的基础上,按照通信技术的发展进程,对现代通信技术进行全景式描述,目的是使读者对通信技术的体系框架有一个清晰的认识,对各种常用现代通信技术的基本概念、基本原理、系统构成和技术发展趋势有较全面的理解和掌握。其特点如下。

(一) 在结构安排方面,从学生认识规律出发,首先让学生建立起一个通信系统的基本概念,然后通过学习基本的技术原理,达到对各种通信技术的基本掌握。这样也有利于学生在今后的学习和实践中不断对其知识框架进行补充,从而完善通信技术知识体系。

(二) 在内容选取方面,力求深入浅出、论述简明、避免抽象的理论表述,强调基本概念、基本理论、系统构成与工作原理的准确易懂。

(三) 在适用性方面,本书适合不同层面、多个领域的读者。书中各章节具有一定的独立性。作为教材,教师可针对不同专业或不同层次的教学,根据学时情况进行相应的内容取舍(请发邮件至 [zengli@163.com](mailto:zengli@163.com) 索取本教材配套的电子教案)。作为自学读物,读者可通读全书,亦可选择相关章节阅读。

### 二、本书的主要内容

全书共分 15 章。第 1 章主要介绍与通信系统有关的基本概念、模拟信号与数字信号、通信系统的分类、通信系统的主要性能指标。第 2 章主要介绍电话通信中语声电信号

的基本特征、电话机的主要部件及基本电路组成、电话交换与复用的基本概念,并以载波通信为例介绍长途电话通信中的频分复用传输方式。第 7 章介绍数字通信的主要技术,包括模拟信号数字化技术——脉冲编码调制(PAM)、时分多路复用、多路复用路由系统、数字复接、准同步数字复接系列(准同步)和同步数字复接系列(同步)等。第 8 章介绍程控交换技术,主要介绍电话交换技术的发展、交换机的功能及基本组成、程控数字交换机的基本硬件结构、数字交换网络的时隙交换功能、信令及信令系统的基本概念、程控交换机的软件等。第 9 章介绍无线电通信,主要阐述无线电通信的基础知识,包括无线电的产生、发射、传播及无线电通信的基本过程,重点介绍短波通信、微波通信与卫星通信系统的发展及基本工作方式。第 10 章介绍移动通信,主要介绍移动通信的发展、工作方式、多址方式,以及移动通信中的专业术语(蜂窝、漫游、位置登记、越区切换),还介绍了 GSM、GPRS 和 CDMA 技术,以及移动通信新技术等。第 11 章介绍光纤通信,重点介绍光纤的结构、分类、传输特性、工作窗口、光纤通信系统的基本组成及工作原理,以及光纤通信新技术(非线性、光孤子通信)等。第 12 章介绍数据通信基础知识,包括数据传输技术、数据交换技术、差错控制与流量控制等。第 13 章介绍计算机网络技术,包括网络协议与体系结构、广域网、局域网、网络互联及网络安全技术。第 14 章介绍下一代网络,包括 NGN 的体系结构、NGN 的主要技术、NGN 的研究与发展等。

本书是在翻阅大量书籍、多种通信类报刊杂志以及参考 Internet 上的众多资料的基础上,结合编著者多年教学的心得和体会编写而成的。书中所选用的主要参考资料已附于书后,在此向各原编著者表示深深的谢意。同时,还要感谢通信工程系的各位老师在本书的编写过程中所给予的指导和帮助。

由于本书内容覆盖面较广,加之作者水平有限,错漏之处恳请读者批评指正。

编著者

# 目 录

第 1 章 通信系统概述 .....	1
1.1 信息与信号 .....	1
1.2 通信系统的一般组成 .....	5
1.3 通信系统的分类 .....	10
1.4 通信方式 .....	14
1.5 通信系统主要性能指标 .....	16
1.6 现代通信技术的发展 .....	17
第 2 章 电话通信 .....	20
2.1 电话通信基础 .....	20
2.1.1 简单电话通信系统 .....	20
2.1.2 声学基础 .....	24
2.1.3 语音信号特性 .....	26
2.2 电话机的专用部件 .....	28
2.2.1 送话器 .....	28
2.2.2 受话器 .....	30
2.2.3 拨号盘 .....	32
2.2.4 电话机附件 .....	34
2.3 电话机的电路组成 .....	34
2.4 电话交换与复用 .....	36
2.4.1 电话交换的概念 .....	36
2.4.2 长途电话与载波通信 .....	38
2.4.3 载波通信的频分多路复用 .....	40
2.4.4 一种标准化的频分复用方案 .....	42
第 3 章 数字通信技术 .....	44
3.1 概述 .....	44
3.2 语音的数字化技术 .....	46
3.2.1 抽样 .....	46
3.2.2 量化 .....	48
3.2.3 编码 .....	50
3.3 增量调制 .....	52
3.3.1 增量调制基本原理 .....	52
3.3.2 $\Delta$ 调制系统与 PCM 系统的比较 .....	54

源程控数字通信的时分多路复用 .....	源程
源程控时分多路复用原理 .....	源程
源程控时分多路通信简介 .....	源程
源程控时分多路系统中的定时与同步 .....	源程
源程控时分多路基群和高次群 .....	源程
源程控数字信号的传输技术 .....	源程
源程控数字信号的基带传输 .....	源程
源程控数字信号的调制传输 .....	源程
第 源章 源程控交换技术 .....	源程
源程概述 .....	源程
源程控电话交换技术的发展 .....	源程
源程控电话交换机的基本功能及基本组成 .....	源程
源程控信令及信令系统 .....	源程
源程控电话信令的基本概念 .....	源程
源程控信令的分类 .....	源程
源程控用户线信令 .....	源程
源程控局间信令 .....	源程
源程控数字交换机的硬件基本结构 .....	源程
源程控数字交换机的接口 .....	源程
源程控用户模块及远端用户模块 .....	源程
源程控信令设备 .....	源程
源程控数字交换机的控制系统 .....	源程
源程控数字交换机的交换网络 .....	源程
源程控数字交换网络的功能 .....	源程
源程控时隙交换的原理 .....	源程
源程控数字接线器 .....	源程
源程控栽栽数字交换网络 .....	源程
源程控数字交换机的主要性能指标 .....	源程
源程控数字交换机的软件概述 .....	源程
源程控交换机对运行软件的要求 .....	源程
源程控运行软件的基本组成 .....	源程
源程控交换机软件结构 .....	源程
源程控我国电话通信网的结构和编号计划 .....	源程
源程控长途电话网 .....	源程
源程控本地电话网 .....	源程
源程控接入网 .....	源程
源程控编号计划 .....	源程
第 缘章 缘无线电通信 .....	缘程
缘程概述 .....	缘程

无线电波频率范围及频段的划分 .....	1
无线电波的传播方式及应用 .....	2
媒体空间对无线电波传播的影响 .....	3
抗衰落技术 .....	4
无线电通信的基本工作过程 .....	5
短波通信 .....	6
短波概述 .....	6
短波电离层传播特性 .....	7
短波通信工作频率的选择 .....	8
微波通信 .....	9
微波概述 .....	9
微波通信的发展及应用现状 .....	10
微波传播特性及地面微波通信方式 .....	11
数字微波中继通信系统 .....	12
卫星通信 .....	13
卫星概述 .....	13
卫星通信的发展及应用 .....	14
通信卫星与地球站 .....	15
卫星通信系统的基本组成 .....	16
卫星通信中的多址联接方式 .....	17
卫星通信新技术 .....	18
第 4 章 移动通信 .....	19
移动通信概述 .....	19
模拟移动通信的现状 .....	20
数字移动通信的发展 .....	20
移动通信基础 .....	21
移动通信的特点 .....	21
移动通信中的多址方式 .....	22
调制编码、交织、分集技术 .....	23
移动通信系统中的几个重要概念 .....	24
数字移动通信系统及 CDMA .....	25
CDMA 系统的主要特点 .....	25
系统结构及组成 .....	26
网络结构 .....	27
接续流程 .....	28
CDMA 系统 .....	29
广东数字移动系统 .....	29
广东系统的特点 .....	29
扩频通信原理 .....	30

摇摇远源缘摇原形配置(隙原缘)系统中采用的关键技术 .....	员缘
摇摇远源缘摇悦云粤系统工作频带及信道配置 .....	员远
摇摇远源缘摇悦云粤系统的特点 .....	员苑
摇摇远源缘摇第三代移动通信系统 .....	员愿
摇摇远源缘摇简介 .....	员愿
摇摇远源缘摇第三代移动通信系统的核心技术 .....	员怨
摇摇远源缘摇第三代移动通信系统的无线传输技术 .....	员园
摇摇远源缘摇相关新技术 .....	员员
摇摇远源缘摇数字集群通信系统 .....	员员
摇摇远源缘摇蓝牙技术 .....	员苑
摇摇远源缘摇未来的个人通信 .....	员苑
第 苑章 摇光纤通信 .....	员怨
苑源 摇概述 .....	员怨
摇摇苑源缘摇光纤通信发展简史 .....	员怨
摇摇苑源缘摇光纤通信使用的波长 .....	圆园
摇摇苑源缘摇光纤通信的特点 .....	圆猿
苑源 摇光纤 .....	圆缘
摇摇苑源缘摇光纤的结构和分类 .....	圆缘
摇摇苑源缘摇光纤的传输特性 .....	圆怨
苑源 摇光缆 .....	圆园
苑源 摇光纤通信系统的组成 .....	圆猿
摇摇苑源缘摇发送光端机与光源器件 .....	圆源
摇摇苑源缘摇光中继器 .....	圆远
摇摇苑源缘摇接收光端机与光电检测器 .....	圆苑
苑源 摇光纤通信新技术 .....	圆愿
摇摇苑源缘摇光波分复用技术 .....	圆愿
摇摇苑源缘摇光孤子通信 .....	圆园
第 愿章 摇数据通信 .....	圆园
愿源 摇概述 .....	圆园
摇摇愿源缘摇什么是数据通信 .....	圆园
摇摇愿源缘摇数据通信系统 .....	圆猿
愿源 摇数据传输 .....	圆源
摇摇愿源缘摇数据信号的传输方式 .....	圆源
摇摇愿源缘摇数据信号的编码 .....	圆缘
摇摇愿源缘摇数据码组的传输与同步 .....	圆苑
愿源 摇数据交换技术 .....	圆愿
摇摇愿源缘摇电路交换 .....	圆怨
摇摇愿源缘摇报文交换 .....	圆怨
摇摇愿源缘摇分组交换 .....	圆园

差错控制与流量控制 .....	100
差错的产生及其控制 .....	101
奇偶校验法 .....	101
循环冗余校验(CRC) .....	102
流量控制方法 .....	103
数据链路控制 .....	103
数据链路 .....	103
数据链路控制规程 .....	104
面向字符的同步控制协议 .....	105
面向比特的同步控制规程 .....	106
第 8 章 计算机网络 .....	107
概述 .....	107
计算机网络的演变和发展 .....	107
网络协议及体系结构 .....	108
开放系统互连基本参考模型 .....	109
广域网 .....	110
广域网的基本问题 .....	110
路由选择与流量控制 .....	111
公共电话交换网(PSTN) .....	111
分组交换网 .....	112
帧中继(FR) .....	113
数字数据网(DDN) .....	114
广域网与城域网 .....	115
局域网 .....	115
局域网拓扑结构 .....	116
局域网传输介质 .....	117
介质访问控制方式 .....	118
局域网协议标准与参考模型 .....	119
以太网 .....	120
无线局域网 .....	121
网络互联 .....	122
概述 .....	122
局域网互联 .....	123
路由选择协议 .....	124
广域网 .....	125
概述 .....	125
广域网的主机地址和域名 .....	126
广域网地址的应用 .....	127
第 9 章 下一代网络 .....	128

网络支撑 网络的基本概念和特点 .....	网络
网络支撑 网络的概念 .....	网络
网络支撑 网络的特征及其技术优势 .....	网络
网络支撑 网络的体系结构 .....	网络
网络支撑 网络的功能模型 .....	网络
网络支撑 网络的主要业务 .....	网络
网络支撑 网络支持的协议 .....	网络
网络支撑 网络的主要技术 .....	网络
网络支撑 网络软交换 .....	网络
网络支撑 网络与 网络宽带网络 .....	网络
网络支撑 网络高速路由交换 .....	网络
网络支撑 网络光通信 .....	网络
网络支撑 网络宽带接入 .....	网络
网络支撑 网络的研究与应用现状 .....	网络
网络支撑 网络的研究范围 .....	网络
网络支撑 网络的研究机构 .....	网络
网络支撑 网络的应用情况 .....	网络
参考文献 .....	网络

# 第 1 章 通信系统概述

21 世纪是一个信息社会，信息交流已成为人们生活的基本需要。现代通信系统是信息时代的生命线，通信是推动人类社会文明、进步与发展的巨大动力。

人类社会是建立在信息交流基础上的，所以人们总是离不开信息的传递。古代的人力、马力以及烽火台，到现代社会的文字、书信、电报、电话、传真、电视以及电子邮件等，尽管通信的方式各种各样，传递的内容千差万别，但都有一个共性，那就是进行信息的传递。因此，通信的任务就是要克服信息源与收信者之间在地理(距离)上的障碍，迅速而准确地传递信息。

但是，随着社会的发展和技术的进步，人们对传递信息的要求越来越高，人类通信交流的方式也越来越复杂。由于用电的方式能使消息几乎在任意距离上实现迅速、有效、准确、可靠的传递，因此，现代的通信便越来越依赖于利用“电”来传递信息的这种“电通信”方式，以致“通信”一词几乎变成了“电通信”的代名词。

电通信简称电信，是以电信号(包括光信号，光信号是频率更高的电信号)驮载待传输的信息进行传输和交换的通信方式。它所传递的消息各种各样，如语音、文字、符号、图像、数据等。换句话说，电信的业务类型有语音、文字、图像以及数据等。在对通信技术学习之前，首先介绍相关的概念。

## 1.1 信息与信号

### 1. 信息与信号

在通信中，通常把语言和声音、音乐、文字和符号、数据、图像等统称为消息(Message)。如果收信者对传给他(她)的消息事一无所知，则这样的消息对收信者而言包含有较多的信息，反之，收信者事前已知的消息或信号就无任何信息可言。因此，信息(Information)可理解为消息所给予收信者的新知识或消息中包含的有意义的内容。不同形式的消息，可以包含相同的信息。例如，分别用语音和文字发送的天气预报，所含信息内容相同。在本课程中对消息和信息不作严格的区分，两者可以混用。

在近代通信中，为了完成信息的传递，首先应将消息转换为电压、电流、电荷或无线电波等信号形式，再利用各种传输手段将这些信号进行传输。可见，通信是通过传输承载信息的电信号来实现信息传递的。因此，通信信号一般是指与消息相对应的电信号，且信号是信息的载体。更具体一些，把在通信过程中能够反映或表示信息的电压、电流、电荷及电磁波(光波严格意义上也是一种电磁波)统称为通信电信号(光信号)。由话筒输出的电压波形便是电信号的一个例子。我们后面所提及的信号，若不加说明都是指电信号。

从波形角度来说，电信号的特征常用幅度、频率、相位三个电参数来表征，图 1-1 示出了某一周期信号的三个特征参数。其中幅度是信号各个时刻的瞬时值，用  $A$  表示。振幅越大，信号的能量或强度越大。频率是指信号单位时间变化的快慢，用  $f$  来表示，单位为赫兹。相位用来描述信号在周期中的起始点，用  $\theta$  来表示，单位为弧度。

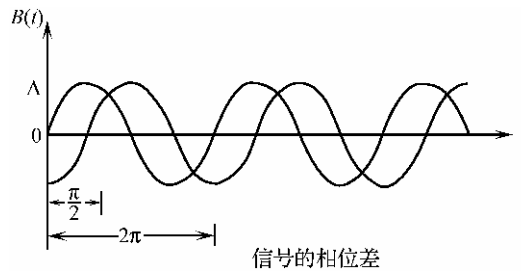


图 1-1 信号的特征量(幅度、频率、相位)

与光波(光信号)类似，任何一种信号都含有相应的频率成分，例如人的讲话声音包含有许许多多的频率成分：800Hz ~ 8000Hz。光波所含有的频率范围称为光谱，信号含有的频率范围称为信号的频谱。信号所含有的最高与最低频率之差称为信号的带宽。如电话语音信号的频率范围为 300Hz ~ 3400Hz，则其信号带宽为 3100Hz。

既然通信信号承载了所要传递的信息，那么它又是以何种方式来表示信息呢？通信信号表示信息的方式，如同日常生活中用于计时的钟表来表达时间信息的方式。指针式钟表是以指针的连续走动指示时间信息，所以它是一种“模拟”方式；而数字式钟表每隔一定时间跳一个数，同样可以表示时间信息，它是一种非连续的计时方式，即“数字”方式。

类似地，通信信号按表示信息的方式分类可分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号用连续变化的数值来表示要说明的信息；数字信号是用离散(不连续)的数字来表示信息。下面具体介绍模拟与数字信号的特点。

## 2. 模拟信号与数字信号

### 1) 模拟信号

模拟信号是指代表消息的电信号中幅度电参量在一定的取值范围内连续变化的信号。如话筒产生的话音电压信号，摄像机产生的图像电流信号等。

以电话为例，在电话通信中，传送的信息是发话人(信源)的声音。声音是由振动发出的，声波通过送话器(变换器)转变成跟随声音的强弱变化而变化的电信号，由于该信号的电压(或电流)幅值变化规律“模拟”了声源声压的变化规律；同样，电视的图像信号波形模拟了图像的变化，故将这种模拟非电信号变化的电信号称为“模拟信号”，如图 1-2 所示。

从图 1-2 所示波形，我们不难发现，模拟信号是幅度、时间取值均为连续的信号。所谓连续的含义是指幅度、时间在某一取值范围内可以取无限多个数值，所以模拟信号又称之为“连续信号”。其主要特征是：幅度连续变化；当发话者说的话改变时，信号的波形也改变，所以从表达信息角度来看，模拟信号表达信息的方式是将待传信息(如声源声压)包含在信号的波形之中。为此模拟信号的传输严格讲不允许波形失真。

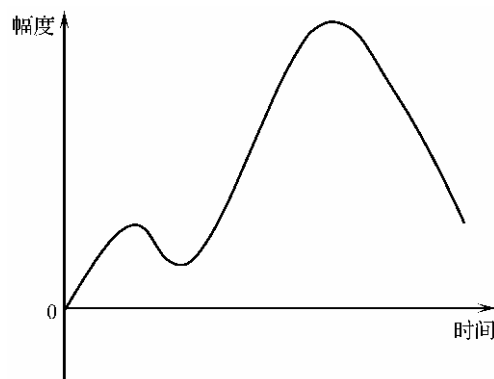


图 1-2 模拟信号

## 2) 数字信号

数字信号和模拟信号差异很大，它是一系列离散的电脉冲。如电报信号、数据信号、遥测指令等。为了说明什么是“电脉冲”，首先让我们从早期的电报通信开始谈起。因电报是数字信号传递信息最简单的方式。

我们从早期的电影或者收音机中可听到打电报时总是响起“嘀嘀哒哒”的声音，这个“嘀”和“哒”的声音便代表了一些电码，这些电码就表示了所要传送的消息。其实，报务员操作电键使回路接通时间短(记为“点”)就发出“嘀”的声音，电键接触使回路接通的时间长(记为“划”)就发出“哒”的声音。不同的“嘀”和“哒”凑在一起就代表不同的字母、数字和符号。这种用“点”和“划”组成的电码就是莫尔斯电码。其中电键操作使回路内一会儿“有电流”，一会儿“无电流”，于是就构成了电压或电流的“电脉冲”。如果用“1”代表有电流、“0”代表无电流，那么“点”就是 1、0(回路接通时间短，为一个时间单位)，“划”就是 1、1、1、0(回路接通时间长，为三个时间单位)。莫尔斯电码是用一点一划代表 A，用一划三点代表 B，所以 A 就是 101110，B 就是 1110101010。

近代的电传打字电报机使用的是五单位或七单位电码。电码以导线中的“有电流”或“无电流”来表示(一般通信网络所用到的电压水平为  $0 \sim \pm 20V$ )，如五单位电码就是五个“有”、“无”电流脉冲的组合。在电报通信中有脉冲叫做“传号”，无脉冲叫做“空号”。每个“传号”和“空号”所占的时间都是 20ms。

我国现在的公众电报采用编码电报，即用四个阿拉伯数字编成一组来代表一个汉字。例如，“0022”代表“中”字，“0948”代表“国”字。若采用五单位电码，则“11101”代表阿拉伯数字“1”，“11001”代表“2”。因此，用不同组合的五单位电码就可代表由“0”到“9”十个阿拉伯数字。由于每个汉字用四个数字代表，每个数字又用五个不同的 1 和 0 组合的电码来代表，所以传送一个汉字就需要传送二十个 1 和 0，当然还需要有些间隔。在发送端，发“1”，只要发一个短促的脉冲信号。发“0”，则无脉冲信号。其中的“11101”，所对应的图形如图 1-3(a)。显然，用脉冲的有、无来分别代表“1”和“0”这两种状态，很简单。

图 1-3(a)中，用来表示有一定持续时间的“有电流”和“无电流”的“1”或“0”脉冲，均被称为一个码元。其电信号波形所占据的时间间隔  $T_s$ ，被称为码元的长度。这种由“1”或“0”码元组合的信号就属于数字信号，又因为该信号的幅度只有 E(如+5V)

和 0 两种取值(两种状态), 所以称为二进制数字信号。相应的码元称为二进制码元。电传电报就是用二进制数字信号来传送文字消息的。进一步理解, 若数字信号幅度的取值有多种, 则对应的数字信号则为多进制数字信号, 同样, 相对应的码元称为多进制码元, 如图 1-3(b)所示。

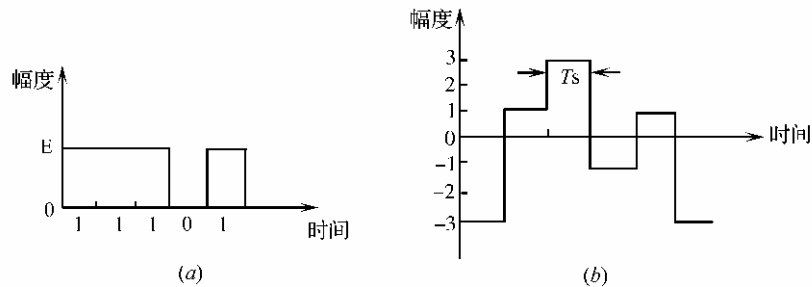


图 1-3 二进制与多进制数字信号

(a) 二进制; (b) 多进制。

由图 1-3 可见, 数字信号是时间和幅度取值均为离散的(取值有限个)、不连续的脉冲信号。从时间上看, 脉冲的个数为有限个, 即一段时间内( $T$  时间内)只能传送有限个脉冲; 从幅度上看, 取值亦为有限个, 图 1-3(a)是两个(0、 $E$ ), 图 1-3(b)是四个(-3、-1、1、3)。所以又称数字信号为离散信号。从信息表达角度来看, 数字信号将待传递的信息包含在码元的不同组合之中。为此, 数字信号传输允许一定的波形失真, 但不允许产生原发信号为“1”或“0”被干扰为“0”或“1”的误码情况。

虽然模拟信号与数字信号有很大的差别, 但模拟信号可通过数字化的方法转化成数字信号; 反之, 数字信号又可通过模拟化的方法转化成模拟信号。如利用语音编译码器的编码器可完成模拟语音向数字语音的转换, 利用译码器可完成相反方向的转换; 再比如, 利用 Modem 中的调制器可完成数字向模拟的转换, 而解调器可完成模拟向数字的转换。

## 1.2 通信系统的一般组成

人们通过听觉、视觉、嗅觉、触觉等感觉, 感知现实世界而获得信息, 并通过通信来传递信息。完成信息传递所需的一切通信设备和传输媒介的端到端信息传送系统称之为通信系统。由于信源与信宿之间的不确定性和多元性, 一般在它们之间的信息传递方式不是固定的, 于是构成了各种各样的通信系统, 如电话通信系统、电报通信系统等。但为了实现信息传递的目的, 任何通信系统的基本通信流程是在发送端以用户终端设备将作为信源的消息转换成电信号, 并令其经信道传送到远方的接收端, 接收端的用户终端设备再从所接收信号中还原出受信消息(信宿)。

上述通信流程, 可用图 1-4 所示一个单向通信系统的基本模型表示。它由信源、发送变换器(发送终端)、信道、接收变换器(接收终端)和信宿等五部分组成。通信过程中的失真和差错一律相当于进入信道的噪声。当然, 根据研究对象和所关心问题的不同, 具体的通信系统模型会有不同的形式。

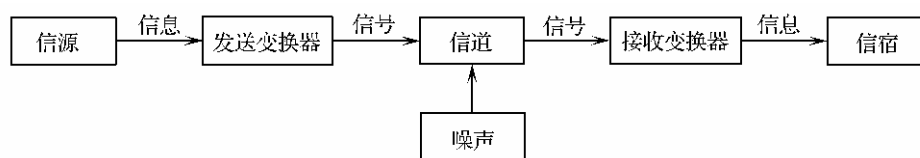


图 1-4 通信系统的基本模型

首先需指出，图 1-4 所示的通信系统只能实现两用户间的单向通信，而作为信息交流的通信系统通常是双向的，比如电话。所以若进行双向通信，还须在反方向上有同样的通信系统，即通信的双方都拥有收发信设备和终端设备，当然，传输信道(传输媒介)也应当是能双向传输的，从而构成最基本的通信形式——点对点通信系统。

### 1. 信源与信宿

信源就是信息源，指发信者以产生信息。发信者可以是人，亦可以是某种发送装置。如电话通信，信源是人；如数据通信，信源则可能是数传机、计算机或电报机等，它们发出的信息是数据信号。总之信源发出的信息可以是声音、数据、文字、图像等。不同的信息源构成不同类型的通信系统，如人与人之间通信的电话通信系统、计算机之间通信的数据通信系统。

信宿就是信息的接收者，它是信息到达的目的地。

### 2. 发送与接收变换器

#### 1) 发送变换器

发送变换器是指把信源发出的信息变成适合于信道传输的信号所需要的设备。对应不同的信源和不同的通信系统，变换器有不同的组成和变换功能。它可以是声/电变换装置，也可以是包括声/电变换的其他变换装置。比如在电话通信中，信源发出的是语声信号，把声音变成话音电流信号送往信道(电话线路)传输，进行声/电转换的设备就是电话机中的送话器。

概括起来讲，变换器的作用通常有两个：一是将非电信号转换成电信号；二是将此电信号进行处理，变成适宜某种信道传输的信号。所谓处理一般是指放大、滤波以及调制、编码等一些加工处理过程。

放大过程如电信号在传输过程中变弱了，需要对它进行放大以补充信号的能量。

滤波过程如从宽广频率范围内取出某一段频率成分，或信号混有噪声时，需要对它进行滤波以去除部分噪声都属于滤波范畴。

调制过程如利用无线微波波段来传输电话语音信号时，由于电话语音信号频率是为 300Hz ~ 3400Hz 的低频信号，虽然可视为电磁波，但不具备强的辐射能力，不适合直接用微波波段来传输，若不加处理，通常只能在传输线(双绞线、同轴电缆、光纤等)引导下传输。若想利用微波等无线信道来传输，就需对这个低频信号进行处理，使之“加载”到“微波”射频载波信号中再通过天线辐射出去。这一加载过程便为调制过程，它使电话信号变换成为适合在微波信道进行传输的信号。

编码过程如模拟语音数字化的语音编码过程、为防止传输错误而采用的差错控制编码以及加密编码过程等。

总之，“信号处理”就是按某种目的要求对信号进行加工的过程。

## 2) 接收变换器

接收变换器的功能与发送变换器功能相反，起还原的作用，是将从信道上接收的信号再恢复成受信者可以接收的信息所需的设备。接收设备的功能也有两个方面：一是对接收信号进行与发送设备相反的变换处理，如解调、译码、转换等，以便恢复出消息，供受信者接收；二是由于接收的信号已叠加有噪声干扰，接收设备应尽可能的抑制干扰，使所恢复的信号尽可能准确。

对于简单电话通信来讲，反变换器就是电话机中的受话器，其作用是将话音电流再变成声音，以完成电/声转换。

## 3. 噪声源

噪声源是指系统内各种干扰影响的等效结果，干扰影响的结果表现为信号的失真和差错。一般通信系统中的噪声可分成以下几类。

第一类是通信系统的外部噪声。这类噪声一部分是人为的，例如，各种电器开关通断时产生的短促脉冲，荧光灯闪烁产生的脉冲串等，这是一种常见的现象；另一部分是非人为的，例如，雷电干扰、其他邻近通信系统(如无线电发射机)的干扰、宇宙辐射等。这类噪声对信号形成的干扰，大多数带有突发性短促脉冲性质，其频率分布可以覆盖整个无线电波段，但其能量主要集中在 20MHz 以下频段，对工作在米波频段以上频段的通信系统不会形成干扰。

第二类是通信系统的内部噪声。它主要包括通信设备中使用的电子元器件(例如，电阻和半导体元器件)、转换器以及天线或传输线等所引起的噪声。例如，电阻及各种导体都会在分子热运动的影响下产生热噪声，电子管或晶体管等电子器件会由于电子发射不均匀等产生器件噪声。这类干扰的特点是由无数个自由电子作不规则运动所形成的，因此它的波形也是不规则变化的，在示波器上观察就像一堆杂乱的茅草一样，通常称之为起伏噪声或白噪声。它是通信系统中的主要噪声，是不可避免的噪声。

以上两类噪声均与信号存在与否无关，是独立于信号之外的噪声，而且是以叠加的形式对信号形成干扰的，因此，称它们为“加性噪声”。

第三类是信道的特性不理想所引起的噪声。在有线信道中，信道特性不理想所引起的噪声主要表现为多对传输线间产生的不必要的耦合。在无线信道中，信道的特性不理想所引起的噪声情况如短波通信中，电离层的随机变化引起信号的随机变化，而构成对信号的干扰。这类噪声只有在信号出现在上述信道中才表现出来，它不会主动对信号形成干扰，因而称之为“乘性干扰”。

通信系统中，信号通过传输媒介一般要经过远距离传输。传输损耗将使进入接收设备的信号十分微弱，极易受到噪声的干扰。因此，为了分析问题的方便，并考虑到信道上的干扰最为严重，一般将系统内所存在的上述三类噪声干扰全部集中在信道上，并抽象为一个噪声源来表示。

## 4. 通信信道

传输信号的通路称为信道，它是将电信号从一个地点传送到另一个地点的传输媒质。传输模拟信号的信道称为模拟信道，传输数字信号的信道则为数字信道。

### 1) 信道的带宽

如同公路用路宽来衡量其运输能力一样，信道的带宽是描述信道传输信号能力的重

要指标。它是指信道所能传送信号的频率宽度，即信道不失真传输信号的最高频率与最低频率之差。

对于通信系统，信道的频带越宽，相当于马路越宽，所能承载的信息也就越多，也就是通信的容量越大。光纤以其极高的通频带当仁不让地成为信息高速公路的“通道”。另一方面，信道的容量越大，其信息传输速率也越高。这可比作在汽车加油站给汽车加油，由于加油管直径的限制，我们不能更快地向油箱加油，汽油也不会一下子装满油箱，相反，运油车为地下油罐装油时要用很粗的油管，这样可使油流速更快。

## 2) 信道的分类

按物理特性来分，信道可分有线信道和无线信道两类。

在有线信道中电磁信号被约束在有线传输线上传输。有线信道通常指架空明线、双绞线、同轴电缆及光纤等，它是传送电信号的导线，所以有线信道又称电信线路。

无线信道中电磁信号沿自由空间传输。无线信道可利用的频段从长波、中波、短波到激光，有较宽的频段。在不同的频段，利用不同性能的设备配置方法，可组成不同的通信系统。如中、长波通信系统、短波通信系统和微波通信系统等。

下面我们仅简单介绍明线、双绞线、同轴电缆三种传输介质的结构及特性，而光纤和无线介质将在后续相关章节加以详细介绍。

(1) 明线。明线是一种最简单的传输介质。由两根裸露在空气中的铜导线彼此隔离地并排放在一起构成，如图 1-5(a)所示。由明线构成的线路中，串扰现象非常严重。

(2) 双绞线(twisted-pair)。双绞线也称双扭线，它由若干且每对有两条互相绝缘的铜导线按一定规则绞合而成。采用这种绞合结构是为了减少对邻近线对的电磁干扰。为了进一步提高双绞线的抗电磁干扰能力，还可以在双绞线的外层再加上一个用金属丝编织而成的屏蔽层。所以，根据双绞线是否外加屏蔽层，它又可分为屏蔽双绞线(STP, Shield Twisted Pair)和非屏蔽双绞线(UTP, Unshield Twisted Pair)两类，如图 1-5(b)所示。

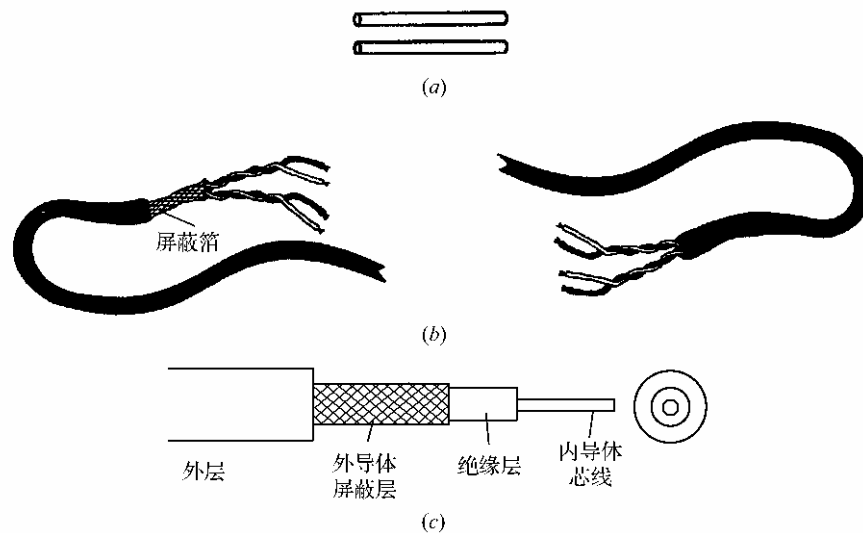


图 1-5 有线介质类型

(a) 明线；(b) 双绞线；(c) 同轴电缆。