



面向21世纪全国高职高专通信工程类规划教材

现代通信原理 与技术简明教程

XIANDAI TONGXIN YUANLI YU JISHU JIANMING JIAOCHENG

张平川 主 编

吴保奎

王学立

蔡卫平 副主编

侯伯民

赵建国



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

面向 21 世纪全国高职高专通信工程类规划教材

现代通信原理与技术简明教程

张平川 主 编

吴保奎

王学立

蔡卫平 副主编

侯伯民

赵建国



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书分三大部分，第一部分全面系统介绍了现代通信的基本概念和基本原理，包括模拟和数字两大部分，以数字通信为主，同时介绍了一些新的调制解调技术以反映通信技术的最新发展；第二部分以现代数字通信系统为背景，介绍了一些常用的通信系统；第三部分对有关通信原理方面的实验与实训指导进行了详细介绍。另外，以附录的形式增加了课堂实践内容和实验实训电路原理图，以方便学生课程设计，有利于学生技能的提高。

本书内容精炼，针对性强，语言简洁，理论联系实际，对基本原理的分析深入浅出，充分考虑了高职学生的文化基础和学习能力，插图丰富，示意性较强。具有简明、实用、系统、新颖的特点。

本书主要作为通信工程或电子信息专业高职学生的教材，也可作为相关领域科技人员的参考读物或培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代通信原理与技术简明教程/张平川主编. —北京: 北京大学出版社, 2006.1

(面向 21 世纪全国高职高专通信工程类规划教材)

ISBN 7-301-09953-3

I. 现… II. 张… III. ①通信理论—高等学校: 技术学校—教材 ②通信技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 132203 号

书 名: 现代通信原理与技术简明教程

著作责任者: 张平川 主编

责任编辑: 桂春 韩玲玲

标准书号: ISBN 7-301-09953-3/TN·0025

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印刷者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 14.75 印张 320 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 22.00 元

前 言

我们正处在信息技术蓬勃发展的阶段。以微电子、通信和计算机为代表的信息产业的发展使人类生活方式发生着日新月异的变革。现代通信技术向着更加广泛的领域渗透，特别是通信技术和计算机技术的密切结合，正在以前所未有的力度促进通信网、计算机网和综合业务数字网的融合。

目前，作为高职层次的电子信息专业，通信原理和技术是一门重要的专业课，通信原理教材主要存在的问题有过分偏重原理的讲解、忽略实用通信系统的介绍、缺乏课程设计和实验实训的指导等，不利于实现教学目标和培养要求，所以我们根据新的教学大纲和培养目标以及课程基本要求，结合多年来的教学经验编成本书，力求系统、简明、实用、新颖。

本书的特点有：

(1) 系统性强，内容连贯；突出基本概念、基本原理的介绍，减少了不必要的数学推导和计算；注重通信技术在实际通信系统中的应用，注意吸收新技术和新的通信系统；注意知识的归纳总结并附有小结和适量的习题。

(2) 本书语言简练、通俗易懂，深入浅出，适用面宽，可用作高等职业院校电子信息专业或通信专业的教材，也可供相应的工程技术人员参考。

(3) 为了方便学生进行通信原理的课程设计，提高应用能力，增加了课程设计参考电路。

本书系统介绍了模拟信号数字化、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、复用复接技术和同步原理、差错控制编码技术及 m 序列等通信原理和技术。同时介绍了一些新的调制解调技术以反映通信技术的最新发展，特别介绍了一些常用的通信系统。

全书分三大部分共 8 章，参考学时为 60~80 个，其中实验实训学时 18 个。第一部分是现代通信原理与技术，由 7 章组成，其中第 1 章绪论，第 2 章模拟调制技术，第 3 章模拟信号的数字化技术；第 4 章数字基带传输技术；第 5 章数字频带传输技术；第 6 章数字复用复接技术和同步原理；第 7 章差错控制编码和 m 序列；第二部分是现代通信系统介绍，主要是第 8 章现代数字通信系统介绍；第三部分是常用通信英文名词与实验实训指导。第 1、2 章由九江职业技术学院的蔡卫平老师编写，第 5 章和附录 1 由黑龙江信息技术职业学院的赵建国老师编写，第 4、6 章由郑州铁路职业技术学院的王学立老师编写，第 3、7 章由漯河职业技术学院的吴保奎老师编写；第二部分 8.1~8.4 和附录 1、2 由沈阳职业技术学院的侯伯民老师编写，第二部分 8.5~8.8 和第三部分以及附录 3 由漯河职业技术学院的张平川老师编写。全书由张平川老师统稿。

限于编者水平，书中缺点错误在所难免，不当之处，欢迎读者批评指正。

编 者

2005 年 12 月

目 录

第一部分 现代通信原理与技术	1
第 1 章 绪论	2
1.1 通信的基本概念	2
1.1.1 通信的定义	2
1.1.2 通信的分类	2
1.1.3 通信方式	4
1.2 通信系统的组成及主要性能指标	5
1.2.1 模拟通信系统	6
1.2.2 数字通信系统	7
1.2.3 通信系统的主要性能指标	9
1.3 通信技术发展概况	12
1.3.1 通信发展简史	12
1.3.2 通信技术的现状和发展趋势	13
1.4 小结	16
1.5 习题	16
第 2 章 模拟调制技术	17
2.1 幅度调制的原理	17
2.1.1 调幅 (AM)	17
2.1.2 抑制载波双边带调制 (DSB-SC)	19
2.1.3 单边带调制 (SSB)	20
2.1.4 残留边带调制 (VSB)	21
2.2 非线性调制 (角调制) 的原理	22
2.2.1 角调制的基本概念	22
2.2.2 调频信号的产生与解调	23
2.3 模拟调制系统的特点与应用	26
2.4 小结	27
2.5 习题	27

第 3 章	模拟信号的数字化技术	28
3.1	抽样定理和幅度脉冲调制.....	28
3.1.1	抽样定理.....	28
3.1.2	幅度脉冲调制.....	29
3.2	脉冲编码调制 (PCM).....	32
3.2.1	量化.....	33
3.2.2	编码和译码.....	36
3.2.3	PCM 系统的性能.....	42
3.3	自适应差分脉冲编码调制 ADPCM.....	43
3.3.1	差分脉码调制 (DPCM).....	44
3.3.2	ADPCM.....	44
3.4	增量调制 (ΔM).....	45
3.4.1	简单增量调制.....	45
3.4.2	PCM 与 ΔM 系统的比较.....	47
3.5	小结.....	49
3.6	习题.....	50
第 4 章	数字基带传输技术	51
4.1	数字基带传输概述.....	51
4.2	数字基带信号.....	53
4.3	基带传输的常用码型.....	55
4.4	基带脉冲传输与码间串扰.....	59
4.4.1	无码间串扰的基带传输特性.....	60
4.4.2	无码间串扰基带系统的抗噪声性能.....	62
4.5	眼图.....	64
4.6	均衡技术.....	66
4.6.1	时域均衡原理.....	67
4.6.2	时域均衡分类.....	67
4.7	部分响应系统.....	69
4.8	小结.....	70
4.9	习题.....	70
第 5 章	数字频带传输技术	72
5.1	二进制数字调制与解调原理.....	72
5.1.1	二进制振幅键控 (2ASK).....	72
5.1.2	二进制移频键控 (2FSK).....	75

5.1.3	二进制移相键控 (2PSK)	78
5.1.4	二进制差分相位键控 (2DPSK)	79
5.1.5	二进制数字调制系统的性能比较	81
5.2	多进制数字调制系统	84
5.2.1	多进制数字振幅调制系统	84
5.2.2	多进制数字频率调制系统	85
5.2.3	多进制数字相位调制系统	87
5.3	现代数字调制技术	91
5.3.1	正交振幅调制 QAM	91
5.3.2	最小频移键控 MSK	92
5.3.3	高斯滤波的最小频移键控 GMSK	95
5.4	小结	97
5.5	习题	98
第 6 章	数字复用复接技术和同步原理	99
6.1	频分复用 (FDM)	99
6.1.1	频分复用原理	99
6.1.2	模拟电话多路复用系统	100
6.1.3	调频立体声广播 (FM Stereo Broadcasting)	101
6.2	时分复用 (TDM)	102
6.2.1	时分复用原理	102
6.2.2	PCM 基群帧结构	104
6.2.3	PCM 高次群	106
6.3	数字复接技术	108
6.4	SDH 复用原理	109
6.4.1	SDH 的特点	109
6.4.2	SDH 复用原理	110
6.5	同步原理	111
6.5.1	概述	111
6.5.2	载波同步	113
6.5.3	位同步	115
6.5.4	群同步	120
6.6	小结	122
6.7	习题	122
第 7 章	差错控制编码和 m 序列	123

7.1	概述.....	123
7.1.1	信道编码.....	123
7.1.2	差错控制方式.....	123
7.1.3	纠错码的分类.....	124
7.1.4	纠错编码的基本原理.....	124
7.2	常用的几种编码技术码.....	125
7.2.1	简单编码技术.....	125
7.2.2	线性分组码.....	127
7.2.3	循环码.....	128
7.2.4	卷积码.....	130
7.3	m 序列.....	131
7.3.1	m 序列的产生.....	131
7.3.2	m 序列的性质.....	133
7.3.3	m 序列的应用.....	134
7.4	小结.....	136
7.5	习题.....	136
第二部分 现代通信系统介绍.....		137
第 8 章 现代数字通信系统介绍.....		138
8.1	计算机通信网.....	138
8.1.1	Internet 和 Intranet 概述.....	139
8.1.2	Internet 应当解决的问题.....	143
8.1.3	TCP/IP 协议的组成、结构与功能.....	144
8.1.4	Internet 的 IP 地址和域名.....	145
8.1.5	统一资源定位符 (URL) 的格式及使用.....	150
8.2	军事通信系统.....	151
8.2.1	自动化防空系统.....	151
8.2.2	陆军的战术通信.....	152
8.2.3	通用通信系统.....	153
8.2.4	战略 C4ISR 系统.....	154
8.3	VSAT 卫星通信网.....	155
8.4	数字微波通信系统.....	157
8.4.1	数字微波通信系统的组成.....	158
8.4.2	微波系统的主要技术指标.....	159

8.5 GSM 数字蜂窝移动通信系统.....	161
8.5.1 GSM 数字蜂窝移动通信的基本概念.....	161
8.5.2 GSM 系统的主要性能和特点.....	162
8.5.3 GSM 系统的结构及功能.....	164
8.5.4 GSM 的业务功能和信道类型.....	167
8.5.5 GSM 的技术指标.....	170
8.5.6 GSM 系统新进展.....	172
8.6 码分多址 (CDMA) 蜂窝移动通信系统.....	173
8.6.1 CDMA 系统原理及特点.....	174
8.6.2 CDMA 系统的关键技术.....	176
8.6.3 第三代移动通信系统 (3G).....	179
8.7 数字光纤通信系统.....	182
8.7.1 光纤通信基本概念.....	182
8.7.2 数字光纤通信系统的组成.....	183
8.7.3 光纤和光缆.....	184
8.7.4 波分复用技术 (WDM).....	191
8.7.5 光纤通信的发展趋势.....	192
8.8 WAP 和软件无线电.....	192
8.8.1 WAP (Wireless Application Protocol).....	192
8.8.2 软件无线电.....	194
8.8.3 蓝牙技术.....	198
8.9 小结.....	199
8.10 习题.....	199
第三部分 常用通信英文名词与实验实训指导.....	201
附录 1 常用通信英文缩略语和术语.....	202
附录 2 课堂实践.....	213
附录 3 实验室实训电路原理图.....	217
参考文献.....	225

第一部分

现代通信原理与技术

第 1 章 绪 论

随着数字通信技术和计算机技术的快速发展,以及通信网络与计算机网络的相互融合,信息科学技术已经成为 21 世纪国际社会和世界经济发展的强大推动力。信息作为一种资源,只有通过广泛的传播与交流,才能产生利用价值、促进合作、创造出巨大的经济效益。信息的传播与交流,是依靠各种通信方式和技术实现的。学习和掌握通信原理和技术是电子信息专业人员的重要任务。

1.1 通信的基本概念

从古到今,人类的社会活动总离不开消息的传递和交换,古代的消息树、烽火台和驿马传令,以及现代社会的文字、书信、电报、电话、广播、电视、遥控、遥测等,都是消息传递的方式或信息交流的手段。人们可以用语言、文字、数据或图像等不同的形式来表达信息。但是这些语言、文字、数据或图像本身不是信息而是消息,信息是消息中所包含的人们原来不知而待知的内容。因此,通信的根本目的在于传输含有信息的消息,否则,就失去了通信的意义。基于这种认识,“通信”也就是“信息传输”或“消息传输”。

1.1.1 通信的定义

通信从本质上讲就是实现信息传递功能的一门科学技术,它要将大量有用的信息无失真、高效率地进行传输,同时还要在传输过程中将无用信息和有害信息抑制掉。当今的通信不仅要有效地传递信息,而且还有存储、处理、采集及显示等功能,通信已成为信息科学技术的一个重要组成部分。

1.1.2 通信的分类

1. 按传输媒质分类

按消息由一地向另一地传递时传输媒质的不同,通信可分为两大类:一类称为有线通信,另一类称为无线通信。所谓有线通信,是指传输媒质为导线、电缆、光缆、波导等形

式的通信,其特点是媒质能看得见、摸得着。导线可以是架空明线、电缆、光缆及波导等。所谓无线通信,是指传输消息的媒质为看不见、摸不着的媒质(如电磁波)的一种通信形式。

通常,有线通信亦可进一步再分类,如明线通信、电缆通信、光缆通信等。无线通信常见的形式有微波通信、短波通信、移动通信、卫星通信、散射通信等,其形式较多。

2. 按信道中所传信号的不同分类

信道是个抽象的概念。这里我们可理解成传输信号的通路。通常信道中传送的信号可分为数字信号和模拟信号,由此通信亦可分为数字通信和模拟通信。

凡信号的某一参量(如连续波的振幅、频率、相位,脉冲波的振幅、宽度、位置等)可以取无限多个数值,且直接与消息相对应的,称为模拟信号。

3. 按工作频段分类(如表 1-1 所示)

表 1-1 通信使用的频段及主要用途

频率范围 f	波长 λ	频段名称	常用介质	典型用途
3Hz~30kHz	$10^8 \sim 10^4$ m	甚低频 VLF	有线线对 长波无线电	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
30~300kHz	$10^4 \sim 10^3$ m	低频 LF	有线线对 长波无线电	导航、信标、电力线通信
300kHz~ 3MHz	$10^3 \sim 10^2$ m	中频 MF	同轴电缆 中波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3~30MHz	$10^2 \sim 1$ m	高频 HF	同轴电缆、短 波无线电	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
30~300MHz	100~10cm	甚高频 VHF	同轴电缆、米 波无线电	电视、FM 广播、空中管制、车辆通信、导航、集群通信、无线寻呼
300~3GHz	100~10cm	特高频 UHF	波导、分米波 无线电	电视、空间遥感、导航、点对点通信、移动通信
3~30GHz	10~1cm	超高频 SHF	波导、厘米波 无线电	雷达、微波接力、卫星和空间通信
30~300GHz	10~1mm	极高频 EHF	波导、毫米波 无线电	雷达、微波接力、射电天文学
$10^5 \sim 10^7$ GHz	$3 \times 10^{-4} \sim$ 3×10^{-6} cm	紫外、可见光、 红外	光纤、激光空 间传播	光通信

通信中工作频率和工作波长可互换,公式为 $\lambda=C/f$, 式中 λ 为工作波长; f 为工作频率; C 为电波在自由空间中的传播速度,通常认为 $C=3 \times 10^8$ m/s。

4. 按调制方式分类

根据消息在送到信道之前是否采用调制，通信可分为基带传输和频带传输。所谓基带传输是指信号没有经过调制而直接送到信道中去传输的一种方式，而频带传输是指信号经过调制后再送到信道中传输，收端有相应解调措施的通信系统。

5. 按业务的不同分类

目前通信业务可分为电报、电话、传真、数据传输、可视电话、无线寻呼等。另外从广义的角度来看，广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也应列入通信的范畴，因为它们都满足通信的定义。由于广播、电视、雷达、导航等的不断发展，目前它们已从通信中派生出来，形成了独立的学科。

6. 按受信者是否运动分类

通信还可按受信者是否运动分为移动通信和固定通信。移动通信是指通信双方至少有一方在运动中进行信息交换。由于移动通信建网快、投资少、机动灵活，使用户能随时随地快速可靠地进行信息传递，因此，移动通信已被列为现代通信中的三大新兴通信方式之一。

另外，通信还有其他一些分类方法，如按多址方式可分为频分多址通信、时分多址通信、码分多址通信等。按用户类型可分为公用通信和专用通信等。

1.1.3 通信方式

1. 按数字信号排序分类（如图 1-1 所示）

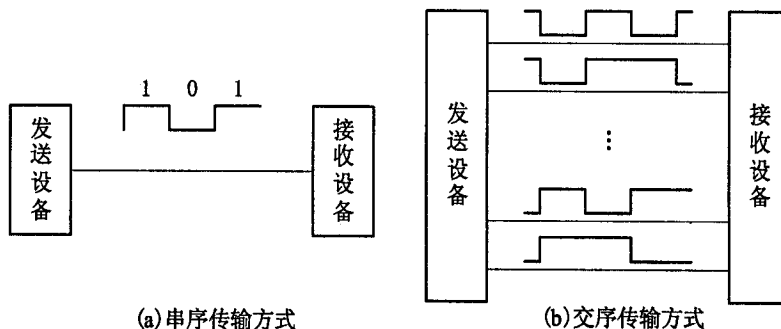


图 1-1 按数字信号排序划分的通信方式

2. 按消息传送的方向与时间分类 (如图 1-2 所示)

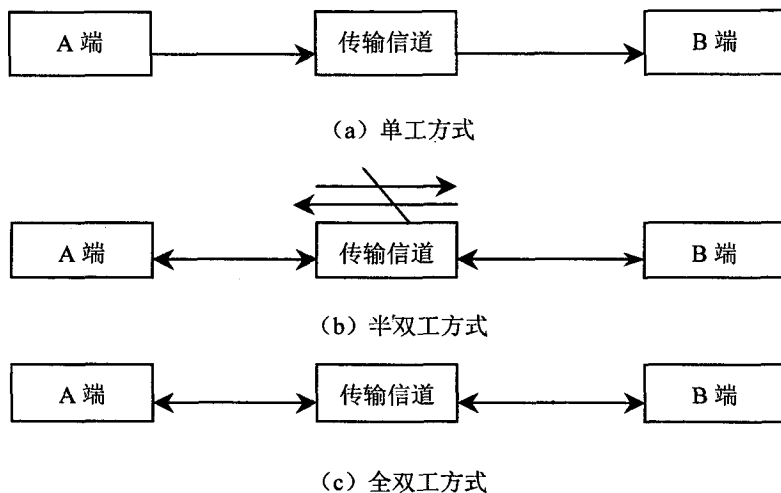


图 1-2 按消息传送的方向和时间划分的通信方式

3. 按通信网络形式分类 (如图 1-3 所示)

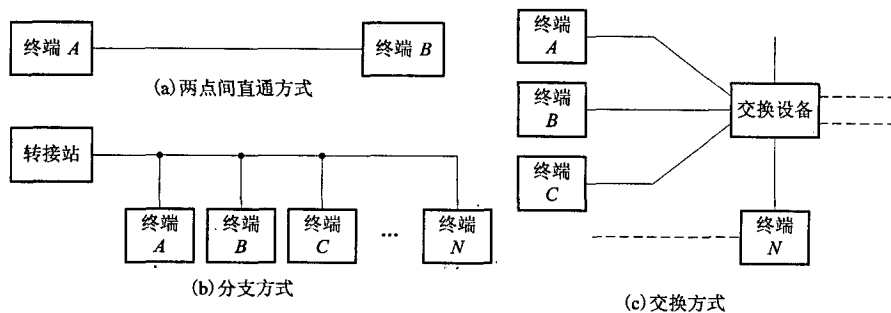


图 1-3 按网络形式划分的通信方式

1.2 通信系统的组成及主要性能指标

通信是从一地向另一地传递和交换信息。实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒体的总和称为通信系统。基于点与点之间的通信系统的模型可用图 1-4 来描述。

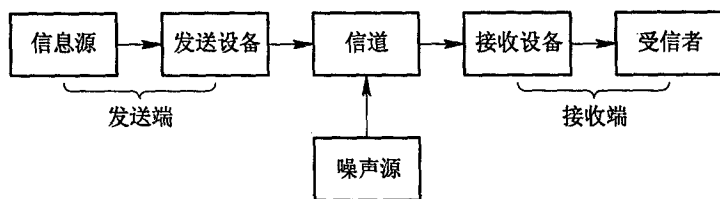


图 1-4 通信系统的模型

信源（信息源）是消息的产生地，其作用是把各种消息转换成原始电信号，称之为消息信号或基带信号。电话机、电视摄像机和电传机、计算机等各种数字终端设备就是信源。前者属于模拟信源，输出的是模拟信号；后者是数字信源，输出离散的数字信号。

发送设备的基本功能是将信源和信道匹配起来，即将信源产生的消息信号变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的，在需要频谱搬移的场合，调制是最常见的变换方式。对数字通信系统来说，发送设备常常又可分为信源编码与信道编码。

信道是指传输信号的物理媒质。在无线信道中，信道可以是大气（自由空间），在有线信道中，信道可以是明线、电缆或光纤。有线和无线信道均有多种物理媒质。媒质的固有特性及引入的干扰与噪声直接关系到通信的质量。根据研究对象的不同，需要对实际的物理媒质建立不同的数学模型，以反映传输媒质对信号的影响。

噪声源不是人为加入的设备，而是通信系统中各种设备以及信道中所固有的，并且是人们所不希望的。噪声的来源是多样的，它可分为内部噪声和外部噪声，而且外部噪声往往是从信道引入的，因此，为了分析方便，把噪声源视为各处噪声的集中表现而抽象加入到信道。

接收设备的基本功能是完成发送设备的反变换，即进行解调、译码、解码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中正确恢复出相应的原始基带信号来，对于多路复用信号，还包括解除多路复用，实现正确分路。

信宿（受信者）是传输信息的归宿点，其作用是将复原的原始信号转换成相应的消息。

1.2.1 模拟通信系统

模拟通信系统（如图 1-5）是利用模拟信号来传递信息的通信系统。我们知道，信源发出的原始电信号是基带信号，基带的含义是指信号的频谱从零频附近开始，如语音信号为 300~3400 Hz，图像信号为 0~6 MHz。由于这种信号具有频率很低的频谱分量，一般不宜直接传输，这就需把基带信号变换成其频带适合在信道中传输的信号，并可在接收端进行反变换。完成这种变换和反变换作用的通常是调制器和解调器。

经过调制以后的信号称为已调信号。已调信号有三个基本特征：携带信息；适合在信道中传输；信号的频谱具有带通形式且中心频率远离零频。因而已调信号又称频带信号。

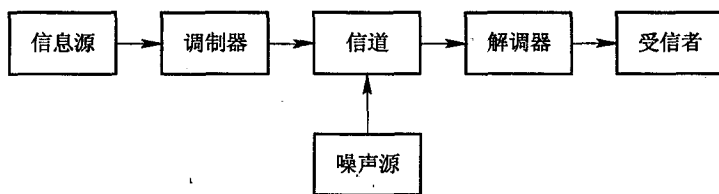


图 1-5 模拟通信系统模型

需要指出，消息从发送端到接收端的传递过程中，不仅仅只有连续消息与基带信号和基带信号与频带信号之间的两种变换，实际通信系统中可能还有滤波、放大、天线辐射、控制等过程。由于调制与解调两种变换对信号的变化起决定性作用，而其他过程对信号不会发生质的变化，只是对信号进行了放大或改善了信号特性，因而被认为是理想的而不予讨论。

1.2.2 数字通信系统

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统，常见的有三种形式。分别如图 1-6 所示远距离频带传输形式、图 1-7 所示的短距离基带传输形式、图 1-8 所示的模拟信号数字化传输形式。数字通信涉及的技术问题很多，其中主要有信源编码与译码、信道编码与译码、数字调制与解调、数字复接与同步以及加密与解密等。

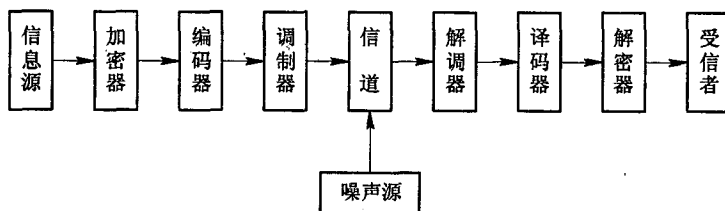


图 1-6 频带传输通信系统模型

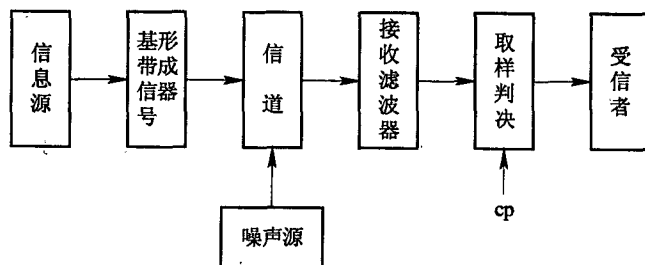


图 1-7 数字基带传输通信系统模型

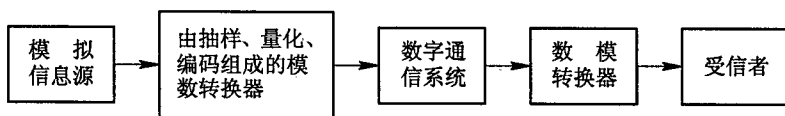


图 1-8 模拟信号数字化传输通信系统模型

1. 数字通信的主要技术

(1) 信源编码与译码

信源编码的作用之一是设法减少码元数目和降低码元速率，即通常所说的数据压缩。码元速率将直接影响传输所占的带宽，而传输带宽又直接反映了通信的有效性。其作用之二是，当信息源给出的是模拟语音信号时，信源编码器将其转换成数字信号，以实现模拟信号的数字化传输。模拟信号数字化传输有两种方式：脉冲编码调制（PCM）和增量调制（ ΔM ）。信源译码是信源编码的逆过程。

(2) 信道编码与译码

数字信号在信道传输时，由于噪声、衰落以及人为干扰等，将会引起差错。为了减少差错，信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入保护成分（监督元），组成所谓“抗干扰编码”。接收端的信道译码器按一定规则进行解码，从解码过程中发现错误或纠正错误，从而提高通信系统抗干扰能力，实现可靠通信。

(3) 加密与解密

在需要实现保密通信的场合，为了保证所传信息的安全，人为将被传输的数字序列扰乱，即加上密码，这种处理过程叫加密。在接收端利用与发送端相同的密码复制品对收到的数字序列进行解密，恢复原来信息，叫解密。

(4) 数字调制与解调

数字调制就是把数字基带信号的频谱搬移到高频处，形成适合在信道中传输的频带信号。基本的数字调制方式有振幅键控 ASK、频移键控 FSK、绝对相移键控 PSK、相对（差分）相移键控 DPSK。对这些信号可以采用相干解调或非相干解调还原为数字基带信号。对高斯噪声下的信号检测，一般用相关器接收机或匹配滤波器实现。数字调制是本教材的重点内容之一。

(5) 同步与数字复接

同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的不可缺少的前提条件。同步是使收发两端的信号在时间上保持步调一致。按照同步的功用不同，可分为载波同步、位同步、群同步和网同步。

数字复接就是依据时分复用基本原理把若干个低速数字信号合并成一个高速的数字信号，以扩大传输容量和提高传输效率。