



高等学校电子信息类规划教材

# 数字通信原理 与技术

Digital Communications

• 王兴亮 达新宇 编著  
林家薇 王 瑜



西安电子科技大学出版社

[http:// www.xduph. com](http://www.xduph.com)

## 内 容 简 介

本书系统介绍了信源编码、信道编码、时分复用原理、模拟信号的数字传输、基带传输、频带传输、同步系统等数字通信技术。同时还介绍了一些新的调制解调技术，特别介绍了数字通信系统及一些数字通信技术新的应用。

全书共分9章。第1章绪论；第2章信道与噪声；第3章模拟信号的数字传输；第4章数字信号的基带传输；第5章数字信号的频带传输；第6章同步系统；第7章差错控制编码；第8章伪随机序列； $m$ 序列；第9章现代数字通信系统介绍。

本书系统性强，内容编排连贯；突出基本概念、基本原理的阐述，减少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，注重吸收新技术和新的通信系统；注意知识的归纳、总结并附有适量的练习题。

本书语言简练、通俗易懂，叙述深入浅出，适用面宽，可用作高等学校通信专业的教材，也可供相应的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字通信原理与技术/王兴亮等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2000.6

高等学校电子信息类规划教材

ISBN 7-5606-0834-5

I. 数… I. 王… III. 数字通信-高等学校-教材 IV. TN914.3

### 中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 19339 号

责任编辑 徐德源 戚文艳

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)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 渭南市邮电印刷厂

版 次 2000年6月第1版 2001年1月第2次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 18

字 数 423千字

印 数 4 001~10 000册

定 价 17.00元

ISBN 7-5606-0834-5/TN·0142

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志，无标志者不得销售。

## 出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社，各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容与课程体系改革的要求，编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我们与各专指委、出版社协商后审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、有特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需、尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、学生和其他广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

# 前 言

在当今和未来的信息化社会中，数字通信已成为信息传输的重要手段，全球数字化已成为当今社会的主要潮流，数字通信的新设备在不断涌现，人们越来越离不开数字通信这种手段了，越来越期望了解和掌握数字通信技术。

本书以数字通信技术为主线，对信源编码、信道编码、时分复用原理、模拟信号的数字传输、基带传输、频带传输、同步系统等主要技术进行了全面系统的论述，同时对一些较新的调制解调技术做了介绍，特别介绍了数字通信系统及一些数字通信技术的新的应用。既适应了当前通信领域发展的现状，又反映了这一领域发展的最新进展。

全书共分为 9 章，参考学时数为 80 学时。

第 1 章 绪论，主要介绍通信系统的基本组成和基本概念，重点介绍数字通信的主要性能指标。

第 2 章 信道与噪声，介绍信道的基本概念和特性，以及通信中可能存在的各种噪声，论述了不同信道对所传信号的影响和改善信道特性的方法，最后提出了信道容量的概念。

第 3 章 模拟信号的数字传输，重点介绍了 PCM 和  $\Delta M$  原理与应用，同时还对时分复用和数字复接技术做了论述。

第 4 章 数字信号的基带传输，介绍了基带传输信号的基本码形，重点是差分码、AMI 码及 HDB<sub>3</sub> 码的编/译码规则，论述了码间串扰和系统无码间串扰的传输特性，以及眼图、时域均衡和部分响应的概念。

第 5 章 数字信号的频带传输，也就是数字信号的调制解调技术，主要介绍了二进制和多进制形式的 ASK、FSK 及 PSK(DPSK) 等调制解调技术，并对各自的调制解调系统性能做了分析和比较，最后主要围绕窄带调制介绍了一些新的调制解调技术。

第 6 章 同步系统，讲述了同步技术在数字通信中的作用和意义，介绍了载波同步、位同步及群同步的实现方法及其性能指标，重点是位同步技术。

第 7 章 差错控制编码，讲述了差错控制编码的机理及常用检错码和纠错码的概念，重点分析了线性分组码和卷积码的构成原理及解码方法，同时还介绍了网格编码调制(TCM)新技术。

第 8 章 伪随机序列： $m$  序列，着重介绍了伪随机序列的产生、性质及应用情况，主要以扩展频谱通信、保密通信等应用作为重点应用内容。

第9章 现代数字通信系统介绍，主要介绍了几种当今新的数字通信系统的组成、工作原理及其技术指标等。如 VSAT 卫星通信网、数字蜂窝移动通信系统(如 GSM 蜂窝系统)、无线寻呼系统、数字微波通信系统、数字光纤通信系统。

本书的特点是系统性强，内容编排连贯，突出基本概念、基本原理，减少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；注重了知识的归纳、总结和适量的课后练习；语言简练、通俗易懂、深入浅出，适应对象广泛。为便于读者深入学习，同时考虑到知识的完整性，本书适当编写了一些参考性内容，这些部分已在书中用“\*”号标出，可选择性学习。在教学实施过程中，尚需一定数量的示教和实验来配合教学。

本书由王兴亮担任主编，达新宇任副主编，主审张辉，责任编委王喜成。达新宇编写第1、2、9章，林家薇编写第3、4章，王兴亮编写第5、6章，王瑜编写第7、8章。王兴亮统稿全书。

限于编者水平，缺点错误在所难免，欢迎各界读者批评指正。

编者

1999年10月20日于西安

# 目 录

<b>第 1 章 绪 论</b>	
1.1 通信的基本概念 .....	1
1.1.1 通信的定义 .....	1
1.1.2 通信的分类 .....	1
1.1.3 通信方式 .....	4
1.2 通信系统的组成 .....	6
1.2.1 模拟通信系统 .....	6
1.2.2 数字通信系统 .....	7
1.2.3 数字通信的主要优缺点 .....	8
1.3 通信技术发展概况 .....	9
1.3.1 通信发展简史 .....	10
1.3.2 通信技术的现状和发展趋势 .....	10
1.4 数字通信系统的主要性能指标 .....	12
1.4.1 一般通信系统的性能指标 .....	12
1.4.2 信息及其量度 .....	13
1.4.3 有效性指标的具体表述 .....	15
1.4.4 可靠性指标的具体表述 .....	16
1.5 数字通信的主要技术问题 .....	17
1.5.1 数字调制/解调 .....	17
1.5.2 信源编码/译码 .....	17
1.5.3 纠错编码/译码 .....	18
1.5.4 基带传输 .....	18
1.5.5 同步 .....	18
1.5.6 信道与噪声 .....	18
1.5.7 保密编码/译码 .....	18
本章小结 .....	18
思考与练习 .....	20
<b>第 2 章 信道与噪声</b>	
2.1 信道的定义、分类与模型 .....	22
2.1.1 信道的定义 .....	22
2.1.2 信道的分类 .....	22
2.1.3 信道的模型 .....	23
2.2 恒参信道及其对所传信号的影响 .....	25
2.2.1 幅度—频率畸变 .....	26
2.2.2 相位—频率畸变(群延迟畸变) .....	26
2.2.3 减小畸变的措施 .....	27
2.3 变参信道及其对所传信号的影响 .....	28
2.3.1 变参信道传输媒质的特点 .....	28
2.3.2 产生多径效应的分析 .....	28
2.3.3 变参信道特性的改善 .....	30
2.4 信道内的噪声(干扰) .....	32
2.5 通信中常见的几种噪声 .....	33
2.5.1 白噪声 .....	33
2.5.2 高斯噪声 .....	34
2.5.3 高斯型白噪声 .....	36
2.5.4 窄带高斯噪声 .....	36
2.5.5 余弦信号加窄带高斯噪声 .....	37
2.6 信道容量的概念 .....	38
本章小结 .....	39
思考与练习 .....	40
<b>第 3 章 模拟信号的数字传输</b>	
3.1 脉冲编码调制(PCM) .....	42
3.1.1 抽样定理和实际抽样 .....	43
3.1.2 脉冲调制 .....	48
3.1.3 量化 .....	48
3.1.4 编码和译码 .....	56
3.2 增量调制( $\Delta M$ ) .....	66
3.2.1 简单增量调制 .....	66
3.2.2 增量调制的过载特性与编码 的动态范围 .....	70
3.2.3 增量调制的抗噪声性能 .....	72
3.2.4 改进型增量调制 .....	74
3.3 时分复用与数字复接原理 .....	82
3.3.1 PAM 时分复用原理 .....	83
3.3.2 时分复用的 PCM 系统 .....	84

3.3.3	PCM 30/32 路典型终端 设备介绍	84
3.4	数字复接技术	88
3.4.1	数字复接设备方框图	88
3.4.2	复接等级和速率系列	89
3.4.3	正码速调整	90
3.4.4	光纤通信同步数字系列简介	91
	本章小结	93
	思考与练习	94

## 第 4 章 数字信号的基带传输

4.1	数字基带信号	97
4.1.1	数字基带信号的常用码型	97
4.1.2	数字基带信号功率谱	102
4.1.3	码型变换的基本方法	103
4.2	数字基带传输系统	106
4.2.1	数字基带系统的基本组成	106
4.2.2	基带传输系统的数学分析	107
4.2.3	码间串扰的消除	108
4.3	无码间串扰的基带传输系统	109
4.3.1	理想基带传输系统	109
4.3.2	无码间串扰的等效特性	110
4.3.3	升余弦滚降传输特性	111
4.3.4	无码间串扰时噪声对传输性能的影响	113
4.4	眼图	115
4.5	时域均衡原理	117
4.6	部分响应技术	119
	本章小结	123
	思考与练习	124

## 第 5 章 数字信号的频带传输

5.1	引言	127
5.2	数字振幅调制	128
5.2.1	二进制数字振幅键控(2ASK)	128
5.2.2	多进制数字振幅键控 (MASK)	134
5.3	数字频率调制	139
5.3.1	二进制数字频移键控(2FSK)	139
5.3.2	多进制数字频移键控(MFSK)	147

5.4	数字相位调制	149
5.4.1	二进制数字相移键控(2PSK)	149
5.4.2	多进制数字相移键控 (MPSK)	158
5.5	数字调制系统性能比较	167
5.5.1	二进制数字调制系统的 性能比较	167
5.5.2	多进制数字调制系统的 性能比较	168
* 5.6	现代数字调制技术	170
5.6.1	正交振幅调制(QAM)	171
5.6.2	交错正交相移键控(OQPSK)	176
5.6.3	最小频移键控(MSK)	179
5.6.4	正弦频移键控(SFSK)	182
5.6.5	平滑调频(TFM)	184
5.6.6	高斯滤波的最小频 移键控(GMSK)	184
5.6.7	无码间串扰和相位抖动的偏移 四相相移键控(IJF-OQPSK)	185
	本章小结	187
	思考与练习	187

## 第 6 章 同步系统

6.1	概述	192
6.1.1	不同功用的同步	192
6.1.2	不同传输方式的同步	193
6.2	载波同步技术	193
6.2.1	非线性变换—滤波法	194
6.2.2	特殊锁相环法	196
6.2.3	插入导频法(外同步法)	199
6.2.4	载波同步系统的性能指标	202
6.3	位同步技术	203
6.3.1	插入导频法(外同步法)	203
6.3.2	自同步法	205
6.3.3	位同步系统的性能指标	209
6.4	群同步(帧同步)技术	210
6.4.1	起止式同步法	211
6.4.2	连贯式插入法	211
6.4.3	间歇式插入法	213
6.4.4	群同步的保护	214
6.4.5	群同步系统的性能指标	215

本章小结 .....	216
思考与练习 .....	217

## 第 7 章 差错控制编码

7.1 概述 .....	220
7.1.1 信道编码 .....	220
7.1.2 差错控制方式 .....	220
7.1.3 纠错码的分类 .....	221
7.1.4 纠错编码的基本原理 .....	221
7.2 常用的几种简单分组码 .....	222
7.2.1 奇偶监督码 .....	222
7.2.2 行列监督码 .....	223
7.2.3 恒比码 .....	223
7.3 线性分组码 .....	224
7.3.1 基本概念 .....	224
7.3.2 监督矩阵 $H$ 和生成矩阵 $G$ .....	224
7.3.3 伴随式(校正子) $S$ .....	226
7.4 循环码 .....	227
7.4.1 生成多项式及生成矩阵 .....	227
7.4.2 监督多项式及监督矩阵 .....	228
7.4.3 编码方式和电路 .....	228
7.4.4 译码方式和电路 .....	229
7.5 卷积码 .....	230
7.5.1 基本概念 .....	230
7.5.2 卷积码的描述 .....	231
7.5.3 卷积码的译码 .....	232
7.6 网格编码调制(TCM) .....	233
本章小结 .....	235
思考与练习 .....	236

## 第 8 章 伪随机序列: $m$ 序列

8.1 $m$ 序列的产生 .....	239
8.1.1 线性反馈移位寄存器 .....	239
8.1.2 $m$ 序列产生器 .....	240
8.2 $m$ 序列的性质 .....	241
8.2.1 均衡特性(平衡性) .....	241
8.2.2 游程特性(游程分布的随机性) .....	241
8.2.3 移位相加特性(线性叠加性) .....	241
8.2.4 自相关特性 .....	242
8.2.5 伪噪声特性 .....	243

8.3 $m$ 序列的应用 .....	243
8.3.1 扩展频谱通信 .....	243
8.3.2 码分多址(CDMA)通信 .....	246
8.3.3 通信加密 .....	246
8.3.4 误码率的测量 .....	247
本章小结 .....	247
思考与练习 .....	248

## 第 9 章 现代数字通信系统介绍

9.1 数字通信的应用 .....	249
9.1.1 计算机通信网 .....	249
9.1.2 军事自动化指挥控制系统 .....	250
9.2 VSAT 卫星通信网 .....	251
9.2.1 VSAT 卫星通信网的组成 .....	251
9.2.2 VSAT 系统的工作原理 .....	252
9.2.3 VSAT 网主要技术指标 .....	254
9.3 数字蜂窝移动通信系统 .....	255
9.3.1 移动通信的概念 .....	255
9.3.2 GSM 数字蜂窝通信系统的 网络结构 .....	256
9.3.3 GSM 蜂窝系统的传输方式 .....	258
9.3.4 GSM 蜂窝系统的 主要技术指标 .....	262
9.4 无线寻呼系统 .....	262
9.4.1 无线寻呼发展概况 .....	262
9.4.2 系统基本组成 .....	263
9.4.3 系统主要技术指标 .....	264
9.4.4 POCSAG 码介绍 .....	265
9.4.5 BB 机介绍 .....	265
9.5 数字微波通信系统 .....	266
9.5.1 数字微波通信系统的组成 .....	266
9.5.2 数字微波线路(网)的 构成形式 .....	270
9.5.3 主要技术指标 .....	271
9.6 数字光纤通信系统 .....	273
9.6.1 光纤通信系统组成及特点 .....	273
9.6.2 数字光纤通信系统的组成 .....	274
9.6.3 主要技术指标 .....	275
本章小结 .....	277
思考与练习 .....	277
参考文献 .....	278



# 第 1 章 绪 论

通信技术，特别是数字通信技术近年来发展非常迅速，它的应用越来越广泛。本章主要介绍通信的基本概念，如通信的定义、分类和工作方式，通信系统的组成，衡量通信系统的主要质量指标及通信技术发展概况等。这些基本概念是数字通信原理与技术的基础。

## 1.1 通信的基本概念

从远古时代到现代文明社会，人类社会的各种活动与通信密切相关，特别是当今世界已进入信息时代，通信已渗透到社会各个领域，通信产品随处可见。通信已成为现代文明的标志之一，对人们日常生活和社会活动及发展将起到更加重要的作用。

### 1.1.1 通信的定义

一般地说，通信(communication)是指由一地向另一地进行消息的有效传递。满足此定义的例子很多，如打电话，它是利用电话(系统)来传递消息；两个人之间的对话，亦是利用声音来传递消息，不过只是通信距离非常短而已；古代“消息树”、“烽火台”和现代仍使用的“信号灯”等也是利用不同方式传递消息的，理应归属通信之列。

然而，随着社会生产力的发展，人们对传递消息的要求也越来越高。在各种各样的通信方式中，利用“电”来传递消息的通信方法称之为电信(telecommunication)，这种通信具有迅速、准确、可靠等特点，而且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制，因而得到了飞速发展和广泛应用。如今，在自然科学中，“通信”与“电信”几乎是同义词了。本课程中所说的通信，均指电信。这里不妨对通信重新定义：把利用电子等技术手段，借助电信号(含光信号)实现从一地向另一地进行消息的有效传递和交换称为通信。

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

我们知道，通信的目的是传递消息。通信按照不同的分法，可分成许多类，因此将会引出诸多名词、术语，下面我们介绍几种较常用的分类方法。

### 1. 按传输媒质分

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

信道是个抽象的概念。这里我们可理解成传输信号的通路,在第2章里将详细介绍。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。模拟信号有时也称连续信号,这个连续是指信号的某一参量可以连续变化(即可以取无限多个值),而不一定在时间上也连续,例如第3章介绍的各种脉冲调制,经过调制以后已调信号脉冲的某一参量是可以连续变化的,但在时间上是不连续的。这里指的某一参量是指我们关心的并作为研究对象的那一参量,绝不是指时间参量。当然,对于参量连续变化、时间上也连续变化的信号,毫无疑问也是模拟信号,如强弱连续变化的语言信号,亮度连续变化的电视图像信号等都是模拟信号。

凡信号的某一参量只能取有限个数值,并且常常不直接与消息相对应的,称为数字信号。数字信号有时也称离散信号,这个离散是指信号的某参量是离散(不连续)变化的,而不一定在时间上也离散。以后我们要在第5章中介绍的PSK、FSK信号均是在时间上连续的数字信号。

### 3. 按工作频段分

根据通信设备的工作频率不同,通信通常可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。为了比较全面地对通信中所使用的频段有所了解,下面把通信使用的频段及说明列入表1-1中,仅作为参考。

表 1-1 通信使用的频段及主要用途

频率范围( $f$ )	波长( $\lambda$ )	符号	常用传输媒介	用途
3 Hz~30 kHz	$10^8\sim 10^4$ 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
30~300 kHz	$10^4\sim 10^3$ m	低频 LF	有线线对 长波无线电	导航、信标、电力线通信
300 kHz~3 MHz	$10^3\sim 10^2$ 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

续表

频率范围( $f$ )	波长( $\lambda$ )	符号	常用传输媒介	用途
3~30 MHz	$10^2\sim 10$ 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
30~300 MHz	10~1 m	甚高频 VHF	同轴电缆 米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航、集群通信、无线寻呼
300 MHz~3 GHz	100~10 cm	特高频 UHF	波导 分米波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
3~30 GHz	10~1 cm	超高频 SHF	波导 厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30~300 GHz	10~1 mm	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	$3\times 10^{-4}\sim$ $3\times 10^{-6}$ 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

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (1-1)$$

式中， $\lambda$  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

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。基带传输和频带传输的详细内容，将分别在第4章和第5章中论述。

#### 5. 按业务的不同分

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

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。由于移动通信具有建网快、投资少、机动灵活，它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，通信还有其它一些分类方法，如按多地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

从不同角度考虑问题，通信的工作方式通常有以下几种。

#### 1. 按消息传送的方向与时间分

通常，如果通信仅在点对点之间进行，或一点对多点之间进行，那么，按消息传送的方向与时间不同，通信的工作方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信。

所谓单工通信，是指消息只能单方向进行传输的一种通信工作方式，如图 1-1(a)所示。单工通信的例子很多，如广播、遥控、无线寻呼等，这里，信号(消息)只从广播发射台、遥控器和无线寻呼中心分别传到收音机、遥控对象和 BB 机上。

所谓半双工通信方式，是指通信双方都能收发消息，但不能同时进行收和发的形式，如图 1-1(b)所示。例如对讲机、收发报机等都是这种通信方式。

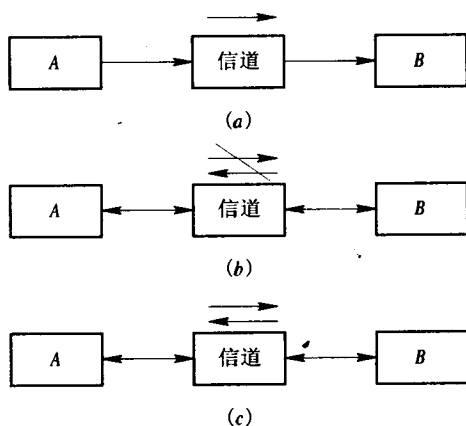


图 1-1 按消息传送的方向和时间划分的通信方式

(a) 单工方式；(b) 半双工方式；(c) 全双工方式

所谓全双工通信，是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式。这种方式，双方都可同时进行收发消息，很明显，全双工通信的信道必须是双向信道。生活中全双工通信的例子非常多，如普通电话、各种手机等。

#### 2. 按数字信号排序分

在数字通信中，按照数字信号排列的顺序不同，可将通信方式分为串序传输和并序传输。

所谓串序传输，即是将代表信息的数字信号序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输的方式，如图 1-2(a)所示；如果将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时在信道上传输，则称为并序传输通信方式，如图 1-2(b)所示。

一般的数字通信方式大都采用串序传输，这种方式只需占用一条通路，缺点是占用时间相对较长；并序传输方式在通信中也时有用到，它需要占用多条通路，优点是传输时间较短。

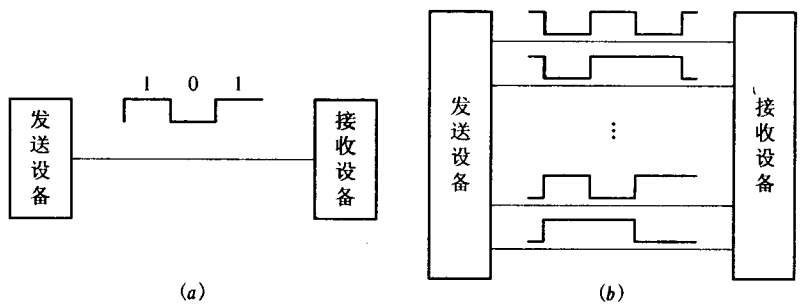


图 1-2 按数字信号排序划分的通信方式  
(a) 串序传输方式；(b) 并序传输方式

### 3. 按通信网络形式分

通信的网络形式通常可分为三种：两点间直通方式、分支方式和交换方式，它们的示意图如图 1-3 所示。直通方式是通信网络中最为简单的一种形式，终端 A 与终端 B 之间的线路是专用的；在分支方式中，它的每一个终端(A、B、C、…、N)经过同一信道与转接站相互连接，此时，终端之间不能直通信息，而必须经过转接站转接，此种方式只在数字通信中出现；交换方式是终端之间通过交换设备灵活地进行线路交换的一种方式，即把要求通信的两终端之间的线路接通(自动接通)，或者通过程序控制实现消息交换，即通过交换设备先把发方来的消息贮存起来，然后再转发至收方。这种消息转发可以是实时的，也可是延时的。

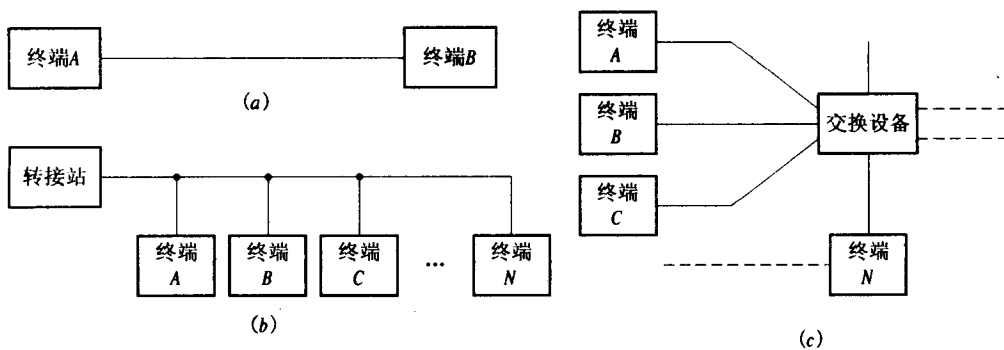


图 1-3 按网络形式划分的通信方式  
(a) 两点间直通方式；(b) 分支方式；(c) 交换方式

分支方式及交换方式均属网通信的范畴。无疑，它和点与点直通方式相比，还有其特殊的一面。例如，通信网中有一套具体的线路交换与消息交换的规定、协议等，通信网中既有信息控制问题，也有网同步问题等，尽管如此，网通信的基础仍是点与点之间的通信，因此，本书中只把注意力集中到点与点通信上，而不涉及通信网的其它问题。

## 1.2 通信系统的组成

通信的任务是完成消息的传递和交换。以点对点通信为例，可以看出要实现消息从一地到另一地的传递，必须有三个部分：一是发送端，二是接收端，三是收发两端之间的信道，如图 1-4 所示。

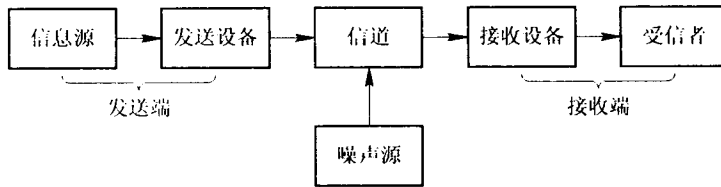


图 1-4 通信系统的模型

这里，信息源（简称信源）的作用是把待传输的消息转换成原始电信号，如电话系统中电话机可看成是信源，信源输出的信号称为基带信号。所谓基带信号是指没有经过调制（频率搬移）的原始信号，其特点是频率较低。基带信号可分为数字基带信号和模拟基带信号。为了使原始信号（基带信号）适合在信道中传输，由发送设备对基带信号进行某种变换或处理，使之适应信道的传输特性要求。发送设备是个总体概念，它可能包括许多具体电路与系统，通过以后的学习，这点体会将会更深。信道是信号传输的通路，信道中自然会叠加上噪声。在接收端，接收设备的功能正好相反于发送设备，它将从收到的信号中恢复出相应的原始信号。受信者（也称信宿或收终端）是将复原的原始信号转换成相应的消息，如电话机将对方传来的电信号还原成了声音。图中噪声源，是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其它各处噪声的集合。图中这种表示并非指通信中一定要有一个噪声源，而是为了在分析和讨论问题时便于理解而人为设置的。

按照信道中所传信号的形式不同，我们知道通信可以分为模拟通信和数字通信，为了进一步了解它们的组成，下面分别加以论述。

### 1.2.1 模拟通信系统

我们把信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统。模拟通信系统的组成（通常也称为模型）可由一般通信系统模型略加改变而成，如图 1-5 所示。

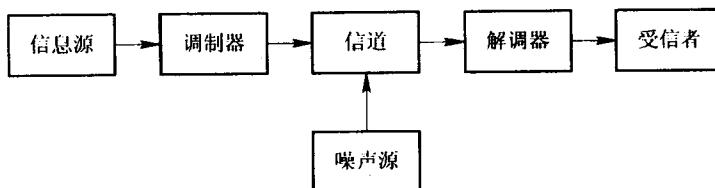


图 1-5 模拟通信系统模型

对于模拟通信系统，它主要包含两种重要变换。一是把连续消息变换成电信号（发端信息源完成）和把电信号恢复成最初的连续消息（收端受信者完成）。由信源输出的电信号

(基带信号)由于它具有频率较低的频谱分量,一般不能直接作为传输信号而送到信道中去。因此,模拟通信系统里常有第二种变换,即将基带信号转换成其频带适合信道传输的信号,这一变换由调制器完成;在收端同样需经相反的变换,它由解调器完成。经过调制后的信号通常称为已调信号。已调信号有三个基本特性:一是携带有消息,二是适合在信道中传输,三是具有较高频率成分。

必须指出,从消息的发送到消息的恢复,事实上并非仅有以上两种变换,通常在一个通信系统里可能还有滤波、放大、天线辐射与接收、控制等过程。对信号传输而言,由于上面两种变换对信号起决定性变化,它是通信过程中的重要方面。而其它过程对信号来说,没有发生质的变化,只不过是对其进行了放大和改善信号特性等,因此,这些过程我们认为都是理想的,而不去讨论它。

### 1.2.2 数字通信系统

信道中传输数字信号的系统,称为数字通信系统,数字通信系统可进一步细分为数字频带传输通信系统、数字基带传输通信系统、模拟信号数字化传输通信系统。下面分别加以说明。

#### 1. 数字频带传输通信系统

数字通信的基本特征是,它的消息或信号具有“离散”或“数字”的特性,从而使数字通信具有许多特殊的问题。例如前边提到的第二种变换,在模拟通信中强调变换的线性特性,即强调已调参量与代表消息的数字信号之间的比例特性,而在数字通信中,则强调已调参量与代表消息的数字信号之间的一一对应关系。

另外,数字通信中还存在以下突出问题:第一,数字信号传输时,信道噪声或干扰所造成的差错,原则上是可以控制的。这是通过所谓的差错控制编码来实现的。于是,就需要在发送端增加一个编码器,而在接收端相应需要一个解码器。第二,当需要实现保密通信时,可对数字基带信号进行“扰乱”(加密),此时在收端就必须进行解密。第三,由于数字通信传输是一个接一个按一定节拍传送的数字信号,因而接收端必须有一个与发端相同的节拍,否则,就会因收发步调不一致而造成混乱。另外,为了表述消息内容,基带信号都是按消息特征进行编组的,于是,在收发之间一组的编码的规律也必须一致,否则接收时消息的真正内容将无法恢复。在数字通信中,称节拍一致为“位同步”或“码元同步”,而称编组一致为“群同步”或“帧同步”,故数字通信中还必须有“同步”这个重要问题。

综上所述,点对点的数字通信系统模型一般可用图 1-6 所示。图中,同步环节没有示意出,这是因为它的位置往往不是固定的,在此我们主要强调信号流程所经过的部分。

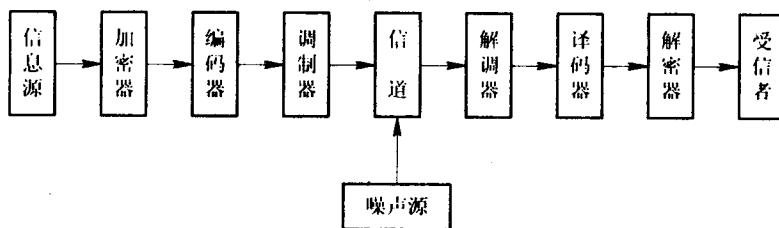


图 1-6 数字频带传输通信系统模型

需要说明的是，图中调制器/解调器、加密器/解密器、编码器/译码器等环节，在具体通信系统中是否全部采用，这要取决于具体设计条件和要求。但在一个系统中，如果发端有调制/加密/编码，则收端必须有解调/解密/译码。通常把有调制器/解调器的数字通信系统称为数字频带传输通信系统。

### 2. 数字基带传输通信系统

与频带传输系统相对应，我们把没有调制器/解调器的数字通信系统称为数字基带传输通信系统，如图 1-7 所示。

图中基带信号形成器可能包括编码器、加密器以及波形变换等，接收滤波器亦可能包括译码器、解密器等。这些具体内容，将在第 4 章详细讨论。

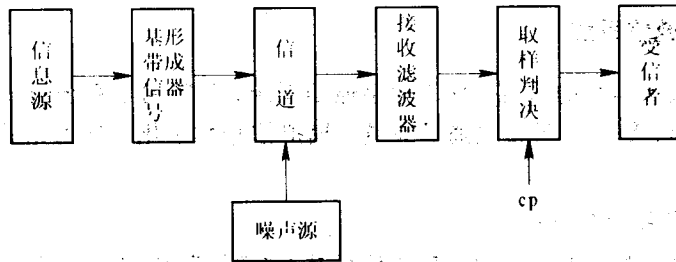


图 1-7 数字基带传输通信系统模型

### 3. 模拟信号数字化传输通信系统

上面论述的数字通信系统中，信源输出的信号均为数字基带信号，实际上，在日常生活中大部分信号（如语音信号）为连续变化的模拟信号。那么要实现模拟信号在数字系统中的传输，则必须在发端将模拟信号数字化，即 A/D 转换；在接收端需进行相反的转换，即 D/A 转换。实现模拟信号数字化传输的系统如图 1-8 所示。

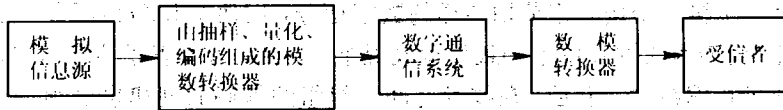


图 1-8 模拟信号数字化传输通信系统模型

#### 1.2.3 数字通信的主要优缺点

前面我们介绍了几种具体的数字通信系统的组成，下面我们讨论一下数字通信的优缺点。值得指出的是，数字通信的优、缺点都是相对于模拟通信而言的。

##### 1. 数字通信的主要优点

(1) 抗干扰、抗噪声性能好。因为在数字通信系统中，传输的信号是数字信号。以二进制为例，信号的取值只有两个，这样发端传输的和接收端需要接收和判决的电平也只有两个值，若“1”码时取值为 A，“0”码时取值为 0，传输过程中由于信道噪声的影响，必然会使波形失真。在接收端恢复信号时，首先对其进行抽样判决，才能确定是“1”码还是“0”码，并再生“1”、“0”码的波形。因此只要不影响判决的正确性，即使波形有失真也不会影响再



生后的信号波形。而在模拟通信中,如果模拟信号叠加上噪声后,即使噪声很小,也很难消除它。

数字通信抗噪声性能好,还表现在微波中继(接力)通信时,它可以消除噪声积累。这是因为数字信号在每次再生后,只要不发生错码,它仍然像信源中发出的信号一样,没有噪声叠加在上面。因此中继站再多,数字通信仍具有良好的通信质量,而模拟通信中继时,只能增加信号能量(对信号放大),而不能消除噪声。

(2) 差错可控。数字信号在传输过程中出现的错误(差错),可通过纠错编码技术来控制。

(3) 易加密。数字信号与模拟信号相比,它容易加密和解密。因此,数字通信保密性好。

(4) 易于与现代技术相结合。由于计算机技术,数字存贮技术、数字交换技术以及数字处理技术等现代技术飞速发展,许多设备、终端接口均是数字信号,因此极易与数字通信系统相连接。正因为如此,数字通信才得以高速发展。

## 2. 数字通信的缺点

数字通信相对于模拟通信来说,主要有以下两个缺点:

(1) 频带利用率不高。数字通信中,数字信号占用的频带宽,以电话为例,一路数字电话一般要占据约 20~60 kHz 的带宽,而一路模拟电话仅占用约 4 kHz 带宽。如果系统传输带宽一定的话,模拟电话的频带利用率要高出数字电话的 5~15 倍。

(2) 需要严格的同步系统。数字通信中,要准确地恢复信号,必须要求收端和发端保持严格同步。因此,数字通信系统及设备一般都比较复杂,体积较大。

## 3. 克服数字通信不足的办法

由于数字信号占用的频带宽,而使数字通信的频带利用率低。系统的频带利用率,可用系统允许最大传输带宽(信道的带宽)与每路信号的有效带宽之比来表征,即

$$n = \frac{B_w}{B_i} \quad (1-2)$$

式中,  $B_w$  为系统允许最大频带宽度;  $B_i$  为每路信号的频带宽度;  $n$  为系统在其带宽内最多能容纳(传输)的话路数。  $n$  值大,说明系统利用率高。

虽然数字信号占用的频带宽,而使  $n$  值小,但它可通过增大系统带宽  $B_w$  来补偿。我们知道,在微波通信中,频带资源较富裕,故通过提高频率,可加大系统频宽。这样即使  $B_i$  再大,也不会降低  $n$  值。

数字通信因要求有严格的同步系统,故设备复杂、体积较大。随着数字集成技术的发展,各种中、大规模集成器件的体积不断减小,加上数字压缩技术的不断完善,数字通信设备的体积将会越来越小。随着科学技术的不断发展,数字通信的两个缺点也越来越显得不重要了。实践表明,数字通信是现代通信的发展方向。

# 1.3 通信技术发展概况

本节首先简单回顾一下通信发展史,使读者了解通信发展的脉络,随后介绍通信技术的现状及未来发展趋势。