

面向 **21** 世纪

高等学校信息工程专业系列教材

数字通信原理与技术

(第二版)

Principles and Techniques of Digital Communication

王兴亮 主编



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专业系列教材

数字通信原理与技术

Principles and Techniques of Digital Communication

(第二版)

王兴亮 主编

王兴亮 达新宇

编著

林家薇 王 瑜 刘振霞

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是在 2000 年出版的《数字通信原理与技术》教材的基础上重新修订编写而成的。

修订后的内容共分为 12 章,包括绪论、信道与噪声、模拟信号的调制与解调、模拟信号的数字传输、信道复用与数字复接、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、数字信号的最佳接收、同步系统、差错控制编码、伪随机序列及编码、通信网络及通信系统。

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,对系统基本性能的物理意义解释明确;注重通信新技术在实际通信系统中的应用;注意知识的归纳、总结,并附有适量的思考与练习题。

本书语言简练、通俗易懂,叙述深入浅出,层次分明,适用面宽,可作为高等院校通信工程、计算机通信、信息技术和其他相近专业本科生(含大专生)教材,也可供相关的科技人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字通信原理与技术=Principles and Techniques of Digital Communication/王兴亮主编. —2 版.

—西安:西安电子科技大学出版社,2003.10.

(面向 21 世纪高等学校信息工程类专业系列教材)

ISBN 7-5606-0834-5

I. 数… II. 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(2003)第 038523 号

责任编辑 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)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 西安文化彩印厂

版 次 2000 年 6 月第 1 版 2003 年 10 月第 2 版 2004 年 8 月第 8 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 24.875

字 数 590 千字

印 数 44 001~50 000 册

定 价 25.00 元

ISBN 7-5606-0834-5/TN·0142(课)

XDUP 1105022-8

*** 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。

第一版前言

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 ΔM 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 HDB₃ 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；注重知识的归纳、总结并给出适量的课后练习；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

第二版前言

本教材自2000年6月首次出版后,先后进行多次重印,两年多时间,本书的印数已接近3万册。根据通信技术的最新发展和教学改革实践的要求,作者在广泛征求各有关院校专家、广大任课教师及学生意见的基础上,根据高等院校电子信息类规划教材的具体要求,对原教材进行了系统的修订。

本次修订的宗旨是追寻技术的新颖性、知识的系统性,同时兼顾教材的完整性、实用性和可读性。修订后,本书仍然以数字通信技术为主线,介绍数字通信系统的基本原理、基本性能和基本分析方法,保持了基本理论的相对稳定性,增补了部分较为系统的通信理论和方法。书中增补的模拟信号调制与解调技术是作为参考内容而编入的,对于没有学过模拟通信的学生来讲,也可以将此部分作为必修内容。

修订后全书共分为三大部分,共12章。第一部分包括第1、2、3章,是全书的基础部分,第1、2章主要讲述了通信系统的基本概念、基本模型、基本性能指标(有效性和可靠性),以及信道与噪声的基本理论;第3章模拟信号的调制与解调是参考内容,也是数字通信的基础。第二部分从第4章到第11章,主要讲述数字通信的基本原理、基本技术和基本性能,第4章介绍了PCM和 ΔM 原理及应用;第5章介绍了FDM、TDM及OFDM技术,同时介绍了数字复接原理与技术;第6章介绍了基带传输信号的基本码形,重点是差分码、HDB₃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等概念;第7章介绍了二进制和多进制ASK、FSK及PSK(DPSK)等调制解调技术,并对各种调制技术的性能进行了分析和比较;第8章介绍了最佳接收准则、确知信号的最佳接收及性能、随机信号的最佳接收、最佳接收机的匹配滤波器形式及数字基带系统的最佳化;第9章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、群同步及网同步技术的实现方法和性能指标;第10章介绍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11章介绍了 m 序列的产生、性质及应用情况。第三部分就是第12章,介绍了现代通信网的基本概况、基本理论和相关技术,并介绍了VSAT卫星通信网及数字移动通信系统,主要目的是使读者能够建立起一个通信网络和通信系统的概念,为以后的学习和工作奠定良好基础。

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;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;注重知识的归纳与总结,每章前有引子,章后有小结,各章均有思考与练习题;语言简练、通俗易懂、深入浅出,适应对象广泛。为了配合教学,我们还编写了相应的同步练习指导书,已由哈尔滨工程大学和西北工业大学出版社联合出版,同时还研制了一套供学生在局域网和因特网上练习的“通信原理网络虚拟实验”,已在空军工程大学使用。

本书由王兴亮教授主编，并编写了第3、5、7、9章及第11章部分内容，同时对全书的其他各章进行统一修订；达新宇编写了第1、2章及第12章部分内容；林家薇编写了4、6、8章；王瑜编写了第10章及第11章部分内容；刘振霞编写了第12章部分内容；王轶编写了第8章部分内容。

编者在这里再次对本书提出宝贵意见和建议的专家、教授及同行们表示最诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中还会存在疏漏和错误，希望读者一如既往，不断关怀和鼓励，提出中肯的批评和建议。

E-mail: 8185WXL@21cn.com

编 者

2003年4月于西安

目 录

第 1 章 绪 论	
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	9
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	12
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	18
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	19
思考与练习	20
第 2 章 信道与噪声	
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(群迟延畸变)	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	38
2.6 信道容量的概念	38
本章小结	40
思考与练习	41
第 3 章 模拟信号的调制与解调	
3.1 模拟信号的线性调制	43
3.1.1 常规双边带调制(AM)	43
3.1.2 抑制载波双边带调幅(DSB-SC)	46
3.1.3 单边带调幅(SSB)	47
3.1.4 残留边带调幅(VSB)	49
3.1.5 模拟线性调制的一般模型	51
3.1.6 线性调制系统的抗噪声性能	52
3.2 模拟信号的非线性调制	57
3.2.1 基本概念	57
3.2.2 窄带调频(NBFM)	58
3.2.3 宽带调频(WBFM)	59
3.2.4 调频信号的产生与解调	61
3.2.5 调频系统的抗噪声性能	63
3.3 模拟调制方式的性能比较	66

本章小结	68
思考与练习	68

第 4 章 模拟信号的数字传输

4.1 脉冲编码调制(PCM)	71
4.1.1 抽样定理和实际抽样	72
4.1.2 脉冲调制	77
4.1.3 量化	77
4.1.4 编码和译码	85
4.2 增量调制(ΔM)	95
4.2.1 简单增量调制	95
4.2.2 增量调制的过载特性与编码 的动态范围	99
4.2.3 增量调制的抗噪声性能	101
4.2.4 改进型增量调制	103
本章小结	112
思考与练习	112

第 5 章 信道复用与数字复接

5.1 频分多路复用(FDM)	115
5.1.1 直接法 FDM	115
5.1.2 复级法 FDM	117
5.2 正交频分复用(OFDM)	120
5.2.1 OFDM 的基本原理	121
5.2.2 基于 FFT 的 OFDM 系统组成	122
5.3 时分多路复用(TDM)	124
5.3.1 TDM 基本原理	125
5.3.2 TDM 信号的带宽及相关问题	126
5.3.3 TDM 与 FDM 的比较	127
5.3.4 时分复用的 PCM 系统	128
5.3.5 PCM 30/32 路典型终端 设备介绍	129
5.4 数字复接技术	132
5.4.1 数字复接设备方框图	132
5.4.2 复接等级和速率系列	133
5.4.3 正码速调整	133
5.4.4 光纤通信同步数字系列简介	135
本章小结	136
思考与练习	137

第 6 章 数字信号的基带传输

6.1 数字基带信号	139
6.1.1 数字基带信号的常用码型	139
6.1.2 数字基带信号功率谱	146
6.1.3 码型变换的基本方法	147
6.2 数字基带传输系统	150
6.2.1 数字基带传输系统的基本组成	150
6.2.2 基带传输系统的数学分析	151
6.2.3 码间串扰的消除	152
6.3 无码间串扰的基带传输系统	153
6.3.1 理想基带传输系统	153
6.3.2 无码间串扰的等效特性	154
6.3.3 升余弦滚降传输特性	155
6.3.4 无码间串扰时噪声对传输 性能的影响	158
6.4 眼图	159
6.5 时域均衡原理	161
6.6 部分响应技术	163
本章小结	167
思考与练习	167

第 7 章 数字信号的频带传输

7.1 引言	170
7.2 数字振幅调制	171
7.2.1 二进制数字振幅键控(2ASK)	171
7.2.2 多进制数字振幅键控(MASK)	177
7.3 数字频率调制	181
7.3.1 二进制数字频移键控(2FSK)	182
7.3.2 多进制数字频移键控(MFSK)	189
7.4 数字相位调制	191
7.4.1 二进制数字相移键控(2PSK)	192
7.4.2 多进制数字相移键控(MPSK)	200
7.5 数字调制系统性能比较	208
7.5.1 二进制数字调制系统的 性能比较	208
7.5.2 多进制数字调制系统的 性能比较	210
* 7.6 现代数字调制技术	211
7.6.1 正交振幅调制(QAM)	212

7.6.2 交错正交相移键控(OQPSK)	218	9.2 载波同步技术	254
7.6.3 最小频移键控(MSK)	221	9.2.1 非线性变换—滤波法	255
7.6.4 正弦频移键控(SFSK)	224	9.2.2 特殊锁相环法	257
7.6.5 平滑调频(TFM)	225	9.2.3 插入导频法(外同步法)	260
7.6.6 高斯滤波的最小频移键控 (GMSK)	225	9.2.4 载波同步系统的性能指标	263
7.6.7 无码间串扰和相位抖动的偏移 四相相移键控(IJF-OQPSK)	226	9.3 位同步技术	264
本章小结	228	9.3.1 插入导频法(外同步法)	264
思考与练习	229	9.3.2 自同步法	266
		9.3.3 位同步系统的性能指标	270
		9.4 群同步(帧同步)技术	271
		9.4.1 起止式同步法	272
		9.4.2 连贯式插入法	272
		9.4.3 间歇式插入法	274
		9.4.4 群同步的保护	274
		9.4.5 群同步系统的性能指标	276
		9.5 网同步技术	277
		9.5.1 全网同步系统	278
		9.5.2 准同步系统	279
		本章小结	280
		思考与练习	280

第 8 章 数字信号的最佳接收

8.1 最佳接收准则	233
8.1.1 统计判决模型	233
8.1.2 最佳判决准则	234
8.2 确知信号的最佳接收及性能	235
8.2.1 二进制确知信号最佳接收机结构	236
8.2.2 二进制确知信号最佳接收机性能	237
8.2.3 几种二进制确知信号的性能	239
8.2.4 实际接收机与最佳接收机比较	241
8.2.5 多进制确知信号最佳接收机结构 及性能	241
8.3 随相信号的最佳接收	242
8.3.1 二进制随相信号的最佳接收机	242
8.3.2 多进制随相信号的最佳接收机	243
8.4 最佳接收机的匹配滤波器形式	244
8.4.1 匹配滤波器	244
8.4.2 匹配滤波器组成的最佳接收机	246
8.5 数字基带系统的最佳化	247
8.5.1 理想信道下的最佳基带系统	248
8.5.2 非理想信道下的最佳基带系统	248
本章小结	249
思考与练习	251

第 9 章 同步系统

9.1 概述	253
9.1.1 不同功用的同步	253
9.1.2 不同传输方式的同步	254

第 10 章 差错控制编码

10.1 概述	283
10.1.1 信道编码	283
10.1.2 差错控制方式	283
10.1.3 纠错码的分类	284
10.1.4 纠错编码的基本原理	284
10.2 常用的几种简单分组码	285
10.2.1 奇偶监督码	285
10.2.2 行列监督码	286
10.2.3 恒比码	286
10.3 线性分组码	287
10.3.1 基本概念	287
10.3.2 监督矩阵 H 和生成矩阵 G	287
10.3.3 伴随式(校正子) S	289
10.4 循环码	290
10.4.1 生成多项式及生成矩阵	290
10.4.2 监督多项式及监督矩阵	291
10.4.3 编码方法和电路	292
10.4.4 译码方法和电路	293
10.5 卷积码	293

10.5.1	基本概念	293
10.5.2	卷积码的描述	294
10.5.3	卷积码的译码	295
*10.6	网格编码调制(TCM)	296
	本章小结	299
	思考与练习	299

第 11 章 伪随机序列及编码

11.1	伪随机序列的概念	303
11.2	正交码与伪随机码	303
11.3	伪随机序列的产生	304
11.4	m 序列	306
11.4.1	线性反馈移位寄存器的特征 多项式	306
11.4.2	m 序列产生器	307
11.4.3	m 序列的性质	308
11.5	M 序列	310
11.6	伪随机序列的应用	312
11.6.1	扩展频谱通信	312
11.6.2	码分多址(CDMA)通信	314
11.6.3	通信加密	315
11.6.4	误码率的测量	316
11.6.5	数字信息序列的扰码与解码	316
11.6.6	噪声产生器	317
11.6.7	时延测量	317
	本章小结	318
	思考与练习	318

第 12 章 通信网络及通信系统

12.1	概述	320
------	----	-----

12.1.1	通信网的组成	320
12.1.2	通信网的分类	321
12.1.3	现代通信网的构成和功能	324
12.1.4	通信网的发展方向	325
12.2	通信网基础	326
12.2.1	通信网拓扑和结构	326
12.2.2	网络体系分层结构及通信网 协议	335
12.2.3	通信网路由选择及流量控制	342
12.3	通信网相关技术	346
12.3.1	交换技术	346
12.3.2	信令与接口技术	356
12.3.3	多址通信技术	366
12.4	VSAT 卫星通信网	370
12.4.1	VSAT 卫星通信网的组成	371
12.4.2	VSAT 系统的工作原理	372
12.4.3	VSAT 网的主要技术指标	373
12.5	数字移动通信系统	374
12.5.1	移动通信的概念	374
12.5.2	GSM 数字蜂窝通信系统的 网络结构	375
12.5.3	GSM 蜂窝系统的传输方式	378
12.5.4	GSM 蜂窝系统的主要技术 指标	381
12.5.5	CDMA 移动通信系统的 工作原理	382
12.5.6	CDMA 系统的传输方式	383
12.5.7	CDMA 系统的性能	384
	本章小结	385
	思考与练习	385
	参考文献	388

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。本教材中所说的通信，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4章介绍的各种脉冲调制,经过调制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7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。

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, 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

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,接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6章和第7章中论述。

表 1-1 通信使用的频段及主要用途

频率范围(f)	波长(λ)	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
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

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. 按收信者是否运动分

通信还可按收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，因而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。

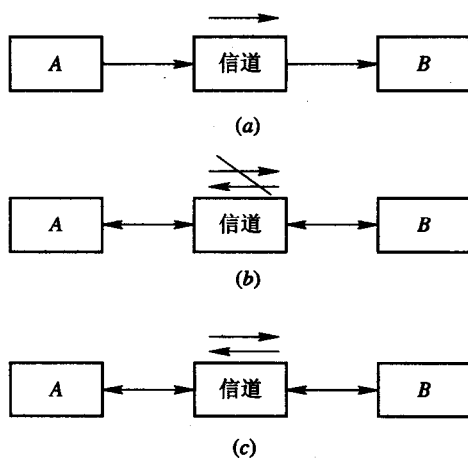


图 1-1 按消息传送的方向和时间划分的通信方式

(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。

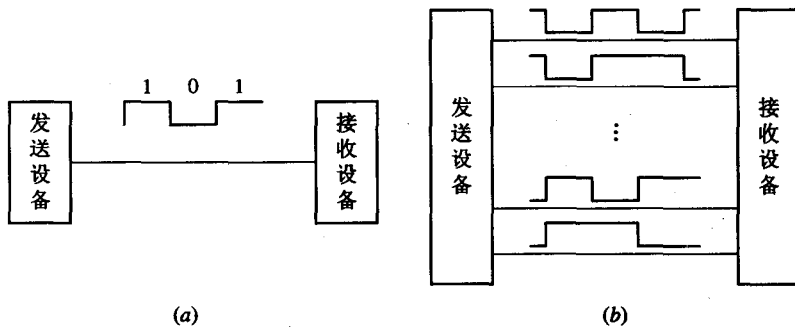


图 1-2 按数字信号排序划分的通信方式
(a) 串序传输方式；(b) 并序传输方式

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，也可以是延时的。

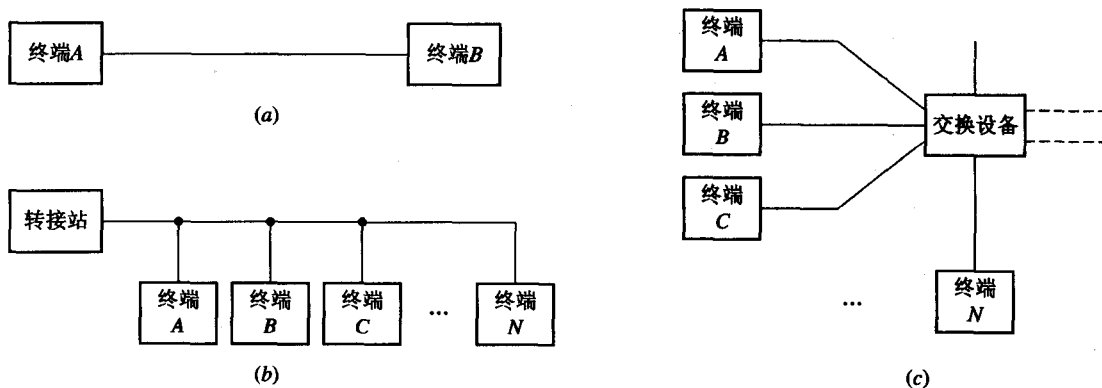


图 1-3 按网络形式划分的通信方式
(a) 两点间直通方式；(b) 分支方式；(c) 交换方式

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他问题。

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。

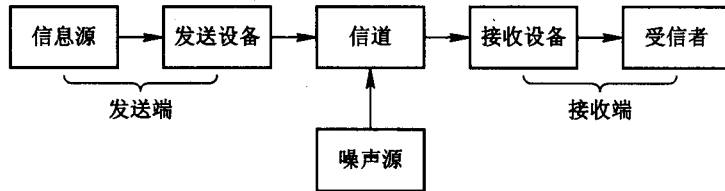


图 1-4 通信系统的模型

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。发送设备是一个总体概念，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 1-4 中，噪声源是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。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。

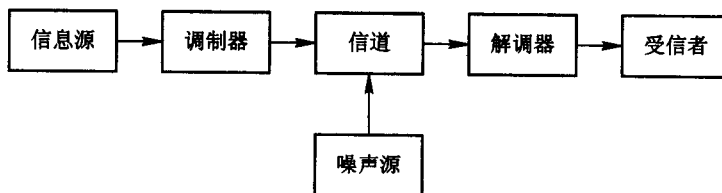


图 1-5 模拟通信系统模型