

应用型本科电子信息类规划教材

蒋青 吕翊 编著

通信原理与技术

T O N G X I N Y U N L I Y U E J I E



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

应用型本科电子信息类规划教材

通信原理与技术

蒋 青 吕 翊 编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书对现代通信系统所涉及的有关原理与技术进行了系统的分析和讨论,尽量避免烦琐的数学推导,偏重于物理概念的理解及通信技术的具体应用,可满足不同专业、不同层次学习对象的需要。本书叙述上力求概念清楚,重点突出,深入浅出,通俗易懂。

本书共 10 章,内容包括:绪论、信源和信道、信号与噪声分析、模拟调制系统、数字基带传输系统、数字频带传输系统、模拟信号的数字化、复用和同步技术、信源编码和信道编码、通信网基础等。

本书可作为普通高等学校通信工程、信息工程、电子工程及其相近专业以应用型为培养目标的本科层次学生的教材,适当删节也可用于相关专业的专科学学生教材,还可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与技术/蒋青,吕翊编著. —北京:北京邮电大学出版社,2007
ISBN 978-7-5635-1403-8

I. 通… II. ①蒋…②吕… III. ①通信理论②通信技术 IV. TN91
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 037912 号

书 名: 通信原理与技术

作 者: 蒋 青 吕 翊

责任编辑: 李欣一

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

北方营销中心: 电话:010-62282185 传真:010-62283578

南方营销中心: 电话:010-62282902 传真:010-62282735

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市梦宇印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 19.75

字 数: 477 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-1403-8/TN·493

定价:29.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系 ·

应用型本科电子信息类规划教材编委会

主 任：乐光新

副主任：(按姓氏笔画排列)

冯 林 吕 翊 胡建萍 唐志宏 曹雪虹 雷章富

成 员：(按姓氏笔画排列)

马云辉 刘大健 孙锦涛 张春先 李冠群

罗仁哲 郭世满 顾宝良 莫德举 雷 霖

前 言

通信技术和通信产业是 20 世纪 80 年代以来世界上发展最快的领域之一,通信技术的快速发展和应用促进了人们学习相关知识的需求。《通信原理与技术》是通信领域中最重要专业基础课之一,学好该课程对进一步学习通信领域的各种专业知识具有非常关键的作用。该课程目前几乎已成为所有通信、电子信息类和计算机等专业的必修课程。本书既着眼于通信的基本概念、基本理论和基础知识的分析,同时又兼顾介绍现代通信新技术。编者根据多年的教学经验,编著《通信原理与技术》一书,目的是向读者提供一本面向应用型本科通信、电子信息类专业的教材和参考书。其主要特点如下。

(1) 体现应用型本科通信、电子信息类和电子工程类等专业的特色,以面向应用为目标,对现代通信系统的基本原理与技术、基本概念及性能分析等进行了较为系统的介绍。尽量避免高深的理论和烦琐的公式推导,偏重于物理概念的描述,深入浅出,使读者能很快掌握其要领。

(2) 教材体系上,强调知识结构的系统性和完整性,注意与先修课程的衔接,注重学生知识运用能力的培养。

(3) 内容编排上由浅入深,概念清楚,重点突出,循序渐进,使读者带着问题学,具有启发性,以最易接受的方式介绍了通信原理与技术的基本内容及其应用。为了帮助学生(读者)提高分析问题和解决问题的能力,书中列举了许多例题,并附有大量习题及部分习题答案。

全书共 10 章。第 1 章绪论。简要介绍通信的概念、分类及特点,通信系统的组成及主要性能指标。第 2 章信源和信道。首先阐述信息的概念,在此基础上,讨论离散信源和连续信源的信息测度以及离散信道和连续信道的信息传输率和信道容量。第 3 章信号与噪声分析。它是分析通信系统的数学工具。如果读者已有先修基础,本章 3.1~3.3 节可作为复习内容或跳过。第 4 章模拟调制系统。介绍目前正在应用的各种模拟调制方式的基本原理和性能。第 5 章数字基带传输系统。首先介绍了数字基带信号的常用波形和传输码型以及频谱特性;然后围绕数字基带信号传输中的误码问题,讨论接收端如何有效地抑制噪声和消除码间干扰的理论与技术;同时简述均衡器和部分响应系统并介绍最佳基带传输系统的概念及基本分析方法。第 6 章数字频带传输系统。重点介绍二进制数字调制系统的原理及其抗噪声性能,并简要介绍多进制数字调制系统基本原理和几种现代数字调制技术。第 7 章模拟信号的数字化。重点讨论模拟信号数字化的两种方式,即 PCM 和 ΔM 的原理及性能。第

8章复用和同步技术。主要介绍多路复用以及同步技术的基本概念。第9章信源编码和信道编码。本章在第2章已建立信源统计特性以及信源熵的基础上,首先讨论对离散信源进行无失真信源编码的相关理论,然后讨论信道编码的基本方法。第10章通信网基础。简要介绍通信网的结构描述及性能要求、基本通信网以及现代通信网的支撑网。

本书可作为普通高等学校通信工程、信息工程、电子工程及其相近专业以应用型为培养目标的本科层次学生的教材,适当删节也可用于相关专业的专科学生教材,还可供相关工程技术人员参考。

本书由蒋青担任主编,并编写第1、2、3、4、5、6、7、9章;吕翊编写第8、10章。全书由蒋青统编定稿。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,希望读者批评指正。

作者

2007年3月

目 录

第1章 绪 论

1.1 引言	1
1.2 通信的分类及通信方式	2
1.2.1 通信的分类	2
1.2.2 通信方式	3
1.3 通信系统的组成	5
1.3.1 通信系统的一般模型	5
1.3.2 模拟通信系统模型	6
1.3.3 数字通信系统模型	7
1.4 信息及其度量	9
1.5 通信系统的主要性能指标	11
1.5.1 模拟通信系统的主要性能指标	11
1.5.2 数字通信系统的主要性能指标	11
1.6 通信发展概况	13
1.6.1 通信理论的发展	13
1.6.2 通信技术的发展	13
思考题	14
习题	14

第2章 信源和信道

2.1 引言	16
2.2 信源与信息熵	16
2.2.1 信源的数学模型和分类	16
2.2.2 离散信源的信息度量	18
2.2.3 离散信源的熵	21
2.2.4 连续信源的差熵	25
2.3 信道与信道容量	27
2.3.1 信道的分类及描述	27

2.3.2	信道的数学模型	28
2.3.3	离散信道的信道容量	31
2.3.4	连续信道的信道容量	34
	思考题	35
	习题	35
第3章	信号与噪声分析	
3.1	信号与系统的时域分析	37
3.1.1	信号与系统的分类	37
3.1.2	冲激函数及冲激响应	39
3.1.3	卷积与相关函数	40
3.2	信号与系统的频域分析	41
3.2.1	周期信号的傅里叶级数	41
3.2.2	非周期信号的傅里叶变换	42
3.2.3	周期信号的傅里叶变换	42
3.2.4	信号的能量谱与功率谱	43
3.2.5	信号通过线性系统不失真的条件	44
3.2.6	系统的带宽	45
3.3	随机变量的统计特征	46
3.3.1	随机变量	46
3.3.2	概率分布函数和概率密度函数	46
3.3.3	通信系统中几种典型的随机变量	47
3.3.4	随机变量的数字特征	48
3.4	随机过程	50
3.4.1	随机过程的概念	50
3.4.2	随机过程的统计特征	51
3.4.3	平稳随机过程	53
3.5	高斯随机过程	55
3.5.1	高斯过程的定义	55
3.5.2	高斯过程的性质	56
3.5.3	一维高斯分布	56
3.5.4	高斯白噪声	57
3.5.5	窄带高斯噪声	59
3.5.6	正弦波加窄带高斯噪声	60
3.6	随机过程通过系统的分析	61
3.6.1	随机过程通过线性系统	61
3.6.2	随机过程通过乘法器	63
	思考题	64

习题	64
第 4 章 模拟调制系统	
4.1 引言	67
4.1.1 调制在通信系统中的作用	67
4.1.2 调制的分类	68
4.2 线性调制的原理	69
4.2.1 幅度调制	69
4.2.2 双边带调制	73
4.2.3 单边带调制	74
4.2.4 残留边带调制	78
4.3 线性调制系统的抗噪声性能分析	80
4.3.1 抗噪声性能的分析模型	80
4.3.2 相干解调的抗噪声性能	82
4.3.3 非相干解调的抗噪声性能	85
4.4 非线性调制的原理	88
4.4.1 非线性调制的基本概念	88
4.4.2 调频信号的频谱和带宽	90
4.4.3 调频信号的产生与解调	93
4.5 调频系统的抗噪声性能分析	95
4.5.1 解调器输入信噪比	95
4.5.2 解调器输出信噪比和信噪比增益	96
4.6 模拟调制系统的特点与应用	99
思考题	99
习题	99
第 5 章 数字基带传输系统	
5.1 引言	102
5.2 数字基带信号的常用波形和传输码型	102
5.2.1 几种基本基带信号波形	103
5.2.2 数字基带信号的传输码型	105
5.3 数字基带信号的频谱分析	108
5.3.1 数字基带信号的数学描述	108
5.3.2 数字基带信号的功率谱密度	109
5.4 数字基带信号的传输与码间串扰	112
5.4.1 数字基带传输系统的组成	112
5.4.2 数字基带传输系统的数学分析	113
5.5 无码间串扰的基带传输特性	115

5.5.1 无码间串扰的理想低通滤波器	117
5.5.2 无码间串扰的滚降系统	118
5.6 部分响应系统	121
5.6.1 部分响应系统的特性	121
5.6.2 部分响应系统的实现	123
5.7 无码间串扰基带传输系统的抗噪声性能分析	126
5.8 最佳基带传输系统	129
5.8.1 匹配滤波器	129
5.8.2 利用匹配滤波器的最佳基带传输系统	132
5.9 眼图与时域均衡	134
5.9.1 眼图	134
5.9.2 时域均衡	136
思考题	138
习题	138

第6章 数字频带传输系统

6.1 引言	141
6.2 二进制幅移键控	142
6.2.1 基本原理	142
6.2.2 功率谱密度及带宽	143
6.2.3 抗噪声性能	144
6.3 二进制频移键控	148
6.3.1 基本原理	148
6.3.2 功率谱密度及带宽	151
6.3.3 抗噪声性能	152
6.4 二进制相移键控	155
6.4.1 基本原理	155
6.4.2 功率谱密度及带宽	160
6.4.3 抗噪声性能	161
6.5 二进制数字调制系统的性能比较	163
6.6 多进制数字调制系统	164
6.6.1 多进制幅移键控	164
6.6.2 多进制频移键控	166
6.6.3 多进制相移键控	167
6.7 现代数字调制技术	172
6.7.1 正交幅度调制	172
6.7.2 偏移四相移相键控	175
6.7.3 $\pi/4$ 四相移相键控	176

6.7.4 最小移频键控	177
6.7.5 高斯最小移频键控	180
思考题	180
习题	181
第 7 章 模拟信号的数字化	
7.1 引言	183
7.2 采样定理	184
7.2.1 低通信号采样定理	184
7.2.2 带通信号采样定理	186
7.2.3 模拟脉冲调制	187
7.3 模拟信号的量化	188
7.3.1 均匀量化	190
7.3.2 非均匀量化	191
7.4 脉冲编码调制	195
7.4.1 自然二进制码和折叠二进制码	196
7.4.2 13 折线的码位安排	197
7.4.3 逐次比较型编解码原理	198
7.4.4 PCM 系统的抗噪声性能	203
7.5 差分脉冲编码调制	205
7.6 增量调制	207
7.6.1 增量调制的原理	207
7.6.2 增量调制的过载特性	209
7.6.3 增量调制的动态编码范围	210
7.6.4 增量调制系统的量化信噪比	211
思考题	211
习题	212
第 8 章 复用和同步技术	
8.1 引言	214
8.2 频分复用	214
8.2.1 FDM 基本原理	214
8.2.2 正交频分复用	215
8.3 时分复用	216
8.3.1 PCM 时分多路复用系统	217
8.3.2 PCM 基群帧结构	218
8.3.3 PCM 数字复接系列	221
8.4 数字复接技术	222

8.4.1 PDH 复接原理	222
8.4.2 SDH 复接原理	224
8.5 码分复用和空分复用	227
8.6 同步技术	227
8.6.1 同步的分类	227
8.6.2 载波同步	229
8.6.3 位同步	232
8.6.3 群同步	236
8.6.4 网同步	238
思考题	240
习题	240

第 9 章 信源编码和信道编码

9.1 引言	242
9.2 无失真信源编码	242
9.2.1 编码的基本概念	242
9.2.2 定长信源编码定理	245
9.2.3 变长信源编码定理	245
9.2.4 最佳编码法	246
9.3 信道编码与差错控制	250
9.3.1 概述	250
9.3.2 常用检错码	252
9.3.3 线性分组码	254
9.3.4 循环码	258
9.3.5 卷积码	260
思考题	265
习题	265

第 10 章 通信网基础

10.1 引言	267
10.2 通信网的结构描述及性能要求	267
10.2.1 通信网的结构描述	267
10.2.2 通信网的性能要求	268
10.3 基本通信网	269
10.3.1 电话网	269
10.3.2 智能网	272
10.3.3 数据通信网	273
10.3.4 数字数据网	275

10.3.5 综合业务数字网	276
10.4 现代通信网的支撑网	280
10.4.1 信令网	280
10.4.2 电信管理网	283
思考题	285
附录 A 常用数学公式	287
附录 B 傅里叶变换	288
附录 C 误差函数、互补误差函数表	290
附录 D 贝塞尔函数表 $J_n(x)$	291
附录 E 英文缩写词对照表	292
部分习题答案	295
参考文献	301



绪论

1.1 引言

在人类历史的长河中,为满足生产和生活的需要,人们在进行思想情感交流以及知识的获取等方面都离不开消息的传递。古代的烽火台、驿站,现代的书信、电报、电话、传真、电子信箱、可视图文等都是人们用来传递消息的方式。广义地说,通信就是从一个地方向另一个地方传递消息。

通信的目的是为了获取信息。信息是人类社会和自然界中需要传递、交换、存储和提取的抽象内容。如打一次电话,甲告诉乙所不知道的消息,就说甲发出了信息;而乙在电话中得知了原来不知道的消息,就说乙得到了信息。由于信息是抽象的内容,为了传送和交换信息,必须通过语言、文字、图像和数据等将它表示出来。即信息通过消息来表示。

可以将表示信息的语言、文字、图像和数据等称为消息。消息在许多情况下是不便于传送和交换的,如语言就不宜远距离直接传送,为此需要用光、声、电等物理量来运载消息。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,是利用声音来传递消息;古代的“消息树”、“烽火台”和现代仍然使用的“信号灯”等则是利用光的方式传递消息。随着社会的发展,消息的种类越来越多,人们对传递消息的要求和手段也越来越高。

通信中消息的传送是通过信号来进行的,如:电压、电流信号等。信号是消息的载荷者。在各种各样的通信方式中,利用“电信号”来承载消息的通信方法称之为电通信,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“电通信”几乎是同义词。本书中所说的通信,均指电通信。

本章主要介绍通信的基本概念、通信的分类及通信方式、通信系统的组成以及主要性能指标等。

1.2 通信的分类及通信方式

1.2.1 通信的分类

通信按照不同的分法,可分成许多类别,下面介绍几种较常用的分类方法。

1. 按传输媒质分类

按传输媒质的不同,通信可分为有线通信和无线通信两大类。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。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。

2. 按信号的特征分类

按照携带信息的信号是模拟信号还是数字信号,可以相应地把通信分为模拟通信和数字通信。数字通信是指信道中传输的信号属于数字信号的通信。如果信道中传输的信号是模拟信号则称为模拟通信。

3. 按工作频段分类

按通信设备的工作频段不同,通信可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。表 1.1 列出了通信中使用的频段、常用传输媒质及主要用途。

表 1.1 通信频段、常用传输媒质及主要用途

频率范围	波 长	符 号	传 输 媒 质	用 途
3 Hz~30 kHz	$10^4 \sim 10^8$ 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	$10^3 \sim 10^4$ 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	$10^2 \sim 10^3$ m	中频 MF	同轴电缆短波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3~300 MHz	$10 \sim 10^2$ 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	1~10 m	甚高频 VF	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
300 MHz~3 GHz	10~100 cm	特高频 UHF	波导分米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
3~30 GHz	1~10 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	1~10 mm	极高频 EHF	波导毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
$10^7 \sim 10^8$ GHz	$3 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-4}$ cm	紫外、可见光、红外	光纤激光空间传播	光通信

通信中,工作波长和频率的换算公式为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f} \quad (1.2.1)$$

式中, λ 为工作波长(m), f 为最高工作频率(Hz), c 为光速(m/s)。

4. 按调制方式分类

根据信道中传输的信号是否经过调制,可将通信分为基带传输和频带(调制)传输。基带传输是将没有经过调制的信号直接传送,如音频市内电话;频带传输是对基带信号调制后再送到信道中传输。基带传输和频带传输的详细内容将分别在本书第5章、第6章中介绍。

5. 按通信业务类型分类

根据通信业务类型的不同,通信可分为电报通信、电话通信、数据通信及图像通信等。

6. 按终端用户移动性分类

通信还可以按终端用户是否移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。固定通信中,各终端的地理位置都是固定不变的。

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。

1.2.2 通信方式

通信的工作方式通常有以下几种。

1. 按信息传输的方向与时间关系划分

对于点对点之间的通信,按信息传送的方向与时间关系,通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信3种。

单工通信是指信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BP机上。

半双工通信方式是指通信双方都能收发信息,但不能同时进行收和发的工作方式,如图1.1(b)所示。例如无线对讲机、收发报机等都是这种通信方式。

全双工通信是指通信双方可同时进行双向传输信息的工作方式,如图1.1(c)所示。例如普通电话、计算机通信网络等采用的就是全双工通信方式。

2. 按数字信号码元排列方式划分

在数字通信中按照数字码元排列顺序的方式不同,可将通信方式分为串行传输和并行

传输。

并行传输是将代表信息的数字信号码元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,如图 1.2(a)所示。并行传输的优点是速度快,节省传输时间,但占用频带宽,设备复杂,成本高,故较少采用,一般适用于计算机和其他高速数字系统,特别适用于设备之间的近距离通信。

串行传输是将代表信息的数字信号码元序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输,如图 1.2(b)所示。通常,一般的远距离数字通信都采用这种传输方式。

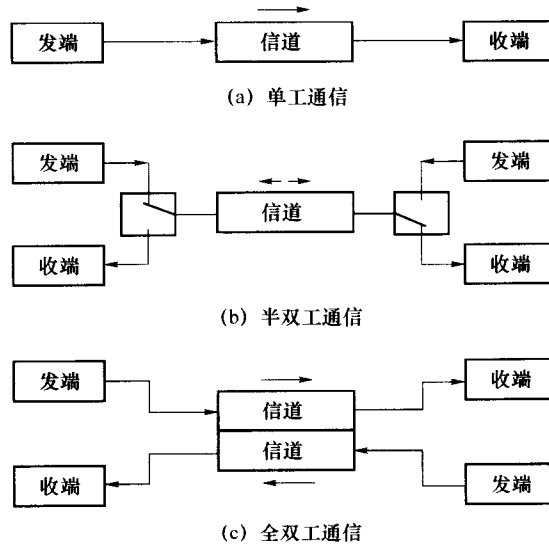


图 1.1 通信方式示意图

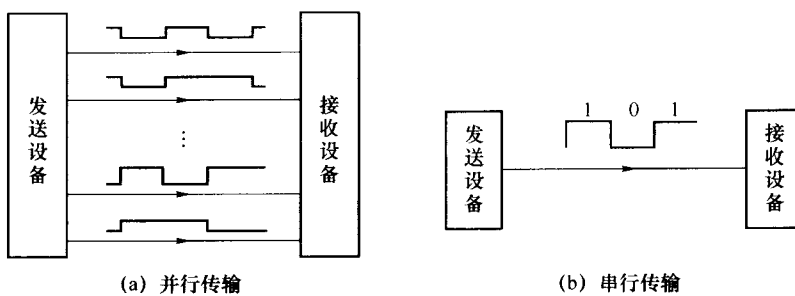


图 1.2 并行和串行通信方式

3. 按照网络结构划分

通信系统按照网络结构可分为线形、星形、树形、环形等类型。专门为两点之间设立传输线的通信称之为点对点通信。多点间的通信属于网通信。网通信的基础仍是点对点通信。因此,本书重点讨论点对点通信的原理。