

应用型本科电子信息类规划教材

蒋青 吕翊 周非 李文娟 编著

通信原理与技术

(第2版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书对现代通信系统所涉及的有关原理及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、信道编码、同步系统、扩频通信。内容涵盖国内通信原理教学的全部基本内容,每章配有例题和习题,且书末附有习题参考答案。

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。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与技术/蒋青等编著.--2 版.--北京:北京邮电大学出版社,2012.7

ISBN 978-7-5635-3121-9

I. ①通… II. ①蒋… III. ①通信原理—高等学校—教材②通信技术—高等学校—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 141223 号

书 名: 通信原理与技术(第 2 版)

著作责任者: 蒋青 吕翊 周非 李文娟 编著

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)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京联兴华印刷厂

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 21.75

字 数: 540 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2007 年 5 月第 1 版 2012 年 7 月第 2 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-3121-9

定 价: 42.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

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。

本书是作者在2007年出版的《通信原理与技术》基础上,根据使用院校老师的参考意见及多年的教学实践,加以修订和完善的。根据近年来电子信息技术的新技术以及注重学生能力培养,加强基础和拓宽专业的新要求,增加了扩频通信的内容,同时对部分章节做一些适当的调整和修改,不但做到经典内容与新增内容的有机结合,而且力求内容和框架结构更加合理完善。

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,同时兼顾介绍现代通信新技术。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。其主要特点为:

1. 体现应用型本科通信、电子信息类和电子工程大类等专业的特色,以面向应用为目标,对现代通信系统的基本原理与技术、基本概念和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。重点介绍基于PCM的模拟信号数字化技术以及时分复用的相关概念。第8章:信道编码。主要介绍常见的信道编码和译码的方法。第9章:同步系统。主要介绍载波同步、位同步、群同步和网同步的基本原理和性能。第10章:扩频通信。主要介绍扩频通信的基本原理、PN序列、直接序列扩频系统、跳频系统以及码分复用的基本概念。

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。

本书由蒋青编写第1、3、4、5、6章,吕翊编写第2、7章,周非编写第8、10两章,李文娟编写第9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。

编者
2012年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
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 通信的方式	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 通信系统中的噪声	13
1.7 通信发展概况	14
1.7.1 通信理论的发展	14
1.7.2 通信技术的发展	14
小结	15
思考题	16
习题	16
第 2 章 信源和信道	18
2.1 引言	18
2.2 信源与信息熵	18
2.2.1 信源的数学模型和分类	18
2.2.2 离散信源的信息度量	20
2.2.3 离散信源的熵	23

2.2.4 连续信源的差熵	27
2.3 信道	29
2.3.1 信道的分类及描述	29
2.3.2 信道的数学模型	30
2.3.3 恒参信道特性及其对信号传输的影响	33
2.3.4 随参信道特性及其对信号传输的影响	35
2.4 信道容量	38
2.4.1 离散信道的信道容量	38
2.4.2 连续信道的信道容量	41
小结	43
思考题	43
习题	44
第3章 信号与噪声分析	46
3.1 信号的分类	46
3.2 确定信号的分析	47
3.2.1 周期信号的傅里叶级数	47
3.2.2 非周期信号的傅里叶变换	48
3.2.3 周期信号的傅里叶变换	49
3.2.4 能量谱密度与功率谱密度	50
3.2.5 卷积	51
3.2.6 相关函数	52
3.3 随机变量的统计特征	55
3.3.1 随机变量	55
3.3.2 概率分布函数和概率密度函数	55
3.3.3 通信系统中几种典型的随机变量	56
3.3.4 随机变量的数字特征	57
3.4 随机过程	59
3.4.1 随机过程的概念	59
3.4.2 随机过程的统计特征	60
3.4.3 平稳随机过程	62
3.5 高斯随机过程	65
3.5.1 高斯过程的定义	66
3.5.2 高斯过程的性质	66
3.5.3 一维高斯分布	66
3.5.4 高斯白噪声	67
3.5.5 窄带高斯噪声	69

3.5.6 正弦波加窄带高斯噪声	70
3.6 随机过程通过系统的分析	71
3.6.1 随机过程通过线性系统	71
3.6.2 随机过程通过乘法器	74
小结	74
思考题	75
习题	76
第4章 模拟调制系统	80
4.1 引言	80
4.1.1 调制在通信系统中的作用	80
4.1.2 调制的分类	81
4.2 线性调制的原理	82
4.2.1 幅度调制	82
4.2.2 双边带调制	86
4.2.3 单边带调制	87
4.2.4 残留边带调制	91
4.3 线性调制系统的抗噪声性能分析	93
4.3.1 抗噪声性能的分析模型	93
4.3.2 相干解调的抗噪声性能	95
4.3.3 非相干解调的抗噪声性能	98
4.4 非线性调制的原理	101
4.4.1 非线性调制的基本概念	101
4.4.2 调频信号的频谱和带宽	103
4.4.3 调频信号的产生与解调	106
4.5 调频系统的抗噪声性能分析	108
4.5.1 解调器输入信噪比	108
4.5.2 解调器输出信噪比和信噪比增益	109
4.6 调频系统的加重技术	112
4.7 模拟调制系统的特点与应用	113
4.8 频分复用	114
小结	116
思考题	117
习题	117
第5章 数字基带传输系统	121
5.1 引言	121

5.2 数字基带信号的常用波形和传输码型	121
5.2.1 几种基本基带信号波形	122
5.2.2 数字基带信号的传输码型	124
5.3 数字基带信号的频谱分析	126
5.3.1 数字基带信号的数学描述	126
5.3.2 数字基带信号的功率谱密度	127
5.4 数字基带信号的传输与码间串扰	130
5.4.1 数字基带传输系统的组成	130
5.4.2 数字基带传输系统的数学分析	131
5.5 无码间串扰的基带传输特性	133
5.5.1 无码间串扰的理想低通滤波器	135
5.5.2 无码间串扰的滚降系统	136
5.6 部分响应系统	139
5.6.1 部分响应系统的特性	139
5.6.2 部分响应系统的实现	141
5.7 无码间串扰基带传输系统的抗噪声性能分析	144
5.8 眼图与时域均衡	147
5.8.1 眼图	147
5.8.2 时域均衡	149
5.9 最佳基带传输系统	151
5.9.1 匹配滤波器	151
5.9.2 利用匹配滤波器的最佳基带传输系统	154
5.9.3 二元系统基于匹配滤波的最佳接收性能	155
小结	157
思考题	158
习题	158
第6章 数字频带传输系统	162
6.1 引言	162
6.2 二进制幅移键控	163
6.2.1 基本原理	163
6.2.2 功率谱密度及带宽	164
6.2.3 抗噪声性能	166
6.3 二进制频移键控	169
6.3.1 基本原理	169
6.3.2 功率谱密度及带宽	172
6.3.3 抗噪声性能	174

6.4 二进制相移键控	176
6.4.1 基本原理	176
6.4.2 功率谱密度及带宽	182
6.4.3 抗噪声性能	182
6.5 二进制数字调制系统的性能比较	184
6.6 多进制数字调制系统	186
6.6.1 多进制幅移键控	186
6.6.2 多进制频移键控	188
6.6.3 多进制相移键控	189
6.7 现代数字调制技术	194
6.7.1 正交幅度调制	194
6.7.2 偏移四相移相键控	198
6.7.3 $\pi/4$ 四相移相键控	199
6.7.4 最小移频键控	200
6.7.5 高斯最小移频键控	203
6.8 正交频分复用	203
6.8.1 多载波调制技术	204
6.8.2 OFDM 原理	204
6.8.3 OFDM 技术特点及应用	207
小结	208
思考题	208
习题	209
第 7 章 模拟信号的数字化	212
7.1 引言	212
7.2 采样定理	213
7.2.1 低通信号采样定理	213
7.2.2 带通信号采样定理	215
7.2.3 模拟脉冲调制	216
7.3 模拟信号的量化	217
7.3.1 均匀量化	219
7.3.2 非均匀量化	220
7.4 脉冲编码调制	224
7.4.1 自然二进制码和折叠二进制码	225
7.4.2 13 折线的码位安排	226
7.4.3 逐次比较型编解码原理	227
7.4.4 PCM 系统的抗噪声性能	232

7.5 语音压缩编码	234
7.5.1 语音压缩编码技术的概念	234
7.5.2 差值脉冲编码调制	235
7.5.3 增量调制	236
7.6 图像压缩编码	241
7.6.1 图像的描述	241
7.6.2 模拟图像的数字化	242
7.6.3 图像压缩编码技术	242
7.7 时分复用	243
7.7.1 PCM 时分多路复用系统	243
7.7.2 PCM 基群帧结构	246
7.7.3 PCM 数字复接系列	248
小结	249
思考题	250
习题	250
第8章 信道编码	254
8.1 引言	254
8.2 信道编码的基本原理	255
8.2.1 信道编码的检错和纠错能力	255
8.2.2 信道编码的译码方法	256
8.3 线性分组码	257
8.3.1 线性分组码的编码	258
8.3.2 线性分组码的译码	259
8.3.3 汉明码	261
8.3.4 循环码	262
8.3.5 线性分组码的应用	264
8.4 卷积码	265
8.4.1 卷积码的解析表示	265
8.4.2 卷积码的图形描述	267
8.4.3 卷积码的维特比译码	269
8.4.4 卷积码的应用	272
8.5 交织编码	272
小结	273
思考题	274
习题	274

第 9 章 同步系统	276
9.1 引言	276
9.2 载波同步	277
9.2.1 直接法(自同步法)	277
9.2.2 插入导频法	280
9.2.3 载波同步系统的性能	281
9.3 位同步	282
9.3.1 插入导频法	283
9.3.2 自同步法	283
9.3.3 位同步系统的性能	286
9.4 群同步	288
9.4.1 起止式同步法	288
9.4.2 集中插入法	289
9.4.3 分散插入法	291
9.4.4 群同步系统的性能	292
9.5 网同步	293
小结	295
思考题	296
习题	296
第 10 章 扩频通信	298
10.1 引言	298
10.2 扩频通信的基本原理	298
10.2.1 扩频通信系统模型	299
10.2.2 扩展频谱的方法	299
10.2.3 扩频通信的主要特点	300
10.2.4 扩频通信的主要性能指标	300
10.3 PN 序列	301
10.3.1 m 序列	302
10.3.2 Gold 码	306
10.4 直接序列扩频系统	307
10.4.1 直扩系统的扩频与解扩	307
10.4.2 直扩信号接收机抗干扰性能	309
10.5 码分复用	310
10.5.1 正交码	310
10.5.2 码分复用	312

小结	314
思考题	314
习题	315
附录 A 常用数学公式	316
附录 B 傅里叶变换	317
附录 C 误差函数、互补误差函数表	319
附录 D 贝塞尔函数表 $J_n(x)$	320
附录 E 英文缩写词对照表	321
部分习题答案	324
参考文献	333



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
$10^3 \sim 10^4$ 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 通信的方式

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。

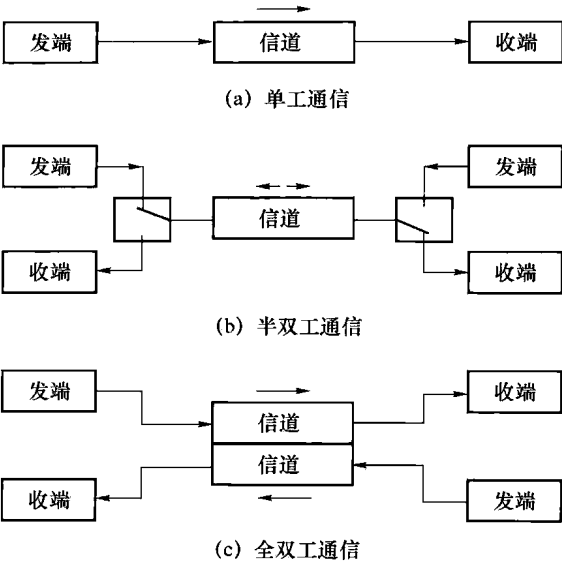


图 1.1 通信方式示意图

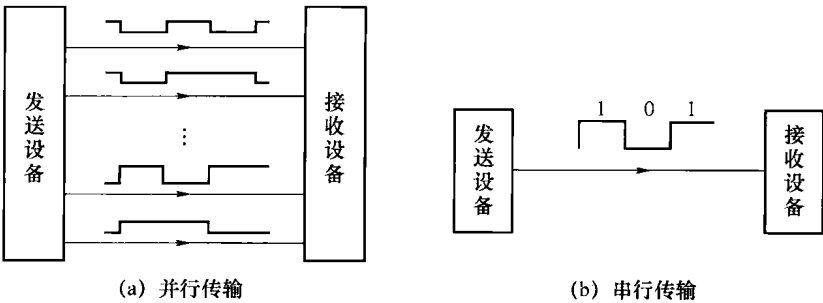


图 1.2 并行和串行通信方式

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。