



应用型本科规划教材

COMMUNICATION
PRINCIPLES

通信原理

◆ 主 编 鲍卫兵

副主编 顾涵铮 张水英

周云水 李晓梅



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大學出版社

应用型本科规划教材

通信原理

主 编 鲍卫兵

副主编 顾涵铮 张水英

周云水 李晓梅

浙江大学出版社

内 容 提 要

本书由几所高校中长期从事教学实践的教师联合编写,内容全面、难度适中、分析由浅入深,论理清晰,逻辑性强,举例说明,结合实际应用。

全书共八章,内容包括通信系统的基本概念、信道的基本特征、模拟调制系统、数字基带传输、数字频带传输、模拟信号的数字传输、同步原理和差错控制编码。每章均附有习题以及实践项目,有利于加强学生综合能力的锻炼,最后给出部分习题答案。

本书可作为高等院校通信、电子信息、自动化、计算机科学与技术以及相关专业的应用型本科生教材或研究生参考书,也可作为高职、高专的教材,还可供从事相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理 / 鲍卫兵主编. —杭州:浙江大学出版社,
2006.7

应用型本科规划教材

ISBN 7-308-04778-4

I. 通... II. 鲍... III. 通信理论—高等学校—教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 064692 号

通信原理

鲍卫兵 主编

丛书策划 樊晓燕

责任编辑 樊晓燕

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 杭州出版学校印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 16.75

字 数 408 千

版 印 次 2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

印 数 0001—3000

书 号 ISBN 7-308-04778-4/TN·082

定 价 27.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

应用型本科院校信电专业基础平台课规划教材系列

编 委 会

主 任 顾伟康

副主任 王 薇 沈继忠 梁 丰

委 员 (以姓氏笔画为序)

方志刚 古 辉 李 伟

何杞鑫 林雪明 张增年

唐向宏 夏哲雷 钱贤民

蔡伟健

总 序

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内发展了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的持续、健康发展具有重大的意义。

应用型本科院校以着重培养应用型人才为目标,目前,应用型本科院校开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,当前,对于应用型本科院校来说作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须淡化学术研究成分,在章节的编排上先易后难,既要低起点,又要有坡度、上水平,更要进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对信息与电子技术类专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。而这些专业的特点是课程内容较深、难点较多,学生不易掌握,同时,行业发展迅速,新的技术和应用层出不穷。针对这一情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校信息与电子技术类专业的教师共同开展了“应用型本科信电专业教材建设”项目的研究,共同研究目前教材的不适应之处,并探讨如何编写能真正做到“因材施教”、适合应用型本科层次

信电类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校信电专业基础平台课规划教材系列”。

本专业基础平台课规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想上,以“应用类本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以就业为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。突出实用性、基础性、先进性,强调基本知识,结合实际应用,理论与实践相结合。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理,压缩繁琐的理论推导。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。还注意掌握教材的体系和篇幅能符合各学院的计划要求。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富的教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到广大院校的认可,对于应用型本科院校信息与电子技术类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任

顾伟康

2006年7月

前 言

本书由几所高等学校中长期从事教学实践的一线教师联合编写。大家把各自的教学经验和体会融入到本教材中,并吸收了大量参考文献的精华,略去繁琐的公式推导、分析重在思路、讲清来龙去脉、文字语言通俗易懂。可以作为通信及信息类本科教材,也可作为专业人员的自学教材,特别适合应用型本科的学生。

本书的参考学时数为 64 学时(包括课内实验 8 学时,实际讲课一般为 56 学时)。教师可以根据需要适当增减学时数。本书共分八章,主要内容有:第 1 章绪论:介绍通信系统的模型、分类、通信方式、信息量和平均信息量、主要性能指标;第 2 章信道与噪声:介绍各种信道及其影响、噪声的分析、离散信道和连续信道的信道容量;第 3 章模拟调制系统:讲述 AM,DSB-SC,SSB,VSB,FM,PM 的原理、性能比较及应用实例;第 4 章数字信号的基带传输系统:介绍基带信号码波形及常用码型、功率谱密度、码间干扰、部分响应系统、眼图、均衡技术;第 5 章数字信号的频带传输系统:介绍 2ASK,2FSK,2PSK/2DPSK 调制原理、抗噪声性能及其比较、多进制及改进型数字调制;第 6 章模拟信号的数字传输:介绍抽样定理、PAM、模拟信号的量化、PCM、DPCM、 Δ M、时分复用和多路数字电话系统;第 7 章同步原理:介绍载波同步、位同步、群同步的方法、性能以及对解调性能的影响;第 8 章差错控制编码:介绍基本原理、常用的简单编码、线性分组码、循环码、卷积码、BCH 码等。

每章分为几个小节,每小节在基本原理叙述的基础上进一步举例说明,并结合实际应用。每章结束后给出本章小结,然后是习题,最后给出几个实践项目。习题部分加强对理论知识的巩固,实践项目部分主要通过利用 MATLAB 软件仿真、利用 FPGA 来完成硬件实现、软硬结合等有利于加强学生对学过知识的综合、总结和提炼的能力以及实际动手能力的培养。

本书由鲍卫兵担任主编,顾涵铮、张水英、周云水、李晓梅任副主编。第 1 章由鲍程红编写,第 2、3 章由张水英编写,第 4 章由刘小英编写,第 5 章由李晓梅编写,第 6 章由周云水编写,第 7 章由顾涵铮编写,第 8 章由鲍卫兵编写。鲍卫兵

对全书作了统稿和最终定稿。

浙江大学戴文琪教授审阅了全书。

本书在编写过程中得到浙江各高校和浙江大学出版社的支持,在此表示感谢,同时对本书所列的参考文献的作者表示感谢。

由于编者的水平有限,书中有不妥和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 4 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 引言	1
1.1.1 通信发展史简介	1
1.1.2 通信的发展现状和趋势	1
1.1.3 通信的基本概念	2
1.2 通信系统模型	3
1.2.1 通信系统的一般模型	3
1.2.2 模拟通信系统模型	4
1.2.3 数字通信系统模型	5
1.3 通信系统的分类及通信方式	5
1.3.1 通信系统的分类	5
1.3.2 通信系统的通信方式	8
1.4 信息及其度量	9
1.4.1 信息与信息量的概念	9
1.4.2 平均信息量的概念	10
1.4.3 举例	11
1.5 通信系统的主要性能指标	12
1.5.1 模拟通信系统的主要性能指标	12
1.5.2 数字通信系统的主要性能指标	12
1.5.3 有效性与可靠性的矛盾	13
本章小结	13
习 题	14
实践项目	14
第 2 章 信道与噪声	15
2.1 信道及其分类	15
2.1.1 为什么要研究信道	15
2.1.2 信道的定义	15

2.1.3 信道的分类	15
2.2 信道模型	16
2.2.1 调制信道模型	16
2.2.2 编码信道模型	17
2.3 几种典型的恒参信道	18
2.3.1 三种有线信道	18
2.3.2 光纤信道	19
2.3.3 无线视距中继	20
2.3.4 卫星中继信道	20
2.4 恒参信道特性及其对传输信号的影响	21
2.4.1 恒参信道的一般特性	21
2.4.2 理想恒参信道	21
2.4.3 实际恒参信道	22
2.4.4 其他影响因素	23
2.5 典型随参信道	24
2.5.1 短波电离层反射信道	24
2.5.2 对流层散射信道	25
2.6 随参信道特性及其对传输信号的影响	26
2.6.1 随参信道的特点	26
2.6.2 多径效应的瑞利衰落	26
2.6.3 多径效应的频率选择性衰落	27
2.7 分集接收	28
2.7.1 基本思想	28
2.7.2 分集方式	28
2.7.3 合并方式	29
2.8 信道的加性噪声	29
2.8.1 加性噪声的来源	29
2.8.2 噪声的种类	29
2.8.3 起伏噪声	30
2.9 信道容量的概念	31
2.9.1 定义	31
2.9.2 离散信道的信道容量	31
2.9.3 连续信道的信道容量	33
本章小结	35
习 题	36
实践项目	37
第3章 模拟调制系统	38
3.1 引言	38

3.1.1 模拟调制的概念	38
3.1.2 模拟调制的功能	38
3.1.3 模拟调制的分类	39
3.2 线性调制(幅度调制)原理	40
3.2.1 线性调制的一般原理	40
3.2.2 振幅调制	41
3.2.3 抑制载波双边带调制	44
3.2.4 单边带调制	45
3.2.5 残留边带调制	48
3.3 线性调制系统的抗噪声性能	50
3.3.1 抗噪声性能分析模型	50
3.3.2 相干解调输出端的信噪比	51
3.3.3 非相干解调输出端的信噪比	55
3.4 非线性调制(角度调制)的原理和抗噪声性能	57
3.4.1 角度调制的概念	57
3.4.2 调频信号带宽	58
3.4.3 调频信号解调输出性能	60
3.5 模拟调制系统的性能比较	63
3.5.1 有效性比较	63
3.5.2 可靠性比较	64
3.5.3 结论	64
3.5.4 应用	64
3.6 频分复用与多级调制	65
3.6.1 频分复用	65
3.6.2 复合调制和多级调制	66
本章小结	67
习 题	68
实践项目	71
第4章 数字信号的基带传输系统	72
4.1 基带信号及基带传输	72
4.1.1 何谓基带信号及基带传输	72
4.1.2 基带传输系统模型	72
4.2 数字基带信号码波形及传输码型	73
4.2.1 数字基带信号码常用波形	73
4.2.2 基带传输常用码型	74
4.3 数字基带信号的功率谱	76
4.3.1 数字基带信号的波形和一般表示式	77
4.3.2 数字基带信号的功率谱密度	78

4.4 数字基带传输系统与码间干扰	83
4.4.1 数字基带传输系统的组成	83
4.4.2 码间干扰的概念	84
4.5 无码间干扰的基带传输系统	85
4.5.1 无码间干扰系统	85
4.5.2 两种无码间干扰的基带传输系统	88
4.5.3 归纳	90
4.6 部分响应系统	91
4.6.1 问题的提出	91
4.6.2 第Ⅰ类部分响应系统	91
4.6.3 部分响应波形的一般形式	94
4.7 无码间干扰基带传输系统的抗噪声性能	96
4.7.1 信号的传输和噪声	96
4.7.2 误码率公式推导	96
4.8 眼图	99
4.8.1 什么是眼图	99
4.8.2 眼图的基本原理	100
4.8.3 眼图的模型	101
4.9 时域均衡器	101
4.9.1 理想的时域均衡器	102
4.9.2 有限长时域均衡器	104
4.9.3 实际应用的时域均衡器	106
本章小结	107
习 题	108
实践项目	112
第5章 数字信号的频带传输系统	113
5.1 引言	113
5.2 二进制数字调制原理	114
5.2.1 二进制振幅键控(2ASK)	114
5.2.2 二进制移频键控(2FSK)	117
5.2.3 二进制移相键控(2PSK)及二进制差分移相键控(2DPSK)	121
5.3 二进制数字调制系统的抗噪声性能	124
5.3.1 二进制振幅键控系统的抗噪声性能	125
5.3.2 二进制移频键控系统的抗噪声性能	130
5.3.3 二进制移相键控和二进制差分移相键控系统的抗噪声性能	133
5.4 二进制数字调制系统的性能比较	136
5.5 多进制及改进型数字调制系统	139
5.5.1 多进制数字振幅调制(MASK)系统	139

5.5.2 多进制数字频率调制(MFSK)系统	142
5.5.3 多进制数字相位调制(MPSK)系统	145
5.5.4 改进的数字调制方式	148
本章小结.....	152
习 题.....	154
实践项目.....	155
第6章 模拟信号的数字传输	156
6.1 引言	156
6.1.1 问题的提出	156
6.1.2 常用的 A/D 方法.....	156
6.1.3 采用 PCM 的模拟信号数字传输系统	156
6.2 抽样定理	157
6.2.1 模拟信号数字化的理论根据	157
6.2.2 低通型抽样定理	157
6.2.3 带通型抽样定理	159
6.3 脉冲振幅调制 PAM	161
6.3.1 脉冲调制	161
6.3.2 PAM 原理	161
6.4 模拟信号的量化	163
6.4.1 量化的基本概念	163
6.4.2 均匀量化	164
6.4.3 非均匀量化	165
6.5 脉冲编码调制 PCM	168
6.5.1 PCM 通信系统框图.....	169
6.5.2 逐位比较法编码的实现	169
6.5.3 PCM 编码速率及信号带宽.....	174
6.5.4 PCM 抗噪声性能.....	174
6.6 差分脉冲编码调制(DPCM)系统	176
6.7 增量调制 ΔM	178
6.7.1 概述	178
6.7.2 增量调制原理	178
6.7.3 量化噪声	180
6.8 时分复用和多路数字电话系统	182
6.8.1 时分复用 TDM	182
6.8.2 TDM 多路数字电话通信系统的组成	184
6.8.3 数字电话系统帧结构及传码率	185
6.8.4 时分复用数字通信高次群(数字复接技术)	186
本章小结.....	187

习 题	188
实践项目	189
第 7 章 同步原理	190
7.1 同步及其分类	190
7.1.1 同步的概念	190
7.1.2 同步的分类	191
7.2 载波同步	192
7.2.1 直接法	192
7.2.2 插入导频法	195
7.2.3 载波同步系统的性能及相位误差对解调信号的影响	198
7.3 位同步	200
7.3.1 插入导频法(外同步法)	200
7.3.2 直接提取位同步法(自同步法)	202
7.3.3 位同步误差对误码率的影响	205
7.4 帧同步(群同步)	206
7.4.1 帧同步的方法	206
7.4.2 帧同步的性能	210
本章小结	211
习 题	212
实践项目	213
第 8 章 差错控制编码	214
8.1 引言	214
8.1.1 差错控制编码的目的	214
8.1.2 差错控制编码的方法	214
8.2 差错控制编码的基本原理	215
8.2.1 差错控制编码的基本概念	215
8.2.2 码距与纠错能力的关系	216
8.2.3 差错控制编码的分类	217
8.3 常用的简单编码	217
8.3.1 奇偶校验码	217
8.3.2 二维奇偶校验码	218
8.3.3 恒比码与正反码	219
8.4 线性分组码	221
8.4.1 什么是线性分组码	221
8.4.2 线性分组码的编码原理	221
8.4.3 线性分组码的译码原理	224
8.5 循环码(CRC 码)	225

8.5.1 循环码的基本概念	225
8.5.2 循环码的编码原理	226
8.5.3 循环码的译码	228
8.6 其他差错控制编码简介	229
8.6.1 BCH 码	229
8.6.2 卷积码	232
本章小结	237
习 题	238
实践项目	240
习题答案及实践项目提示	241
参考文献	250

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

1.1.1 通信发展史简介

远古时代,人类的生产力不发达,需要远距离传递的消息往往以书信的形式,通过人力或畜力(马匹等)的长途传递完成,这种通信方式明显具有传递时间长的缺点。而对于较为紧急的事情,如外敌入侵等,则依靠“烽火台”传递消息。这是原始的利用光实现通信的方式,但传递的信息量十分有限。为了在尽量短的时间内传递尽量多的消息,人们不断地尝试所能找到的各种最新技术手段。1837 年发明的莫尔斯电磁式电报机标志着电信时代的正式开始,这标志着电通信的开始。之后,利用电进行通信的研究取得了长足的进步,在信息传递的数量、传播的速度和范围等方面均获得了迅速的发展。1866 年利用海底电缆实现了跨大西洋的越洋电报通信。1876 年贝尔发明了电话,利用电信号实现了语音信号的有线传递,使信息的传递变得既迅速又准确,这是模拟通信的开始。由于电话是一种实时、交互式通信,比电报更便于交流使用,所以直到 20 世纪前半叶这种采用模拟技术的电话通信技术比电报得到了更迅速和广泛的发展。1937 年,瑞威斯发明脉冲编码调制标志着数字通信的开始。20 世纪 60 年代以后集成电路、电子计算机的出现,使得数字通信迅速发展。由于数字通信技术在许多方面都优于模拟通信,甚至像语音、图像一类的模拟信号也可望采用数字通信技术来传输。如 70 年代末在全球发展起来的模拟移动电话在 90 年代中期被数字移动电话所替代,现有的模拟电视也正在被数字电视所替代。在电的通信发展的同时,频谱资源日益紧缺,光通信受到人们的重视。1960 年美国科学家梅曼发明了红宝石激光器,从此人类进入了研究现代光通信的时代。1977 年,在美国芝加哥开通了世界上第一条光纤通信线路,1980 年在苏格兰西海岸铺设了世界上第一条海底光缆,从那时起,光通信便进入了实用阶段。光通信的高速率和大容量等优越性已经使人们看到光通信的发展前途。

1.1.2 通信的发展现状和趋势

进入 20 世纪以来,随着晶体管、集成电路的出现与普及,无线通信迅速发展。特别是在 20 世纪的后半叶,伴随着人造地球卫星的发射,大规模集成电路、电子计算机和光导纤维等现代科技成果的问世,通信技术在以下几个不同的方向上都取得了巨大的成功。

(1)微波中继通信使长距离、大容量的通信成为现实。卫星通信是微波中继通信的一种特殊方式。一颗同步通信卫星的天线波束,可以覆盖地球表面积的 42.4%。在这个覆盖区域内,两个相距 18000 千米的地面站可以进行远距离通信。在静止轨道上等间隔(120°)配置三颗卫星,就可建立起除地球两极地区以外的全球通信。一颗通信卫星的可用频带宽度达到几千兆赫,与这相应的通信容量超过了 33000 条话路。

(2)移动通信和卫星通信的出现,使人们随时随地可通信的愿望得以实现。移动通信技术的发展以及国际间联网、漫游的实现,大大方便了人们在流动中建立通信联络。通信卫星居高临下,经它转发的无线电波能较有效地将地球表面覆盖,因而是实现全球移动通信的理想中继站。由美国劳拉(Loral)和高通(Qualcomm)等公司开发的全球卫星系统,已于 1999 年投入运行,我国也于 2005 年 5 月正式加入。卫星移动通信与地面移动通信相比,最大的优势就是可以在地球表面实现无缝隙覆盖,真正实现随时随地传递信息。

(3)光导纤维的出现更是将通信容量提高到了以前想像不到的地步。由于技术上的原因,现在的光通信还必须与电通信互相结合,所以最高的网络速率只能达到 10 Gbit/s。当实现全光通信时,网络速率将快到能够及时传送高清晰度图像,例如 X 光照片,那时你不出门就可在家里看病了;商业人士可通过高清晰度 TV 远程召开视频会议;用户完整下载一部高清晰电影只需要 5 分钟;联网游戏图像变得更加流畅逼真。

(4)电子计算机的出现将通信技术推上了更高的层次,借助现代电信网和计算机的融合,人们将世界变成了地球村。现代社会是信息时代,是“互联网”(Internet)时代。网络是人与人、人与世界的连接纽带。是计算机网络拉近了人们之间的距离,是计算机网络把偌大的世界变成了“地球村”。

(5)微电子技术的发展,使通信终端的体积越来越小,成本越来越低,范围越来越广。例如,2003 年我国的移动电话用户首次超过了固定电话用户。根据国家信息产业部的统计数据,到 2005 年底,移动电话用户近 4 亿。

随着现代电子技术的发展,通信技术正在向着数字化、网络化、智能化和宽带化的方向发展。信息的内容与格式也向着多样化、多媒体化转变。使用方法更加个性化。随着科学技术的进步,人们对通信的要求会越来越高,各种新技术不断地应用于通信领域,各种新的通信业务将不断地被开发出来。可以预见,当宽带技术发展 to 一定程度,能将电话、电视和互联网融合成一个整体时,人们便可在任何时候、任何地点与任何人进行通信和高速地接入互联网及时有效地获取信息资源、处理个人的信息业务。到那时人们的生活将越来越离不开通信。

1.1.3 通信的基本概念

通信就是克服距离上的障碍,从一地向另一地传递和交换消息。消息是信息源所产生的,是信息的物理表现,例如,语音、文字、数据、图形和图像等都是消息(message)。消息有模拟消息(如语音、图像等)以及数字消息(如数据、文字等)之分。所有消息必须在转换成电信号(通常简称为信号)后才能在通信系统中传输。所以,信号(signal)是传输消息的手段,信号是消息的物质载体。

相应的信号可分为模拟信号和数字信号。模拟信号的自变量可以是连续的或离散的,但幅度是连续的(分别如图 1-1-1 所示),如电话机、电视摄像机输出的信号就是模拟信号。数字信号的自变量可以是连续的或离散的,但幅度是离散的(分别如图 1-1-2 所示),如电传