

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



通信原理

龙光利 主编
侯宝生 王战备 编著

清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



通信原理

龙光利 主编
侯宝生 王战备 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要阐述各种现代模拟通信和数字通信的基本原理、方法及传输性能,在重点论述传统通信技术基本理论的基础上,力求充分反映国内外通信技术的最新发展状况。

全书共 10 章,包括绪论、随机过程、信道、模拟调制系统、模拟信号的数字传输、数字基带传输系统、数字频带传输系统、数字信号的最佳接收、同步原理、差错控制编码。每章均附有思考题、习题和小测验。

本书可作为高等学校通信工程、电子信息工程、电子信息科学技术等专业本科生教材,也可作为通信工程技术人员和科研人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/龙光利主编;侯宝生,王战备编著. —北京:清华大学出版社,2012.7

(21世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-28096-5

I. ①通… II. ①龙… ②侯… ③王… III. ①通信原理—高等学校—教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 030490 号

责任编辑:郑寅堃 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:30.25 字 数:757千字

版 次:2012年7月第1版 印 次:2012年7月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:44.50元

产品编号:041558-01

编审委员会成员

东南大学	王志功	教授
南京大学	王新龙	教授
南京航空航天大学	王成华	教授
解放军理工大学	邓元庆	教授
	刘景夏	副教授
上海大学	方 勇	教授
上海交通大学	朱 杰	教授
	何 晨	教授
华中科技大学	严国萍	教授
	朱定华	教授
华中师范大学	吴彦文	教授
武汉理工大学	刘复华	教授
	李中年	教授
宁波大学	蒋刚毅	教授
天津大学	王成山	教授
	郭维廉	教授
中国科学技术大学	王煦法	教授
	郭从良	教授
	徐佩霞	教授
苏州大学	赵鹤鸣	教授
山东大学	刘志军	教授
山东科技大学	郑永果	教授
东北师范大学	朱守正	教授
沈阳工业学院	张秉权	教授
长春大学	张丽英	教授
吉林大学	林 君	教授
湖南大学	何怡刚	教授
长沙理工大学	曾喆昭	教授
华南理工大学	冯久超	教授

西南交通大学

冯全源 教授

金炜东 教授

重庆工学院

余成波 教授

重庆通信学院

曾凡鑫 教授

重庆大学

曾孝平 教授

重庆邮电学院

谢显中 教授

张德民 教授

西安电子科技大学

彭启琮 教授

樊昌信 教授

西北工业大学

何明一 教授

集美大学

迟 岩 教授

云南大学

刘惟一 教授

东华大学

方建安 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail:weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

随着通信技术、计算机技术的飞速发展,信息科学技术已成为国际和社会经济发展的强大推动力。学习和掌握现代通信理论和技术是信息社会每一位成员,尤其是未来通信者的迫切需要。

本书作为现代通信的导论,将讨论信息的处理、传输及通信系统的基本原理,侧重信息传输原理。本书内容比较丰富,理论分析严谨,内容由浅入深,注重理论联系实际。为了帮助读者掌握基本理论和分析方法,每章都列举了一定数量的例题,并附有大量的思考题和习题,每章后还附有小测验,便于读者自行测试。

全书共分 10 章,第 1~3 章是基础部分,第 4 章是模拟通信,第 5 章是模拟信号数字传输,第 6~10 章是数字通信。

第 1 章为绪论,介绍常用通信术语及通信发展简史,通信系统的组成和分类,数字通信系统的主要功能特点、通信方式,信息量及平均信息量的运算以及通信系统的主要性能指标。

第 2 章为随机过程,概述随机过程的概念及属性,随机过程的统计特性和数字特征,平稳随机过程的定义和统计特性,高斯过程的定义及统计特性,窄带随机过程的定义、表达式和统计特性,正弦波加窄带高斯过程的统计特性和平稳随机过程通过线性系统后输出过程的数学期望、自相关函数、功率谱密度及输出过程的分布,白噪声和带限白噪声。

第 3 章为信道,概述信道的定义及分类,常用恒参信道和随参信道举例,调制信道和编码信道的数学模型,恒参信道的特性及其对信号传输的影响,随参信道特性对信号传输的影响,信道的加性噪声及信道容量。

第 4 章为模拟调制系统,讨论调制的目的、定义和分类,幅度调制系统的分析模型,AM、DSB、SSB、VSB 信号的波形、时域、频域表示及调制和解调方法,各种幅度调制系统的抗噪声性能及门限效应,角度调制原理,调频系统的抗噪声性能,各种模拟调制系统的比较,频分复用的原理、复合调制及多级调制的概念。

第 5 章为模拟信号的数字传输,概述抽样定理,脉冲振幅调制(PAM)原理,模拟信号量化的基本原理,脉冲编码调制(PCM)原理及抗噪声性能,增量调制(ΔM)原理及抗噪声性能,时分复用和数字复接。

第 6 章为数字基带传输系统,讨论数字基带信号,理解数字基带信号表示式与频谱特性,基带传输常用码型,基带脉冲传输与码间干扰,无码间干扰的基带传输特性,部分响应系统,无码间干扰基带系统抗噪声性能,眼图与时域均衡。

第 7 章为数字频带传输系统,概述 2ASK、2FSK、2PSK 调制、解调原理以及频谱特性,二进制数字调制系统的抗噪声性能及比较,多进制 ASK、FSK、PSK 调制、解调原理及抗噪声性能,QAM、GMSK、GFSK 调制与解调。

第 8 章为数字信号的最佳接收,讨论数字信号接收的统计描述及最佳接收准则,二进制

确知信号的最佳接收,二进制随相信号的最佳接收,普通接收机与最佳接收机的性能比较,匹配滤波器的原理及在最佳接收中的应用,最佳基带传输系统。

第9章为同步原理,概述同步的定义、分类及意义,载波同步、位同步、群同步、网同步的方法及性能。

第10章为差错控制编码,主要介绍差错控制方式和编码分类,最小码距与纠检错能力,几种常用的简单编码,线性分组码的生成、监督和纠错,循环码的生成多项式、生成矩阵、编码和译码,卷积码的矩阵、多项式和图形描述方法,Turbo码和网格编码调制。

书末附有误差函数表、贝塞尔函数值表、帕塞瓦尔定理、英文缩写名词对照表、部分习题答案、部分小测验答案和参考文献,便于读者查阅。

全书由龙光利主持编写,并编写其中第1、2、4、7、8章,侯宝生编写第3、9、10章,并提供了附录A、附录B、附录C等内容,王战备提供了第5、6章的初稿和附录D。全书由龙光利修改并定稿。本书在编写过程中还得到了作者单位的支持和其他同事的帮助,同时也得到了清华大学出版社的大力支持,在此一并表示感谢。

鉴于作者水平有限,难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2012年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 常用通信术语	1
1.2 通信系统的组成	2
1.2.1 通信系统的一般模型.....	2
1.2.2 模拟通信系统模型.....	3
1.2.3 数字通信系统模型.....	4
1.2.4 数字通信的主要特点.....	5
1.3 通信系统分类及通信方式	6
1.3.1 通信系统分类.....	6
1.3.2 通信方式.....	8
1.4 信息及其度量.....	10
1.5 通信系统主要性能指标.....	13
1.6 通信发展简史及发展趋势.....	15
1.6.1 通信发展简史	15
1.6.2 通信发展趋势	16
1.7 小结.....	18
思考题	19
习题	19
小测验	20
第 2 章 随机过程	22
2.1 随机过程的基本概念及特性.....	22
2.1.1 随机过程	22
2.1.2 随机过程的统计特性	23
2.1.3 随机过程的数字特征	24
2.2 平稳随机过程.....	26
2.2.1 平稳随机过程的定义	26
2.2.2 各态历经性	27
2.2.3 平稳随机过程的自相关函数	27
2.2.4 平稳随机过程的功率谱密度	28
2.3 高斯过程.....	31
2.3.1 高斯过程的定义及性质	32

2.3.2	高斯过程的一维概率密度函数	32
2.3.3	高斯过程的一维分布函数	33
2.4	平稳随机过程通过线性系统	35
2.4.1	随机过程通过线性系统后的输出	35
2.4.2	线性系统输出过程的平稳性	36
2.4.3	系统输入和输出功率谱密度的关系	37
2.4.4	输出过程 $\xi_o(t)$ 的概率分布	37
2.5	窄带随机过程	37
2.5.1	窄带随机过程的定义及表达式	37
2.5.2	窄带随机过程同相分量和正交分量的统计特性	38
2.5.3	窄带随机过程包络和相位的统计特性	40
2.6	正弦波加窄带高斯过程	41
2.6.1	正弦波加窄带高斯过程的表达式	41
2.6.2	正弦波加窄带高斯过程的统计特性	42
2.7	高斯白噪声和带限白噪声	44
2.7.1	白噪声	44
2.7.2	低通白噪声	45
2.7.3	带通白噪声	45
2.8	小结	46
	思考题	47
	习题	48
	小测验	50
第3章	信道	52
3.1	信道的定义及数学模型	52
3.1.1	信道的定义及分类	52
3.1.2	信道的数学模型	53
3.2	恒参信道及其传输特性	56
3.2.1	恒参信道举例	56
3.2.2	恒参信道特性及其对信号传输的影响	61
3.2.3	减小畸变的措施	64
3.3	随参信道及其传输特性	64
3.3.1	随参信道举例	64
3.3.2	随参信道传输媒质的特点	66
3.3.3	随参信道对信号传输的影响	66
3.3.4	随参信道特性的改善	69
3.4	信道的噪声及信道容量	70
3.4.1	噪声的定义及分类	70
3.4.2	信道容量	73

3.5 小结	78
思考题	79
习题	79
小测验	80
第4章 模拟调制系统	82
4.1 幅度调制的原理	82
4.1.1 幅度调制的一般模型	82
4.1.2 调幅	84
4.1.3 抑制载波双边带调制	85
4.1.4 单边带调制	86
4.1.5 残留边带调制	88
4.1.6 相干解调与包络检波	90
4.2 线性调制系统的抗噪声性能	91
4.2.1 分析模型	91
4.2.2 线性调制相干解调的抗噪声性能	92
4.2.3 调幅信号包络检波的抗噪声性能	95
4.3 非线性调制(角调制)的原理	98
4.3.1 角调制的基本概念及表达式	98
4.3.2 窄带调频	101
4.3.3 宽带调频	103
4.3.4 调频信号的产生与解调	105
4.4 调频系统的抗噪声性能	110
4.4.1 输入信噪比	110
4.4.2 调频系统非相干解调增益	110
4.4.3 预加重和去加重	115
4.5 各种模拟调制系统的性能比较	117
4.6 频分复用和调频立体声	118
4.6.1 频分复用	118
4.6.2 复合调制和多级调制	120
4.6.3 模拟电话多路复用系统	120
4.6.4 调频立体声广播	122
4.7 小结	123
思考题	125
习题	125
小测验	128

第 5 章 模拟信号的数字传输	130
5.1 模拟信号的抽样	130
5.1.1 模拟信号的数字化.....	130
5.1.2 抽样的概念及分类.....	131
5.1.3 低通均匀抽样定理.....	131
5.1.4 带通抽样定理.....	134
5.2 模拟脉冲调制和抽样信号的量化	136
5.2.1 模拟脉冲调制.....	136
5.2.2 量化原理.....	140
5.2.3 均匀量化.....	141
5.2.4 非均匀量化.....	144
5.3 脉冲编码调制	149
5.3.1 PCM 编码原理	149
5.3.2 PCM 编译码电路	155
5.3.3 PCM 码元速率和带宽	159
5.3.4 PCM 系统的抗噪声性能	159
5.4 自适应差分脉冲编码调制	162
5.4.1 差分脉冲编码调制.....	162
5.4.2 自适应差分脉冲编码调制.....	164
5.5 增量调制	164
5.5.1 简单增量调制.....	165
5.5.2 增量调制的过载特性与动态编码范围.....	169
5.5.3 增量调制系统的抗噪声性能.....	171
5.5.4 PCM 与 ΔM 系统的比较	172
5.6 信道复用与数字复接	174
5.6.1 时分复用原理.....	174
5.6.2 PCM 基群帧结构.....	175
5.6.3 数字复接技术.....	178
5.6.4 PDH 和 SDH	179
5.7 小结	183
思考题.....	184
习题.....	184
小测验.....	186
第 6 章 数字基带传输系统	188
6.1 数字基带信号及其频谱特性	188
6.1.1 数字基带系统.....	188
6.1.2 常用数字基带信号.....	190

6.1.3	数字基带信号的频谱特性	192
6.1.4	研究随机脉冲序列功率谱的结论和意义	197
6.2	基带传输的常用码型	199
6.2.1	传输码型的选择原则	199
6.2.2	常见的传输码型	200
6.3	数字基带脉冲传输与无码间串扰特性	203
6.3.1	数字基带信号传输与码间串扰	203
6.3.2	无码间干扰的基带传输特性	205
6.3.3	无码间串扰传输特性的设计	208
6.4	部分响应系统	211
6.4.1	奈奎斯特第二准则	211
6.4.2	第 I 类部分响应波形	212
6.4.3	部分响应波形的一般形式	215
6.5	基带传输系统的抗噪声性能	217
6.5.1	二进制双极性基带信号的传输误码率	217
6.5.2	二进制单极性基带信号的传输误码率	219
6.6	眼图与时域均衡	220
6.6.1	眼图	220
6.6.2	时域均衡	222
6.7	小结	230
	思考题	231
	习题	232
	小测验	235
第 7 章	数字频带传输系统	238
7.1	二进制数字调制原理	239
7.1.1	二进制振幅键控	239
7.1.2	二进制频移键控	241
7.1.3	二进制相移键控	244
7.1.4	二进制差分相移键控	246
7.1.5	二进制数字调制信号的功率谱密度	249
7.2	二进制数字调制系统的抗噪声性能	253
7.2.1	二进制振幅键控系统的抗噪声性能	253
7.2.2	二进制频移键控系统的抗噪声性能	259
7.2.3	二进制相移键控系统的抗噪声性能	264
7.2.4	二进制差分相移键控系统的抗噪声性能	265
7.3	二进制数字调制系统的性能比较	269
7.4	多进制数字调制原理	272
7.4.1	多进制数字振幅调制系统	273

7.4.2	多进制数字频率调制系统	274
7.4.3	多进制数字相位调制系统	275
7.4.4	多进制差分相移键控	281
7.5	多进制数字调制系统的抗噪声性能	284
7.5.1	MASK 系统的抗噪声性能	284
7.5.2	MFSK 系统的抗噪声性能	287
7.5.3	MPSK 和 MDPSK 系统的抗噪声性能	290
7.6	正交振幅调制	291
7.6.1	正交振幅调制原理	292
7.6.2	正交振幅调制的解调原理	294
7.6.3	正交振幅调制的抗噪声性能	295
7.7	最小频移键控和高斯最小频移键控	296
7.7.1	最小频移键控	296
7.7.2	高斯最小频移键控	302
7.7.3	高斯滤波的频移键控调制	308
7.8	小结	308
	思考题	309
	习题	310
	小测验	312
第 8 章	数字信号的最佳接收	314
8.1	最小差错概率接收准则	314
8.1.1	数字信号接收的统计表述	314
8.1.2	最佳接收准则	317
8.2	确知信号的最佳接收机	319
8.2.1	最佳接收机设计的定义	319
8.2.2	二进制确知信号最佳接收机结构	319
8.2.3	二进制确知信号最佳接收机的误码性能	321
8.3	随相信号的最佳接收机	325
8.3.1	二进制随相信号最佳接收机结构	325
8.3.2	二进制随相信号最佳接收机的误码性能	329
8.3.3	起伏信号的最佳接收	330
8.4	最佳接收机性能比较	332
8.5	数字信号的匹配滤波接收	333
8.5.1	匹配滤波器的原理	333
8.5.2	匹配滤波器在最佳接收中的应用	338
8.6	最佳基带传输系统	341
8.6.1	理想信道下的最佳基带传输系统的组成	341
8.6.2	理想信道下最佳基带传输系统的误码性能	342

8.6.3 非理想信道下的最佳基带传输系统·····	344
8.7 小结·····	345
思考题·····	347
习题·····	348
小测验·····	349
第9章 同步原理 ·····	352
9.1 概述·····	352
9.2 载波同步·····	354
9.2.1 插入导频法·····	354
9.2.2 直接法·····	356
9.2.3 载波同步系统的性能及相位误差对解调性能的影响·····	360
9.3 码元同步·····	361
9.3.1 插入导频法·····	362
9.3.2 直接法·····	363
9.3.3 码元同步系统的性能及其相位误差对性能的影响·····	371
9.4 群同步·····	374
9.4.1 起止式同步法·····	374
9.4.2 集中插入法·····	374
9.4.3 分散插入法·····	376
9.4.4 群同步系统的性能·····	378
9.4.5 自群同步·····	380
9.4.6 扩谱通信系统的同步·····	381
9.5 网同步·····	385
9.5.1 概述·····	385
9.5.2 开环法·····	386
9.5.3 闭环法·····	388
9.5.4 准同步传输系统复接的码速调整法·····	389
9.6 小结·····	391
思考题·····	392
习题·····	392
小测验·····	393
第10章 差错控制编码 ·····	395
10.1 概述·····	395
10.1.1 差错控制方式及纠错编码的分类·····	395
10.1.2 纠错编码的基本原理·····	397
10.2 简单的实用编码·····	399
10.3 线性分组码·····	401

10.3.1	汉明码的构造原理	401
10.3.2	线性分组码的构造原理	403
10.4	循环码	406
10.4.1	循环码原理	406
10.4.2	循环码的编解码方法	409
10.4.3	截短循环码	411
10.4.4	BCH 码	411
10.4.5	RS 码	413
10.5	卷积码	413
10.5.1	卷积码的基本原理	413
10.5.2	卷积码的代数表述	415
10.5.3	卷积码的解码	418
10.6	Turbo 码	424
10.7	网格编码调制	426
10.7.1	网格编码调制的基本概念	426
10.7.2	TCM 信号的产生	427
10.7.3	TCM 信号的解调	429
10.8	小结	431
	思考题	432
	习题	432
	小测验	434
附录 A	误差函数表	436
附录 B	贝塞尔函数值表	439
附录 C	帕塞瓦尔定理	440
附录 D	英文缩写名词对照表	441
附录 E	部分习题答案	449
附录 F	部分小测验答案	459
	参考文献	467