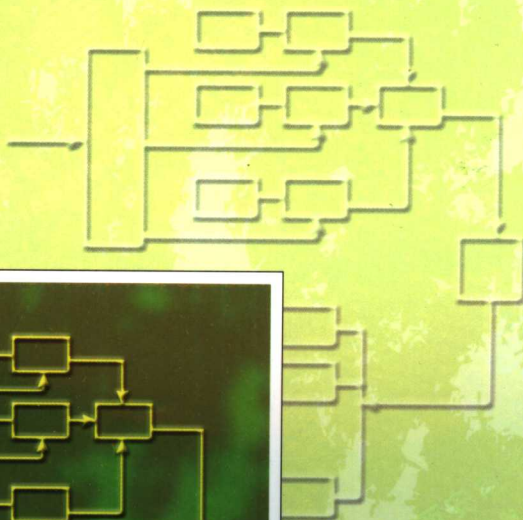


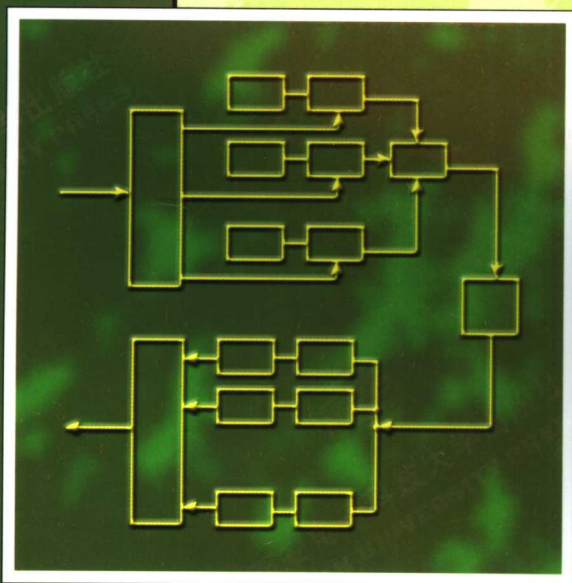


研究生系列教材

现代通信理论



主编 李白萍



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

研究生系列教材

现代通信理论

主 编 李白萍

副主编 曾召华 张晓莉

西安电子科技大学出版社

2006

内 容 简 介

本书着重介绍语音、图像、数据等信号在现代通信系统中传输和处理的基本理论。

全书共 8 章,从通信系统必不可少的基本组成开始,按信号在通信系统中传输和处理的流程编写。内容包括:通信系统的组成及不可或缺各个部件的基本概念,包含信道及随机过程;信源编码理论;现代传输理论;时分复用与数字复接技术;同步原理;信道编码理论;扩频通信原理以及现代通信系统仿真等。

本书内容丰富,涵盖面广,讲解思路清晰,理论与实际相结合。为使读者更好地理解原理并掌握分析方法,每章都精选了一些习题;同时还给出了现代通信理论中几个典型理论的仿真实验,以引导学生扩展学习空间,熟悉课程应用,提高创新意识。

本书可作为通信与信息系统学科研究生的教材,也可供通信工程、电子信息工程等电子类专业高年级本科生学习参考,还可供通信工程技术人员和科研人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信理论/李白萍主编. —西安:西安电子科技大学出版社, 2006. 10

(研究生系列教材)

ISBN 7 - 5606 - 1743 - 3

I. 现… II. 李… III. 通信理论—研究生—教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 114331 号

责任编辑 雷鸿俊 云立实

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

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 23.375

字 数 554 千字

印 数 1~4000 册

定 价 29.00 元

ISBN 7 - 5606 - 1743 - 3/TN · 0350

XDUP 2035001 1

* * * 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。

欢迎选购西安电子科技大学出版社教材类图书

~~~~~国家级、部级重点教材~~~~~

计算机系统结构(第四版)(统编)	25.00
离散数学(第三版)(统编)(乔维声)	16.00
雷达对抗原理(统编)	15.00
雷达原理(第三版)	23.00
通信网的安全——理论与技术	42.00
模拟电子线路基础(傅丰林)	16.00
移动通信(第三版)(统编)(郭梯云)	26.00
智能控制理论和方法	18.00

~~~全国信息技术水平考试指定教材~~~

计算机网络信息安全理论与实践教程	32.00
网页设计与网站开发基础教程	54.00
中小校园网络管理基础教程	19.00
中小校园网络管理实验教程	25.00

~~~~~计算机提高普及类~~~~~

计算机应用基础(第三版)(丁爱萍)	19.00
计算机组装与维护(高职)(杜飞明)	22.00
计算机组装与维护实用教程(第二版)(高职)	29.00
计算机应用基础(Windows 2000 &Office 2002)(教育部高职)	23.00
《计算机应用基础》实践技能训练 与案例分析(教育部高职)	11.00
计算机综合能力实训教程(高职)	10.00
办公自动化技术及应用教程	22.00
办公自动化设备的使用和维护 (第二版)(高职)	18.00
网络办公自动化技术及应用(高职)	21.00

~~~~~计算机网络类~~~~~

Internet基础与使用(第二版)(高职)	13.00
计算机网络安全(高职)	15.00
计算机网络管理	20.00
网络安全技术(高职)	17.00
网络安全与保密	24.00
网络信息安全技术	17.00

网络信息安全	11.00
网站建设与维护(崔良海)	18.00
网站建设与维护(廖常武)	19.00
Internet技术及其应用教程	15.00
Windows网络程序设计	26.00
嵌入式系统原理与开发	21.00
通信网理论与技术	25.00
计算机图形图像与网页制作(高职)	19.00
互联网实用技术与网页制作(高职)	14.00
局域网组建、管理与维护(高职)	20.00
综合布线技术(高职)	18.00
计算机网络技术导论	16.00
计算机网络(第二版)(袁家政)	26.00
计算机网络技术(刘敏涵)	20.00
计算机网络(第二版)(蔡皖东)	18.00
计算机网络(第二版)(雷振甲)	21.00
计算机网络工程	20.00
计算机网络实验教程	14.00
计算机组网实验教程	23.00
计算机网络学习辅导及习题详解	23.00
网络工程设计与实践	29.00
网络应用程序设计	21.00
现代网络技术	24.00
网络计算	19.00

~~~~~计算机技术类~~~~~

计算机系统结构(陈智勇)	22.00
计算机系统——概念与技术(洪龙)	18.00
计算机组成原理 与系统结构实验教程(杨小龙)	12.00
计算机系统安全	22.00
实用计算机类毕业设计指导	18.00
计算机原理课程设计	10.00
电子政务理论与实务	20.00
电子商务概论(李晓燕)	17.00
电子商务概论(宋沛军)	20.00

电子商务基础与应用(第四版)(含盘)	34.00	~~~~~操作系统类~~~~~	
电子商务基础与实务(第二版)(高职)	16.00	计算机操作系统(第二版)(颜彬)(高职)	17.00
数据结构(C)(第二版)(杨秀金)	20.00	计算机操作系统(修订版)(汤)	24.00
《数据结构》算法实现及解析		《计算机操作系统》学习指导与题解	16.00
——配合严蔚敏的《数据结构》(C语言版)		计算机操作系统(王津)	16.00
(含光盘)(第二版)	35.00	计算机操作系统(孙雅如)	15.00
数据结构——使用C++语言(第二版)	23.00	计算机操作系统(方敏)	28.00
数据结构(高职)(周岳山)	15.00	计算机操作实训教程(张晓云)(高职)	18.00
计算方法与实习(高职)	11.00	操作系统教程——Linux实例分析(孟)	21.00
算法设计与分析	15.00	Linux操作系统实用教程(高职)	20.00
编译原理教程(第二版)	18.00	Linux实训指导教程(高职)	13.00
《编译原理教程(第二版)》		~~~~~图形处理类~~~~~	
习题解析与上机指导	18.00	多媒体技术及应用(王坤)	21.00
离散数学(蔡英)	21.00	多媒体软件设计技术(第二版)	20.00
《离散数学》学习指导书	16.00	多媒体技术与应用(第二版)(傅献祯)	16.00
离散数学(马光思)	22.00	多媒体技术教程(杨安琪)	20.00
离散数学——精讲·精解·精练	24.00	计算机图形学(张义宽)	20.00
软件工程(第二版)	22.00	计算机图形学(丁爱玲)	14.00
软件工程与数据库概论	14.00	计算机图形学(研究生系列)(璩柏青)	26.00
信息系统分析与设计(卫红春)	19.00	计算机图形学——图形的计算与显示原理	22.00
信息系统分析与设计(高职)(卫红春)	18.00	数字图像处理	20.00
信息系统分析与设计(第二版)(陈圣国)	14.00	3DS MAX 6.0实用教程(高职)	23.00
人工智能技术导论(第二版)	18.00	~~~~~微机与控制类~~~~~	
~~~~~计算机辅助技术类~~~~~		微型计算机原理与应用(第二版)(本科)	33.00
电子工程制图(含习题集)(高职)	25.00	《微型原理及应用》(第二版)学习指导	18.00
工程制图(含习题集)(高职)	22.00	微型计算机原理(第四版)	29.00
机械制图与计算机绘图(含习题集)(高职)	24.00	《微型计算机原理》(第四版)学习指导书	14.00
计算机绘图(第二版)	25.00	《微型计算机原理》学习与实验指导	18.00
DSP应用技术(高职)	25.00	微型计算机原理及接口技术(新世纪)	25.00
现代DSP技术	22.00	80X86微机原理与接口技术	26.00
电子电路CAD程序及其应用(高职)	16.00	单片机原理及接口技术(喻宗泉)	15.00
电子线路CAD实用教程(第二版)	22.00	单片机应用实训教程(高职)	22.00
电子工艺与电子CAD(高职)	14.00	单片机原理与应用技术	19.00
电子电路EDA技术	15.00	新编单片机原理与应用(第二版)	22.00
EDA技术及应用(第二版)	24.00	可编程序控制器原理及应用(第二版)	22.00
EDA技术综合应用实例与分析	22.00	计算机控制技术(高职)(温希东)	12.00
EDA技术与数字系统设计(高职)	14.00	计算机外部设备(第二版)	17.00
数字电路EDA设计(高职)	19.00		

数据融合理论与应用 (第二版)	20.00	机械加工技术 (高职) (魏康民)	24.00
自动控制原理 (赵四化)	16.00	计算机辅助机械设计 (秦汝明)	19.00
自动控制原理 (薛安克)	19.00	数控机床原理与编程 (高职) (陈富安)	20.00
《自动控制原理》学习指导与题解 (方斌)	22.00	数控加工与编程 (高职)	19.00
自动控制原理及其应用 (高职)	15.00	数控加工工艺 (高职) (赵长旭)	22.00
智能化仪器原理及应用 (曹建平)	16.00	数控编程与操作 (高职) (秦启书)	16.00
楼宇自动化 (高职)	14.00	数控技术及应用 (高职) (马一民)	17.00
电梯原理及逻辑排故 (高职)	22.00	数控机床故障分析与维修 (高职) (潘海丽)	19.00
~~~~~家用电器与机电类~~~~~			
电视原理与系统 (赵坚勇)	16.00	数控机床电气控制 (高职) (姚勇刚)	21.00
电视原理与电视机检修 (高职)	16.00	机电一体化技术 (高职)	17.00
数字电视技术	20.00	机床电器 PLC (高职) (李伟)	14.00
电器原理与技术 (裴昌幸)	24.00	机床电气与 PLC (高职)	16.00
调音技术 (高职)	16.00	电机及拖动基础 (高职) (孟宪芳)	17.00
音响技术	13.00	电机拖动与控制 (高职) (刘保录)	25.00
现代音响与调音技术	19.00	电机与电气控制 (高职) (冉文)	23.00
电气控制与 PLC 原理及应用 (常文平)	17.00	电切削加工技术 (高职) (詹华西)	13.00
工程力学 (皮智谋) (高职)	12.00	金属切削与机床 (高职) (聂建武)	22.00
工程力学 (史艺农) (高职)	23.00	模具制造技术 (高职) (刘航)	22.00
工程材料与热加工技术 (高职) (程晓宇)	20.00	液压与气动技术 (朱梅)	19.00
机械工程基础 (李茹) (高职)	26.00	特种加工技术 (周旭光)	10.00
机械设计基础 (赵冬梅) (高职)	21.00	汽车电工电子技术 (高职) (袁建华)	20.00
机械设计基础 (张京辉) (高职)	24.00	工业机器人技术 (高职) (郭洪红)	16.00
机械设计基础 (郭红星) (高职)	20.00	互换性与技术测量 (高职) (杨好学)	16.00
机械基础 (周家泽)	17.00	车工基本技能训练 (高职) (武建荣)	6.00
机械 CAD/CAM 技术 (方新)	20.00	钳工基本技能训练 (高职) (彭彦)	5.00
机械制图 (刘家平) (高职)	32.00	焊接基本技能训练 (高职) (王红英)	6.00
机械制造工艺装备 (高职) (吴秀佳)	19.00	建筑管道工基本技能训练 (高职) (陈斐明)	8.00
机械制造技术 (高职) (邵堃)	24.00	铣工基本技能训练 (高职) (韩振武)	4.00
		高等教育管理导论 (研究生)	36.00

欢迎来函索取本社最新书目和教材介绍, 欢迎投稿!

从邮局或银行汇款邮购者, 汇款单上务必写清收书人姓名、地址、邮编、电话。款到后我社将挂号发书, 加收5元包装邮寄费 (一次购书30元以上者可免收邮费)。

通信地址: 西安市太白南路2号 西安电子科技大学出版社发行部 邮 编: 710071

电 话: (029) 88201467

传 真: (029) 88213675

主 页: <http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

前 言

现代通信技术的发展日新月异,给社会发展注入了强劲的动力,为人们的生活、学习和工作提供了极大的便利。

“现代通信理论”是通信与信息系统学科研究生的学位课,它是在本科学习基础上加深的一门理论性和实践性都很强的课程。其涵盖的内容很广,理论分析所得到的重要结论往往与人们的生活常识相吻合,必须将抽象的理论分析和具体的物理概念有机地结合在一起,再辅以一些习题和实验,才能学好这门课程。其先修课程为“通信原理”和“数字信号处理”,教学参考学时数为54。

本书编写过程中的着重点如下:

- (1) 所选内容力求充分反映现代通信理论所引导的通信技术发展方向和水平。
- (2) 不仅介绍语音信号在通信系统中传输和处理的基本理论,而且还介绍了现代通信中图像信号、数据信号等传输和处理的基本理论。内容丰富,涵盖面广,加强了理论深度。
- (3) 从通信系统必不可少的基本组成开始,按信号在通信系统中传输和处理的流程编写,思路清晰,便于学生更好地理解通信系统的基本理论和概念。
- (4) 给出了现代通信理论中几个典型理论的仿真实验,理论与实际相结合,以引导学生扩展学习空间,熟悉课程应用,提高创新意识。

全书共8章,重点介绍了现代通信所涉及的理论与技术。

第1章为通信系统导论,介绍了通信的基本概念、通信系统的分类与组成以及通信系统的性能指标;同时介绍了通信系统不可或缺的信道部分的基本概念,涉及信源、信宿及不可避免的噪声的随机过程分析;此外,还对通信技术发展进行了回顾和介绍。

第2章为信源编码理论,内容包括波形编码理论,脉冲编码调制(PCM)、差分脉冲编码调制(DPCM)、自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)、增量调制(ΔM)等时域波形编码原理与应用,子带编码(SBC)、自适应变换域编码(ATC)等频域波形编码原理与应用,参数编码以及图像压缩编码、数据通信和数据加密编码。

第3章为现代传输理论,内容包括基带传输理论所涉及的数字基带信号码型及其频谱、无码间串扰条件、部分响应技术、现代均衡技术,频带传输理论所涉及的调制与解调原理,二进制、多进制、改进的数字调制系统;简单介绍了正交频分复用的理论知识;最后对数据传输、图像传输和数字信号最佳接收理论进行了详细的介绍。

第4章为时分复用与数字复接技术,内容包括复用的基本概念、时分复用原理与应用以及数字复接原理与技术。

第5章为同步原理,分别介绍了载波同步、位同步、帧同步和网同步等几种同步方式的原理、指标及应用。

第6章为信道编码理论,内容包括差错控制编码的基本原理,线性分组码、循环码、汉明码和BCH码等分组编码方法,以及卷积码、Turbo码和网格编码等编码方法。

第7章为扩频通信的基本原理,内容包括直扩系统和跳频系统的工作原理、抗随机噪

声和随机干扰能力、抗多径干扰能力、多址能力,以及扩频码的生成和特性、扩频码的捕捉与跟踪方法等。

第8章给出了现代通信理论中几个典型理论的仿真实验,以引导学生扩展知识。

本书由李白萍主编并统稿,曾召华、张晓莉任副主编。其中,李白萍编写了第1、3、4、5章以及第2章的2.1~2.4节,张晓莉编写了第6章的6.1~6.3节,曾召华编写了第7章、第2章的2.5、2.6节以及第6章的6.4~6.6节,曾召华、孙翠珍和张鸣合编了第8章。西安科技大学的刘少亭教授对本书的编写提供了宝贵的意见。张晓天、郑文彦、孙宁、马康平、闫莹、尚亮等研究生在编写过程中做了大量的工作,阅读了本书的初稿,并提出了参考意见。编者在这里对他们表示诚挚的感谢。

本书得到了西安科技大学研究生部教材基金项目的资助,在此表示感谢。

在编写本书的过程中,作者参考了大量的国内外通信教材、文献资料,并引用了一些经典理论,在此对本书所列文献作者表示衷心的感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2006年6月

目 录

第 1 章 通信系统导论	1
1.1 通信的基本概念和通信系统的基本模型	1
1.2 通信系统的分类及基本组成	2
1.2.1 通信系统的分类	2
1.2.2 数字通信系统的基本组成	3
1.3 通信信道及信道容量	5
1.3.1 信道定义及分类	5
1.3.2 通信信道及特征	5
1.3.3 通信信道的数学模型	10
1.3.4 信息量与信道容量	11
1.4 随机过程	17
1.4.1 随机过程的基本概念	17
1.4.2 平稳随机过程	18
1.4.3 高斯过程(正态随机过程)	19
1.4.4 窄带随机过程	20
1.4.5 随机过程通过线性系统	21
1.5 通信系统的主要性能指标	21
1.5.1 有效性指标	22
1.5.2 可靠性指标	23
1.6 现代通信技术发展概况	23
1.6.1 通信发展简史	23
1.6.2 数字通信技术	24
习题	25
第 2 章 信源编码理论	28
2.1 波形编码理论	28
2.1.1 信源的数学模型	28
2.1.2 离散信源编码	29
2.1.3 模拟信源编码	39
2.2 时域波形编码	52
2.2.1 脉冲编码调制(PCM)	53
2.2.2 差分脉冲编码调制(DPCM)	55
2.2.3 自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)	57
2.2.4 增量调制(ΔM)	59
2.3 频域波形编码	61
2.3.1 子带编码(SBC)	61

2.3.2 自适应变换编码(ATC)	62
2.4 参数编码	62
2.4.1 语音产生过程的物理模型	62
2.4.2 线性预测编码(LPC)	63
2.4.3 长期预测的规则码激励(RPE-LTP)的LPC编/解码器	65
2.4.4 码激励线性预测编码(CELP)	66
2.4.5 矢量和激励线性预测编码(VSELP)	67
2.5 图像压缩编码	69
2.5.1 图像信号的分析	69
2.5.2 图像压缩编码	75
2.5.3 图像的变换编码	79
2.5.4 图像压缩的标准	82
2.6 数据通信和数据加密编码	84
2.6.1 数据通信	84
2.6.2 传统加密技术	88
2.6.3 数据加密标准	90
2.6.4 公开密钥密码体制	91
习题	95

第3章 现代传输理论	99
3.1 基带传输理论	99
3.1.1 数字基带传输	99
3.1.2 无码间串扰的奈奎斯特第一准则	107
3.1.3 部分响应技术	113
3.1.4 现代均衡技术	117
3.2 频带传输理论	123
3.2.1 调制与解调原理	123
3.2.2 二进制数字调制系统	127
3.2.3 多进制数字调制系统	135
3.2.4 改进的数字调制方式	145
3.2.5 正交频分复用	159
3.3 数据传输	162
3.3.1 数据传输模式	162
3.3.2 数据序列的扰码与解扰	165
3.3.3 调制解调器(Modem)	169
3.3.4 数字数据传输(DDN)	176
3.3.5 数字数据传输实例	182
3.4 图像传输	185
3.4.1 对图像信号模拟传输的要求	185
3.4.2 图像信号的传输方式	189
3.5 信号空间方法和最佳接收理论	196
3.5.1 数字信号接收的统计表述	196
3.5.2 数字信号传输的信号空间方法	197

3.5.3 数字信号最佳接收	200
习题	206
第4章 时分复用与数字复接技术	212
4.1 复用	212
4.2 时分复用(TDM)	212
4.2.1 TDM 系统原理	212
4.2.2 PCM 基群帧结构及终端设备	214
4.2.3 数字复接系列	217
4.3 数字复接技术	218
4.3.1 PCM 复用与数字复接	218
4.3.2 数字复接设备及复接等级	219
4.3.3 PCM 二次群异步复接	220
4.3.4 同步数字系列(SDH)简介	222
习题	225
第5章 同步原理	226
5.1 概述	226
5.2 数字调制系统的载波同步原理	227
5.2.1 非线性变换法(直接法)	228
5.2.2 插入导频法	233
5.3 数字基带系统的位同步原理	234
5.3.1 接收滤波器输出信号的频谱	234
5.3.2 滤波法	234
5.3.3 锁相环法	235
5.3.4 位同步器的性能指标	239
5.4 帧同步原理	241
5.4.1 帧同步码插入方法	241
5.4.2 集中插入式帧同步器的工作原理	242
5.4.3 集中插入式帧同步器的性能指标	248
5.5 网同步方式	249
5.5.1 主从同步方式	249
5.5.2 相互同步方式	249
5.5.3 独立时钟同步方式	250
习题	251
第6章 信道编码理论	253
6.1 概述	253
6.1.1 信道编码的基本概念	253
6.1.2 差错控制工作方式	254
6.1.3 差错控制编码的分类	256
6.1.4 差错控制编码的基本原理	256

6.1.5 最大似然译码准则	258
6.2 分组编码	258
6.2.1 基本概念	258
6.2.2 线性分组码	265
6.2.3 循环码	275
6.2.4 汉明码	280
6.2.5 BCH 码	286
6.3 卷积码	292
6.3.1 卷积码的编码及描述	293
6.3.2 卷积码的译码	296
6.4 级联码	300
6.4.1 串行级联码	300
6.4.2 级联码的迭代译码	302
6.5 Turbo 码	302
6.5.1 基本概念	302
6.5.2 Turbo 码编解码原理	303
6.5.3 Turbo 码的性能	305
6.6 网格编码调制(TCM)	307
6.6.1 TCM 的基本原理	308
6.6.2 TCM 编码器	308
习题	310
第7章 扩频通信原理	313
7.1 概述	313
7.2 扩频数字通信系统的模型	314
7.3 直接序列扩频通信系统	315
7.3.1 直扩系统原理	315
7.3.2 抗人为干扰能力	320
7.3.3 抗多径干扰能力	321
7.3.4 多址能力	322
7.4 跳频通信系统	323
7.4.1 扩频与解扩	323
7.4.2 抗噪性能	324
7.5 PN 序列的生成	326
7.5.1 扩频码的生成及特性	326
7.5.2 m 序列	326
7.5.3 Gold 序列	328
7.5.4 跳频序列	328
7.6 扩频系统的同步	330
7.6.1 直扩系统扩频码的捕捉与跟踪	330
7.6.2 跳频系统扩频码的捕捉与跟踪	332
习题	333

第 8 章 现代通信系统仿真实验	334
8.1 概述	334
8.2 随机过程	335
8.3 采样定理	338
8.4 脉冲编码调制	341
8.5 数字基带传输	347
8.6 数字频带传输	351
8.7 信道编码	354
8.7.1 线性分组码	354
8.7.2 卷积码	356
8.8 扩频通信系统	358
习题	362
参考文献	363

第 1 章 通信系统导论

通信是一门古老而又年轻的学科。说它古老，是因为进入人类社会以来就有通信；说它年轻，是因为它至今仍在蓬勃发展，而且展现出无限的前景。当今世界已进入信息时代，通信已渗透到社会的各个领域，通信产品随处可见。通信已成为现代文明的标志之一，它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。

通信按照传统的理解就是信息的传输和交换。克服距离上的障碍，迅速而准确地传递信息，是通信的任务。通信学科就是研究如何有效、可靠地把消息从一地传递到另一地的一门科学。

本章主要介绍通信和通信系统的基本概念，通信系统的分类及组成，通信信道及随机过程，衡量通信系统的主要性能指标，以及数字通信涉及的主要技术等。

1.1 通信的基本概念和通信系统的基本模型

通信(communication)是指把消息从一地有效地传递到另一地，即消息传递的全过程。例如把地点 A 的消息传送到地点 B，或者把地点 A 和地点 B 的消息作双向传输。消息的表达形式有语言、文字、图像、数据等。古代的“消息树”、“烽火台”和现代仍使用的“信号灯”等就是利用不同方式传递消息的，都属通信之列。

实现通信的方式很多，目前使用最广泛的是电通信方式，即用电信号携带所要传递的消息，经过各种电信道进行传输，达到通信的目的。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。如今，自然科学领域涉及“通信”这一术语时，一般指的就是电通信(包括光通信)。

以两个人之间的对话这种最简单的通信方式为例，说明通信系统所包括的最基本的部分。讲话是利用声音来传递消息的一种方式，发话人是消息的来源，称为信源；语音通过空气传到对方，而传递消息的媒质称为信道，信道中一定会不可避免地存在噪声；听话者听到后获得消息，是消息的归宿，称为信宿。这样就完成了消息的传递，也就构成了最简单的通信系统，这个过程如图 1.1 所示。

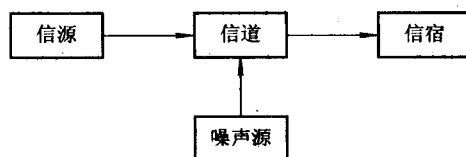


图 1.1 简单通信系统框图

实际上,基本的点对点通信,均是把发送端的消息传递到接收端。因而,这种通信系统可由图 1.2 所示的模型加以概括。图中,信源(也称发端)的作用是把各种可能消息转换成原始电信号。发送设备对原始信号完成某种变换,使原始电信号适合在信道中传输。信道是指信号传输的通道,提供了信源与信宿之间在电气上的联系。在接收端,接收设备的功能与发送设备的相反,它能从来自信道的各种传输信号和噪声中恢复出相应的原始电信号。信宿(也称收端)是将复原的原始电信号转换成相应的消息。图中的噪声源是信道中的噪声以及分散在通信系统其他各处的噪声的集中表示,它不是人们有意加入的设备,而是不可避免的现象。通信系统设计的主要任务就是同噪声做斗争。

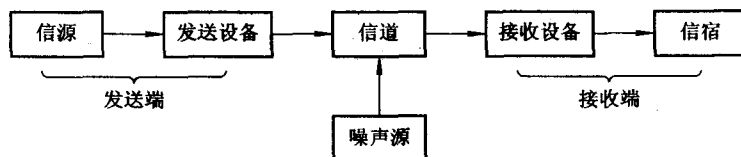


图 1.2 通信系统的基本模型

上述模型概括地反映了通信系统的共性。根据不同问题,研究时将会使用不同形式的、较具体的通信系统模型。现代通信理论的讨论就是围绕通信系统的模型而展开的。

1.2 通信系统的分类及基本组成

1.2.1 通信系统的分类

随着通信技术的发展,通信的内容和形式越来越丰富,通信的种类层出不穷。常见的分类法有如下几种:

(1) 按通信业务不同,通信系统可分为电报、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。

(2) 按调制方式不同,通信系统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,收端有相应解调措施的通信系统。

(3) 按信号的特征,信道中传送的信号可分为数字信号和模拟信号,因此通信可分为数字通信和模拟通信。凡某一参量(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信号,称为模拟信号。模拟信号有时也称连续信号,它是指信号的某一参量可以连续变化(即可以取无限多个值),但不一定在时间上也连续。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信号,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,但不一定在时间上也离散。

(4) 按传输媒质不同,通信可分为有线通信和无线通信。有线通信是指传输媒质为明线、电缆、光缆等形式的通信,其特点是媒质能看得见,摸得着。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。无线通信是指传输消息的媒质为看不见、摸不着(如电磁波)的一种通信形式。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。

(5) 按工作频段不同,通信通常可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。

(6) 通信还有其他一些分类方法,如按信号复用方式可分为 FDM、TDM、CDM 等;按通信网络可分为专线通信和网通信等;按受信者是否运动可分为移动通信和固定通信等;按通信方式可分为单工、单双工、双工通信等。

1.2.2 数字通信系统的基本组成

相对于模拟通信系统而言,数字通信系统有如下优点:

(1) 抗干扰、抗噪声能力强,无噪声积累。因为在数字通信系统中,传输的信号是数字信号。以二进制为例,信号的取值只有两个,这样发送端传输的和接收端需要接收及判决的电平也只有两个值:0 和 1。若“1”码时取值为 A,“0”码时取值为 0。传输过程中由于信道噪声的影响,必然会使波形失真。在接收端恢复信号时,首先对其进行抽样判决,才能确定是“1”码还是“0”码,并再生“1”、“0”码的波形。因此,只要不影响判决的正确性,即使波形有失真也不会影响再生后的信号波形。而在模拟通信中,当模拟信号叠加上噪声后,即使噪声很小,也很难消除它。

数字通信抗噪声性能好还表现在微波中继通信时,它可以消除噪声积累。这是因为数字信号在每次再生后,只要不发生错码,它仍然像信源中发出的信号一样,没有噪声叠加在上面。因此中继站再多,数字通信仍具有良好的通信质量。而模拟通信中继时,只能增加信号能量(对信号放大),却不能消除噪声。

(2) 便于加密处理,保密性强。数字信号与模拟信号相比,它容易加密和解密。

(3) 差错可控。数字信号在传输过程中出现的错误(差错),可通过纠错编码技术来控制。

(4) 利用现代技术,便于对信息进行处理、存储、交换。由于计算机技术、数字存储技术、数字交换技术以及数字处理技术等现代技术飞速发展,许多设备、终端接口均是数字信号,因此极易与数字通信系统相连接。正因为如此,数字通信才得以高速发展。

(5) 便于集成化,使通信设备微型化。

但是,数字通信相对于模拟通信系统来说,还有以下两个缺点:

(1) 数字信号占用的频带宽。以电话为例,一路数字电话一般要占据约 20~64 kHz 的带宽,而一路模拟电话仅占用约 4 kHz 的带宽。如果系统传输带宽一定的话,模拟电话的频带利用率要高出数字电话 5~15 倍。

(2) 对同步要求高,系统设备比较复杂。在数字通信中,要准确地恢复信号,必须要求收端和发端保持严格同步,因此数字通信系统及设备一般都比较复杂,体积较大。

随着数字集成技术的发展,各种中、大规模集成器件的体积不断减小,加上数字压缩技术的不断完善,数字通信设备的体积将会越来越小。随着科学技术的不断发展,数字通信的两个缺点也越来越显得不重要了。

实践表明,数字通信是现代通信的发展方向。下面以数字通信系统为主,介绍通信系统的基本理论。

图 1.3 显示了数字通信系统的功能框图和基本组成部分。信源输出的可以是模拟信号(如音频或视频信号),也可以是数字信号(如电传机的输出)。该信号在时间上是离散的,并且具有有限个输出字符。在数字通信系统中,由信源产生的消息被转换成二进制数字序列,理论上,应当用尽可能少的二进制数字表示信源输出(消息)。换句话说,我们要寻求一种信源输出的有效的表示方法,使其很少产生或不产生冗余。将模拟或数字信源的输出有效地转换成二进制数字序列的处理过程称为信源编码或数据压缩。

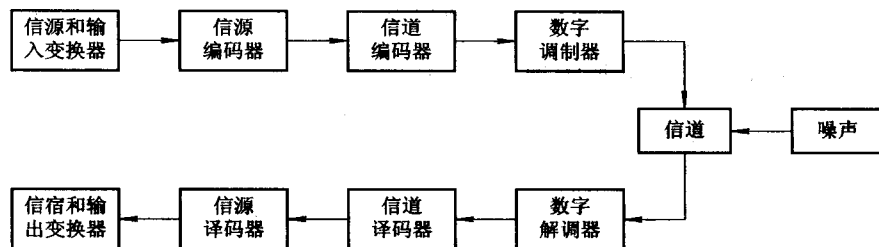


图 1.3 数字通信系统的基本组成

由信源编码器输出的二进制数字序列称为信息序列,它被传送到信道编码器。信道编码器的目的是在二进制信息序列中以受控的方式引入一些冗余,以便于在接收机中用来克服信号在信道中传输时所遭受的噪声和干扰的影响。因此,所增加的冗余是用来提高接收数据的可靠性以及改善接收信号的逼真度的。实际上,信息序列中的冗余有助于接收机译出期望的信息序列。

信道编码器输出的二进制序列送至数字调制器,它是通信信道的接口。因为在实际中遇到的几乎所有的通信信道都能够传输电信号(波形),所以数字调制的主要目的是将二进制信息序列映射成适应在信道中传输的信号波形。数字调制可以是二进制调制,也可以是多进制调制。

通信信道是用来将发送机的信号发送给接收机的物理媒质。在无线传输中,信道可以是大气(自由空间)。另一方面,电话信道通常使用各种各样的物理媒质,包括有线线路、光缆和无线(微波)等。无论用什么物理媒质来传输信息,其基本特点是发送信号随机地受到各种可能机理的恶化,例如由电子器件产生的加性热噪声、人为噪声(如汽车点火噪声)及大气噪声(如在雷雨时的雷鸣)。

在数字通信系统的接收端,数字解调器对受到信道恶化的发送波形进行处理,并将该波还原成一个数字序列,该序列表示发送数据符号的估计值(二进制或 M 元)。这个数字序列被送至信道译码器,它根据信道编码器所用的关于码的知识及接收数据所含的冗余度重构原始的信息序列。

解调器和译码器工作性能好坏的一个度量是译码序列中发生差错的频度。更准确地说,在译码器输出端的平均比特错误概率是解调器、译码器组合性能的一个度量。一般地,错误概率是下列各种因素的函数:码特征、用来在信道上传输信息的波形的类型、发送功率、信道的特征(即噪声的大小、干扰的性质等)以及解调和译码的方法。

当需要模拟输出时,信源译码器从信道译码器接收其输出序列,并根据所采用的信源