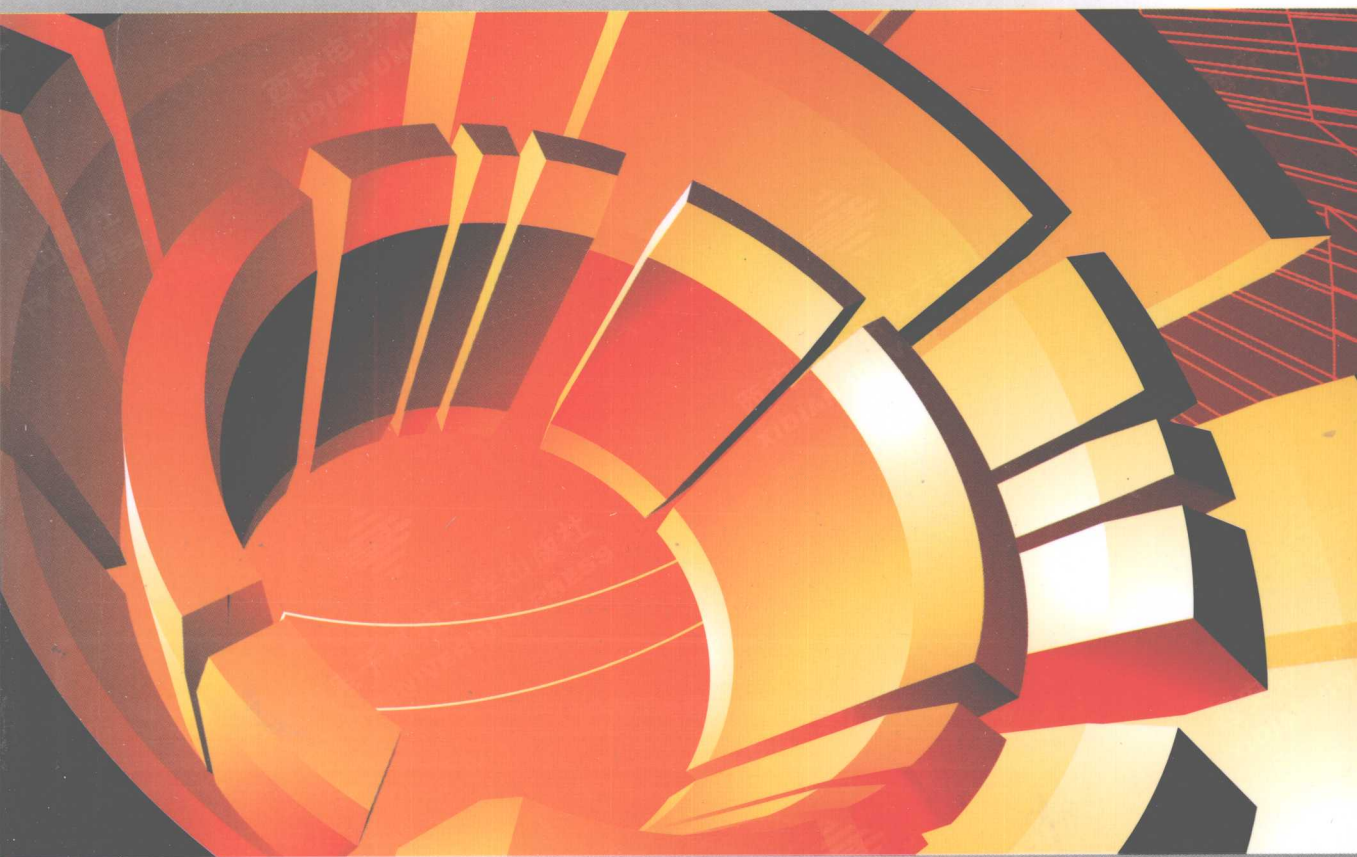


- 中国高等职业技术教育研究会推荐
- 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

数字通信原理

主 编 江 力
主 审 强世锦



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

数字通信原理

主编 江 力

参编 蔡凤丽 陈 昕

刘新永 郭新军

主审 强世锦

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书全面介绍数字通信的基础理论及相关技术。全书内容共分8章,包括通信的基本概念、数字通信系统中常用的调制与解调技术、信源编码与信道编码技术、多路信号复用与多址技术以及最佳接收问题和同步技术。

本书注重体现职业教育的特色,力求做到概念清晰、内容简洁、通俗易懂;在内容的选择方面侧重系统的工作原理和基本分析方法,注重应用,突出数字通信技术的核心内容的阐述。

本书可作为高职高专电子、通信类专业数字通信课程的教材,还可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字通信原理/江力主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2009.1

中国高等职业技术教育研究会推荐. 高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2142-5

I. 数… II. 江… III. 数字通信—高等学校:技术学校—教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 157964 号

策 划 张 媛

责任编辑 段 蕾 张 媛

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

网 址: www.xduph.com 电子邮箱: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 16

字 数 371千字

印 数 1~4000册

定 价 22.00元

ISBN 978-7-5606-2142-5/TN·0469

XDUP 2434001-1

*** 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。

序

进入 21 世纪以来,高等职业教育呈现出快速发展的形势。高等职业教育的发展,丰富了高等教育的体系结构,突出了高等职业教育的类型特色,顺应了人民群众接受高等教育的强烈需求,为现代化建设培养了大量高素质技能型专门人才,对高等教育大众化作出了重要贡献。目前,高等职业教育在我国社会主义现代化建设事业中发挥着越来越重要的作用。

教育部 2006 年下发了《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》,其中提出了深化教育教学改革,重视内涵建设,促进“工学结合”人才培养模式改革,推进整体办学水平提升,形成结构合理、功能完善、质量优良、特色鲜明的高等职业教育体系的任务要求。

根据新的发展要求,高等职业院校积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位群任职要求,参照相关职业资格标准,改革课程体系和教学内容,建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量,不断更新教学内容,而实施具有工学结合特色的教材建设是推进高等职业教育改革发展的重要任务。

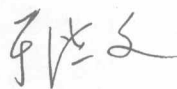
为配合教育部实施质量工程,解决当前高职高专精品教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会在前三轮联合策划、组织编写“计算机、通信电子、机电及汽车类专业”系列高职高专教材共 160 余种的基础上,又联合策划、组织编写了新一轮“计算机、通信、电子类”专业系列高职高专教材共 120 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取在教育部精品专业或示范性专业的高职高专院校中公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材以满足职业岗位需求为目标,以培养学生的应用技能为着力点,在教材的编写中结合任务驱动、项目导向的教学方式,力求在新颖性、实用性、可读性三个方面有所突破,体现高职高专教材的特点。已出版的第一轮教材共 36 种,2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材奖。第二轮教材共 60 余种,在 2004 年已全部出齐,有的教材出版一年多的时间里就重印 4 次,反映了市场对优秀专业教材的需求。前两轮教材中有十几种入选国家“十一五”规划教材。第三轮教材 2007 年 8 月之前全部出齐。本轮教材预计 2008 年全部出齐,相信也会成为系列精品教材。

教材建设是高职高专院校教学基本建设的一项重要工作。多年来,高职高专院校十分重视教材建设,组织教师参加教材编写,为高职高专教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职高专教材的建设起步时间不长,还需要与行业企业合作,通过共同努力,出版一大批符合培养高素质技能型专门人才要求的特色教材。

我们殷切希望广大从事高职高专教育的教师,面向市场,服务需求,为形成具有中国特色和高职教育特点的高职高专教材体系作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

2007 年 6 月



高职高专电子、通信类专业“十一五”规划教材

编审专家委员会名单

主 任：温希东（深圳职业技术学院副校长 教授）

副主任：马晓明（深圳职业技术学院通信工程系主任 教授）

余 华（武汉船舶职业技术学院电子电气工程系主任 副教授）

电子组 组 长：余 华(兼)（成员按姓氏笔画排列）

于宝明（南京信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副研究员）

马建如（常州信息职业技术学院电子信息工程系副主任 副教授）

刘 科（苏州职业大学信息工程系 副教授）

刘守义（深圳职业技术学院 教授）

许秀林（南通职业大学电子系副主任 副教授）

高恭嫻（南京信息职业技术学院电子信息工程系 副教授）

余红娟（金华职业技术学院电子系主任 副教授）

宋 烨（长沙航空职业技术学院 副教授）

李思政（淮安信息职业技术学院电子工程系主任 讲师）

苏家健（上海第二工业大学电子电气工程学院 教授）

张宗平（深圳信息职业技术学院电子通信技术系 高级工程师）

陈传军（金陵科技学院电子系主任 副教授）

姚建永（武汉职业技术学院电信学院院长 副教授）

徐丽萍（南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师）

涂用军（广东科学技术职业学院机电学院副院长 副教授）

郭再泉（无锡职业技术学院自动控制与电子工程系主任 副教授）

曹光跃（安徽电子信息职业技术学院电子工程系主任 副教授）

梁长垠（深圳职业技术学院电子工程系 副教授）

通信组 组 长：马晓明(兼)（成员按姓氏笔画排列）

王巧明（广东邮电职业技术学院通信工程系主任 副教授）

江 力（安徽电子信息职业技术学院信息工程系主任 副教授）

余 华（南京信息职业技术学院通信工程系 副教授）

吴 永（广东科学技术职业学院电子系 高级工程师）

张立中（常州信息职业技术学院 高级工程师）

李立高（长沙通信职业技术学院 副教授）

林植平（南京工业职业技术学院电气与自动化系 高级工程师）

杨 俊（武汉职业技术学院通信工程系主任 副教授）

俞兴明（苏州职业大学电子信息工程系 副教授）

项目策划 马乐惠

策 划 张 媛 薛 媛 张晓燕

前 言

本教材是根据教育部高职高专院校教育的指导思想,由西安电子科技大学出版社组织出版的,可作为高职高专院校通信与信息类及相近专业的数字通信课教材。

考虑到高职学生的基础和学习能力现状,本教材在保持一定的理论分析深度的基础上,尽可能地简化数学分析过程,突出对概念和新技术的介绍。主要内容的选取具有针对性和实用性,尽可能体现现有通信系统中采用的新技术、新方法和新体制。书稿的编写以培养应用技术型人才为目标,突出基本技能训练,大部分章节之后都有相应的实验要求,对该章内容进行训练,加强理论与实际的联系,培养学生解决问题的能力。

全书共8章,主要介绍数字通信系统的基本原理,包括通信的基本概念、数字通信系统中常用的调制与解调技术、信源编码与信道编码技术、多路信号复用与多址技术、最佳接收问题以及同步技术,简要介绍信息论的基本概念。教材在内容的选择上力求既能适应当前通信发展的现状,又能很好地跟踪未来通信发展的新动向。本教材既可作为通信、电子信息类专业的教学用书,也可作为计算机网络通信、数据通信等相关专业课程的教学用书,还可作为工程技术人员的参考用书。

安徽电子信息职业技术学院江力老师担任本书主编,并编写第3、5、8章及附录;蔡凤丽老师编写第2、6章;陈昕老师编写第4、7章;刘新永老师编写第1章;河南工程学院郭新军老师参与了部分章节的编写,全书由江力老师统稿,由武汉职业技术学院强世锦老师担任主审。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,欢迎专家和读者批评指正。

编 者

2008年9月

目 录

第 1 章 绪论 1

1.1 通信的基本概念与通信系统 1

1.1.1 通信的定义 1

1.1.2 通信系统的组成与分类 2

1.1.3 通信的方式 8

1.1.4 数字通信系统的主要性能指标 10

1.2 信息及信息的度量 12

1.2.1 消息的统计特性及信息量单位 12

1.2.2 离散信源的信息量 13

1.2.3 离散信源的平均信息量 14

1.2.4 连续信源的平均信息量 14

1.3 信道容量及香农公式 15

1.4 通信实验常用仪器设备的使用 15

一、实验目的 15

二、实验器材 16

三、实验原理 16

四、实验步骤 17

五、实验结论及报告要求 18

本章小结 18

思考与练习 19

第 2 章 模拟信号数字化与信源编码 20

2.1 抽样定理 20

2.1.1 低通信号的抽样定理 20

2.1.2 带通信号的抽样定理 23

2.2 模拟信号的量化 24

2.2.1 均匀量化 24

2.2.2 非均匀量化 27

2.2.3 A 律 13 折线压扩技术 29

2.3 脉冲编码调制(PCM) 30

2.3.1 PCM 编码的基本概念 30

2.3.2 码型及码位安排 31

2.3.3 A 律 13 折线特性 PCM 编码 33

2.3.4 逐次反馈型 PCM 编码器 36

2.3.5 PCM 解码器 37

2.4 差分脉冲编码调制 DPCM 40

2.4.1 差分脉冲编码调制 DPCM 的

基本概念 40

2.4.2 DPCM 的编码、解码过程 40

2.4.3 DPCM 的性能分析 43

2.4.4 ADPCM 的基本原理 44

2.5 增量调制(ΔM 或 DM) 46

2.5.1 增量调制原理 47

2.5.2 增量调制的量化噪声 48

2.5.3 连续可变斜率增量调制(CVSD) 50

2.6 PAM、PCM、CVSD、ADPCM 的

调制与解调实验 50

2.6.1 PAM 的调制与解调实验 50

一、实验目的 50

二、实验器材 51

三、实验原理 51

四、实验步骤 52

五、实验结论及报告要求 52

2.6.2 PCM 的调制与解调实验 53

一、实验目的 53

二、实验器材 53

三、实验原理 53

四、实验步骤 55

五、实验结论及报告要求 55

2.6.3 增量调制与解调实验 55

一、实验目的 55

二、实验器材 56

三、实验原理 56

四、实验步骤 59

五、实验结论及报告要求 60

2.6.4 ADPCM 调制与解调实验 60

一、实验目的 60

二、实验器材 60

三、实验原理 60

四、实验步骤 61

五、实验结论及报告要求 61

本章小结 61

思考与练习 62

第3章 数字信号的基带传输	64	4.2.2 二进制频移键控(2FSK)	101
3.1 数字基带信号	64	4.2.3 二进制绝对相移键控(2PSK)	104
3.1.1 数字基带信号的波形	64	4.2.4 二进制相对相移键控(2DPSK)	107
3.1.2 数字基带信号的频谱特征	66	4.3 多进制数字调制系统	109
3.2 基带传输的基本理论与常用码型	67	4.3.1 MASK 系统	110
3.2.1 基带传输的常用码型	67	4.3.2 MFSK 系统	111
3.2.2 基带信号传输与码间干扰	69	4.3.3 MPSK 系统	112
3.2.3 数字信号传输的基本准则	71	4.3.4 多进制数字调制系统性能分析	121
3.2.4 滚降特性	72	4.4 其它数字调制	122
3.3 扰码与解扰	73	4.4.1 恒包络调制 MSK 与 GMSK 调制	122
3.3.1 m 序列的产生和性质	73	4.4.2 正交振幅调制(QAM)	127
3.3.2 扰码与解扰的原理	76	4.4.3 其它多元调制方式	131
3.4 数字基带传输系统及其误码率	78	4.5 数字调制与解调实验	132
3.4.1 数字基带传输系统的结构	78	4.5.1 2ASK、2FSK、2DPSK 调制与 解调实验	132
3.4.2 升余弦滚降特性	78	一、实验目的	132
3.4.3 误码率及一般公式	80	二、实验器材	132
3.5 部分响应系统	82	三、实验原理	133
3.5.1 部分响应系统的概念	82	四、实验步骤	134
3.5.2 部分响应系统波形与频谱	83	五、实验结论及报告要求	135
3.6 再生中继传输	86	4.5.2 MSK、GMSK 调制与解调 实验	135
3.6.1 再生中继传输的作用	86	一、实验目的	135
3.6.2 再生中继传输系统	88	二、实验器材	136
3.6.3 再生中继器	88	三、实验原理	136
3.7 眼图和均衡	90	四、实验步骤	137
3.7.1 眼图	90	五、实验结论及报告要求	140
3.7.2 均衡	92	4.5.3 QPSK、OQPSK、DQPSK、 $\pi/4$ -DQPSK 调制与解调实验	140
3.8 码型变换实验	94	一、实验目的	140
一、实验目的	94	二、实验器材	140
二、实验器材	94	三、实验原理	140
三、实验原理	94	四、实验步骤	142
四、实验步骤	95	五、实验结论及报告要求	145
五、实验结论及报告要求	96	本章小结	145
本章小结	96	思考与练习	146
思考与练习	96		
第4章 数字信号的频带传输	98	第5章 信道编码技术	147
4.1 调制的基本概念	98	5.1 信道编码与差错控制	147
4.1.1 调制的定义	98	5.1.1 信道编码的基本概念	147
4.1.2 调制的功能	98	5.1.2 差错控制编码的基本思想	147
4.1.3 调制的分类	98	5.1.3 差错控制方式	148
4.2 二进制数字调制	99		
4.2.1 二进制幅移键控(2ASK)	99		

5.1.4 差错控制编码的分类	149	二、实验器材	180
5.2 几种简单的差错控制编码	149	三、实验原理	180
5.2.1 码长、码重与码距	149	四、实验步骤	181
5.2.2 纠/检错能力与最小码距的关系	150	五、实验结论及报告要求	182
5.2.3 奇偶监督码	150	6.6.2 信道模拟实验	182
5.2.4 水平奇偶监督码	151	一、实验目的	182
5.2.5 水平垂直奇偶监督码	151	二、实验器材	182
5.2.6 群计数码	152	三、实验原理	183
5.3 线性分组码	152	四、实验步骤	183
5.3.1 线性分组码的定义与性质	152	五、实验结论及报告要求	185
5.3.2 几种典型的线性分组码	154	6.6.3 直接扩频与 CDMA 实验	185
5.4 循环码	155	一、实验目的	185
5.4.1 循环码的定义与性质	155	二、实验器材	185
5.4.2 循环码的编码原理	155	三、实验原理	185
5.4.3 循环码的译码	156	四、实验步骤	187
本章小结	158	五、实验结论及报告要求	188
思考与练习	158	本章小结	188
第 6 章 信道复用与多址技术	160	思考与练习	189
6.1 多路复用与多址技术概述	160	第 7 章 同步原理	190
6.1.1 信道的定义及分类	160	7.1 载波同步	191
6.1.2 多路复用与多址技术的基本原理及特点	161	7.1.1 直接提取法	191
6.2 多址通信方式	164	7.1.2 插入导频法	193
6.2.1 频分多址(FDMA)方式	164	7.1.3 载波同步系统的性能指标	195
6.2.2 时分多址(TDMA)方式	165	7.1.4 载波相位误差对解调性能的影响	195
6.2.3 码分多址(CDMA)方式	166	7.2 位同步	196
6.2.4 混合多址方式	167	7.2.1 外同步法	196
6.3 码分多址方式	168	7.2.2 自同步法	198
6.3.1 码分多址技术的特点	168	7.2.3 位同步系统的性能指标	200
6.3.2 直接扩频码分多址	169	7.3 帧同步	201
6.3.3 跳频码分多址	170	7.3.1 连贯式插入法	202
6.4 数字复接原理	171	7.3.2 间隔式插入法	203
6.4.1 数字复接的基本概念	171	7.3.3 帧同步的保护	204
6.4.2 数字信号的同步复接	175	7.3.4 帧同步系统的性能指标	206
6.4.3 数字信号的异步复接	176	7.4 网同步	206
6.5 CCITT 基群复接系统	176	7.4.1 准同步方式	207
6.5.1 PCM30/32 路基群复接系统	177	7.4.2 主从同步方式	208
6.5.2 PCM24 路基群复接系统	179	7.4.3 相互同步方式	209
6.6 时分复用、信道模拟与扩频实验	179	7.4.4 网同步等级划分及性能指标	210
6.6.1 时分复用与解复用实验	179	7.5 同步信号提取及载波提取实验	211
一、实验目的	179	7.5.1 同步信号提取实验	211
		一、实验目的	211

二、实验器材	211
三、实验原理	211
四、实验步骤	215
五、实验结论及报告要求	215
7.5.2 同步载波提取实验	215
一、实验目的	215
二、实验器材	215
三、实验原理	216
四、实验步骤	217
五、实验结论及报告要求	218
本章小结	218
思考与练习	218

第8章 数字信号的最佳接收 220

8.1 数字信号最佳接收的基本概念和准则	220
----------------------------	-----

8.1.1 数字信号最佳接收的基本概念	220
8.1.2 最佳接收准则	221
8.1.3 确知信号的最佳接收	223
8.1.4 随相信号的最佳接收	225
8.1.5 起伏信号的最佳接收	227
8.2 匹配滤波器	228
8.3 最佳基带传输系统	231
本章小结	232
思考与练习	232

附录一 实验模块输入、输出点参考说明	234
--------------------------	-----

附录二 英文缩写名词对照表	240
---------------------	-----

参考文献	244
------------	-----

第1章 绪论



本章重点及难点

- ◆ 通信的定义和通信方式
- ◆ 数字通信系统的组成及分类
- ◆ 信息的度量方法
- ◆ 数字通信系统的主要性能指标
- ◆ 信道容量的计算及香农公式

通信特别是数字通信已经成为现代信息社会的一个重要标志。本章内容从通信的基本概念入手,讨论通信系统的组成、分类、信息的度量方法、衡量通信系统的性能指标及信道容量的计算方法。

1.1 通信的基本概念与通信系统

人类社会建立在信息交流的基础上,人类社会的信息化离不开信息的传输,通信是信息传输的重要手段,是推动人类社会文明、进步与发展的巨大动力。我们把信息传递的整个过程称为通信。所以,从传统意义上说,通信就是克服距离上的障碍,迅速而准确地进行信息的传输与交换。现阶段,通信已成为现代文明的标志之一,对人们的日常生活和社会活动及发展起着日益重要的作用。

1.1.1 通信的定义

通信的目的是传输含有信息的信息,而信息通常是转变为电信号进行传输的,所以在了解通信的基本概念之前,首先要弄清楚消息、信息、信号的概念以及三者之间的关系。

1. 消息

消息是客观物质运动或主观思维活动状态的一种反映,它通过语言、文字、图像、数据等不同的形式具体描述。消息可分为离散消息和连续消息。离散消息中元素之间的差异明显,并且有界可数,主要特点是状态离散。例如文字、符号和数字。连续消息中消息的数目无穷多,相邻元素的差异很小。例如语音、连续图像等。

2. 信息

信息是消息的有效内容,不同的消息可以有相同的内容。人们在得到消息之前对它的内容不确定,信息就是对消息的这种“不确定性”的定量描述。信息在概念上与消息的意义相似,但它的含义更普遍化、抽象化。信息可被理解为消息中包含的有意义的内容。这就是说,相同的信息可以以不同形式的消息来传输。例如,分别用话音和文字发送的天气预报,所含的信息内容相同。传输信息内容的多少用“信息量”来衡量。

3. 信号

信号是传输消息的媒介,通信系统中传输的是信号。信号是由消息转换成的适合于在信道中传输的物理量,信号是消息的载荷者。因为消息不适合于在信道中直接传输,所以需将其转换成适合在信道中传输的信号。信号可以分为连续时间信号和离散时间信号两类。连续时间信号的幅值可以是连续的,也可以是离散的(信号含有不连续的间断点即属于此类)。信号也可以分为数字信号和模拟信号,时间和幅值都为连续值的信号称为模拟信号,时间离散幅值也离散的信号称为数字信号。如图 1-1(a)所示为模拟信号,图 1-1(b)所示为数字信号。

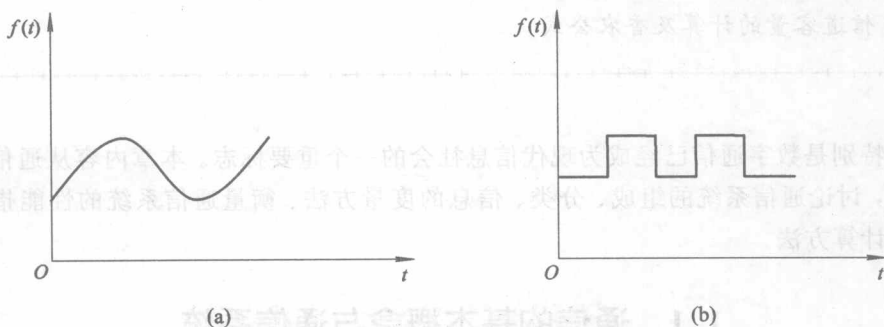


图 1-1 两种信号的比较

4. 三者的关系

在通信过程中,消息是通过电信号来传输的。由于消息不便于直接向远处传输,因此常将它转变为适合于在信道中传输的物理量。也就是说,通信的任务是传递信息,信息包含在消息当中。在通信系统中传输的是消息,但实质上传输的是信息。消息是信息的载荷者。信号与消息是相对应的,因而在信号中也就包含了所要传递的信息。而信息的度量与消息的“不确定性”的程度有直接关系。

综上所述,了解了消息、信息、信号三者之间的关系,我们就了解了通信的具体含义。从传统上说,通信就是指克服距离上的障碍进行的信息的传输与交换,从本质上讲就是实现信息传递的一门科学技术,它要将有用的信息无失真、高效率地进行传输,同时还要在传输过程中将各种无用信息抑制掉。另外,当今的通信还要有存储数据、处理数据、采集数据及显示等功能,通信已成为信息科学技术的一个重要组成部分。

1.1.2 通信系统的组成与分类

通信是将消息从发信者传输给接收者的过程,这个传输过程需要通信系统来完成。所谓通信系统,就是完成通信过程所需要的一切技术设备的总称。

1. 通信系统的组成

无论哪种通信系统,都要完成从一地到另一地的信息传递或交换。在这样一个总的目的下可以把通信系统概括为一个统一的模型。

在通信过程中,首先要将语音、图像等一系列原始消息转变成电信号,因此在发送端要加入输入变换器,为了使变换器产生的电信号能适合于在信道中传输,在发送端还要有发送设备。在接收端要完成相反的过程,将接收到的电信号还原,因此接收设备和输出变换器也是必不可少的部分。由于信号在设备中以及信道中不可避免地要受到噪声的干扰,因此通常把所有可能产生的噪声归结到信道中。如图1-2所示为通信系统的一般模型。



图 1-2 通信系统的一般模型

通信系统形式多种多样,但总体来说包括图1-2所示的6部分,下面对图中各个方框进行说明。

1) 信源

信源是发出信息的源头,它的作用是把各种形式的消息转换成原始电信号。信源可分为模拟信源和数字信源。模拟信源输出幅度连续的模拟信号,如电话机、电视摄像机等;数字信源输出离散的数字信号,如电传机、计算机等数字终端设备。

2) 输入变换器

声音、图像等原始的消息不能直接向远处传输,需要通过变换器将原始的非电消息转换成模拟基带信号,并再对这种电信号进一步转换形式,使其转换成同样载有原有信息的适合在信道中传输的电信号,即进行调制、编码等。例如电话机的送话器就是将声音转换成幅度连续变化的电信号,再经进一步转换后送到信道上。

3) 信道

信道是指传输信号的通道。信道主要有两种,即有线信道和无线信道,有线信道和无线信道均有多种传输媒质。信道既是信号传输的通路,也对信号产生各种噪声和干扰。信道的固有特性及各种噪声和干扰直接关系到通信的质量。

4) 输出变换器

输出变换器的基本功能是完成输入变换器的反变换,它的任务是从接收到的带有干扰的信号中正确恢复出相应的原始信号,即进行解调、解码等。对于多路复用系统,接收设备还具有解除多路复用和实现正确分路的功能。

5) 信宿

信宿是信息传输的归宿,它的作用是将复原的原始电信号转换成具体的消息,即恢复成原始的声音、图像等各种形式的消息。

6) 噪声源

在通信系统中,信号在信道中传输时,不可避免地要受到噪声的影响。噪声的来源很

多,为了分析方便,我们一般把信道中的噪声以及分散在通信系统其它各处的噪声和各种干扰集中表示为噪声源。实际的通信系统中一般都要设置抗噪设备。

2. 通信系统的分类

通信过程中传输的消息多种多样,如声音、图像、文字、数据和符号等等。根据消息的形式不同、通信业务的种类不同、传输所用的媒介不同等,可将通信系统分成许多不同的种类,下面从六个不同的角度讨论通信系统的分类。

1) 按消息的物理特征分类

根据消息的物理特征的不同,通信系统可分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统以及图像通信系统等。由于电话通信网最发达、最普及,因此其它消息常常通过公共的电话通信网传送。例如,电报常通过电话信道传送,数据通信在远距离传输数据时也常常利用电话信道传送。在综合业务数据网中,各种类型的消息都在统一的通信网中传送。

2) 按信号的特征分类

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以把通信系统分成模拟通信系统与数字通信系统两类。信道中传输模拟信号的是模拟通信系统,传输数字信号的是数字通信系统。

3) 按传输媒介分类

按照传输媒介的不同,通信系统可分为有线通信(包括光纤通信)和无线通信两大类。为了使读者对通信中所使用的传输媒介有所了解,特将相关媒介及其主要用途列于表1-1中,供参考。

表 1-1 常用传输媒介及主要用途

频率范围	波长	符号	传输媒介	应 用
3 Hz~30 kHz	$10^8 \sim 10^4$ 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	$10^4 \sim 10^3$ 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	$10^3 \sim 10^2$ m	中频 MF	同轴电缆 中波无线电	调幅广播、陆地移动通信、业余无线电
3~30 MHz	$10^2 \sim 10$ 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	10~1 m	甚高频 VHF	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	100~10 cm	特高频 UHF	波导、分米波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
3~30 GHz	10~1 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	$1 \sim 3 \times 10^{-4}$ cm	极高频 EHF	波导、毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
$10^5 \sim 10^7$ GHz	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-6}$ cm	紫外线、红外线、可见光	光纤、激光空间传播	光通信

4) 按消息传送的方向与时间的关系分类

按照消息传送的方向与时间的关系,通信方式可分为单工通信方式、半双工通信方式及全双工通信方式(各种工作方式的工作原理在 1.1.3 节的内容中有相关介绍),所以通信系统可相应地分为单工通信系统、半双工通信系统及全双工通信系统。

5) 按调制方式分类

根据是否采用调制,可将通信系统分为基带传输和频带传输两种。基带传输是将未经调制的信号直接传输,如音频市内电话等;频带传输是对各种信号进行调制后再传输,所以也称为调制传输。调制的方式很多,常见的调制方式如表 1-2 所示,它们的原理在第 4 章的内容中将有详细的介绍。

表 1-2 常用的调制方式及应用

常见的调制方式			应 用
连续波调制	线性调制	普通双边带调制 AM	广播
		单边带调制 SSB	载波通信、短波无线电通信
		抑制载波双边带调制 DSB	立体声广播
		残留边带调制 VSB	电视广播、传真
	非线性调制	频率调制 FM	微波中继、卫星通信、广播
		相位调制 PM	中间调制方式
	数字调制	幅移键控 ASK	数据传输
		频移键控 FSK	数据传输
		相移键控 PSK、DPSK、QPSK 等	数据传输、数字微波、移动通信
		其它高效数字调制 QAM、MSK、GMSK 等	数字微波、空间通信
脉冲波调制	模拟脉冲调制	脉幅调制 PAM	中间调制方式、遥测
		脉宽调制 PDM	中间调制方式
		脉位调制 PPM	遥测、光纤通信
	数字脉冲调制	脉冲编码调制 PCM	市话中继、卫星通信、空间通信
		增量调制 ΔM	军用、民用数字电话
		差分脉冲编码调制 DPCM	电视电话、图像编码
		其它信源编码方式 ADPCM、APC 等	中速、低速数字电话

6) 按信号的复用方式分类

常用的信号复用方式有三种,即频分复用、时分复用和码分复用。频分复用是用频谱搬移的方法使不同的信号占据不同的频率范围;时分复用是用抽样或脉冲调制方法使不同的信号占据不同的时间区间;码分复用是用包含互相正交的码字的码组携带多路信号。关于信号的复用原理将在第 6 章的内容中详细介绍。频分复用常在传统的模拟通信中应用,时分复用通信系统大多应用于数字通信,而码分复用大多用于扩频通信系统中,如用于 CDMA 移动通信系统中。

3. 通信系统的模型和特点

1) 通信系统的模型

我们把信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统,把信道中传输数字信号的通信系统称为数字通信系统。模拟通信系统的组成可由一般通信系统模型略加改变而成,在一般通信系统模型中的发送设备和接收设备分别用调制器、解调器代替,目的主要是强调在模拟通信中调制和解调的作用,如图 1-3 所示。在此,我们重点介绍数字通信系统的组成。数字通信系统利用数字信号传递消息,其模型如图 1-4 所示。



图 1-3 模拟通信系统模型



图 1-4 数字通信系统模型

数字通信涉及的技术问题很多,其中有信源编解码、信道编解码、保密编解码、数字调制与解调、数字复接与同步等。另外,如果系统中不加调制器和解调器,我们称这样的系统为数字基带传输系统,如果有调制器和解调器,则称为数字频带传输系统。各个部分分别介绍如下。

(1) 信源编解码。数字通信的技术基础是模拟信号的数字化,一个声音或者图像信号,要想在信道中传输,首先要转变成模拟电信号,要想在数字通信系统中传输,首先要进行信源编码。信源编码的主要任务是:① 将模拟电信号转化为数字电信号,即模拟信号数字化(A/D 转换);② 尽量降低数字信号的传输数码率,也就是数据压缩编码技术。信源编码技术很大程度上是围绕压缩编码技术来展开的,以提高通信系统的性能。信源解码是信源编码的逆过程,它可以把接收端收到的数字信号还原成原来的模拟电信号(D/A 转换)。

(2) 信道编解码。信道环境很复杂,经过信源编码后的数字信号在信道传输过程中会受到各种各样的噪声与干扰,难免会发生差错。为了提高通信系统的抗干扰能力,尽可能地对传输过程中产生的差错进行控制,实现可靠通信,我们采用了差错控制编码,也称为信道编码。信道编码的基本过程是:在发送端被传输的信息序列上加上监督码元,这些冗余的码元与信息码元之间以某种确定的规则相互约束,接收端按照这个约束规则检验信息码之间的关系,一旦发生差错,这种约束关系将会被破坏,就可以发现甚至纠正错误。信道编码技术的具体内容在后面的第 5 章中有详细介绍。信道解码是信道编码的逆过程,功能是将传输过程中加了冗余度的差错控制编码恢复成原来的信号。

(3) 保密编解码。随着现阶段数字处理技术的飞速发展,数字通信系统在通信过程中可以根据需要对所传输的信息加密和解密,称为保密编解码。对于要求进行保密的通信系统,可以在信源与编码之间加入保密器,在接收端相应位置上加上解密器。由于数字信号比模拟信号便于进行加密,因此在发送端将信息序列人为地按照一定规律扰乱,在接收端再按照约定的扰乱规律进行解码,就可以实现保密编解码。

(4) 数字调制与解调。调制与解调是信号形式转换的方法,基带信号不适合直接向远处传输,所以要转换成适合在信道中传输并且可以向远方传输的信号的形式,这个过程主要采用调制与解调技术进行。在数字通信系统中常用的数字调制与解调技术有幅度键控(ASK)、频移键控(FSK)、相移键控(PSK)等,详细内容将在第4章中介绍。在接收端可以采用相干解调和非相干解调方式恢复信号。

(5) 数字复接与同步。在数字通信系统中,为了使终端设备标准化,同时又适应不同的传输媒介和传输容量的需求,把若干个低速数码流按照一定格式合并为高速数码流。数字复接就是按照时分复用基本原理完成数码流合并的一种技术,它包含数字复接和分接两方面的含义。

同步技术是数字通信系统中一个很重要的技术,是一个核心问题。从数字通信的原理框图中可以看出,数字通信系统的设备很复杂,所以对于同步的要求也相当严格。可以说,没有了同步技术,就没有数字通信。常用的同步技术有位同步、帧同步、载波同步和网同步。相关技术在第7章中有详细介绍。

以上所述的是典型的点对点通信系统。在现代社会生活中,人们不可能只进行一点到一点的固定式通信,更多的是要求能够与所有在线的任一用户进行通信,这样就必须有一种设备去完成这种系统中任意用户与任意用户的选择通信功能,这个设备就是通信网络中的交换系统。交换系统是通信网络中不可缺少的重要组成部分。

2) 数字通信系统的特点

数字通信技术的发展速度已明显超过模拟通信技术,成为当代通信技术的主流。与模拟通信相比,数字通信更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求。数字通信主要有以下几方面优点:

(1) 抗干扰能力强。在数字通信中,传输的信号幅度是离散的。以二进制为例,信号的取值只有两个,这样接收端只需判别两种状态。信号在传输过程中受到噪声的干扰,必然会使波形失真,接收端对其进行抽样判决,以辨别是两种状态中的哪一个。只要噪声的大小不足以影响判决的正确性,就能正确接收(再生)。而在模拟通信中,传输的信号幅度是连续变化的,一旦叠加上噪声,即使噪声很小,也很难消除。数字信号通过“再生中继”再生后可消除噪声积累。

(2) 数字信号通过差错控制编码,可采用纠错和检错技术,可提高通信的可靠性。

(3) 因为数字通信传输一般采用二进制码,所以可使用计算机对数字信号进行处理,实现复杂的远距离大规模自动控制系统和自动数据处理系统,实现以计算机为中心的通信网。

(4) 数字通信易与现代技术相结合,各种消息(模拟的和离散的)都可变成统一的数字信号进行传输,也就是说,数字通信系统可综合传输各种模拟和数字信号。系统中对数字信号传输情况的监视信号、控制信号及业务信号都可采用数字信号,可以对来自不同信源