



中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列教材

数字通信系统

强世锦 编 著



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

高职高专系列教材

数字通信系统

强世锦 编著

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书介绍了现代通信的基础理论及相关技术。全书共分8章,主要包括绪论、预备基础知识、模拟信源数字化编码与时分复用、数字信号基带传输、数字调制传输、同步与数字复接(涉及PDH及SDH系列)、纠错编码以及综合业务数字网。

本书注重体现职业教育的特色;强调物理概念,注意实用性及与后续课程的衔接;力求系统地阐述现代通信系统的基本原理和新技术,即以数字通信为核心,突出系统的基本分析方法、工作原理和信号流程图,以便建立数字通信的整体概念;每章后均附有小结和习题与思考题。本书的参考学时为80学时。

本书可作为高职高专通信、电子(包括光电子)、信息工程等专业的教材,也可作为相关专业的大、中专学生,工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字通信系统/强世锦编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2004.8

(高职高专系列教材)

ISBN 7-5606-1434-5

I. 数… II. 强… III. 数字通信系统-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(2004)第 068519 号

责任编辑 宁殿艳 云立实 毛红兵

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 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2004年8月第1版 2004年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.75

字 数 368千字

印 数 1~4 000册

定 价 17.00元

ISBN 7-5606-1434-5/TN·0277(课)

XDUP 1705001-1

*** 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

1999 年以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业技术教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题,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分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 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。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 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二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李家亮

IT类专业系列高职高专教材编审专家委员会名单

主任: 高 林 (北京联合大学副校长, 教授)

副主任: 温希东 (深圳职业技术学院电子通信工程系主任, 教授)

李卓玲 (沈阳电力高等专科学校信息工程系主任, 教授)

李荣才 (西安电子科技大学出版社总编辑, 教授)

计算机组: 组长: 李卓玲(兼) (成员按姓氏笔画排列)

丁桂芝 (天津职业大学计算机工程系主任, 教授)

王海春 (成都航空职业技术学院电子工程系副教授)

文益民 (湖南工业职业技术学院信息工程系主任, 副教授)

朱乃立 (洛阳大学电子工程系主任, 教授)

李 虹 (南京工业职业技术学院电气工程系副教授)

陈 晴 (武汉职业技术学院计算机科学系主任, 副教授)

范剑波 (宁波高等专科学校电子技术工程系副主任, 副教授)

陶 霖 (上海第二工业大学计算机学院教授)

徐人凤 (深圳职业技术学院计算机应用工程系副主任, 高工)

章海鸥 (金陵科技学院计算机系副教授)

鲍有文 (北京联合大学信息学院副院长, 副教授)

电子通信组: 组长: 温希东(兼) (成员按姓氏笔画排列)

马晓明 (深圳职业技术学院电子通信工程系副主任, 副教授)

于 冰 (宁波高等专科学校电子技术工程系副教授)

孙建京 (北京联合大学教务长, 教授)

苏家健 (上海第二工业大学电子电气工程学院副院长, 高工)

狄建雄 (南京工业职业技术学院电气工程系主任, 副教授)

陈 方 (湖南工业职业技术学院电气工程系主任, 副教授)

李建月 (洛阳大学电子工程系副主任, 副教授)

李 川 (沈阳电力高等专科学校自动控制系副教授)

林训超 (成都航空职业技术学院电子工程系主任, 副教授)

姚建永 (武汉职业技术学院电子信息系主任, 副教授)

韩伟忠 (金陵科技学院龙蟠学院院长, 高工)

项目总策划: 梁家新

项目策划: 马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案: 马武装

前 言

本书是 21 世纪高职高专信息类专业系列教材之一,是根据教育部高职高专培养目标和对本课程的基本要求编写而成的,经过系列教材编委会审定。

本书共分 8 章,其中:第 1 章,简要介绍了数字通信系统的组成和分类、主要技术和性能指标;第 2 章介绍了该课程所涉及的一些相关的预备基础知识;第 3 章介绍了信源编码和时分复用及帧同步技术;第 4 章介绍了数字基带传输的基本原理,并对扰码和解扰作了一些初步介绍;第 5 章介绍几种基本的调制传输技术及性能比较;第 6 章重点介绍了数字通信所特有的位同步技术,较为详细地介绍了 PDH 和 SDH 体系;第 7 章介绍了几种常用的纠错编码技术;第 8 章简要介绍了综合业务数字网的结构与特点及未来的发展趋势。

本书在编写过程中,注意了以下几个方面:

(1) 注意经典内容与新技术及其发展趋势相结合。在注意通信系统的整体性的前提下,阐明各组成部分的工作原理和技术要求,尽可能选用具有代表性的例子来加深理解。

(2) 注意本书的可实施性,避免繁琐的数学公式推导,力求从结论上深入浅出地阐明其物理概念。

(3) 随着大规模集成电路的不断发展,越来越注重数字通信的工作原理和信号流程图,越来越强调各类技术指标的物理意义和实用性,因此本书尽可能回避分离电路的介绍。

(4) 全书的图形、符号和术语尽量采用现行国标;每章后均附有小结和习题与思考题,并尽量选用具有典型意义的习题。

(5) 由于该课程和“信号与系统”中的各类信号(包括随机信号)的时域和频域的分析有着密切联系,而这些相关内容和知识又是学生的难点,因此为了更有利于本课程的学习,编者根据多年的教学体验,在本书的第 2 章中单独组织了一些和“信号与系统”相关的知识,做了尽可能通俗化和形象化的阐述和提炼,以求达到对各类信号与系统的基本概念的深入认识,为学习通信原理奠定好必要的基础知识。这部分内容可供教师教学参考。

本书在内容选择上力求既能适应当前通信发展的现状,又能较好地跟踪未来通信发展的新动向,在写法上力求条理清楚、深入浅出、理论联系实际,突出物理概念,避免繁琐的公式推导,使文章通俗易懂,适宜自学,便于教学。本书的参考学时数为 80 学时。

在本书编写的过程中,荣健教授参与了部分工作,赵明忠审阅了全书原

稿，在此表示衷心的感谢。

作者在此感谢家人的全力支持，感谢友人的热忱帮助，感谢西安电子科技大学出版社所给予的帮助与支持，使本书得以顺利脱稿。

书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1	第 3 章 模拟信源数字化编码与 时分复用	55
1.1 通信技术的发展与信息社会	1	3.1 抽样定理	55
1.2 通信系统的组成和分类	2	3.1.1 低通信号理想均匀抽样定理	56
1.2.1 通信系统的组成	2	3.1.2 带通信号抽样定理	58
1.2.2 通信系统的分类	4	3.2 模拟信号的量化	60
1.2.3 数字通信及主要技术	6	3.2.1 均匀量化和量化噪声	60
1.2.4 数字通信的主要特点	9	3.2.2 非均匀量化	65
1.3 数字通信系统的主要性能指标	10	3.3 脉冲编码调制(PCM)	69
1.3.1 有效性指标	10	3.3.1 码字码型	70
1.3.2 可靠性指标	12	3.3.2 码位安排	71
小结	12	3.3.3 逐次反馈型编码器	72
习题与思考题	13	3.3.4 PCM 非线性解法器	75
第 2 章 预备基础知识	14	3.3.5 单片 PCM 编解法器	77
2.1 信号处理和基础知识	14	3.4 自适应差分脉冲调制(ADPCM)	78
2.1.1 信号的分类	15	3.4.1 差值脉码调制 DPCM 的原理	79
2.1.2 模拟信号与数字信号	16	3.4.2 自适应差值脉码调制 ADPCM	82
2.1.3 采样问题	17	3.5 时分多路复用通信	86
2.1.4 信号处理的例子	19	3.5.1 时分多路复用概念	86
2.1.5 信号的表达和分析方法	21	3.5.2 帧同步	87
2.1.6 单位冲激信号	32	3.5.3 帧结构	89
2.1.7 系统响应及分析	35	3.5.4 定时系统	91
2.2 概率论的基础知识	36	3.6 数据压缩技术简介	94
2.2.1 概率的概念	36	小结	96
2.2.2 概率的一些基本定理	37	习题与思考题	97
2.3 随机信号的描述	39	第 4 章 数字信号基带传输	99
2.3.1 概述	39	4.1 数字信号传输的基本理论	100
2.3.2 随机信号的统计特性	41	4.1.1 数字信号波形与频谱	100
2.3.3 随机信号的相关函数的意义	45	4.1.2 带限传输对信号波形的影响	101
2.4 消息、信号、信息及其度量	46	4.1.3 数字信号传输的基本准则	103
2.5 语音的功率密度分布和 听觉频率特性	49	4.1.4 数字信号基带传输系统	104
小结	50	4.2 PCM 信号的再生中继传输	105
习题与思考题	52	4.2.1 信道特性和噪声	105

4.2.2 再生中继	107	5.7 各种调制方式的信道频带利用率及 误码性能比较	161
4.2.3 信号波形的均衡	108	5.7.1 各种调制方式的信道 频带利用率	161
4.2.4 时钟提取	111	5.7.2 各种调制方式的误码 性能比较	162
4.2.5 判决再生	112	小结	164
4.3 中继传输性能的分析	113	习题与思考题	165
4.3.1 信道噪声及干扰	113	第6章 同步与数字复接	166
4.3.2 误码率及误码率的累积	115	6.1 同步技术概述	166
4.3.3 相位抖动	118	6.2 位同步	168
4.4 基带传输的常用码型	119	6.2.1 外同步法	169
4.4.1 数字基带信号的码型设计原则	119	6.2.2 自同步法	170
4.4.2 常用的几种码型	120	6.2.3 重要的位同步锁相环	172
4.5 扰码与解扰	122	6.2.4 位同步的主要性能指标	175
4.5.1 m 序列的产生和性质	122	6.3 网同步	176
4.5.2 扰码与解扰原理	127	6.3.1 准同步方式	177
4.6 PCM 中继传输系统的测量	129	6.3.2 主从同步方式	178
4.6.1 误码率的测量	129	6.3.3 相互同步方式	179
4.6.2 误码率的指标	130	6.3.4 同步网的等级与时钟要求	180
4.6.3 PCM 中继系统故障 位置的测定	131	6.4 数字复接原理	181
小结	132	6.4.1 数字复接的基本概念	182
习题与思考题	132	6.4.2 数字复接中的码速变换	185
第5章 数字调制传输	134	6.4.3 同步复接与异步复接	187
5.1 引言	134	6.4.4 同步数字体系(SDH)	193
5.2 幅度键控(ASK)	135	小结	200
5.2.1 调制与解调原理	135	习题与思考题	200
5.2.2 ASK 信号与功率谱	137	第7章 纠错编码	202
5.3 频移键控(FSK)	139	7.1 差错控制方式	202
5.3.1 FSK 信号和功率谱	139	7.1.1 检错重发	203
5.3.2 FSK 的产生和解调	140	7.1.2 前向纠错	204
5.4 二相调制键控	141	7.1.3 混合纠错	204
5.4.1 绝对移相和相对移相	141	7.2 纠错编码的基本原理	204
5.4.2 调制信号的产生	143	7.3 常用的简单编码	207
5.4.3 二相调制信号的功率谱	144	7.3.1 奇偶监督码	207
5.4.4 调制信号的解调	145	7.3.2 水平奇偶监督码	208
5.5 四相调制系统	147	7.3.3 水平垂直奇偶监督码	208
5.5.1 多相调制的概念	147	7.3.4 群计数码	209
5.5.2 四相调制	148	7.4 线性分组码	209
5.5.3 四相调制原理及电路	150	7.4.1 线性分组码的概念	209
5.6 其他调制方式	156		
5.6.1 八相调制	156		
5.6.2 正交调制(QAM)	158		

7.4.2 线性分组码的矩阵描述	210	8.3.3 层间通信过程	229
7.4.3 线性分组码的纠错和检错	212	8.4 ISDN 网络结构与用户/网络接口	230
7.5 卷积码	213	8.4.1 ISDN 提供的业务	230
7.5.1 卷积码的结构及描述	214	8.4.2 ISDN 的网络结构	232
7.5.2 卷积码的图解表示	214	8.4.3 ISDN 用户/网络接口	232
7.5.3 卷积码的维特比译码方法	218	8.5 ISDN 编号与寻址原则	234
小结	223	8.6 网间互通	235
习题与思考题	224	8.7 宽带 ISDN 的基本概念	238
第 8 章 综合业务数字网	225	8.7.1 概述	238
8.1 概论	225	8.7.2 B-ISDN 的结构	238
8.2 ISDN 的主要特点	226	小结	240
8.3 开放系统互连技术	227	习题与思考题	240
8.3.1 OSI 参考模型	227	参考文献	242
8.3.2 各层功能概述	228		

第1章 绪 论

【本章要点】

- 通信系统的组成及分类
- 数字通信的主要特点和主要技术
- 数字通信的性能指标

1.1 通信技术的发展与信息社会

人类生活在信息的海洋里，离不开信息的交流与传递。通信就是克服距离上的障碍，迅速而准确地交换和传递信息。信息常以某种方式依附于物质载体，以实现存储、交换、处理、变换和传输。人们要让信息在时域和空域上转移和转换，从此方传送到彼方，从前一时推移到后一时，从一种形式转换成另一形式，这就需要有承载信息的媒体。所谓媒体，就是一种传送信息的手段或承载信息的物质，如话音、磁盘、磁带、声波、电波等都可作为信息的媒体。通信技术的发展历史是人们长期寻求如何利用各种媒体实现迅速而准确地传递更多信息到更远处的历史。通信技术伴随着人类经济和文化的发展而不断取得进步，尤其在近代社会，通信技术的发展速度可谓一日千里。

早在远古时代，人们曾利用烽火、狼烟、金鼓、旗语等作为表现信息和传递信息的手段，其表现能力极为有限。语言是人类通信的重要媒体：当它作用于人与人的关系时，它是表达相互反应或传递信息的中介；当它作用于人和客观世界的关系时，它是人认知事物的工具，是文化信息的载体。文字是语言等信息的书写符号，是人与人之间交流信息约定俗成的视觉符号系统。由于文字的发明，能传送的信息种类飞速增加，因此借助这种文字媒体，人们可以把各种信息准确无误地传送到遥远的地方。印刷术的发明使得向多人传送相同信息的手段发生了划时代的变化，它使书刊大批量印刷成为可能，使得信息流传到远方，世代相传。此外，人们传达情感的手段还有绘画和雕刻等方式，它成了古代人超越时间向现代人传递信息的媒体。

在 W. 希尔伯特指出了电的存在以后，科学家对电引起的各种现象进行了研究，逐步使其达到了实用水平，继 1848 年莫尔斯发明电报之后，1876 年 A. G. 贝尔发明了电话；1896 年 G. 马可尼成功地发明了无线电报，陆续诞生的多种利用电为媒介的信息传递手段在传送信息的数量、速度及范围等方面有了迅速的发展。随着电子管、晶体管的发明，人们拥有了通过放大电信号把电报与电话传送到更遥远地方的能力。马可尼的通信方式发展

成无线电广播,在此基础上,人们进一步发明了传送图像、照片、文件等信息的传真和电视广播等通信方式。

计算机的发明在现代通信技术发展过程中占有独特的地位。计算机在当今社会不仅作为各种信息处理设备使用,而且它与通信相结合,使得电信业务更加丰富。可视图文(videotext)、图文电视(teletext),电子邮件及新的实时型媒体,如电子会议(teleconferencing)、交互式电视等纷纷涌现,推动了信息社会的发展。

社会对通信技术的迫切需要,大大推动了通信科学的发展。从20世纪30年代开始,尤其是20世纪50年代之后,人们逐步对通信实践中遇到的问题展开了深入的理论研究,并获得了可喜的进展。在通信理论上,先后形成了“过滤和预测理论”、“香农信息论”、“纠错编码理论”、“信源统计特性理论”、“信号保真度理论”、“调制理论”、“信号检测理论”等。由于电子管的完善、晶体管的出现以及集成电路的问世,不仅促进了模拟通信的高速发展,而且于20世纪中叶对电报通信方式有了重大改进,出现了具有广阔前景的数字通信方式。在通信的种类上,相继出现了脉码通信、微波通信、卫星通信、激光通信、移动通信和计算机通信等等。在通信的对象上,突破了人与人之间进行通信的范畴,实现了人与机器或机器与机器之间的通信。现代通信正朝着以适应知识密集型信息化社会各种通信要求的方向发展。进入20世纪70年代以来,世界上的先进国家已完全掌握了在各种传输介质(微波、各种电缆、卫星、光纤等)中传输数字信号的技术。

现代通信系统是信息时代的生命线。以信息为主导地位的信息化社会又导致通信新技术的大力发展,传统的通信网已不适应现代通信的要求。为了给用户提供越来越多、越来越快的信息服务,通信技术正在大踏步地走向智能化和网络化。各单项技术汇流成综合业务数字网络(ISDN, Integrated Services Digital Network),开辟了网络时代的新纪元,是当前国际竞争的一个热点。由于数字通信具有一系列优点,因此,在20世纪80年代各国都相继投入大量资金来改建通信线路,使其逐步成为综合数字网(IDN),即除用户线以外,进入本地区交换局以后的信息传输、交换都将以数字形式进行,它可以方便地实现各种业务的处理和交换。到20世纪80年代末90年代初出现了综合业务数字网(ISDN)的发展高潮。窄带ISDN将迅速走向宽带化(Broadband)、智能化(Intelligent)和个人化(Personal),标志着信息传输技术进一步走向成熟。宽带综合业务数字网(B-ISDN)、多媒体终端技术(MMT)、综合移动卫星通信(M-SAT)、个人通信网(PCN)以及智能通信网(IN或AIN)等的相继问世,使世界信息和通信市场得到空前的繁荣。世界各国都把信息网络为主体的信息基础设施的建设作为新的国策。

1.2 通信系统的组成和分类

1.2.1 通信系统的组成

传递或交换信息所需的一切技术设备的总和称为通信系统。通信系统的一般模型如图1.1所示。

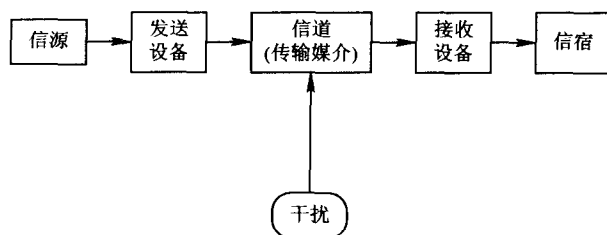


图 1.1 通信系统的一般模型

通信系统一般由以下几部分组成。

1. 信源和信宿

信源是发出信息的源，信宿是传输信息的归宿点。

信源可以是离散的数字信源，也可以是连续的(或离散的)模拟信源。模拟信源(如电话机和电视摄像机)输出连续幅度的模拟信号；离散数字信源(如电传机、计算机)输出离散的数字信号。数字信号与模拟信号的区别是根据幅度取值上是否离散而定。模拟信号与数字信号有明显区别，但两者之间在一定条件下是可以互相转换的。

2. 发送设备

发送设备的基本功能是使信源与传输媒介匹配起来，即将信源产生的信号变换为便于传送的信号形式，送往传输媒介。变换方式是多种多样的。在需要频谱搬移的场合，调制是最常见的变换方式。发送设备还包括为达到某些特殊要求而进行的种种处理，如多路复用、保密处理、纠错编码处理等等。

3. 信道(传输媒介)

信道是指传输信号的通道，是从发送设备到接收设备之间信号传递所经过的媒介，可以是有线的，也可以是无线的，有线的和无线的均有多种传输媒介。信道既给信号以通路，也对信号产生各种干扰和噪声。传输媒介的固有特性和干扰直接关系到通信的质量。

4. 接收设备

接收设备的基本功能是完成发送设备的反变换，即进行解调、译码、解码等等。它的任务是从带有干扰的信号中正确地恢复出原始消息来，对于多路复用信号，还包括解除多路复用，实现正确分路。

以上所述是单向的通信系统。但在多数场合下，信源兼为信宿，通信的双方需要随时交流信息，因而要求双向通信。电话就是一个最好的例子，这时，通信的双方都要有发送设备和接收设备。如果两个方向用各自的传输媒介，则双方都可独立进行发送和接收；但若双方共用一个传输媒介，则需用频率或时间分割的办法来共享传输媒介。

此外，通信系统除了完成信息传递之外，还必须进行信息的交换。传输系统和交换系统共同可以组成一个完整的通信系统。

1.2.2 通信系统的分类

1. 按通信的业务和用途分类

根据通信的业务和用途分类,有常规通信和控制通信等。其中常规通信又分为话务通信和非话务通信。话务通信主要是指电话信息服务业务、语音信箱业务和电话智能网业务。非话务通信主要是指分组数据业务、计算机通信、数据库检索、电子数据交换、传真存储与转发、可视图文及会议电视、图像通信等。由于电话通信最为发达,因而其他通信常常借助于公共的电话通信系统进行。在未来的综合业务数字通信网中,各种用途的消息都能在一个统一的通信网中传输、交换和处理。控制通信则包括遥测、遥控、遥信和遥调通信等,如雷达数据通信和遥测、遥控指令通信等。根据不同的通信业务,通信系统可以分为多种类型:

- (1) 单媒体通信系统:如电话、传真等;
- (2) 多媒体通信系统:如电视、可视电话、会议电话、远程教学等;
- (3) 实时通信系统:如电话、电视等;
- (4) 非实时通信系统:如电报、传真、数据通信等;
- (5) 单向通信系统:如广播、电视等;
- (6) 交互传输系统:如电话、点播电视(VOD)等;
- (7) 窄带传输系统:如电话、电报、低速数据等;
- (8) 宽带通信系统:如点播电视、会议电视、远程教学、远程医疗、高速数据等。

2. 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调制传输。

基带传输是将未经调制的信号直接传送,如音频市内电话、数字信号基带传输等。

调制传输是对信号经各种变换后传输的总称。调制的目的有以下几个方面。

(1) 便于信息的传输。调制过程可将信号频谱搬移到任何需要的频谱范围,便于与信号传输特性匹配。如无线传输必须将信号载入在高频上才能使其易于以电磁波的形式在自由空间辐射出去。又如在数字电话中将连续信号变换为脉冲编码调制信号以便在数字系统中传输。

(2) 改变信号占据的带宽。调制后的信号频谱通常被搬移到某个载频附近的频带内,其有效带宽相对于载频而言是一个窄带信号,在此频带内引入的噪声就减小了,从而提高了通信系统的抗干扰性。

(3) 改善系统性能。由信息论的观点可以证明,可用增加带宽的方式来换取信噪比的提高,从而提高通信系统的可靠性。各种调制方式有不同的带宽,它们是为了达到提高通信系统的可靠性而被发展起来的。调制方式很多,表 1.1 给出了一些常见的调制方式。

表 1.1 常见调制方式及用途

调制方式			用途
连续波调制	线性调制	常规双边带调幅(AM)	广播
		抑制载波双边带调幅(DSB)	立体声广播
		单边带调幅(SSB)	载波通信、无线电台、数传
		残留边带调幅(VSB)	电视广播、数传、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	幅度键控(ASK)	数据传输
		频率键控(FSK)	数据传输
		相位键控(PSK、DPSK、QPSK等)	数据传输、数字微波、空间通信
		其他高效数字调制(QAM、MSK等)	数字微波、空间通信
脉冲调制	脉冲模拟调制	脉幅调制(PAM)	中间调制方式、遥测
		脉宽调制(PDM、PWM)	中间调制方式
		脉位调制(PPM)	遥测、光纤通信
	脉冲数字调制	脉码调制(PCM)	市话、卫星、空间通信
		增量调制(DM、CVSD等)	军用、民用电话
		差分脉幅调制(DPCM)	电视电话、图像编码
		其他语音编码方式(ADPCM、APC、LPC等)	中、低速数字电话

3. 按传送信号的特征分类

按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号,可以相应地把通信系统分成两类,即模拟通信系统和数字通信系统。

4. 按信号的复用方式分类

传送多路信号有三种复用方式,即频分复用、时分复用、码分复用。频分复用是用频谱搬移的方法使不同信号占据不同的频谱范围;时分复用是用脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区间;码分复用是用正交的脉冲序列分别携带不同信号。传统的模拟通信中都采用频分复用,随着数字通信的发展,时分复用通信系统的应用越来越广泛,码分复用主要用于空间通信的扩频通信系统中。

5. 按传输媒介分类

通信系统可分为有线(包括光纤)通信和无线通信两大类。表 1.2 中列出了常用的传输媒介及其主要用途。

表 1.2 常用传输媒介

频率范围	波长	符号	传输媒介	用途
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、移动陆地通 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	10~1 mm	极高频 EHF	波导、毫米 波无线电	雷达、微波接力、射电天 文学
$10^5 \sim 10^7$ GHz	$3 \times 10^{-4} \sim$ 3×10^{-6} cm	紫外、可见 光、红外	光纤、激光 空间传播	光通信

1.2.3 数字通信及主要技术

数字通信系统就是利用数字信号来传递信息的通信系统。图 1.2 给出了数字通信系统的原理结构模型。数字通信系统涉及的技术问题很多，其中有信源编码、保密编码、信道编码、数字调制、信道、数字复接及多址、数字信息交换、同步问题等。下面对这些主要技术问题先作一简要的介绍。

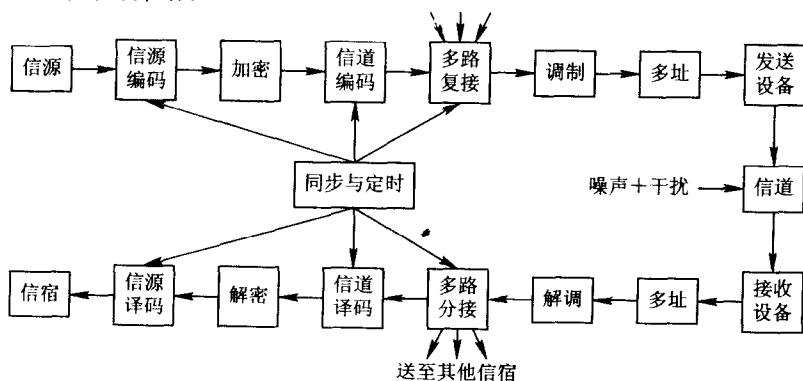


图 1.2 数字通信系统的组成

1. 信源编码与解码

模拟信号数字化是数字通信技术的基础。一个声音和图像信号变换为数字信号并在数字通信系统中传输要经过如下过程：首先对声音或图像信号进行时间上的离散化处理，这就是取样；然后再将取样样值信号的幅度进行离散化处理，这就是量化。量化的目的是便于编码。其中除采用最基本的模拟/数字变换脉冲编码调制(PCM)外，为了提高数字编码信号的有效性，还需要尽量减少原信息的多余度，进行压缩信号频带的编码，这些称之为信源编码。信源解码是信源编码的逆过程。由此可见，信源编码有两大主要任务：第一是将信源的模拟信号转变成数字信号，即通常所说的模/数变换；第二是设法降低数字信号的数码率，即通常所说的数据压缩。编码比特数在通信中直接影响传输所占的带宽，而传输所占的带宽又直接反应了通信的经济性，因此，信源编码技术在很大程度上是围绕压缩编码，提高通信的有效性等问题向前发展的。

2. 加密与解密

为了保证数字信号与所传信息的安全，一般应采取加密措施。数字信号比模拟信号易于加密，且效果也好。这是数字通信突出的优点之一。在对要求保密通信的系统中，可在信源与信道编码之间加入加密器，同时在接收端加入解密器。加密器可以产生密码，人为地将输入明文数字序列进行扰乱。这种编码可以采用周期非常长的伪随机序列，甚至采用完全无规律的噪声码，这种处理过程称之为加密。在接收端对接收到的数字序列进行解密，恢复明文。

3. 信道编码与解码

数字信号在信道中传输时，由于噪声、衰落以及人为干扰等将会引起差错。信道编码的目的就是提高通信抗干扰能力，尽可能地控制差错，实现可靠通信。信道编码的一类基本方法是波形编码(或称为信号设计)，它把原来的波形变换成新的较好的波形，以改善其检测性能。编码过程主要是使被编码信号具有更好的距离特性(即信号之间的差别性更大)。属于这类编码的有双极性波形、正交波形、多元波形、双正交波形等。另一类基本方法可把与波形编码相似的差错纠正过来，根据信道特性，对传输的原始信息按一定编码规则进行解码，以达到对数字信息的保护作用，从而提高数字通信的可靠性。在接收端按一定的规则进行解码，看其编码规则是否遭到破坏，从解码过程中发现错误或纠正错误，这种技术称为“差错控制编码技术”。目前应用较广泛的编码方法可分为线性分组码和卷积码，它可用反馈移位寄存器来实现，易于检错和纠错，是一种很有效的编、解码方法。目前分组码中著名的有汉明码、格雷码、BCH码、RS码等。卷积码的主要特点是有记忆特性，所编成的码不仅是当前输入的信息码的函数，而且与以前输入的信息码有关。卷积码的著名译码算法有序列译码和维特比(Viterbi)最大似然译码。

4. 调制与解调

调制器的任务是把各种数字信息脉冲转换成适于信道传输的调制信号波形。这些波形要根据信道特点来选择。解调器的任务是将收到的信号转换成原始数字信息脉冲。数字调制技术可分为幅度键控(ASK)、频移键控(FSK)、相移键控(PSK)和连续相位调制(CPM)，以及它们的各种组合。在接收端可以进行相干解调或非相干解调。前者需要知道载波的相位才能检测，后者则不需要。对高斯噪声下信号的检测，一般用相关器接收机或