



21 世纪高等院校计算机网络与通信教材

数字通信技术

北京希望电子出版社 总策划
高小玲 吴 刚 刘作学 编 著
朱诗兵 主 审



 科学出版社
www.sciencep.com



21 世纪高等院校计算机网络与通信教材

数字通信技术

北京希望电子出版社 总策划
高小玲 吴 刚 刘作学 编 著
朱诗兵 主 审



 科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是21世纪高等院校计算机网络与通信教材中的一本,共分为7章,较详细介绍了数字终端技术、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、数字信号的同步技术、数字复接技术和同步数字序列、差错控制技术等内容。

本书条理清晰,技术性和操作性强,可作为高等院校通信专业师生的首选教材,也适合各类工程技术人员阅读。

需要本书或需要得到技术支持的读者,请与北京清河 6 号信箱(邮编 100085)发行部联系,电话:010-82702660 010-82702658, 010-62978181 转 103 或 238,传真:010-82702698, E-mail: tbd@bhp.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

数字通信技术/高小玲, 吴刚, 刘作学编著. —北京: 科学出版社, 2006.2

21 世纪高等院校计算机网络与通信教材

ISBN 7-03-016404-0

I. 数... II. ①高...②吴...③刘... III. 数字通信—高等学校—教材 IV.TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 125877 号

责任编辑: 王玉玲 / 责任校对: 马 君
责任印刷: 双 青 / 封面设计: 梁运丽

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2006 年 2 月第一次印刷 印张: 19.75
印数: 1-3000 册 字数: 452 000

定价: 25.00 元

21 世纪高等院校计算机网络与通信教材

编委会

主 任 曲 炜 装备指挥技术学院博士生导师

副主任 卢 昱 中国计算机学会维护与管理专业副主任委员, 博士生导师

赵洪利 北京通信学会理事, 博士生导师

李新明 中国计算机学会抗恶劣环境专业委员会委员, 博士生导师

陆卫民 中国科学出版集团北京希望电子出版社社长

委 员 (以姓氏笔画为序)

马彦恒 万定生 王擎天 王成友 王向阳

朱诗兵 刘作学 吴善培 何新华 何忠龙

张 文 杨喜权 周 辉 郑明红 罗建华

赵立军 姚秀芳 徐建华 徐远超 郭德纯

梁计春 韩素华 葛洪华 樊秀梅 穆道生

序

目前,中国固定和移动两大网络的规模都已位居世界第2位,上网用户2004年总数达9400万,中国的信息通信制造业也得到很大的发展。今后5年中国信息产业预计将仍会以高于20%的速度增长。中国将加快建设新一代信息通信网络,全面振兴信息通信产品制造业和软件业,建立能够支撑信息通信业发展的技术、生产体系。在向数字化、集成化、网络化转变的过程中,简单服务要向个性化服务发展,低带宽要向高带宽发展,电路交换要向分组交换发展。无线网络、网络多媒体、多媒体计算、人机自然语音通信是网络与通信专业重点建设的四大方向。

面对潜力巨大的中国市场,我国大学的相关专业需要培养具有知识创新能力的高素质人才,在通信高新技术的研究上争创国际先进水平,为我国在信息领域达到国际一流的目标做出贡献。

科技的发展使得教育要跟上时代发展的步伐,但是目前市面上还没有一套系统、完整的关于计算机网络与通信方面的教材。现有的教材有些偏重理论,有些则偏重实用,不太适合于课堂教学。而对于学习网络与通信的学生来说,不仅要懂得原理,还必须学会技术,这样才能符合“培养人才、创造知识、转化成果、服务社会”的教学宗旨,在人才培养、科学研究和技术应用等方面有所成就,为我国通信与信息领域的发展做出贡献。

为了获得与国际接轨的教学内容,达到提高整体教学水平的目的,北京希望电子出版社组织国内各大高校相关专业的教授、专家、学者,共同编选本套丛书。本套丛书强化学生实践能力和创新意识的培养,定位准确、内容创新、结构合理。在选材上主要采用了成熟的理论,并通过对目前研究现状的跟踪,补充了最新的研究成果;充分考虑了内容组织的系统性和完整性,从学生的认知规律出发,力求做到简明和便于教学的特色;以培养学生分析问题和解决问题的能力为目标,着重基本概念、基本原理和基本分析方法的论述。本套丛书特别突出了各项技术的实用性,可作为计算机网络和通信专业或相近专业本科生、研究生的教科书,同时,还可以作为从事网络系统开发的科研人员和相关行业技术人员、管理人员有用的参考资料。

在撰写过程中参阅了大量的参考书、论文和资料,这里谨向所有的作者致以崇高的敬意!

我们欢迎更多的优秀教师参与到教材建设中来,真诚希望广大教师、学生与读者朋友在使用本丛书过程中提出宝贵的意见和建议。若有投稿或建议,请发至本丛书出版者电子邮件: textbook@bhp.com.cn

21世纪高等院校计算机网络与通信教材编委会

前 言

随着数字通信与计算机技术的不断发展和结合,促使计算机通信网得到更进一步的迅猛发展,而计算机网络已经成为社会各行各业人们日常工作 and 学习不可缺少的重要组成部分。为了适应新技术不断发展的需要,满足人们学习和掌握现代通信技术的需求,我们编写了本书。

本书力求深入浅出,将深奥的理论知识与技术实现融为一体,便于读者对具体原理的掌握,同时又能将数字通信技术与原理结合起来。

全书共分 7 章,第 1 章从数字通信系统的概念入手,介绍了通信系统的分类、组成,衡量通信系统的主要性能指标以及数字通信系统所涉及的主要技术,最后还介绍了数字通信技术的发展现状和趋势;第 2 章在介绍模拟信号数字化的基本原理基础上,介绍了几种数字终端技术,包括脉冲编码调制及增量调制等;第 3 章重点阐述了数字信号的基带传输,该章也是从基本的基带传输系统的组成开始,介绍基带传输系统的基本原理,基带传输中的基带串扰问题,以及解决办法;第 4 章是数字信号的频带传输,主要介绍数字信号在频带传输中常用的调制和解调原理和实现方法;第 5 章介绍的是数字通信系统中不可缺少的同步技术,同步技术实现的好坏关系到数字通信系统的优劣,本章介绍了数字通信系统中涉及的位同步、帧同步以及网同步;第 6 章是对数字复接技术和数字同步序列的详细描述;最后一章对降低误码率起着非常重要的差错控制技术作了详细论述,介绍了差错控制编码的原理、差错控制方式,并对常见码型的编、译码方法进行详细介绍。

本书由高小玲、吴刚、刘作学编写,参与本书编写工作的还有夏惊涛、张宝琴、吕文杰、仲巍、王静静、陈晓娟、程小非、王立庆、蒋太杰、孙启东、姜振敏、杜刚、魏刚、高丽娟、李学军、赵丹丹等,对于他们的大力支持和帮助,表示衷心的感谢!全书由朱诗兵教授主审,在此一并表示感谢!

由于数字通信技术范围非常广泛,编者水平有限,再加之编写时间仓促,因此书中肯定存在不当或错误之处,恳请读者不吝赐教。

编 者

目 录

第 1 章 数字通信概述.....1	3.3 基带脉冲传输过程与码间串扰.....79
1.1 消息、信息与信号.....1	3.3.1 码间串扰的概念及其产生原因...79
1.1.1 消息.....1	3.3.2 码间串扰的影响.....80
1.1.2 信息.....1	3.4 无码间串扰的基带传输系统特性.....81
1.1.3 信号.....2	3.4.1 基带系统的信号传输特点.....81
1.2 通信的基本概念和通信系统的基本模型.....3	3.4.2 奈奎斯特第一准则.....82
1.2.1 通信系统的一般模型.....3	3.4.3 无码间串扰系统的传输特性.....84
1.2.2 通信系统的分类.....5	3.5 部分响应技术.....88
1.3 数字通信系统.....7	3.5.1 部分响应波形.....89
1.3.1 数字通信系统模型及各部分功能....7	3.5.2 错误传播现象.....90
1.3.2 数字通信系统的特点.....9	3.5.3 实用的部分响应系统.....91
1.4 信息及其度量.....10	3.5.4 部分响应波形的一般形式.....92
1.5 数字通信系统的主要性能指标.....12	3.6 理想数字基带传输系统中噪声对 传输性能的影响.....94
1.5.1 有效性指标.....12	3.7 均衡技术.....98
1.5.2 可靠性指标.....14	3.7.1 眼图.....98
1.6 数字通信涉及的主要技术.....14	3.7.2 时域均衡.....100
1.7 数字通信技术的应用及发展趋势.....20	第 4 章 数字信号的频带传输.....103
第 2 章 数字终端技术.....22	4.1 数字信号载波传输概论.....104
2.1 模拟信号数字化的基本原理.....22	4.2 数字调制及解调原理.....105
2.1.1 信号的抽样.....22	4.3 二进制数字调制及解调.....110
2.1.2 采样信号的量化.....30	4.3.1 二进制幅度键控(2ASK).....110
2.2 脉冲编码调制(PCM).....38	4.3.2 二进制频移键控(2FSK).....114
2.3 增量调制.....45	4.3.3 二进制相移键控(2PSK 或 BPSK).....120
2.3.1 增量调制的概念和工作原理.....46	4.3.4 二进制差分相移键控 (2DPSK).....123
2.3.2 DM 的实现.....47	4.3.5 二进制数字调制系统性能的 比较.....128
2.3.3 简单增量调制.....49	4.4 多进制数字调制.....130
2.3.4 PCM 与 ΔM 系统性能比较.....52	4.4.1 多进制幅度键控(MASK).....130
2.3.5 自适应增量调制.....53	4.4.2 多进制相移键控(MPSK).....134
2.4 增量总和调制.....56	4.5 改进型数字调制技术.....140
2.5 自适应差值脉码调制.....58	4.5.1 多进制频移键控(MFSK).....140
2.5.1 差值脉码调制(DPCM) 的原理.....59	4.5.2 正交幅度调制.....142
2.5.2 自适应差值脉码调制 (ADPCM).....63	4.5.3 正交部分响应幅度调制.....146
第 3 章 数字信号的基带传输.....67	4.5.4 偏移四相相移键控(OQPSK) 148
3.1 基带传输系统的组成.....67	4.5.5 最小频移键控(MSK).....149
3.2 数字基带信号.....69	第 5 章 数字信号传输的同步技术.....152
3.2.1 数字基带信号的常用码型 及其分类.....69	5.1 同步技术概述.....152
3.2.2 数字基带信号的功率谱.....77	

5.1.1 同步技术的分类	152	7.4 检错和纠错的基本原理	252
5.1.2 同步信号的获取方式	153	7.4.1 编码的基本方法	252
5.1.3 同步的技术指标	153	7.4.2 检错和纠错的基本原理	253
5.2 载波同步技术及其实现	154	7.4.3 码的纠、检错能力	254
5.2.1 插入导频法	154	7.5 几种常用的检错码	256
5.2.2 直接提取载波法	156	7.5.1 奇偶校验码	256
5.3 位同步	161	7.5.2 水平一致校验码 (行奇偶监督码)	256
5.3.1 外同步法(插入导频法)	162	7.5.3 水平垂直奇偶监督码	257
5.3.2 自同步法(直接提取位同步法)	163	7.5.4 群计数码	257
5.4 帧同步	166	7.5.5 恒比码(等比码)	257
5.4.1 起止式同步法	167	7.5.6 ISBN 国际统一图书编号	258
5.4.2 间隔式插入同步码法	172	7.6 线性分组码	259
5.5 网同步	173	7.6.1 基本概念	259
5.5.1 主从同步方式	175	7.6.2 线性分组码的性质	259
5.5.2 互同步方式	176	7.6.3 监督矩阵和生成矩阵	260
5.5.3 码速调整法	178	7.6.4 线性分组码的编码	263
5.5.4 水库法	180	7.6.5 系统线性分组码的编码器 原理图	264
第 6 章 数字复接技术及数字同步序列	181	7.6.6 线性分组码的译码	266
6.1 PCM 复用与数字复接	181	7.6.7 汉明码和完备码	269
6.1.1 多路复用技术	181	7.7 循环码(CRC)	271
6.1.2 时分复用的帧结构	182	7.7.1 循环码的概念	271
6.1.3 30/32 路 PCM 系统	183	7.7.2 循环码的性质	272
6.2 数字复接技术及其基本原理	183	7.7.3 循环码的码多项式描述	272
6.2.1 PCM 复用与数字复接	183	7.7.4 循环码的生成多项式和 生成矩阵	272
6.2.2 数字信号的复接	185	7.7.5 监督多项式 $H(x)$ 和 监督矩阵	275
6.2.3 数字复接中的码速变换	185	7.7.6 循环码的编码	276
6.3 同步数字序列	186	7.7.7 循环码的译码	279
6.3.1 SDH 概述	186	7.8 卷积码(连环码)	284
6.3.2 SDH 的复用与映射方法	196	7.8.1 卷积码的基本概念	285
6.3.3 SDH 设备	213	7.8.2 卷积码的图解表示	286
6.3.4 SDH 的网同步	226	7.8.3 卷积码的编码器结构及其编码	290
6.3.5 SDH 的网络管理	232	7.8.4 卷积码的维特比译码	297
6.3.6 SDH 的应用	240	7.9 Turbo 码	303
第 7 章 差错控制编码技术	249	7.9.1 Turbo 码编码器	304
7.1 差错控制编码的基本概念	249	7.9.2 Turbo 译码器	305
7.2 差错控制方式	249		
7.2.1 错误类型	249		
7.2.2 差错控制方式	250		
7.3 差错控制编码的分类	251		

第 1 章 数字通信概述

自从人类诞生开始,在人类的各种生产活动和社会生活中都离不开传递消息,传递消息的过程就是通信,通信的目的是把含有信息的信息从一地传送到另一地。自 1837 年莫尔斯发明电报,1876 年贝尔发明电话以来,经历了长达一个多世纪的发展,各种电通信成为各个国家经济建设、社会生活和人与人交流信息所不可缺少的重要工具。自古以来,人们已经创造了很多通信方式,如古代的烽火台、旌旗;近代的灯光信号、旗号;现代的电报、电话、传真、电视、无线电等。电信服务也已经由传统的电报、电话等单一业务扩大到传真、数据通信、图像通信、电视广播、多媒体通信等多业务领域;电信技术的演变日新月异,传输媒介也由明线、无线短波、电缆发展到微波、卫星和光缆;交换设备由机电制布线逻辑控制方式向计算机程序控制方式发展;传输设备由模拟载波向数字脉码调制方式发展;终端设备由机电方式向微处理器控制的多功能终端发展;通信方式由人工、半自动方式向全自动方向发展;通信网由单一业务网向综合业务方向发展形成综合业务数字网(ISDN);通信的地点由固定方式转向移动方式,并逐步实现个人化。无论是以哪种形式进行通信,所有通信都是将消息变成与之对应的信号来传递的,也就是说,信号实际上就是消息的转载者。显然,现代通信是以电信号来传递消息的,通过电信号传递信号能够既快速又准确可靠,而且几乎不受时间、地点和距离等方面因素的限制,因而得到了飞速的发展和广泛的应用。如今在自然科学中,“通信”基本上就是“电通信”的同义词。

讲到通信,首先需要区分 3 个概念:消息、信息和信号。

1.1 消息、信息与信号

1.1.1 消息

消息是指物体的客观运动和人们的主观思维,是以文字、语言或图像等方式进行描述的,也就是指由信息源发出的被使用者接受和理解的各种信号。人们通常是通过消息的形式对事物的运动状态进行了解的,即通过消息的传输形式得到了消息。例如,当人们收到一封电报,接到一个电话,收听到广播或收看到电视以后,其中的文字、话音和图像就成为消息。

消息传输过程中的最显著的特点是消息的出现具有不确定性即随机性,也就是收信者在收到消息之前不知道消息的具体内容。

1.1.2 信息

信息一词有很悠久的历史。“信息”使用的广泛性使得我们难以给“信息”下一个确切的定义,但是,通常信息可以界定为一个社会概念,是指对事物运动状态的不确定性描述。信息可以理解是人类共享的一切知识或社会发展趋势,以及从客观现象中提炼出来的各种消息的总和。信息并不是指事物本身,而是表征事物之间联系的消息、情报、指令、数据或信号。它可以被理解为消息中包含的有意义的内容,消息可以由各种各样的形式来表示,而消息的内容通常仅能用信息统一进行表述。1975 年 Lango 提出“一旦您理解了是信息触发了行为和能力,信息是含于客体间差别中而不是客体本身中,您就意识到在通信中所被利用的(亦即携带信息

的)实际客体是不重要的。”在这里,客体是指消息,差别是指信息,差别不是客体,信息不同于消息。例如,母亲给身在异乡的儿子邮寄一包衣物。在这个过程中,衣物是客体,但客体是不重要的,重要的是包含在客体中的、寄给儿子的浓浓思念和情感。这就是信息。

信息是一个十分抽象的概念,它本身是看不见摸不着的,必须依附于一定的物质形式,如文字、语言、电磁波等。这种运载信息的物质,称为信息的载体。这个载体也就是上面所介绍的消息。

1.1.3 信号

信号是用来携带信息的载体,通常具有某种可以感知的物理参量,如电压、电流或频率等。信号按照在时间上是否连续,可以分为连续信号与离散信号。按照信号随信息而变化的参数的取值是否连续可分为数字信号和模拟信号。

1. 连续信号与离散信号

连续信号是指随连续时间变化的信号,通常表示为 $f(t)$ 。信号的自变量时间一定是连续的,而它的取值可以是连续的也可以是不连续的。连续信号的示意图如图 1-1 所示。

在实际应用中,我们不必要了解 $f(t)$ 的全部过程,只需知道特定时间的 $f(t)$ 的样值就可以恢复出 $f(t)$ 来。这样就引出了离散信号。离散信号是指时间变量是离散的,而信号取值是连续的信号,通常表示为 $f(nT)$ 。离散信号仅在时间变量的离散值上才有定义,离散信号的示意图如图 1-2 所示。

换句话讲,由于消息的传递是借助于电信号来实现的,消息和信号有着一一对应的关系。通常消息是由电信号的某一参量来承载的,如果电信号的参量携带着离散消息,则该参量的取值必将是离散的。这样的信号称为离散信号。如果电信号的参量携带着连续消息,则该参量的取值为连续的,称为连续信号。

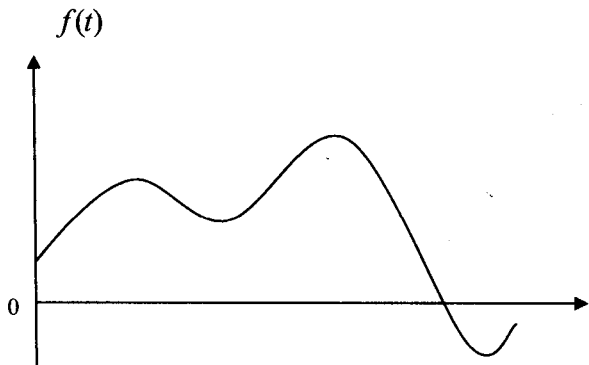


图 1-1 连续信号示意图

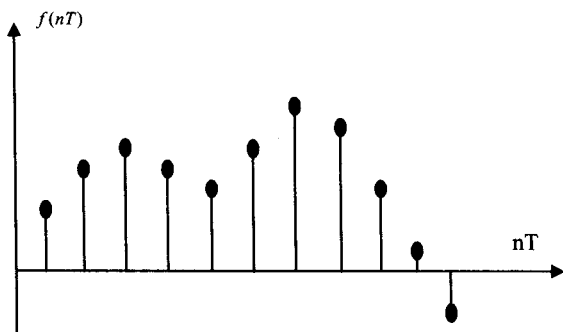


图 1-2 离散信号示意图

2. 模拟信号和数字信号

通信时,消息是携带在信号的某个参量或某几个参量上的(如连续波的频率、幅度、相位)。如果信号的某个参量可以取无限多个数值并且与消息一一对应,则称该信号为模拟信号。例如,连续变化的语音信号、电视图像信号、摄像机输出的亮度信号,以及许多物理的遥测遥控信号都是模拟信号。时间上连续的模拟信号,如图 1-3 (a) 所示。时间上离

散的模拟信号是一种抽样信号,如图 1-3 (b) 所示。图 1-3 (b) 是对图 1-3 (a) 的模拟信号每隔时间 T 抽样一次所得到的信号,虽然其波形在时间上是不连续的,但其幅度取值是连续的,所以仍是模拟信号,称之为脉冲幅度调制 (PAM, 简称脉幅调制) 信号。

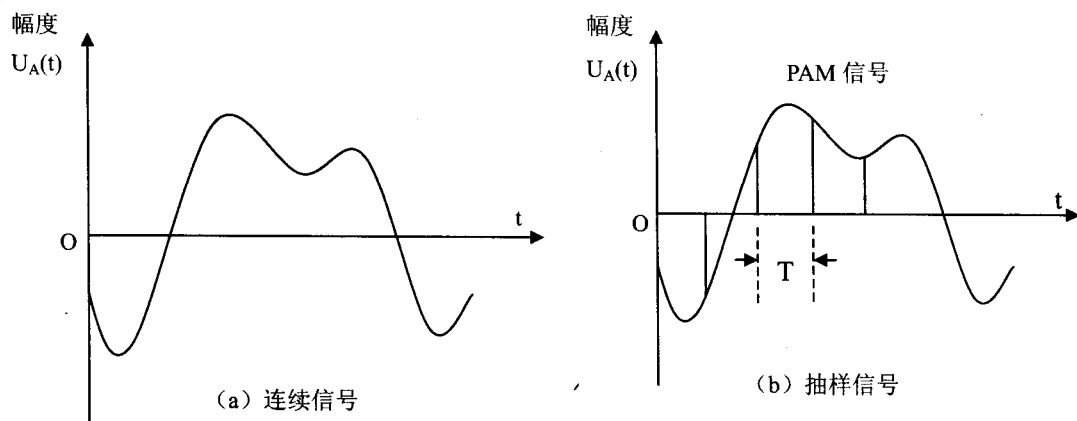


图 1-3 模拟信号示意图

数字信号指信号在幅度上的取值是离散的,幅值表示被限制在有限个数值之内。如早期的电传电报信号、计算机的输入/输出信号、数字电话信号、数字电视信号,以及数字遥测遥控信号灯都是数字信号。二进制码就是一种数字信号。由于二进制码受噪声的影响小,易于由数字电路进行处理,所以得到了广泛的应用。如图 1-4 (a) 是二进制码,每一个码元只能取两个幅值 0 和 1;图 1-4 (b) 是四进制码,每个码元能取 4 个幅值中的一个。

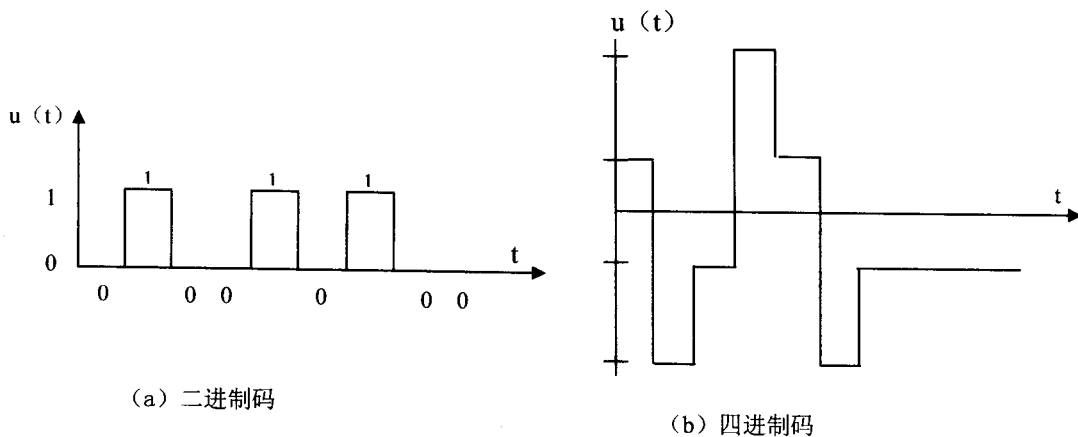


图 1-4 数字信号示意图

1.2 通信的基本概念和通信系统的基本模型

1.2.1 通信系统的一般模型

通信是利用电信号或电磁波表达、携带或传递信息的总称。通信的主要任务是将信息

从一地传送到另一地。具体的通信系统种类非常多，虽然不同的通信系统有着不同的用途和具体的电路结构，但是它们都具有通信系统的基本模型，通信系统的一般模型可用图 1-5 所示的模型来概括。

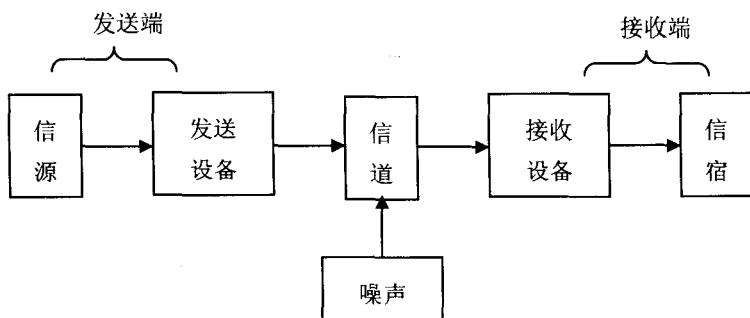


图 1-5 通信系统的一般模型

从图 1-5 通信系统的模型可以看出，通信系统主要由 4 部分组成。根据上节可知，由于通信系统根据所传输的信号不同可以分为模拟通信系统和数字通信系统，因此不同的通信系统这 4 部分的具体内容也有所不同。

1. 信源与信宿

信源的作用是把消息转换成原始的电信号，完成非电与电的转换。信源输出的是待传送的信号，它可以是模拟信号也可以是数字信号。例如，电话的送话器、电视摄像机等输出的是模拟信号；而电传机、计算机输出的信号则为数字信号。模拟信源送出的模拟信号可以通过模拟信号的数字化变换为数字信号。

信宿与信源相对应，用来接收通过通信系统传输到通信末端的信源信号。它的作用主要是复原（还原）消息，完成电/非电的转换。

2. 发送设备

发送设备的基本功能是将信源和信道进行匹配，也就是将信源要发送的信号变换为便于在信道上传送的形式，送往信道。发送设备进行变换的方式有很多种，调制是最常见的变换方式。

发送设备还包括为某些特殊要求所进行的传输前的各种处理，如多路复用、信道编码等。

3. 信道

信号从信源发出再传递到信宿所经过的传输媒介称为信道。信道可以是有线的，也可以是无线的。无论是无线还是有线的都还包含很多种类型。

通信系统的基本模型中不可避免地还会有噪声，噪声主要指在传输过程中必然要引入的各种干扰，如多径衰落、热噪声、脉冲干扰等。

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。它的主要任务是从带有干扰的信号中

正确恢复出原始消息，对于发送设备根据特殊需要所采取的各种处理（如加密），接收设备需要进行相应的处理。

1.2.2 通信系统的分类

通信系统的分类方法非常多，下面按照不同的分类方法，介绍几种常见的通信系统。

1. 按通信业务的分类

根据通信业务的不同可以分为：电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统等各种通信系统。另外，从广义上讲，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。

2. 按调制方式分类

根据调制方式可分为基带传输和调制（频带）传输两种。图 1-6 给出了常见的调制方式。

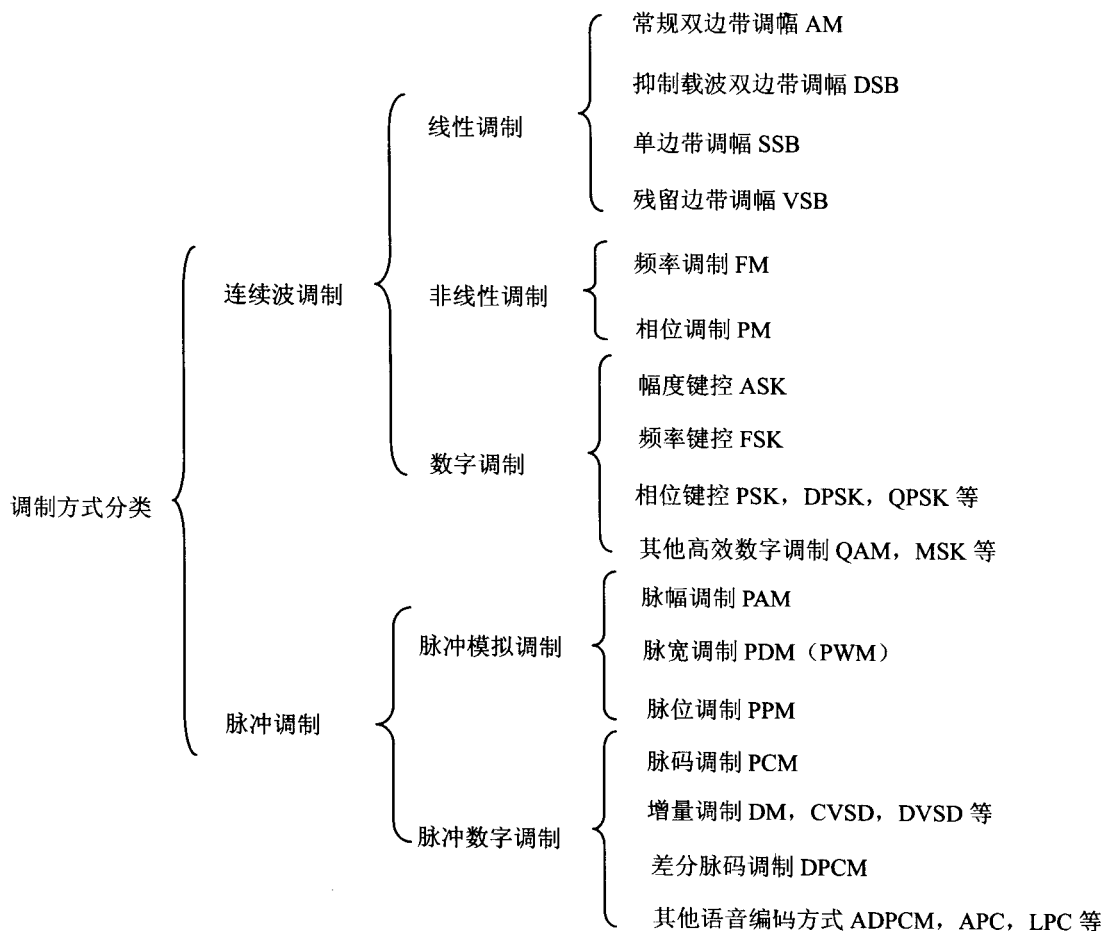


图 1-6 常用的调制方式

基带传输是指将没有经过调制的信号直接送到信道中进行传输的一种方式；而调制传输是指将信号经过调制后再送到信道中进行传输的方式。

调制传输是对各种信号变换方式后传输的总称。调制的目的有以下3个方面。

(1) 将消息变换为便于在信道上传输的形式。如无线传输时必须将消息载在高频上才能在自由空间发射出去。又如，在数字电话中将连续信号变换为脉冲编码调制信号，以便于在数字信道中进行传输。

(2) 提高通信系统性能，特别是提高抗干扰能力。

(3) 有效地利用频带，提高频带利用率。

各种调制方式正是为了达到这些目的而发展起来的。

需要指出的是，在实际应用中常常采用复合的调制方式，即采用不同调制方式进行多级调制。

3. 按信道中所传信号分类

根据信道中所传信号是模拟信号还是数字信号，通信系统可以分为数字通信系统和模拟通信系统。

4. 按传输媒质分类

根据传输媒介的不同，通信系统可以分为有线通信系统和无线通信系统。

有线通信是指以导线、电缆、光缆、波导等为传输媒质的通信方式，这种通信系统的特点是媒质能看得见、摸得着。有线通信还可以进一步再分类，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是看不见、摸不着的通信形式（如电磁波）。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. 按工作频段分类

根据通信设备的工作频率不同，通信系统通常还可以分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信系统等。

6. 按传送信号的复用方式分类

根据信号复用方式可分为频分复用方式（FDM）、时分复用方式（TDM）和码分复用方式（CDM）等。

频分复用是用频谱搬移的方法使不同信号占用不同的频率范围；时分复用是指用脉码调制的方法使不同信号占用不同的时间区间（时隙）；码分复用则是用一组相互正交的脉冲序列分别携带不同的信号的复用方式。

通信系统的分类方式除以上介绍的几种外还有很多种，如按照通信网络可分为专线通信和网通信等；根据收信者是否运动又可分为移动通信和固定通信；按通信方式可分为单工、单双工、双工通信等。

1.3 数字通信系统

1.3.1 数字通信系统模型及各部分功能

根据信道上传输的信号是模拟信号还是数字信号,通信技术体制分为模拟通信和数字通信两种类型。

通常将以模拟信号的形式进行传递消息的通信方式称为模拟通信。因此模拟通信系统是按照模拟信号的传输特点进行设计的。

将以数字信号形式进行传递消息的方式称为数字通信。相应的数字通信是按照数字信号的特点进行设计的。

这里需要指出的是,模拟信号并不是一定要在模拟通信系统中才能传输,任何模拟信号都可以经过模/数变换后才能在数字通信信道上进行传输。同理,数字信号也并非一定要在数字通信系统中才能够传输,只要加上相应的终端设备,数字信号也是可以在模拟通信系统中进行传输的。由此可以看出,任何一种信息,既可以通过模拟方式传输,也可以通过数字方式进行传输,而且无论是模拟通信还是数字通信方式,在整个通信系统中有较大一部分是可以共用的。

图 1-7 是数字通信系统组成的框图。

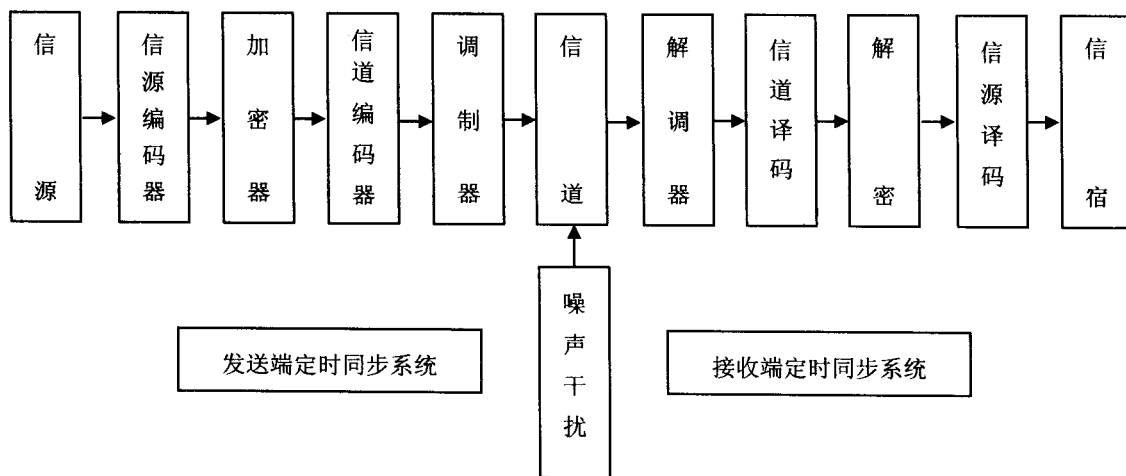


图 1-7 数字通信系统组成框图

由图 1-7 可看出数字通信系统主要由 7 部分组成。

- 1) 信源与信宿
- 2) 信源编码与信源译码器

信源编码器是将信源送出的连续或离散的模拟信号进行适当处理,产生周期性符号序列,使其变成合适的数字编码信号。若信源输出的信号是模拟信号,信源编码器将对模拟信号进行抽样、量化、编码,使之变成数字信号,从而完成模数转换任务。如果信源输出的是数字信号,这时信源编码器的作用是提高数字信号传输的有效性,去掉冗余度并压缩原始信号的数据速率。信源译码器实现信源编码的逆过程。

3) 加密器与解密器

加密器主要用于需要保密通信的系统。加密是指对于某些需要进行加密处理的通信,采用复杂的密码序列对信源编码输出的数码序列进行人为扰乱。解密器实现的是加密器的逆过程。

4) 信道编码器与信道译码器

由于信道在传输信号过程中会受到各种噪声干扰,引起信号产生差错和失真,导致误码。为了使数字信号适应信道,需要对信号进行变换,这种变换称为信道编码。信道编码器的作用是提高通信可靠性。它对信号进行差错控制编码(也简称为纠错编码),即按一定的编码规则加入多余码元,以便在接收端对信号进行检错和纠错,从而降低差错概率,提高正确识别信号的能力,提高通信的可靠性。信道译码器是信道编码的逆过程。

5) 调制器与解调器

调制器的作用是将信道编码器输出的数字信号经过适当变换,使之适于信道传输。变换前的数字信号称为基带信号,基带信号是低通型信号,要使低通型的基带信号在带通型信道中进行传输,不经调制是不行的。解调是调制的逆过程,将收到的调制信号还原成原数字信号。调制方式和解调方式的选择,主要是根据信号的特点、信道的特性,以及传输过程中的不同干扰环境来进行选择,调制和解调方式的不同将对通信的质量起到非常关键的作用。

6) 信道与噪声干扰

信道在前面已经作了介绍,它是信号在媒质中传输的通路。例如,架空明线、电缆、电离层传播、微波视距传播,对流层传播、人造卫星、光纤等。信号在信道中传输时,不可避免地会受到噪声或干扰的影响,且干扰会贯穿于整个通信系统的始终。为了便于分析干扰的影响,通常把始端、终端及传输信道中所存在的干扰都折合到信道中,等效为一个总的噪声源,根据这些来研究信号在传输中的衰减和畸变,以采取措施来克服这些不利因素的影响。因此,噪声源是指信号在信道传输过程中受到的干扰。信道中的噪声可以分为高斯噪声和脉冲噪声。设法消除因信道引起的信号失真及尽可能抑制和减小噪声的干扰是设计数字通信系统的主要目的。

7) 同步系统

同步系统是使收发两端信号在时间上保持步调一致的系统。因为它的位置分散不固定,因此不便于集中用方框表示,图 1-7 只是大致进行示意。但同步系统却是数字通信系统中必不可少的组成部分。在数字通信中要求发端和收端间有严格的时间关系,如果收端与发端的码元节拍不一致就无法正确接收,同时在发端传输信号时常常需要把若干码元组成一个码字,若干码字组成一句或若干码元组成一帧。为了正确可靠地进行通信,数字通信系统的同步要求必须做到码元同步(位同步)、字同步、帧同步。若数字通信系统中同步失败就会导致整个通信瘫痪。按照同步的作用不同,可以分为载波同步、位同步、群同步和网同步。同步系统是保证数字通信系统准确、有序、可靠工作的前提。

当然,实际的数字通信系统并非一定如图 1-7 所示那样,而且并不一定包括模型中的所有模块。比如,没有保密要求的系统就不必有加密解密器;在信源输出的信号是数字信号而本身冗余度并不是很高的场合,就没有必要加信源编码、译码器;而信道特性好,要求又不是很高的场合,可以不加信道编、译码器(即差错控制编、译码器),具体的系统组成

应根据实际的要求而定。系统模型既表示了数字通信的全部过程，也概括了数字通信研究的基本问题。

1.3.2 数字通信系统的特点

1. 数字通信系统的优点

1) 数字通信的抗干扰能力强，可靠性高

因为模拟信号在传输过程中噪声干扰是叠加在模拟信号上，接收端难以把信号和噪声分开，所以模拟通信的抗干扰能力较差。而数字通信系统传递的是数字信号，数字信号的取值是有限可数的，通常是把这些取值用二进制数值表示，这样，在有干扰的条件下容易检测。而且还可以进行码再生，从而能够避免传输过程中的噪声积累。比如，数字信号在传输过程中混入的杂音，可以利用电子电路构成的门限电压（称为阈值）去衡量输入的信号电压，只有达到某一电压幅度，电路才会有输出值，并自动生成一整齐的脉冲（称为整形或再生）。由于较小杂音电压到达时，由于它低于阈值而被过滤掉，不会引起电路动作，因此再生的信号与原信号完全相同，除非干扰信号大于原信号才会产生误码。为了防止误码，在电路中可以通过设置检验错误和纠正错误的方法，即在出现误码时，利用后向信号使对方重发。因而数字传输适用于较远距离的传输，也适用于性能较差的线路。

2) 数字信号易于加密且保密性强

数字信号可以采用各种复杂的加密算法进行加密，而且只需要用简单的逻辑电路就能实现加密，从而使通信具有高度的保密性。

3) 通用性、灵活性好

在数字通信中各种电报、电话、图像和数据等都可变成统一的二进制数字信号，既便于计算机对其进行处理，又便于接口和复接，因而可将数字传输技术和数字交换技术结合起来，这样能够方便地实现各种业务的处理和交换，从而形成综合业务数字网（ISDN）。

4) 可采用再生中继实现远距离高质量的通信

远距离模拟通信系统中的噪声是积累的，因而随着通信距离的增加，传输质量也随着传输距离的增加急剧下降。而数字通信传送的是二元数字信号，采用再生中继的方法能够在传输过程中信号受到的噪声干扰加以消除，从而再生出原始信号波形。远距离的数字通信，可以经过多次再生中继实现高质量的传输。

5) 设备可集成化、微型化

数字电路比模拟电路更容易实现集成化，随着近年来大规模集成电路技术的迅速发展，更进一步促进数字通信电路做到微型化，这对数字通信系统产生极大的影响。

6) 能适应各种通信业务

各种信息，都可以变换为统一的二元数字信号进行传输。把数字信号传输技术与数字交换技术结合，还可组成统一的综合业务数字网（ISDN）。对来自各种不同信源的信号自动进行变换、综合、传输、处理、储存和分离，实现各种综合的业务入网。

2. 数字化通信的缺点

1) 占用频带较宽

事物总是一分为二的，数字通信的许多优点都是用比模拟通信占用更宽的系统频带换