

中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材

21世纪高职高专电子信息类规划教材

21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

数字数据 通信

姚先友 主编 林勇 副主编

张祥丽 蒋海娜 包万宇 编

- 理论必需、够用，重在实用性和可读性
- 以学生为中心，加强教学各方交流互动
- 多门课程内容整合，适应高职教育发展



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材

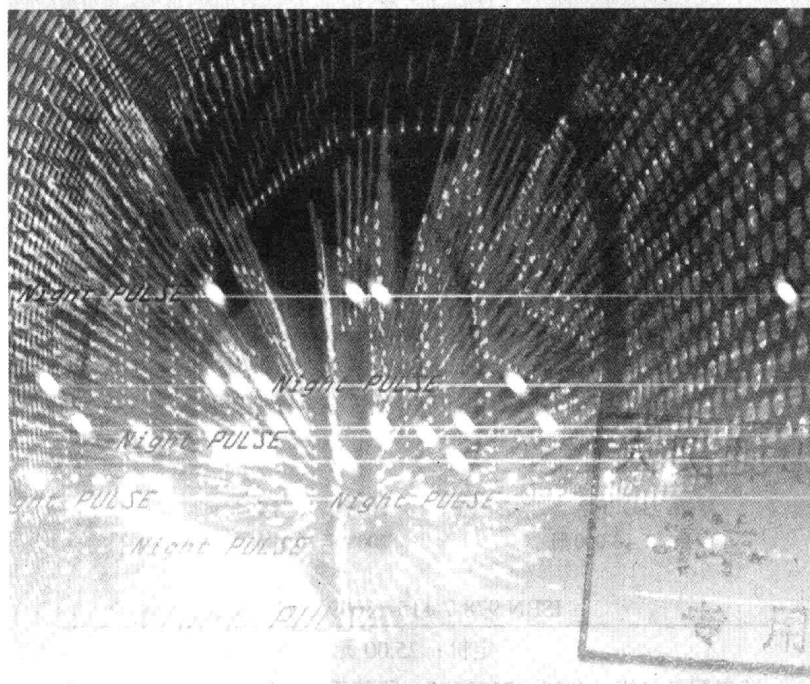
21世纪高职高专电子信息类规划教材

21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

数字数据 通信

姚先友 主编 林勇 副主编

张祥丽 蒋海娜 包万字 编



人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

数字数据通信 / 姚先友主编. —北京: 人民邮电出版社,
2008.10
21 世纪高职高专电子信息类规划教材
ISBN 978-7-115-18099-5

I. 数… II. 姚… III. ①数字通信—高等学校: 技术学
校—教材②数据通信—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 123253 号

内 容 简 介

本书以通信技术的基本概念和原理为主线, 以数字数据通信技术为主要内容进行系统地讲解和介绍, 同时简单介绍了现代通信新技术和发展趋势。

全书共分 9 章, 内容包括通信的基本概念及基础理论, 信道与噪声基本原理, 脉冲编码调制的原理和方法, 基带传输原理, 数字信号的频带传输原理和方法, 复用技术相关理论和实际应用, 差错控制编码, 同步技术的概念和实现方法, 以及现代通信技术简介。

本书可作为高职高专通信、电子信息类专业或同等学历相近专业的教学用书, 也可供相应专业的工程技术人员参考。

21 世纪高职高专电子信息类规划教材

数字数据通信

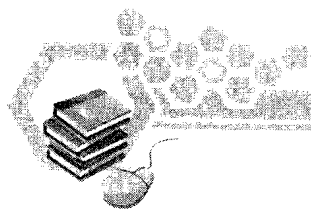
-
- ◆ 主 编 姚先友
副 主 编 林 勇
编 张祥丽 蒋海娜 包万字
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本 787×1092 1/16
印张 13 75
字数 349 千字 2008 年 10 月第 1 版
印数 1—3 000 册 2008 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 978 7-115-18099-5/TN

定价: 25.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



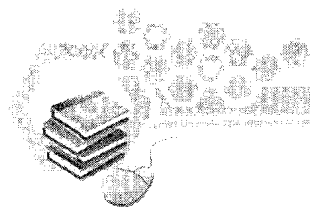
编 委 会

(按姓氏笔画排序)

马晓明	王钧铭	韦泽训	刘建成
孙社文	孙青华	朱祥贤	严晓华
吴柏钦	张立科	李斯伟	周训斌
武凤翔	宫锦文	黄柏江	惠亚爱
滑 玉	蒋青泉	谭中华	

执行编委：蒋 亮

前言



为适应高职高专教育的需要,针对高职高专学生的实际情况,依据理论“必需、够用”,重在应用的原则,编者在总结了许多工作在高职高专教育第一线教师的经验和现代通信技术发展成果的基础上编写成本书。本书的编写是对高职高专教材编写模式改革的一次探索,在引导学生学习上尽量做到“以学生为中心”,加强教材、学生和教师的互动性。

根据职业技术教育的特点,本书在编写过程中放弃了以前的教材对“系统性、完整性”的强调,把重点放在“实用性”和“可读性”方面。本书强调理论和实际的结合,同时加强了课程之间的融合,打破原有的课程界限,将以前分别在“通信原理”、“通信系统”、“数字通信原理”、“数据通信”、“光纤通信”、“卫星通信”等课程的内容有机地整合在一起。删除了传统的“通信原理”课程中大量繁冗的数学运算,以通俗的语言、简明的图形提示,将现代通信技术的基本原理和基本系统构成加以清楚地阐述,使学生在有限的学时内掌握现代通信技术的基本原理和系统构成,了解现代通信技术的新成果和发展的新趋势。

本书几个重要特点如下:

- (1) 对各章节做了前期的学习说明;
- (2) 内容编写中大量例举了生活当中的形象例子加以物理说明,尽力摒弃了不必要的数学运算;
- (3) 对具体内容做了图示性说明和提示;
- (4) 加入了大量实际应用的例子和图片;
- (5) 对章节做了汇总,让学生阶段性总结。

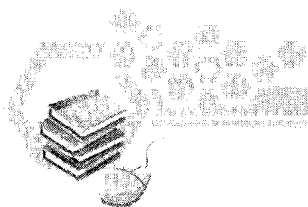
本书由重庆电子工程职业学院姚先友老师担任主编,林勇老师担任副主编。其中,姚先友老师编写了第4章和第5章,林勇老师编写了第1章、第2章和第7章的理论部分,张祥丽老师编写了第3章,蒋海娜老师编写了第6章和第8章,包万字老师编写了第9章。

在书稿的编写过程中,得到了金吉成教授的大力帮助,与其对于内容的取舍等问题的探讨,使编者受益良多。本书能够顺利出版,离不开重庆电子工程职业技术学院各级领导的大力支持和鼓励,在此表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2008年8月

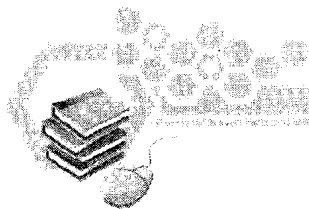


目录

第1章 绪论	1	习题	30
1.1 通信技术简介	2	第3章 模拟信号数字化	32
1.1.1 信息、信号、通信	2	3.1 抽样	33
1.1.2 通信系统模型	3	3.1.1 抽样原理	33
1.2 信号	4	3.1.2 抽样定理	34
1.2.1 信号的分类	4	3.1.3 抽样恢复	35
1.2.2 信号的时域描述和频域描述	5	3.1.4 带通信号的抽样	36
1.3 模拟通信系统	6	3.2 量化	36
1.4 数字通信系统	7	3.2.1 量化的概念	36
1.5 通信的发展历程	8	3.2.2 均匀量化	37
1.5.1 通信技术的发展历程	8	3.2.3 非均匀量化	38
1.5.2 通信网络的发展历程	9	3.3 PCM 编码、译码	41
1.6 通信的发展趋势	10	3.3.1 非线性编码与译码	41
1.6.1 通信技术的发展趋势	10	3.3.2 A 律 13 折线编码过程	42
1.6.2 通信行业中的标准与法规	13	3.4 PCM 解码	46
小结	13	3.4.1 再生	46
习题	14	3.4.2 解码原理	47
第2章 信道与噪声	16	3.5 增量调制	48
2.1 有线通信信道	17	3.5.1 简单增量调制	48
2.1.1 双绞线	17	3.5.2 改进型增量调制系统	49
2.1.2 同轴电缆	19	3.5.3 PCM 和 ΔM 系统性能比较	52
2.1.3 光缆	21	3.5.4 自适应差分脉冲编码调制	53
2.2 无线通信信道	24	3.6 子带编码——SBC	55
2.2.1 无线信道的基本概念	24	3.6.1 子带编码的概念和工作原理	55
2.2.2 电磁波在无线信道中的传播	25	3.6.2 子带的划分	56
2.2.3 无线信道的特点	26	3.6.3 子带编码的应用	56
2.2.4 无线传输介质	26	3.7 参量编码	57
2.3 信道的噪声	28	3.7.1 语音形成机理	57
2.4 信道容量	28	3.7.2 线性预测编码的基本概念	59
2.4.1 信道容量的定义	28	3.7.3 线性预测合成分析编码	60
2.4.2 连续信道的容量	29	小结	61
2.4.3 离散信道的信道容量	29	习题	61
小结	30	第4章 数据信号的基带传输	64



4.1 数据概论	65	5.3 数字调相	105
4.2 数据通信系统	65	5.3.1 PSK 信号及功率谱密度	106
4.3 数据通信系统的主要性能指标	66	5.3.2 二相调相信号的产生和解调	107
4.3.1 工作速率	67	5.3.3 多相调制	110
4.3.2 可靠性质量指标	68	5.4 频移键控 (FSK)	114
4.3.3 有效性质量指标	68	5.4.1 2FSK 信号及功率谱密度	114
4.4 数据传输方式	69	5.4.2 2FSK 信号的产生和解调	116
4.4.1 并行传输和串行传输	69	5.5 最小移频键控 (MSK)	117
4.4.2 同步传输与异步传输	69	5.6 各种调制方式的信道频带利用率比较	117
4.4.3 单工、半双工和全双工数据传输	70	5.6.1 二进制方式	117
4.5 数据序列的电信号表示	71	5.6.2 多相调制方式	118
4.6 数据序列的频谱特性	72	5.7 数字调幅调相	118
4.6.1 二进制数据信号的一般表示式	72	5.8 格型编码调制 (TCM) 的概念	119
4.6.2 二进制数据信号的功率谱密度	73	5.9 数据信号数字传输	120
4.7 数据信号的基带传输	74	5.9.1 数据信号数字传输概念	120
4.7.1 基带传输系统构成模型	75	5.9.2 数据信号数字传输的特点	121
4.7.2 奈奎斯特第一准则	75	5.9.3 数字数据传输的实现方式	121
4.7.3 具有幅度滚降特性的低通网络波形形成	78	5.9.4 数字数据的时分复用——TDM	122
4.7.4 部分响应形成系统	81	5.9.5 数字数据传输系统的构成	123
4.7.5 数据序列的扰乱与解扰	84	5.9.6 本地传输系统	123
4.7.6 数据传输系统中的时域均衡	86	5.9.7 交叉连接和复用	124
4.7.7 数据传输系统中的时钟同步	89	小结	125
4.7.8 数据传输系统性能分析——眼图	90	习题	126
4.7.9 基带数据传输系统及应用	90	第 6 章 复用技术	128
小结	91	6.1 概述	129
习题	93	6.2 频分多路复用	129
第 5 章 数据信号的频带传输	96	6.2.1 基本概念	129
5.1 频带传输系统	97	6.2.2 基本原理	130
5.2 数字调幅	98	6.2.3 基本特点	131
5.2.1 ASK 信号调制解调原理	98	6.3 时分多路复用	131
5.2.2 2ASK 调制波功率谱	100	6.3.1 复用原理	132
5.2.3 单边带和残余边带调制的概念	101	6.3.2 PCM30/32 路系统	134
5.2.4 正交幅度调制	101	6.4 复接技术	136
		6.4.1 复接基本原理	136
		6.4.2 同步复接与异步复接基本原理	138



6.5 码分多路复用	141	7.6.5 循环码的解码方法	168
6.5.1 扩频通信	142	小结	169
6.5.2 复用原理	143	习题	170
小结	143	第8章 同步技术	172
习题	144	8.1 概述	173
第7章 差错控制	147	8.2 位同步	173
7.1 差错控制的基本概念及原理	148	8.2.1 插入导频法	174
7.1.1 差错控制的基本概念	148	8.2.2 自同步法	176
7.1.2 随机差错与突发差错	148	8.3 帧同步	178
7.1.3 差错控制方式	149	8.3.1 集中插入同步	178
7.2 检错和纠错的基本概念	152	8.3.2 分散插入同步	180
7.2.1 检错和纠错的基本原理	152	8.4 网同步	181
7.2.2 码距与检错和纠错的关系	153	8.4.1 全网同步	181
7.2.3 编码效率	154	8.4.2 准同步系统	182
7.2.4 纠错编码的分类	154	小结	182
7.3 简单的差错控制编码	155	习题	183
7.3.1 奇偶监督码	155	第9章 现代通信技术	185
7.3.2 水平奇偶监督码	156	9.1 光纤通信	186
7.3.3 水平垂直奇偶监督码	157	9.1.1 光纤通信的概念及特点	186
7.4 汉明码	157	9.1.2 光纤与光纤的导光原理	187
7.4.1 汉明码的诞生	157	9.1.3 光纤通信系统	189
7.4.2 汉明码的原理	158	9.2 卫星通信	193
7.4.3 汉明码编码方法	158	9.2.1 微波通信	193
7.4.4 汉明码编码效率	160	9.2.2 卫星通信	197
7.5 线性分组码	161	9.3 卫星定位技术	202
7.5.1 监督矩阵	161	9.3.1 GPS 系统	202
7.5.2 生成矩阵	162	9.3.2 中国北斗导航系统 (COMPASS)	204
7.5.3 校正子和检错	163	9.4 蓝牙技术	205
7.5.4 线性分组码主要性质	164	9.4.1 概述	205
7.6 循环码	165	9.4.2 蓝牙系统组成	206
7.6.1 循环码的循环特性	165	9.4.3 蓝牙技术的特点及应用	208
7.6.2 循环码的多项式表示	166	小结	209
7.6.3 循环码的生成多项式 $g(x)$ 及生成矩 阵	167	习题	209
7.6.4 循环码的编码方法	167	参考文献	212

第1章

绪论

本章节教学说明

- 本章重点学习信息与信号的区别、模拟通信系统、数字通信系统
- 本章主要介绍通信系统模型、数字通信系统的结构和特点
- 本章主要系统概括介绍数字通信系统的框架

本章节内容概述

- 通信技术简介
- 通信系统模型
- 信号的分类
- 模拟通信系统
- 数字通信系统
- 通信的发展历程
- 通信的发展趋势

本章节学习重点、难点

- 信号的时域和频域
- 数字信号与模拟信号的区别
- 数字通信系统的特点

本章节学习目标

- 熟悉通信系统的模型、信号的分类、信号的时域和频域概念
- 熟悉掌握模拟、数字通信系统的特点
- 理解模拟信号与数字信号的区别

本章节学习能力要素及基础要求

- 课前预习相关内容
- 掌握信号与系统相关基本内容



本章节学习方法建议

- 预习复习结合
- 考察参观与课堂学习结合
- 自学与探讨结合
- 课后作业与章节个人总结结合
- 寻求教师答疑与学习反馈结合

在人们日常生活和工作中,存在着人与人之间信息的交流和沟通。在这种交流和沟通过程中,不同的人采用了不同的方式,比如采用面对面交流、采用固定电话、移动电话、计算机网络、电子邮件、即时通信软件、卫星等多种不同的方式。人与人之间进行交流和沟通的目的是进行相互之间的信息或者资源共享,而人们使用的电话、电子邮件等方式只是为了达到使人们之间能够通过这些方式进行资源和信息共享的目的。

对于上面所提到的固定电话、移动电话、计算机网络、电子邮件、即时通信软件、卫星等方式,只是我们进行信息传递的一种方式,人与人之间进行信息交流是依靠这些载体来实现的,所以对于这种通过某种载体实现信息的传递和交换的过程,我们称之为通信。对于信息可以有多种不同的表现形式,如使用语言、文字、数字、图像等来表示。

1.1 通信技术简介

1.1.1 信息、信号、通信

对于信息,一般可理解为消息、情报或知识。例如,语言文字是社会信息;商品报道是经济信息;古代烽火是外敌入侵的信息等。从物理学观点出发来考虑,信息不是物质,也不具备能量,但它却是物质所固有的,是其客观存在或运动状态的特征。信息可以理解为是事物的运动的状态和方式。信息和物质、能量一样,是人类不可缺少的一种资源。

信息本身不是物质,不具有能量,但信息的传输却依靠物质和能量。一般来说,传输信息的载体称为信号,信息蕴涵于信号之中。下面是几个信息和信号关系的例子。

(1) 古代烽火和现代防空警笛。

对古代烽火,人们观察到的是光信号,而它所蕴涵的信息则是“外敌入侵”。

对防空警笛,人们感受到的是声信号,其携带的信息则是“敌机空袭”或“敌机溃逃”。

(2) 老师讲课和学生自学。

老师讲课时口里发出的是声音信号,是以声波的形式发出的;声音信号中所包含的信息就是老师正讲授的内容。而学生自学时,通过书上的文字或图像信号获取要学习的内容,这些内容就是这些文字或图像信号承载的信息。

信号具有能量,是某种具体的物理量。信号的变化则反映了所携带的信息的变化。

测试工作的目的是获取研究对象中有用的信息,而信息又蕴涵于信号之中。可见,测试工作始终都需要与信号打交道,包括信号的获取、信号的调理和信号的分析等。因此,深入地了解信号及其描述是工程测试的基础。

实现信号从一方传递到另一方的过程,称为通信,例如在两台计算机之间传递一封电子邮件,就属于一次通信。



信号与信息的区别在于信号是信息的电磁表示形式，而信息是现实世界中某种具体内容的解释。

1.1.2 通信系统模型

实现信息传递所需的设备、技术和传输介质的总和称为通信系统。任何通信系统都是要完成从一方到另一方信息的传递和交换，在这样一个总的目的下我们可以把通信系统概括为一个统一的模型，即由信源、发送设备、信道（包括噪声）、接收设备和信宿 5 部分组成，如图 1-1 所示。

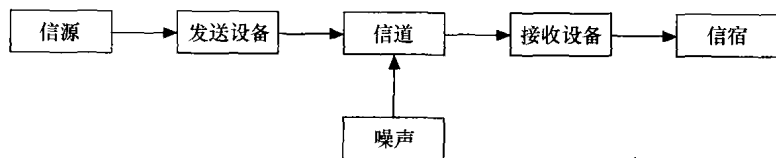


图 1-1 通信系统的基本模型

1. 信源

信源又称为信息源或信息发送者，是信息的产生地。在人与人之间通信时，信源是指发出信息的这个人；在计算机与计算机通信的情况下，信源是指产生信息的这台计算机。

2. 发送设备

发送设备的基本功能是将信源发出的信息转换成适合在信道中传输的信号。比如在电话通信过程中，电话的送话器就属于发送设备，它将人们发出的语音信息转换成能够在双绞线介质中传递的模拟信号。

3. 信道

从发送设备到接收设备之间信号传递所经过的介质称为信道。传输信号的信道可以分为两种，一种是有线信道，比如在实际通信中使用的电话线、光纤、同轴电缆等，一种是无线信道、比如小灵通通信使用的微波等。

4. 接收设备

接收设备是接收端各种设备的总称，其功能与发送设备的功能正好相反。接收设备的主要任务是从接收到的信号中正确恢复原始信号，如解调、译码等。

5. 信宿

信宿又称为受信者或信息的接收者，是信息传输的终点，其作用是将信号转换（还原）成原始的消息。

6. 噪声

在信号的传输过程中，通信设备和通信介质必然会受到来自内外各方面的电磁干扰，这些电



磁干扰可以与原有信号产生叠加效应或者减弱原有信号的能量,这样可能会导致原有信号到达接收端之后不能还原成与发送端一致的信息。由于这种外界的电磁干扰会影响正常的通信,因此我们将这些外界的破坏现象统称为干扰,即噪声。

1.2 信号

1.2.1 信号的分类

为了深入了解信号的物理性质,讨论信号的分类是非常必要的。下面讨论几种常见的信号分类方法。

1. 按信号随时间的变化规律分类

(1) 确定性信号与非确定性信号

根据信号随时间的变化规律,可把信号分为确定性信号和非确定性信号。

能明确地用数学关系式描述其随时间变化关系的信号称为确定性信号。无法用明确的数学关系式表达的信号称为非确定性信号,又称为随机信号。



一个正弦信号就属于确定信号,因为它的变化是随正弦图形而变化的。
我们平常投掷硬币的变化规律就是属于随机信号,因为得到的正面或反面的结果是随机的。

(2) 周期信号与非周期信号

确定性信号又可分为周期信号和非周期信号。按一定时间间隔周而复始出现的信号称为周期信号,否则称为非周期信号。

2. 按信号幅值随时间变化的连续性分类

根据信号幅值随时间变化的连续性,可把信号分为连续信号和离散信号。

若信号的独立变量取值连续,则是连续信号,如图 1-2 (a)、(b) 所示;若信号的独立变量取值离散,则是离散信号,如图 1-2 (c)、(d)、(e)、(f) 所示,其中图 1-2 (e) 是对图 1-2 (b) 的独立变量 t 每相隔 5min 读取温度值所获得的离散信号。仅仅独立变量连续的信号称为一般连续信号;仅仅独立变量离散的信号称为一般离散信号。信号幅值也可分为连续和离散两种,若信号的幅值和独立变量均连续,则称为模拟信号,如图 1-2 (a)、(b) 所示;若信号幅值和独立变量均离散,则称为数字信号,如图 1-2 (f) 所示,其幅值进行了离散化并用二进制数来表示。数字计算机使用的信号都是数字信号。



模拟信号是用一系列连续变化的电磁波或电压信号来表示;数字信号是用一系列断续变化的电压脉冲(如我们可用恒定的正电压表示二进制数 1,用恒定的负电压表示二进制数 0)或光脉冲来表示。

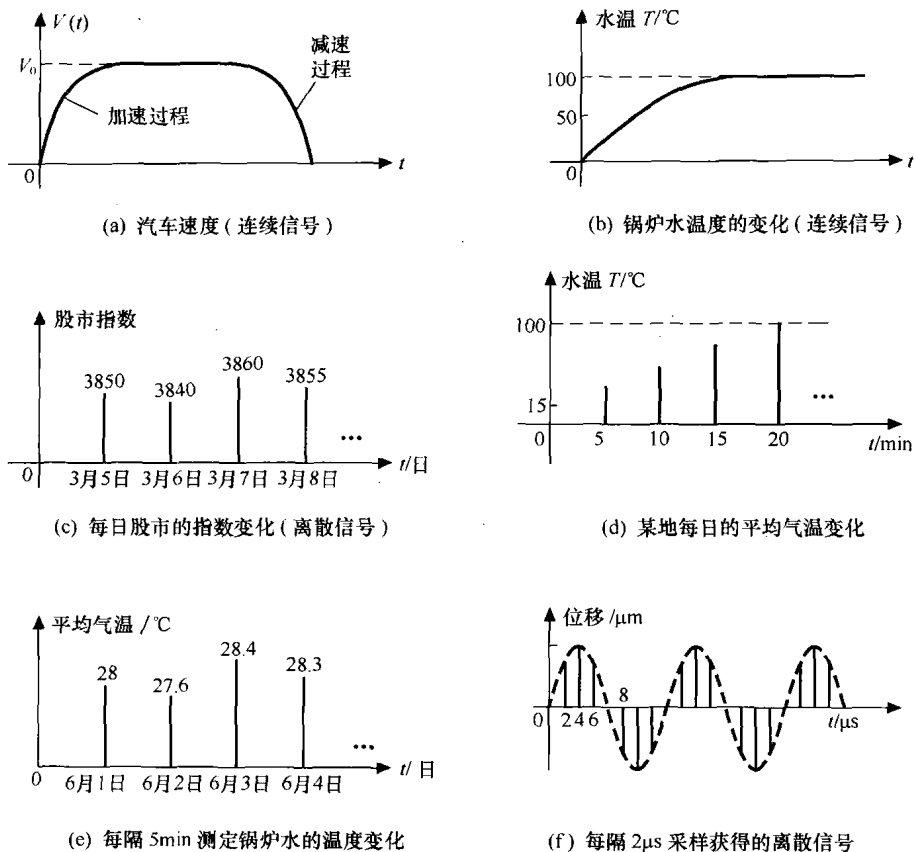


图 1-2 连续信号与离散信号

1.2.2 信号的时域描述和频域描述

直接观测或记录的信号一般为随时间变化的物理量。这种以时间为独立变量，用信号的幅值随时间变化的函数或图形来描述信号的方法称为时域描述。信号的时域波形是时域描述的一种重要形式。图 1-2 所示就是用时域波形表示。

时域描述简单直观，只能反映信号的幅值随时间变化的特性，而不能明确揭示信号的频率成分。因此，为了研究信号的频率构成和各频率成分的幅值大小、相位关系，则需要把时域信号转换成频域信号，即把时域信号通过数学处理变成以频率 f (或角频率 ω) 为独立变量、相应的幅值或相位为因变量的函数表达式或图形来描述，这种描述信号的方法称为信号的频域描述。图 1-3

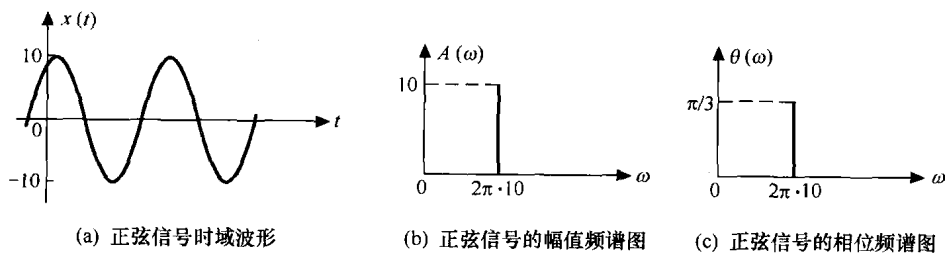


图 1-3 正弦信号波形和频谱图



中,其时域信号的波形如图 1-3 (a) 所示,其频域描述一般用频谱图来表示,如图 1-3 (b)、图 1-3 (c) 所示。

信号“域”的不同,是指信号的独立变量不同,或描述信号的横坐标物理量不同。信号在不同域中的描述,使所需信号的特征更为突出,以便满足解决不同问题的需要。信号的时域描述以时间为独立变量,其强调信号的幅值随时间变化的特征;信号的频域描述以角频率或频率为独立变量,其强调信号的幅值和初相位随频率变化的特征。因此,信号的时域描述直观反映信号随时间变化的情况,频域描述则反映信号的频率组成成分。信号的时域描述和频域描述是信号表示的不同形式,同一信号无论采用哪种描述方法,其含有的信息内容是相同的,即信号的时域描述转换为频域描述时不增加新的信息。

1.3 模拟通信系统

能够实现模拟信号的传送、接收和处理过程的通信系统称为模拟通信系统,系统构成框图如图 1-4 所示。

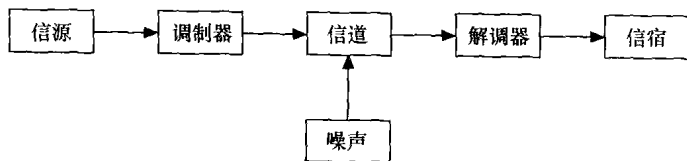


图 1-4 模拟通信系统基本构成

模拟通信系统的工作过程主要完成两类变换:一是完成原始消息和基带电信号的相互转换,把原始消息转换成基带电信号的过程由信源完成,而把基带电信号恢复成为原始消息的过程由信宿完成;二是基带信号和频带信号的相互转换,把信源发出的基带信号转换成适合信道传输的频带信号的过程由调制器完成,而把接收到的带有噪声的频带信号转换成基带信号的过程由解调器完成。通信系统完成通信任务的过程就是对信号实现两类变换的过程,在通信过程中对信号进行滤波、放大、发射、接收和控制等都是为这两类变换服务的。

在实际中由于基带信号下限频率较低,相对带宽较大,通常不适合在信道中直接传输,一般均把它变换成为较适合于信道传输的频带信号,频带信号又称为已调信号,它具有以下 3 个特点:

- (1) 携带有基带信号的信息;
- (2) 相对于基带信号,其中心频率较高;
- (3) 便于在信道中传输。

可见调制器在模拟通信系统中的作用非常重要,按照调制方式的不同调制器又可分为连续波调制系统和脉冲波调制系统,前者包括振幅调制系统、频率调制系统,后者包括脉冲幅度调制、脉冲相位调制和脉冲宽度调制等系统。

模拟通信系统的主要优点是设备简单、成本较低,缺点是抗干扰能力差、不易保密、不便于与计算机连接等。



1.4 数字通信系统

在系统中传输、接收和处理的是数字信号的通信系统称为数字通信系统。数字通信系统的一般构成如图 1-5 所示。

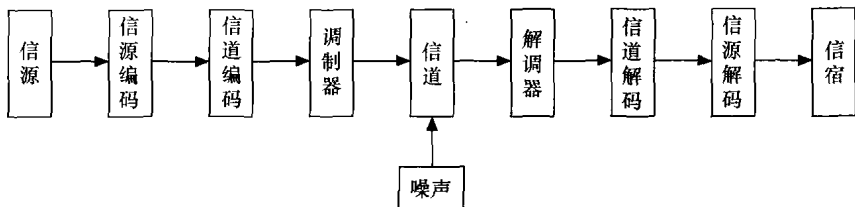


图 1-5 数字通信系统的一般构成



提示

结合图 1-5, 在本书中, 第 3 章主要学习信道之前的内容, 第 4 章和第 5 章主要学习怎样在信道中传输数据的内容, 其余章节主要学习接收端对信号的处理内容, 这样我们就能对整个知识结构有个大致印象, 便于我们系统化学习。

由图 1-5 可见, 数字通信系统与模拟通信系统相比就是在调制器之前增加了两个编码器, 相应地在解调器之后增加了两个译码器, 其余部分与模拟通信系统基本一致。

信源编码的主要任务是完成信号的模数转换和数据压缩, 如果信源送来的是模拟信号, 那么信源编码还需包含一个将模拟信号转换成数字信号的数模转换器。信源编码可以提高通信系统的有效性。接收端的信源译码的作用与信源编码相对应。

信道编码又称为抗干扰编码或纠错编码, 它将信源编码器输出的数字基带信号按照一定的规律人为地加入多余码元, 以便在接收端的信道译码器中发现或纠正码元在传输过程中出现的错误, 这样可以降低码元传输的错误概率, 提高通信系统的可靠性。

调制器对经过前述两种编码得到的数字基带信号进行调制, 调制的方法可以和模拟通信的调制方法一致, 但考虑到数字信号的特点, 数字调制往往采用键控方式调制, 如振幅键控 (ASK)、频率键控 (FSK) 和相位键控 (PSK)。解调也相应地可以采用与模拟调制一致的方法, 但更多地采用与 3 种键控调制相对应的解调器。

显然, 保持收、发端同步是数字通信系统中非常重要的问题, 即数字通信系统收发两端必须同步, 只有建立一种收发两端相对一致的时间关系, 才能确定每一个码元的起止时刻, 并确保接收码组和发送码组之间的正确对应关系, 从而最终实现通信任务。实现同步的主要形式有: 位同步、码元同步、帧同步和载波同步等。

与模拟通信系统相比, 数字通信系统具有以下优点:

- (1) 抗噪声性能好, 可采用再生中继的办法消除噪声积累, 实现高质量、远距离通信;
- (2) 由于采用了信道编码技术, 使通信误码率降低, 大大提高了通信的可靠性;
- (3) 便于加密, 保密性好;
- (4) 便于与计算机等数字终端设备连接, 实现信号的处理、存储和交换更加方便;
- (5) 易于实现集成化、小型化。

当然, 数字通信系统也有一些缺点, 如系统和设备较复杂、占用频带较宽等。其中最突出的



就是占用频带过宽问题。然而随着卫星通信、光纤通信等宽带通信技术的日益发展与成熟,使得数字通信得到了迅速的发展,其正在逐步成为现代通信系统的主流。

1.5 通信的发展历程

1.5.1 通信技术的发展历程

通信技术的发展是伴随科技的发展和社会的进步而逐步发展起来的。早在古代,人们就寻求各种方法实现信息的传输。我国古代利用烽火传送边疆警报,古希腊人用火炬的位置表示字母符号,这种光信号的传输构成了最原始的光通信系统。利用击鼓鸣金可以报送时刻或传达命令,这是声信号的传输。后来又出现了信鸽、旗语、驿站等传送信息的方法。然而,这些方法无论是在距离、速度和可靠性与有效性方面仍然没有明显的改善。19世纪,人们开始研究如何使用电信号传送信息。1837年莫尔斯发明了电报,用点、划、空适当组合的代码表示字母和数字,这种代码称为莫尔斯电码。1876年贝尔发明了电话,直接将声信号转变为电信号沿导线传送。19世纪末,人们又致力于研究用电磁波传送电信号,赫兹、波波夫、马可尼等人在这方面都作出了贡献。开始时,电磁波的传输距离仅数百米。1901年,马可尼成功地实现了横跨大西洋的无线电通信。从此,传输电信号的通信方式得到广泛应用和迅速发展。

20世纪20年代起,通信建设和应用广泛发展,开始利用铜线实现市内和长途有线通信,又利用短波实现远距无线通信和国际通信。

20世纪30~40年代起,利用铜线传输载波电话,使长途通信容量加大,电信号的频分多路技术开始步入实用。

20世纪50~60年代起,半导体晶体管开始在电子电路中替代电子管,其后进入集成电路技术以及超大规模集成电路的时代,开始建设最早的公用电话通信网。

20世纪60年代起,电子计算机应用增多,数据通信开始兴起,电话编码技术得到应用,模拟通信开始向数字通信过渡。

20世纪70年代起,玻璃光纤拉制成功,导致传输网络从电缆通信向光纤通信过渡;地球同步轨道运行的通信卫星发射成功,卫星通信开始对国际通信和电视转播作出贡献,也经常在特殊地理环境下做为有线接入技术的替代与补充。

20世纪80年代起,各种信息业务应用增多,通信网络开始向数字网发展。电信号的时分多路技术(PDH和SDH)走向成熟,公共电话交换网(PSTN)逐渐得到普及,交换方式发展出新的类型(ATM)。蜂窝网等各种无线移动通信业务向公众开放,导致个人通信的迅速发展。第一代模拟移动通信网的代表技术为AMPS。

20世纪90年代起,国际互联网(Internet)在全世界兴起,在吸引众多计算机用户踊跃上网的同时,也吸引人们更多使用计算机。人们可以在网上快速实现国内和国际通信并获取各种有用信息,而仅支付低廉的费用。从此,通信网络的数据业务量急剧增长。这使得以互联网协议(IP)为标志的数据通信,在通信网络逐渐占据更为重要的地位。同时,在光纤通信技术中,波分复用(WDM)技术取得成功,与电信号的时分复用(TDM)技术相结合,线路的传输容量显著加大,足以适应通信业务量急速增长的需要。

20世纪90年代中期起,蜂窝网进入第二代,即数字式无线移动通信,适合时代发展对个人

通信的需求。GSM 作为第二代移动通信系统的代表,更是得到了全球性的广泛应用。时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)一同向前发展。除了传送话音信号之外,移动通信系统还开始提供移动数据通信,让无线移动用户能像有线固定用户一样自由地访问国际互联网。目前,移动通信技术发展的热点是以 WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA 技术为代表的第三代移动通信技术和以 802.11a/b/g 技术为代表的无线局域网技术,以及不同移动通信技术之间的融合。

1.5.2 通信网络的发展历程

早期通信传输网络的基础是铜线传输技术。在相当长的时期内,通信网络的发展依赖铜线传输。从最早期的单线传输,到二三十年前还广泛使用的频分多路载波技术,在网络传输上可以说基本上没有实质性的变化。其技术发展的顶峰,就是同轴电缆。20 世纪 70 年代,960 路、1800 路的同轴电缆,加上微波传输曾经是我国通信网络传输技术的主体。

在通信网络发展的早期,通信网络建设的基本指导思想是根据传输信号的不同特性和业务需要建设网络。也就是说,特定的网络只适用于传输特定种类的信号,不适宜传输其他种类的信号,即所谓按照所传输信号的功能与需求来设计并建设通信网络。在这种情况下,通信行业中,不仅有电话网,还有电报网,甚至于出现了传真通信网(存储转发)等具有不同数据传输速率的数据通信网络。总之,每一种通信业务,甚至不同通信速率的通信系统都需要一个独立的网络。

由于通信网的建设投资巨大、周期长、业务量低、效率差,因此进入 20 世纪 70 年代,人们开始考虑能否将语音信号、各种不同速率的数字信号以及图像信号集中在同一个通信网络中传输,以试图只需要建设一个网络就可以传输各种不同性质和不同速率的信号,从而降低网络建设的费用和周期。这就是综合业务数字网(ISDN)的由来。由于各种信号的频率特性相差极大,对于不同特性和速率的信号都能适应的网络就比较复杂。所以,ISDN 尽管设计思想比较先进、技术上的考虑比较全面,至今也还只是在很小的范围内应用。

到了当今的 IP 网络时代,简单、低成本的 TCP/IP 协议得到了广泛的应用,提供了强大的开放互连能力,采用不同传输技术的网络均可以在 IP 网络层达到互连互通。各种信号,如话音信号、数据信号、图像信号,在转变成 IP 分组以后,可以统一地在 IP 网络上进行传输,而不必考虑原始信号的性质。网络的基本作用只是为 IP 信号提供具有一定质量保证的通路。

此外,无线传输技术也是一种重要的组网技术。但是,从目前通信网发展的角度来看,除了光纤网络具有的大容量、低成本、高质量、高效率等因素外,加上无线频谱资源的有限性,无线网络一般仍只是作为接入网络的组网技术。

目前,通信网络的基本状况是骨干传输网络仍然是以光纤通信为主,而接入网络则可以视网络建设需求的不同,采用移动通信、以太网、xDSL、光纤通信、卫星通信等多种多样的技术构建。

目前的公共电话网络是以程控交换技术为核心构建的。顾名思义,程控交换即是通过编程来控制语音信号的交换过程。程控交换是以计算机作为交换技术的核心,它的发展导致历史上各种交换技术都迅速退出了历史舞台。仅仅历经 20 年的时间,程控交换取代了各种交换技术,并且进一步在电路交换、报文交换、分组交换的基础上,产生了以路由技术为基础的第二层、第三层交换,这一技术现在还在继续发展之中。

计算机技术的发展,不仅带动和推动了包括交换技术、传输技术在内的通信信号处理技术的变革和发展,同时更对通信网络的基本体系结构发生了重大的影响。最初,基于 TCP/IP 技术的