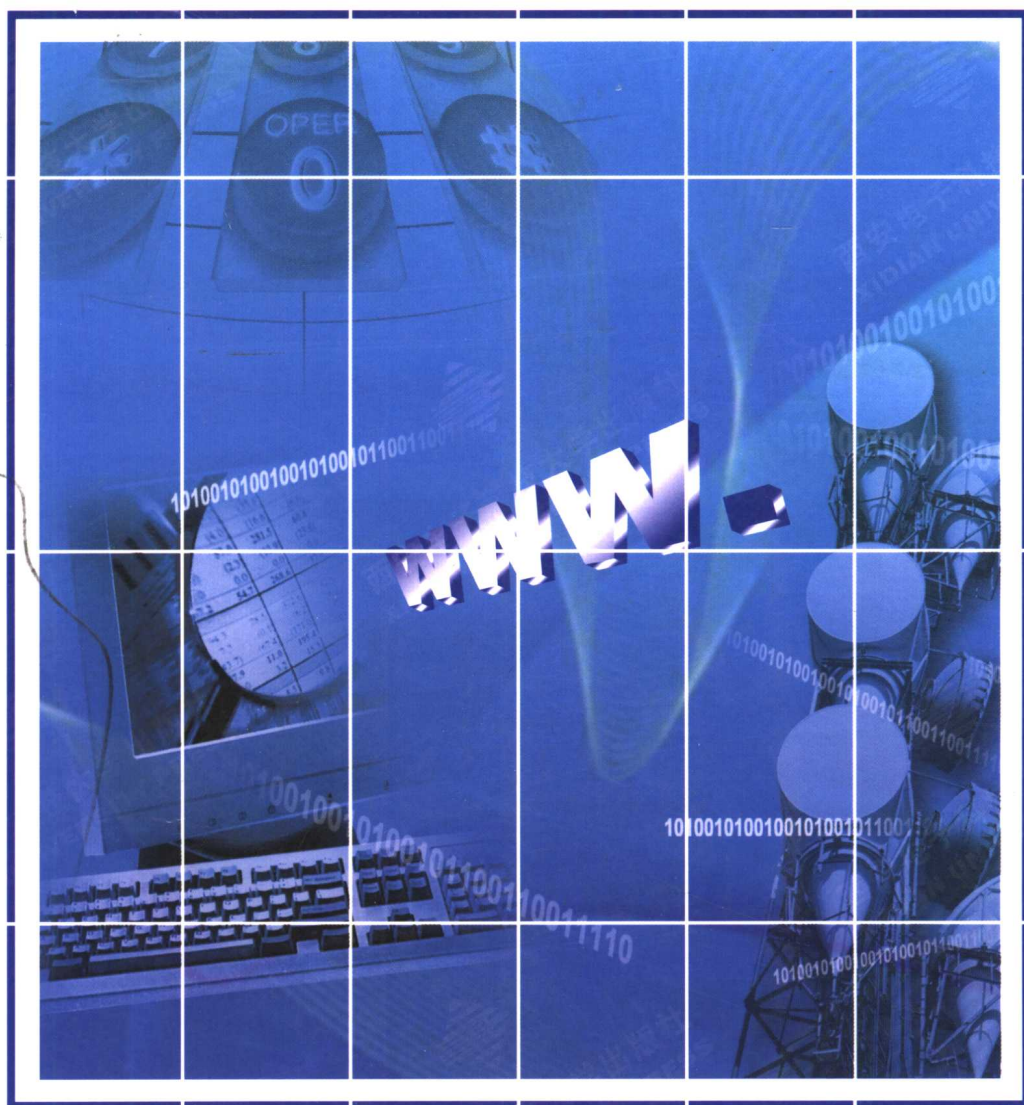


高等学校电子信息类规划教材



计算机数据通信

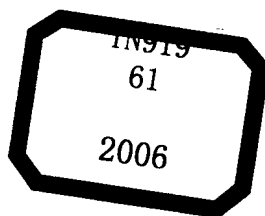
主 编 雷思孝

副主编 冯育长 徐英丽 张三红

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

西安电子科技大学教材建设基金项目

高等学校电子信息类规划教材



计算机数据通信

主 编 雷思孝

副主编 冯育长 徐英丽 张三红

西安电子科技大学出版社

2006

内 容 简 介

计算机数据通信集计算机技术和通信技术于一体,既是一门实用技术,又是计算机网络的基础课程。本书主要介绍了计算机数据通信概论、计算机通信技术、数据通信的基本概念、数据传输信道、信号传输技术、差错控制技术、信道复用与同步技术、数据交换技术、数据终端与通信设备、计算机网络基础以及现代通信技术等方面的知识。

本书内容充实,条理清楚,重点突出,实用性强。

本书可作为计算机科学与技术及相关电子信息类专业计算机数据通信课程的本科生教材,也可作为高职高专相关专业学生的选用教材,亦可供相关专业工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机数据通信/雷思孝主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2006.12

高等学校电子信息类规划教材

ISBN 7-5606-1759-X

I. 计… II. 雷… III. 计算机通信:数据通信—高等学校—教材 IV. TN919

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 151250 号

责任编辑 许青青 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 西安文化彩印厂

版 次 2006年12月第1版 2006年12月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17.625

字 数 412千字

印 数 1~4000册

定 价 22.00元

ISBN 7-5606-1759-X/TP·0441

XDUP 2051001-1

*** 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。

前 言

随着计算机网络的迅速普及,全球信息化正以前所未有的速度发展,我们已进入了信息化时代。计算机和通信技术是信息化的基础,是发展最快的技术领域之一。计算机数据通信技术不但是计算机网络应用的前提和基础,而且其本身也是一门实用性很强的专业技术课程,越来越受到电子信息领域广大科技工作者和相关专业人士的重视。

本教材针对电子信息类专业必须掌握的数据通信知识,总结作者多年来的教学经验,结合教学要求,以实际应用为目的,注重原理讨论,理论联系实际,尽量避免大量的数学推导,系统全面地介绍了数据通信的原理和技术,通过深入浅出的描述,使读者更容易掌握数据通信的知识。

本书共分 11 章:计算机数据通信概论、计算机通信技术、数据通信的基本概念、数据传输信道、信号传输技术、差错控制技术、信道复用与同步技术、数据交换技术、数据终端与通信设备、计算机网络基础和现代通信技术简介。第 2 章(章名前标有“*”)可作为参考资料,请各位老师根据教学实施具体情况选用。

书中结合每一章的主要内容和知识点,配有相关练习题,以帮助读者能更好地掌握和巩固所学知识,从而增强学习效果。

本教材的编写得到了西安电子科技大学教材基金的资助。在编写过程中,得到了西安电子科技大学教务处、计算机学院、通信工程学院领导及各位老师的热情关怀和大力支持,得到了西安电子科技大学出版社副编审云立实、编辑许青青的及时帮助,在此表示诚挚的感谢。同时,在本书的编写过程中,借鉴了许多现有优秀教材和著作的宝贵经验,也对各位作者表示衷心的感谢。李伯成教授自始至终对本教材的编写给予了大力支持和帮助,并提出了很多宝贵意见,在此表示非常感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。作者 E-mail: leisixiao@163.com。

编 者

2006 盛夏于长安

目 录

第 1 章 计算机数据通信概论	1
1.1 数据通信的概念	2
1.2 通信系统的组成	2
1.2.1 模拟通信系统	3
1.2.2 数字通信系统	3
1.2.3 数据通信系统	5
1.3 信号与噪声	5
1.3.1 信号	5
1.3.2 噪声	7
1.3.3 信噪比	9
1.4 通信方式	9
1.4.1 通信方式分类	9
1.4.2 常用通信方式	9
1.5 通信协议的概念	12
1.6 数据传输信道	13
1.6.1 传输信道概述	13
1.6.2 信道分类	14
1.6.3 信号的传输形式	15
1.7 数据通信系统的质量指标	17
1.7.1 有效性	17
1.7.2 可靠性指标	18
1.7.3 其他指标	19
1.8 数据通信的发展	20
习题 1	21
* 第 2 章 计算机通信技术	22
2.1 计算机系统总线	22
2.1.1 总线的分类	23
2.1.2 总线的主要参数	25
2.1.3 STD 总线	25
2.1.4 ISA 总线	26
2.1.5 PCI 总线	27
2.1.6 SCSI 总线	28
2.1.7 其他总线	28
2.2 RS-232C 串行总线	30
2.2.1 RS-232C 总线	30
2.2.2 RS-232C 的应用	32
2.3 EIA-449 串行总线	35

2.4	USB 通用串行总线及应用	39
2.4.1	USB 总线概述	40
2.4.2	USB 总线的硬件结构	41
2.4.3	USB 总线的软件结构	42
2.4.4	USB 的数据传输方式	43
2.5	IEEE 1394 总线	44
2.5.1	IEEE 1394 简介	44
2.5.2	IEEE 1394 总线的特点	44
2.5.3	IEEE 1394 的连接方式	45
2.5.4	IEEE 1394 与 USB 发展前景比较	46
2.6	I ² C 总线	46
2.6.1	I ² C 总线简介	46
2.6.2	I ² C 总线的电气特性与结构	47
2.6.3	I ² C 总线的数据传输	48
	习题 2	48
第 3 章	数据通信的基本概念	49
3.1	信息	49
3.1.1	信息的概念	49
3.1.2	信息的量度	50
3.2	传输损耗	51
3.2.1	衰耗	51
3.2.2	失真	53
3.3	信道容量	53
3.3.1	香农定律	54
3.3.2	奈奎斯特定理	57
3.4	通信网的拓扑结构	58
3.4.1	星型拓扑	58
3.4.2	树型拓扑	59
3.4.3	总线拓扑	60
3.4.4	环型拓扑	61
3.4.5	网状拓扑	62
3.4.6	混合型拓扑	62
	习题 3	63
第 4 章	数据传输信道	65
4.1	恒参信道和随参信道	66
4.1.1	恒参信道	66
4.1.2	随参信道	66
4.2	有线信道	69
4.2.1	双绞线电缆	69
4.2.2	网线	73
4.2.3	同轴电缆	75
4.3	光纤通信	77
4.3.1	光纤通信的概念	77

4.3.2	光纤的分类	80
4.3.3	光纤通信的主要特性	81
4.3.4	光纤通信系统的组成	83
4.3.5	光纤的连接	84
4.3.6	光纤通信的发展趋势	84
4.4	无线通信	85
4.4.1	无线电频段的分配	85
4.4.2	无线电波的传播方式	86
4.4.3	信号的传播	87
4.5	微波信道	88
4.5.1	微波通信的概念	88
4.5.2	数字微波通信的特点	90
4.5.3	转接方式	91
4.6	卫星信道	92
4.6.1	基本概念	92
4.6.2	通信卫星	94
4.6.3	卫星通信系统的分类	95
4.6.4	卫星通信的特点	95
4.6.5	卫星通信系统的组成	96
4.7	红外通信技术	97
4.7.1	红外通信原理	97
4.7.2	红外遥控器设计	97
4.8	传输信道的选择	99
	习题 4	100
第 5 章	信号传输技术	102
5.1	模拟信号在模拟信道上传输	103
5.1.1	信道模型	103
5.1.2	模拟/模拟传输	103
5.2	数字信号在数字信道上传输	106
5.2.1	信道对传输信号的要求	107
5.2.2	数字信号编码	107
5.3	模拟信号在数字信道上传输	114
5.3.1	脉冲编码调制系统	115
5.3.2	抽样	116
5.3.3	量化	121
5.3.4	编码与解码	124
5.4	数字信号在模拟信道上传输	129
5.4.1	基本概念	130
5.4.2	幅值键控	131
5.4.3	频移键控	133
5.4.4	绝对相移键控	135
5.4.5	相对相移键控	139
5.4.6	正交调制	143

习题 5	145
第 6 章 差错控制技术	148
6.1 差错控制技术	148
6.1.1 基本概念	148
6.1.2 差错控制方法	149
6.1.3 数据冗余法	149
6.2 数据校验技术	153
6.2.1 基本概念	153
6.2.2 奇偶校验	155
6.2.3 纵向冗余校验	157
6.2.4 循环冗余校验	158
6.2.5 校验和法	162
6.2.6 恒比码	164
6.3 纠错码	164
6.4 数据压缩原理	168
习题 6	169
第 7 章 信道复用与同步技术	171
7.1 频分复用	173
7.2 时分复用	175
7.3 码分复用	178
7.4 波分复用	183
7.5 同步控制技术	185
7.5.1 载波同步	185
7.5.2 位同步	187
7.5.3 群同步	190
7.5.4 网同步	191
习题 7	195
第 8 章 数据交换技术	197
8.1 数据交换的概念	197
8.1.1 数据交换	198
8.1.2 交换的基本功能	199
8.2 常用交换技术	199
8.2.1 电路交换	199
8.2.2 报文交换	200
8.2.3 分组交换	201
8.3 ATM 技术	202
8.3.1 问题的提出	202
8.3.2 ATM 的概念	203
8.3.3 ATM 交换	205
8.4 信道访问技术	208
8.4.1 选择技术	209
8.4.2 争用技术	210

8.4.3 环访问技术	212
习题 8	215
第 9 章 数据终端与通信设备	216
9.1 数据终端	216
9.1.1 数据终端的组成	216
9.1.2 数据终端的分类	217
9.2 通信设备	219
9.3 网络和网际互连设备	222
习题 9	230
第 10 章 计算机网络基础	231
10.1 计算机网络的发展	231
10.2 计算机网络的分类	232
10.3 计算机网络协议及模型	233
10.3.1 计算机网络协议及模型的概念	233
10.3.2 TCP/IP 协议模型各层的功能	234
10.3.3 Internet 的地址	235
10.3.4 Internet 的客户机/服务器系统	236
10.4 因特网	237
10.4.1 Internet 的发展	237
10.4.2 Internet 在我国的建设及发展	238
10.4.3 Internet 的功能介绍	240
习题 10	241
第 11 章 现代通信技术简介	243
11.1 蓝牙技术	243
11.1.1 “蓝牙”的含义	243
11.1.2 蓝牙技术概述	244
11.1.3 蓝牙技术的特点	245
11.1.4 蓝牙技术的应用	246
11.2 IP 电话技术	248
11.2.1 IP 电话概述	248
11.2.2 IP 电话的实现方式	249
11.3 GPS 系统	250
11.3.1 GPS 概述	250
11.3.2 GPS 系统组成	251
11.3.3 GPS 定位原理	252
习题 11	254
附录 A ASCII 字符表及编码字符含义表	255
附录 B 数据通信中常用英文缩写术语	256
参考文献	271

第 1 章 计算机数据通信概论

本章要点及学习目标

本章主要介绍计算机数据通信的基本概念及系统组成、信号及噪声的概念、通信协议的内容和功能、衡量数据通信系统的主要性能指标等。通过本章的学习，读者应掌握以下知识点：

- 数据通信的定义及特点；
- 模拟通信、数字通信和数据通信系统的组成及特点；
- 信号的类型；
- 数据通信系统中噪声的类型及影响；
- 常用通信方式；
- 数据传输信道的分类及功能；
- 衡量数据通信系统的主要性能指标。

自古以来，人类就十分重视信息交流，从古代烽火台上的狼烟到现代的国际互联网（Internet），都是以信息交流、相互协作、资源共享为目的。信号是信息的载体，古代的狼烟和现代的数字信号，都是信息传输的载体，承载信息传向远方。在现代社会，计算机网络已成为人们生活中十分重要的联系方式，在 Internet 中信息的交流就是以数字信号为载体的，大量的数字信号在 Internet 上高速传递着各种信息。随着 Internet 的发展和普及，人们对计算机数据通信的要求越来越高，从而促使计算机数据通信技术不断向前发展。

当然，要高速准确地将数字信号传递到远方，就必须有高质量的传输信道以及可靠的数字编码检错和纠错技术。我们将数据通信定义为：依照通信协议，利用数据传输技术在两个功能单元之间实现信息传输。数据通信的主要研究领域有：数据信号在传输过程中的转换与恢复，传输信道的质量，数据信号的编码、解码技术，传输过程中的检错、纠错技术及信息加密技术等。简而言之，计算机数据通信技术就是研究如何快速准确地进行数据信号的传输。

在信息时代，如何充分利用信息资源创造更多的社会财富，是人们迫切需要解决的问题之一。计算机作为信息处理的工具，为人类处理信息提供了理想的手段。但是在什么环境下使用计算机，直接关系到信息利用的价值。如果采用单机工作环境，信息局限于一个局部的范围内，这只是一种低层次的使用，并没有充分发挥信息的价值。信息的价值体现在交流与共享上，而实现信息资源共享的主要手段之一就是计算机网络，因此人们研究计算机网络技术的目的就是实现通信与资源共享。计算机数据通信是实现这一目标的基础。

本章通过对数据通信部分的概括性介绍，可使读者对数据通信技术和计算机通信系统有一个比较全面的了解和认识。

1.1 数据通信的概念

数据通信是 20 世纪 50 年代随着计算机技术和通信技术的迅速发展,以及两者之间的相互渗透结合而兴起的一种新的通信方式,它是计算机与通信技术相结合的产物。综观数据通信发展的全过程,计算机技术和数据通信技术两者之间有着十分密切的联系,尤其是计算机网络和分布式数据处理的迅速发展,进一步推动了数据通信这一新的通信业务与通信技术的迅速发展。

数据通信与传统的电话、电报通信不同,有其自身的特点:

(1) 数据通信的通信控制过程要自动实现,对传输过程中出现的差错也要自动检纠错。

(2) 尽管数据通信是一种新的通信业务,但其实现和发展仍然不能脱离现有通信网,仍需充分利用现有通信网(如电话交换网)来传输数据信号,以使其满足自身的特性要求。

(3) 数据通信总是与数据处理技术相联系,随着数据处理内容和处理方式的不同,对通信的具体要求(如在传输代码、传输方式、传输速率、传输效率、响应时间、体系结构和可靠性等方面)也就不同,因此,实现数据通信需考虑的因素比较多,情况比较复杂。

在计算机网络中,实现资源共享的前提条件是数据通信。计算机网络是计算机技术与现代通信技术紧密结合的产物,而数据通信技术是计算机和通信技术相结合的产物,即:计算机+通信=计算机通信(Computer+Communication=Compunication)。计算机技术研究的是信息处理,现代通信技术研究的是信息传播与交流,二者均属 IT(Information Technology)技术。一方面,通信技术为计算机之间的数据传递和资源共享提供了必要手段;另一方面,计算机技术的发展又在不断提高通信系统的性能。二者互相促进,共同发展。随着社会信息化水平的提高,信息的交流技术和信息处理技术相融合产生的计算机网络技术是必然结果。无论是计算机和通信 C&C(Computer & Communication)还是计算机通信 Compunication(Computer+Communication),都已经成为这一边缘技术的同义语。

“计算机通信”与“数据通信”这两个名词常被混用。早期的数据通信与现代的计算机通信是有明显区别的,但随着技术的进步,数据通信的含义也在发生变化,因此,可以认为计算机通信与数据通信是可混用的名词。

计算机网络对 IT 技术作出的突出贡献是实现了信息的快速交流和资源的高度共享,使信息的采集、存储、处理及传输等技术融为一体。计算机网络已经成为信息化社会最重要的基础设施。

随着计算机网络的不断普及,人们对计算机数据通信技术也提出了越来越高的要求,而计算机数据通信技术的发展又进一步促进了计算机网络及全球通信技术的发展和普及。对现代人类来讲,通信发展的目标是人类无论在任何时候,无论在任何区域都能和任何人实现信息交流。人们正在努力实现着这一目标。

1.2 通信系统的组成

通信的目的就是完成信息的传递和共享。要进行信息传递,就必须有通信系统。通信系统主要由发送设备、传输设备和接收处理设备三大部分组成。

通过任何传输媒介将信息从发送端传送到接收端的过程称为通信。通信系统由信源、发信终端、传输媒介、收信终端和信宿组成,如图 1.1 所示。

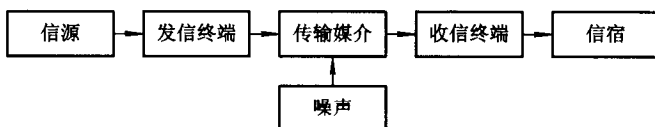


图 1.1 通信系统组成框图

信源提供语音、数据、图像等需传送的信息,由发信终端设备将其变换成适合于在传输媒介上传送的信号发送到传输媒介上传输(信号在传输和变换过程中,会叠加各种噪声干扰信号),收信终端将收到的信号经解调等逆变换,恢复成适用于信宿的信息形式,这就是一个完整的通信过程。能够完成信号传输的系统就称为通信系统。

通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统,以模拟信号为载体传送信息的通信系统称为模拟通信系统,以数字信号为载体传送信息的通信系统称为数字通信系统。

1.2.1 模拟通信系统

模拟通信系统是指信源、信宿和通信处理都是模拟信号的通信系统,其组成如图 1.2 所示。在模拟通信系统中,信源输出为模拟信号,经调制器进行频谱搬移,使其适合传输媒介的要求,再送入传输信道传输。在接收端,解调器对收信机接收到的信号进行解调,使其恢复成调制前的信号形式,传送给信宿。模拟通信传输信号频带比较窄,频带利用率高。但是模拟通信的缺点也很突出,如抗干扰能力差、保密性差、设备不易集成、不便于与计算机接口等。



图 1.2 模拟通信系统组成框图

信源: 信号来源,即欲传输的信号。

调制器: 将信源发出的信号进行频谱搬移或作某些变换,使之能满足传输信道对信号的要求。

发信机: 将信号发送到传输媒介。

传输媒介: 用来传输信号的媒介。

收信机: 接收来自传输媒介的信号并对其进行适当处理。

解调器: 对信道传输来的信号接收、解调,使其恢复为原来的信号形式。

信宿: 信号的接收者。

1.2.2 数字通信系统

数字通信系统是指信源、信宿处理的是模拟信号,而传输信道为数字信道的通信系统。通常是指有人参与的数字通信系统(典型应用就是电话交换系统),其系统组成如图 1.3 所示。

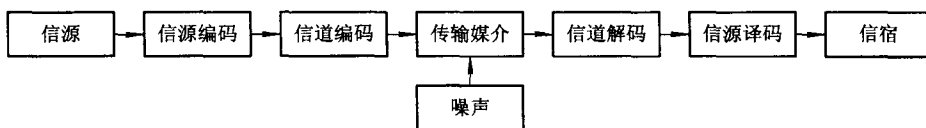


图 1.3 数字通信系统组成框图

信源编码的作用是将信源发出的模拟信号变换为数字信号，称为模/数(A/D)转换。经过 A/D 转换后的数字信号称为信源码。信源编码的另一个功能是实现压缩编码，使信源码占用的信道带宽尽量小。信源码不适合在信道中直接传输，因此要经过信道编码进行码型变换，形成信道码，以提高传输的有效性及可靠性。在接收端，信道解码对收到的信号进行检错纠错，消除信道编码插入的冗余码元。信源译码将得到的数字信号还原成原始的模拟信号送给信宿，这一过程称为数/模(D/A)转换。当然数字信号也可采取频带传输方式，这时需用调制器和解调器对数字信号进行调制，将其频带搬移到某个频段上，一般利用光纤、微波、卫星等信道进行传输。

与模拟通信系统相比，数字通信系统有以下特点。

(1) 抗干扰能力强、无噪声积累。在模拟通信系统中，为了提高信噪比，需要在信号传输过程中及时对衰减的传输信号进行放大，信号在传输过程中不可避免地对叠加的噪声也同时放大，随着传输距离的增加，噪声累积越来越多，致使传输信号严重失真。

数字通信系统的抗干扰能力强，体现在两个方面：① 由于数字信号的幅值为有限个离散值(通常为两个幅值)，在传输过程中虽然也受到噪声的干扰，但在适当的传输距离采用判决再生的方法，可将叠加了噪声和干扰的信道码再生成没有噪声干扰的数字信号，因此可实现高质量的传输。② 模拟信号(如语音信号)是经抽样、量化、编码(在 5.3 节将详细讨论)后转换为数字信号进行传输的，数字通信系统只传输抽样时刻信号的幅值，所以只要干扰不是出现在抽样时刻就不会对通信产生干扰。

(2) 便于加密。信息传输的安全性和保密性越来越重要。在数字通信过程中，信号为数字信号，我们可以很方便地利用各种加密算法进行加密和解密处理，这是模拟通信难以达到的。

(3) 便于存储和交换。数字通信的信号形式和计算机所用的信号形式一致，都是二进制代码，因此便于与计算机联网，也便于用计算机对数字信号进行存储和交换，这可使通信网的管理和维护实现自动化、智能化。

(4) 设备便于集成化、微型化。数字通信采用时分多路复用和数字编码技术，不需要体积较大的滤波器，信号处理设备采用数字电路，可用大规模和超大规模集成电路实现，因此体积小、重量轻、功耗低。数字信号更有利于采用软件技术进行信号处理。

(5) 便于联网。采用数字传输方式，可以通过程控数字交换设备进行数字交换，以实现传输和交换的有机结合，便于形成计算机网络。

(6) 数字通信占用信道频带较宽，信道利用率低。模拟通信占用信道频带较窄，信道利用率高；而数字通信占用信道频带较宽，信道利用率低。但随着宽频带信道(光缆、数字微波)的大量使用(一对光缆可以开通几千路电话)以及数字信号处理技术的发展，带宽问题基本得到了解决。

1.2.3 数据通信系统

数据通信系统是指信源、信宿处理的都是数字信号，而信道既可以是数字信道也可以是模拟信道的通信系统。该系统通常用来实现机与机之间的数据传输，通信过程可自动完成，其典型应用就是计算机网络。

数据通信是指依据通信协议，利用数据传输技术(模拟传输或数字传输)在两个功能单元之间实现信息传递，数据通信离不开计算机技术。数据通信系统研究主要包括两方面内容：① 研究信道的组成、连接、控制及其使用；② 研究信号如何在信道上传输。数据通信系统是由数据终端、数据传输和数据处理三个子系统组成的。事实上数据终端设备都是由计算机担任的，所以数据通信系统实际上就是计算机数据通信系统，也是本教材研究的主要内容。如图 1.4 所示为数据通信系统的基本组成。

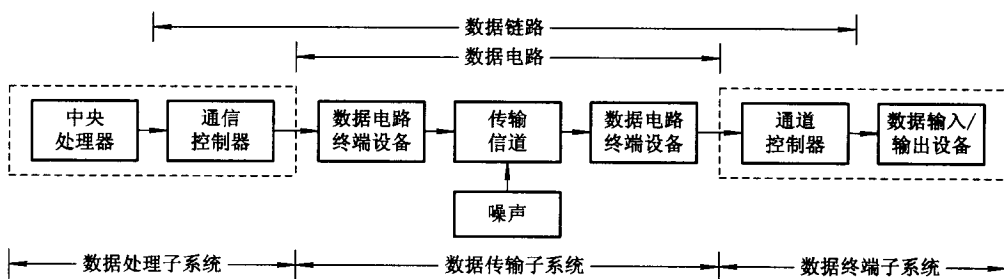


图 1.4 数据通信系统基本组成框图

1.3 信号与噪声

1.3.1 信号

1. 信号的概念

信号是信息的载体，通常是以某种物理量表现出来的。通信技术不同，采用的传输信号形式就不同。

信号的特性：信号必须是可变化、可观测和可实现的某种物理量。

2. 信号的分类

和其他物理量类似，信号的表现形式很多，通常按以下几种方法分类。

1) 按信号形式分类

按照信号形式的不同，可将信号分为电信号和光信号。电信号是指以电压、电流、电磁波等为载体的信号。光信号是指利用光线的强弱变化和有光无光作为载体的信号。

光波实际上也是一种电磁波，因此，我们在研究通信技术时，就以电信号为研究对象，所得结论同样适用于光通信。故除非专门说明，本教材中所用到的信号均指电信号。

2) 按调制方式分类

按照信号是否经过调制，将信号分为基带信号和频带信号。

基带信号：信号频谱未经搬移的基本频带信号，即直接携带信息、能够直接传输的信号。

频带信号：信号频谱经过搬移的信号，即经过调制的信号。也就是说，将有用信号调制到另一载波上的信号。（具体调制方式将在 5.4 节进行介绍。）

基带信号由于信号未经调制，可以直接发送和接收；而频带信号在发送端将基带信号调制到载波上，使得载波的某一参量随传输信号的变化而变化，接收端则要对其接收的信号进行解调，以便从载波信号中恢复出原始信号。

3) 按传输方式分类

按照信号传输时采用的介质不同，可以分为有线信号和无线信号。

有线信号：在有线信道上传输的信号。

无线信号：在无线信道上传输的信号。

通常由于采用的传输信道不同，对信号的处理和转换方法也就不同。

4) 按信号特点分类

依据信号变化是否有周期性可将信号分为周期信号和非周期信号。

周期信号：按照一定周期重复出现的信号。可用 $f(t) = f(t + nT)$ 表示周期为 T 的信号，如正弦信号。

非周期信号：不满足周期信号特征的所有信号称为非周期信号。

5) 按信号变化分类

依据信号变化是否具有规律性，可将信号分为确定信号和随机信号。

确定信号：信号某些参量具有一定规律性，按照其规律可以预测信号的变化，如正弦信号。

随机信号：信号变化是随机的，没有任何规律，如语音信号。

当然，从严格意义上讲，我们要传输的信号都是随机信号，否则，传输信号就没有意义了。

6) 按信号特征分类

依据信号幅值是否连续，可将信号分为模拟信号和数字信号。

信号波形特征可用两个物理量来表示，即时间和幅值。

模拟信号：幅值连续的信号。幅值连续是指在某一取值范围内，信号可以取无限多个值。另一参量是时间，我们将时间连续的信号称为连续信号，如图 1.5(a) 所示。将时间不连续但幅值仍连续的信号称为离散信号。由于离散信号的幅值仍然连续，因此，离散信号仍然属于模拟信号。如图 1.5(b) 所示的 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 信号也是模拟信号。

数字信号：幅值不连续且只能取有限个值的信号。如图 1.5(c) 所示的二进制信号和图 1.5(d) 所示的四进制信号都属于数字信号。

简而言之，数字信号与模拟信号是根据信号幅值是否连续来区分的，虽然两者有明显的区别，但在一定条件下可以相互转换，如我们以前学过的 A/D、D/A 转换。

虽然信号分类方法较多，信号种类也较多，但在研究数据通信时，通常采用将信号分为模拟信号和数字信号的分类方法。

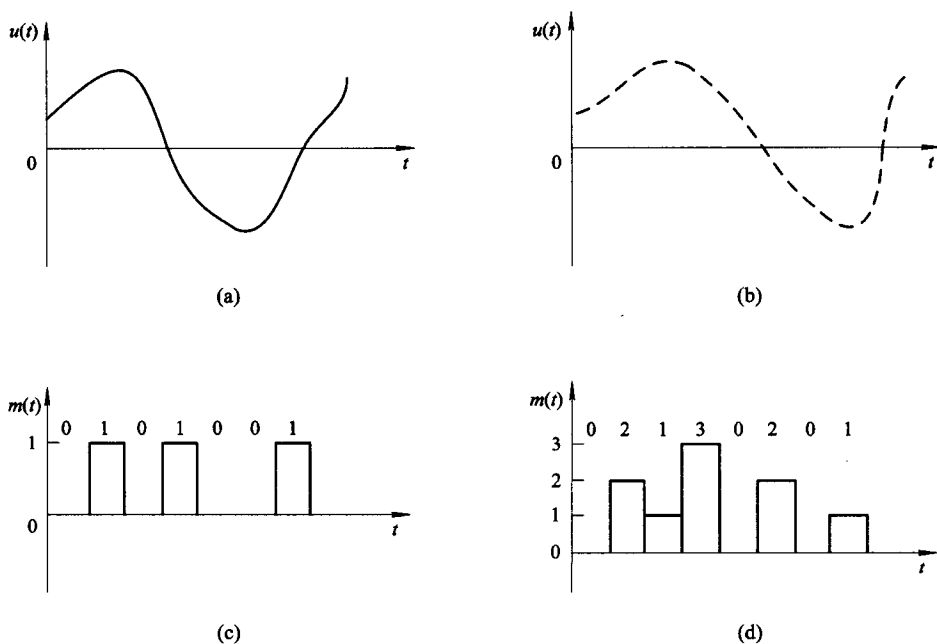


图 1.5 模拟信号和数字信号

(a) 连续信号; (b) PAM 信号; (c) 二进制信号; (d) 四进制信号

1.3.2 噪声

1. 噪声的概念

在日常生活中,我们将对自己学习和生活有影响的各种声音叫做噪声。如交通噪声、夜半歌声、建筑工地深夜施工等活动产生的各种对我们生活有影响的声音都是噪声。

在通信系统中,噪声的概念与我们通常所说的噪声含义基本相同,只不过形式有所不同而已。我们将信号传输过程中不携带有用信息的所有信号统称为噪声,即噪声是对有用信号以外所有信号的统称。噪声包含两个部分,一部分会对有用信号产生影响,如频谱在系统频带内的噪声;另一部分不会对有用信号产生影响,如频谱在通信系统频带之外的噪声。当然,在通信系统中,我们只研究会对有用信号产生影响的这类噪声。

噪声是限制通信系统性能的主要因素之一。

2. 噪声的分类

噪声的分类方法比较多,因此,常用的噪声名称也比较多。在数据通信中,通常将噪声分为四类:热噪声、交调噪声、脉冲噪声和串音。

1) 热噪声

热噪声是由于信道使用的导体中带电粒子的布朗运动而引起的噪声。我们通常所说的信号流过导体会产生损耗就是由热噪声造成的。

热噪声是温度的函数,存在于绝对零度以上的导体中,其能量分布于整个频谱上(很宽的频率范围),因此也叫白噪声。在通信系统中,热噪声无法消除(其他小型设备可尝试超导技术,由于已超出我们的研究范围,因此本书不再进一步讨论,有兴趣的读者可参考

超导方面的相关著作), 因此, 热噪声是决定通信系统性能上限的主要因素。

下面介绍热噪声的计算。

我们将系统在 1 Hz 带宽内热噪声源的噪声功率称为噪声功率密度 N_0 , 它是温度的函数, 即

$$N_0 = k \cdot T \quad (1.1)$$

式中: N_0 为噪声功率密度, 单位为 W/Hz; k 为波尔兹曼常数, 单位为 J/K, $k=1.380\ 658 \times 10^{-23}$ (J/K); T 为热噪声源的绝对温度。

例如, 在室温为 20°C (绝对温度 $T=293.15$ K) 的实验室, 热噪声功率密度 N_0 为

$$\begin{aligned} N_0 &= k \cdot T = 1.380\ 658 \times 10^{-23} \times 293.15 \\ &= 4.047 \times 10^{-21} \text{ (W/Hz)} \end{aligned}$$

由于噪声与频率无关, 因此在系统带宽为 B Hz 的系统内, 其热噪声功率 N 为

$$N = N_0 \cdot B = k \cdot T \cdot B \text{ (W)} \quad (1.2)$$

在通信系统中, 为了描述方便, 通常采用分贝瓦表示热噪声功率, 即

$$\begin{aligned} N &= 10 \lg(k \cdot T \cdot B) \\ &= 10 \lg k + 10 \lg T + 10 \lg B \\ N &= -228.6 + 10 \lg T + 10 \lg B \text{ (dB} \cdot \text{W)} \end{aligned} \quad (1.3)$$

上式说明: 在系统中, 只要温度 T 和系统带宽 B 确定, 系统中热噪声功率也就确定了。

2) 交调噪声

当多个频率成分的信号共用一个传输媒介时, 就可能发生信号之间相互调制, 在输出端产生的附加频率分量对有用信号的干扰称为交调噪声。如频率为 f_0 和 f_1 的两个信号在同一信道中传输, 就可能产生 $f_0 + f_1$ 等一系列新的频率成分, 这些新的频率成分就是交调噪声。

我们可以通过采用适当的技术手段来削弱交调噪声。如采用滤波器、校正网络等方法都可减小交调噪声对信号的影响。

3) 串音

一个通道的信号在另一通道内产生的干扰称为串音。串音是由于信道之间存在某种耦合而产生的, 因此, 可以通过改善信道性能、提高信道质量、限制信道入口功率电平等方法来减小串音对传输信号的影响。

4) 脉冲噪声

前述几种噪声总的来讲还是有章可循的, 而脉冲噪声是一种随机噪声, 其特点是没有规律、随机出现、强度较大、持续时间短、对数据通信系统影响大。

在模拟通信系统中, 由于存在大量滤波器, 因此脉冲噪声对模拟通信系统的影响较小。如在电话系统的通话过程中, 我们几乎感觉不到有 0.01 s 的脉冲噪声, 而对于一个通信速率为 9600 b/s 的数字通信系统而言, 结果就完全不同了, 这时会影响

$$9600 \text{ b/s} \times 0.01 \text{ s} = 96 \text{ bit}$$

读者通过后面章节的学习就会知道这种脉冲噪声对于数据通信系统来说会造成多么严重的后果! 因此, 这就要求我们在设计数据通信系统传输信道时, 应尽可能远离脉冲干扰