



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

微型计算机通信 与接口技术

(第二版)

刘 兵 等编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

微型计算机通信与接口技术 (第二版)

刘 兵 等编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书全面系统地讲解了微型计算机通信与接口的相关内容,在第一版的基础上对书的部分章节进行了重新整合,删除了一些实用性不强的内容,增加了人机交互和网络接口等实用性更强的内容,同时突出了通信与接口程序设计方面的内容。全书以实用性为指导原则,在讲述计算机通信与接口技术基础知识的同时,着重讲解了这些知识如何应用于实际。本书共分为8章,主要内容包括:数据通信基础、中断接口技术(8259)、常用的PC机接口芯片(8255A、8253、8237)、串行通信总线标准及接口技术、人机交互设备接口(主要包括键盘、显示器、鼠标)、PCI总线技术、USB通用串行总线及应用、网络接口通信技术等。

本书内容新颖、概念清晰、实例丰富、深入浅出、通俗易懂,并为任课教师免费提供电子教案,此教案用PowerPoint制作,可以任意修改。

本书可作为本科计算机科学与技术、电子信息工程、自动化、电子信息科学技术、通信工程等专业和其他工科类专业的教材,也可作为相关技术人员使用的自学教材和参考书。

本书的电子教案读者可以到中国水利水电出版社网站免费下载,网址为:
<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>。

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机通信与接口技术 / 刘兵等编著. —2版. —北
京:中国水利水电出版社,2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5084-5877-9

I. 微… II. 刘… III. ①微型计算机—计算机通信—高等
学校—教材②微型计算机—接口—高等学校—教材
IV. TN919 TP364.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第138543号

书 名	普通高等教育“十一五”国家级规划教材 微型计算机通信与接口技术(第二版)
作 者	刘 兵 等编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 16.25印张 401千字
版 次	2005年6月第1版 2008年10月第2版 2008年10月第2次印刷
印 数	5001—9000册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

第二版前言

在计算机科学与技术飞速发展的今天,计算机的硬件和软件系统,从类型、数量、功能到完备性等方面都已经发展到了前所未有的阶段,并且计算机在很多领域的应用也都取得了巨大的进步,包括自动控制、智能化仪表、家用电器等领域,而微机通信与接口技术是人们利用计算机设计和开发各种应用系统的基础。微机通信与接口技术既包括硬件知识,又包括软件知识,难于掌握,本书从系统角度出发,在简明扼要地讲述原理的同时,突出应用,通过实例使读者能够较容易地学习和掌握通信与接口技术的基本内容,为后续计算机专业课程的学习打下良好的基础。

本书源于教学实践,凝聚了一线任课教师的教学经验,具有以下特点:

(1) 结构清晰、内容详实。在每一章的开始概要说明了本章将介绍的内容,使读者做到心中有数;介绍每一种芯片时,首先介绍此芯片的主要功能和结构、所能使用的控制字的格式,再来说明如何使用这些控制字,最后举例说明如何在实际中进行应用;在各章的最后还有对应的小结,总结本章介绍的内容,前后呼应,系统性强。

(2) 每一章最后提供有大量丰富的习题。习题包括填空题、选择题、判断题、简答题,另外部分章节还有设计题和实验习题,这些习题紧扣该章介绍的内容。通过完成这些题目,可以使读者更好地掌握本章介绍的基本知识;通过实验操作完成有关习题,可以提高读者的应用能力。

(3) 本书全面系统地讲解了微型计算机通信与接口的相关内容,在第一版的基础上对书的部分章节进行了重新整合,删除了一些实用不强的内容,增加了人机交互和网络接口等实用性更强的内容,同时突出了通信与接口程序设计方面的内容。本书内容的组织方式深入浅出,循序渐进,选择内容丰富的应用实例,对基本概念、基本技术与方法的阐述准确明晰,通俗易懂。

全书以实用性为指导原则,在讲述计算机通信与接口技术的基础知识的同时,着重讲解了这些知识如何应用于实际。全书共分为 8 章,主要内容包括数据通信基础、中断接口技术(8259)、常用的 PC 机接口芯片(8255A、8253、8237)、串行通信总线标准及接口技术、人机交互设备接口(主要包括键盘、显示器、鼠标)、PCI 总线技术、USB 通用串行总线及应用、网络接口通信技术等。

本书由刘兵负责全书统稿定稿工作。本书第 1~5 章由张柱华、胡涛、刘冬、石伟编写,第 6~8 章由刘兵、蒋丽华、左爱群编写。另外,张琳、刘欣、李禹生、刘金花、吴煜煌、向云柱参加了部分编写工作,同时还要感谢在第一版中作出巨大贡献的易逵和朱天清老师。谢兆鸿教授、管庶安教授认真地审阅了全书,并提出了很多宝贵意见。在全书的文字资料输入及校排工作中得到了江小丽女士的大力帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,尤其是本书反映了当今计算机通信与接口领域里的新技术和新知识,难免存在一些疏漏及不妥之处,尚祈读者批评指正。

作者的电子邮件地址为:lb@whpu.edu.cn。

编 者

2008 年 08 月

第一版前言

现代计算机技术在科学计算、企业管理、工程控制、数据通信,以及家用多媒体计算机、学习机等方面取得了巨大而广泛的应用和发展,其中最重要的原因之一就是微型计算机通信与接口技术的发展和运用。而微型计算机通信与接口技术是设计和开发微型计算机应用系统的基础,要求设计者具有一定的软件、硬件及数据通信的相关知识,同时还要具备相当的接口分析与设计能力。

本书有较好的系统性,既注重基本原理的讲解,又兼顾到新技术的介绍,叙述力求深入浅出。本书的内容共分为四部分。第一部分主要讲述数据通信的基本知识,建立通信的基本概念;第二部分主要讲述微机接口,着重介绍目前较常用的几个芯片,包括可编程的中断控制器 Intel 8259A,可编程的定时器/计数器 8253,可编程的外围接口 8255A 等;第三部分是总线技术,讲述目前比较常用和流行的几种总线,包括串行通信总线 RS-232C、USB 总线和 PCI 总线;第四部分主要讲述设备驱动程序及如何开发虚拟设备驱动程序(VxD),包括 VxD 开发所需的基本知识,如何使用软件 VToolsD 进行 VxD 开发,最后讲解如何在 USB 和 PCI 总线上进行虚拟设备驱动程序开发。

本书由刘兵负责全书统稿及定稿工作,其中朱天清编写第 1 章,刘兵编写第 2 章,易逵编写第 3、4、5、6、7、8、9、10、11 和 12 章。管庶安、李禹生、丰洪才和周龙等对本书部分章节的编写提出了许多建设性的意见,武汉工业学院电气信息工程系的谢兆鸿教授认真地审阅了全书,并提出了很多宝贵意见。另外,在其他方面协助本书编写工作的还有贾瑜、欧阳峥峥、刘昌华、蒋丽华、周红、刘欣、范锴、肖坤、毛莹和陈静等。本书在编写过程中,得到了武汉工业学院计算机与信息工程系的领导和同事们的关心和支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,尤其是本教材反映了当今计算机通信与接口领域里的新技术和新知识,书中难免存在一些疏漏及不妥之处,尚祈读者批评指正。

作者的电子邮件地址为:lbliubing@sina.com。

编 者

2005 年 3 月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 数据通信基础.....	1
本章学习目标	1
1.1 数据通信基本概念	1
1.1.1 数据通信概述	1
1.1.2 数据通信系统的组成	3
1.1.3 数据通信系统的质量标准	3
1.1.4 数据通信系统的传输编码	5
1.1.5 数据通信系统的传输速率	7
1.2 数据通信的差错控制	8
1.2.1 差错类型	8
1.2.2 奇偶校验码	8
1.2.3 循环冗余校验	9
1.2.4 校验和	10
1.2.5 海明码	11
1.3 常见数据与网络通信协议的数据格式.....	13
1.3.1 以太网数据帧	13
1.3.2 IP 数据包	17
1.3.3 UDP 协议	21
1.3.4 TCP 协议	22
1.4 接口基础知识	25
1.4.1 计算机的接口	25
1.4.2 接口传输的信息	26
1.4.3 接口与系统的连接	27
1.4.4 输入/输出数据传送方式	28
1.4.5 输入/输出接口的编址方法	31
本章小结	32
习题一	32
第 2 章 中断接口技术.....	36
本章学习目标	36
2.1 8086 的中断系统	36

2.1.1	中断与中断系统功能	36
2.1.2	中断分类	37
2.1.3	中断向量和中断向量表	38
2.1.4	中断响应过程与时序	39
2.1.5	中断程序设计举例	42
2.2	可编程中断控制器 Intel 8259A	43
2.2.1	8259A 的内部结构和工作原理	43
2.2.2	8259A 的外部引脚	44
2.2.3	8259A 的工作过程	45
2.2.4	8259A 的工作方式	46
2.2.5	8259A 的编程	48
2.2.6	8259A 的级联	53
2.2.7	8259A 的应用举例	53
	本章小结	55
	习题二	56
第 3 章	PC 机接口芯片	60
	本章学习目标	60
3.1	8255A 并行接口芯片	60
3.1.1	并行通信与接口	60
3.1.2	8255A 的内部结构和引脚功能	61
3.1.3	8255A 的工作方式	63
3.1.4	8255A 的控制字	67
3.1.5	接口应用举例	68
3.2	8253 定时/计数器	72
3.2.1	定时/计数器概述	72
3.2.2	8253 的内部结构	74
3.2.3	8253 的引脚功能	76
3.2.4	8253 的工作方式	77
3.2.5	8253 的编程	82
3.2.6	8253 的应用举例	83
3.3	DMA 控制器 Intel 8237	86
3.3.1	DMA 概述	86
3.3.2	DMA 控制器芯片 Intel 8237	88
3.3.3	DMA 控制器 8237	93
	本章小结	102
	习题三	103
第 4 章	串行通信总线标准及接口技术	108
	本章学习目标	108

4.1 串行通信概述	108
4.1.1 串行通信基本概念	108
4.1.2 串行通信方式	109
4.2 串行接口标准	116
4.2.1 EIA-RS-232C 接口	116
4.2.2 RS-232C 的典型应用	118
4.3 可编程串行通信接口芯片 Ins 8250	119
4.3.1 Ins 8250 的内部结构	120
4.3.2 Ins 8250 的引脚	121
4.3.3 8250 的寄存器	123
4.3.4 Ins 8250 的应用	127
本章小结	129
习题四	129
第 5 章 人机交互设备接口	133
本章学习目标	133
5.1 键盘接口	133
5.1.1 键盘的工作原理	133
5.1.2 PC 机的键盘接口电路	136
5.2 显示器接口	137
5.2.1 显示器种类	137
5.2.2 CRT 显示器	138
5.2.3 显示接口卡	141
5.2.4 液晶显示器	144
5.2.5 汉字显示编程	146
5.3 鼠标	148
本章小结	151
习题五	151
第 6 章 总线技术	153
本章学习目标	153
6.1 概述	153
6.1.1 总线结构	153
6.1.2 总线的分类	154
6.1.3 微机总线技术性能指标及功能	155
6.1.4 常见总线标准	156
6.2 PCI 总线	160
6.2.1 PCI 总线结构和性能	160
6.2.2 PCI 总线信号定义	161

6.2.3	总线操作周期	164
6.2.4	PCI 总线仲裁	167
6.2.5	PCI 总线技术	168
6.2.6	PCI 总线的传输协议概述	170
本章小结	.....	172
习题六	.....	173
第 7 章 网络编程接口	.....	175
本章学习目标	.....	175
7.1 Winsock 网络接口编程		175
7.1.1 Winsock 接口概述		175
7.1.2 与套接口相关的类简介		178
7.2 网络数据分析		185
7.2.1 网络监听的原理		186
7.2.2 数据捕获工具		188
本章小结	.....	198
习题七	.....	198
第 8 章 USB 通用串行总线及应用	.....	199
本章学习目标	.....	199
8.1 USB 总线体系结构		199
8.1.1 USB 总线概述		199
8.1.2 体系结构		201
8.2 USB 数据流模型		207
8.2.1 概述		207
8.2.2 总线拓扑		208
8.2.3 USB 通信流		210
8.2.4 USB 通道数据传送类型		212
8.2.5 传送的总线访问		215
8.3 USB 的电气特性		218
8.3.1 信号的发送		218
8.3.2 电压分布		219
8.4 协议层		219
8.4.1 概述		219
8.4.2 包格式		222
8.4.3 错误检测和恢复		226
8.5 USB 设备架构		227
8.5.1 USB 设备状态		227
8.5.2 通用 USB 设备操作 (Generic USB Device Operations)		230

8.5.3	USB 设备请求.....	232
8.5.4	描述表	233
8.5.5	设备类定义	234
8.6	USB 主机——硬件与软件	234
8.6.1	USB 主机概况.....	234
8.6.2	软件功能	237
8.6.3	主机控制器驱动器	240
8.6.4	USBD.....	240
本章小结	.....	246
习题八	.....	247
参考文献	.....	248

第1章 数据通信基础

本章学习目标

本章主要阐述数据通信的基础知识和接口的基本概念,在数据通信中主要讲述数据通信的基本概念及系统组成、数据通信系统的质量标准及差错控制、数据通信协议的数据格式,使读者建立数据通信的基本概念,了解基本的数据通信技术。通过对本章的学习,读者应该掌握以下主要内容:

- 数据通信的基本概念、特点及实现方式
- 数据通信系统的性能指标
- 常用协议的数据格式及标准
- 计算机接口的基本概念

1.1 数据通信基本概念

当今社会人与人之间的交流,是通过交换信息来完成的。处于两个不同的城市或更远地方的人们进行信息交流时,所用手段是书信或电话等。从广义上讲,用任何方法通过任何媒体将信息从一个地方传送到另一个地方均可称为通信。在本节里所讲的数据通信是特指计算机与计算机之间或计算机与数据终端之间的通信。

1.1.1 数据通信概述

1. 数据

数据是定义为有意义的实体,是表征事物的形式,如文字、声音和图像等。数据可分为模拟数据和数字数据两类。模拟数据是指在某个区间连续变化的物理量,如声音的大小和温度的变化等;数字数据是指离散的不连续的量,如文本信息和整数等。

2. 信号

信号是数据的电磁编码或电子编码。信号在通信系统中可分为模拟信号和数字信号。其中,模拟信号是指一种连续变化的电信号,如电话线上传送的按照语音强弱幅度连续变化的电波信号;数字信号是指一种离散变化的电信号,如计算机产生的电信号就是“0”和“1”的电压脉冲序列串。

3. 信道

信道是用来表示向某一个方向传送信息的媒体。一般来说,一条通信线路至少包含两条信道,一条用于发送的信道和一条用于接收的信道。从传输方式上分,信道也可分为传送模拟信号的模拟信道和传送数字信号的数字信道两大类。另外需要说明的是数字信号在经过了数/模转换(D/A 转换)后可在模拟信道上传输;模拟信号在经过了模/数转换(A/D 转换)后也可在数字信道上传输。在各种通信网的发展初期,采用的数据通信信道一般都是模拟信道,但

随着数字技术的发展,以及数字信道能够提供更高的通信服务质量等优点,使得过去用模拟信道建设的通信网正在被新的数字信道的网络所取代,如固定电话网络和移动通信网络。从概念上讲,对传送计算机数据最合适的应当是数字信道,但从用户的电话机到市话局之间的用户线,现在还是使用老式的双绞线(铜线),即使用的是模拟信道;而各个交换机之间的线路多是使用光纤,即使用的是数字信道,因此模拟传输与数字传输会在目前的一段时间里并存下去。

4. 通信线路的通信方式

根据数据信息在传输线上的传送方向,数据通信方式有 3 种:单工方式、半双工方式和全双工方式。如图 1-1 所示。

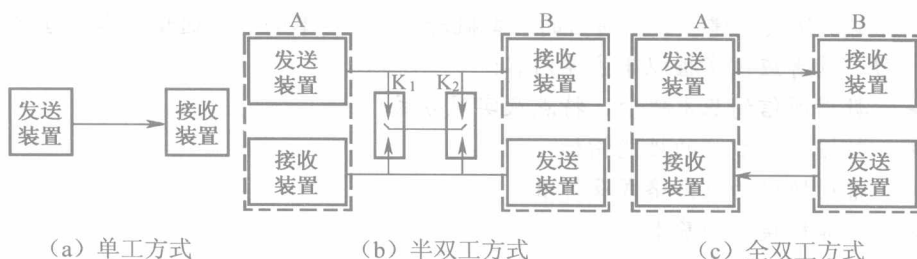


图 1-1 数据传输方式示意图

(1) 单工方式。在这种方式中,只允许数据始终按一个固定的方向传送,如图 1-1(a)所示。数据信息永远从发送端 A 传送到接收端 B,而不能从接收端 B 传向发送端 A。如无线电广播或电视广播就属于这种类型。

(2) 半双工方式。在半双工方式中,数据信息可以双向传送,但在同一时刻一个信道只允许单方向传送,该方式要求通信双方都要有发送装置和接收装置,如图 1-1(b)所示。若想改变信息的传输方向,需由开关 K1、K2 进行切换,因此将其称为“半双工”方式。在这种工作方式下,同一时刻只能是一端发送,另一端接收。当不工作时,令通信的两端均处于接收状态,以便随时响应对方的呼叫。收发开关并不是实际的物理开关,而是由软件控制的电子开关,通信的两端通过半双工通信协议进行功能切换。如对讲机通信就属于这种类型。

(3) 全双工方式。虽然半双工方式比单工方式灵活,但它的效率依然比较低,主要原因是从发送方式切换到接收方式需要一定的时间,大约为数毫秒。重复线路切换所引起的延迟积累,是相当可观的;另一方面,也是更重要的,就是同一时刻只能以一种方式工作,这是半双工效率不高的根本原因所在。解决的方法是增加一条线,使通信双方可同时向两个方向传送信息,如图 1-1(c)所示。如电话通信就属于这种类型。

值得说明的是,全双工与半双工方式比较,虽然信号传输速度增大许多,但线路也要增加一条,因此系统成本也将增加。在实际应用中,特别是在异步通信中,大多数情况都采用半双工方式,虽然发送效率较低,但线路简单、实用,而且系统一般也够用。

5. 信道带宽

在通信系统中经常会遇到“带宽”(Bandwidth)这个词,如果注意一点的话,可看出“带宽”的单位有时用赫兹(Hz)表示,而有时却用比特/秒(b/s)表示,那么“带宽”到底指的是什么呢?

早期的通信系统都是模拟系统,当输入的信号频率高或低到一定程度,使得系统的输出

功率成为输入功率的一半时,最高频率和最低频率间的差值就代表了系统的通信带宽,其单位为赫兹(Hz)。例如在传统的固定电话系统中,从固定话机终端到交换中心的双绞线路系统(Twist pair)所能提供的通信带宽可以到2MHz以上,其中语音通信只使用了从300~3400Hz的频段,使用的通信带宽约为4kHz。

在数字通信系统中,“带宽”的含义完全不同于模拟系统,它通常是指数字系统中数据的传输速率,其表示单位为比特/秒或波特/秒(Baud/s)。带宽越大,表示单位时间内的数字信息流量也越大;反之,则越小。衡量二进制码流的基本单位称为“比特”,若传输速率达到64kb/s,就表示二进制信息的流量是每秒64000比特;衡量多进制码流的基本单位为“波特”,若多进制的信息流量是每秒80000波特(即每秒80000波形数),如果将多进制码(例如四进制码 2^2 ,即每个波形带两位二进制数据)换算成的二进制来衡量,则信息比特流量为 $80k \times 2 = 160kb/s$ 。

1.1.2 数据通信系统的组成

数据通信系统由5个部分组成:信源、变换器、传输线路、反变换器和信宿,如图1-2所示。



图 1-2 数据通信系统

(1) 信源是发送各种信息(如语音、文字、图像、数据)的发送端,如人、计算机等。

(2) 传输线路提供数据通信系统接收、发送两端数据流的传输通路,该通路可以由同轴电缆或光缆构成的有线线路,也可以是由微波接力或卫星中继等构成的无线线路,还可以是有线线路与无线线路的结合。总而言之,传输线路给数据信号提供了传输通路。

(3) 信宿是信息的接收者,可以是人、计算机等。

(4) 变换器是将信源发出的信息变换成适合在传输线路上传输的信号。对应不同的信源和信道,变换器有着不同的组成和变换功能,如计算机通信中的调制解调器就是一种变换器。

(5) 反变换器是提供与变换器相反的功能,将从传输线路上接收的电(或光)信号变换成信宿可以接收的信息。

1.1.3 数据通信系统的质量标准

1. 传输速率

(1) 数据传输速率。数据传输速率是单位时间传送的数据量,数据量的单位可以是比特、字符码等,时间单位可以是秒、分等,通常用比特/秒为单位。

(2) 调制速率。调制是将基带数字脉冲信号变换为适合在线路上传输的某一频率载波信号的过程。调制过程中,单位时间内调制波形的变换次数(即单位时间内能进行的调制次数)叫做调制速率(也称为波特率)。如果单位调制信号波的时间长度为 T (秒),则调制速率定义为:

$$R_B = 1/T \text{ (波特)} \quad (1-1)$$

(3) 数据信号速率。数据信号速率表示单位时间内通过信道的信息量,单位是比特/秒(b/s),是用来表示传输速率常用的单位,简称比特率。在串行通信中数据信号速率定义为:

$$R_b = R_B \log_2 M = 1/T \log_2 M \text{ (比特/秒)} \quad (1-2)$$

在公式 (1-2) 中, R_B 为波特率, M 是调制信号波形的状态数, T 为单位调制信号波形的时间长度。这个公式描述了调制速率和数据信号速率之间的关系。

2. 误码率

在接收端收到数据的差错程度是数据通信质量最重要的指标, 一般用误码率 P_e 表示, 如公式 (1-3) 所示。

$$\text{误码率 } P_e = \frac{\text{接收中出错的比特数}}{\text{所传输的总比特数}} \times 100\% \quad (1-3)$$

在数据通信中, 为了控制差错, 一般要求系统的误码率 $P_e \leq 10^{-8}$ 。

3. 可靠性

可靠性通常用来表示系统在给定时间间隔内能正常工作的概率。影响系统可靠性的因素很多, 如系统设备的可靠性、信道的质量、操作人员的素质与状态等。可靠性可由公式 (1-4) 来表示。

$$\text{可靠性 } P_x = \frac{\text{系统正常工作时间}}{\text{系统工作总时间}} \times 100\% \quad (1-4)$$

4. 功率利用率和频带利用率

在满足数据通信快速性和准确性的基础上, 系统应保证较高的有效性, 以提高系统的效率。其中功率利用率和频带利用率是从不同侧面来反映系统有效性的指标。

(1) 功率利用率。功率利用率以比特差错小于某一规定值时所要求的最低归一化信噪比 (每比特的信号能量和噪声单边功率谱密度的比值) 来衡量。所要求的信噪比越低, 则功率利用率越高。

(2) 频带利用率。频带利用率是描述数据传输速率和带宽之间关系的一个指标, 也是衡量数据通信系统有效性的指标, 是单位频带内所能传输的信息速率, 其表达式如公式 (1-5) 所示。

$$\eta_B = \frac{R_b}{B} = \frac{1}{BT} \log_2 M \quad (\text{b/s} \cdot \text{Hz}) \quad (1-5)$$

式中, B 是系统频带宽度, R_b 是系统的比特率, M 是调制的状态数。在频带宽度相同的条件下, 比特传输速度越高, 频带利用率也越高, 反之则越低。

功率利用率和频带利用率这两项性能指标主要都决定于调制解调方式, 在选择调制解调方式时应兼顾二者。如果在某些系统中主要功率受限, 则可适当牺牲频带利用率来提高功率利用率; 若主要频带受限, 则着重提高频率利用率, 而功率利用率可适当降低。

5. 标准化

标准化程度的高低是衡量通信系统好坏的重要指标。通信系统的标准化程度高, 与其他系统的兼容性就好, 生产成本就低, 就便于维护和满足用户的需求。

6. 通信建立时间

数据通信系统一般都要求在尽可能短的时间内建立通信, 特别是突发性的通信更加要注重此项指标。

7. 其他指标

其他指标还有经济性、操作简单、维修方便、能自动检测、体积小和重量轻等, 在设计传输系统时也是要注意的。当然, 这些指标也是相对的, 要根据具体情况以及周围环境和服务对象等具体确定。

1.1.4 数据通信系统的传输编码

1. 数字信号模拟化时的编码方式

从原理上讲,数据通信(计算机之间的通信)应当使用支持数字信号的数字信道,但模拟信道也可进行数字信息的传输。

数字信号模拟化时采用的方法是对信号进行调制(modulation),即使用数字信号对一个模拟信号的某些特征(如频率、振幅、相位等)进行控制,使模拟信号的这些参数随着数字信号的变化而改变,这一过程也称为载波。将数据信息变换成适合于模拟信道上传输的电磁波(称为载波)信号,并将频率限制在模拟信道支持的频率范围内,这一过程称为调制;将从模拟信道上收取的载波信号还原成数字信息的过程称为解调。由于数据通信是双向的,不管数据的发送端还是接收端都需要既有调制功能,又有解调功能的设备,这种设备称为调制解调器。

调制解调器是数据终端与信道之间的接口,是计算机网络中的一种常用设备。在发送端产生正弦模拟载波信号,对计算机产生的数字信号进行调制后发送;在接收端对接收的调制信号进行解调,把数字信号从正弦模拟载波信号中分离出来,送给接收端的计算机。

正弦波可用 $A\sin(\omega t + \phi)$ 来表示,要使振幅 A 、频率 ω 和相位 ϕ 随着数字信号的变化而变化,就需要对这个载波进行调制,调制的常用方法有3种,即振幅调制、频率调制和相位调制。

(1) 振幅调制(调幅)。在振幅调制中,频率和相位都是常数,只有振幅是变量,即振幅随着数字信号的变化而改变。当数字信号为1时,将振幅 A 恢复正常,而当数字信号为0时,将振幅 A 变为0,即用正弦波的振幅变化来表示二进制数据。调幅技术实现起来简单,但抗干扰性差。如图1-3(a)所示。

(2) 频率调制(调频)。频率调制是使载波信号的频率随数字信号的变化而变化。在此种调制方式中,振幅、相位为常量,而频率为变量,每一种频率代表一种码元。在二相制中,数字信号“0”和“1”分别用两种不同的频率波形来表示,即频率 f_1 表示数字信号“0”,频率 f_2 表示数字信号“1”,如图1-3(b)所示。

频率调制实现起来简单,而且抗杂音、抗失真和抗电平变化的能力较强,既可用于同步传输,又可用于异步传输,因此在数据传输中得到了较广泛的应用。特别适合于低成本、低速率的数据传输。频率调制的缺点是带宽利用率低。

(3) 相位调制(调相)。利用数字信号来控制载波的相位,使其随着数字信号的改变而改变。在这种调制方式中,振幅、频率为常量,相位为变量,每一种相位代表一种码元。在二相制中,信号“0”和“1”分别用不同相位的波形表示,即数字信号“0”和“1”的载波信号表示相位不同, $\phi=0$ 表示数字“0”, $\phi=\pi$ 表示数字“1”;或者反之。如图1-3(c)所示。

2. 数字数据编码

对于数字信号的基带传输,二进制数字在传输过程中可以采用不同的编码方式,各种编码方式的抗干扰能力和定时能力各不相同,常见的数字数据编码方案有不归零编码、曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码。

(1) 不归零编码 NRZ。不归零编码的表示有很多种方法,但通常用负电平表示“0”,正电平表示“1”,如图1-4(a)所示。NRZ的缺点在于不是自定时的,这就要求另有一个信道同时传输同步时钟信号,否则无法判断一位的开始与结束,导致收发双方不能保持同步;并且当信号中“1”与“0”的个数不相等时,存在直流分量,这是数据传输中所不希望的。不归零编码的优点是实现简单,成本较低。

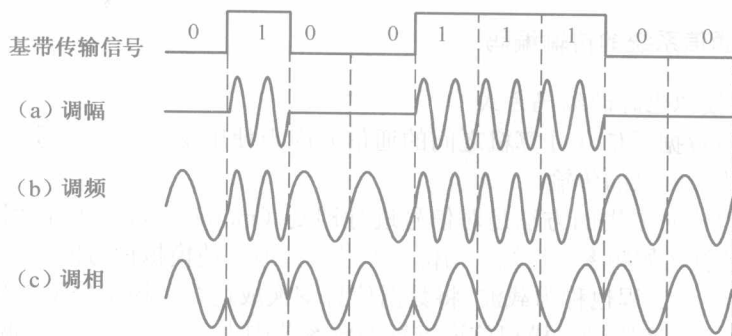


图 1-3 信号调制

(2) 曼彻斯特编码。使用不归零制 NRZ 信号的最大问题就是难以确定一位的结束和另一位开始，并且当出现一长串连续的 1 或 0 时，在接收端无法从收到的比特流中提取位同步信号。曼彻斯特编码则可解决这一问题，其编码方法是每个码元再分成两个相等的间隔，码元 1 是由高至低电平转换，即其前半码元的电平为高电平，后半码元的电平为低电平；码元 0 则正好相反，从低电平到高电平的转换，即其前半码元的电平为低电平，后半码元的电平为高电平，如图 1-4 (b) 所示。这种编码的好处是可以保证在每一个码元的正中间出现一次电平的转换，即这个位中间的跳变提供了定时时钟，这对接收端提取同步信号是非常有利的。但是从曼彻斯特编码的波形图不难看出，其缺点是所占的频带宽度比原始的基带信号增加了一倍。

(3) 差分曼彻斯特编码。曼彻斯特编码还有一个变种叫做差分曼彻斯特编码，这种差分曼彻斯特编码与上面讲的曼彻斯特编码有着共同的特点，即在每一个码元的正中间有一次电平的变换，这种编码在表示码元 1 时，其前半码元的电平与上一个码元的后半码元的电平一样，如图 1-4 (c) 中的实心箭头；但若码元为 0，则其前半码元的电平与上一个码元的后半码元的电平相反，即用每位开始时有无电平的跳变来表示 0 (1) 的编码，如图 1-4 (c) 中的空心箭头所示。不论码元是 1 或 0，在每个码元的正中间的时刻，一定要有一次电平的转换。差分曼彻斯特编码需要较复杂的技术，但可以获得较好的抗干扰性能。

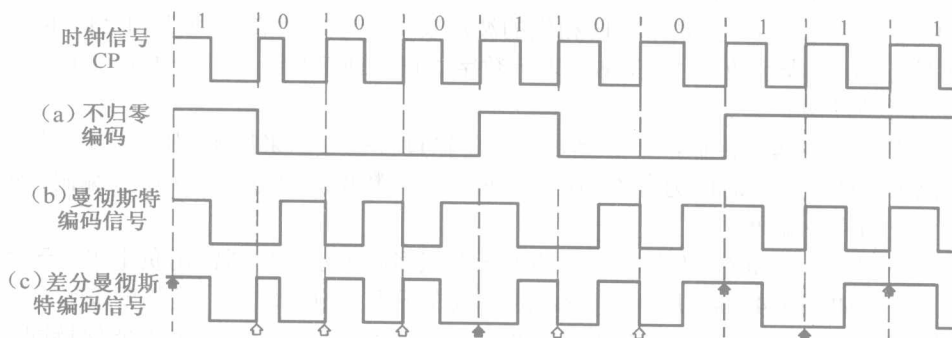


图 1-4 信道数字编码

1.1.5 数据通信系统的传输速率

在数据通信系统中,不可能存在一种非常理想的信道,使得在传输信号时不产生失真以及由此带来的多种干扰。在图 1-5 中显示了数字信号失真严重的信道。

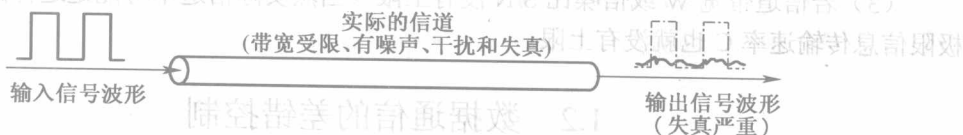


图 1-5 数字信号失真严重的信道

由图 1-5 可以看出,输入信号的速率越高,或信号传输的距离越远,在信道的输出端的波形失真就越严重,这样在单位时间内传输的数据量就受到信道带宽的制约。对于这个问题,奈奎斯特和香农先后展开了研究,并从不同角度在不同的条件下分别给出了两个著名公式:奈奎斯特公式和香农公式。

1. 奈奎斯特公式

奈奎斯特公式给出了无热噪声(热噪声是指由于信道中分子热运动引起的噪声,这里假定没有热噪声)时信道带宽对最大数据速率的限制,具体如公式(1-6)所示。

$$C=2H\log_2 L \quad (\text{b/s}) \quad (1-6)$$

其中, H 是信道的带宽(以 Hz 为单位), L 表示某给定时刻数字信号可能取的离散值的个数, C 是该信道最大的数据速率。

例如,无热噪声的某信道带宽为 4 kHz,任何时刻数字信号可取 0、1、2 和 3 四种电平之一,则最大数据速率为多少?

解:由公式(1-6)可得

$$C=2 \times 4000 \times \log_2 4 = 16000 \text{ b/s} = 16 \text{ kb/s}$$

2. 香农公式

香农(Shannon)用信息论的理论推导出了带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的极限、无差错的信息传输速率,即信道的极限信息传输速率 C 可表示为如公式(1-7)所示。

$$C=W\log_2(1+S/N) \quad (\text{b/s}) \quad (1-7)$$

其中, W 为信道的带宽(以 Hz 为单位), S 为信道内所传信号的平均功率, N 为信道内部的高斯噪声功率, S/N 为信噪比。

由于实际使用的信道其信噪比都足够大,经常使用分贝(Decibel, 记为 dB)为单位计量,其表示的值如公式(1-8)所示。

$$1\text{dB}=10\log_{10}(S/N) \quad (1-8)$$

例如,某信道的信噪比为 30dB、带宽为 4kHz 的信道最大数据速率为多少?

解:因为 1 分贝 $=10\log_{10}(S/N)$, 所以 30 分贝的 $S/N=1000$, 由公式(1-7)计算出信道的最大数据速率为:

$$C=4000\log_2(1+1000) \approx 40000 \text{ b/s}$$