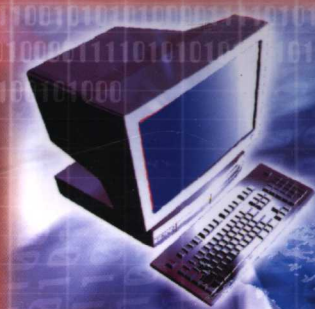


电子信息工程专业本科系列教材

DIANZI XINXI GONGCHENG ZHUANYE BENKE XILIE JIAOCAI

计算机通信技术

JISUANJI TONGXIN JISHU



主 编 海 涛 龙 军

副主编 沈宏琪 肖朝晖

重庆大学出版社

计算机通信技术

主 编 海 涛 龙 军

副主编 沈宏琪 肖朝晖

重 庆 大 学 出 版 社

内 容 简 介

本书系统地介绍了数据通信的基本原理、基本技术以及通信设备与网络等方面的知识。具体内容包括:数据通信的基本概念、历史与发展;数据通信的基础知识,包括数据编码、数据压缩、调制解调、同步技术、多路复用、数据传输信道以及数据通信中的几个主要指标;数据传输方式,包括基带传输、频带传输和数字数据传输;差错控制的基本理论和方法;数据通信的设备及传输介质;数据通信网的基本知识;局域网和广域网;电力线载波技术、通信数据的DTMF编/解码技术、通信中的三态逻辑编/解码技术、红外遥控技术;串行芯片及微机通信实例等。每章均附有适量的习题。

本书可以作为自动化、仪器仪表、通信与信息系统本科生和研究生教科书,也可作为通信工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机通信技术/海涛,龙军主编. —重庆:重庆大学出版社,2005.8

(电子信息工程专业本科系列教材)

ISBN 7-5624-3448-4

I. 计... II. ①海...②龙... III. 计算机通信—高等学校—教材 IV. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第076611号

计算机通信技术

主 编 海 涛 龙 军

副主编 沈宏琪 肖朝晖

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:许 玲 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆大学建大印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:493千

2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

印数:1—3000

ISBN 7-5624-3448-4 定价:25.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究。

前言

通信是信息远距离的传送,是人类生产和生活的重要支撑。从 20 世纪 70 年代起,计算机科学逐渐与数据通信技术融合,产生了数据通信方面的理论及技术,它的成长与计算机科学、通信科学的进步紧密相关。反过来,数据通信的发展又加速了计算机和电信的进步,加速计算机通信网的蓬勃发展,其结果使计算机工业和通信工业之间,从元器件制造,直到系统组成的各个方面相互交叠增长,甚至合并,这样使工艺、产品发生了深刻的变革,出现了计算机和通信联合企业。这一合并具有划时代的意义,使人类社会由工业化时代迈向信息化时代。

为了适应我国计算机科学飞速发展的形势,进一步提高非计算机专业学生应用计算机通信技术的能力,培养 21 世纪高级专门人才,我们在认真总结多年教学、科研经验的基础上编写此教材。编写时,充分考虑了初学者的特点及认识规律,努力把科学性与实用性、易读性结合起来,力求内容新颖,重点突出、文字精炼、侧重应用;从实际出发,用读者容易理解的体系和叙述方法,深入浅出、循序渐进地帮助读者掌握课程的基本内容,使掌握微型计算机原理的读者也能掌握计算机通信技术的知识。

全书内容共分 10 章。第 1 章,通信简介;第 2 章,介绍编码技术、数据编码和数据压缩技术、数据传输信道和数据通信系统的指标;第 3 章,详细描述通信数据的调制与解调,基带传输,频带传输,PSK、FSK、ASK 等调制解调器及多路复用技术的基本原理等;第 4 章,介绍差错控制编码的基本方法,包括常用的差错校验方法、线性分组码、卷积码等;第 5 章,主要从总线标准、接口信号、电气特性、抗干扰能力、通信速度和距离等方面介绍 RS-232、RS-422 等标准接口,详细描述 USB 通用接口和 IEEE 1394 等串行通信总线标准接口;第 6 章,介绍了计算机网络的基本概念、网络协议与网络体系结构、TCP/IP 参考模型、计算机网络的分类等;第 7 章,介绍关于局域网的 IEEE802 标准、以太网及各种联网设备;第 8 章,介绍 Internet 上的各种技术,包括 IP 地址、网络层协议等;第 9 章,介绍传输信道、电力线载波技术、DTMF 编/解码技术、通信中的三态逻辑编/解码技术等;第 10 章,简介串行芯片及微机通信实例。本书每章开头有内容提要,结尾有小结和习题,便于教学和自学。

本书的编写工作开始于2004年1月,由广西大学电气工程学院高级工程师海涛、龙军副教授任主编,广西工学院计算机系副教授沈宏琪、重庆工学院计算机系肖朝晖任副主编,南宁欧顶电气骆武宁副教授也参与部分章节编写。

本书可作为非计算机专业的本科教材,也可作为硕士研究生及从事计算机开发应用工作的工程技术人员的参考书。

在本书的编写过程中,郑昌达、文志刚、陈明媛、韦文、刘茜等人为本书的撰写做了很多工作,广西大学郑燕芳副教授和李哲副教授对编撰此书也给予了大力支持和帮助,在此对他们的辛勤工作表示感谢。由于时间紧迫,编者水平有限,书中谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2005年4月

E-mail:haitao@gxu.edu.cn

目 录

第1章 通信概述	1
1.1 数据通信的概念	2
1.2 计算机通信的应用	5
1.3 蓝牙技术	6
1.4 计算机通信的焦点问题	7
1.5 通信信道	7
1.6 通信信道及其特征	8
1.7 数字通信发展的回顾与展望	12
小 结	14
习 题	14
第2章 计算机数据通信基础	15
2.1 数据通信研究的主要内容	15
2.2 ASCII 码、博多码、莫尔斯码和 BCD 码	22
2.3 数据编码和数据压缩技术	25
2.4 同步技术	27
2.5 多路复用	38
2.6 数据传输信道	38
2.7 数据通信中的几个主要指标	52
2.8 允许的波特率误差	55
2.9 串行通信的过程及通信协议	55
小 结	58
习 题	58
第3章 调制解调和多路复用技术	60
3.1 调制和解调	60
3.2 多路复用技术	79
小 结	89
习 题	90
第4章 差错控制编码	91
4.1 引言	91
4.2 基本概念	91
4.3 纠错编码的基本原理	95

4.4	常用的简单编码	99
4.5	线性分组码	101
4.6	循环码	106
4.7	卷积码	114
4.8	其他差错控制方式	117
	小 结	119
	习 题	120
第5章	串行通信接口	121
5.1	串行标准接口及分类	121
5.2	串行通信总线标准及其接口	122
5.3	远距离串行通信接口标准	128
5.4	通用串行总线 USB	137
5.5	IEEE 1394	148
	小 结	152
	习 题	153
第6章	计算机网络简介	154
6.1	计算机网络概述	154
6.2	网络体系结构与网络协议	157
6.3	OSI 参考模型	159
6.4	TCP/IP 参考模型	162
6.5	改良的 ICP/IP 参考模型	164
6.6	面向连接服务与无连接服务	164
6.7	数据交换技术的分类	165
6.8	计算机网络的分类	168
6.9	传输介质	171
6.10	标准化组织	173
	小 结	174
	习 题	175
第7章	局域网技术	176
7.1	IEEE 802 标准	176
7.2	以太网	177
7.3	以太网的介质访问控制方法	178
7.4	以太网家族	181
7.5	无线局域网简介	184
7.6	联网设备	186
	小 结	196
	习 题	197

第 8 章 Internet 技术	198
8.1 IP 地址和子网掩码	198
8.2 网络层协议	203
8.3 路由器和路由算法	208
8.4 传输层协议	215
8.5 应用层协议简介	221
小 结	224
习 题	225
第 9 章 数据通信中的其他通信技术	226
9.1 光纤通信技术	226
9.2 无线传输信道	229
9.3 电力线载波技术	232
9.4 数据通信的 DTMF 编/解码技术	241
9.5 通信中的三态逻辑编/解码技术	249
9.6 红外遥控技术	253
小 结	256
习 题	257
第 10 章 串行芯片及微机通信实例	258
10.1 可涓流充电的串行实时时钟芯片 DS1302	258
10.2 24LC $\times\times$ B 串行 EEPROM 及接口程序设计	268
10.3 IC 卡读/写器的设计	274
10.4 串行 A/D 转换的实现	278
10.5 单片机看门狗 X5045	281
10.6 单片机与 PC 机通信	288
10.7 串行液晶显示器 LCM12864	292
10.8 PC 机双机通信	296
小 结	300
习 题	301
附录	302
附录 A ASCII 码	302
附录 B ASCII 码控制字符	304
附录 C EBCDIC 码(I)	305
附录 D EBCDIC 码(II)	306
参考文献	308

第 1 章

通信概述

通信是信息的远距离传送,是人类生产和生活的主要支撑,我国古代已有之。比如烽火台、消息树、鸡毛信、信鸽等,这些都是我国古代劳动人民发明的通信工具,在人类社会发展中起着重要的作用。近代人们又发明了电话、电报、广播、电视及传真等通信工具,使通信更上一层楼。但是,真正使通信面貌焕然一新的要首推计算机的出现。

1837 年, Samuel Morse 发明了电报,由此,通信领域发生了巨大的变革。这一发明的诞生,使通过一根铜线上的电脉冲来传递信息成为可能。报文的每一字符被转换为一串或长或短的电脉冲(通俗地讲,就是点和划)传输出去,这种字符和电脉冲的转换关系被称为莫尔斯码(Morse Code)。这种传递信息的能力不需明显的听觉或视觉作为媒体,带来了一系列的技术革新,并且永远地改变了人们的通信方式。

1876 年, Alexander Graham Bell 进一步发展了电报技术。他发现:不仅消息能被转换为电信号,声音也能直接被转换为电信号,然后由一条电压连续变化的导线传输出去。在导线的另一端,电信号被重新转换为声音。这样,对于任意的两点,只要它们之间存在着物理连接,两端的人们就能互相通话。对于大多数习惯于用听和看来得到信息的人来说,这一发明简直是太不可思议了。

在以后的 70 年里,电话系统不断地发展,成了一种家庭常用设备。大多数人甚至不清楚电话是如何工作的,只知道:只要键入一个号码,就能和世界各地的人通话。

1945 年,世界上第一台电子计算机 ENIAC(电子数字计算机)问世。尽管 ENIAC 与数据或计算机通信似乎没有直接关系,但是它表现出的计算和决策能力在当今的通信系统中至关重要。

1947 年,电子晶体管问世。这使得生产更便宜的计算机成为可能,计算机与通信技术也逐渐紧密地联系起来。20 世纪 60 年代出现了新一代的计算机,使诸如为电话调度进行路由选择和处理等新的应用变得经济可行。另外,随着越来越多的企业使用计算机,开发应用程序,它们之间进行信息传递的需求也随之增长。

最早的计算机间的通信系统简单而可靠。它基本上是这样实现的:首先把信息写到一盘磁带上,然后另一台计算机就能从磁带上读出信息,这是一种非常可靠的通信方式。电子通信

的另一个里程碑是个人计算机(PC)的发展,桌面的计算能力产生了存取信息的全新方式。20世纪80年代,成千上万的PC机进入了企业、公司、学校和组织机构,也为许多家庭所拥有。对于计算机,客观上要求计算机之间能够更简便地交换信息。

20世纪90年代诞生了因特网,这一应用使得世界各地的信息都能够通过计算机在个人的桌面上轻易地得到。计算机用户之间能方便地存取文件、程序、视频和声音数据。诸如聊天室、电子公告牌、机票预定系统等都成为现实。计算机和通信发展如此迅猛,以至于一旦失去它们,大多数的企业和学校等社会各领域将无法正常运转。人们如此依赖于它们,所以必须学习它们,并且要知道它们的能力和局限性。

1.1 数据通信的概念

在实际工作中,计算机的CPU与外部设备之间常常要进行信息交换,一台计算机与其他计算机之间也往往要交换信息,所有这些信息交换均可称为数据通信。

1.1.1 数据通信的方式

数据通信方式有两种:并行数据通信和串行数据通信。通常根据信息传送的距离决定采用哪种通信方式。例如,在PC机与外部设备(如打印机等)通信时,如果距离小于30 m,可采用并行数据通信方式;当距离大于30 m时,则要采用串行数据通信方式。

并行数据通信是指数据的各位同时进行传送(发送或接收)的通信方式。其优点是传递速度快;缺点是数据有多少位,就需要多少根传送线。例如,单片机与打印机之间的数据传送就属于并行数据通信。图1.1(a)所示为8051单片机与外部设备之间8位数据并行通信的连接方法。并行通信在位数多、传送距离远时就不太适宜。

串行数据通信指数据是一位一位按顺序传送的通信方式。它的突出优点是只需一对传送线(利用电话线就可作为传送线),这样就大大降低了传送成本,特别适用于远距离通信;它的缺点是传送速度较低。假设并行传送 N 位数据所需时间为 t ,那么串行传送的时间至少为 Nt (实际上总是大于 Nt 的)。图1.1(b)所示为串行数据通信方式的连接方法。

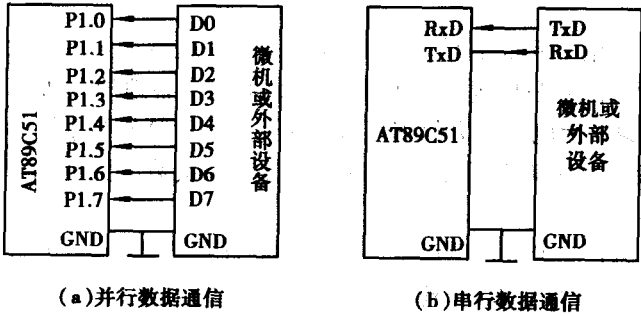


图 1.1 两种通信方式的连接

1.1.2 串行通信的传送方式

串行通信的传送方式通常有三种：一种为单向(单工)配置,只允许数据向一个方向传送;另一种是半双向(半双工)配置,允许数据向两个方向中的任一方向传送,但每次只能由一个站发送;第三种传送方式是全双向(全双工)配置,允许同时双向传送数据。因此,全双工配置是一对单向配置,它要求两端的通信设备都具有完整和独立的发送与接收能力。图 1.2 所示为串行通信中数据传送方式。

图 1.2(a)为单工方式,(b)为半双工方式,(c)为全双工方式。

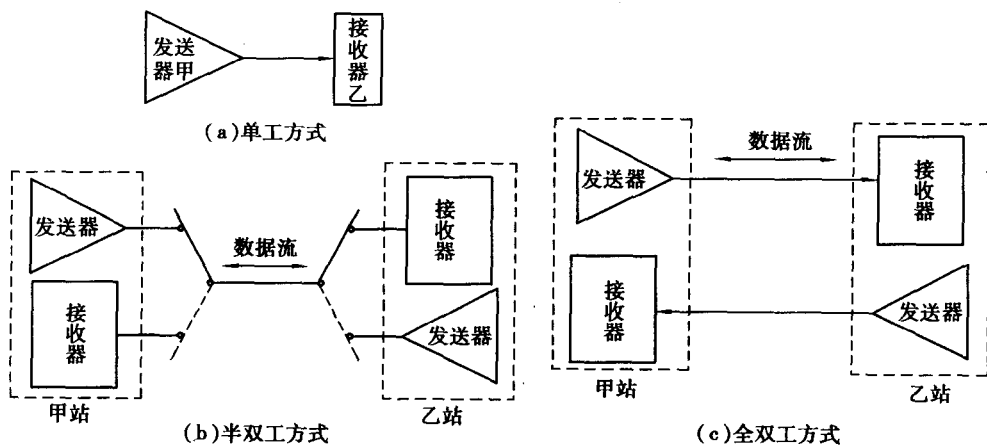


图 1.2 串行通信传输方式

1.1.3 异步通信和同步通信

串行通信有两种基本通信方式：同步通信和异步通信。

(1) 同步通信

在同步通信中,数据开始传送前用同步字符来指示(常约定 1~2 个),并由时钟来实现发送端和接收端同步,即检测到规定的同步字符后,下面就连续按顺序传送数据,直到通信告一段落。同步传送时,字符与字符之间没有间隙,也不用起始位和停止位,仅在数据块开始时用同步字符 SYNC 来指示,其数据格式如图 1.3 所示。

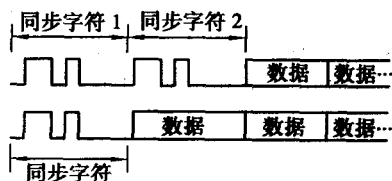


图 1.3 同步传送的数据格式

同步字符的插入可以是单同步字符方式或双同步字符方式(如图 1.3 所示),然后是连续的数据块。同步字符可以由用户约定,当然也可以采用 ASCII 码中规定的 SYN 代码,即 16H。按同方式通信时,先发送同步字符,接收方检测到同步字符后,即准备接收数据。在同步传送时,要求用时钟来实现发送端与接收端之间的同步。为了保证接收正确无误,发送方除了传送

数据外,还要把时钟信号同时传送。

(2) 异步通信

在异步通信中,数据是一帧一帧(包含一个字符代码或一字节数据)传送的,每一串行帧的数据格式如图 1.4 所示。

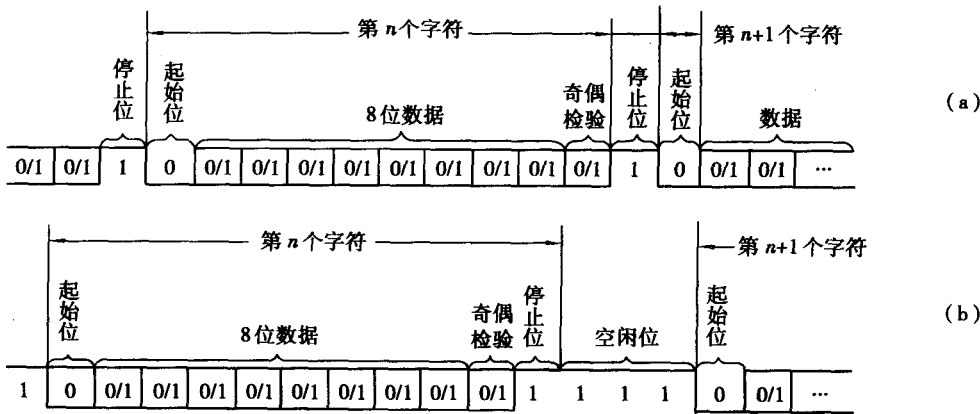


图 1.4 异步通信的一帧数据格式

在帧格式中,一个字符由四个部分组成:起始位、数据位、奇偶校验位和停止位。首先是一个起始位“0”,然后是 5 ~ 8 位数据(规定低位在前,高位在后),接下来是奇偶校验位(可省略),最后是停止位“1”。起始位“0”信号只占用一位,用以通知接收设备接收下一个字符。线路上在不传送字符时,应保持为“1”。接收端不断检测线路的状态,若连续为“1”以后又测到一个“0”,就知道发来一个新字符,应马上准备接收。字符的起始位还被用作同步接收端的时钟,以保证以后的接收能正确进行。

起始位后面紧接着是数据位,它可以是 5 位(D0 ~ D4)、6 位、7 位或 8 位(D0 ~ D7)。

奇偶校验(D8)只占一位,但也可以在字符中规定不同的奇偶校验位,则这时这一位就可省去。还可用这一位(1/0)来确定这一帧中的字符所代表信息的性质(地址/数据等)。

停止位用来表征字符的结束,它一定是高电位(逻辑“1”)。停止位可以是 1 位、1.5 位或 2 位。接收端收到停止位后,知道上一字符已传送完毕,同时,也为接收下一个字符做好准备——只要再收到“0”就是新的字符的起始位。若停止位以后不是紧接着传送下一个字符,则让线路上保持为“1”。图 1.4(a)表示一个字符紧接一个字符传送的情况,上一个字符的停止位和下一个字符的起始位是紧相邻的;图 1.4(b)则是两个字符间有空闲位的情况,空闲位为“1”,线路处于等待状态。存在空闲位正是异步通信的特征之一。

例如,规定用 ASCII 编码,字符为七位,加一个奇偶校验位、一个起始位、一个停止位,则一帧共十位。

(3) 接收/发送时钟

在串行通信过程中,二进制数字系列以数字信号波形的形式出现。无论接收还是发送,都必须有时钟信号对传送的数据进行定位。接收/发送时钟就是用来控制通信设备接收/发送字符数据速度的,该时钟信号通常由微机内部时钟电路产生。在接收数据时,接收器在接收时钟的上升沿对接收数据采样;进行数据位检测;在发送数据时,发送器在发送时钟的下降沿将移位寄存器的数据串行移位输出,如图 1.5 和图 1.6 所示。

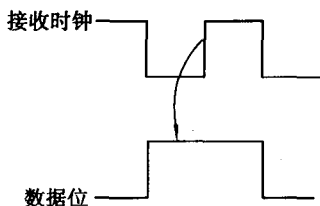


图 1.5 接收时钟

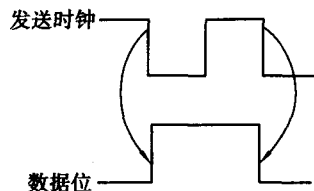


图 1.6 发送时钟

1.2 计算机通信的应用

计算机之间互传数据只是通信的一个方面,比如很多人都知道电视通过一副天线或一根电缆来接收信号。1962年,一颗被用来在美国和欧洲之间传送电话及电视信号的通信卫星(Telstar)发射升空,标志着全球领域的通信技术又迈出了新的一步。通信卫星使各大陆之间的信息传输在技术上和经济上成为可能。

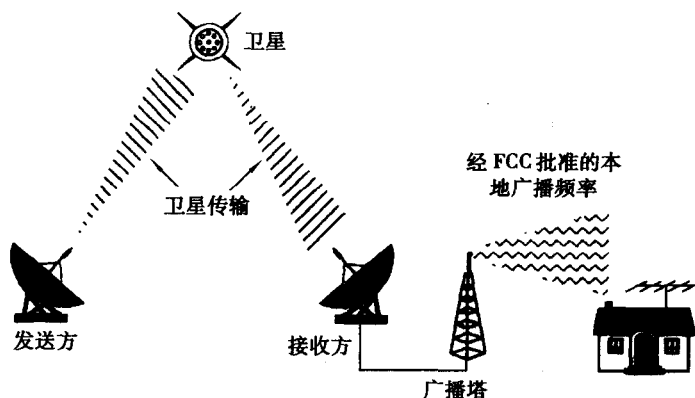


图 1.7 电视信号接收系统

目前有很多通信卫星传送电视信号,图 1.7 描述了一个典型系统。在世界上某一角落的发送者发信号给一颗绕轨道运转的卫星,接着卫星把信号转发给其他地方的接收者。接收者收到信号后,通过广播塔在当地进行广播。广播所使用的广播频率必须经联邦通信委员会批准。这样,家里的电视机就能用天线接收到电视信号了。

电视天线并不是接收信号的惟一途径,很多家庭选用有线电视服务,通过光纤或同轴电缆将电视信号传输到家里。另外,还有不少人购买自己的接收器,直接接收卫星信号。

通信技术的其他应用还有局域网和广域网,分别允许近距离(LAN)或远距离(WAN)的不同计算机进行通信。一旦连接完毕,用户就可以收发数据文件,进行远程登录,发送电子邮件(E-mail),或是上网。用电子邮件,人们能够在计算机之间收发私人信件和公文。电子邮件系统把信息存储在磁盘上,以便于别人读取。

收发信息的电子方式——电子邮件的迅猛发展使某些人相信它将最终取代邮政服务。这在可预见的未来似乎不太可能发生,但是电子邮件确实在专业人员中被广泛使用。同时,随着万维网的出现,越来越多的人开始使用这一新技术。

通过电子邮件,可以身处家中的某一角落把信息发送到远方,图 1.8 描绘了其过程。家里有一台 PC 和一台调制解调器,就能访问公司或因特网服务商的计算机。这样,PC 就连上了一个局域网,可以给网上的其他人发信息。同时,该局域网还连接着一个广域网,通过它可以给外地甚至外国发送信息,另一端的局域网接收到信息后,把它传送给所连的 PC。同样,只要有一台 PC 和一台调制解调器,对方就能进行接收。

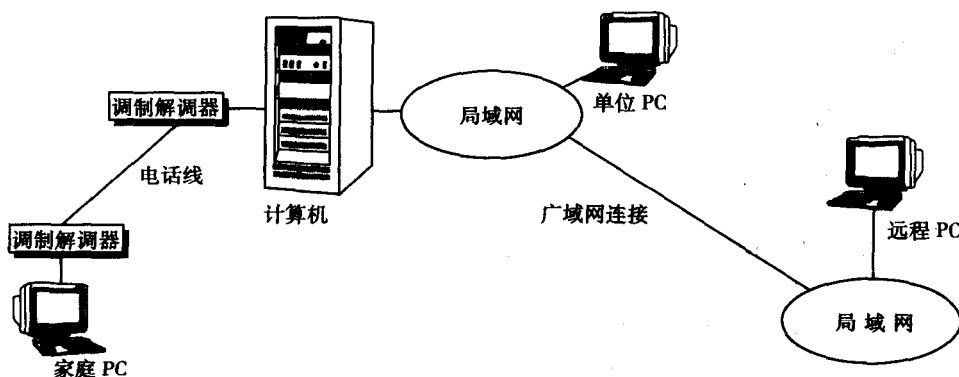


图 1.8 电子邮件连接

下面简要地介绍一些其他的应用,部分内容还将在以后的章节进一步详细讨论。

传真机能把一张纸上的图像转换成电子形式,再通过电话线发送出去,另一端的传真机把图像还原。传真机被广泛用于快速发送信函和图表。

电信会议(Teleconferencing) 进行电信会议,首先在各地安装好摄影机和电视,以便各地的与会者能够看到、听到对方。这样,不同地方的人就能一起参加会议了。需要展示的数字图表也可以在会议上播放。

蜂窝式移动电话(Cellular Telephone) 电话无疑是最普遍的通信设备,然而,直到 20 世纪 60 年代,要进行通信,两点间还需有物理上的连接。那时,电话系统已开始使用卫星和微波塔发送信号,但电话机暂时还得与当地的邮电局连接。蜂窝式移动电话的发明改变了这一切,它通过无线电波与电话系统联系,有了它,只要附近有发送和接收塔,人们就可以在车里、野外、球场打电话。

1.3 蓝牙技术

蓝牙技术的取名源于 10 世纪的挪威国王哈拉德·蓝牙(Harald Bluetooth),他统一了丹麦和挪威。1000 年后,爱立信公司在研究短距无线连接技术标准时,选用了这个名字,这就是蓝牙技术名称的来源。

蓝牙技术是一种同时可用于电信和计算机的无线传输技术,特点是短距离、低功率、低成本,运用无线电波来传输的技术。通过这个标准,可以将所有信息设备连通。

蓝牙技术传输的范围为 10 m,加放大器后可达 100 m。它使用 2.4 GHz 公用频带,采用跳频式展频,每秒跳频次数高达 1600 次。

蓝牙技术同时具备语音和数据通信能力,数据传输速率可达 1 Mbit/s。采用蓝牙技术可

完成语音及数据的即时传输、取代有线线路、快速网络连接等功能。

1.4 计算机通信的焦点问题

这些新技术的发展带来了许多令人关注的问题。比如,在前面的讨论中,已多次提到“连接”或其他类似含义的词语。但究竟怎样连接,用什么实现连接,是用导线、电缆还是用光纤呢?不用它们可以吗?

一旦确定了连接方式,就得建立一些通信标准。如果没有交通信号和交通法规,城市道路将难以发挥作用。通信系统也一样,无论是以电缆作为主要媒介,还是在空中传播,都会有很多信息源想要发送信息。所以,必须建立一些标准,以防止信息发生冲突,或用以解决冲突。另一个关注的问题是其易用性。

通信系统必须是安全的,应该认识到信息交流的简单性也会带来对信息的非法使用。怎样做才能使信息对于那些需要的人是易访问的,而对于其他人则是不可见的呢?这个任务非常艰难,特别是有一些未经许可的人处心积虑地想要破坏安全系统。信息的敏感度越高,安全系统也就越受考验。然而,没有一个系统是绝对安全的。

即使解决了以上所有问题,建立起高效率、低成本、既安全又方便信息传递的计算机网络,还存在另一个问题:计算机系统的兼容性。很多计算机系统都是不兼容的,有时从一台计算机将信息传输到另一台去就好像人之间的器官移植一样。

当今一个热门的话题就是开放系统的发展,如果完全实现的话,开放系统将允许任意两台连接的计算机交换信息。考虑到计算机系统的多样性,这确实是一个诱人的远大目标。通信是一个历史悠久而又具有广阔发展前景的技术领域,需要有大量的人去了解它、掌握它,一起创造通信事业的美好未来。

1.5 通信信道

通信信道是用来将发送机的信号发送给接收机的物理媒质。在无线传输中,信道可以是大气(自由空间);另一方面,电话信道通常使用各种各样的物理媒质,包括有线线路、光缆和无线(微波)等。无论用什么物理媒质来传输信息,其基本特点是发送的信号随机地受到各种可能机理的恶化。例如,由电子器件产生的热噪声、人为噪声(如汽车点火噪声)及大气噪声(如在雷暴雨时的闪电)。

在数字通信系统的接收端,数字解调器对受到信道恶化的发送波形进行处理,并将该波形还原成一个数的序列,该序列表示发送数据符号的估计值。这个数的序列被送至信道译码器,它根据信道编码器所用的关于码的知识及接收数据所含的冗余度重构初始的信息序列。

解调器和译码器工作性能好坏的一个度量是译码序列中发生差错的频度。更准确地说,在译码器输出端的平均比特错误概率是解调器—译码器组合性能的一个度量。一般地,错误概率是下列各种因素的函数:码特征,用来在信道上传输信息的波形的类型,发送功率,信道的特征(即噪声的大小、干扰的性质等),以及解调和译码的方法。在后续各章中将详细讨论这

些因素及其对性能的影响。

作为最后一步,当需要模拟输出时,信源译码器从信道译码器接收其输出序列,并根据所采用的信源编码方法的有关知识重构由信源发出的原始信号。由于信道译码的差错以及信源编码器可能引入的失真,在信源译码器输出端的信号只是原始信源输出的一个近似。在原始信号与重构信号之间的信号差或信号差的函数是数字通信系统引入失真的一种度量。

1.6 通信信道及其特征

正如前面指出的,通信信道在发送机与接收机之间提供了连接。物理信道可以是携带电信号的一对明线,或是在已调光波束上携带信息的光纤,或是信息以声波形式传输的水下海洋信道,或是自由空间。携带信息的信号通过天线在其中辐射传输。可被表征为通信信道的其他媒质是数据存储媒质,例如磁带、磁盘和光盘。

在信号通过任何信道传输中一个共同的问题是加性噪声。一般地,加性噪声是由通信系统内部的元器件所引发的,例如电阻和固态器件。有时将这种噪声称为热噪声。其他噪声和干扰源也许是系统外面引起的,例如来自信道上其他用户的干扰。当这样的噪声和干扰与期望信号占有同频带时,可通过对发送信号和接收机中解调器的适当设计来使它们的影响降至最低。信号在信道上传输时,可能会遇到的其他类型损伤有信号衰减、幅度和相位失真、多径失真等。

可以通过增加发送信号功率的方法使噪声的影响变小,然而,设备和其他实际因素限制了发送信号的功率电平;另一个基本的限制是可用的信道带宽,带宽的限制通常是由于媒质以及发送机和接收机中组成器件和部件的物理限制产生的。这两种限制因素限制了在任何通信信道上能可靠传输的数据量,将在以后各章中讨论这种情况。下面描述几种通信信道的重要特征。

1.6.1 有线信道

电话网络扩大了有线线路的应用,如话音信号传输以及数据和视频传输。双绞线和同轴电缆是基本的导向电磁信道,它能提供比较适度的带宽,通常用来连接用户和中心机房的电话线的带宽为几百千赫(kHz)。另一方面,同轴电缆的可用带宽是几兆赫(MHz)。图 1.9 示出了导向有线信道的频率范围,其中包含波导和光纤。

信号在这样的信道上传输时,其幅度和相位都会发生失真,还会受到加性噪声的恶化。双绞线信道还易受到来自物理邻近信道的串音干扰。因为有线信道上通信在日常通信中占有相当大的比例,因此,人们对传输特性的表征以及对信号传输时的幅度和相位失真的减缓方法作了大量研究。

1.6.2 光纤信道

光纤提供的信道带宽比同轴电缆信道大几个数量级。在过去的 20 年中,已经研发出具有较低信号衰减的光缆,以及用于信号和信号检测的可靠性光子器件。这些技术上的进展导致了光纤信道应用的快速发展,不仅应用在国内通信系统中,也应用于跨大西洋和跨太平洋的通

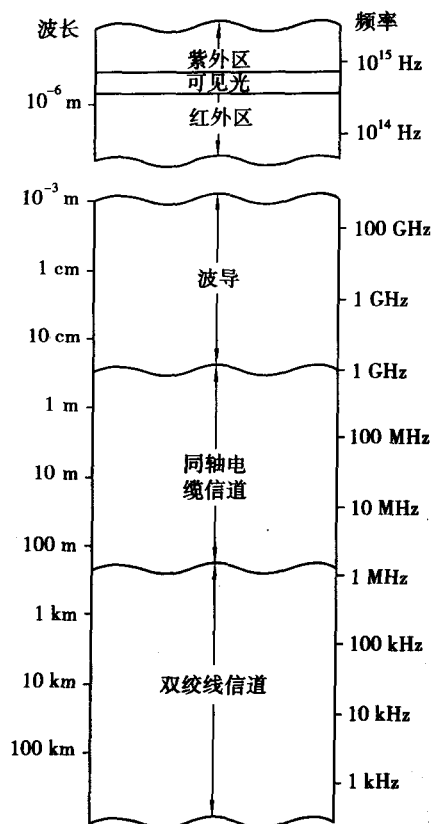


图 1.9 导向有线信道的频率范围

信中。由于光纤信道具有较大的可用带宽,因此有可能使电话公司为用户提供宽系列电话业务,包括语音、数据、传真和视频等。

在光纤通信系统中,发送机或调制器是一个光源,或者是发光二极管(LED),或者是激光,通过数字信号改变(调制)光源的强度来发送信息。光像光波一样通过光纤传播,并沿着传输路径被周期性地放大,以补偿信号衰减(在数字传输中,光由中继器检测和再生)。在接收机中,光的强度由光电二极管检测,它的输出电信号的变化直接与照射到光电二极管上光的功率成正比。光纤信道中的噪声源是光电二极管和电子放大器。

1.6.3 无线电磁信道

在无线通信系统中,电磁能是通过作为辐射器的天线耦合到传播媒质的,天线的物理尺寸和配置主要决定于运行的频率。为了获得有效的电磁能量的辐射,无线必须比波长的 $1/10$ 长。因此,在调幅(AM)频段发射的无线电台,比如说在 $f_c = 1 \text{ MHz}$ 时(相当于波长 $\lambda = C/f_c = 300 \text{ m}$),要求无线至少为 30 m 。图 1.10 示出了不同频段的电磁频谱。在大气和自由空间中,电磁波传播的模式可以划分为 3 种类型:地波传播、天波传播和视线传播。在甚低频(VLF)和音频段,其波长超过 10 km ,地球和电离层对电磁波传播的作用如同波导。在这些频段,通信信号实际上环绕地球传播。由于这个原因,这些频段主要用来在世界范围内提供从海洋到船舶的导航帮助。在此频段中,可用的带宽较小(通常是中心频率的 $1\% \sim 10\%$),通过这些信