

新一代信息通信规划教材

数据通信技术与应用

SHUJU TONGXIN JISHU YU YINGYONG

SHUJU TONGXIN JISHU YU YINGYONG

陈光军 主编

北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

新一代信息通信规划教材

数据通信技术与应用

陈光军 主编

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书的编写以培养学生的应用能力为主要目标,理论与实践并重,并强调理论与实践相结合。在内容编排上,力求由浅入深、循序渐进、举一反三、突出重点、通俗易懂;既注重培养学生分析问题的能力,也注意培养学生思考、解决问题的能力,使学生真正做到学以致用。与同类书相比,本书增加了对新技术的介绍,拓宽了知识面,突出了学科发展的特点。全书共12章,主要内容有:绪论,数据通信基础,信道,信源编码,数字基带信号传输,频带传输与调制技术,同步技术,差错控制技术,多路复用技术,数据链路传输控制规程,计算机通信的标准接口技术,综合业务数字网与信息高速公路。

本书内容丰富、实用性强,可用做计算机科学与技术专业、网络工程专业、通信工程专业“数据通信技术与应用”课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

数据通信技术与应用/陈光军主编. —北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-1102-4

I.数... II.陈... III.数据通信—高等学校—教材 IV.TN919

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 058771 号

书 名: 数据通信技术与应用

主 编: 陈光军

出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号) 邮编:100876

发行部电话:(010)62282185 62283578(传真)

电子信箱:publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 18.5

字 数: 459 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1102-4/TN·385

定价: 28.00 元

·如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系·

前 言

随着因特网技术的迅速发展,数据通信技术得到越来越广泛的应用,数据通信的新设备不断涌现,人们越来越期望了解和掌握数据通信技术。数据通信技术是计算机技术和通信技术相融合的技术,各高校的计算机、通信、网络、电子等专业陆续开设了这门课。但大都侧重通信,理论推导过多,与实际结合甚少。编写一本真正的计算机和通信相结合的教材,是数据通信教学的急需,也是提高教学质量的基本保证。本书注重加强通信技术和计算机技术的紧密结合,并强调理论与实际应用相结合,增强实用性。

“数据通信技术与应用”是计算机科学与技术及相关专业的一门重要的专业基础课。本书力求用通俗简明的语言,既讲清楚基本的原理、基本的方法,又注重技术的先进性和实用性。

本书内容丰富,实用性强,可用做计算机科学与技术专业、网络工程专业、通信工程专业“数据通信技术与应用”课程的教材。

1. 教材编写思路

教材编写以满足社会需要为目标,注重教学内容的推导与原理性分析。以原理和公式结论的应用为突破口,注重它们的应用环境和方法。例如在讲解抽样定理时,略去原理性的证明,讲清楚原理的结论和它产生的科学背景,并讲清楚定理的结论对于将模拟信号数字化的指导意义。在讲解数据编码方法时,对于每一种码型,讲清楚码型的构成、数字序列波形、码型的优缺点以及适用范围,使学生明确什么样的码型应在什么场合应用。在讲解 RS-232、USB 接口时注重计算机通信的分层结构。在讲清楚物理接口、编码方法、协议、开发应用层次的同时。又与计算机网络技术的分层结构相对应。在内容的编排上,力求由浅入深,循序渐进,举一反三,突出重点,通俗易懂,使学生真正做到学以致用。书中增加了新技术的介绍,拓宽了知识面。

2. 先进性

一是内容先进,本书紧紧跟随计算机数据通信的发展,克服了其他教材内容陈旧、难度过大等缺点。二是教材组织方法先进,概念、原理、技术通过例题加以说明,使学生容易理解。在每章前面有提要,后面有适量思考题,便于学生掌握知识要点。

3. 实践性

本书在注重基本理论掌握的同时,又特别注重培养学生的实践能力。本书的编者多年从事数据通信原理与应用技术的教学与科研开发工作,对数通信原理与应用技术有着深刻的理解和丰富的经验,在内容的组织上结合了教学与科研开发等方面的经验,书中的案例来自具体的科研项目。通过学习,学生能够水到渠成地掌握数据通信原理与应用技术。

本书由陈光军任主编,陈光军编写了第1、2、5、7、8、9章,张光辉编写了第3、4章,张虹编写了第6章,刘昕编写了第10章,张峰庆编写了第11章,郑建军编写了第12章。秦书平对全书进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2005年6月

目 录

第1章 绪论

1.1 通信系统的基本概念	1
1.1.1 通信系统模型	1
1.1.2 通信系统的分类	4
1.2 计算机通信及系统组成	6
1.2.1 计算机通信的产生	6
1.2.2 计算机通信的发展	6
1.2.3 计算机通信的应用	9
1.2.4 计算机通信系统的组成	10
1.3 数据通信系统中的主要性能指标	13
1.3.1 传输速率	13
1.3.2 差错率	14
1.3.3 信噪比	14
1.3.4 系统的频带利用率	14

习题与思考题	15
--------------	----

第2章 数据通信基础

2.1 数据通信理论基础	16
2.1.1 时域概念	16
2.1.2 频域概念	17
2.1.3 数据率和频带的关系	18
2.1.4 字符的数据表示方法	20
2.1.5 傅立叶分析	21
2.1.6 有限带宽信号	21
2.1.7 信道最大数据传输速率	23
2.2 数据传输的概念及分类	23
2.2.1 串行传输和并行传输	23
2.2.2 单工、半双工和全双工	24
2.2.3 异步传输和同步传输	25
2.3 信息及度量	28
2.3.1 信息量	28
2.3.2 平均信息量	29
2.4 交换技术	29

习题与思考题	31
--------------	----

第3章 信道

3.1 引言	32
3.1.1 信道的分类	32
3.1.2 信道的容量	34
3.2 传输损耗	36
3.2.1 衰减	36
3.2.2 延迟畸变	37
3.2.3 噪声	38
3.3 有线信道	39
3.3.1 双绞线	39
3.3.2 同轴电缆	40
3.3.3 光纤	42
3.4 无线信道	45
3.4.1 无线电波和频段划分	45
3.4.2 无线接力信道	47
3.4.3 卫星中继信道	48

习题与思考题	52
--------------	----

第4章 信源编码

4.1 引言	53
4.2 抽样	54
4.2.1 概述	54
4.2.2 抽样定理	55
4.3 量化	56
4.3.1 量化的定义	56
4.3.2 均匀量化	58
4.3.3 非均匀量化	58
4.4 脉冲编码调制	63
4.4.1 PCM 通信系统	63
4.4.2 二进制 PCM 编码	64
4.4.3 线性编码器和非线性编码器	67
4.5 增量调制	75

4.6 差分脉冲编码调制系统	80	7.4.1 起止式同步法	137
习题与思考题	82	7.4.2 连贯式插入法	138
第5章 数字基带传输		7.4.3 间歇式插入特殊码字同步法	142
5.1 数字基带信号	83	7.5 网同步	143
5.1.1 数字基带信号的波形	83	7.5.1 网同步的基本概念	143
5.1.2 数字基带信号编码原则	85	7.5.2 全网同步系统	144
5.2 常用基带信号传输码型	86	7.5.3 准同步系统	145
5.2.1 码型及其编码方法	86	习题与思考题	146
5.2.2 HDB ₃ 编码解码电路	92	第8章 差错控制技术	
5.3 基带传输系统	95	8.1 概述	147
5.3.1 基带传输系统的组成	95	8.1.1 差错控制基本概念	148
5.3.2 带限传输系统对信号波形的影响	95	8.1.2 差错控制的基本原理	148
5.3.3 均衡原理	96	8.1.3 差错控制编码的特性和能力	149
5.4 实用的基带系统工程测量工具——眼图	98	8.2 差错控制方法	151
习题与思考题	100	8.2.1 自动请求重发(ARQ)方式	152
第6章 频带传输与调制技术		8.2.2 前向纠错(FEC)方式	154
6.1 引言	101	8.2.3 混合纠错(HEC)方式	155
6.2 数字振幅调制	105	8.2.4 信息反馈(IRQ)方式	155
6.2.1 二进制振幅键控调制	105	8.3 常用检错码	155
6.2.2 多进制振幅调制简介	107	8.3.1 奇偶校验码	155
6.2.3 其他振幅调制技术	108	8.3.2 恒比码	156
6.3 数字频率调制	110	8.3.3 矩阵校验码	157
6.3.1 二进制频移键控调制	111	8.3.4 正反码	159
6.3.2 多进制频移键控调制简介	115	8.4 线性分组码	160
6.4 数字相位调制	117	8.4.1 线性分组码的基本概念	160
6.4.1 二进制绝对移相调制	118	8.4.2 线性分组码的编码	160
6.4.2 二相相对移相调制	119	8.4.3 线性分组码的检错和纠错	163
6.4.3 多相调制	122	8.4.4 线性分组码的几个重要结论	163
习题与思考题	126	8.5 循环码	164
第7章 同步技术		8.5.1 循环码的基本概念	164
7.1 引言	128	8.5.2 循环码的编码和译码	165
7.2 载波同步	129	8.6 卷积码	167
7.2.1 插入导频法	130	8.6.1 卷积码的基本概念	168
7.2.2 直接提取载波法	131	8.6.2 卷积码的编码和译码	169
7.3 位同步	133	习题与思考题	171
7.3.1 外同步法	133	第9章 多路复用技术	
7.3.2 自同步法	134	9.1 引言	172
7.4 群同步	136	9.2 频分多路复用	173
		9.2.1 概念	173
		9.2.2 频分多路复用举例	174
		9.3 同步时分多路复用	176

9.3.1 同步时分多路复用概念	176	11.2.3 功能特性	227
9.3.2 PCM 集群帧结构	178	11.2.4 过程特性	232
9.3.3 PCM 高次群	179	11.2.5 RS-232C 的应用	233
9.3.4 时分复用技术和频分复用技术 的比较	180	11.3 RS-422A、RS423、RS485 接口	235
9.4 统计时分多路复用	181	11.3.1 422A 接口	235
9.4.1 统计时分复用原理	181	11.3.2 RS-423A 接口	236
9.4.2 同步时分复用与统计时分复用 的比较	183	11.3.3 RS-485 接口	236
9.5 xDSL	184	11.3.4 各种串行接口的性能比较	237
9.5.1 ADSL	187	11.4 USB 接口技术与应用	238
9.5.2 HDSL	190	11.4.1 引言	239
9.5.3 VDSL	192	11.4.2 USB 总线体系结构	242
习题与思考题	193	11.4.3 USB 设备	246
第 10 章 数据链路传输控制规程		11.4.4 USB 系统的典型应用	251
10.1 引言	194	11.4.5 USB 和 IEEE-1394	253
10.2 传输控制规程的主要功能和分类	195	11.5 蓝牙技术	253
10.3 面向字符的传输控制规程	197	11.5.1 蓝牙概述	254
10.3.1 控制字符	197	11.5.2 蓝牙技术发展趋势	257
10.3.2 帧格式	198	11.5.3 蓝牙协议体系	257
10.3.3 数据透明性和同步	203	11.5.4 蓝牙应用规范	260
10.3.4 数据链路结构及建立	205	11.5.5 蓝牙的应用	262
10.4 面向比特的传输控制规程	207	习题与思考题	265
10.4.1 HDLC 概述	207	第 12 章 综合业务数字网与信息高速公路	
10.4.2 HDLC 的帧结构	209	12.1 综合业务数字网	266
10.4.3 HDLC 帧类型和功能	212	12.1.1 ISDN 概述	266
10.4.4 HDLC 操作规程	216	12.1.2 ISDN 开放的业务	272
习题与思考题	221	12.1.3 宽带综合业务数字网 (B-ISDN)	276
第 11 章 计算机通信的标准接口		12.2 信息高速公路	277
11.1 引言	223	12.2.1 信息高速公路概述	278
11.2 EIA RS-232C	225	12.2.2 信息高速公路的影响	283
11.2.1 机械特性	225	12.2.3 信息高速公路面临的问题	284
11.2.2 电气特性	226	习题与思考题	286
		参考文献	287

【教学提示】

本章主要讲解数据通信系统的组成、计算机通信的应用及数据通信系统的性能指标。

【教学要求】

通过本章的学习,应能了解计算机通信的发展及应用,掌握各种数据通信系统的组成及优缺点,掌握数据通信系统的性能指标。

1.1 通信系统的基本概念

当今社会已处于信息化时代,信息化离不开信息的传输。因特网的迅速发展,促进了数据通信技术的发展。数据通信技术的应用越来越广泛,数据通信的新设备不断涌现。数据通信技术是计算机技术和通信技术相融合的技术。人们越来越期望了解和掌握数据通信技术。

随着全球信息一体化的加快,一个综合性的信息交换网——计算机、通信系统、自动化系统——正在形成。

1.1.1 通信系统模型

1. 通信系统的组成

通信的任务是完成消息的交换与传递。为了把信息从信源传递到信宿,要经过发送设备、传输介质和接收设备(如图 1-1 所示)。

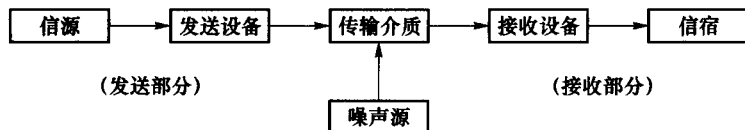


图 1-1 通信系统模型

(1) 信源

不同的信息源输出信号的性质是不一样的,一般将信源分为模拟信源和离散信源。

模拟信源输出的信号在时间和幅度上都是连续的,如语音、图像以及模拟传感器输出的信号等。离散信源(又称数字信源)的输出是离散的或可数的,如符号、文字以及脉冲序列等。

原始的信息经变换后成为电信号或本身就是电信号。模拟信号可以通过抽样、量化和编码变为离散信号。换句话说,一切信息理论上都是可以变换成离散信号的,这也是数字通信技术得到迅速发展的一个重要原因。

信息源的另一个重要特点是不同的信源有不同的信息速率。比如,电报信道的信息速率一般为 150 bit/s,阅读的信息速率一般为 400 bit/s 左右,彩色电视为 90 bit/s 等等。不同速率的信息源对整个传输系统的要求也各不相同。

(2) 发送设备

发送设备是发送端的重要部分,它的功能是将信息源和传输介质连接起来,将信息源输出的信号变为适合于传输的信号形式。变换的方式很多,采用哪种变换,要根据信号类型、传输介质和质量要求等决定。有时可以将电信号直接送与媒介传送,有时则要进行频谱的搬移。在需要搬移时,调制是最常用的一种变换方式。

如果通信系统是数字的,对于模拟信号则需要进行抽样、量化和编码。此时发送设备又可以分为信道编码和信源编码两部分。信源编码是把连续的模拟信号变为数字信号;信道编码则是把数字信号与传输介质匹配起来,以提高传输的有效性或可靠性。

(3) 传输介质

传输介质是用来传递发送设备和接收设备之间信号的。传输介质有很多种,概括起来可以分为无线和有线两大类,每一类都有其优点和缺点。一般根据通信的具体情况和要求以及信号的类型来决定采用哪一类。在传输的过程中,各种干扰(比如热噪声、衰减等)必然会随之进入系统,因此干扰也是选用媒介的重要因素之一。

(4) 噪声源

图 1-1 中的噪声源是信道中的噪声及分散在通信系统其他各处噪声的集中表示。信息在传输过程中由于会受到来自外界和通信系统本身的噪声干扰,这些噪声干扰会对传输的信息产生很大的影响。而这些噪声无法被完全消除掉,只能想办法减弱。

(5) 接收设备

对接收设备的基本要求就是能够将接收的信号变换成与发送端信号源发出的消息完全一样的或基本一样的原始信号。从这一点出发,接收设备显然应该是发送设备的反变换,不仅如此,它还要克服在传输过程中由于干扰所带来的影响。

(6) 信宿

信宿是在接收一方将经过的各种变换和传输的信息还原成所需要的消息形式。一般信宿需要的消息应和发信者发出的消息类型一样。对于收信者和发信者来说,不管中间经过什么样的变换和传输,都不应将二者的消息改变。收到和发出的消息的相同度越高越好。

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

2. 模拟通信系统

(1) 模拟通信系统的组成

模拟通信系统是利用连续的模拟信号来传递信息的通信系统,如图 1-2 所示。例如人类发出的语音信号是随时间连续变化的信号。为实现语音信号通过通信系统进行有效传递,必须把非电的语音信号通过非电/电的变换器(发话器)变换为电信号。由于原始电信号通常具有很低的频谱分量,一般不易传输,为了适应具体的信道传输,通常还要把经过第一

次变换后的电信号再进行第二次变换,将原始电信号变换成其频率适合信道传输的信号,这种第二次变换叫做调制。调制后的电信号称做已调信号,它仍然是一种连续信号,它有三个基本特征:携带有信息,适合在信道中传输,信号的频谱具有带通形式且中心频率远离零频。这种信号的变换由调制器完成。已调信号通过信道传输到接收端,并在接收端进行反变换。这种解调器和电/非电变换器(受话器)与发送端的调制器和发话器一一对应,把已调信号恢复成语音的连续信息。已调信号又称为频带信号。在发送端调制器以前和接收端调制器以后是一种原始电信号,通常称这种原始电信号为基带信号,其基本特征是:频谱从零附近开始,如语音信号为 $300 \sim 3400 \text{ Hz}$,图像信号为 $0 \sim 6 \text{ MHz}$ 。

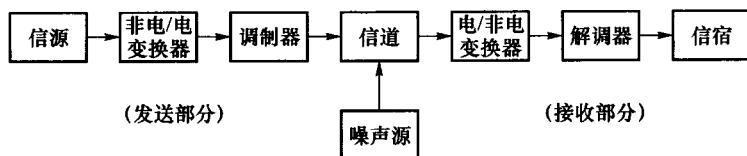


图 1-2 模拟通信系统的组成

(2) 模拟通信系统的优缺点

模拟通信系统的优点是通过信道的信号频谱比较窄,因此信道的利用率高;其缺点是抗干扰能力差,不易保密,设备是模拟电路,不易大规模集成化,不适应飞速发展的计算机通信的要求。

3. 数字通信系统

(1) 数字通信系统的组成

在如图 1-3 所示的系统中,如果原始消息是模拟的,要进行数字通信,则需从左边第一个方框开始,如果原始信号已经是数字信号(如数据信号等),则它相当于一次编码器的输出,一次编码器输出的信号在数字系统中称为基带信号。假设发信者发的是语音信号,经过

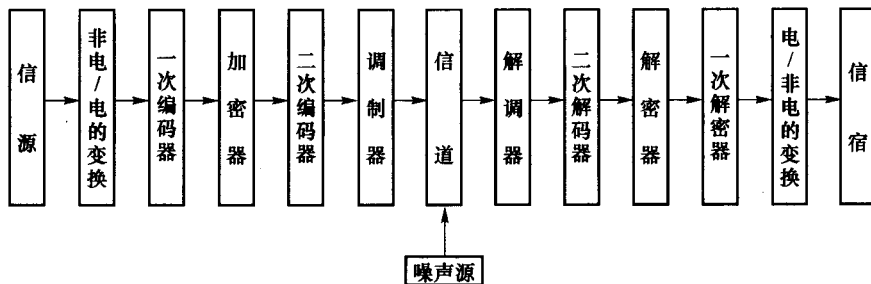


图 1-3 数字通信系统

“非电/电”变换器(此时即为发话器)变成模拟的电信号,然后经一次编码器把模拟信号转换为数字信号,这种变换通常称为模拟/数字变换。有时通信需要保密,则上面的数字信号可经过加密器,按照内定的规律加上一些密码,对一次信号进行“扰乱”。信道噪声会对传输的数字信号带来影响,从而产生差错,有时为了控制这种差错,可以在数字信号内再附加上一定数量的数字码,形成新的数字信号,使其内部数码间的关系形成一定的规律性,一旦新的

数字信号发生差错,接收端就会按照一定的规律自动检查出来或进行自动纠正。这种功能叫做自动差错控制。它由二次编码器(差错控制编码器)完成。为了使这一级输出信号能适应信道传输的要求,有时还需要再加一级调制器,使信号能较好地通过信道到达接收端。接收端的几个方框,其功能是进行与发送端的几个方框——对应的反变换。具体的通信系统需要哪些变换器,要视具体的应用系统而定。

(2) 数字通信系统的优点

① 中抗干扰能力强,尤其是数字信号通过中继再生后可消除噪声积累,理论上数字信号可以传送无限远。

② 数字通信可以通过差错控制编码,提高通信的可靠性。

③ 由于数字信号传输一般采用二进制码,使用计算机对数字信号进行处理。数字通信可以完成计算机之间的通信,实现复杂的距离控制,例如由雷达、数字通信、计算机及导弹系统组成的自动化防空系统。

④ 数字通信系统可以传送各种消息(模拟的和离散的),使通信系统灵活、通用,因而可以构成信号处理、传送、交换的现代数字通信网。

⑤ 数字信号易于加密处理,所以数字通信保密性强。

另外,数字通信系统还具有集成化、体积小、重量轻、可靠性高等优点。

(3) 数字通信系统的缺点

数字通信系统较突出的缺点是比模拟通信占带宽,如一路模拟电话占 4 kHz 带宽,而一路数字电话约占 20~64 kHz 的带宽。由于卫星通信和光纤通信的工作频率带宽可达几十兆赫、几百兆赫甚至更高,所以数字通信占用频带宽的矛盾可以得到解决。

1.1.2 通信系统的分类

根据不同的角度,通信系统有不同的分类方法。

1. 按照通信业务分类

按照通信业务的不同,通信系统可分为话务(电话业务)通信和非话务通信。电话业务在电信领域中一直占主导地位,它属于人与人之间的通信。近年来,非话务业务发展迅速,非话务通信主要是分组数据业务、计算机通信、数据检索、电子邮件、电子数据交换、传真存储转发、可视图文及会议电视和图像通信等。

2. 按照调制方式分类

根据是否采用调制,可将通信系统分为基带传输和频带(调制)传输。基带传输是将未经调制的信号直接发送,如音频市内电话。频带传输是对各种信号调制后传输的总称。调制方式很多,表 1-1 列出了一些常见的调制方式。

3. 按照信号特征分类

为研究方便,按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号,可把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统。这两种通信系统已在 1.1.1 节中有所介绍。

4. 按照传输介质分类

按照传输介质的不同,可将通信系统分为有线通信系统和无线通信系统。有线通信是用导线(如架空明线、同轴电缆、光导纤维、波导等)作为传输介质完成通信的,如市内电话、

有线电视、海底光缆通信等。无线通信是依靠电磁波在空间传播达到传递消息的目的的,如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继等。

表 1-1 常见的调制方式

调制方式			用 途
连续波调制	线性调制	常规双边带调幅(AM)	广播
		抑制载波双边带调幅(DSB)	立体声广播
		单边带调幅(SSB)	载波通信、无线电台、数传
		残留边带调幅(VSB)	电视广播、数传、传真
	非线性调制	频率调制(FM)	微波中继、卫星通信、广播
		相位调制(PM)	中间调制方式
	数字调制	幅度键控(ASK)	数据传输
		频率键控(PSK)	数据传输
		相位键控(PSK、DPSK、QPSK)	数据传输、数字微波、空间通信
		其他高效数字调制(QAM、MSK)	数字微波、空间通信
	脉冲模拟调制	脉幅调制(PAM)	中间调制方式、遥测
		脉宽调制(PWM)	中间调制方式
		脉位调制(PPM)	遥测、光纤通信
	脉冲数字调制	脉码调制(PCM)	市话、卫星、空间通信
		增量调制(DM)	民用、军事电话
		差分脉码调制(DPCM)	电视电话、图像编码
		其他语音编码调制(ADPCM、APC、LPC)	中低速数字电话

5. 按照工作波段分类

由于不同的电磁波具有不同的传输特点,为了便于充分利用和管理通信资源,可按照通信设备的工作频率不同,将通信系统分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信和远红外线通信。表 1-2 列出了通信使用的频段、常用的传输媒介及主要用途。

工作波长和频率的换算公式是

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f}$$

式中,λ 为工作波长(m),f 为工作频率(Hz),c 为光速(m/s)。

6. 按照信号复用方式分类

传输多路信号有四种复用方式,即频分复用(FDM)、时分复用(TDM)、码分复用(CDMA)和波分复用(WDM)。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;时分复用是用脉冲调制的方法使不同的信号占据不同的时间区间;码分复用使用正交的脉冲序列分别携带不同的信号。传统的模拟通信中采用频分复用,随着数字通信的发展,时分复用通信系统的应用愈来愈广泛,码分复用主要用于移动通信和空间通信的扩频通信中,波分复用主要应用在光纤通信中。

表 1-2 通信波段与常用传输媒介

频率范围	波 长	符号	传输媒介	用 途
3 Hz~30 kHz	$10^4 \sim 10^8$ m	甚低频 VLF	有线线对长波无线电	音频、电话、数据终端长距离导航、时标
30 Hz~300 kHz	$10^3 \sim 10^4$ m	低频 LF	有线线对长波无线电	导航、信标、电力线通信
300 kHz~3 MHz	$10^2 \sim 10^3$ m	中频 MF	同轴电缆段波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3 MHz~30 MHz	$10 \sim 10^2$ m	高频 HF	同轴电缆短波无线电	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
30 MHz~300 MHz	1~10 m	甚高频 VH	波导米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航
300 MHz~3 GHz	10~100 cm	特高频 UHF	波导分米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
3 GHz~30 GHz	1~10 cm	超高频 SHF	波导厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30 GHz~300 GHz	1~10 mm	极高频 EHF	波导毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
10^7 GHz~ 10^8 GHz	$3 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-4}$ cm	紫外可见 光红外	光纤激光空间传输	光通信

1.2 计算机通信及系统组成

1.2.1 计算机通信的产生

20 世纪 40 年代,电子计算机的出现改变了人们加工和处理数据和信息的方式。计算机开始使用时,人们必须把所要处理的数据资料送到计算机站,浪费了很多人力和物力,而且效率也很低;尤其是一些比较紧急的数据资料,如气象资料等,由于不能及时处理而失去了实效;而且,计算机经常要等待数据资料,从而不能充分发挥计算机的作用。于是人们提出了使用通信线路把计算机连接起来,借助通信线路传输数据资料,从而减少不必要的开支和时间,这样也能提高计算机的使用效率,发挥计算机的优势,于是计算机通信诞生了。

计算机通信是通信与计算机结合的人—机或机—机通信。它传送数据的目的不仅仅是为了交换数据,更主要的是为了利用计算机来处理数据。自从有了计算机通信,不仅解决了大量信息和数据的传输、转接和高速处理问题,提高了计算机的利用率,而且显著扩大了计算机的应用范围,使计算机的能力得以充分发挥,可靠性、可用性和资源的利用率各方面也得到了提高。同时,由于计算机接入通信系统,大大发挥了通信的作用,并促进了通信技术的变革和迅猛发展。

1.2.2 计算机通信的发展

计算机通信产生后,经历了一个由简单到复杂、由低等到高等的发展过程。这一发展过程大致可划分为四个阶段,即具有通信系统功能的单机系统、具有通信功能的多机系统、计算机通信网络和计算机网络。

1. 具有通信系统功能的单机系统

早期的计算机很昂贵,数量也少,只有计算机中心才有,而且计算机系统还没有提供管

理程序和操作系统,用户只能亲自携带程序和数据,采用手工方式上机。这种方式对远离计算机的用户来说很不方便,要使用计算机,他们就要花费更多的时间。为了解决这个问题,人们在计算机中心的机房内设置一些脱机输入输出装置,并利用通信线路把它们与远程站点的输入输出装置相连,当远程站点通过通信线路送来程序和数据时,先把它们通过机房的输入输出装置记录到纸带或磁带等存储介质上,然后再由操作员将它们输入到计算机内进行处理,处理的结果又要由操作员用输出装置发送到远程站点,如图 1-4(a)所示。在通信线路误码率较高以及计算机通信设备的接口没有妥善解决的情况下,采用这种脱机系统是较为经济的。十分明显,这种脱机方式需要操作员直接插手干预远程输入输出,工作效率很低。

鉴于脱机通信系统的缺点,人们自然想到,如果在计算机上设法增加通信控制功能,使远程站点的输入输出设备通过通信线路直接和计算机相连,那么就可以摆脱操作员对远程输入输出的干预,使计算机系统直接通过通信线路从远程站点一边输入信息一边处理信息,最后的处理结果也通过通信线路直接送回远程站点。这种系统就是简单的联机系统,即具有通信功能的单机系统,如图 1-4(b)所示。这种联机工作方式,不仅提高了计算机系统的工作效率和服务能力,而且大大促进了计算机系统和通信技术的发展。

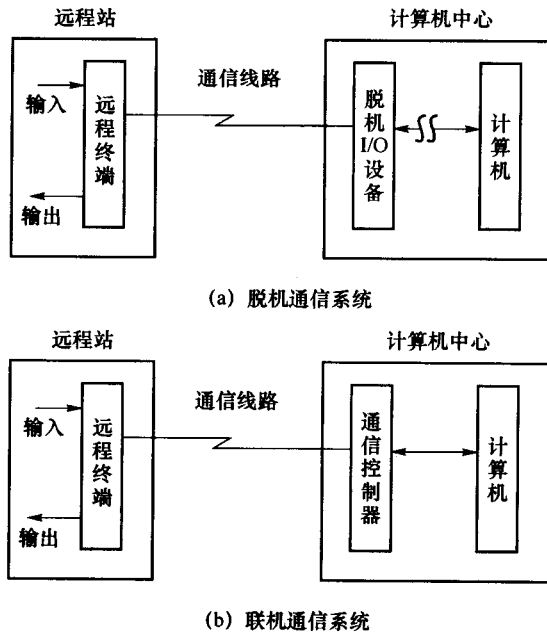


图 1-4 具有通信功能的单机系统

为了适应不同领域实现自动检测和自动控制的需要,计算机除了能用通信线路和普通的输入输出设备相连接外,还能和大量的监控设备、控制设备连接,这些能用通信线路和计算机相连的设备统称为终端设备。最初的终端设备都是利用专用的线路,按照点对点方式和计算机固定相连接的,这种连接的最大缺点是每个终端独占一条线路,在终端数目多、距离远的情况下,线路投资费用较大,利用率很低。为了节省投资,出现了多点连接的方式,多个用户终端设备共用一条线路和计算机相连。20 世纪 60 年代末期,在实时控制和分时系统大力发展的基础上,一台计算机可以连接大量的终端设备,因此出现了利用现有的电报、

电话通信网络实现终端和计算机的信息传输。随着通信技术的发展,计算机系统也从简单的联机系统相继发展成为远程批式处理系统、远程分时处理系统和远程实时处理系统等更为复杂的联机系统。

2. 具有通信功能的多机系统

连接大量终端的联机系统有两个显著的缺点:一是主机系统负荷太重,它既要承担数据处理工作,又要承担通信控制等工作;二是通信线路的利用率很低,尤其远程终端距离较远时更是如此。为减轻主机的负担,可以用一台计算机(称为前置处理器)代替通信控制器,专门负责与终端的通信工作,使得主机系统能够集中较多的时间进行数据处理工作。为提高线路利用率,通常在终端较为集中的地区设置线路集中器,用低速线路把附近的终端设备线汇集到线路集中器上,然后再用高速线路把集中器和主机相连,这样就可把终端设备送来的信息通过集中器汇总,再用高速线路把汇总的信息送入主机处理。

前置处理器和集中器常采用内存容量较小、运算速度较低、指令类型较简单而通信功能较强的计算机。增加了前置处理器或集中器的系统(即具有通信功能的多机系统),如图1-5所示。计算机通信主要讨论这种类型的系统。

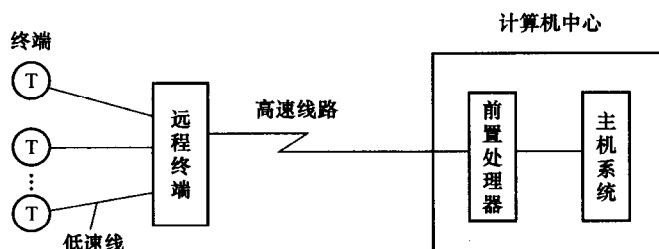


图 1-5 具有通信功能的多机系统

3. 计算机通信网

用数据通信网将地理位置不同、具备独立功能的多台计算机、终端及其附属设备连接起来,并实现资源共享的计算机系统,被称为计算机通信网。

这种由数据通信子网(通信子网)和数据处理子网(资源子网)组成的网络称为计算机通信网(如图 1-6 所示)。资源子网专门负责提供所需要共享的硬件、软件和数据等资源并进行数据处理。通信子网就是数据通信网,专门承担数据的传输、转接和通信控制。

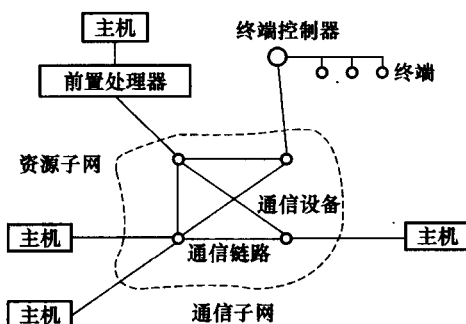


图 1-6 计算机通信网

现在实际使用的大多数远程网都是这样的计算机通信网,在用户使用计算机通信网时,用户把整个网络视为若干个不同的计算机系统的集合。为了访问这些资源,用户首先必须了解网络内是否有这些资源,然后才能调用它们。所以计算机通信网的特点是用户必须具体了解网内某个计算机系统的资源情况,而网中的各个计算机子系统是相对独立的,它们形成一个松散耦合的大系统。因此,计算机通信网是用户利用数据通信功能参与对资源管理和使用的一个网络。

4. 计算机网络

在计算机网络中,用户把整个网看成一个大的系统,它不需要用户去熟悉所要的资料和文件等资源在哪一个子系统中,而由网络操作系统去完成这些任务。所以,计算机网的特点是由网络操作系统实现资源共享的大系统,现在的局域网大都属于这样的计算机网。

计算机通信网与计算机网关键的区别在于:在计算机通信网中,用户明显地要参与管理计算机资源;而在计算机网络中,其资源是由网络操作系统自动进行管理的。现在的大部分网络都未具备完善的网络操作系统,仅实现了一定程度的资源共享。因此,准确地说,它们全是计算机通信网,是计算机网络的低级形式,应努力朝着计算机网络的方向发展。

1.2.3 计算机通信的应用

计算机通信的应用越来越广泛,已经深入到社会生活的各个领域。主要的应用有城市智能交通管理系统、气象预报系统和军事指挥自动化系统等。

1. 城市智能交通管理系统

用通信线路把计算机和交通信号灯连接起来的交通管理系统,可以利用计算机快速运算、处理的功能来协助维持交通秩序。该系统在交通信号灯附近增设了一个电子设备,称为车辆检测器,它的作用是检测有无车辆存在、车辆速度和车辆密度,利用通信线路把监测器的输出数据送给计算机。计算机根据各条交叉路口所送来的大量数据进行计算、综合和分析,根据分析的结果控制交通信号灯的颜色,并且在数据显示板上显示出各条道路的流量密度,引导车辆向低流量方向迂回前进,以达到平衡交通流量、提高车辆运行速度的目的。

2. 气象预报系统

各地气象站将探测到的气象情报数据传送到计算机中心,电子计算机分析综合各地传来的现时气象情报数据和计算机内存的过去气象情报数据,得出未来若干时间内气象情报的预测,再将结果传输到各地气象站,于是可作出及时、有效的气象预报。如果没有这种由通信与计算机相结合组成的自动数据处理系统,像这样大量而复杂的情报,即使动员大批人力也是不可能及时进行综合分析并得出结果的,无法建立一个及时、有效的气象预报网。

3. 军事指挥自动化系统

当代科学技术日新月异的发展,对军事领域产生了巨大的影响,使现代战争的作战环境和指挥发生了质的变化。指挥、控制所涉及到的信息之间存在的相互依赖性,已使通信、控制散着密切地融为一体,构成了现代化的军事指挥自动化系统。指挥自动化系统是一个复杂的系统,具体的系统多种多样,图 1-7 所示是一个早期的自动化防空指挥系统。

在此系统中,各雷达站有数据处理装置,可以自动地发现目标并进行识别和跟踪。防空指挥所的电子计算机通过数据传输系统接收各雷达站传来的探测数据,迅速计算出目标的参数。根据这些参数数据,加上另外输入的代表当时当地的风向、风速等环境参数的数据,