

数据通信技术

SHUJU TONGXIN JISHU

主 编 申普兵

副主编 潘 进 何殿华 李荣 孟进



国防工业出版社

National Defense Industry Press

数据通信技术

主 编 申普兵

副主编 潘进 何殿华 李荣 孟进

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本教材介绍了数据通信的基本原理和数据通信网的基本知识,全书共分十二章。第一章介绍了数据通信的基本概念;第二章介绍了数据传输的基本技术和调制解调器的相关建议;第三章讨论了差错控制的基本原理并介绍了几种常用的差错控制编码方法;第四章介绍了数据通信网的构成、交换方式和路由选择;第五章介绍了计算机网络的体系结构、各层协议和网络互连工具;第六章介绍了分组交换网和分组拆装设备;第七章简要介绍了数据信号的数字传输技术(DDN);第八章简要介绍了帧中继(FR);第九章简要介绍了异步转移模式(ATM)的基本概念、协议参考模型、信元传输方式和交换方式;第十章介绍了TCP/IP网络技术;第十一章介绍了IP over ATM技术;第十二章介绍了MPLS技术。

本书内容翔实,概念清楚,反映了数据通信技术的发展进程和最新进展,在叙述时力求深入浅出,可供通信工程和计算机网络等专业的技术人员阅读,也适合从事通信工程和计算机网络等专业的高等院校师生和自学人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

数据通信技术 / 申普兵主编. —北京:国防工业出版社, 2006.8
ISBN 7-118-04634-5

I. 数... II. 申... III. 数据通信-通信技术
IV. TN919

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第077604号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/16 印张 24 $\frac{3}{4}$ 字数 572千字
2006年8月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 39.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

随着科学技术的发展,通信已进入了一个崭新的时代,由计算机技术和通信技术相结合而产生的数据通信技术将通信从传统的语音通信时代带入了数据、语音、图像等多媒体通信的崭新天地,数据通信技术成为人们关注的焦点,数据通信网的建设日新月异。我国已相继建成了 CHINAPAC、CHINADDN、CHINAFR、CHINANET 等数据通信网,用户数达数亿。本教材是在 1999 年西安通信学院数据通信技术讲义的基础上,经过修改和补充编写而成的。在讲义使用的几年中,广大师生提出了许多宝贵意见,在此对他们表示由衷的感谢。

全书共分十二章。第一章介绍了数据通信的基本概念;第二章介绍了数据传输的基本技术和调制解调器的相关建议;第三章讨论了差错控制的基本原理并介绍了几种常用的差错控制编码方法;第四章介绍了数据通信网的构成、交换方式和路由选择;第五章介绍了计算机网络的体系结构、各层协议和网络互连工具;第六章介绍了分组交换网和分组拆装设备;第七章简要介绍了数据信号的数字传输技术(DDN);第八章简要介绍了帧中继(FR);第九章简要介绍了异步转移模式(ATM)的基本概念、协议参考模型、信元传输方式和交换方式;第十章介绍了 TCP/IP 网络技术;第十一章介绍了 IP over ATM 技术;第十二章介绍了 MPLS 技术。各章后有小结和习题,便于读者自习。讲授需要 80 学时。

参加本书编写工作的有:申普兵,潘进,何殿华,李荣,孟进。全书由杨世平教授审阅。在本书的编审过程中,许多同事提出了很多宝贵意见,谨此深致谢忱。由于我们水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2006 年 5 月

目 录

第一章 数据通信基础	1
1.1 数据通信系统的组成	1
1.1.1 通信系统的模型	1
1.1.2 数据通信系统的构成	2
1.1.3 数据通信的特点	4
1.1.4 数据通信的应用及发展	6
1.2 数据通信的主要性能指标	8
1.2.1 有效性质量指标	8
1.2.2 可靠性质量指标	10
1.3 数据信号的传输方式和通信方式	11
1.3.1 数据信号的传输方式	11
1.3.2 数据信号的通信方式	13
1.4 传输信道及噪声	14
1.4.1 信道特性	14
1.4.2 信道容量	16
1.4.3 信道噪声	18
小结	20
习题	21
第二章 数据传输技术	22
2.1 数据信号的基带传输	22
2.1.1 基带传输系统的构成	22
2.1.2 数据信号及其代码表示形式	22
2.1.3 基带信号的功率谱密度	29
2.1.4 基带传输波形的形成	31
*2.1.5 基带传输的最佳化和系统的误码性能	37
2.1.6 基带传输中的均衡及眼图	42
2.1.7 数据序列的扰乱与解扰	45
2.1.8 数据基带传输系统	47
2.2 数据信号的频带传输	49
2.2.1 频带传输系统的构成	49
2.2.2 幅度键控	50
2.2.3 频率键控	51

2.2.4	相位键控	55
*2.2.5	频带传输中的误码性能	61
2.3	调制解调器工作原理与相关建议	65
2.3.1	调制解调器 (Modem)	65
2.3.2	V 系列建议	72
2.4	多路复用技术	74
2.4.1	频分制多路复用 (FDM)	74
2.4.2	时分制多路复用 (TDM)	75
2.4.3	统计时分制多路复用 (STDm)	76
小结		77
习题		78
第三章	差错控制和文件传输协议	79
3.1	差错控制	79
3.1.1	差错控制的基本工作方式	79
3.1.2	几种常用的差错控制编码方式	82
3.1.3	差错的测量方法	88
3.2	文件传输协议	89
3.2.1	XMODEM 协议	90
3.2.2	YMODEM 协议	92
3.2.3	KERMIT 协议	93
3.2.4	信息包的组成	93
小结		94
习题		95
第四章	数据通信网	96
4.1	数据通信网的构成与分类	96
4.1.1	数据通信网的构成	96
4.1.2	数据通信网的分类	97
4.2	数据通信网的交换方式	100
4.2.1	电路交换	100
4.2.2	报文交换	100
4.2.3	分组交换	101
4.3	数据通信网的路由选择方法	104
4.3.1	路由选择及分类	104
4.3.2	各种路由选择方法	106
小结		111
习题		111
第五章	计算机网络	112
5.1	计算机网络及其体系结构	112
5.1.1	计算机网络的产生与发展	112

5.1.2	计算机网络的定义与功能	114
5.1.3	计算机网络的分类与应用	116
5.1.4	计算机网络的体系结构	117
5.2	计算机网络协议	126
5.2.1	物理层协议	126
5.2.2	数据链路层协议	129
5.2.3	网络层协议	134
5.2.4	传输层协议	139
*5.2.5	高层协议	141
5.3	局域网	145
5.3.1	局域网基础	145
5.3.2	局域网体系结构	146
5.3.3	局域网协议	147
5.4	网络互连	156
5.4.1	网络互连技术	156
5.4.2	转发器、网桥与路由器	156
5.4.3	网关	160
小结	.....	161
习题	.....	161
第六章	分组交换网	163
6.1	分组交换网基础	163
6.1.1	分组交换网的发展过程	163
6.1.2	分组交换网的构成	163
6.1.3	分组用户进网规程	169
6.1.4	分组交换网的业务功能	170
6.2	分组交换协议	171
6.2.1	物理层	171
6.2.2	数据链路层	184
6.2.3	分组层	191
6.2.4	分组交换网的性能	199
小结	.....	200
习题	.....	200
第七章	数字数据网(DDN)	202
7.1	DDN 的产生与特点	202
7.1.1	DDN 的基本概念	202
7.1.2	DDN 的产生	202
7.1.3	DDN 的特点	203
7.2	DDN 的网络业务与主要技术指标	204
7.2.1	DDN 的网络业务	204

7.2.2	DDN 的主要技术指标	208
7.3	DDN 的基本原理	209
7.3.1	数字数据网(DDN)的构成	209
7.3.2	本地传输系统	209
7.3.3	复用和交叉连接系统	212
7.3.4	局间传输与网间互连	218
7.3.5	网同步系统	219
7.3.6	DDN 的网络结构	222
7.3.7	DDN 的网络管理	225
小结	.....	227
习题	.....	227
第八章	帧中继(FR)	228
8.1	帧中继概述	228
8.1.1	帧中继的定义及特点	228
8.1.2	帧中继产生的原因	231
8.1.3	帧中继的应用及发展情况	232
8.2	帧中继的标准与协议	234
8.2.1	帧中继国际标准	234
8.2.2	帧中继的协议结构	237
8.2.3	帧中继的基本呼叫控制	243
8.3	帧中继用户接入与设备	250
8.3.1	帧中继用户接入	250
8.3.2	帧中继用户接入设备	253
8.4	帧中继网的性能以及网络的组织与管理	255
8.4.1	帧中继网的性能	255
8.4.2	帧中继网络组织	258
8.4.3	帧中继网络管理与控制	260
小结	.....	261
习题	.....	261
第九章	ATM 网络技术	263
9.1	ATM 网络的基本概念	263
9.1.1	ATM 信元	263
9.1.2	ATM 虚连接	264
9.1.3	ATM 与统计时分复用	265
9.2	ATM 协议参考模型	266
9.2.1	ATM 物理层	267
9.2.2	ATM 层	270
9.2.3	ATM 适配层	273
9.3	ATM 的信元传输方式	281

9.3.1	裸信元传输	281
9.3.2	基于 SDH 的 ATM 传输	284
9.3.3	基于 PDH 的 ATM 传输	288
9.4	ATM 的交换方式	291
9.4.1	ATM 交换的基本原理和要求	292
9.4.2	ATM 交换单元的构成	294
9.4.3	ATM 多级交换网络	300
9.5	ATM 网络管理	304
9.5.1	OAM 的功能	305
9.5.2	OAM 及网络管理	307
9.5.3	流量管理和拥塞控制	308
小结	.....	313
习题	.....	313
第十章	TCP/IP 网络技术	314
10.1	TCP/IP 技术	314
10.1.1	TCP/IP 简介	314
10.1.2	常用的 TCP/IP 协议	314
10.1.3	TCP/IP 中的几个概念	316
10.2	网际协议 IP	317
10.2.1	IP 协议的功能	317
10.2.2	IP 数据报格式	318
10.2.3	IP 地址	321
10.2.4	网际控制协议 ICMP	323
10.3	传输控制协议 TCP	324
10.3.1	TCP 特点	324
10.3.2	TCP 数据报格式	326
10.3.3	TCP 连接机制	328
10.4	用户数据报协议 UDP	329
10.4.1	UDP 协议的应用	329
10.4.2	UDP 报文的格式	329
10.4.3	TCP/UDP 协议端口	330
10.5	路由选择协议	330
10.5.1	路由器的工作原理	330
10.5.2	路由选择方式	331
10.5.3	路由协议分类	332
10.5.4	路由算法选择	332
10.5.5	路由选择信息协议 RIP	332
10.5.6	开放最短路径优先协议 OSPF	333
10.5.7	边界网关协议 BGP	334

10.6 IPv6 协议	334
10.6.1 IPv6 地址	335
10.6.2 IPv6 帧格式	335
10.6.3 IPv6 的安全机制	336
10.6.4 IPv4 和 IPv6 的比较	337
10.6.5 IPv4 向 IPv6 过渡	338
小结	340
习题	341
第十一章 IP Over ATM 技术	343
11.1 传统 IP Over ATM(CIPOA)	344
11.1.1 CIPOA 基本原理	344
11.1.2 CIPOA 协议结构与数据封装	344
11.1.3 IP 地址与 ATM 地址映射	345
11.1.4 CIPOA 特点	346
11.2 ATM 上多协议规范 MPOA 技术	346
11.2.1 MPOA 基本原理	347
11.2.2 NHRP 工作原理	347
11.2.3 MPOA 路由技术	349
11.2.4 MPOA 工作过程	350
11.3 ATM 局域网仿真技术	350
11.3.1 ATM 局域网仿真协议模型	353
11.3.2 ATM 局域网仿真关键技术	355
11.3.3 ATM 局域网仿真实现	356
11.3.4 ATM 局域网仿真特点	357
小结	358
习题	359
第十二章 MPLS 技术	360
12.1 MPLS 简介	360
12.1.1 MPLS 发展	360
12.1.2 MPLS 标准	361
12.1.3 MPLS 特点	362
12.2 MPLS 技术	363
12.2.1 MPLS 体系结构	363
12.2.2 MPLS 工作原理	365
12.2.3 转发等价类 FEC	371
12.2.4 标记分发协议 LDP	375
12.2.5 MPLS 在 ATM 上的实现	378
小结	385
习题	385
参考文献	386

第一章 数据通信基础

1.1 数据通信系统的组成

1.1.1 通信系统的模型

通信就是把一地(发送端)的消息传递到另一地(接收端)。虽然现实中存在的通信系统形式繁多,但都可以由图 1-1 所示方框图加以高度概括。在这个模型中,信息源和输入转换器的作用是把各种可能的消息转换成电信号。发送设备的作用是把该电信号转换成适合于信道传输的信号。例如,将低频信号转换成适合于微波信道传输的高频信号;将电信号转换成适合于光纤传输的光信号等。信道是指信号的传输媒质,例如,电缆、光缆、双绞线、微波等。在接收端,接收设备的功能与发送设备的功能相反,它将从信道接收回来的信号中恢复出相应的电信号。而输出转换器是将恢复出的电信号转换成相应的消息送给受信者。干扰源是信道中的噪声以及分散在通信系统其它各处干扰的集中表示。

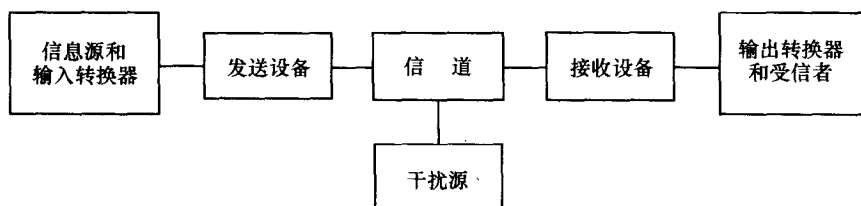


图 1-1 通信系统模型

从图 1-1 所示通信系统的模型可对通信系统进行分类。从传输信道的角度分,可分为有线通信系统(如电缆载波通信系统、光纤通信系统等)和无线通信系统(如微波通信系统、卫星通信系统、移动通信系统等);从传输体制来分,可分为模拟通信系统和数字通信系统;从通信业务来分,可分为电话通信系统、传真通信系统、数据通信系统、图像通信系统等。

通信系统中传输的信号有两种基本形式:一种是模拟信号,模拟两字的含义是指用电参量(如电压、电流)的变化来模拟信息源发送的消息,如电话信号就是语音声波的电模拟,它是利用送话器的声/电变换功能,把语音声波压力的强弱变化转变成语音电流的大小变化。以模拟信号为传输对象的传输方式称为模拟传输。另一种是数字信号,数字信号的特征是其幅度不随时间作连续的变化,只能取有限个离散值。通常以取二个离散值("0"和"1")来表示二进制数字信号。以数字信号为传输对象的传输方式称为数字传输,而以数字信号来传送消息的通信方式称为数字通信。这里需要指出,模拟信号和数字信号虽是两种不同形式的信号,但它们在传输过程中是可以相互转换的。模拟信号可以采用模/数转换技术变换为离散的数字信号,而数字信号也可以通过数/模转换变换为连

续的模拟信号。

数字通信与模拟通信相比,有如下优点:抗干扰性强、保密性好、设备易于集成化并且便于使用计算机技术对其进行处理等。它的主要缺点是所用的信道频带比模拟通信宽得多,因而降低了信道的利用率。但随着信道性能的改善,这一缺点会逐渐得到解决。

20 世纪 90 年代以来,通信从各方面都发生了重大变化。通信对象从单一的人变为人和机器;通信业务由电话通信向电话、传真、数据、图像等综合业务通信转变;通信体制由模拟通信向数字通信转变;通信手段由载波通信向光纤通信、微波通信、卫星通信、移动通信等转变。

因此,从电信的角度来看,数据通信是一种新的通信业务。它完全不同于传统的语音通信,具有许多新的概念和思想。它是随着计算机的产生而发展的新技术。计算机及其广泛应用,使得异地的计算机与计算机或终端与计算机之间要进行数据的传输与交换。计算机中,数据以二进位数字形式表示,它代表着文字、符号、数码、图像和声音等信息。如何在通信线路上正确地传输这种离散的二进制信号就是数据通信要解决的基本问题,所以数据通信是为了实现计算机与计算机或终端与计算机之间的信息交互而产生的一种通信技术,它属于电信系统的范畴。相对于计算机通信而言,数据通信着重于“数据”的传输,而不涉及数据所表示的原始信息。而计算机通信则着重于信息的交互。数据通信是计算机通信的组成部分。这里需要注意数据通信和数字通信这两个概念的区别。在电信系统中,通常把传输模拟信号的通信方式称模拟通信,而把传输数字信号的通信方式称数字通信。模拟通信采取放大、均衡等措施来尽量保持波形不失真,传输质量较差。数字通信采用波形变换、再生中继等措施来降低误码率,传输质量较好。数据既可以在模拟通信网中传输,也可以在数字通信网中传输,也就是说,数据通信既可以借助于模拟通信手段,也可以借助于数字通信手段。数据在模拟通信网中传输时,需解决差错控制的问题。

1.1.2 数据通信系统的构成

数据通信系统是:通过数据电路将分布在远地的数据终端设备与计算机系统连接起来,实现数据传输、交换、存储和处理的系统。典型的数据通信系统主要由中央计算机系统、数据终端设备(DTE)、数据电路三部分构成,如图 1-2 所示。

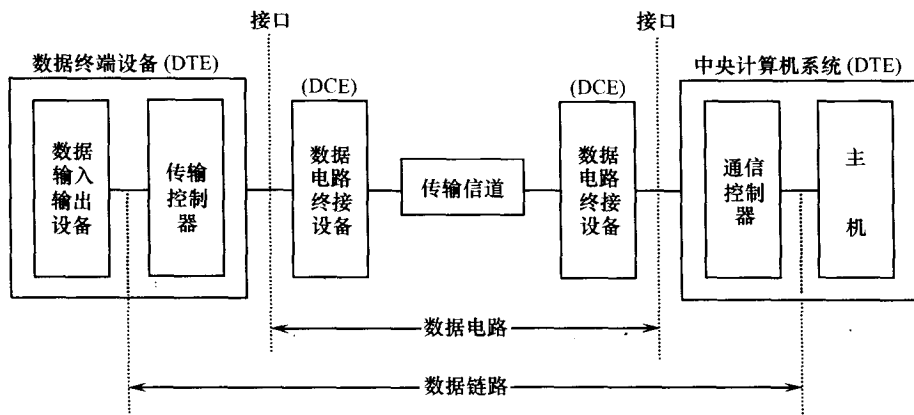


图 1-2 数据通信系统的基本构成

1. 数据终端设备

数据终端设备 (Data Terminal Equipment, DTE) 由数据输入设备 (产生数据的数据源)、数据输出设备 (接收数据的数据宿) 和传输控制器组成。

DTE 在数据通信中的作用类似于电话与电报通信中的电话机和电报机, 它把信息变成以数字代码表示的数据, 并把这些数据输送到远端的中央计算机系统。同时, 可以接收远端中央计算机系统的处理结果——数据, 并将它变为原始的信息。

在不同的场合, DTE 可以是不同的设备。例如, 在发送数据中, DTE 可以是键盘输入器; 在接收数据中, 它可以是屏幕显示设备 (CRT), 也可以是激光打印机等。当然, 具有一定功能的个人计算机也可称为 DTE。

2. 数据电路

数据电路由传输信道 (传输线路) 及其两端的数据电路终接设备 (Data Circuit Terminating Equipment, DCE) 组成。

数据电路位于 DTE 与中央计算机系统之间, 它的作用是将 DTE 或中央计算机系统送出的数据信号转换成适合各种传输媒介传输的信号。在数据电路两端收发的是二进制“1”或“0”的数字数据信号。

传输信道包括通信线路和通信设备。通信线路一般采用电缆、光缆、微波等传输介质。通信设备又可分为模拟通信设备和数字通信设备, 从而使传输信道分为模拟传输信道和数字传输信道。另外, 传输信道中还包括通过交换网的连接或是专用线路的固定连接。

DCE 是 DTE 与传输信道的接口设备。发方的 DCE 有两项功能: 一是将来自 DTE 的数据信号进行变换, 消除原数据信号内的直流分量, 使信号功率谱与信道相适应, 防止数据信号中长串“1”或“0”码时, 可能导致收发双方的失步; 二是当传输信道为模拟信道时, 使来自 DTE 的基带数据信号调制载频信号, 变为频带信号, 实现频带传输。收方的 DCE 施行与发方相反的功能。调制解调器 (Modem) 是最常见的 DCE。发送时, 调制器把数字数据信号转换成适合于模拟信道上传输的模拟信号; 接收时, 模拟信号由解调器将它还原成数字数据信号, 并送到 DTE。当数据信号在数字信道上传输时, DCE 的位置上不再需要 Modem, 而改为数据服务单元 (Data Service Unit, DSU)。DSU 的功能是完成信号格式变换 (即消除信号中的直流成分和防止长串“0”的编码)、信号再生和定时等。另外, 如果数据信号直接在电缆中传输, 称为基带传输, 此时 DCE 只需要第一项功能。

3. 中央计算机系统

中央计算机系统由通信控制器 (或称前置处理机)、主机及外围设备组成, 其功能是处理从数据终端设备输入的数据信息, 并将处理结果输出到相应的数据终端设备。

通信控制器 (或称前置处理机) 是数据电路和中央计算机系统的接口, 控制与远程数据终端设备连接的全部通信信道, 接收远程 DTE 发来的数据信号, 并向远程 DTE 发送数据信号。通信控制器的主要功能, 对远程 DTE 一侧来说, 是差错控制、终端的接续控制、确认控制、传输顺序控制和切断控制等; 对计算机系统一侧来说, 是将线路上来的串行比特信号变成并行比特信号, 或将计算机输出的并行比特信号变成串行比特信号。另外, 在远程 DTE 侧有时也有类似的通信控制功能, 但一般作为一块通信控制板合并到 DTE 中。

主机又称中央处理机, 由中央处理单元 (CPU)、主存储器、输入输出设备以及其它外

围设备组成。其主要功能是进行数据处理。

1.1.3 数据通信的特点

数据通信与传统的电话通信相比,在通信对象、通信内容、可靠性要求、传输效率等方面都有不同之处。

1. 通信的对象有机器参与

数据通信是实现计算机与计算机之间以及人与计算机之间的通信,而电话通信是实现人与人之间的通信。尽管计算机具有超越于人的能力,但是计算机不具有人脑的思维能力。计算机完成的每件工作都需要由人预先编好程序,计算机的智能来自人的智能。计算机之间的通信过程需要定义出严格的通信协议或标准。而电话通信就不必如此复杂。

2. 数据传输的可靠性要求高

数据通常以二进制“1”和“0”的组合编码表示,如果一个码组中的一个比特(“1”或“0”)在传输过程中产生错误,则在接收端可能被理解为完全不同的信息,甚至是相反的含义。特别是对于像银行业务或军事上用的自动控制系统,数据的差错可能引起严重的后果,因此数据通信要达到很低的误码率。而在传输中发生差错时要求能够自动地进行校正。表 1.1 列出了数据通信和其它一些通信业务对传输误码率的基本要求。

表 1.1 各种通信业务的误码率

通 信 业 务	可接受误码率	可接受误组率
数 据	$<10^{-8}$	$<10^{-10}$
语 音	$<10^{-2}$	$<10^{-3}$
电 视	$<10^{-2}$	$<10^{-3}$
压缩电视	$<10^{-6}$	$<10^{-9}$
图 片	$<10^{-4}$	$<10^{-9}$

3. 数据通信网应提供足够灵活的接口能力

数据通信的“用户”是各种各样的计算机和终端设备,它们在通信速率、编码格式、同步方式和通信规程等方面都会有很大的差异。为了能够实现它们之间的互相通信,数据通信网应当提供足够灵活的接口能力,以适应各种用户的需要。

4. 数据通信量的突发性较为严重

表 1.2 提供了在各种不同工作环境下数据通信速率的平均值和高峰值。从表中可以看出,数据通信的平均速率相当低,而它们的瞬时高峰速率却可能高出上百倍。为了避免发送和接收数据的时延超过要求,在设计数据通信系统时通信线路的传输速率应当符合高峰速率的要求。从这里我们也可以看出,单一的终端或计算机专用的通信线路,其资源利用率是很低的。这导致了在数据通信网中通信资源共享技术的广泛研究和开发,分组交换就是其中的一项重要成果。从表 1.2 中看出,PCM 数字语音的高峰速率大约是平均值的 3 倍,比数据通信的情况小得多。

表 1.2 不同工作环境的数据通信速率

工作环境	平均速率/(b/s)	高峰速率/(b/s)
终端到计算机	1	100
计算机到终端	10	10000
远程作业录入	100	10000
计算机到计算机	10000	1000000
PCM 数字语音	20000	64000

5. 数据通信的信息传输效率很高

例如,在一条模拟电话信道上以 2400b/s 的速率传输数据是很容易实现的,每分钟可以传输 18000 个字符。在一条数字电话信道(0 次群)以 48Kb/s 速率传输数据,每分钟可以传送 360000 个字符,相当于 150 页文件(每页 2400 个字符)。使用电话通信方式不可能在一分钟内传输如此大的信息量。由此可见,数据通信的经济性不言而喻。而且由于数据比语音更容易在计算机中存储、处理、转发。因此,数据通信给人类带来的变化和效益是电话通信难以比拟的。

6. 数据通信的平均信息长度和平均时延变化较大

表 1.3 列出了 5 种类型事务处理的经验数据。例如,一个人在终端上远程使用计算机,人对计算机的输入是几个字母或几行数据(20b ~ 1000b),而计算机对终端的响应可能是几行数据或整个 CRT 屏幕(600b ~ 10000b),为了保持人和计算机之间对话式思维的连续性,要求信息的传输时延小于 1s。而对于一些非对话式的事务处理系统(例如,将内容送打印机打印),时延长一点不会带来影响,可达数秒至数分钟,而对于一些文件传输系统,平均信息长度可达 10^4 b ~ 10^8 b,平均通信时延可达数十秒到数小时。

表 1.3 数据通信应用环境

事务处理类型	平均信息长度	平均通信时延
人一机对话式	600b/6000b	小于 1s
询问/响应	600b/6000b	1s ~ 30s
数据库修改	600b	几秒到几分钟
一般文件传输	10^4 b ~ 10^6 b	几十秒到几分钟
大型文件传输	10^6 b ~ 10^8 b	几分钟到几小时

7. 数据通信每次呼叫平均持续时间短

根据美国国防部对大约 27 000 个数据用户进行统计的结果,有大约 25% 的数据呼叫持续时间在 1s 以下,大约 50% 的数据呼叫持续时间在 5s 以下,90% 的数据呼叫持续时间在 50s 以下。而电话通话的平均时间为 5min。我们发现 99.5% 以上的数据呼叫短于电话时间。此外,数据通信的呼叫建立时间要求也要短,通常小于 1.5s,而电话的呼叫建立时间较长,可达 15s。但是电话通信要求在通话时间内传输系统的时延应很小(0.25s 以下),而且恒定不变。

从以上分析可以得出如下的结论:①数据通信和电话通信之间有很大的不同;②大多数数据呼叫和数据事务处理持续时间很短,而且要求网络对数据用户的呼叫做出迅速的

响应;③经过许多年的最佳设计而具有适合人和人之间的电话通信特点的电话网在许多方面不符合数据通信的特殊要求,尽管在许多情况下需要利用电话网传输数据,但是它永远也不能取代数据通信网的作用。随着现代通信技术的发展,在数据通信网上传输语音、图像等多媒体信息已经成为事实,不久的将来,数据通信必将取代语音通信成为电信部门的主要业务,数据通信网也将成为传输多媒体信息的综合业务数据网。

1.1.4 数据通信的应用及发展

1. 数据通信的应用

1) 自动防空指挥系统

最早在军事上使用的一个数据通信系统,就是图 1-3 中所示的自动防空指挥系统。在此系统中,雷达站发现目标后,就不断将测出的目标距离、高度、方位、速度等数据自动编码(即将不同的数据用不同的二进制数字组来表示),以数据信号形式传输到指挥控制中心的电子计算机内。电子计算机收到这些不断变化的探测数据,加上另外输入的、代表当地当时的风向、风速环境参数的数据,以及预先存储在计算机内的敌机性能的数据和我方火炮网的数据,就可以按预先编制的程序进行分析与运算,算出敌机的航线,制定我方火炮网的射击方案,随即以数据信号的形式将指令传输到相应的火炮,控制火炮的射击。这里,对大量的可变数据及时进行处理是电子计算机的任务;而对雷达站到计算机、计算机到火炮系统之间的数据和控制指令的传输是通信的任务。二者相辅相成,才构成了一个有效的自动防空指挥系统。

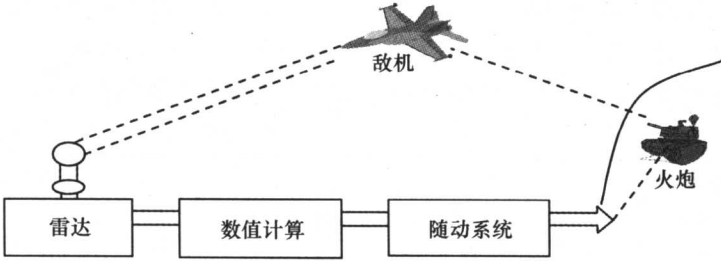


图 1-3 自动防空指挥系统

2) 城市交通管制系统

在大城市交通繁忙的交叉路口上,每天来往的车辆有好多万次。如果全部依靠人工维持交通秩序,容易出现车辆阻塞现象,影响车辆运行时间,也容易引起交通事故。近几年来发展了利用通信线路把计算机和交通信号灯(也称红、绿灯)连接起来构成的交通管理控制系统,简称交通管制系统。它利用计算机的快速运算、处理及控制功能来协助维持交通秩序。该系统的示意图如图 1-4 所示。由图可见,它在交通信号灯附近增设了一种电子设备,称为车辆检测器,检测器的作用是检测有无车辆存在、车辆速度和车辆密度。最常用的检测器有两种:一种是挂得不高的环形线圈检测器;一种是挂在离地面高 5m 左右的超声波检测器。前者是通过车辆行驶过程中金属物体的磁感应来改变检测器的电气参数,从而检测到有无车辆。后者是通过发射超声波,并由车辆反射的反射波的强弱来检测车辆的有无。利用通信线路把检测器的输出数据送给计算机(即“通知”计算机现在开的是红灯、黄灯或绿灯)。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

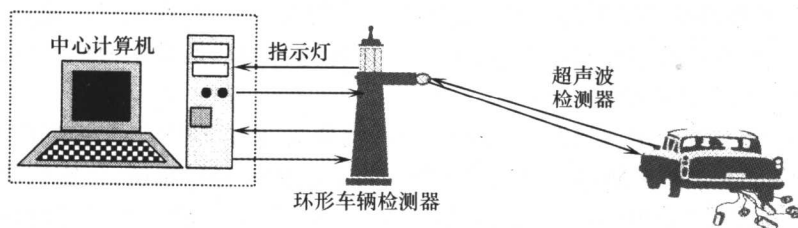


图 1-4 交通管理控制示意图

分析,并根据分析的结果来控制交通信号灯的颜色,并且在流量显示板上显示出各路由的流量密度,引导车辆向低流量方向迂回前进,从而达到平衡交通流量,提高车辆运行速度的目的。

3) 气象管理系统

各地的气象站将探测到的气象情报编成数码传送到计算中心。电子计算机分析综合各地传来的当时的气象情报数据,以及计算机内存储的过去的气象情报数据,得出未来若干时间内的气象情报预测,再将结果传输到各地气象站,于是可以分别作出及时、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分析而得出结果的。因此也不可能建立一个及时有效的气象预报网。

4) 军事管理系统

全军指挥中心的计算机利用数据通信线路沟通各级军事机关的计算中心,综合、分析和处理各种上报的军事情报,破译敌方密码。并通过显示终端观察指挥军事部署和行动轨迹。协助计算各种作战方案,以备参考。

在宇航测量系统中,应用数据通信,实时控制飞船、卫星、导弹的运行轨迹。计算轨道参数、处理遥测数据。

在后勤供给管理系统中,利用数据通信、统计、分配、调度全军军需品。保证既有计划又能及时地提供所需要的一切军需物品。

5) 其它系统

随着工业和科学技术的发展,电子计算机的应用日益深入到各个部门、各个领域。遥测、遥控、自动控制的设施从国防发展到工农业生产,发展到交通运输、动力、地质勘探、人口普查、银行储蓄汇兑、灾情控制及预报、新闻自动编辑和出版、远距离病人诊断、图书资料的检索与交流、科学研究、计算机教学以及人民生活等各个方面,因而发展了各种符合各自特定要求的自动数据处理系统。在这种数据处理系统中,一般由分散在各地、各点的信息源数据检测装置采集到各种数据,由数据变换机将它们变换成一定形式的、便于传输处理的数码(一般是二进制码),由数据制作机把这种数码形式的数据记录在纸带、磁带或其它存储介质内,然后由数据输入装置变换为二进制数字信号输入通信线路。上述完成采集、变换、制码和输入数据的装置,统称为终端装置,有的终端装置还附带具备若干处理数据的功能。这种终端即上面说过的“智能终端”。传输线路将这些数据及时地、可靠地传输到数据处理中心。数据处理中心主要是由电子计算机及其附属的外围输入、输出设备所组成,这些分散的数据都传到电子计算机,由电子计算机进行高速的加工、运算、处