

高等学校试用教材

数 据 通 信

北方交通大学 马宏杰 主编



SHUJU TONGXIN
SHUJU TONGXIN

中国铁道出版社

高等学校试用教材

数据通信

北方交通大学 马宏杰 主编
北方交通大学 聂涛 主审

中国铁道出版社

1995年·北京

(京) 新登字 063 号

内 容 简 介

本书系统地介绍了数据通信的基本知识、原理及实现方法。全书共分十章, 主要包括绪论、基带传输、调制解调器、同步、差错控制、数据通信网硬件及接口、数据传输控制、数据通信网、局部区域网络和综合业务数字网等内容。为配合教学, 每章附有小结及习题。

本书为高等院校通信工程专业的教学用书, 也可作从事通信、计算机等专业的科技人员及函大、电大等相关专业的学习参考书。

高等学校试用教材

数据通信

北方交通大学 马宏杰 主编

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 武亚雯 封面设计 马 利

各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 字数: 423 千

1995 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—2500 册

ISBN7-113-02007-0/TN·81 定价: 10.00 元

前 言

本书是铁道部高校专业教学指导委员会推荐的高等院校通信工程专业的专业课教材。

数据通信是计算机技术和通信技术互相渗透、互相结合的一门新兴学科，是计算机应用中一个空前活跃的重要领域，推动着科学技术、国民经济的迅速发展，广泛应用于社会的各个方面，其内容十分丰富，其理论、方法和实现手段处在不断发展和不断完善之中，因此当前数据通信作为一门新兴学科来说，还没有一个严格的范围限制。根据我国铁路建设数据通信网的需要和通信工程专业教学要求，本书内容侧重于数据传输和数据通信网的构成、实现来介绍。由于教学学时的限制，我们重点突出其基本知识和实现方法。全书共分十章，第一章绪论，重点介绍数据通信的基本知识，为本书学习建立一些基本概念；第二章至第五章重点介绍数据传输内容，其中第二章基带传输是基础理论，其他各章重点联系实际应用，第三章调制解调器主要结合国际电报电话咨询委员会（CCITT）的V系列建议介绍。第六章至第八章重点介绍数据通信网的构成及实现方法，主要内容是数据通信网的接口、传输控制规程和交换技术。当前局域网发展很快，应用也很普遍，所以第九章简单介绍了局域网的组成、协议、拓扑结构及应用。第十章为综合业务数字网（ISDN），介绍了ISDN的结构、实现方法，指出通信网的发展方向。全书教学时数约为70学时。

本书由北方交通大学马宏杰主编，并编写第三、四、六章；兰州铁道学院杨秀芝编写第一章及第二、五、九章；上海铁道大学朱健编写第七、八、十章及第六章部分内容。

本书由北方交通大学聂涛教授主审。北方交通大学、上海铁道大学及兰州铁道学院的任课老师参加了审稿会，并提出了宝贵意见，对此我们表示感谢。

编 者

1995.5

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 计算机通信网的发展.....	1
第二节 数据通信系统.....	2
第三节 信道标准.....	4
第四节 数据传输的基本知识.....	6
第五节 数据通信系统的质量指标.....	9
本章小结	13
习 题	14
第二章 基带传输	15
第一节 基带传输的基本概念	15
第二节 基带信号的形式	16
第三节 基带信号的传输	18
第四节 余弦频谱低通信号	30
第五节 部分响应	32
第六节 基带传输系统的最佳化	37
第七节 均 衡	42
第八节 数据序列的扰码和解扰	48
本章小结	51
习 题	51
第三章 调制解调器	53
第一节 调制解调器概述	53
第二节 调制解调原理	55
第三节 调制解调器	60
本章小结	73
习 题	74
第四章 同 步	75
第一节 概 述	75
第二节 载波同步	75
第三节 码位同步	79
第四节 群 同 步	84
本章小结	89
习 题	89
第五章 差错控制	90

第一节	概 述	90
第二节	信道编码	93
第三节	常用的简单检错码	96
第四节	线性分组码	100
第五节	卷积码	115
本章小结	.....	120
习 题	.....	121
第六章	数据通信网硬件及接口	123
第一节	通信控制器	123
第二节	终端设备	128
第三节	数据终端设备 (DTE) 与数据电路终接设备 (DCE) 接口标准	131
第四节	多路复用器	145
第五节	传输线路	156
本章小结	.....	158
习 题	.....	159
第七章	数据传输控制	160
第一节	协议的概念和协议的分层结构	160
第二节	开放系统互连参考模型	162
第三节	数据链路及传输控制的概念	166
第四节	基本型传输控制规程	170
第五节	高级数据链路控制规程	181
本章小结	.....	194
习 题	.....	195
第八章	数据通信网	196
第一节	概 述	196
第二节	数据通信网的交换方式	199
第三节	分组交换网的路由选择	205
第四节	分组交换网的通信协议	209
第五节	分组交换网的性能分析	221
第六节	分组交换机	224
本章小结	.....	228
习 题	.....	229
第九章	局部区域网络	230
第一节	概 述	230
第二节	局域网的协议标准	234
第三节	传输介质与拓扑结构	237
第四节	局域网的应用及发展	240
本章小结	.....	244
习 题	.....	244

第十章 综合业务数字网 (ISDN)	245
第一节 概 述	245
第二节 ISDN 的结构	248
第三节 用户—网络协议	251
本章小结	262
参考文献	263

第一章 绪 论

第一节 计算机通信网的发展

在当前的信息化时代里，信息的收集、处理、存储、传输和分配等成为关键性的技术。随着电子技术和计算机技术的发展，社会已从电话网、电报网发展到数据通信网和计算机网络时代。计算机技术和通信技术在网络通信中融为一体，促进了信息技术的发展，使信息的收集、传输、存储和处理之间的界限逐渐消失，不断满足人们对信息的需求，从而加速了社会生产的发展和变革。因此计算机通信网的出现和发展，对社会的进步作出了重大的贡献。计算机通信网的发展大体经历了四个阶段，即面向终端的联机系统、多机处理的计算机通信网、实现资源共享的计算机网络和综合业务数字网（ISDN）。

50年代是计算机通信的初期阶段，终端通过专线构成集中式的面向终端系统，如图1-1所示。计算机和远程终端相连时，除了要经过调制解调器和通信线路外，还要增加一个接口设备——线路控制器，主要进行串行和并行传输的转换和简单的差错控制。该系统称为面向终端的计算机通信网，主要是数据的收集和处理。

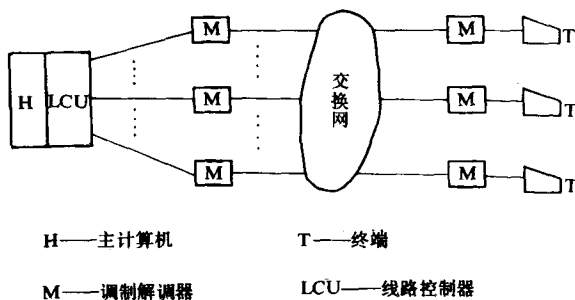


图1-1 面向终端计算机通信网

60年代进入计算机通信网的时代。随着终端的增多，一方面线路利用率和通信费用成为主要矛盾，另一方面主机担负处理功能的同时，还要担负通信功能，这样使主机负担过重。集中器和通信控制器（CCP）解决了这两方面的问题。集中器利用时分复用原理，使若干低速的终端共用一条高速线路传输。通信控制器又称前端处理机（FEP）专门执行通信功能，使主机专门进行数据信息的处理，大大减轻主机的负担，提高主机处理效率。这样的系统结构如图1-2所示。该系统以实现主机与主机间、主机与终端间远程传输数据及文件为主要功能，通常又称为计算机通信网。

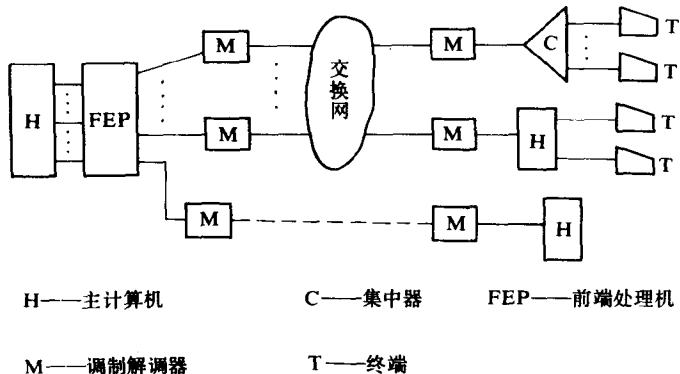
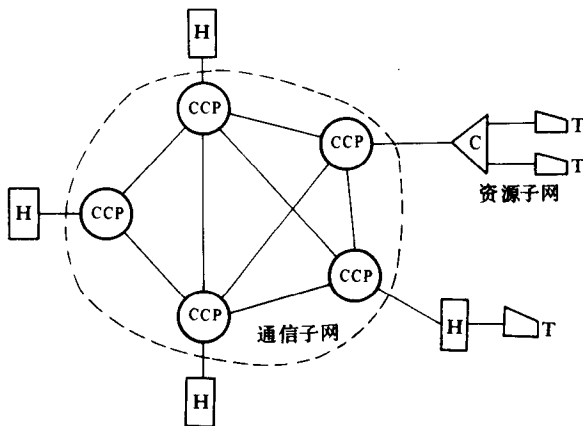


图1-2 计算机通信网

70年代进入计算机网络时代。随着计算机通信网的发展和

随着计算机通信网的发展和

应用，网内用户对网络提出更高的要求，即希望共享网内计算机系统的资源（包括硬件、软件和数据等），这就形成了以共享资源为主要目的的计算机网络。该系统进一步按功能划分为资源子网和通信子网，其构成如图 1—3 所示。资源子网由主机、终端、外围设备等组成，为用户提供访问网络及实现资源共享的能力。通信子网由通信控制器（或称网络节点机）、传输链路及调制解调器等组成，执行通信处理及远程信息传输的功能。通信控制器（CCP）提供通信子网与资源子网的接口，同时提供数据交换的功能，包括路由选择及数据流量控制等。为实现资源共享，除了上面的计算机和通信系统外，还要求制定一套全网一致遵守的规程和网络操作系统，用户使用网中资源就像使用本机资源一样方便。



H——主计算机
 CCP——通信控制器
 C——集中器
 T——终端

图 1—3 计算机网络

80 年代进入局域网和综合业务数字网时代。由于大规模集成电路和处理机的迅猛发展，价格迅速下降，相对说传输费用矛盾突出，从而促使了

局域网的发展，解决小范围内对信息的需求。例如办公室自动化，大大提高了工作效率。同时局域网接口标准化，很容易进网，缩短了远程网的进程。用户电报网、计算机通信网等都是针对某项业务而单独组网，近年来各种非话业务，如传真、可视数据、智能用户电报、会议电视等相继发展，如若再单独组网，不但造成浪费，而且管理麻烦。因此要求建造一个网来适应各种业务发展的需要，把话音及包括数据业务在内的各种非话业务都数字化，通过一个网络进行交换处理，这就是综合业务数字网（简称 ISDN）的发展。ISDN 不但经济而且管理方便，一出现就显示出强大的生命力，获得飞速发展。

以上各种网络都发挥了很大作用，并且随着用途和功能的不同，其中许多网络至今仍在使用，并且得到不断完善和不断发展，例如美国面向终端的半自动防空系统（SAGE）及反映计算机网络特点的美国 ARPA 网就是很好的例子。70 年代中期，IBM 公司推出 SNA 网，DEC 公司推出 DECNET 网及日本的网络产品，后来法国的 TRANSPAC 网，英国的 EPSS 网，西欧 EURONET 网等相继推出，加速了网络化的进程，推动了各国经济的发展。

第二节 数据通信系统

计算机通信是计算机与通信技术相结合，完成编码数据的传输、转换、存储和处理的通信技术，也就是我们所说的数据通信。数据通信系统就是以计算机为中心，用数据电路连接分布在远地的数据终端设备而进行数据通信的系统，其构成框图如图 1—4 所示。这里我们把计算机和终端设备（即数据信息的输入、输出设备）都看作数据终端设备，简称 DTE。数据电路由传输信道和数据电路终接设备（简称 DCE）构成。DCE 是数据信号的变换设备。因为

传输信道可能是模拟的，也可能是数字的。DTE 发出的数据信号，不适合信道传输，所以要把数据信号变换成适合信道传输

的信号，达到有效而可靠的目的。

利用模拟信道传输，要进行“数字→模拟”变换，方法就是调制，

而接收端要进行反变换，即“模拟→数字”变换，这就是解调，实现调制与解调的设备称为调制解调器，简称 MODEM。因此调制解调器就是数据信号与模拟信号

的变换设备，是模拟信道的数据电路终接设备，是模拟信道传输数据信号必不可少的设备。利用数字信道传输信号时不需调制解调器，但 DTE 发出的数据信号也要经过某些变换才能有效而可靠地传输，如码型和电平的变换，信道特性的均衡，同步时钟信号的形成，控制接续的建立、保持和拆断（指交换连接情况）以及进行维护测试等。这就基带传输系统的任务。

数据通信是计算机与计算机或计算机与终端设备间的通信，就是说是机器与机器间的通信。为了保证有效而可靠地进行通信，通信双方必须按一定的规程（或称协议）进行，如收发双方的同步，差错控制（差错的检测与校正）、传输链路的建立、维持和拆除及数据流量控制等，所以必须设置通信控制器来完成这些功能。加了通信控制规程功能以后的数据电路称为数据链路，因此只有建立了数据链路之后，双方 DTE 才可真正有效地进行数据传输。建立数据链路及遵循事先约定好的通信控制规程进行通信，是实现数据通信非常重要的因素之一，也是数据通信的重要内容之一。

由上可见，数据传输是指数据信号加到数据电路实现一端 DCE 到另一端 DCE 间的通信，传输被机器处理的信息。数据通信是指信息处理机（计算机或终端）通过通信控制器与数据电路连接起来的通信，即计算机与计算机间的通信，包含着处理与传输两方面的内容。所以数据传输是数据通信的基础，数据通信的内容比数据传输又更进一层。

图 1—4 是表示端到端的数据通信。在实际的数据通信系统中，一般具有多个用户，即多个数据终端（DTE）间互相进行通信。所以必须要通过一个交换系统，完成数据信息的转接、传输、存储和处理的功能，这样的系统就构成了数据通信网。数据交换技术的发展，促进了数据通信网的发展和完善。目前有三种数据交换方式：电路交换、报文交换和分组交换。分组交换是报文交换的发展，保留了电路交换和报文交换的优点，具有差错少、通过量大、利用率高、时延小及网络成本低等优点，是一种较理想的交换方式。因此数据分组交换技术是数据通信网的重要内容。

在此我们可以说数据通信网与计算机网络的含义是不同的。凡将地理位置不同并具有独立功能的多个计算机系统，通过通信设备和线路连接起来，以功能完善的网络软件（即网络通信协议、信息交换方式及网络操作系统等）实现网络中资源共享的系统，称为计算机网络。计算机网络的核心是实现资源（包含软件、硬件及数据等）共享。为了简化设计和组建网络的复杂程度，并且有利于网络的组建和扩展，计算机网络有两级子网构成，即资源子网和通信子网。通信子网就是数据通信系统，因此数据通信系统是计算机网络的一个重要组成部分，是计算网络的基础。在计算机网络中，用户把整个网络看成是一个大的计算机系统，它不要

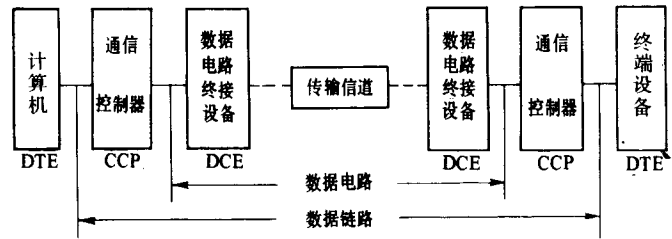


图 1—4 数据通信系统

户去熟悉所要调用的资料、文件等资源在哪个子系统中（而数据通信网则要了解所调用的资料在哪个子系统中），而由网络操作系统（NOS）来完成这些任务。所以计算机网络的特点是通过网络操作系统实现资源共享，不需要用户自己去了解和调用网络中某一资源。这就是数据通信网与计算机网络不同的关键所在。

计算机网络是一个具有多种功能的复杂系统，为了使各种设备在统一原则指导下相互协调，得到合理而有效的利用，提出了网络体系结构（CNA）。网络体系结构是整个网络系统的逻辑结构和功能分配，包含硬件与软件的组织与设计必须遵守的规定。为了简化设计，实现方便，网络体系结构通常采用模块化的分层结构。同时为了解决网络间的开放互连，必须标准化，即必须遵守标准的网络体系结构。国际标准化组织（ISO）提出的开放系统互连（OSI）七层参考模型，是当前国际上组建计算机网络的标准体系结构。为了开放互连，各国都必须遵守。OSI 七层模型的低三层（即第一、二、三层）是为完成数据通信网的功能而设，因此本书主要以 OSI 的第一层（物理层）、第二层（链路层）和第三层（网络层）为主要内容讨论。

第三节 信道标准

任何通信系统都由发送机、接收机和信道三大部分组成，数据通信系统也不例外。其传输质量除与信号本身特性、通信体制、收发机部件特性有关外，传输信道特性也直接影响着传输质量。同时噪声干扰也是客观存在，所以我们研究数据通信必须要了解信道特性和噪声干扰的性质，以便设计和制造良好的通信设备，适应各种传输需要，达到满意的传输效果。

信道种类繁多，对传输数据信号的媒介是各式各样的。若按其传输信号特性来分，有模拟信道和数字信道，即频分信道和时分信道。数据电路中的数据电路终接设备（DCE）就是根据传输信道特性而设计的，所以信道是设计数据传输设备的根据之一。利用时分数字信道进行数据传输是一种较好的数据传输方式，数据信号可以用数字信号形式插入信道时隙中直接在时分信道传输，不需经过调制解调，而只需将多路低速数据信号复用合成到数字信道的速率上传输。例如 PCM 信道，合成到 64kbit/s 速率传输，接收端再进行分路。远程传输采取中继再生方式，具有较高的抗干扰性能。但当前模拟信道还是大量的，利用模拟信道传输数据信号还是目前数据传输的主要手段，因此我们了解模拟信道特性还是很必要的。

模拟信道的特点是频分复用，信道中存在着大量的四端网络（主要是滤波器）；频带受限，相移特性失真，造成响应波形扩散，产生拖尾，从而干扰相邻数字信号，这就是所说的弥散现象，同时外界噪声干扰存在，尤其突发的脉冲噪声直接影响传输质量，因此为了保证可靠传输，对信道要提出一定要求。对于传输低速数据信号，一般信道能满足要求；而对高速数据传输，有时达不到要求，于是国际电报电话咨询委员会（CCITT）提出有关数据传输使用的信道标准，称为 M 建议，也称信道规范。例如 M1020 建议，是优质国际租用电路特性，可以达到的传输速率比正常话音电路要高，即质量比话音电路要好。下面对 M 建议的内容作一简单介绍，至于具体指标，可参见 M 建议文本。

一、总衰耗

总衰耗是指传输电路输入信号电平与输出信号电平之差，表示信号在整个电路中传输后的衰减程度，若该值大则收端信号电平就低，影响传输质量。

二、幅度失真

传输的数据信号都占有一定的频带，经信道传输后，其各频率成分会受到程度不同的衰耗，致使接收端波形失真。理想情况要求信号频带范围内各频率衰耗值都一样，实际中不可能，超过标准要采取均衡措施。

三、群时延失真

数据信号经信道传输后产生时延。若接收信号的各频率成分的相移特性为线性相移，即相移与频率成比例，则各频率成分的时延相等。而实际信道的相移特性不为线性，各频率的时延不同，造成群时延失真。若该失真值超过规定标准要采取均衡措施。

四、噪 声

噪声对传输质量有很大影响。噪声按其性质可分为如下两大类。

1. 随机噪声

随机噪声的特点是时间域分布较平稳，频谱较均匀，又称白噪声。随机噪声的大小与线路长度、系统的质量及外界环境等有关。影响传输质量的程度用信噪比衡量，信噪比大对传输影响小。信噪比与误码率有着确定的关系，所以信噪比的指标由误码率确定。数据传输速率和调制方式的不同，随机噪声影响的程度也不一样。

2. 脉冲噪声

脉冲噪声是一种突发性噪声，其特点是持续时间短，强度大，出现的间隔和幅度都不规则。外界干扰、交换机接续动作以及电缆接头不良等都是产生脉冲噪声的原因。脉冲噪声是传输中产生差错的主要原因，有时干扰时间长，可能会造成大片的突发性差错，所以防护脉冲噪声干扰对提高数据通信质量有重要意义。CCITT M 建议对不同传输速率有不同的指标，在规定的时间内，限定出现超过某一门限电平和一定宽度的干扰脉冲个数。克服脉冲噪声的方法，在目前数据通信中主要采用差错控制技术和通信规程防护。

五、幅度突跳和瞬时中断

1. 幅度突跳

幅度突跳是指接收信号的幅度产生突变。这种突变可以是幅度的加大或减小，缓慢变化不属突跳。CCITT 建议指标是在规定的时间间隔内，幅度突跳的电平值超过某一门限的次数。

2. 瞬时中断

瞬时中断是指传输电路在短时间内电气发生瞬时中断或电平突然大幅度下降，以致造成数据传输中信息丢失或传输中断。瞬时中断对数据传输的影响是严重的，与传输速率与瞬时中断持续时间有关。瞬时中断的发生是随机的，产生的原因是传输电路受到很强的干扰，以及电路中开关、接点动作或维修、或测试中的人为因素等。CCITT M 建议指标是在规定的时间间隔内某一电平下降值（或电气中断）持续时间的次数。

六、相位抖动和相位突跳

1. 相位抖动

相位抖动是指在传输过程中，数据信号由于受到电源噪声、载波干扰及其他噪声干扰而造成的寄生调相或调频，使接收信号波形在判决时刻的前后晃动，造成误码。相位抖动一般以峰-峰抖动值来衡量。CCITT M 建议的指标是规定峰-峰抖动的极限值。

2. 相位突跳

相位突跳是指接收信号的相位发生突变。由于某些突发因素，如传输系统载频的改变、设备的倒换或突发干扰等造成，突发值超过某一门限值时而产生误码。CCITT M 建议指标是规定在某一时间间隔内，相位跳变超过某一门限值的次数。

七、频 偏

频偏是指电话载波系统在调制和解调过程中所用的载波频率不一致(如差 Δf)，则解调后的信号也产生相应的频差 (Δf)，该频差即是经传输后而产生的频偏。当频偏在 10Hz 以内时，人耳不易辨别，但对数据传输影响较大，对不同的调制方式有不同的影响。CCITT M 建议指标是频偏的绝对值不应超过某一极限值。

八、非线性失真

非线性失真是由于传输电路中非线性元件所引起的失真。电话信道中非线性的因素比较多，如放大器的非线性，磁性元器件的饱和，压扩过程及 PCM 电路量化等，都会产生非线性失真。非线性用谐波失真表示，CCITT M 建议规定，当话路中发送 700Hz、-13dBm0 的正弦信号时，在接收端所测得的任何单个谐波的功率电平至少比基波功率电平低 25dB。

九、回 波

在电话系统中，由于阻抗不匹配而产生的反射称为回波。回波的产生主要是由于 2/4 线转换器的原因。由于 2 线端阻抗不可能与 2/4 线转换器平衡网一致，从而破坏 2/4 线转换器的平衡度，使发送信号串到接收支路中，造成对接收信号的干扰。在数据传输中，回波必须加以限制，通常采用回波抵消器来消除回波。

十、单音干扰

在电话电路中有时会出现单一频率的干扰，如音频拨号信号或测试信号造成的串音干扰与载波信号迭加产生调幅和角度调制，造成的影响可能比随机噪声干扰还严重，所以规定单音干扰电平要比随机噪声电平低，例如 CCITT M1020 建议规定单音干扰电平比电路中随机噪声电平低 3dB。

第四节 数据传输的基本知识

一、数据传输方式

由被传输的数据信号特点，数据传输可分为三种传输方式：基带传输、频带传输和数字数据传输。

1. 基带传输方式

所谓基带传输是指计算机（或终端）输出的二进制“1”或“0”的电压（或电流）信号直接送到电路的传输方式。基带信号不经调制，可以进行波形变换（或码型变换），经驱动后进行传输。基带信号特点是频谱中含有直流、低频和高频成分，随频率升高，其幅度相应减小，最后趋于零。基带传输用于短距离的数据通信中，传输电路为非加感的实回线，如架空明线、双绞线、对称电缆等。

2. 频带传输方式

电话电路的特性是带通型，一般频带范围为 300~3400Hz，基带信号通不过，所以要采取措施把基带信号调制到电话电路的频带范围内传输。因此频带传输就是将代表二进制数据的“1”和“0”信号，通过调制解调器变成具有一定频带范围的模拟信号进行传输，这样利用电话信道，可实现远距离的数据通信。

3. 数字数据传输方式

数字数据传输是利用数字话路传输数据信号的一种方式。当前 PCM（脉冲编码调制）数字电话发展较快，每一话路可以传输 64kbit/s 的数据信号，效率高，传输质量好，是数据通信中一种很好的传输方式。

二、传输代码

计算机或终端发出的数据信息，一般都由字母、数字和符号组成。在传输中必须将每一个字母、数字和符号用二进制表示，就是要进行二进制编码。目前传输中常用的二进制代码有如下几种。

1. 国际 2 号电报码 (No. 2)

这是一种 5 单位代码，也称博多码。由 5 位二进制码组成，是电报通信中广泛使用的一种代码。电报与计算机通信时使用，低速数据通信中有时也使用。

2. 国际 5 号代码 (No. 5)

这是一种 7 单位代码，即 7 位二进制码表示一个字母、数字或符号。这种代码 1963 年由美国标准化协会提出，称为美国信息交换用标准代码，即 ASCII 码。该代码后来又被国际标准化组织 (ISO) 和 CCITT 采纳，发展成为一种国际通用的信息交换用标准代码，简称为国际 5 号代码。

3. 我国的通用代码

今后，7 单位码将成为信息交换用的主要代码，各国可根据国际上 ISO2022 标准“7 单位编码字符集扩充编码方法”的有关规定，结合自己的国情需要进行扩充。我国以此为依据，制定了编号为 GB1988-80 的数据交换用的标准代码，它与国际 5 号代码等效。在此基础上，我国又制定了国际编号为 GB2312-80 的汉字信息交换用代码，对每一个汉字字符都采用 2 个字节表示，每个字节都采用 GB1988-80 的 7 单位编码标准。这种代码适用于一般汉字处理、汉字通信等系统之间的信息交换。

三、并行传输与串行传输

1. 并行传输

并行传输是构成字符的二进制代码在并行信道上同时传输的方式，如图 1-5 (a) 所示。并行传输时，一次传一个字符，收发双方不存在同步问题，而且速度快，但需要并行信道，线

路投资大，不适宜于远距离传输。

2. 串行传输

串行传输是构成字符的二进制代码序列在一条信道上以位(码元)为单位，按时间顺序逐位传输的方式，如图 1-5

(b) 所示。串行传输时，发送端按位发送，接收端逐位接收，同时还要对所传的字符加以确认，所以收发双方要采取同步措施，否则接收端将不能正确区分所传的字符，失去通信的意义。串行传输速度慢，但只需一条传输信道，线路投资小，易于实现，是数据传输采用的主要方式。计算机的并行数据信号变为串行数据信号由通信控制完成。

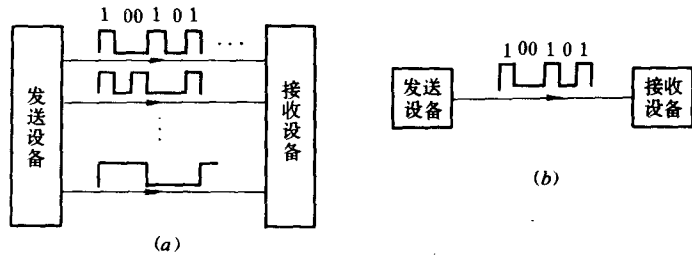


图 1-5 并行与串行传输

计算机的并行数据信号变为串行数据信号由通信控制完成。

四、异步传输和同步传输

1. 异步传输

异步传输方式是字符同步的传输技术。在异步传输方式中，传输数据是以字符为单位。当发送一个字符代码时，字符前面要加一个“起”信号，其长度为一个码元，极性为“0”，即空号极性；而在字符后面加一个“止”信号，其长度为 1、1.5 或 2 个码元，极性为“1”，即传号极性。加上起、止信号后，即可区分出所传输的字符，所以这种同步方式也称字符同步方式。异步传输方式适用于 1200bit/s 以下的低速传输，实现比较简单。

2. 同步传输

同步传输方式是位(码元)同步的传输技术。在该方式中，收发双方必须建立准确的位定时信号，正确区分每位数据信号。在传输中，数据要分成组(或称帧)，一帧含多个字符代码或多个独立码元。为使收发双方建立和保持同步，在每帧的开始加上规定的码元序列，作为同步的标志序列。在发送数据之前，必须先发送该标志序列，接收端检测出该标志序列后建立起双方的同步。同步标志序列的码型因传输控制规程不同而不同，例如在基本型传输控制规程中，利用国际 No. 5 代码中的“sys”控制字符，实现收发双方的同步。同步传输适用于 2400bit/s 以上的数据传输，不需加起、止信号，因此传输效率高，但技术比较复杂。

五、数据通信的工作方式

如果数据通信仅在点与点之间进行，其工作方式按信息传送的方向与时间可以分为：单工通信、半双工通信及全双工通信三种，如图 1-6 所示。

所谓单工通信，数据只能沿单一方向进行发送和接收。如图 1-6 (a)，数据总是从 A 送往 B，而不能由 B 送往 A。在

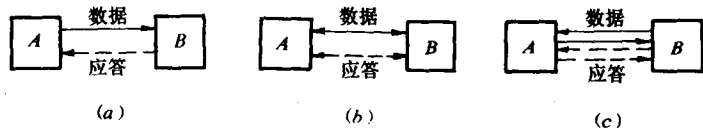


图 1-6 工作方式

计算机网络中,除了发送端向接收端发送数据外,还需要由接收端向发送端发送应答信号,指明接收端的工作状态,数据是否正确接收等。因此,除正向的数据传输信道外,还需要提供一个反向的应答信道。这和一般通信技术中所说的单工通信不同。反向信道的传输速率一般不超过 75bit/s。此种方式适用于数据的收集系统,如气象数据的收集、电话费的集中计算等。

所谓半双工通信,数据既可由 A 传送到 B,也可从 B 传送到 A,但不能双向同时传送,只能交替进行。同样两个方向的应答信号也是交替地在同一信道传输,因而需要一整套控制信号流动方向的设备。这种方式适用于询问、检索、科学计算等系统,见图 1—6 (b) 所示。

全双工通信是指通信的两地 A 和 B,都能够双向同时传输数据和应答信号,如图 1—6 (c) 所示。它和半双工通信相比,效率高,控制简单,但成本也相对要高。

第五节 数据通信系统的质量指标

通信系统组成后,必然要提到通信的质量问题。这里所谓通信质量是指整个通信系统的性能,不是指某个局部。数据通信系统,它的基本指标是围绕传输的有效性和可靠性来制定的。这些主要指标包括以下三种。

一、传输速率

用以衡量系统的有效性,它是衡量系统传输能力的主要指标。可以用三种速率,分别从不同的角度来说明传输的有效程度。

1. 码元传输速率 (R_B)

简称传码率,又叫符号速率。它表示单位时间(每秒)内传输的码元(符号)个数。其单位为波特(Baud),简称波特率,常用符号“B”表示。

码元(符号)的不同取值及其不同组合,就可表示各种不同的数据(字)信息。例如,二进制:0、1,是二进制的码元;0、1、2、…、9,是十进制的码元等。码元传输速率仅仅表征单位时间内传送的码元数目,而没有限定这时的码元是何种进制码元。例如,某系统每秒传送 4800 个码元,则该系统的传码率为 4800B,如果系统是二进制的,每秒传送的是 4800 个二进制数字 0 或 1 的数目,若系统是四进制的,则每秒钟传送的是四进制的符号等。

码元传输速率又叫调制速率。它表示信号调制过程中,一秒钟内调制信号波(即码元)的变换次数。如果一个单位调制信号波的时间长度为 T 秒,那么调制速率(或码元速率)为

$$R_B = \frac{1}{T} \quad (\text{B}) \quad (1-1)$$

例如图 1—7 所示的调频波,一个“1”或“0”符号的持续时间为 $T=833 \times 10^{-6}$ s,则调制速率(码元速率)为

$$R_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{833 \times 10^{-6}} \approx 1200 \quad (\text{B})$$

2. 信息传输速率 (R_b)

简称传信率,又称信息速率。它表示单位时间(每秒)内传送数据信息的比特数,单位为比特/秒,可记为“bit/s”。

根据信息论的观点,在进行有意义的通信时,传递消息就意味着传递了信息。而传递消

息的多少就以传递信息的多少来说明，通常采用“信息量”去衡量信息的多少，单位为“比特”，用符号“bit”表示。因此，系统的传输速率可以用信息传输速率来表征。

需要指出，虽然码元速率与信息传输速率均是传输速率的指标，但它们有着不同的概念，所以在使用中不能相互混淆。不过，二者之间存在一定的关系。在二进制串行传输时，二者数值相等，但单位不同：例如二元调频信号码元速率为 200B，此时信息速率为 200bit/s。

信息传输速率又称数据信号速率，它可以定义为

$$R_b = \sum_{i=1}^k \frac{1}{T_i} \log_2 M \quad (1-2)$$

式中 k ——并行传输的通路数；

T_i ——第 i 路一个单位调制信号波的时间长度 (s)；

M ——第 i 路调制信号的状态数。

式 (1-2) 对于串行传输同样适用，此时 $k=1$ 。下面举例说明 R_b 的求法，及其与 R_B 的关系。

【例 1】 8 路并行传输，每路一个单位调制信号波的时间长度 $T_i=0.013\text{s}$ ，采用二元调制，求信息传输速率与码元传输速率。

解：据式 (1-2)，信息传输速率（即数据信号速率）为

$$\begin{aligned} R_b &= \sum_{i=1}^k \frac{1}{T_i} \log_2 M = \sum_{i=1}^8 \frac{1}{0.013} \log_2 2 \\ &\approx \sum_{i=1}^8 75 \times 1 = 75 \times 8 = 600 \text{ (bit/s)} \end{aligned}$$

码元传输速率（调制速率）

$$R_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.013} \approx 75 \text{ (B)}$$

【例 2】 串行传输，一个单位调制信号波的时间长度 $T_i=833 \times 10^{-6}\text{s}$ ，采用 8 相调制，求码元速率与信息速率。当采用 2 相调制时又为多少。

解：

$$\begin{aligned} R_b &= \sum_{i=1}^k \frac{1}{T_i} \log_2 M = \sum_{i=1}^1 \frac{1}{833 \times 10^{-6}} \log_2 8 \\ &\approx 1200 \times 3 = 3600 \text{ (bit/s)} \end{aligned}$$

$$R_B = \frac{1}{T} = \frac{1}{833 \times 10^{-6}} = 1200 \text{ (B)}$$

当采用 2 相调制时信息速率

$$R_b = \sum_{i=1}^k \frac{1}{T_i} \log_2 M = \sum_{i=1}^1 \frac{1}{833 \times 10^{-6}} \log_2 2 = 1200 \text{ (bit/s)}$$

可以看出，8 相调制时单位调制信号波包含 3bit 的信息量。同理，4 电平时单位调制信号波（或每个信号码元）包含 $\log_2 4 = 2\text{bit}$ 的信息量等等。因此式 (1-2) 可以转化为

$$R_b = \sum_{i=1}^k R_B \log_2 M \quad (1-3)$$

式中 R_B ——每秒钟传输的码元数，单位为码元/s；

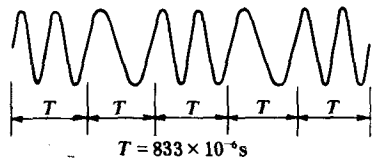


图 1-7 1200B 调频波