

计算机网络

蔡皖东 编 著



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

计 算 机 网 络

蔡皖东 编著

西安电子科技大学出版社

2 0 0 0

内 容 简 介

本书是在作者多年来为本科生和研究生讲授“计算机网络”课程的教学实践基础上,经过进一步的整理和加工而成的。本书从理论和实践相结合的角度,系统地介绍了计算机网络的基本理论和组网技术。在内容上注重新颖,尽量收录近几年发展起来的新概念、新方法和新技术;在结构上,侧重系统集成,从系统观念出发来介绍计算机网络的组成技术。因此,本书从结构到内容的取舍上都有独到之处。

本书共分七章,分别介绍了:计算机网络基础、网络体系结构、局域网、广域网、TCP/IP 协议、网络操作系统和 Internet 等内容。

本书主要作为高等院校相关专业的本科生教材,也可作为相关专业的研究生教材,同时也可供从事计算机网络应用工作的广大科技人员和网络爱好者参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/蔡皖东编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2000.11

计算机本科系列教材

ISBN 7-5606-0941-4

I. 计… II. 蔡… III. 计算机网络-高等学校-教材 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 52033 号

责任编辑 霍小齐 李纪澄

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)8227828 邮编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 西安正华印刷厂

版 次 2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 14.25

字 数 338 千字

印 数 1~6000 册

定 价 15.00 元

ISBN 7-5606-0941-4/TP·0857

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志,无标志者不得销售。

前 言

近几年来,计算机网络技术进入了前所未有的快速发展时期。新方法、新技术、新产品不断地涌现,极大地推动了社会信息化的发展进程,对知识经济产生了巨大的影响,促进了以 Internet 为基础的全球化网络经济的迅猛发展。

计算机网络技术起源于 70 年代末期,经过 20 多年的发展已日趋成熟。以计算机网络为基础的分布式应用也日趋多样化和综合化,尤其是近年来相继出现的各种分布式多媒体应用系统,如多媒体会议系统、视频电视点播系统、远程教育系统、远程医疗系统、虚拟现实系统等,在丰富人机交互的形式和内容的同时,也对网络系统的性能提出了很高的要求,推动着网络技术朝着更快、更高和更强大的目标发展,以满足人们对网络服务质量(QoS)的需求。

近几年,在分布式应用,尤其在分布式多媒体应用的强力驱动下,计算机网络技术有了很大的发展,主要表现为如下特征:

- 网络高速化。计算机网络的传输速率已由过去的 10 Mb/s 提高到现在的 100 Mb/s、1 Gb/s 乃至 10 Gb/s,这些高速网络为数据通信提供了很大的网络带宽,以满足多媒体通信的高带宽需求。

- 网络交换化。以交换机为核心的交换式网络已成为支持多媒体通信的网络基础,它改变了传统网络共享介质的缺陷,可以大大降低网络延迟,以满足多媒体通信的低延迟需求。

- 服务个性化。网络系统提供了有效的管理手段和 QoS 支持机制,能够根据应用需求来配置网络资源,提供个性化服务,以满足网络应用对网络服务质量的需求。

从网络体系结构的角度来看,ISO 的 OSI 参考模型将网络系统划分成七层结构。它们分别是物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层,每一层都定义了一定的功能和向上层提供的服务。ISO 的 OSI 参考模型为研究、设计与实现计算机网络系统提供了功能上和概念上的框架结构和理论模型,为制定有关网络协议和标准提供了“参照基准”。

从网络系统组成的角度来看,一个实际的网络系统主要由网络硬件系统、网络操作系统和网络应用系统三大部分组成,网络硬件系统构成了网络基础结构,网络操作系统提供了集成化的网络平台,网络应用系统则建立了网络应用环境和服务。

因此,本书在内容的安排和组织上,没有采用常规的按照 OSI 参考模型七层结构逐层次地介绍网络技术的方法,而是以 OSI 参考模型为主线,从系统集成的角度来介绍各种网络系统的基本原理和组网技术,使读者在学习计算机网络基本理论的同时,也掌握了网络系统的组成技术,尽量避免理论与实际相脱节,达到事半功倍的学习效果。

全书共分七章。第 1 章介绍了计算机网络基础知识,包括数据通信技术、数据交换技术、传输介质、拓扑结构及网络体系结构与标准化等内容。第 2 章介绍了网络体系结构,包括物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层的服务功能和控制算法。第 3 章介绍

了局域网技术,包括各种以太网、令牌环网络、FDDI 网络、100VG - AnyLAN 网络、交换式网络以及局域网互连技术等内容。第 4 章介绍了广域网技术,包括 X.25 分组交换网络、帧中继网络、ISDN 网络、ATM 网络以及网络互连技术等内容。第 5 章介绍了 TCP/IP 通信协议集中的网络接口、网际层、传送层和应用层协议。第 6 章介绍了网络操作系统的工作模型、网络通信环境、网络安全性、网络可靠性、网络服务、网络管理以及构造网络系统的基本步骤。第 7 章介绍了 Internet 及其应用,包括 Internet 中主要网络、Internet 接入方式、Internet 地址、Internet 域名系统、Internet 服务系统、Internet 防火墙和 Internet 电子商务等内容。

本书是在作者多年来为本科生和研究生讲授“计算机网络”课程教学实践和经验的基础上编写而成的。根据计算机网络技术发展迅速的特点,在注意保持内容系统性和完整性的同时,对那些在实际中已被逐渐淘汰的网络技术不作介绍,并试图从系统组成的视角来介绍计算机网络实用技术,同时尽量介绍一些新概念、新方法和新技术,读者在系统地学习理论知识的同时,还能够了解到这一技术的前沿和发展趋势,并从中得到启迪和帮助。书中每一章都配有习题,可供读者学习时练习使用。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,欢迎广大读者批评指正。

作 者

于新千年初秋

目 录

第 1 章 计算机网络概论	1	2.6 应用层	63
1.1 引言	1	习题	64
1.2 数据通信技术	2	第 3 章 局域网	66
1.2.1 数据通信的基本概念	2	3.1 引言	66
1.2.2 数据编码技术	4	3.2 以太网	68
1.2.3 多路复用技术	8	3.2.1 CSMA/CD 介质访问控制方法	68
1.2.4 通信操作方式	10	3.2.2 10 Mb/s Ethernet	73
1.2.5 通信同步方式	10	3.2.3 100 Mb/s Ethernet	78
1.2.6 差错控制与处理	12	3.2.4 Gigabit Ethernet	81
1.3 数据交换技术	13	3.3 令牌环网络	83
1.4 传输介质	16	3.3.1 Token Ring 介质访问 控制方法	83
1.4.1 有线介质	17	3.3.2 Token Ring 物理层规范	86
1.4.2 无线介质	18	3.3.3 网络组成技术	87
1.5 拓扑结构	19	3.4 FDDI 网络	88
1.6 网络体系结构与标准化	21	3.4.1 FDDI 介质访问控制方法	89
习题	25	3.4.2 FDDI 物理层规范	91
第 2 章 网络体系结构	27	3.4.3 FDDI 站管理功能	93
2.1 引言	27	3.4.4 网络组成技术	93
2.2 物理层	27	3.5 100VG - AnyLAN 网络	94
2.2.1 物理层接口标准	28	3.5.1 100VG - AnyLAN 介质访问 控制方法	94
2.2.2 物理层接口标准举例	29	3.5.2 100VG - AnyLAN 物理层 规范	96
2.2.3 调制解调器	31	3.5.3 网络组成技术	97
2.3 数据链路层	34	3.6 交换式网络	97
2.3.1 HDLC 通信规程	35	3.6.1 交换机的技术特性	98
2.3.2 IEEE 802 LLC 协议	39	3.6.2 虚拟网络	99
2.3.3 流量控制算法	42	3.6.3 交换网络组成技术	100
2.3.4 差错控制算法	44	3.7 局域网互连	102
2.4 网络层	48	3.7.1 中继器	102
2.4.1 数据传输服务	48	3.7.2 网桥	102
2.4.2 路由选择算法	49	习题	105
2.4.3 拥塞控制算法	57	第 4 章 广域网	107
2.5 传输层	60	4.1 引言	107
2.5.1 数据传输服务	60	4.2 分组交换网络	107
2.5.2 建立连接	61		
2.5.3 释放连接	62		
2.5.4 流量控制	63		
2.5.5 多路复用	63		

4.2.1 X.25 建议	108	第 6 章 网络操作系统	170
4.2.2 分组交换网的组成及 用户接入	114	6.1 引言	170
4.2.3 中国公用分组交换网 (CHINAPAC)	115	6.2 网络工作模型	171
4.2.4 中国公用数字数据网 (CHINADDN)	118	6.3 网络通信环境	171
4.3 帧中继网络	119	6.3.1 NetWare 网络通信环境	171
4.3.1 帧中继的基本原理	120	6.3.2 Windows NT 网络通信环境	173
4.3.2 帧中继网的组成及 用户接入	123	6.4 网络安全性	175
4.3.3 帧中继业务应用	124	6.4.1 NetWare 网络安全性措施	175
4.4 ISDN 网络	124	6.4.2 Windows NT 网络安全性 措施	176
4.4.1 ISDN 的组成	125	6.5 网络可靠性	179
4.4.2 ISDN 的业务功能	128	6.5.1 NetWare 网络可靠性措施	179
4.5 ATM 网络	129	6.5.2 Windows NT 网络可靠性 措施	182
4.5.1 B-ISDN 参考模型	130	6.6 网络服务	184
4.5.2 ATM 网络组成技术	135	6.7 网络管理	185
4.6 网络互连	142	6.8 构造网络系统	187
4.6.1 网络互连模式	142	习题	188
4.6.2 路由器分类和应用	143	第 7 章 Internet 及其应用	189
习题	145	7.1 引言	189
第 5 章 网络通信协议	147	7.2 Internet 中主要网络	190
5.1 引言	147	7.3 Internet 接入方式	191
5.2 网络接口	148	7.4 Internet 地址	192
5.3 网际层	148	7.5 Internet 域名系统	194
5.3.1 IP 地址	148	7.6 Internet 服务系统	196
5.3.2 ARP 协议和 RARP 协议	150	7.6.1 Telnet 服务	197
5.3.3 IP 协议	152	7.6.2 E-mail 服务	198
5.3.4 IP v6 协议	155	7.6.3 FTP 服务	200
5.3.5 ICMP 协议	159	7.6.4 Gopher 服务	202
5.4 传送层	162	7.6.5 WWW 服务	205
5.4.1 TCP 协议	162	7.7 Internet 防火墙	208
5.4.2 UDP 协议	167	7.8 Internet 电子商务	213
5.4.3 传输层端口	167	7.8.1 电子商务模型	214
5.5 应用层	168	7.8.2 电子商务安全问题	215
习题	168	7.8.3 Internet 商务标准	217
		习题	220
		参考文献	222

第1章 计算机网络概论

1.1 引言

在信息化社会中,计算机已从单一使用发展到群集使用。越来越多的应用领域需要计算机在一定的地理范围内联合起来进行群集工作,从而促进了计算机和通信这两种技术紧密结合的结合,形成了计算机网络这门学科。

计算机网络是指把若干台地理位置不同且具有独立功能的计算机,通过通信设备和线路相互连接起来,以实现信息传输和资源共享的一种计算机系统。

也就是说,计算机网络是将分布在不同地理位置上的计算机通过有线的或无线的通信链路连接起来,不仅能使网络中的各个计算机(或称为节点)之间相互通信,而且还能共享某些节点(如服务器)上的系统资源。所谓系统资源包括硬件资源(如大容量磁盘、光盘以及打印机等),软件资源(如语言编译器、文本编辑器、工具软件及应用程序等)和数据资源(如数据文件和数据库等)。

对于用户来说,计算机网络提供的是一种透明的传输机构,用户在访问网络共享资源时,可不必考虑这些资源所在的物理位置。为此,计算机网络通常是以网络服务的形式来提供网络功能和透明性访问的。主要的网络服务有:

- 文件服务。它为用户提供各种文件的存储、访问及传输等功能。对于不同的文件,可以设置不同的访问权限,维护网络的安全性。这是一项最重要的网络服务。

- 打印服务。它为用户提供网络打印机的共享打印功能。它使得网络用户能够共享由网络管理的打印机。例如,每个网络用户都需要使用激光打印机输出高质量的文档。由于价格原因,不可能也不必每一台计算机都配备激光打印机。而网络可以将某一台激光打印机作为网络打印机,使每个用户都能共享这台激光打印机,执行打印输出任务。

- 电子函件服务。它为用户提供电子函件(E-mail)的转发和投递功能。电子函件是一种无纸化的电子信函,具有传递快捷、准确等优点,已成为一种现代化的个人通信手段。

- 信息发布服务。它为用户提供公众信息的发布和检索功能。例如,时事新闻、天气预报、股票行情、企业产品宣传以及导游、导购等公众信息的发布与远程检索。

网络服务还有很多种,如电视会议、电子报刊、新闻论坛、实时对话、布告栏等,并且,新的网络服务还在不断地被开发出来,以满足人们对网络服务的不同需求。

一个计算机网络系统主要由以下几个部分组成:

- ① 网络通信系统。它提供节点间的数据通信功能,这涉及到传输介质、拓扑结构以及介质访问控制等一系列核心技术,决定着网络的性能,是网络系统的核心和基础。

② 网络操作系统。它对网络资源进行有效管理,提供基本的网络服务、网络操作界面、网络安全性和可靠性措施等,是实现用户透明性访问网络必不可少的人-机(网络)接口。

③ 网络应用系统。它是根据应用要求而开发的基于网络环境的应用系统。例如,在机关、学校、企业、商业、宾馆、银行等各行各业中所开发的办公自动化、生产自动化、企业管理信息系统、决策支持系统、医疗管理服务系统、电子银行服务系统、辅助教学系统、电子商务系统等各种应用系统。

计算机网络按各个节点分布的地理范围分类,可分成局域网 LAN(Local Area Network)和广域网 WAN(Wide Area Network),两者的主要差别在于通信距离和传输速率。通常,局域网的通信距离一般限于几公里之内,传输速率为 10 Mb/s~1 Gb/s。广域网的通信距离可达几十公里、几百公里,甚至遍及世界,过去传输速率比较低,一般为 64 kb/s~2 Mb/s;而现在以光纤为介质的新型高速广域网可以提供 Gb/s 级传输速率。在一般情况下,局域网主要用来构造一个单位的内部网。例如,学校的校园网,企业的企业网等。它们属于该单位所有,单位拥有自主管理权,并且网络以资源共享为主要目的。广域网主要是指公用数据通信网,一般由国家委托电信部门建造、管理和经营,以数据通信为主要目的。

自 1969 年世界上第一个计算机网络 ARPANET 在美国诞生后,经过 30 多年的发展,取得了惊人的成就,已成为社会信息化的重要支柱。尤其是近几年,无论是局域网还是广域网,在技术水平和应用规模上都跃上了一个新台阶。从我国实施的金桥(国家公用经济网)工程、金卡(电子货币)工程、金关(国家外贸信息管理系统)工程、金卫(国家医疗卫生信息管理系统)工程等金字号信息化工程,到 Internet 的兴起,都充分显示了计算机网络在社会信息化中的巨大作用和良好的发展前景。

1.2 数据通信技术

1.2.1 数据通信的基本概念

数据通信是指通过数据通信系统将数据以某种信号方式从一处安全、可靠地传送到另一处。数据通信包括数据传输和数据在传输前后的处理。这里涉及到以下几个基本概念。

1. 数据

数据被定义为有意义的实体。数据涉及到事物的形式,而信息涉及的则是数据的内容和解释。数据有模拟数据和数字数据两种形式。

模拟数据是指在某个区间产生的连续的值。例如,声音和视频图像、温度和压力等都是连续变化的值。

数字数据是指产生的离散的值。例如,文本信息和整数数列。

2. 信号

信号是数据的表示形式,或称数据的电磁或电子编码;它使数据能以适当的形式在介质上传输。信号也有如下的模拟信号和数字信号两种基本形式。

模拟信号是在一定的数值范围内可以连续取值的信号,是一种连续变化的电信号(例如,某些物理量的测量结果,模拟计算机的输出)。这种电信号可以按照不同频率在各种介

质上传输。

数字信号是一种离散的脉冲序列(例如,计算机的输出,数字仪表的测量结果)。它用恒定的正电压和负电压来表示二进制的1和0值,这种脉冲序列可以按照不同的位速率在有线介质上传输。

3. 传输

数据传输是指用电信号把数据从发送端传送到接收端的过程。传输信道为数据信号从发送端传送到接收端提供了物理通路。传输信道可能是由同轴电缆、光纤、双绞线等构成的有线线路,也可能是由卫星和地面微波站等构成的无线线路,还可能是有线线路和无线线路的结合。传输信道给数据信号传输提供了通路,又会引入噪声和干扰,使信号发生畸变,可能造成数据传输的差错。由于传输信道的传输介质特性不同,还会使信息的传输速率受到一定的限制。

模拟数据和数字数据都可以用模拟信号和数字信号来表示,因此也可以用这两种形式来传播。

一般来说,模拟数据是时间的连续函数,并且占有一定的频谱范围。这种数据可以直接用占有相同频谱范围的电信号来表示。典型的例子是模拟电话传输系统。

作为声波,其声音数据的频率范围是20 Hz~20 kHz。然而,大多数语音能量集中在300~3 400 Hz的范围内,比上述范围要窄得多。对于要清楚地辨别传播的声音来说,这个较窄的声频范围已经足够了。所以,话音信号的标准频率是300~3 400 Hz。电话传输系统中的电话设备以及电话线路都是依据这一频率范围而设计的。人的声音通过电话机产生频率为300~3 400 Hz的电信号,经过电话线和电话交换设备传输到另一端的电话机,再把电信号还原成原来的声音。

数字数据也可以用模拟信号来表示,以便在模拟信道上进行传输。这时要使用调制解调器(Modem),将数字数据调制成与模拟信道特性相匹配的模拟信号进行传输。Modem的作用是通过一个载波频率把二进制电压脉冲序列调制转换成模拟信号,使这些数据能够适合在音频电话线路上传输。在线路的另一端,再由Modem把模拟信号解调还原成原来的数据。

数字数据可直接表示成数字信号进行传输。但为了使信号适宜于在信道上传播,通常需要对二进制数据进行编码,即使用编码解码器(Codec)将二进制数据编码成适合于传输的数字信号形式。接收端的Codec再把信号解码成原来的数据。

模拟信号和数字信号都可以在合适的传输介质上传输,但两者在传输上是有一定差别的。

模拟传输是一种不考虑信号内容的信号传输方法。信号可以表示模拟数据或表示数字数据。无论是何种情况,在传输一定的距离之后,模拟信号都会衰减和畸变。为了实现长距离的传输,在模拟传输系统中使用放大器来增强信号的能量,但同时也放大了信号中的噪声分量。其结果会导致信号发生畸变,严重时会造成传输错误。

数字传输与信号的内容有关。同样,长距离的传输会使信号衰减和畸变,将会严重地影响数据的完整性,故数字信号只能在一个有限的距离内传输。为了延长传输距离,数字传输系统则使用中继器(Repeater)来克服衰减和畸变。中继器将接收数字信号,经过整形恢复后,再将信号以新的面目发送出来,从而克服了信号的畸变和衰减。

在局域网中,主要采用数字传输技术。在广域网中,过去以模拟传输为主。随着光纤通信技术的发展,广域网中越来越多地采用数字传输技术,它在传输成本和质量上都优于模拟传输。

4. 传输速率

数据传输速率是指每秒钟所能传输的位数,可用 b/s(位/秒)来表示,它可按下式计算:

$$S = \frac{1}{T} \lg n$$

式中, T 为脉冲宽度(全宽码情况)或脉冲重复周期(归零码情况); n 为一个脉冲所表示的有效状态,即调制电平数; $\lg$ 是 $\log_2$ 的符号表示。

对于在数据传输系统中普遍采用的单位脉冲,只有两个有效状态,即 $n=2$ 。这时,其传输速率为:

$$S = \frac{1}{T} \lg 2 = \frac{1}{T}$$

该式表示每秒传输的位数等于单位脉冲的重复频率。

另一种度量传输速度的单位是波特,也称调制速率。它反映了数据经过调制后的传输速率,也就是数据在调制过程中调制状态的每秒转换次数。调制速率为:

$$B = \frac{1}{T}$$

它与传输速率的关系为

$$S = B \lg n$$

在二元制调制方式中, $S=B=1/T$ 。习惯上两者可以通用。在多元制调制方式中,两者是有区别的。例如,对于 2 400 b/s 的四相调制解调器,采用 $T=833 \times 10^{-6}$ s 的单位脉冲,该脉冲与两位组合的双位相对应,且状态数 $n=4$ 。因此用传输位数表示的数据传输速率为:

$$S = \frac{1}{T} \lg 4 = \frac{2}{833 \times 10^{-6}} = 2\,400 \text{ b/s}$$

而用传输过程中调制次数来表示调制速率时,则有

$$B = \frac{1}{T} = \frac{1}{833 \times 10^{-6}} = 1\,200 \text{ b/s}$$

可见,在多相调制方式中,传输速率和调制速率是不相同的。

1.2.2 数据编码技术

数据编码是将数据表示成适当的信号形式,以便于数据的传输和处理。在数据传输系统中,主要采用如下三种数据编码技术:

- 数字数据的模拟信号编码;
- 数字数据的数字信号编码;
- 模拟数据的数字信号编码。

1. 数字数据的模拟信号编码

这种编码方式是将数字数据调制成模拟信号进行传输。通常被调制的数字数据用三种载波特性(振幅、频率和相位)之一来表示并由此产生三种基本调制方式, 参见图 1.1。

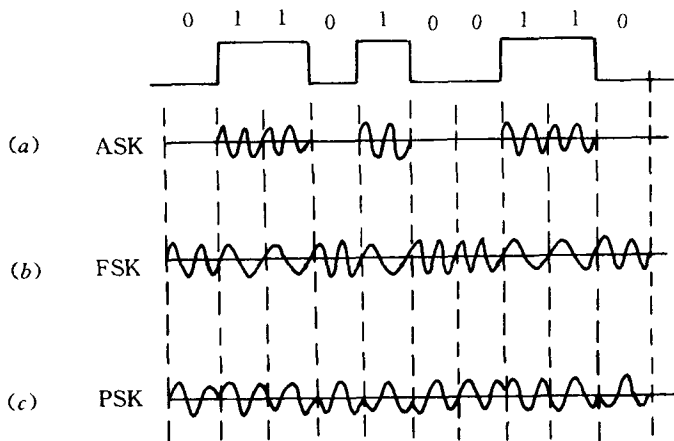


图 1.1 基本调制方式
(a) ASK; (b) FSK; (c) PSK

(1) 幅移键控法 ASK

ASK (Amplitude Shift Keying) 是用载波频率的两个不同振幅来表示两个二进制值, 参见图 1.1(a)。在有些情况下, 用振幅恒定载波的存在与否来表示两个二进制字。ASK 方式易受增益变化的影响, 是一种效率较低的调制技术。在音频电话线路上, 通常只能达到 1 200 b/s 的传输速率。

(2) 频移键控法 FSK

FSK (Frequency Shift Keying) 是用载波频率附近的两个不同频率来表示两个二进制值, 参见图 1.1(b)。这种调制方式不易受干扰的影响, 比 ASK 方式的编码效率高。在音频电话线路上, 其传输速率为 1 200 b/s 或更高。

(3) 相移键控法 PSK

PSK (Phase Shift Keying) 是用载波信号的相位移动来表示二进制数据, 参见图 1.1(c)。在 PSK 方式中, 信号相位与前面信号串同相位的信号表示 0, 信号相位与前面信号串反相位的信号表示 1。PSK 方式也可以用于多相的调制, 如在四相调制中可把每个信号串编码为两位。PSK 方式具有较强的抗干扰能力, 而且比 FSK 方式编码效率更高。在音频线路上, 传输速率可达 9 600 b/s。

这些基本调制技术也可以组合起来使用。常见的组合是 PSK 和 FSK 方式的组合及 PSK 和 ASK 方式的组合。

2. 数字数据的数字信号编码

对于传输数字信号来说, 最普通且最容易的方法是用两个不同的电压值来表示两个二进制值。例如, 用无电压来表示 0, 用恒定的正电压表示 1; 也可用正电压表示 1, 而用负电压表示 0。常用的数字信号编码有不归零 NRZ (Non Return to Zero)、曼彻斯特 (Manchester) 编码及差分曼彻斯特 (Differential Manchester) 编码, 参见图 1.2。

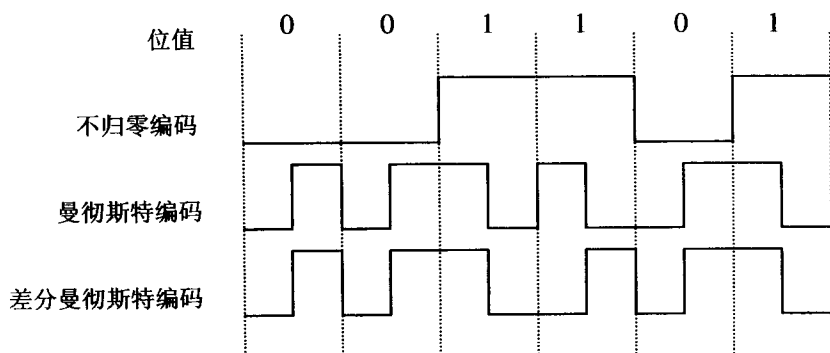


图 1.2 常用的数字信号编码

(1) NRZ 编码

在 NRZ 编码中, 用正电压表示 1, 用负电压表示 0, 并且在表示一个码元时, 电压均无需回到零, 故称不归零码。NRZ 编码的特点是一种全宽码, 即一位码元占一个单位脉冲的宽度。全宽码的优点: 一是每个脉冲宽度越大, 发送信号的能量就越大, 这对于提高接收端的信噪比有利; 二是脉冲时间宽度与传输带宽成反比关系, 即全宽码在信道上占用较窄的频带, 并且在频谱中包含了码位的速度。

NRZ 编码的主要缺点是: 当出现连续 0 或连续 1 时, 首先是难以分辨一位的结束和另一位开始, 这需要通过某种方法在发送端和接收端提供同步或定时; 其次是会产生直流分量的积累问题, 这将导致信号的失真与畸变, 使传输的可靠性降低, 并且由于直流分量的存在, 使得无法使用一些交流耦合的线路和设备。因此, 过去大多数数据传输系统都不采用这种编码方式。

近年来, 随着 100 Mb/s 及更高速率网络技术的发展, NRZ 编码受到人们的关注, 并成为主流编码技术, 在 FDDI、100BASE-T 及 100VG-AnyLAN 等高速网络中都采用了 NRZ 编码。其原因是在高速网络中要求尽量降低信号的传输带宽, 以利于提高传输的可靠性和降低对传输介质带宽的要求。而 NRZ 编码中的码元速率与编码时钟速率相一致, 具有很高的编码效率, 符合高速网络对信号编码的要求。至于当出现连续 0 或连续 1 时所产生的同步和直流分量积累问题, 主要通过加一级预编码器来解决。也就是, NRZ 并非单独应用, 而是采用两级编码方案。第一级是采用如 4B5B、5B6B 等预编码器(在有关章节中介绍), 对数据流进行预编码, 使编码后的数据流不会出现连续 0 或连续 1; 然后再进行第二级的 NRZ 编码, 实现物理信号的传输。这种两级编码方案, 在增加 1 个编码位的情况下, 其编码效率仍可达到 80% 以上。

(2) 曼彻斯特编码

在曼彻斯特编码中, 用一个码元中间电压跳变的相位不同来区分 1 和 0, 即用正的电压跳变表示 0; 用负的电压跳变表示 1。因此, 这种编码也称为相位编码。由于电压跳变都发生在每一个码元的中间, 接收端可以方便地利用它作为位同步时钟, 因此这种编码也称为自同步编码。

10 Mb/s 以太网(Ethernet)采用的是这种曼彻斯特编码。

(3) 差分曼彻斯特编码

差分曼彻斯特编码是曼彻斯特编码的一种修改格式。其不同之处在于：每位的中点跳变只用于作同步时钟信号；而 0 和 1 的取值判断是用位的起始处有无跳变来表示（若有跳变则为 0；若无跳变则为 1）。这种编码的特点是每一位均用不同电平的两个半位来表示，因而始终能保持直流的平衡。这种编码也是一种自同步编码。

令牌环(Token Ring)网采用的是这种差分曼彻斯特编码。

这两种曼彻斯特编码主要用于中速网络(Ethernet 为 10 Mb/s; Token Ring 最高为 16 Mb/s)中，而高速网络并不采用曼彻斯特编码技术。其原因是它的信号速率为数据速率的两倍，即对于 10 Mb/s 的数据速率，则编码后的信号速率为 20 Mb/s，编码的有效率为 50%。对于 100 Mb/s 的高速网络来说，200 Mb/s 这样高的信号速率无论对传输介质的带宽的要求，还是对传输可靠性的控制都未免太高，将会增加信号传输技术的复杂性和实现成本，难以推广应用。因此，高速网络主要采用两级的 NRZ 编码方案。而中速网络采用曼彻斯特编码方案，尽管它增加了传输所需的带宽，但在实现上简单易行。

3. 模拟数据的数字信号编码

在数字化的电话交换和传输系统中，通常需要将模拟的话音数据编码成数字信号后再进行传输。这里常用的是一种称为脉冲编码调制 PCM(Pulse Code Modulation) 的编码技术。PCM 编码是以下面的采样定理为基础的。

采样定理：如果在规定的时间内，以有效信号 $f(t)$ 最高频率的两倍或两倍以上速率对该信号进行采样的话，则这些采样值中就包含了无混叠而又便于分离的全部原始信号信息。利用低通滤波器可以不失真地从这些采样值中重新构造出 $f(t)$ 。

PCM 原理如图 1.3 所示。在信号源端，模拟信号 $x(t)$ 经过反混叠滤波器和采样器处理后变换成脉冲调幅信号 $x(n)$ ，然后送入量化器进行均匀分层量化，再经过编码器将量化后的脉冲信号用一组二进制码 $c(n)$ 来表示并输出。在接收端，PCM 解码器将接收信号 $c'(n)$ 解码成 $y'(n)$ ，经过逆量化器和平滑滤波器就可建立重建信号 $x'(t)$ ， $x'(t)$ 和 $x(t)$ 之差就是量化误差。

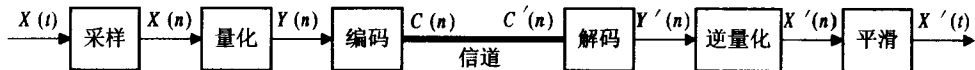


图 1.3 PCM 原理框图

话音数据的最高频率通常为 3 400 Hz。如果以 8 000 Hz 的采样频率对话音信号进行采样的话，则在采样值中包含了话音信号的完整特征。由此而还原出的话音是完全可理解和可识别的。

对于每一个采样值还需要用一个二进制代码来表示，二进制代码的位数代表了采样值的量化精度。话音信号通常采用 8 位二进制代码来表示一个采样值。这样，对话音信号进行 PCM 编码后所产生的数据传输速率为

$$8 \text{ bit} \times 8\,000 \text{ 次采样/秒} = 64\,000 \text{ b/s} = 64 \text{ kb/s}$$

PCM 编码不仅可用于数字化话音数据，还可用于数字化图像等模拟数据。例如，彩色电视信号的带宽为 4.6 MHz，采样频率应为 9.2 MHz。如果采用 10 位二进制编码来表示

每个采样值,则可以满足图像质量的要求。这样,对电视图像信号进行 PCM 编码后所达到的数据速率为 92 Mb/s。

1.2.3 多路复用技术

无论是广域网还是局域网,都存在这样一个事实,即传输介质的带宽大于传输单一信号所需的带宽。为了有效地利用传输系统,通常采用多路复用(Multiplexing)技术以同时携带多路信号来高效率地使用传输介质。多路复用主要有两种:频分多路复用 FDM(Frequency Division Multiplexing)和时分多路复用 TDM(Time Division Multiplexing)。

1. FDM

FDM 是基于这样的前提:传输介质的可用带宽必须超过各路给定信号所需带宽的总和。如果将这各路信号中的每路信号都以不同的载波频率进行调制,而且各路载波频率之间留有一定的间隔以使各路信号带宽不相互重叠,那么这些信号就可同时在介质上传输。

FDM 的一般情况如图 1.4(a)所示。在图中,6 路信号源输入到一个多路复用器中,这个多路复用器以不同的频率调制每一个信号。每一路信号需要一个以它的载波频率为中心的一定带宽,图中的 $f_1 \sim f_6$ 便是对应于 6 路信号各自要求的带宽,即 6 路信道。为了防止各路信道之间的干扰,相邻的信道之间用保护带隔离开。保护带是带宽中不用的部分。 $f_1 \sim f_6$ 以及各个保护带宽之和要小于或等于传输介质的可用带宽。

例如,假设传输介质的可用带宽为 70 MHz,每路信号带宽为 10 MHz。如果采用 FDM 同时传输 6 路信号,则各路信号带宽分配如下: $f_1=0 \sim 10$ MHz, $f_2=11 \sim 21$ MHz, $f_3=22 \sim 32$ MHz, $f_4=33 \sim 43$ MHz, $f_5=44 \sim 54$ MHz, $f_6=55 \sim 65$ MHz。其中各路信道之间的保护带宽为 1 MHz。

当携带多路信号的载波通过传输介质传送到另一端的多路复用器后,再解调(还原)成各个单路信号,输出到各自对应的输出线上。

2. TDM

TDM 是基于这样的前提:传输介质能达到的位传输率应超过各路传输数字信号所需的数据传输率的总和。如果每个信号按时间先后轮流交替地使用单一信道,那么,多个数字信号的传输便可在宏观上同时进行。对单一信道的交替使用可以按位、字节或块等单位来进行。在图 1.4(b)中,多路复用器有 6 路输入,设每路输入为 9 600 b/s,具有 57.6 kb/s 传输带宽的传输介质便可以传输这 6 路信号。具体的实现方法是:规定传送一个数据单元所需要的时间为一个时间片,每个输入端一次传送一个数据单元,6 个时间片便可将 6 个输入端轮流输入一次,这 6 个时间片便构成了一帧(Frame)。对于某一 TDM,帧长是固定的,即帧所拥有的时间片数等于输入的个数。若在某个时间片内,对应的输入端没有数据要发送,则在该时间片内发送空信号。所以 6 路输入信号是平均分配使用高速传输介质的。与 FDM 类似,专用于某一特定信号源的时间片序列称为它的信道。

TDM 又分为同步 TDM 和异步 TDM。图 1.4(b)所示的 TDM 方案称为同步 TDM。它的每个时间片长度固定且预先指定,因而从各个信号源的发送是定时同步的。与此相反,异步 TDM 允许动态地分配使用传输介质的时间。

在同步 TDM 中,如果某个时间片对应的装置无数据发送,则该时间片便空闲不用,造成信道容量的浪费,并且传输介质的传输带宽不能低于各个输入信号的数据速率之和。

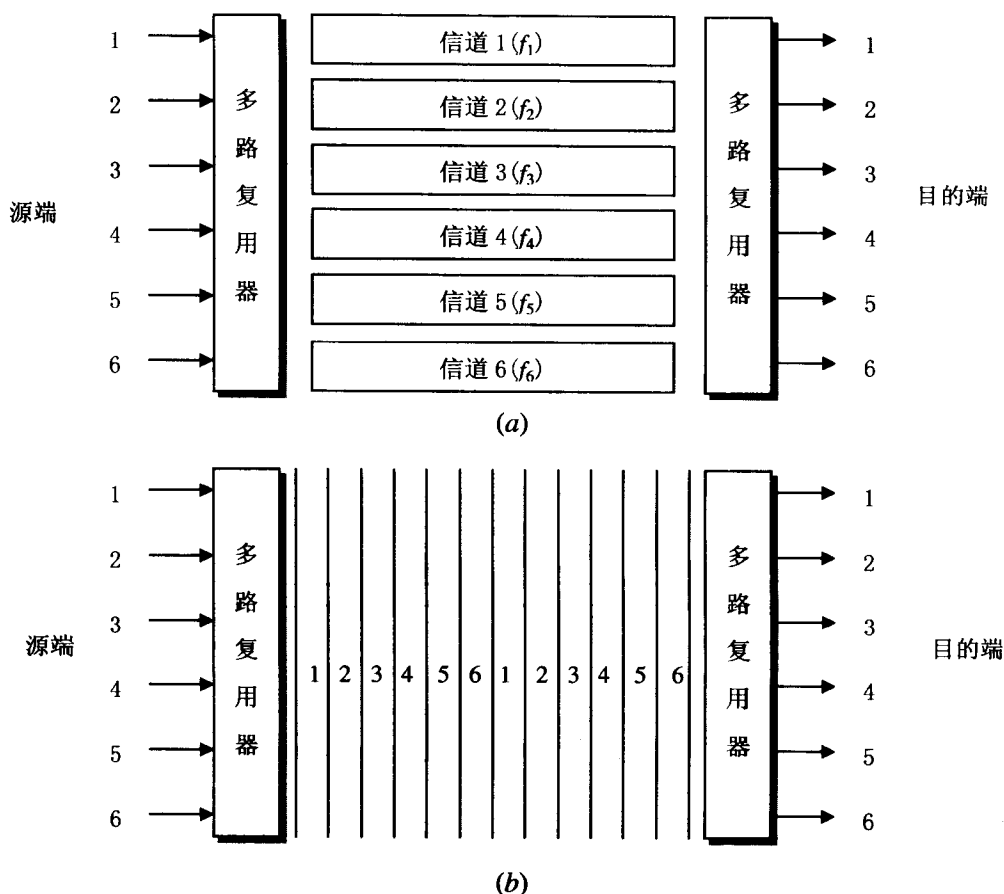


图 1.4 多路复用
(a) FDM ; (b) TDM

在异步 TDM 中, 时间片是按需动态分配的, 即在输入端有数据要发送时, 才分配时间片。并且传输介质的传输带宽只要不低于各个输入信号的平均数据速率即可, 这提高了传输介质的利用率。同时, 异步 TDM 中的时间片与输入装置之间没有一一对应的关系, 任何一个时间片都可以被用于传输任一路输入信号。这样, 在传输的数据单元中必须包含有地址信息, 以便寻址目的节点。因此, 在每个时间片里会增加一些额外的传输开销。异步 TDM 又称为统计 TDM(STDM)。

TDM 并不仅仅局限于传输数字信号, 模拟信号也可以在时间上交替传输。对于模拟信号, TDM 和 FDM 可以组合起来使用。一个传输系统可先频分成许多 FDM 信道, 每个信道再按 TDM 进行时分复用。在有些宽带局域网中就使用了这种技术。

引入多路复用概念之后, 我们对传输介质和信道之间的关系和区别有了更清楚的认识。传输介质与信道是不同范畴的概念。传输介质是指传送信号的物理实体, 而信道则提供了传送某种信号所需的带宽, 着重体现介质的逻辑功能。一个传输介质可能同时提供多个信道, 一个信道也可能由多个传输介质级联而成。

1.2.4 通信操作方式

一个通信系统至少由三部分组成：发送器、传输介质和接收器。发送器产生信息，经传输介质传送给接收器，这样便完成了信息从一端向另一端的传送。根据信息传输方向与时间关系，可以分为下列三种通信操作方式：单工、半双工和全双工，参见图 1.5。

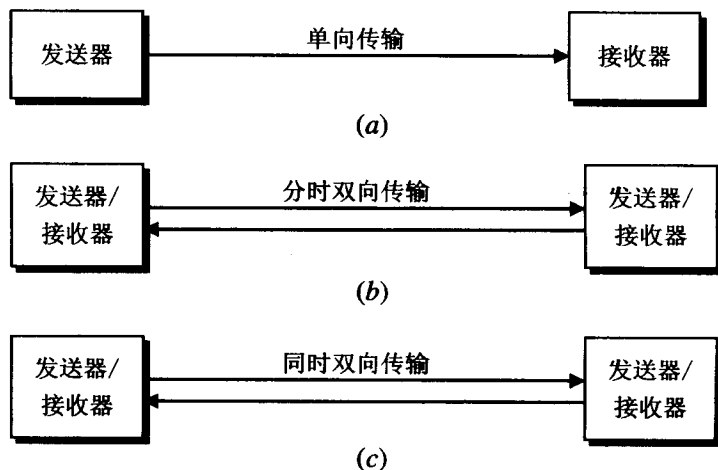


图 1.5 通信操作方式
(a) 单工方式；(b) 半双工方式；(c) 全双工方式

1. 单工通信

在单工通信操作方式中，发送器和接收器之间只有一个传输通道，信息单方向地从发送器传输到接收器。计算机和输出设备（如打印机或显示器）之间的通信大都采用单工方式进行操作。

2. 半双工通信

在半双工通信操作方式中，两个设备之间有两个传输通道，可以分时轮流进行双向的信息传输，在某一时刻只能沿着一个方向传输信息。每个设备都具备发送器和接收器。半双工通信方式一般用在通信设备或传输通道没有足够的带宽去支持同时双向通信，或者通信双方的通信顺序需要交替进行的场合。

3. 全双工通信

在全双工通信操作方式中，两个通信设备之间有两个传输通道，可以同时进行双向的信息传输。这种通信方式的信息通过量大，但要求传输通道以足够的带宽给予充分的支持。

1.2.5 通信同步方式

在数字数据通信中，一个最基本的要求是发送端和接收端之间以某种方式保持同步，接收端必须知道它所接收的数据流每一位的开始时间和结束时间，以确保数据接收的正确性。为此，通信双方必须遵循同一通信规程，使用相同的同步方式进行数据传输。根据通信规程所定义的同步方式，可分为异步传输和同步传输两大类。