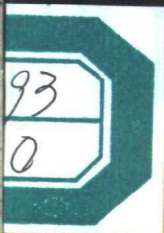
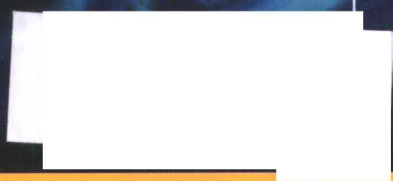
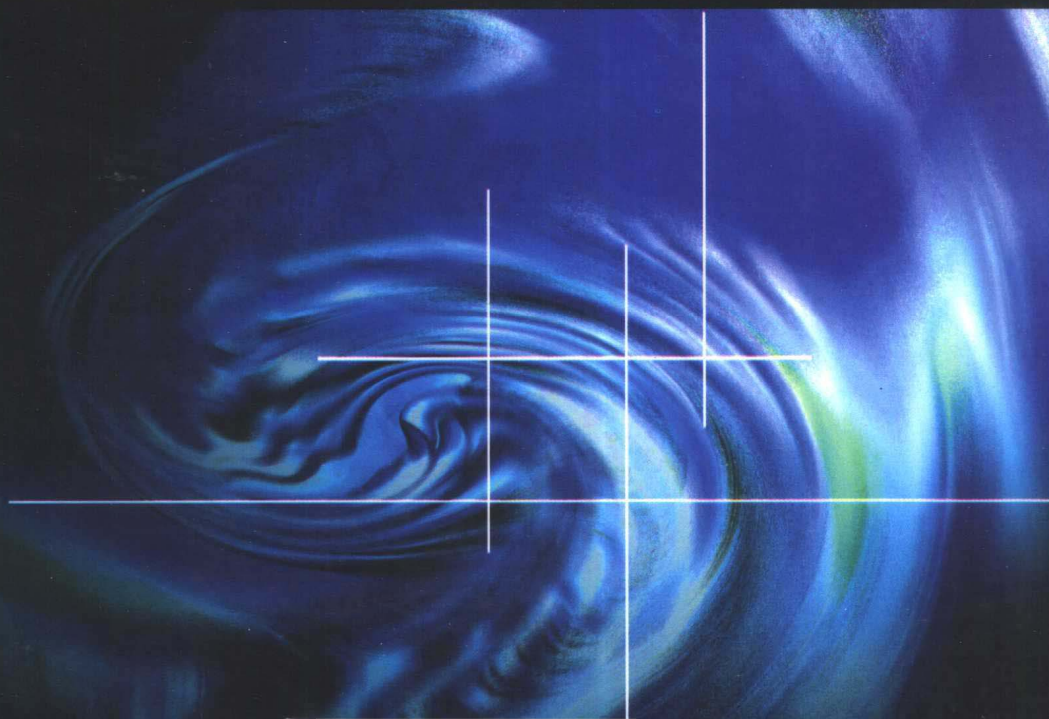


计算机网络技术

组成原理 · 系统集成 · 编程接口

◎ 蔡皖东 编著



JSJWL

西安电子科技大学出版社

计算机网络技术

组成原理 · 系统集成 · 编程接口

蔡皖东 编著

西安电子科技大学出版社

1999

内 容 提 要

本书从理论和实践相结合的角度,介绍了计算机网络的组成原理、系统集成和网络编程等技术,对近几年发展起来的新的计算机网络技术及其产品进行了更为全面和系统的介绍,因而本书具有内容新颖、实用性强、理论阐述全面系统等显著特点。

本书共分十五章,它们的内容是:计算机网络基础,以太网、令牌环网络、FDDI 网络、快速以太网、交换式网络、无线局域网、广域网、ATM 网络、网络互连技术、TCP/IP 协议、因特网(Internet)、网络操作系统、基于 IPX/SPX 协议的网络编程、基于 TCP/IP 协议的网络编程。

本书可作为高等院校相关专业的学生、研究生教材,也可作为从事计算机网络应用和研究工作的广大科技人员的参考书。

计算机网络技术

组成原理·系统集成·编程接口

蔡皖东 编著

责任编辑 霍小齐 李纪澄

西安电子科技大学出版社出版发行

地址:西安市太白南路2号 邮编:710071

西安兰翔印刷厂印刷

新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 27.75 字数 662 千字

1998年2月第1版 1999年12月第3次印刷 印数 10001—14000

ISBN 7-5606-0572-9/TP·0286

定价:36.00元

前 言

在 90 年代, 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, 为网络计算这一 90 年代新兴的计算机应用模式提供了强有力的支持, 极大地推动了社会信息化的发展进程, 已形成一种新兴的信息产业, 具有巨大的市场潜力和良好的应用前景。

目前, 计算机网络技术朝着高速化、交换式、易集成的方向发展。传统的网络, 如 Ethernet 等不仅传输速率低, 而且共享一段有冲突的介质, 它们所能提供的网络带宽越来越难以满足今后高档桌面系统及多媒体的应用对网络带宽的需求。于是, 100BASE-T、100VG-AnyLAN 及 FDDI 等 100 Mb/s 的高速网络技术和交换式网络技术便应运而生, 它们不仅能提供很高的传输速率和很大的网络带宽, 而且通过交换和互连技术可将包括传统网络在内的多种网络集成起来, 组成一个分层结构的网络环境。这些新技术为网络的应用注入了活力, 大大提高了网络面向未来应用的支持能力。另一方面, 随着网络应用范围的不断扩大, 利用广域网进行数据传输和远程网络互连将是今后网络应用的一个重要特点, 从我国所实施的金字号信息工程, 到因特网 Internet(原译作“国际互联网”)的兴起都是很好的例证。这些远程网络应用又极大地促进了广域网技术的发展, 以致出现了帧中继、ATM 等新型的广域网技术, 并逐步走向实用化。

从计算机网络应用的角度, 构造计算机网络应用系统实际上是一个系统集成过程, 这里必然涉及到网络硬件系统(如网络连接设备、网络布线等)、网络操作系统及应用环境支撑系统等配置与选型问题。系统集成并不是网络高档产品的堆积, 而是一个最佳的整体解决方案, 即根据现实的应用条件实现网络应用系统的最佳配置, 最大限度地满足用户当前和今后网络应用的需要。因此, 对于构造网络应用系统来说, 熟悉各种网络系统的组成原理、性能指标、组网规则以及相关产品等是十分重要的, 只有这样才能在众多的网络及其产品中作出最佳的选择。

网络编程技术是利用网络高层协议所提供的开放性网络接口, 面向高层次网络应用所进行的网络程序设计与开发技术。网络编程接口及功能与所选用网络操作系统中的网络传输协议有关, 如 NetWare 的基于 SPX/IPX 协议编程接口, Windows 的基于 TCP/IP 协议 WinSock 编程接口, UNIX 的基于 TCP/IP

协议 Socket 编程接口以及通用的 NetBIOS 编程接口等。这些网络编程接口不仅提供了网络程序开发所必需的编程手段,而且还有助于我们对网络协议的原理与功能的深入了解。

本书是基于上述的观念和目的而编写的,并从理论和实践相结合的角度,对各种网络系统,尤其是近几年发展起来的新型的计算机网络技术及其产品进行了全面和系统的介绍。

全书共分十五章。第 1 章主要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、ISO/OSI 参考模型及 IEEE 802 局域网标准等内容。第 2 章介绍了以太网(Ethernet)的技术规范、网络组成以及网络产品。第 3 章介绍了令牌环(Token - Ring)网络的技术规范、网络组成以及网络产品。第 4 章介绍了 FDDI 网络的技术规范、网络组成以及网络产品。第 5 章介绍了 100BASE - T 和 100VG - AnyLAN 两种快速以太网的技术规范、网络组成以及网络产品。第 6 章介绍了交换式网络中的交换式集线器结构、交换式网络的组网以及虚拟网络技术等。第 7 章介绍了无线局域网的网络标准、扩频通信系统的基本原理、无线网络的组网以及网络产品等。第 8 章介绍了广域网技术,包括物理层接口及标准、链路层通信规程、分组交换网、帧中继网络技术、ISDN 技术等内容。第 9 章介绍了 ATM 网络技术,包括 B - ISDN 参考模型、ATM 交换机、面向局域网的 ATM 网络产品以及 ATM 的应用等内容。第 10 章介绍了中继器、网桥、路由器以及网关等网络互连技术及其互连产品等。第 11 章详细介绍了 TCP/IP 协议及其功能。第 12 章介绍了 Internet 有关的连接方式、域名系统、安全性、服务系统以及 Interanet 等。第 13 章介绍了 NetWare 和 Windows NT 两种网络操作系统的系统性能和网络功能等。第 14 章介绍了基于 SPX/IPX 协议的网络编程及其实例。第 15 章介绍了基于 TCP/IP 协议的 WinSock 网络编程及其实例。

本书根据计算机网络技术的发展特点,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,而不是按照网络协议层次的划分来分散地介绍。在内容的安排上注重于系统集成的观念,并强调理论性和实用性的结合。不论是计算机网络技术的初学者,还是有一定应用经验的读者,都会从本书中得到启示和帮助。限于编者水平,书中难免存在不足之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

1997 年 8 月

目 录

第 1 章 计算机网络基础	1	5.2.1 100BASE - T 技术规范	74
1.1 引言	1	5.2.2 100BASE - T 网络组成	76
1.2 数据通信技术	2	5.2.3 100BASE - T 网络产品	77
1.2.1 数据通信的基本概念	2	5.3 100VG - AnyLAN 网络	79
1.2.2 数据编码技术	5	5.3.1 100VG - AnyLAN 技术规范	79
1.2.3 多路复用技术	8	5.3.2 100VG - AnyLAN 网络组成	84
1.2.4 通信操作方式	9	5.4 千兆位以太网 ^①	87
1.2.5 异步传输和同步传输	10	第 6 章 交换式网络	89
1.2.6 差错控制	11	6.1 引言	89
1.3 数据交换技术	12	6.2 集线器的分类与结构	90
1.4 传输介质	15	6.3 交换式集线器的实现技术	92
1.5 拓扑结构	18	6.4 交换式网络的组网	93
1.6 网络体系结构与 ISO 的 OSI 参考模型	20	6.5 虚拟网络	94
1.7 IEEE 802 局域网标准	23	第 7 章 无线局域网	100
1.7.1 介质访问控制协议	25	7.1 引言	100
1.7.2 逻辑链路控制协议	26	7.2 无线局域网标准	102
第 2 章 以太网	32	7.3 扩频通信系统的基本原理	105
2.1 引言	32	7.4 无线网络的组网	107
2.2 Ethernet 技术规范	32	7.5 无线网络产品	109
2.3 Ethernet 网络组成	38	7.6 无线网络的应用与发展	112
2.4 Ethernet 网络产品	43	第 8 章 广域网络	114
第 3 章 令牌环网络	50	8.1 引言	114
3.1 引言	50	8.2 物理层接口及标准	115
3.2 Token-Ring 技术规范	50	8.2.1 概述	115
3.3 Token-Ring 网络组成	55	8.2.2 物理层接口协议	115
3.4 Token-Ring 网络产品	57	8.2.3 物理层接口标准举例	117
第 4 章 FDDI 网络	60	8.2.4 调制解调器	120
4.1 引言	60	8.3 链路层通信规程	131
4.2 FDDI 技术规范	60	8.3.1 概述	131
4.3 FDDI 网络组成	70	8.3.2 HDLC 通信规程	132
4.4 FDDI 网络产品	71	8.4 分组交换网	137
第 5 章 快速以太网	74	8.4.1 概述	137
5.1 引言	74	8.4.2 X.25 建议	138
5.2 100BASE - T 网络	74	8.4.3 分组交换网的组成及 用户接入	142

8.4.4 中国公用分组交换网 (CHINAPAC)	143	11.4.2 UDP 协议	223
8.4.5 中国公用数字数据网 (CHINADDN)	147	11.4.3 传输层端口	224
8.5 帧中继网络	148	第 12 章 因特网——Internet	227
8.5.1 概述	148	12.1 引言	227
8.5.2 帧中继的基本原理	150	12.2 Internet 中的主要网络	228
8.5.3 帧中继网的组成及用户接入	152	12.3 Internet 的连接方式	229
8.5.4 帧中继业务应用	155	12.4 Internet 地址	230
8.6 ISDN 技术	156	12.5 Internet 的域名系统	232
8.6.1 概述	156	12.6 Internet 的安全性	234
8.6.2 ISDN 的组成	157	12.7 Internet 的服务系统	237
8.6.3 ISDN 的业务功能	160	12.7.1 Telnet 服务	237
第 9 章 ATM 网络	162	12.7.2 E-mail 服务	239
9.1 引言	162	12.7.3 FTP 服务	241
9.2 B-ISDN 参考模型	163	12.7.4 Gopher 服务	243
9.2.1 ATM 物理层	163	12.7.5 WWW 服务	246
9.2.2 ATM 层	165	12.8 Intranet	255
9.2.3 ATM 适配层	169	第 13 章 网络操作系统	258
9.2.4 各种平面的功能	170	13.1 引言	258
9.3 ATM 交换机	171	13.2 NetWare 网络操作系统	259
9.3.1 ATM 交换机结构	171	13.2.1 概述	259
9.3.2 ATM 交换机产品及性能	173	13.2.2 NetWare 网络的构成	260
9.4 面向局域网的 ATM 网络产品	177	13.2.3 NetWare 网络协议	263
9.5 ATM 的应用	178	13.2.4 NetWare 可靠性措施	267
第 10 章 网络互连技术	181	13.2.5 NetWare 安全性措施	269
10.1 引言	181	13.2.6 NetWare 目录服务	271
10.2 中继器	182	13.2.7 NetWare 基本网络服务	279
10.3 网桥	183	13.2.8 NetWare 远程连接服务	281
10.4 路由器	185	13.2.9 NetWare 的 Internet 支持功能	283
10.5 网关	202	13.3 Windows NT 网络操作系统	285
10.6 X.75 协议	203	13.3.1 概述	285
第 11 章 TCP/IP 协议	204	13.3.2 Windows NT 网络的构成	287
11.1 引言	204	13.3.3 Windows NT 网络环境	291
11.2 网络接口	205	13.3.4 Windows NT 网络的安全性	297
11.3 网际层	205	13.3.5 Windows NT 网络的可靠性	300
11.3.1 IP 地址	205	13.3.6 Windows NT Server 的信任关系 和用户组	301
11.3.2 ARP 协议和 RARP 协议	207	13.3.7 Windows NT Server 的 目录复制	302
11.3.3 IP 协议	209	13.3.8 Windows NT Server 的 远程访问服务	303
11.3.4 ICMP 协议	213	13.3.9 Windows NT 的 Internet 支持功能	305
11.4 传送层	217		
11.4.1 TCP 协议	217		

第 14 章 基于 IPX/SPX 协议的

网络编程..... 307

- 14.1 引言 307
- 14.2 IPX/SPX 编程中使用的
数据结构 308
 - 14.2.1 IPX 的分组格式 308
 - 14.2.2 SPX 的分组格式 309
 - 14.2.3 事件控制块结构 311
- 14.3 IPX/SPX 的服务功能 312
 - 14.3.1 IPX 的服务功能 312
 - 14.3.2 SPX 的服务功能 317
- 14.4 基于 IPX 的网络编程 321
 - 14.4.1 发送程序的编程 321
 - 14.4.2 接收程序的编程 330
 - 14.4.3 事件服务程序的编程 333
- 14.5 基于 SPX 的网络编程 333
 - 14.5.1 建立连接 334
 - 14.5.2 传输数据分组 344
 - 14.5.3 拆除连接 345

第 15 章 基于 TCP/IP 协议的

网络编程..... 346

- 15.1 引言 346
- 15.2 Socket 编程的基本原理 347
 - 15.2.1 基本的套接字系统调用 347

15.2.2 套接字调用的一般方法

及实例 351

- 15.3 WinSock 编程原理 355
 - 15.3.1 WinSock 简介 355
 - 15.3.2 异步选择机制 356
 - 15.3.3 异步请求服务 358
 - 15.3.4 阻塞数据传输 359
 - 15.3.5 阻塞处理方法 360
 - 15.3.6 出错处理 361
 - 15.3.7 启动与终止 362
 - 15.3.8 WinSock V2 的技术特点 363
- 15.4 WinSock 库函数 364
 - 15.4.1 概述 364
 - 15.4.2 标准 Socket 函数 367
 - 15.4.3 数据库函数 393
 - 15.4.4 WinSock 增设的专用函数 399
 - 15.4.5 WinSock 定义的宏 415
- 15.5 WinSock 编程实例 418
 - 15.5.1 名字解析客户程序 418
 - 15.5.2 Finger 客户程序 420
 - 15.5.3 Time 客户程序 423
 - 15.5.4 点到点通信程序 426

参考文献 435

第1章 计算机网络基础

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,而且还能通过服务器节点为网络中其它节点提供共享资源服务。所谓的网络资源包括硬件资源(如大容量磁盘、光盘、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)。其中,最重要的是数据资源。

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,可以把它作为网络打印机,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(原译名为“电子邮件”)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,并不断开发新的网络服务,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所必不可少的人—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 10~100 Mb/s，1 000 Mb/s 的局域网也正在研制之中。广域网的通信距离可达几十公里、几百公里，甚至几千、几万公里；传输速率则比较低，一般为 1 200 b/s~2 Mb/s。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。一般用户若需要使用广域网，就如同要使用电话系统那样：首先，用户要办理入网手续，安装线路和终端；然后，按月交纳租金和通信费用，这样才可入网。

自 1969 年世界上第一个计算机网络 ARPANET 在美国诞生后，经过近 30 年的发展，取得了惊人的成就，已成为社会信息化重要的支柱。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，到因特网 Internet^①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

^① Internet——因特网，原译名为“国际互联网”，在 1997 年 7 月 18 日全国科学名词审定委员会发布的信息科学领域的 17 个英文名词的中文译名时，更名为因特网。

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、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。

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，数字计算机的输出，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电通路。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，也可能是由地面微波接力或卫星中继等构成的无线线路，还可能由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，又会使信号畸变和带来噪声和干扰，其结果是使数据在传输后造成差错，增大了数据传输的差错率。由于传输信道的传输介质特性不同，还会使信息传输速率受到限制。

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，话音信号的标准频谱是 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，在模拟信道上传输，这时要使用调制解调器（Modem），使数字数据能与模拟信道的特性相匹配。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于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。但为了使之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。信号可以表示为模拟数据或表示为数字数据。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,模拟传输系统则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,这必然会破坏数据的完整性,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,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,它在价格和传输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。通常调制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。

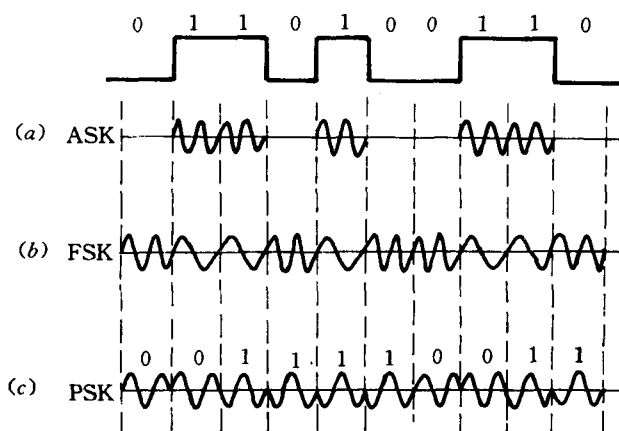


图 1.1 基本调制方式

(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。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。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。在图 1.1(c) 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; 也有用正电压表示 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。

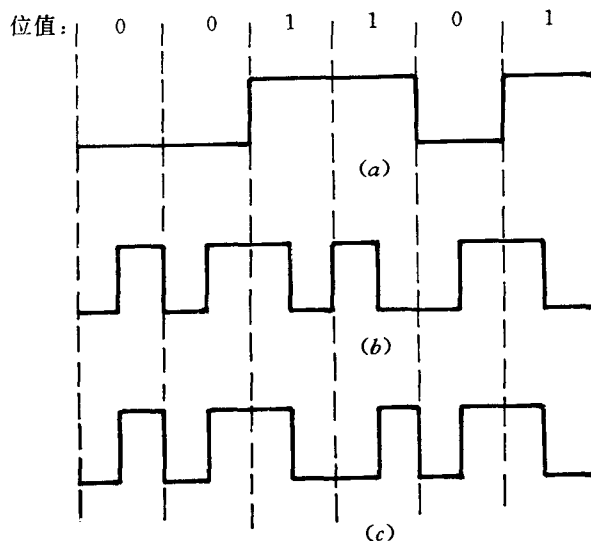


图 1.2 常用的数字信号编码

(a) 不归零制编码; (b) 曼彻斯特编码; (c) 差分曼彻斯特编码

(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 高速网络技术的发展, 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,是通过加一级预编码器来解决的。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),对数据流进行编码,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。

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:每位的中间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)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 $f(t)$ 。

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 编码后所要求的数据传输速率为:

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

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。如果将这几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 1.3(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。

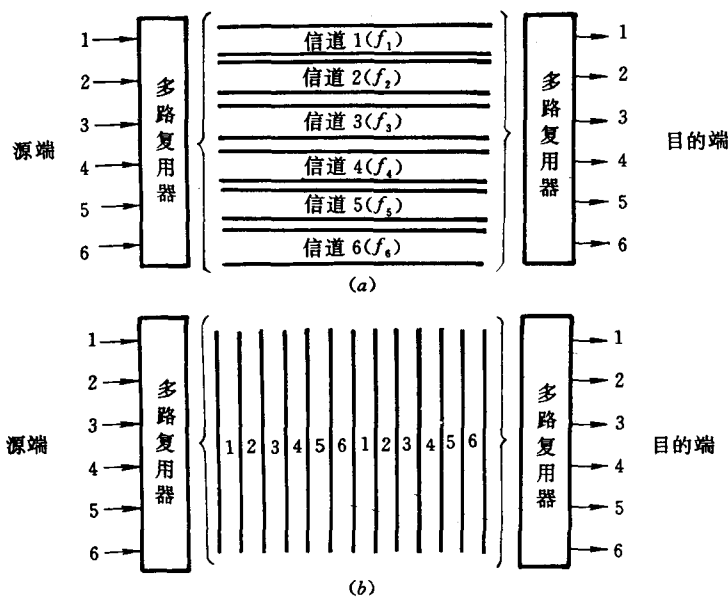


图 1.3 多路复用

(a) FDM; (b) TDM

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数据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 1.3(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 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,每个输入一次传送一个数据单元,6 个时间片便可将 6 个输入轮流输入一次,这 6 个时间片便构成了一帧(Frame)。对于某一 TDM,帧长是固定的,即帧所具有的时间片数等于输入的个数。若在某个时间片内,对应的输入没有数据要发送,则在该时间内发送空信号。所以 6 路输入是平均分配使用高速传输介质。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 1.3(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定时是同步的。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速率不能低于各个输入信号的数据速率之和。在异步 TDM 中,时间片是按需动态分配的,即在输入有数据要发送时,才分配时间片。并且传输介质的传输速率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,每条信道再按 TDM 进行时分。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。发送器产生信号,经传输介质传送给接收器,由接收器接收这个信号便完成了信号从一端向另一端的传送。根据信号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。

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)之间的通信就采用单工方式进