

高等学校
电子信息类

DIANZIKEJIDAXUECHUBANSHE
XILIEJIAOCAI

系列教材

本科计算机

通信与网络技术 及编程

罗惠群 杨亚玲 杨国渝 编著



电子科技大学出版社



通信与网络
技术

第 1 版 (2010 年 10 月第 1 次印刷)

ISBN 978-7-302-24000-0

定价: 39.00 元

清华大学出版社

通信与网络技术 及编程

作者: 张三 李四 王五 赵六



清华大学出版社

ISBN 978-7-302-24000-0

高等学校
电子信息类 系列教材

通信与网络技术及编程

罗惠琼 杨亚玲 杨国渝 编著

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

通信与网络技术及编程/罗惠琼, 杨亚玲, 杨国渝编著. —成都:
电子科技大学出版社, 2000.9
高等学校电子信息类系列教材
ISBN 7-81065-532-9

I. 通... II. ①罗... ②... ③杨... III. 通信-高等学校-教材;
计算机网络-程序设计-高等学校-教材 IV. TN91
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 51306 号

高等学校 系列教材
电子信息类

通信与网络技术及编程

罗惠琼 杨亚玲 杨国渝 编著

出 版: 电子科技大学出版社 (成都建设北路二段四号 邮政编码: 610054)
责任编辑: 吴艳玲
发 行: 新华书店经销
印 刷: 成都市新都华兴印务公司
开 本: 787×1092 1/16 印张 15.0 字数 365 千字
版 次: 2000 年 9 月第一版
印 次: 2000 年 9 月第一次印刷
书 号: ISBN 7—81065—532—9/TP·349
印 数: 1—4000 册
定 价: 18.00 元

前 言

计算机通信是 20 世纪 50 年代随着计算机技术的迅速发展而发展起来的一种新的通信方式,它是计算机和通信这两种技术相互渗透和相结合的产物。目前,计算机技术与通信技术已经发展到了密不可分,难以分割的地步。本书是将数据通信、计算机网络及网络编程技术相融合在一起的综合性教材。

全书共分八章。第一章是计算机通信与网络概述,对计算机通信系统结构、通信协议、通信与网络发展及应用进行概要描述。第二章是计算机通信基础,介绍了数据通信的必备知识和常用术语,讨论了数据传输信道,介绍信道的分类、传输信道的传输特性及对异步传输方式下的编程技术,还介绍了数据通信时所采用的各种技术。第三章是计算机网络技术,讨论了计算机网络的定义、计算机网络通信协议、计算机网络操作系统。第四章是网络适配器与驱动程序,讨论了 Etherlink 网络适配器的功能与结构、网络适配器的编程等。第五章是网络互联技术,介绍了常用的组网设备的基本性能、工作原理及在网络中的具体应用等。第六章是 TCP/IP 协议,介绍了网络接口及网际层中的 IP、ICMP、ARP、RARP 四个协议,还介绍了用户数据报协议。第七章是基于 TCP/IP 协议的网络编程,讨论了 Socket 编程,并针对 Windows 环境下的 Winsock 编程原理及编程进行了讨论。第八章是通信与网络技术的发展,扼要地介绍了近年来数据通信技术的一些最新进展。附录中介绍了 Windows Socket 库函数。

在本教材的编写过程中,得到计算机学院的关照,并提出了许多宝贵的意见。对此编者表示诚挚的谢意。本教材还得到电子科技大学出版社的大力支持,特别要感谢吴艳玲副总编极其认真负责,促成本书的尽快完成。由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请专家和读者批评指正。

编者

2000 年 9 月

目 录

第一章 计算机通信与网络概述.....	1
§1.1 什么是计算机通信	1
§1.2 计算机通信系统	1
§1.3 通信与网络发展前景	3
§1.4 计算机网络应用	5
第二章 计算机通信基础.....	6
§2.1 数据的编码	6
§2.2 传输信道	9
2.2.1 模拟传输信道	9
2.2.2 模拟信道的数据传输	11
2.2.3 数字信道	30
§2.3 数据交换技术	38
2.3.1 交换系统在通信网中的地位	39
2.3.2 线路交换	40
2.3.3 报文交换	40
2.3.4 分组交换	41
2.3.5 数据交换技术小结	42
§2.4 差错控制	42
2.4.1 引起差错的因素	42
2.4.2 检错与纠错的概念	43
2.4.3 差错率	45
第三章 计算机网络技术.....	47
§3.1 计算机网络的定义	47
§3.2 计算机网络的通信协议.....	49
§3.3 网络操作系统的一般描述.....	52
§3.4 网络操作系统的资源管理.....	54
3.4.1 进程管理和远程进程管理	54
3.4.2 网络资源共享	55
3.4.3 网络服务	57
§3.5 网络操作系统的安全性.....	60

第四章 网络适配器与驱动程序	62
§4.1 概述	62
§4.2 Etherlink 网络适配器的功能与结构	64
4.2.1 主机接口控制电路和数据缓冲存储器	65
4.2.2 Ethernet 数据链路控制器	69
4.2.3 曼彻斯特代码转换器	75
§4.3 网络收发器	78
§4.4 网络适配器编程举例	81
4.4.1 数据包收发子程序	81
4.4.2 网络驱动程序调用接口设计	89
第五章 网络互联技术	93
§5.1 中继器	93
§5.2 网桥	93
§5.3 路由器	95
§5.4 网关	96
§5.5 互联网协议	97
第六章 TCP/IP 协议	98
§6.1 引言	98
§6.2 网络接口	99
§6.3 网际层	99
6.3.1 IP 地址	99
6.3.2 ARP 协议和 RARP 协议	102
6.3.3 IP 协议	103
6.3.4 ICMP 协议	108
§6.4 传输层	113
6.4.1 TCP 协议	113
6.4.2 用户数据报协议	120
第七章 基于 TCP/IP 协议的网络编程	124
§7.1 客户机-服务器模型	124
§7.2 Socket 编程	126
7.2.1 基本的套接字系统调用	126
7.2.2 套接字调用的一般流程	128
§7.3 Winsock 编程原理	129
7.3.1 阻塞与非阻塞	129
7.3.2 Windows 的消息机制	129

7.3.3 异步选择机制	133
7.3.4 Winsock 的启动和终止	134
7.3.5 Winsock 的错误处理	135
§7.4 Winsock 通信的一个实例	136
7.4.1 客户机程序	136
7.4.2 服务器程序	144
§7.5 MFC 中的 Windows Sockets	152
7.5.1 CAsyncSocket 类	152
7.5.2 CSocket 类	154
第八章 通信与网络技术的发展	156
§8.1 综合业务数字网 ISDN	156
8.1.1 引言	156
8.1.2 宽带 ISDN 业务	159
8.1.3 宽带 ISDN 的信息传送方式——ATM	160
8.1.4 ATM 的基本原理	161
8.1.5 CCITT 关于宽带 ISDN 的建议	165
8.1.6 ATM 网与现有网络的互联	169
§8.2 城域网	169
8.2.1 光纤分布式数据接口 FDDI	170
8.2.2 分布队列双总线 DQDB	173
§8.3 帧中继	177
8.3.1 帧中继的特点	177
8.3.2 帧中继的体系结构	177
8.3.3 帧中继的应用	180
附录一 Windows Socket 库函数参考	182
附录二 ASCII 码	227
参考文献	231

第一章 计算机通信与网络概述

§ 1.1 什么是计算机通信

在计算机出现的初期, 计算机数量很少, 主要用于科学计算。远离计算机的用户算题很不容易, 到计算机机房算题要来回跑很多路, 费时又费力。为解决这一问题, 远地用户将程序和数据由终端通过通信线路送到计算中心的输入输出 I/O 装置上记录下来, 再由计算中心的操作人员将程序和数据送入计算机进行计算, 计算机处理的结果, 还是通过操作人员干预, 由 I/O 装置经线路再送回用户终端。

随着计算机的发展和普及, 数据通信系统已不只限于科学计算系统, 它已广泛地用于各种事物管理系统中。例如, 数据库、交通管理部门、气象预报系统、银行系统等。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更加紧密的结合, 形成了计算机通信这门学科。计算机通信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。

计算机通信是计算机技术和通信技术相结合的产物。

§ 1.2 计算机通信系统

一个计算机通信系统是由计算机、数据传输电路、传输信道和交换系统构成。它们的相互关系如图 1.1 所示。

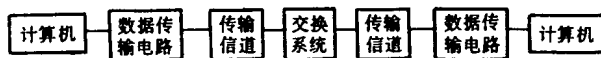


图 1.1 计算机通信系统结构

其中:

数据传输电路是位于计算机与传输信道之间的数据传输媒介, 其作用是将数据信息变为线路能传输的信息。如果通信线路是模拟线路, 这个部件就是调制解调器, 将数据信息变为模拟信息在模拟信道上传输; 如果通信线路是数字线路则将计算机的数据信息变为数字信号在数字线路上传输。

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。传输信道可以由同轴电

缆、光纤、双绞线等构成的有线线路，也可以是由地面微波接力或卫星中继等构成的无线线路，还可以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，又会使信号畸变并带来噪声和干扰，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。

交换系统是实现数据交换。把数据从一个节点传送到另一个节点，直至到达目的节点，这些中间节点并不关心数据的内容，它的目的只是提供数据交换。在不同的网络中采用的交换技术是不同的，常采用的交换技术有：线路交换、报文交换和分组交换。

计算机通信系统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 10~100Mb/s，1000Mb/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：1200b/s~2Mb/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。

不同的网络有不同的协议标准。IEEE 802 是局域网标准系列，如图 1.2 所示。

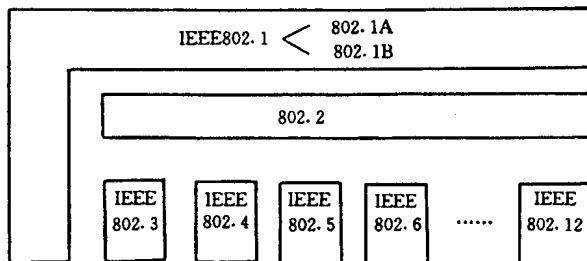


图 1.2 IEEE 802 标准系列

其中：

IEEE 802.1A：体系结构和综述。

IEEE 802.1B：寻址、网间互联及对数据链路层和物理层的管理。

IEEE 802.2：通用的 LLC 规范。描述 LLC 对网络层、MAC 层以及 LLC 子层本身管理功能的界面服务规范。

IEEE 802.3：CSMA/CD 访问控制方法和物理层技术规范。

IEEE 802.3i：10BASE-T 访问控制方法和物理层技术规范。

IEEE 802.3u：100BASE-T 访问控制方法和物理层技术规范。

IEEE 802.4：Token-Bus 访问控制方法和物理层技术规范。

IEEE 802.5：Token-Ring 访问控制方法和物理层技术规范，由传输介质串联相接的一

些站点构成。

IEEE 802.6: 城域网访问控制方法和物理层技术规范, 采用分布队列双总线子网来实现。

IEEE 802.7: 宽带网访问控制方法和物理层技术规范, 为开槽环局域网, 信息送槽内。

IEEE 802.8: FDDI 访问控制方法和物理层技术规范。

IEEE 802.9: 综合数据/话音网络。

IEEE 802.10: 网络安全与保密。

IEEE 802.11: 无线网访问控制方法和物理层技术规范。

IEEE 802.12: 100VG-AnyLAN 访问控制方法和物理层技术规范。

IEEE 802 局域网标准定义了局域网的数据链路层和物理层的规范。IEEE 802 是一个标准系列, 并不断地增加新的标准。

广域网(WAN)协议的情况也大致如此。例如, CCITT 的 X.25 建议是一个有关公共数据分组交换网的国际标准, 它包含了物理层、数据链路层和网络层等三层协议。其中, 物理层采用 X.21 和 X.21 bis 规程; 数据链路层采用 HDLC 规程; 在网络层定义了一个分组交换协议, 支持面向虚电路连接的可靠的数据传输服务, 同时也支持无连接的数据报传输服务。

从以上介绍可知, LAN 与 WAN 的协议标准是不同的, 而用户需要信息能在 LAN 和 LAN、LAN 和 WAN、WAN 和 WAN 之间传送, 这就是互联互通的问题。为了解决互联互通, 通信系统必须实现协议转换、路由选择等功能, 各种不同的桥接器、路由器、网关能够实现上述的某些功能。

有了这些 LAN 或 WAN 协议标准, 有了各种不同的桥接器、路由器、网关可以构造出物理网络, 并不意味着构造出了一个完整的网络系统, 完整的网络系统还必须要高层协议提供更加完善的网络服务。一般来说, 网络的低层协议决定了一个网络系统的传输特性, 如所采用的传输介质、拓扑结构及介质访问控制方法等, 通常由硬件来实现。高层协议则提供了与网络硬件结构无关的, 更加完善的网络服务和应用环境, 通常是由网络操作系统实现的。

最有名的高层协议是 TCP/IP 协议, 它定义了网络接口层、网络层、传送层和应用层 4 个层次。其中, 网络接口层与 ISO/OSI 的物理层和数据链路层相对应, 但它只是定义了 TCP/IP 与各种物理网络之间的网络接口, 没有规定新的物理层和数据链路层协议; 网络层相当于 ISO/OSI 的网络层; 传送层与 ISO/OSI 的传输层相对应; 应用层则包含了 ISO/OSI 的会话层、表示层和应用层功能。需要说明的是, TCP/IP 协议目前还只是一个工业标准, 尚未成为国际标准。类似的高层协议还有 SPX/IPX 协议等。

§ 1.3 通信与网络发展前景

在知识经济初见端倪和信息革命风起云涌的世纪之交, 世界的经济体系更加依赖于人类的知识和智慧。知识创新和技术创新大大加快, 人类的全部知识每 5 年翻一番。信息和知识已成为社会和经济发展的战略资源和基本要素, 全球信息产业正以 10% 左右的增长

速度（两倍于其他行业经济增长的速度）向前发展，到 2001 年全球信息产业的市场规模将从 1995 年的 17 000 亿美元增至 30 000 亿美元。信息产业正在形成世界经济的新增长点，将成为下一世纪发展最快、规模最大、影响最深的产业之一。

现在，电信运营者身处的环境正在发生着各种变化。开放市场、引入竞争机制的进度明显加快，电信管理体制改革的力度明显加大，各国普遍实行政企分开，电信市场日益开放，不少电信运营者实行了股份制或民营化。世界贸易组织对各国市场开放的压力越来越大；发展中国家与发达国家之间的信息贫富差距还很大，在先进业务方面的差距甚至有增无减，使人类面临着一个如何缩小信息贫富差距的巨大挑战。信息技术和电信技术的进步之快前所未有，对设备、组网、服务、应用、计价等方面将产生巨大影响。使知识的存储、传递的成本大大降低，使知识成为商品的能力大大增强，使知识经济有可能成为数字经济（信息数字化）、网络经济（信息服务网络化）、在线经济（信息即时性）和创新经济（产品个性化）。技术的进步还从根本上打破了信息产业中历来按信息种类划分市场和行业的技术壁垒，现在不同行业互相渗透、走向融合的局面正在形成，产生了新的行业协调机制。产业全球化、经济全球化、人类关系全球化带动了电信的全球化，电信在管理、技术、业务、资本等方面都将向全球化方向发展。国际通信市场的争夺将日趋激烈，同时电信服务贸易将从双边体制转向多边体制，世界电信市场格局将重新划分。还有，近两三年来因特网从发展速度、服务方式、应用方式、组网方式、计价方式、业务渗透等方面向电信界发起了重大挑战，使人应接不暇、措手不及。目前，整个电信界正处在分合重组的动荡之中，世纪之交把电信运营者推到了重新思考、重新抉择的十字路口。

近十几年来，由于社会对信息处理的需求迅速增长，出现了很多新型的电信业务，这些新型业务可统称为远程信息业务（telematics services）。远程信息业务是指包括声音、图像、文字、数据在内的各种信息的传递及处理业务。最初，为了满足某些新业务的要求，人们借助于调制解调器，在电话网中用话音频带传送数据。然而，随着远程信息业务的继续增长和变化，新的应用层出不穷，用户也不断扩大，人们发现按原有网络不能满足市场的需求量，有必要建立新的网络来满足各种业务的需求，于是出现了分组交换数据通信网络、帧中继网、ATM 网络、城域网等。

根据当前发展趋势，未来网络承载的业务将以因特网形式的数据包业务（即 IP 业务）为主，并在此基础上支持大量各式各样的应用。估计要不了多少年，全球的因特网业务将超过话音业务。例如，从北美地区看，目前数据业务已经占了 50% 的网络带宽，预计 2000～2001 年期间，整个北美的数据业务量（以 IP 业务为主）将超过话音，到 2002～2005 年话音业务将仅占全部业务的 1%。也就是说，以前是在话音传输的基础上附带数据传输，将来则变成在数据传输的基础上附带话音传输。

业务的迅猛发展迫使网络不断升级。目前，美国的一些 ISP（Internet Service Provider）已经在建 OC（Optical Cable）-48IP 网，也许用不了多久就需要 OC-192 或 OC-768 的 IP 网。而未来的趋势表明 IP 业务将持续快速增长。因为，随着诸如 Internet2 之类第二代网的发展会出现许多新的应用；IP 向传统电信业务的渗透可能会发展很快；新的经济型无分路器 ADSL（Asymmetric Digital Subscriber Line，非对称数字用户线系统）的投入有可能像现在的调制解调器那样普及。网络容量就需增加 100～1000 倍；目前尚处于早期阶段的相对的应用（如生物信息传递、IP 应用、异地备份、Web 缓存、多播馈送、新闻馈送、

批处理、数据库同步、电子信箱、地-空数据库映射、天体成像、数据库挖掘等)将对网络和带宽提出进一步的要求。

因特网上的客户/服务器应用方式与传统电信截然不同,这种应用方式是从连接一台服务器发展到能连接多台服务器,继而发展到能连接任何服务器;从办公室、校园扩展到城镇,进而扩展到整个国家乃至全球。这一全球性的现象使过去网络业务量中 80%是本地,20%是广域的情况发生了相反的变化,这一比例将逐渐变成 20/80。这种应用还使 IP 业务具有自相似性(fractal)和收发数据不对称性。前者是指不管在给定物理链路上同时存在多少个会晤,网上的业务将展示相同的特性;后者是指在多数因特网链路上收发通路间的数据量存在着严重的不对称性。与此同时 IP 业务还可能使网络运行状态从网格(mesh)型变成集散(hub)型,这一切都将对网络的优化设计产生很大影响。

所以,在短短几年内,为了使网络适应业务发展的需要,新思路、新技术、新实践不断出现。从 LANE 和 IP over ATM 到 IP 交换机,又到 IP over SDH(Synchronous Digital Hierarchy)/SONET(Synchronous Optical Network),一直到最近的 MPLS 和 IP over WDM(Wavelength Division Multiplexing,波分复用)。使整个网络世界出现了不断思考、不断争论、不断前进的局面,人们正在寻找最优的下一代网络。

§ 1.4 计算机网络应用

近十几年来,计算机通信技术进入了前所未有的快速发展时期。新方法、新技术、新产品不断涌现,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。由于计算机通信技术的大发展促进计算机网络技术朝着高速化、交换式、易集成的方向发展,大大提高了网络面向未来应用的支持能力。

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,不同的网络操作系统有不同的网络编程接口。例如,NetWare 的基于 SPX/IPX 协议编程接口,Windows 的基于 TCP/IP 协议 Winsock 上的编程接口,UNIX 的基于 TCP/IP 协议 Socket 编程接口以及通用的 NetBIOS 编程接口等。不同的网络编程接口都有一个共同的目标:为用户提供网络服务。虽然网络编程接口不同,但它们实现原理都是一样的。为了便于深入理解,在后面的章节中将详细地讨论基于 TCP/IP 协议 Winsock 上的网络编程。在了解该编程原理之后,对其他网络编程接口的掌握就很容易。

第二章 计算机通信基础

§ 2.1 数据的编码

为了传输数据信息,首先需要将二进制数据用一定的信号形式来代表,可以采用不同极性的电压、电流或脉冲来代表。例如,无电压表示 0, 衡定的正电压表示 1; 无脉冲表示 0, 有脉冲表示 1。如图 2.1 所示。将这样的数据信号加到数据传输信道上进行传输, 到达接收地点后再正确地恢复出原始发送的数据信息, 这就实现了数据传输的任务。

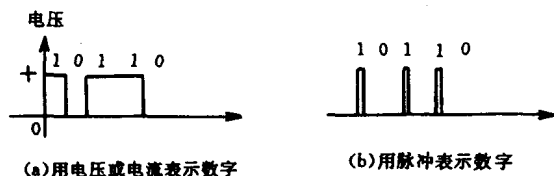


图 2.1 二进制数据信号的表示

当传输信道不通时输出电压也为 0, 若用无电压表示 0 时, 接收方怎样判断是数字 0, 还是出错, 这是很难区分的。为了解决这个问题, 在实际的数据传输中常常对数据进行编码来解决。常用的编码方式有: 不归零 NRZ (Non-Return to Zero) 编码、4B5B 编码、曼彻斯特 (Manchester) 编码及差分曼彻斯特 (Differential Manchester) 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, 如图 2.2 (a) 所示。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。全宽码的优点有:

- ① 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。
- ② 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:

- ① 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。
- ② 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 100Mb/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的要求。为了解决连续 0 或连续 1 时所产生的问题，采用两级编码方案来解决。第一级是采用如 4B5B、5B6B 等预编码器，对数据流进行编码，编码后的数据流不会出现连续长 0 或连续长 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。

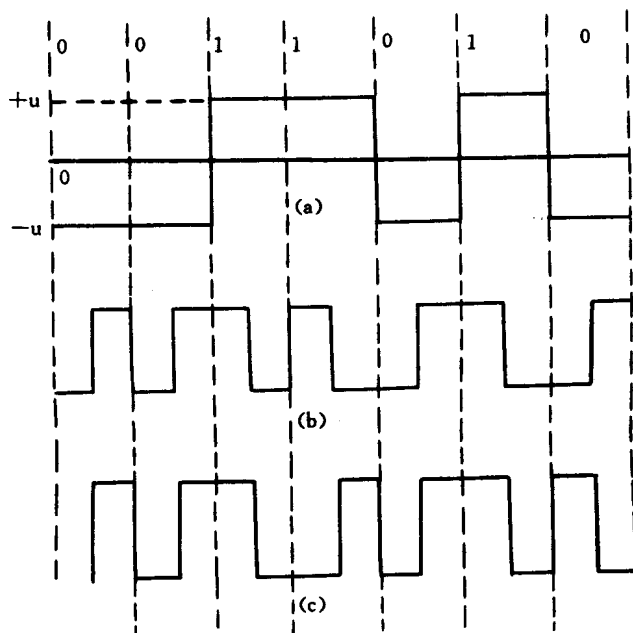


图 2.2 常用的数字信号编码

(a) NRZ 码 (b) 曼彻斯特编码 (c) 差分曼彻斯特编码

(2) 4B5B 编码

数据信息在物理介质上传输前，首先必须对数据进行编码，调制成易于在接收端同步、识别的信号格式。接收端对从物理介质上接收到的信号进行相应的译码，还原成数据信息。4B5B 编码，即每次对四位数据进行编码，每四位数据编成五位符号码组，表 2.1 给出了 4B5B 编码方案。从表中可以看出，经过 4B5B 编码后产生的五位码组中“0”的个数都不超过三位，避免了长 0 长 1 的出现，这种编码方法的信息有效率是 80%。

也就是说，100Mb/s 的数据传输速率需要 125Mb/s 的信号传输率，而使用曼彻斯特编码方式，若仍然按 100Mb/s 的数据传输速率，则需要 200Mb/s 的信号传输率，这种编码方法的信息有效率为 50%。

表 2.1 4B5B 编码方案

十六进制数	4 位二进制数	4B5B 编码
0	0000	11110
1	0001	01001
2	0010	10100
3	0011	10101
4	0100	01010
5	0101	01011
6	0110	01110
7	0111	01111
8	1000	10010
9	1001	10011
A	1010	10110
B	1011	10111
C	1100	11010
D	1101	11011
E	1110	11100
F	1111	11101

(3) 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, 如图 2.2 (b) 所示。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。

(4) 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, 如图 2.2 (c) 所示。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。

这两种曼彻斯特编码主要用于中速网络, 例如, 以太网 (Ethernet) 采用的是曼彻斯特编码, Ethernet 为 10Mb/s; 令牌环网 (Token-Ring) 采用的是差分曼彻斯特编码, Token-Ring 最高为 16Mb/s。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 10Mb/s 的数据速率, 则编码后的信号速率为 20Mb/s, 编码的有效率为 50%。对于 100Mb/s 的高速网络来说, 200Mb/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。

§ 2.2 传输信道

在两地间传输数据信号必须有传输信道，或者称作传输通路。作为数据传输用的信道和其他通信用的信道一样，是建立在一定的传输媒体基础上的，而且在许多情况下是直接利用其他通信用的信道，尤其是利用电话信道来作为数据传输信道。众所周知，当前世界各国的通信网中使用着两种不同的通信方式，即模拟通信方式与数字通信方式。换句话说，存在两种不同的传输信道，即模拟信道与数字信道。前者传输连续的模拟信号，如经“声-电”转换后形成的电话信号；后者传输离散的数字信号，即以“0”、“1”二进制码所构成的数字序列。同样，作为数据传输用的信道也存在模拟信道与数字信道两种基本形式。下面讨论模拟传输信道的有关问题。

2.2.1 模拟传输信道

首先，对模拟传输信道来说，由于它只能传输连续的模拟信号，而且其传输频带往往存在一定的限制。譬如，对于一条模拟的载波电话信道来说，其有效传输频带一般为 300~3400Hz；另一方面，由数据源（例如，计算机、终端或其他设备）所发生的原始的数据信号又都是如图 2.1 所示的离散的二进制数字信号序列。因此，利用模拟信道来传输数据信号时，必须在发送前先将原始数据信号经过“数字-模拟”转换，这就是通常所称的调制。在接收时，则需进行相反的转变，称作解调。实现调制与解调的设备分别称为调制器与解调器，把它们合在一起时就统称为调制解调器（Modem）。调制解调器是利用模拟信道传输数据时不可缺少的设备。

在调制解调器中的调制方式是不一样的，常见的调制解调方式有：调幅、调相和调频。

（1）调幅（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值，如图 2.3 所示。采用 ASK 调制方式有以下特点：

- ①能将数字信号变成模拟信号在模拟信道上传输。
- ②易受增益变化的影响。当受电路分部参数和温度的影响，可能会造成“1”的幅度不够高，而“0”的幅度不够低，引起错码。

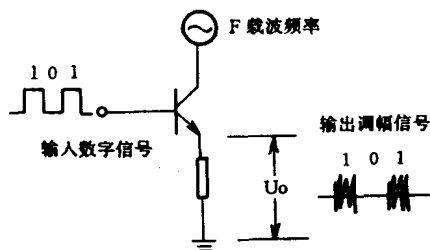


图 2.3 调幅实现原理