



中等职业学校电子信息类教材 **计算机技术专业**

现代计算机网络技术

肖金立 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业学校电子信息类教材(计算机技术专业)

现代计算机网络技术

肖金立 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书分为四部分。第一部分主要包括数据通信的基本概念与原理、网络的基本概念、网络体系结构和网络通信协议,以太网、高速局域网和交换局域网的组网技术,X.25、帧中继、ATM、ISDN、ADSL、Internet等广域网的服务与连接技术。第二部分主要包括联网设备和接入设备的性能、网络结构化布线系统的标准规范、施工技术和测试技术。第三部分主要包括网络管理系统的结构、网络安全防范技术、数据加密技术和防火墙技术。第四部分主要包括网络操作系统的网络特性和基本概念、建立网络连接、网络共享、网络服务和维护网络安全的基本操作。本书在编写过程中注意内容的新颖性、系统性和实用性,力求反映当前网络技术发展的最新成果,力求理论与网络集成实例相结合。

本书适合作为职业高中、职业中专的计算机网络专业和计算机应用专业的教材以及高专学生的参考教材,也可作为网络工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代计算机网络技术/肖金立编著. —北京:电子工业出版社,2002.7
中等职业学校电子信息类教材(计算机技术专业)
ISBN 7-5053-7670-5

I. 现… II. 肖… III. 计算机网络—专业学校—教材 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 051757 号

责任编辑:李 影 程超群

印 刷:北京科技印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:505.6 千字

版 次:2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

印 数:8 000 册 定价:25.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

前 言

随着现代计算机网络技术的飞速发展，由网络引发的社会信息化和经济全球化，正在对人类社会的发展产生深远的影响。由于计算机网络的广泛应用和普及，需要大量计算机网络管理人员从事计算机网络的管理与维护工作，以保障网络高效、稳定、安全、可靠地运行，并为系统用户提供高品质的网络服务。

本书包括四部分内容。

第一部分：从整体上对现代计算机网络做了概括性的介绍，包括数据通信的基本概念、原理、标准、数据传输与交换技术、数据通信媒质；网络的基本概念、基本要素，网络拓扑结构、网络类型、网络体系结构和网络通信协议；局域网访问媒体技术、逻辑链路控制协议，传统局域网、高速局域网和交换局域网等网络的组网技术；广域网 X.25、帧中继、异步传输技术（ATM）、综合数字业务（ISDN）、Internet 等网络的服务与连接技术。

第二部分：介绍了联网设备和接入设备的性能。对网络互联所采用的路由技术、交换技术及互联技术进行了归纳和总结。介绍了结构化布线系统的结构、施工步骤和测试方法。从网络系统集成的角度，介绍了组网所涉及的硬、软件技术及设备产品，并辅以具有实用价值的组网案例。

第三部分：介绍了网络管理系统的组成、标准、功能和应用，阐述了网络安全防范的数据加密技术和防火墙技术。

第四部分：介绍了网络操作系统的网络特性和基本概念。重点阐述建立网络连接、网络共享、网络服务和维护网络安全的操作以及相关选项的含义。

本书在编写中逐次阐述网络基本概念的内涵和外延、概念与概念的联系，使学生在在学习过程中逐步加深对概念的理解。在教材的体系结构中，注重反映当前网络技术发展的最新成果，密切联系网络的实际应用。以图文方式描述网络管理的基本操作，以利于学生操作技能和智力技能的掌握。教学实验的课题已经过实验验证和现场认证，按照详尽阐明的实验原理和实验步骤，可以组建中小型局域网。

本课程的教学目的是使学生初步理解网络的基本概念和基础理论，了解网络互联设备及接入设备的性能，初步掌握网络的组网技术，了解网络管理系统的组成，明确网络管理的职责，掌握网络管理的基本操作和维护网络运行的技能，为胜任未来的网络管理工作打下一定的基础。本课程既是职业高中和职业中专计算机网络专业必修的专业课程，也是计算机应用专业应该掌握的重要课程。

建议本课程设置在实习前的一个学期，教学时数为 96~108 学时。先修课程有“计算机电路基础”、“微型计算机原理与应用”、“Windows 操作系统”。

真挚感谢维恩电子有限公司刘金刚高级工程师提供网络设备和参考文献。天津市电子计算机职业中等专业学校的校领导对本教材的编写给予了很大的支持，高级教师徐英杰对初稿提出了宝贵意见，在此表示谢意。编者意在奉献给读者一本适用并具有特色的教材，但由于水平有限，难免有错误和不妥之处，殷切希望广大读者不吝指教。

编 者
2002 年 5 月

目 录

第 1 章 数据通信基础	(1)
1.1 数据通信概述	(1)
1.1.1 数据通信的基本概念	(1)
1.1.2 数据通信系统的主要技术指标	(2)
1.2 数据通信原理	(4)
1.2.1 信号的编码	(4)
1.2.2 数据的传输	(6)
1.2.3 多路复用技术	(8)
1.2.4 数据交换技术	(11)
1.2.5 差错控制技术	(12)
1.3 数据通信线路	(14)
1.3.1 同轴电缆	(15)
1.3.2 双绞线	(16)
1.3.3 光纤通信	(17)
1.3.4 无线通信	(21)
习题 1	(22)
第 2 章 网络基础	(25)
2.1 网络的基本概念	(25)
2.1.1 计算机网络	(25)
2.1.2 计算机网络的基本功能	(25)
2.1.3 计算机网络的基本要素	(26)
2.1.4 网络的拓扑结构	(26)
2.1.5 计算机网络的分类	(28)
2.1.6 计算机网络的发展	(30)
2.2 网络的体系结构	(31)
2.2.1 网络协议	(31)
2.2.2 网络系统的体系结构	(32)
2.2.3 ISO/OSI 网络体系结构	(33)
2.2.4 OSI 体系结构中的数据传递	(41)
2.3 网络通信协议	(42)
2.3.1 TCP/IP 协议	(42)
2.3.2 IPX/SPX 协议	(50)
2.3.3 NetBEUI 协议	(51)
2.3.4 AppleTalk 协议	(52)
习题 2	(52)

第 3 章 局域网	(55)
3.1 局域网概述	(55)
3.1.1 局域网的概念	(55)
3.1.2 局域网的分类	(55)
3.1.3 局域网的体系结构	(56)
3.1.4 局域网的组成	(59)
3.2 传统局域网	(62)
3.2.1 以太网	(62)
3.2.2 令牌总线网	(67)
3.2.3 令牌环网	(68)
3.3 高速局域网	(71)
3.3.1 光纤分布式数据接口	(71)
3.3.2 高速以太网	(74)
3.3.3 千兆位以太网	(75)
3.3.4 100VG-AnyLAN	(76)
3.4 交换局域网	(76)
3.4.1 交换式以太网	(76)
3.4.2 虚拟局域网	(78)
习题 3	(82)
第 4 章 广域网	(84)
4.1 数据通信网概述	(84)
4.1.1 公用电话交换网	(84)
4.1.2 公用数据网	(84)
4.1.3 中国公用分组交换网	(86)
4.2 X.25	(87)
4.2.1 X.25 的体系结构	(87)
4.2.2 X.25 业务的应用	(89)
4.2.3 X.25 的用户接入方式	(90)
4.3 帧中继	(90)
4.3.1 帧中继的体系结构	(91)
4.3.2 帧中继的帧格式	(92)
4.3.3 帧中继的工作原理	(93)
4.3.4 帧中继业务的应用	(94)
4.3.5 帧中继的用户接入方式	(94)
4.4 数字数据网	(95)
4.4.1 数字数据网的组成	(95)
4.4.2 数字数据网提供的业务	(96)
4.4.3 数字数据网的用户接入方式	(97)
4.5 ATM	(98)
4.5.1 ATM 的协议参考模型	(98)

4.5.2	ATM 的信元交换	(100)
4.5.3	ATM 组网	(101)
4.6	综合业务数字网	(103)
4.6.1	ISDN 的结构	(103)
4.6.2	ISDN 的终端设备	(105)
4.6.3	ISDN 的综合业务	(107)
4.7	住宅宽带网	(108)
4.7.1	数字用户环路	(108)
4.7.2	光纤同轴混合接入网	(109)
4.7.3	光纤接入网	(111)
4.8	国际互联网	(111)
4.8.1	Internet 的结构	(112)
4.8.2	Internet 的域名系统	(112)
4.8.3	Internet 的基本服务	(113)
4.8.4	Internet 的用户接入方式	(118)
	习题 4	(120)
第 5 章	网络互联与接入技术	(122)
5.1	网络互联的概念	(122)
5.1.1	网络互联的目标	(122)
5.1.2	网络互联的层次结构	(122)
5.1.3	网络互联的类型	(123)
5.2	网络互联设备	(125)
5.2.1	中继器	(125)
5.2.2	集线器	(126)
5.2.3	网桥	(128)
5.2.4	路由器	(130)
5.2.5	交换机	(132)
5.2.6	网关	(136)
5.2.7	干线	(137)
5.3	网络接入设备	(138)
5.3.1	调制解调器	(138)
5.3.2	电缆调制解调器	(141)
5.3.3	复用器	(143)
5.4	组网案例	(144)
5.4.1	校园网	(144)
5.4.2	企业网	(145)
5.4.3	企业内部网	(146)
5.4.4	商业银行网络系统	(148)
	习题 5	(150)
第 6 章	结构化布线系统	(153)

6.1	结构化布线系统	(153)
6.1.1	结构化布线系统的组成	(153)
6.1.2	结构化布线设备	(155)
6.2	网络工程施工技术	(158)
6.2.1	网络工程施工方案	(158)
6.2.2	网络工程布线技术	(160)
6.2.3	线缆连接器的安装技术	(164)
6.2.4	光缆的接续技术	(168)
6.3	结构化布线系统测试	(171)
6.3.1	电缆测试的主要内容	(171)
6.3.2	电缆测试的主要仪器	(172)
6.3.3	光缆测试的主要内容	(175)
6.3.4	光缆测试的主要仪器	(176)
	习题 6	(176)
第 7 章	网络管理	(178)
7.1	网络管理系统	(178)
7.1.1	网络管理系统的目标	(178)
7.1.2	网络管理系统的组成	(178)
7.1.3	网络管理体制	(181)
7.2	网络管理功能	(182)
7.2.1	网络配置管理	(182)
7.2.2	网络性能管理	(183)
7.2.3	网络故障管理	(184)
7.2.4	网络安全管理	(184)
7.2.5	网络统计管理	(185)
7.3	网络安全	(185)
7.3.1	网络安全	(185)
7.3.2	计算机网络安全等级	(186)
7.3.3	网络安全保障措施	(186)
7.3.4	数据加密技术	(188)
7.3.5	防火墙技术	(191)
	习题 7	(195)
第 8 章	网络操作系统	(197)
8.1	NetWare	(197)
8.1.1	NetWare 的体系结构	(197)
8.1.2	NetWare 的核心服务	(198)
8.2	Windows NT	(201)
8.2.1	Windows NT 的特点	(201)
8.2.2	Windows NT 网络组成	(202)
8.2.3	Windows NT 网络体系结构	(204)

8.2.4	Windows NT 网络配置	(206)
8.2.5	Windows NT 网络管理	(213)
8.3	Windows 2000	(225)
8.3.1	Windows 2000 的版本	(225)
8.3.2	Windows 2000 的网络新特性	(226)
8.4	Linux	(230)
8.4.1	Linux 的结构和特点	(230)
8.4.2	Linux 的发行版本	(230)
8.4.3	Linux 的系统管理	(231)
	习题 8	(250)
第 9 章	网络实验	(253)
实验 1	组建对等网络	(253)
实验 2	组建客户机/服务器网络	(257)
实验 3	基于客户机/服务器的网络管理	(263)
实验 4	组建虚拟局域网	(267)
实验 5	拨号连接 Internet	(274)
实验 6	局域网接入 Internet	(278)
实验 7	局域网互联	(287)
附录 A	网络管理员的日常管理	(293)
附录 B	网络管理平台简介	(296)
附录 C	防火墙系统软件简介	(298)
附录 D	路由器基本配置命令	(300)

第 1 章 数据通信基础

数据通信是用线路把两地的终端设备连接起来进行数据传递或交换。数据通信技术包括信号的编码、数据的传输、数据的交换与处理等。

1.1 数据通信概述

1.1.1 数据通信的基本概念

1. 信息

信息是描述客观物质的存在方式，如物质的形态、大小、结构、性能等特征，也是描述物质的运动状态，如物理变化、化学变化等形态。信息有各种存在形式，如文字、声音、图像等。

2. 数据

数据是描述客观事物属性规范化符号的集合，在计算机系统中，数据以存储器作为载体。数据的形式分为以下两种。

(1) 数字数据。数字数据是用离散的物理量来表示，如数值、文字（字母或汉字）、符号（&、\$等）和数码化的图形、图像等离散形式的数据。

(2) 模拟数据。模拟数据是用连续的物理量来表示，如语音、音乐和动画等，是连续时间函数形式的数据。

数据是信息的抽象表示。信息是有含义的数据，也是对数据所赋予的解释。

例 1.1 18 位身份证的号码 120103198508300012 称为数据，它表示于 1985 年 8 月 30 日在天津市河西区出生的中华人民共和国某一男性公民，这一对身份证号码所赋予的解释称为信息。

3. 信号

信号是数据的表现形式，可以是电信号或光信号等。电信号是随时间变化的电压或电流，它是通过编码技术将数据转换为电编码形式。信号重复变化一次的时间称为信号的周期，用 T 表示，单位为 s。单位时间内信号重复变化的次数称为信号的频率，用 f 表示，单位为 Hz。信号分为以下两种。

(1) 数字信号。数字信号是用离散的不连续的电信号表示数据，一般是用“高”和“低”电平的脉冲序列组成的编码来表示数据。在数字信号编码中，一个单位脉冲信号的宽度称为码元，如图 1.1 (a) 所示。数字信号适于数据的处理，但不适于长距离的传输。

(2) 模拟信号。模拟信号是一种连续变化的电信号，它是随时间连续变化的函数曲线，如图 1.1 (b) 所示。模拟信号适于传输，如目前在电话线上传输的信号是按照语音强弱幅度

变化的交流信号，称为音频信号，亦是模拟信号。

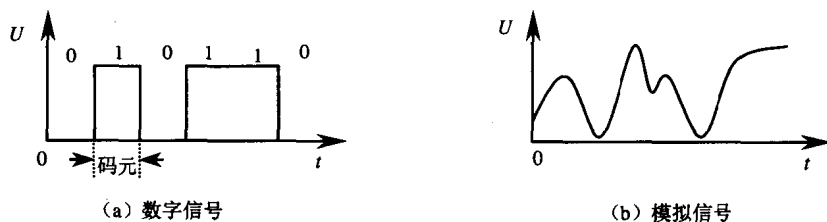


图 1.1 数字信号与模拟信号

信号在传输过程中受到的干扰称为噪声。噪声可能来自外部，也可能来自信号传输过程本身。噪声将会影响被传输信号的真实性和正确性。

4. 信道

信道是指以传输介质为基础的信号传输通道。信道可分为物理信道和逻辑信道。物理信道是指用来传输信息的物理通路，由传输介质和端接设备组成。逻辑信道是指在发送端、接收端之间传输信息的通路。逻辑信道是在物理信道的基础上建立起来的传输信息通路，一条物理信道可以对应一条或多条逻辑信道。

信道按传输信号的类型可分为模拟信道和数字信道；按使用权限可分为公用信道和专用信道；按传输介质可分为有线信道和无线信道。固定电话信道、有线电视信道和光信道均属于有线信道。

5. 数据通信

信源是产生和发送信息的一端，信宿是接收信息的一端。通信是在信源和信宿之间建立数据传输的信道。信源、信宿和中间通信设备（如中继器）称为结点，实现话音、文本、数据、图像等各种形式信息传输的多结点通信称为数据通信。

6. 数据通信系统

数据通信系统是完成数据的传递和处理的系统。它由发送终端、发射机、信道、接收机和接收终端组成，如图 1.2 所示。发送终端对数据进行处理，将数据转换成相应的模拟信号或数字信号；发射机是将数字信号放大或将数字信号转换为模拟信号，使其适合于在信道中传输；接收机将接收到的信号滤波或将模拟信号转换为数字信号，恢复成原始信号；接收终端对信号进行处理，将信号转换成原始数据。

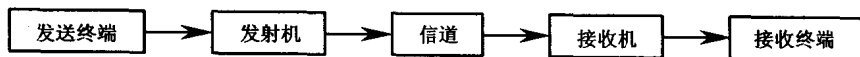


图 1.2 数据通信系统的组成

1.1.2 数据通信系统的主要技术指标

1. 数据传输速率和波特率

数据传输速率是指单位时间内所能传输的二进制数的位数，单位是位/秒 (b/s)。数据传输速率由单位脉冲宽度决定，单位脉冲宽度越窄，数据传输速率就越高。

波特率是单位时间内模拟信号波形变化的次数，单位为波特（Baud）。在信号调制过程中，单位时间内调制状态的转换次数称为调制速率，又称为波特率。

数据传输速率和波特率的关系可用下式表示：

$$C=B \log_2 n$$

式中 C ——数据传输速率（b/s）；

B ——波特率（Baud）；

n ——调制电平数，即一个脉冲所表示的有效状态。当一个脉冲表示两种状态， $n=2$ 时，则 $C=B$ ，数据传输速率和波特率相等。

2. 误码率

误码率是衡量数据传输可靠性的一个参数。它是指二进制码元在传输系统中被传错的概率。当所传输的数字序列足够长时，它近似地等于被传错的二进制的位数与所传输总位数的比值，表示为：

$$P_e=N_e/N$$

式中 P_e ——误码率；

N_e ——传错位数；

N ——传输总位数。

在计算机通信中，误码率要求低于 $10^{-9} \sim 10^{-6}$ 。

3. 信道的带宽

单位时间内在信道上传输位流的速度称为带宽，单位是位/秒（b/s）。信道的带宽即是数字信号的传输速率。在信道上传输模拟信号的频率宽度称为带宽，也就是传输模拟信号的最高频率与最低频率之差，单位是 Hz。

例 1.2 标准电话话路的频带是 300 Hz~3 400 Hz，即带宽为 3 100 Hz。

4. 信道的容量

信道的容量是指单位时间内信道最大可传输的信息量，即最大的传输速率。在一定的条件下提高信道的传输速率会降低可靠性，也就是说，信道的容量是有限的。由于受传输介质、中间通信设备和传输信号的特性等因素的影响，实际信道传输的信息量要低于信道容量。

为了估算信道容量，可引用信息论中的信道容量公式（又称香农公式）：

$$C=W \log_2 (1+S/N)$$

式中 C ——信道的极限信号传输速率（b/s）；

W ——信道的带宽（Hz）；

S ——信道上所传输信号的平均功率；

N ——信道上的噪声功率。

S/N 称为信噪比，单位为 dB（分贝）。从上式可看出，决定信道的极限信号传输速率的主要因素是信道的带宽和信噪比，信道带宽越宽，数据传输速率就越高，所以人们常把网络的“高速”和网络的“宽带”等同。在同样的信道带宽的情况下，噪声越大，则信噪比越小，能够达到的最大数据传输速率就越小。

5. 信道的传输时延

信号在信道中传输，从信源到达信宿需要一定的时间，这个时间称做传输时延。信号的传输时延与信道的传输介质、信源和信宿的距离有关。信号在光缆中的传输时延为 $300 \text{ m}/\mu\text{s}$ ，在电缆中的传输时延为 $200 \text{ m}/\mu\text{s}$ 。

1.2 数据通信原理

数据通信的主要任务包括信号的编码与译码、通信信道的多路复用、通信线路的建立与释放、报文的交换与差错处理等。

1.2.1 信号的编码

为了使信号便于传输，往往要对信号进行编码。信号的编码是用数字信号或模拟信号表示二进制数码的方法。

1. 数字信号的编码

数字信号的编码是用脉冲信号的不同组合来表示二进制数码的方法。在数字信号编码中的码元与时钟信号同步。常用的数字信号的编码有以下几种方法。

(1) 不归零编码。不归零 (NRZ) 编码用正电压表示“1”，负电压表示“0”，而且在一个码元时间内，电压均不回零，如图 1.3 (a) 所示。NRZ 全宽码有利于提高信号传输的可靠性，但当出现连续“1”或连续“0”时，则难以分辨相邻位之间的界定，使发送和接收之间不便保持同步。

(2) 曼彻斯特编码。曼彻斯特 (Manchester) 编码用电压的正跳变 (从低电平跳到高电平) 表示“1”，电压的负跳变 (从高电平跳到低电平) 表示“0”，如图 1.3 (b) 所示。曼彻斯特编码信号电压的跳变发生在一个码元的中间位置，有利于发送和接收之间保持同步，因此这种编码又称为自同步编码。

(3) 微分曼彻斯特编码。微分曼彻斯特 (Differential Manchester) 编码是对曼彻斯特编码的一种变形编码，用码元起始处有无跳变表示数字，码元的中间跳变作为同步时钟信号，若有跳变表示“0”，无跳变表示“1”，如图 1.3 (c) 所示。微分曼彻斯特编码也是自同步编码。

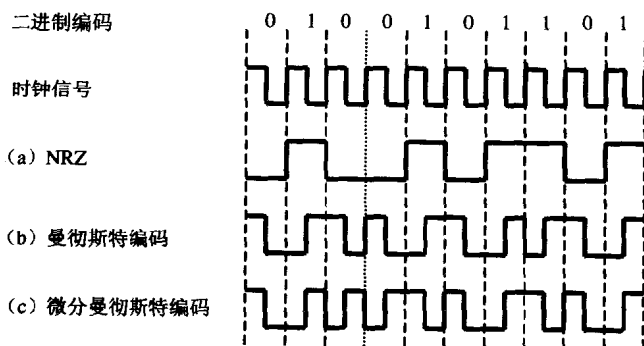


图 1.3 三种数字信号编码

(4) 4B/5B 编码。为了提高编码效率，在高速网络中常采用 4B/5B 或 5B/6B 编码。4B/5B 编码是将 4 位二进制代码组进行编码，转换成 5 位二进制代码组，如表 1.1 所示。在 5 位代码组合中有 32 种组合，但只有 16 种组合用于数据，另 8 种组合用于线路状态和控制指示，其余 8 种组合为无效编码。

表 1.1 4B/5B 编码

数据符号	4 位码组	5 位码组	数据符号	4 位码组	5 位码组	状态控制符号	意义	5 位码组	无效编码
0	0000	11110	8	1000	10010	Q	线路静止	00000	00001
1	0001	01001	9	1001	10011	I	线路空闲	11111	00010
2	0010	10100	A	1010	10110	H	线路暂停	00100	00011
3	0011	10101	B	1011	10111	J	第 1 个帧首定界符	11000	00101
4	0100	01010	C	1100	11010	K	第 2 个帧首定界符	10001	00110
5	0101	01011	D	1101	11011	T	帧尾定界符	01101	01000
6	0110	01110	E	1110	11100	R	控制指示符 0	00111	01100
7	0111	01111	F	1111	11101	S	控制指示符 1	11001	10000

2. 数字信号的模拟调制

目前的电话入户信号是按照语音强弱幅度连续变化的电信号，称为模拟信号，亦称为载波信号，而计算机输入/输出的信号是数字信号。在发送端将数字信号转换为模拟信号，这称做调制；在接收端将模拟信号转换为数字信号，这称做解调。通信是双向的，调制和解调功能合在一起的装置叫做调制解调器 (MODEM)。将数字信号调制成模拟信号常有以下三种方法。

(1) 幅移键控法。幅移键控法 (ASK) 是按数字信号的值来调制载波信号的幅度。“有载波”表示“1”。“无载波”表示“0”，如图 1.4 (a) 所示。这种方法在模拟信号传输中抗干扰能力差。

(2) 频移键控法。频移键控法 (FSK) 是按数字信号的值来调制载波信号的频率。若模拟信号的载波中心频率为 1 100 Hz，以中心频率上移 100 Hz，即是“1 200 Hz 载波”，表示“1”；以中心频率下移 100 Hz，即是“1 000 Hz 载波”，表示“0”，如图 1.4 (b) 所示。这种方法在模拟信号传输中抗干扰能力很强。

(3) 相移键控法。相移键控法 (PSK) 是按数字信号的值来调制载波信号的相位。“相位为 0° 的载波”表示“1”，“相位为 180° 的载波”表示“0”，如图 1.4 (c) 所示。这种方法在模拟信号传输中抗干扰能力较强。

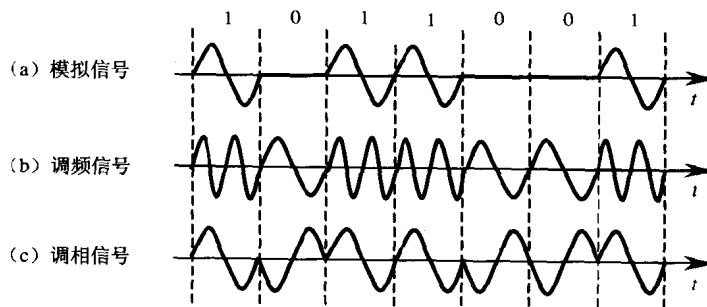


图 1.4 模拟信号编码

3. 模拟信号的数字编码

由于数字信号传输具有失真小、误码率低和传输速率高等特点，所以将模拟信号进行数字化，实现模拟信号的数字传输，可以提高传输质量。模拟信号的数字编码通常采用脉冲编码调制法（PCM），简称脉码法。模拟信号数字化编码过程包括采样、量化和编码三个步骤，如图 1.5 所示。

(1) 采样。每隔一定的时间，由采样脉冲抽取模拟信号 $f(t)$ 的幅值，获得一系列不连续的曲顶脉冲，如图 1.5 (c) 所示。

(2) 量化。每个曲顶脉冲的幅值都近似地量化为对应的整数值，这样一系列不连续的脉冲量化为离散的整数值序列。如图 1.5 (c) 所示，脉冲量化的离散数值为 3、12、6、9、15、12、6、3。

(3) 编码。每个整数值都可以用相应的二进制编码表示，离散的整数值序列转换为相应的二进制编码。如图 1.5 (c) 所示，脉冲离散数值转换为 0011、1100、0110、1001、1111、1100、0110、0011 二进制编码。

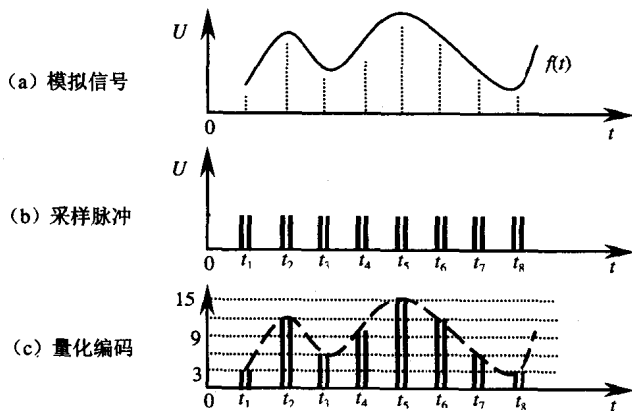


图 1.5 脉冲编码调制

例 1.3 声音的带宽为 4 000 Hz，采样速率为 8 000 次/秒，用 7 位二进制编码，则信道的数据传输速率为 $7\text{bit} \times 8000/\text{s} = 56000\text{b/s} = 56\text{Kb/s}$ 。

例 1.4 彩色电视信号的带宽为 6 MHz，采样速率为 12 兆次/秒，用 10 位二进制编码，则信道的数据传输速率为 $10\text{bit} \times 12\text{兆次/秒} = 120\text{Mb/s}$ 。

1.2.2 数据的传输

1. 数据的传输方式

数据在信道上的传输分为基带传输和频带传输两种方式。

(1) 基带传输。在计算机系统中，用二进制数字序列表示的电信号是方波，所以把方波的固有频率称为基带。数据被转换成电信号时，以原有电信号的固有频率在信道上传输，称为基带传输。数据被直接转换成原始的电信号，称为基带信号，如曼彻斯特编码、微分曼彻斯特编码、4B/5B 编码等。传输基带信号的信道称为基带信道。

在基带传输中，发送端将计算机中的二进制数据经编码器转换为适合在信道上传输的基带信号；在接收端经解码器将基带信号还原成与发送端相同的数据。基带传输适用于较近

距离的数据通信，距离为 1km~2.5km。

(2) 频带传输。在计算机系统中，在发送端将数字信号调制成一定频率的载波信号，载波信号经模拟信道传输到接收端，再将载波信号解调成数字信号，利用模拟信道传输数字信号的方法称为频带传输。频带传输适于远程传输。包括有调制和解调过程的传输系统称为频带传输系统，如图 1.6 所示。频带传输方式的特点是线路的利用率高，适用于远距离的数据通信。

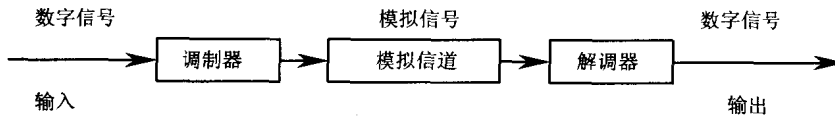


图 1.6 频带传输系统

在频带传输中，如果调制后的模拟信号的频率在音频范围（300 Hz~3 000 Hz）内，称为频带传输，如果调制后的模拟信号的频率宽于音频范围，称为宽带传输。宽带传输是将信道的带宽分割成多个子频带，这些子频带可用于模拟或数字信号的单向或双向传输。

2. 数据传输的方向

数据通信按信号传输方向的不同分为以下三种。

(1) 单工通信。单工通信如图 1.7 (a) 所示，数据只能按一个固定的方向传输，是非交互式方式，发送端和接收端是固定的。单工通信采用两线制。无线广播和电视广播都是单工通信。

(2) 半双工通信。半双工通信如图 1.7 (b) 所示，通信双方分时发送或接收，通信双方都具有发送器和接收器，通信线路简单，通信效率低，是一种经济实用的传输方式。半双工通信也采用两线制。航空和航海的无线电台、对讲机及多数计算机网络中的数据通信都是半双工通信。

(3) 全双工通信。全双工通信如图 1.7 (c) 所示，通信双方可以同时发送和接收，通信双方都具有发送器和接收器，通信的效率和传输速率高。一般全双工通信采用四线制。

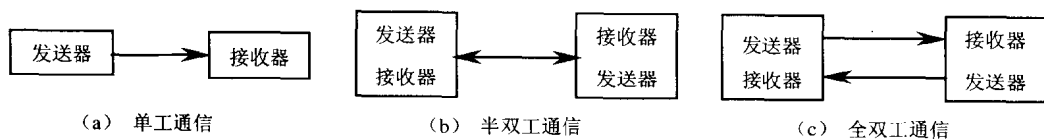


图 1.7 数据通信传输方式

3. 串行通信数据传输的同步方式

数据在通信介质上传输时，发送方发送数据的速率和接收方接收数据的速率必须相同。使数据传输的同步方式有以下两种。

(1) 异步传输方式。异步传输方式又称起止方式。数据的发送首先是一个起始位，起始位为 0（空号——Space），数据位可以是 5~8 位，数据从低有效位发送，在数据位后有校验位，最后是停止位，停止位为 1（传号——Mark），可以是 1 位、1 位半或 2 位。以起始位表示数据帧的开始，以停止位表示数据帧的结束。每帧信息之间允许有不定长的空闲位，空闲位为 1。起止方式数据通信的同步信息是帧的起始位和停止位，其数据帧格式如图 1.8

所示。

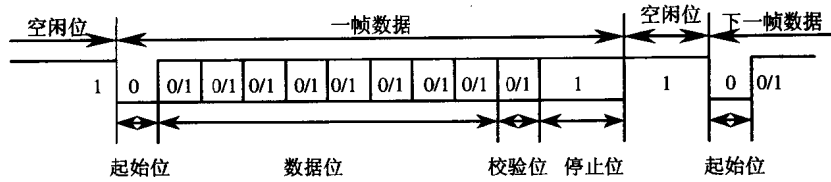


图 1.8 异步串行通信的数据帧格式

异步传输的特点是简单、实用，广泛应用于计算机串行通信系统中，但异步传输的传输效率比较低。

(2) 同步传输方式。在同步传输方式中，发送方以固定的时钟节拍发送数据信号，数据的每一位与时钟信号一一对应；接收方要从接收的数据中正确区分出每一位，即实现位同步。为了实现位同步，必须使发送方和接收方的时钟保持同步。在同步传输方式中，保持时钟同步有两种方法。外同步法是在发送方和接收方使用单独的时钟信道，在近距离传输时，可增加一根时钟信号线；内同步法是定时信号嵌套在数据信号中发送，接收方从接收到的数据流中提取时钟信号，包含有时钟信号的数据编码方法有曼彻斯特编码、微分曼彻斯特编码等。

在同步传输方式中，发送方发送数据块的起始位置和接收方接收数据块的起始位置必须“同步”，发送与接收的数据块称为帧，帧同步有“面向字符”和“面向位”两种方式。在面向字符方式中，同步数据的发送首先是 1 个或 2 个同步字符，其后是一串数字序列，最后以校验码结束。同步串行通信的数据帧格式如图 1.9 所示。

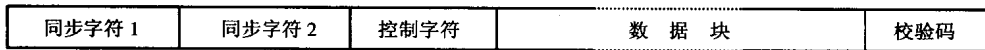


图 1.9 同步串行通信的数据帧格式

同步传输方式比异步传输方式的通信传输效率高，适用于信息块的高速传输，但由于收、发双方需要建立同步时钟，实现起来较复杂。

1.2.3 多路复用技术

多路是指多个不同的信号源。复用是指在单一的通信介质上同时传输多个不同的信号。多路复用的源端将多路信号合成为一个复合信号，接收端将收到的复合信号分离出多路信号。其目的是充分利用介质的传输能力，提高信道的传输效率。

1. 频分多路复用

频分多路复用 (FDM) 是将各路信号分配不同的频率段，各频率段的载波频率分别为 f_1 、 f_2 、 \dots 、 f_n ，每个信号都有一个以它的载波频率为中心的带宽，该带宽范围称为信道。为防止信道间的相互干扰，各信道之间加一个保护频带隔离开来，这个保护频带是不使用的频区，其保护频带分别为 f_{b1} 、 f_{b2} 、 \dots 、 f_{bn} 。频分多路复用的每个子信道的带宽可以不同，可分别传输数据、语音、图像等信息。采用频分多路复用技术，被复合的各子信道的信号必须是模拟信号。图 1.10 为频分多路复用示意图。频分多路复用通信介质的总带宽如下：

$$f \geq n f_m + (n-1) f_b$$