

现代网络技术

网络技术

现代网络技术教程

● 清华大学 张公忠 主编

现代网络技术

现代网络技术

现代网络技术



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
URL: <http://www.phei.com.cn>

645

77393

23162

现代网络技术教程

清华大学 张公忠 主编



A0919275

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书内容分为三部分:网络基础知识和网络体系结构、当代网络核心技术以及 Intranet 系统和组网技术。主要包括高速以太网、交换以太网、环网及环网交换、路由器、L3 交换、VLAN、ATM 以及 Intranet 系统和组网等技术。其特点是精炼,但不失基础和系统性,突出当代网络技术重点和结合组网工程实践。本书适合于作为高等院校计算机或相关专业的研究生或本科生教材,也可作为有关工程技术人员的培训教材或在组网工程实践时参考。

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,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代网络技术教程/张公忠主编.-北京:电子工业出版社,2000.1
ISBN 7-5053-5607-0

I.现… II.张… III.计算机网络-教程 IV.TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 65144 号

书 名:现代网络技术教程

主 编 者:张公忠

责任编辑:文宏武

特约编辑:刘朝辉

排版制作:海天计算机公司照排部

印 刷 者:北京天竺颖华印刷厂

装 订 者:三河市金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社 URL:<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:25 字数:637 千字

版 次:2000 年 1 月第 1 版 2000 年 3 月第 2 次印刷

书 号:ISBN 7-5053-5607-0
TP·2864

印 数:8000 册 定价:34.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换。
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

前 言

随着网络技术及其应用的快速发展,人们学习网络技术的热潮随之高涨。网络技术的普及犹如当年对 PC 技术的需求,学习者迫切需要合适的教材。目前的教材内容有四种类型:一是着重在基本原理,其中较多地讨论数据传输和交换的原理以及 OSI 七层模式结构;二是着重于叙述某一个特定的网络产品,比较偏重于对该网络产品的使用,其中包括网络硬件的集成与安装以及网络操作系统的安装和使用等内容,强调实用;三是广泛讨论各类网络及标准,包括各种 LAN 和 WAN 及其有关的协议和标准;四是融合了以上三方内容,面面俱到,但无新意。

在近年的科研和教学实践中,我们编写了《现代网络技术教程》这本书。它的特点是:内容有一定的系统性且比较精炼,反映当代网络技术水平,包括必要的基础知识以及一定的组网实用技术。结合当前国情,本书的内容重点放在当代 LAN 和 Intranet 技术上。从内容的编排上,先叙述一定的基础和必要的网络体系结构知识,然后着重讨论了现代以太网技术(其中包括快速以太网、1Gbps 以太网、交换型以太网等技术),对于环网(其中包括令牌环网和 FDDI)及环网交换技术也进行了深入的讨论。接着详细讨论了当代网络集成的核心技术(其中包括路由器、L3 交换、虚拟 LAN 以及 ATM 等技术),最后讲述了 Intranet 的关键技术及其组网结构。

本书适合于作为研究生和本科生网络课的教材或主要教学参考书。作为教材使用时,建议学时数为 48/64 学时。作为本科生的教材时,教师可以减少一些章节内容来进行讲授,具体建议如下:

第 3 章逻辑链路控制协议可以扼要讲授,只要介绍该协议的基本功能(包括服务和流量、差错控制)即可;

环网中的优先权技术和环网交换技术、路由器技术中的 OSPF 内部路由协议和路由器结构、ATM 中的 IPOA 和 MPOA、L3 交换技术以及第 14 章中的 WWW 应用与标记语言等章节内容可以从简讲授或不讲;

虚拟局域网一章的内容对于本科生只要求了解基本概念;

对于第 14 章中的域名、电子邮件、目录以及代理等服务只要介绍基本功能即可。

本书也可作为相关专业的工程技术人员学习网络技术时参考。一方面可比较快捷地获得必要的基础知识和系统概念;再则由于书中丰富的当代网络集成的核心技术对于组网的理论指导和工程实践均具有较大的参考价值。

全书包括 15 章,分成基础知识和体系结构、当代网络核心技术以及 Intranet 系统和组网技术三部分。第 1、2、3 章为第一部分,当代网络核心技术包括了第 4 至 12 章,Intranet 系统和组网技术涵盖了最后 3 章。

本书的第 4 至 7 章、9 至 15 章由张公忠教授编写。肖明忠编写了第 1 章。赵艳标、黄震春、卢海鹏、孟杰、宋军等编写了其余章节有关的内容。

根据作者多年的教学经验,不论是在校学生还是工程技术人员,学了本书中的这些内容后都会获得比较扎实、全面、实用的网络技术知识。希望本书对于读者有一定的帮助。书中内容有误或不妥之处,请读者批评指正。

清华大学计算机科学与技术系 张公忠
1999年10月于清华园

第 1 章 计算机网络基础

1.1 计算机网络概述

计算机网络的发展经历了由简单到复杂、由低级到高级的发展过程。它是计算机及其应用技术与通信技术密切结合的产物。最初为了解决数据采集、远程计算和处理,发展了远程联机系统——通过专用线路连接远程终端。一个远程终端利用专用线路和主机连接起来作为主机的一个用户,这种方式虽然可以实现主机资源的共享,但它的缺点是明显的:它独占线路,线路的利用率不高,主机不仅要进行数据的处理还要解决与终端的通信问题(如多个远程终端分时使用主机等)。

为解决主机负担,可以通过设置专门的通信处理机来解决通信问题,这种系统称为面向终端的计算机网络(也称为终端—计算机网络),如图 1-1 所示。

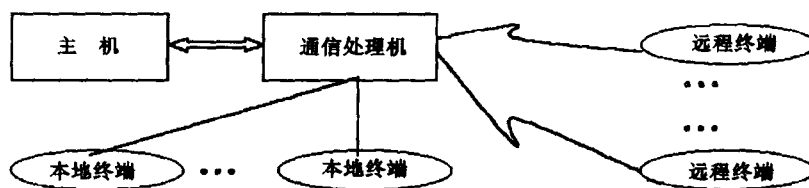


图 1-1 面向终端的计算机网络

随着计算机应用的发展,为了使计算机之间能够交换数据、资源共享,就需要把他们互连起来。这就诞生了计算机-计算机网络,简称计算机网络。

1.1.1 什么是计算机网络

计算机网络是一种地理上分散的、具有独立功能的多台计算机通过通信设备和线路连接起来,在配有相应的网络软件的情况下实现资源共享的系统。一台主控机和多台从属机的系统不能称为网络。同样地,一台带有大量终端的大型机也不能称为网络。处于网络中的计算机应具有独立性,如果一台计算机可以强制地启动、停止或控制另一台计算机,这些计算机就不具备独立性。

容易与之混淆的另一个概念是分布式系统。分布式系统的基础离不开计算机网络,实际上它是建立在网络之上的软件系统,分布式系统的用户觉察不到多个处理器的存在,用户所面对的是一台虚拟的单处理器。所有系统资源的访问都由分布式系统自动地完成(如用户提交一个任务,分布式系统自动划分子任务给不同的处理器处理)。而网络中,用户必须明确地指定在哪台机器上登录;明确地指定远程递交任务;明确地指定文件传输的源和目的地,并且还要管理这个网络。在分布式系统中,不需要明确指定这些内容,系统会自动地完成而无需用户的干预。网络和分布式系统的区别更多地取决于软件(尤其是操作系统)而不是硬件。

1.1.2 计算机网络分类

按传输技术划分,计算机网络可划分为广播式网络和点到点网络;按网络的作用范围和计算机之间互连的距离可划分为局域网、城域网和广域网;按网络的数据传输与交换(转接)系统的所有权划分,又可分为专用网和公用网。此外,还可以按信息交换方式、通信制式和拓扑结构等进行分类。按交换技术可分为:电路交换网络、报文交换网络、分组交换(包交换)网络等;按网络的拓扑结构划分可分为:总线型网络、星型网络、环型网络等;按传输的信道可以分为模拟信道网络和数字信道网络等等。

总之,划分的标准非常之多。下面就常见的几种分类作介绍。

- 广播式网络和点到点网络

广播式网络(broadcast network)仅有一条通信信道,由网络上的所有机器共享。短的消息,即按某种数据结构组织的分组或包(packet),可以被任何机器发送并被其他所有的机器接收。分组的地址字段指明此分组应被哪台机器接收。一旦收到分组,各机器将检查它的地址字段。如果是发送给它的,则处理该分组,否则将它丢弃。广播式系统通常也允许在它的地址字段中使用一段特殊的代码,以便将分组发送到所有的目标。使用此代码的分组发出以后,网络上的每一台机器都会接收它。这种操作被称为广播(broadcasting)。某些广播系统还支持向机器的一个子集发送的功能,即多点播送(或组播)(multicasting)。一种常见的方案是保留地址字段的某一位来指示多点播送,而余下的 $n-1$ 位地址字段存放组号。每台机器可以注册到任意组或所有的组。当某一分组发送给某个组时,它被发送到所有注册到该组的机器。

点到点网络(point-to-point network)由一对机器之间的多条连接构成。为了能从源到达目的地,这种网络上的分组可能必须通过一台或多台中间机器。通常是多条路径,并且长度可能不一样,因此在点到点的网络中路由算法显得特别重要。一般来说,小的、地理上处于本地的网络采用广播方式,而大的网络多采用点到点方式。

- 专用网和公用网

公用网由电信部门组建,一般由政府电信部门管理和控制,网络内的传输和交换装置可提供(如租用)给任何部门和单位使用。专用网是由某个部门或公司组建,不允许其他部门或单位使用。专用网也可以租用电信部门的传输线路。

- 局域网、城域网和广域网

局域网(local area network),简称 LAN,它的地理范围一般在十公里以内,属于一个部门或一个单位组建的专用网络。局域网常常被应用于连接单位内部的计算机资源,以便共享资源(如打印机和数据库)和交换信息。LAN 的覆盖范围比较小,这意味着即使是在最坏的情况下其传输时间也是有限的,并且可以预先知道传输时间。知道了传输的最大时间,就可以使用某些特殊的设计方法(针对局域网),这正是局域网区别于其他类型网络的方面之一。

LAN 通常使用的传输技术是用一条电缆连接所有的机器。广播式 LAN 常见的拓扑结构有总线、环型等。局域网的特点是组建方便、使用灵活,它是计算机网络中目前最活跃的分支。随着信息化的不断发展,为了更好地发挥网络作用,局域网也可以连接到广域网或公用网上。用户可以享用外部网(如 Internet)上提供的许多资源。关于局域网更多的知识本书后面还要专门讨论。

城域网(metropolitan area network),简称 MAN,基本上是一种大型的 LAN,通常使用与 LAN 相似的技术。它可能覆盖一个城市,既可能是专用的也可能是公用的。它的传输速率通

常在 10Mbps 以上,其作用距离约为 5~50km。MAN 可以支持数据和声音,并且有可能涉及到当地的有线电视网。MAN 仅使用一条或两条电缆,并且不包含交换单元(即把分组分流到几条可能的引出电缆的设备)。把 MAN 列为单独一类的主要原因是已经有了一个标准并且正在实施。这就是 IEEE802.6。即分布式队列双总线 DQDB(distributed queue dual bus)。MAN 的关键之处是使用了两条单向总线(电缆),所有的计算机都连接在上面。如图 1-2 所示,每条总线都有端点(head-end),这是一个启动传输活动的设备。目的计算机在发送者右方时使用上方的总线。反之,使用下方的总线。

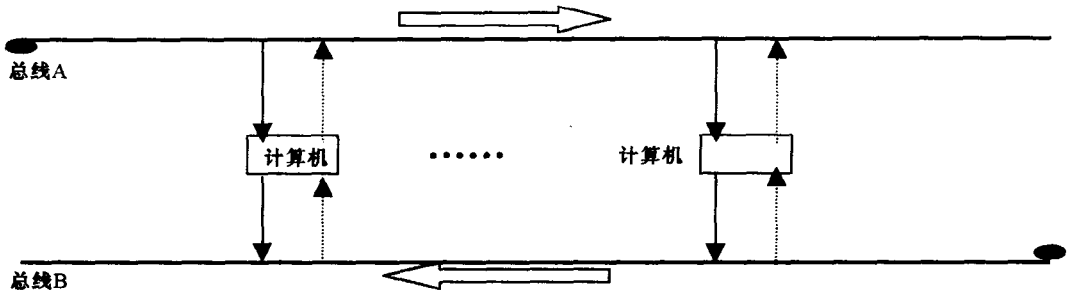


图 1-2 DQDB 城域网的结构

广域网(wide area network),简称 WAN,是一种跨越大的地域的网络。通常覆盖一个国家或州。如图 1-3 所示。网络上的计算机称为主机(host),又名端点系统(end system)。主机通过通信子网(communication sub net)连接。通信子网的功能是把消息从一台主机传输到另一台主机。因此在某些文献中把网络的结构分为两部分,即:通信子网和资源子网。认为通信子网负责整个网络的纯粹通信部分,资源子网即是各种网络资源(主机、主机上的软件资源、打印机等等)的集合。

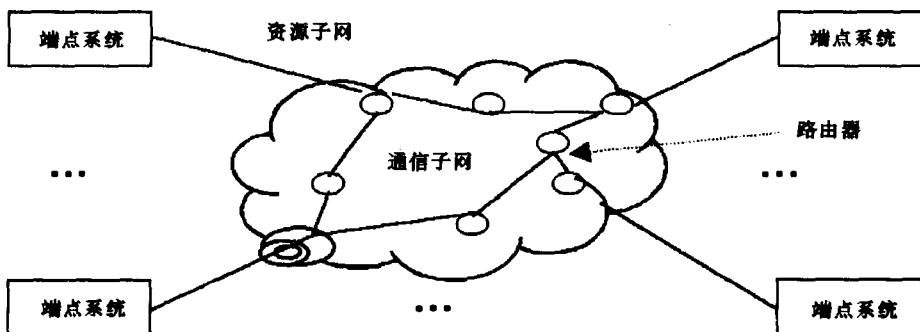


图 1-3 通信子网和资源子网

在大多数广域网中,通信子网由两个不同的部件组成,即传输线和交换单元。传输线也称为线路、信道,严格说来信道不仅是传输线,它还有逻辑信道之说,其上传送比特。

交换单元是一种特殊的计算机,用于连接两条甚至更多条传输线。当数据从传输线到达时,交换单元必须为它选择一条输出线以传递它们。交换单元又常被称为:分组交换节点(packet switching node)、中介系统(intermediate system)、数据开关交换(data switching ex-

change)、路由器(router)等。在图 1-3 中,每个主机都被连接到一个带有路由器的 LAN 上,当然也可以直接连接到路由器上。

在大多数 WAN 中,网络包含大量的缆线,每一条都连接一对路由器。如果两个路由器之间没有直接缆线连接而又希望通信,则必须使用间接的方法,即通过其他路由器。当通过中间路由器把分组从一个路由器发往另一个路由器时,分组会完整地每个中间路由器接收并保存起来。当需要的输出线路空闲时,该分组就被转发出去。使用这种原理的通信子网称为点到点(point-to-point)、存储转发(store-and-forward)或分组交换(packet-switched)子网。几乎所有的广域网都使用存储转发技术。分组的大小与通信子网有关,比如在 ATM 网络中,它的分组很小,并且大小相同(53 字节),称为信元(cell)。

1.2 数据通信基础

数据通信是一门独立的学科,它涉及的范围很广。它的任务是利用通信媒体传输信息。信息就是知识,数据是信息的表达形式,信息是数据的内容。数据通信就是用什么媒体,什么技术来使信息数据化以及传输它。本节着重从计算机网络的角度出发,阐述有关数据通信的基本知识。

1.2.1 数据通信模型

• 信道与信号

数据有数字数据(具有离散值,如字符串等)和模拟数据(在某时间间隔中具有连续的值,如音频数据)之分。在通信系统中,数据需要编码(变换)为电信号的形式从一点传到另一点。由于有两种不同的数据类型,电信号相应有两种基本形式:模拟信号和数字信号。模拟信号是一种连续变换的电信号,它的取值可以是无限多个,例如语音信号。数字信号是一种离散信号,它的取值是有限个数。用数字信号进行的传输称为数字传输,用模拟信号进行的传输称为模拟传输。图 1-4 为此两种信号的典型表示。

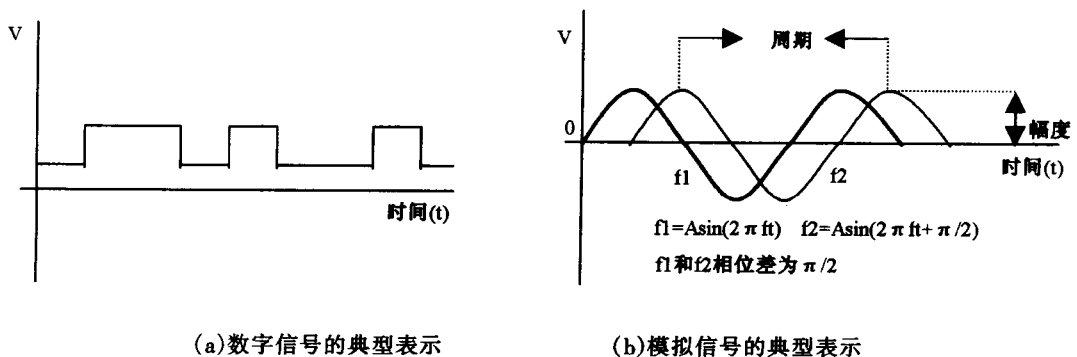


图 1-4 信号的典型表示

信道是信号传输的通道,包括通信设备和传输媒体。这些媒体可以是有形媒体(如电缆、光纤)或无形媒体(如传输电磁波的空间)。

信道可以按不同的方法分类,按传输媒体来分,可以分为:有线信道和无线信道;按传输信

号类型可分为模拟信道和数字信道;按使用权可分为专用信道和公用信道等。对于不同信道,其特性和使用方法有所不同。

- 数据通信模型

数据通信的基本目的是在接收方与发送方之间交换信息,如图 1-5 所示。

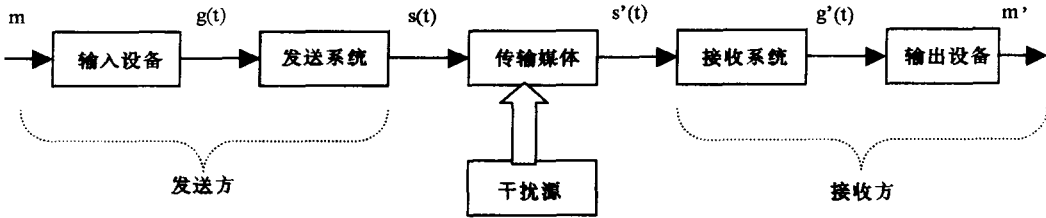


图 1-5 数据通信模型

在图中,要交换的信息是标有 m 的信息。这一信息用 g 表示,一般以时变信号 $g(t)$ 的形式送到发送设备。信号 $g(t)$ 要被发送,通常不会处于一种适于传输的形式,因此须转换成某种意义下与传输媒体特征相匹配的信号 $s(t)$ (称为数据编码,即将输入数据转换为能被传输的信号的过程,与通信媒体有很大关系)。送到媒体上的传输信号在到达接收设备之前会面临一系列的干扰,因此接收到的信号 $s'(t)$ 可能在某种程度上不同于 $s(t)$ 。 $s'(t)$ 再经接收设备转换为适于输出的形式。转换后的信号 $g'(t)$,是 $g(t)$ 的近似值或估值。最后,输出设备将估计出的信息 m' 提交给接收方。我们发现:发送的是 m 而接收的是 m' 。这即是在传输过程中发生了畸变,这些畸变大部分取决于所用的传输媒体的性质。这种结果是我们不希望发生的,如何避免或减少这种现象的发生,就是后续会提到的差错控制技术。注意:接收方和发送方可以是一个用户或一个进程。

1.2.2 数据传输

数据的成功传输主要依赖于两个主要的因素:要传输的信号的质量和传输媒体的性能。模拟或数字数据都既可以用模拟又可以用数字信号来传输。这些信号在传输过程中都会发生衰减、变形,尤其是在长距离传输后会发生严重的畸变。数据传输的好坏,还取决于发送和接收设备的性能。

数据在线路上的传送方式可以分为单工方式、半双工方式和全双工方式三种。单工方式指数据信号仅沿一个方向传输,发送方只能发送不能接收,接收方只能接收而不能发送。为使双方能单工通信,还需一根线路用于控制。单工通信的信号传输链路一般由两条电线组成,一个用于传输数据,另一个用于传送控制信号,通常又称为二线制。半双工通信是指信号可以沿两个方向传送,但同一时刻一个信道只允许单方向传送。半双工方式适用于终端与终端之间的会话式通信。全双工通信是指数据可以同时沿相反的两个方向传送。实现的方法可以采用二线制,也可以采用频率分割法,使传输信道分为高频信道和低频信道。

在通信模型中我们已经看到,信号由发送设备产生并经媒体传输。信号是时间的函数,但也可以表示为频率的函数。根据傅立叶信号分析理论,任何信号都是由各种频率的成分组成,其中每一成份都是正弦波(或余弦波)。举例来说,假如某信号按傅立叶变换后为:

$$s(t) = \sin 2\pi ft + 1/3 \sin 3(2\pi ft) + 1/5 \sin 5(2\pi ft) \quad (1.1)$$

显然此信号是由频率成分正好为 $f, 3f, 5f$ 的正弦波叠加而成。

一般情况下,模拟信号的频谱(频率的取值情况、范围)是离散的,即频域函数 $s(f)$ 是离散的,相反数字信号的频谱是连续的。如图 1-6(a)所示,给出了式(1.1)信号的频谱, $s(f)$ 轴表示对应频率成分的幅值,信号频谱中最高频率与最低频率成分的差称为信号的绝对带宽,图 1-6(a)描述带宽为 $4f$ 的一个例子。图 1-6(b)给出了一个数字信号及其对应频谱图的例子。

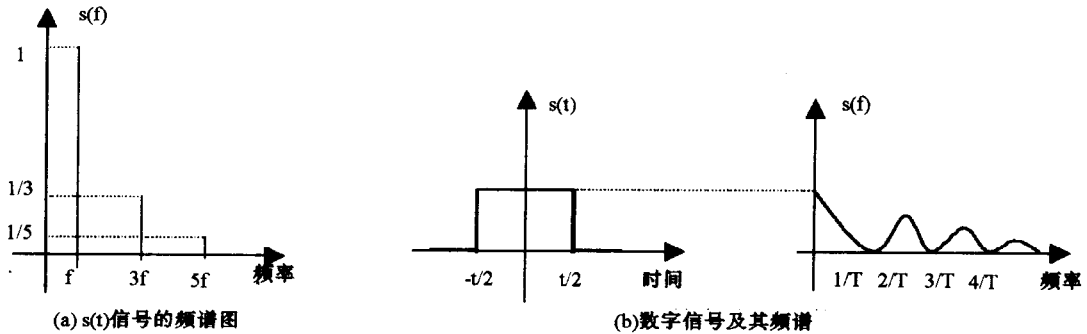


图 1-6 信号及其频谱

从图 1-6(b)中可看出,数字信号的带宽为无穷大,但信号的大部分能量集中在 $0-4/T$ 的相对较窄的频带里,这个带称为有效频带或带宽。

在数据传输速率和带宽之间存在一个对应关系,即传输信号中的数据率越高,其带宽越高,从另一方面看,信号的带宽越宽,这种信号传输数据的数据率就越高。

根据香农噪声信道理论:对于噪声信道,任何带宽为 H Hz、信噪比为 S/N 的信道,其最大的数据传输率为: $H \log_2(1 + S/N)$ (bps)。例如:在模拟电话系统中带宽通常为 3kHz,信噪比为 30db,则这种信道上最大数据传输率为 $3k \log_2(1 + 1000)$ (式中 $S/N = 1000$)。

1.2.3 数据编码

在通信模型中提到,数据经编码成数字/模拟信号才能传输(编码技术应仔细考虑信道的特点)。

对于数字信号传输技术,数据源(可能是模拟数据或数字数据)编码成数字信号 $s(t)$, $s(t)$ 的实际形式取决于编码技术,而且编码技术要仔细选择以优化信道的使用。如:可选用某种编码技术,以节约带宽或尽量减少误码。

对于模拟信号传输技术,它的基础是连续的固定频率的信号(成为载波信号),载波信号频率的选择,应使之适于所用的传输媒体。数据通过调制,可用载波信号来传输。调制是将源数据编码到频率为 f_c 的载波信号上的过程。

• 数字数据编码成数字信号

数字信号是一系列离散的不连续的电压脉冲,每一脉冲称为一个信号码元。编码技术就是从数据比特到信号码元的变换。即二进制数据通过将每一数据比特编码为信号码元来传输。简单的做法是在比特和信号码元之间建立一一对应的关系。如:二进制的 0 用低电平表示,而二进制的 1 用高电平表示,如图 1-7 所示。

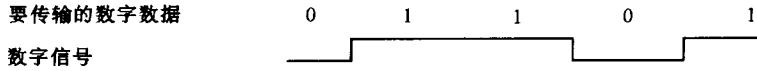


图 1-7 单极性不归 0 编码

此种技术称为单极性不归 0(NRZ)编码技术,这是最容易实现的编码,一般用来产生或解释数字数据,若传输要用的是另一种码型,它通常是由传输系统从 NRZ 信号产生,按图 1-5, NRZ 信号是 $g(t)$,而已编码信号为 $s(t)$ 。其他技术如差分编码等将在本书第二章中介绍。

• 数字数据编码成模拟信号

这种变换最熟悉的用途是经过电话线传输数字数据,如图 1-8 所示。

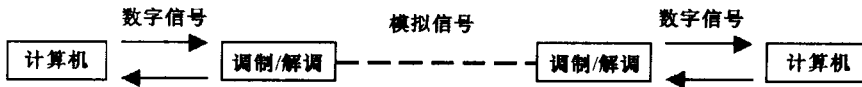
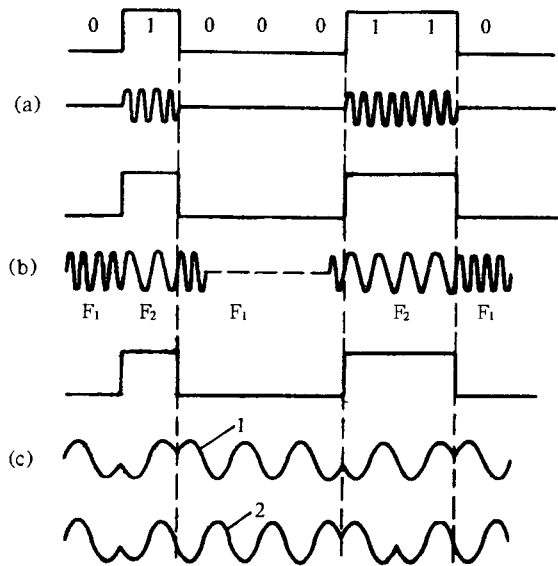


图 1-8 电话线传送数字数据

将数字数据转换为模拟信号的编码(调制)技术有:调幅(ASK)、调频(FSK)、调相(PSK)三种技术,如图 1-9 所示。



(a)幅度调制 (b)频率调制

(c)1—绝对相位调制 2—相对相位调制

图 1-9 三种调制技术

在 ASK 中,两个二进制由载频的两个不同的振幅来表示。通常一个振幅为 0,即是说一个二进制用载波的存在且有恒定振幅来表示,而另一个则用载波的不存在表示。产生的信号

$$s(t) = \begin{cases} A\cos(2\pi f_c t + \theta_c) & \text{二进制 1} \\ 0 & \text{二进制 0} \end{cases}$$

这里载波信号是： $A\cos(2\pi f_c t + \theta_c)$

在 FSK 中，两个二进制数值用两个不同频率表示。信号为：

$$s(t) = \begin{cases} A\cos(2\pi f_1 t + \theta_1) & \text{二进制 1} \\ A\cos(2\pi f_2 t + \theta_2) & \text{二进制 0} \end{cases}$$

在相位调制中，振幅和频率为常量，信号“1”和“0”分别用不同的相位波形来表示，如图 1-9(c)所示。相位调制又分为绝对相位调制和相对相位调制两种。

绝对相位调制中，数字“0”和“1”的载波起始相位不同，如可以用 $\theta = 0^\circ$ 代表“0”， $\theta = 180^\circ$ 代表“1”，也可以反过来。此种方法称为两相调制；若 θ 可为 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 分别表示二进制数 00、01、10、11，此种方法称为四相调制，每个调制时间间隔包含 2 个比特的信息，因此，使信息传输速率增加一倍。

相对相位调制时，载波不产生相移代表数字“0”，载波有 180° 相移代表数字“1”。

• 模拟数据编码为数字信号

实际上称为模拟数据转换为数字数据更为确切，即模拟数据数字化。一旦模拟数据转换为数字数据，常发生三种情况：

- ① 数字数据可以用 NRZ 编码成数字信号后传输，已在前文中有记述，记为 $g(t)$ 。
- ② $g(t)$ 可再施行诸如差分曼彻斯特编码后，进行数字化传输。
- ③ $g(t)$ 也可采用上文中的 ASK、PSK、FSK 技术编码后，进行模拟传输。

关于第③点，以语音数据数字化后又转化为模拟 ASK 信号为例，给出示意图如图 1-10 所示。

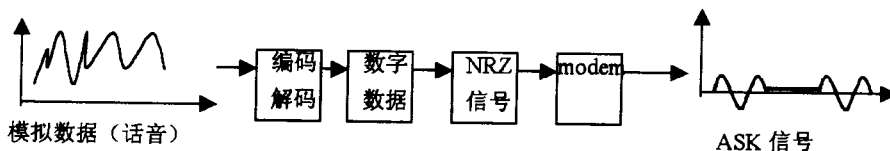


图 1-10 模拟数据数字化

编码解码实现模拟数据的数字化，本节即是讨论此编码解码技术。主要讨论其中两个基本技术——脉码调制和增量调制。

① 脉码调制(PCM)

PCM 技术基于取样理论：“如果信号 $f(t)$ 在均匀时间间隔，以高于最高的明显信号频率的两倍速率取样，那么，样本包含了原信号的所有信息。用一个低通滤波器可从样本重现函数 $f(t)$ ”。比如声音数据频率一般在 4kHz 以下，只要采样每秒 8000 次即可完全描述声音信号的特征。假定信号带宽为 B ，以 $2B$ 速率取样，则样本可用其幅度与原信号值成正比的窄脉冲表示，此即为脉幅调制 PAM，展示于图 1-11(b)中。

在图 1-11(c)中，我们可以看到每一个 PAM 脉冲用一个 3 比特的数字数据来近似，这样就可以用 $8 = 2^3$ 个电平值近似表示 PAM 脉冲。

总之，PCM 过程为：连续时间幅度的模拟信号，经 PAM 取样后，变为离散时间连续幅度信号(PAM 窄脉冲)，PAM 脉冲经过量化后，变为离散时间离散信号(PCM 脉冲)，对 PCM 脉冲

进行编码(即不同幅度的脉冲对应不同的比特流),最后得到数字数据。

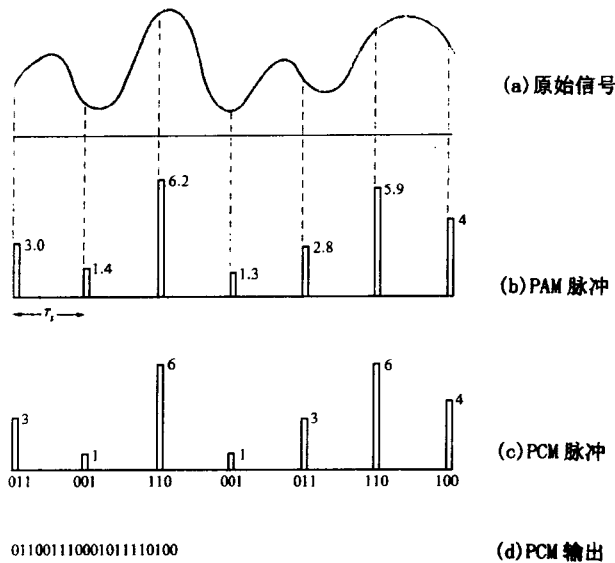


图 1-11 PCM 调制

②增量调制(DM)

在 DM 中,对于模拟数据,在每一个取样时刻上移或下移一个量化电平(电平的一个数量单位),如图 1-12(a)所示,使得原信号由一阶梯函数近似,在阶梯函数中,若某取样时刻是上移则产生一个 1,若是下移则产生一个 0。从而得到图 1-12(b)所示的 DM 输出,即将模拟信号数字化为 DM 编码。

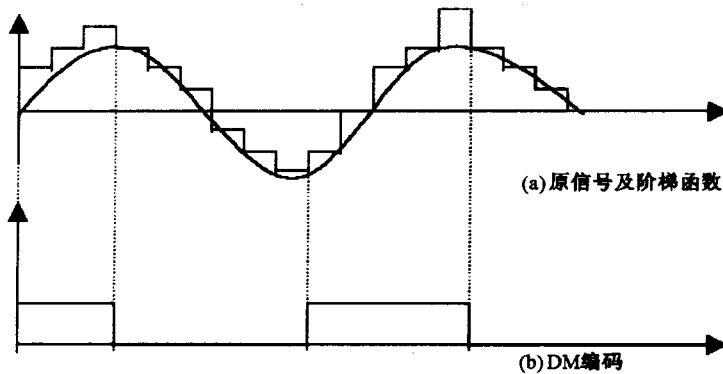


图 1-12 DM 的例子

在有 128 个量化电平(电平大小可为 128 种)或 7 比特编码($2^7 = 128$)时,通过 PCM 可得

到很好的话音再现。若话音信号占有 4kHz 的带宽,则取样每秒 8000 次,PCM 编码的数据率为 $8000 \times 7 = 56\text{Kbps}$ 。大量研究表明基于 PCM 技术的一些相关改进,会优于与 DM 相关的技术。

- 模拟数据编码为模拟信号

我们已经知道调制就是将输入信号 $m(t)$ 与频率为 f_c 的载波结合起来,以产生通常带宽中心位于 f_c 的信号 $s(t)$ 的过程。对于数字数据,当只有模拟传输可用时,需要将数字数据变为模拟信号。若模拟数据不加变换地在原频谱上经媒体传输(称为模拟基带传输),有很多局限性(基带传输占有信道的全部带宽),为有效地传输,就要对信号进行一些处理,即调制,变为频带传输。如前述,信号的三个基本特征常用于调制,所以模拟数据的基本调制技术有:调幅、调频、调相。有关技术内容请参阅有关文献。

1.2.4 数字数据通信技术

- 数据同步传输

数据通信中,通信双方要交换数据,需要有高度的协同动作。通常,数据经媒体一次一比特的传播。这些比特的计时(速率、持续时间、间隔)对于接收方和发送方来说必须相同,这就是同步问题。所谓同步,就是接收方要按照发送方发送每个码元的起止时刻和速率来接收数据,否则,收发之间会产生误差,即使是很小的误差,随着时间增加的逐步累积,也会造成传输的数据出错。通常采用的同步技术有:同步方式和异步方式。

① 异步方式

在这种方式中,每传送一个字符(5 位或 8 位)都在每个字符码前加一个起始位,以表示字符代码的开始,在字符代码和校验码后面加一个停止位,表示字符结束。异步方式实现比较容易,因为每个字符都加上了同步信息,计时的漂移不会产生大的积累(举例说明:通常接收方在每一个比特时间的中心在媒体上取样,若收发双方有 50% 的计时误差,接收方的第一个取样就会偏离该比特中心 0.05 个比特时间,则在第 10 个取样末尾,接收方可能收到错误,这是一个积累过程。若采用异步方式,每几个比特就同步一次,则不会产生大的积累而出错,比特块越大,积累的计时误差越大。要使用较大的比特块,得使用同步方式),但每个字符需要多占 2-3 位的开销,适用于低速终端设备。由于这种方式的字符发送是独立的,所以称为面向字符的异步传输方式。

② 同步方式

同步方式的每个字符前后并不附加起止位作为字符的边界,而是在发送字符之前先发送一组同步字符,通常为 8 位或 16 位,使收发双方进入同步。同步字符之后,可以连续发送任意多个字符,直到控制字符指出这一组字符传送结束。在同步传送时,发送方和接收方将整个字符组作为一个单位传送,从而提高了数据传输的效率。所以这种方法一般用在高速传输数据的系统中,如计算机之间的数据通信。为防止收发双方之间的计时漂移,他们的时钟必须以某种方式同步。一种可能是在收发之间提供一条另外的时间链路。另一种可能是,将时间信号掺入数据信号中。

起止标识、同步标识等称为控制信息,用于控制数据的传输同步,数据块加上控制信息称为帧,若数据块被当作字符,这样的帧被称为面向字符的帧。若数据块被看作是比特流,则称为面向比特的帧。异步传输通常是面向字符的,同步传输可能是面向字符的也可能是面向比特的。

- 差错控制

我们已经知道,数据传输并不是无差错过程,因而需要解决这些差错的方法。常见的差错控制技术有:奇偶校验、循环冗余校验、海明码等。由发送方选择差错控制技术,形成含差错控制信息的数字数据,传送到接收方后,接收方按此技术,分析收到数据是否正确。有的差错控制在确认收到的数据有误后,还能自动纠错,对于不能纠错的,可以采用要求重发技术等。

1.2.5 多路复用技术

在长途通信中,一些高容量的同轴电缆、地面微波、卫星设施以及光缆,其可传输的频率带宽很宽,为了高效合理地利用资源,通常采用多路复用技术,使多路数据信号共同使用一条线路进行传输,即利用一个物理信道同时传输多个信号,如图 1-13 所示。

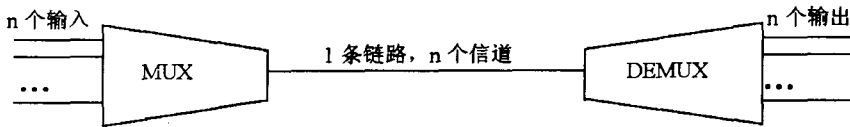


图 1-13 多路复用技术

在图 1-13 中,多路复用器(MUX)将来自多个输入线的多路数据组合、调制成一路复用数据,并将此数据信号送上高容量的数据链路;多路分配器接收复用的数据流,依照信道分离(分配)还原为多路数据,并将他们送到适当的输出线路上。

多路复用技术通常分为两类:频分多路复用 FDM(frequency division multiplexing)、时分多路复用 TDM(time division multiplexing)。下面介绍它们的工作原理。

- 频分多路复用(FDM)

频分复用的典型例子有许多,如无线电广播、无线电视中将多个电台或电视台的多组节目对应的声音、图像信号分别载在不同频率的无线电波上,同时在一一无线空间中传播,接收者根据需要接收特定的某种频率的信号收听或收看。同样,有线电视也是基于同一原理。总之,频分复用是把线路或空间的频带资源分成多个频段(带),将其分别分配给多个用户,每个用户终端的数据通过分配给它的子通路(频段)传输,主要用于电话和有线电视(CATV)系统。在 FDM 频分复用中,各个频段(带)都有一定的带宽,称之为逻辑信道(有时简称为信道)。为了防止相邻信道信号频率覆盖造成的干扰,在相邻两个信号的频率段之间设立一定的“保护”带,保护带对应的频谱未被使用,以保证各个频带互相隔离不会交叠。

- 时分复用(TDM)

时分多路复用是将传输信号的时间进行分割,使不同的信号在不同时间内传送,即将整个传输时间分为许多时间间隔(称为时隙、时间片等,slot time),每个时间片被一路信号占用。换句话说,TDM 就是通过的时间上交叉发送每一路信号的一部分来实现一条线路传送多路信号。线路上的每一时刻只有一路信号存在,而频分是同时传送若干路不同频率的信号。因为数字信号是有限个离散值,所以适合于采用时分多路复用技术,而模拟信号的传输一般采用频分多路复用。TDM 又分为同步时分复用(Synchronous Time Division multiplexing)和异步时分复用(ATDM)。

① 同步时分复用

同步时分复用采用固定时间片分配方式,即将传输信号的时间按特定长度连续地划分成特定时间段,再将每一时间段划分成等长度的多个时隙(时间片),每个时隙以固定的方式分配给各路数字信号,各路数字信号在每一时间段都顺序分配到一个时隙。通常,与复用器相连接的是低速设备(如终端),复用器将低速设备送来的在时间上连续的低速率数据经过提高传输速率,将其压缩到对应时隙,使其变为在时间上间断的高速时分数据,以达到多路低速设备复用高速链路的目的。所以与复用器相连的低速设备数目及速率受复用器及复用传输速率的限制。

由于在同步时分复用方式中,时隙预先分配且固定不变,无论时间片拥有者是否传输数据都占有一定时隙,形成了时隙浪费,其时隙的利用率很低,为了克服 STDM 的缺点,引入了异步时分复用(ATDM)技术。

② 异步时分复用

异步时分复用技术又被称为统计时分复用(statistical time division multiplexing)或智能时分复用(ITDM),它能动态地按需分配时隙,避免每个时间段中出现空闲时隙。

ATDM 就是只有某一路用户有数据要发送时才把时隙分配给它。当用户暂停发送数据时不给它分配线路资源(时隙)。线路的空闲时隙可用于其他用户的数据传输。所以每个用户的传输速率可以高于平均速率(即通过多占时隙),最高可达到线路总的传输能力(即占有所有的时隙)。如线路总的传输能力为 28.8Kbps,3 个用户公用此线路,在同步时分复用方式中,则每个用户的最高速率为 9600bps,而在 ITDM 方式时,每个用户的最高速率可达 28.8Kbps。

1.2.6 数据交换技术

交换即转接,是在交换通信网中实现数据传输的必不可少的技术。图 1-14 给出了一般交换网络的示意图。

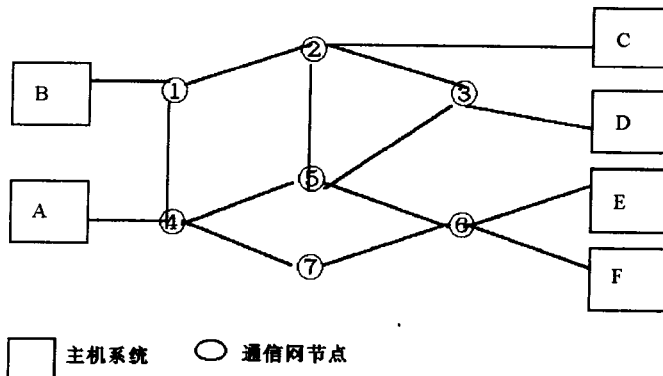


图 1-14 一般交换网络

常用的交换技术有三种:电路交换(线路交换)、报文交换和分组交换(包交换),下面介绍几种交换技术及其特点。

• 电路交换(circuit switching)

电路交换是一种直接的交换方式,它为一对需要进行通信的装置(站)之间提供一条临时