

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

中小学信息科学知识

网络与通讯



第一章 计算机网络基本的概念

第一节 计算机网络的形成、发展及组成

我们知道，当今社会是信息化社会，信息化社会的最主要的标志之一就是计算机的大范围普及，特别是计算机网络的处处延伸。离开计算机网络这一高速信息传输通道，信息化是根本无从谈起的。因此也有人说，当今社会是一个以计算机网络为中心的社会。借助于计算机网络，全世界不同民族，不同地域的人们才能跨越地域障碍进行各种信息交流。人类从来没有像现在这样如此紧密地联系在一起。

那么，什么是计算机网络，它又是怎样产生的呢？一个计算机网络必须包括哪些组成部件，又具备哪些功能呢？本节将一一给大家解释这些问题。

一、计算机网络的产生与发展

计算机网络（Computer Network）是计算机（Computer）技术和通信（Communication）技术紧密结合的产物，亦即 C&C 的结合。它的发展过程经历了从简单到复杂，从单机到多机的演变过程。其形成与发展可以分为三个阶段：

第一阶段：以单个计算机为中心的远程联机系统，构成面向终端的计算机系统；

第二阶段：多个主计算机通过通信电路互连形成计算机网络的雏形；

第三阶段：在第二阶段的基础上，形成统一的网络体系结构，形成真正的计算机网络。

计算机诞生的初期与通信是没有任何联系的。那时的计算机个个都是庞然大物，又很娇贵，必须放置在专用机房之内，周围环境温度、湿度、噪声、灰尘度等都有严格要求，否则就有罢工的可能。再加上操作的难度，价格的昂贵，当时的计算机只能用于军事、政府部门及一些大的科研机构。用户如果想要利用这种科技成果，只能将自己写好的程序送到机房工作人员手中，由工作人员依据某种原则（时间顺序或重要程序）逐一输入进行运算。用户送去源程序后往往要等待若干小时甚至一两天才能取到结果，用我们现在人的眼光看，这种操作方法真是其笨无比，但当时只能这样。显然，这种方法对用户的时间（特别是远程用户）是一个极大的浪费，因此到了 60 年代，随着操作系统的发展，出现了远程终端系统（如图 1—1 所示）。远程终端通过电话线与主机相连，远程用户的数据通过远程终端、电话线送入主机，主机执行后将结果通过电话线送到远程终端上。从这时开始，计算机和通信就发生了关联，这种简单的“计算机—通信线路—终端”系统，构成了计算机网络的雏形。它是由一台主计算机连接大量在地理位置上处于分散的终端构成的系统，在这种系统中，除主计算机具有独立的数据处理能力外，系统中所连接的终端均无独立处理数据功能。因此，这种系统还不能称之为计算机网络，一般称为“面向终端的联机系统”。

在联机系统中，要利用电话在主计算机和终端之间传送

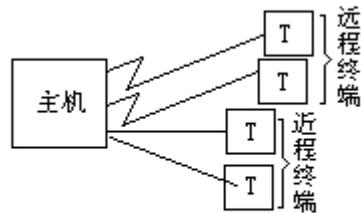


图1-1 面向终端的计算机系统

T-terminal.

数据，显然需要一种能够进行信号转换的设备。这是因为主计算机或终端发出的信号是二进制数字信号，而电话线只能传送连续的模拟信号。这种完成数字—模拟（模拟—数字）转换的设备叫调制解调器（Modem）。调制解调器的作用是在发送一方将二进制的数字信号转换成模拟信号，在接收一方又将收到的模拟信号转换成计算机和终端能够识别的数字信号。

对于主机来讲，计算机原本的主要作用是进行数据处理和计算，并没有考虑到要进行与远程终端的通信，因此，联机系统的主机必须增设一个通信控制部件，这个控制部件叫做线路控制器，其作用就是进行串行和并行的转换，因为计算机内部信号的传输是并行传输，而通信线路上信号的传输是串行传输；另一个作用就是进行简单的传输控制。

综上所述，面向终端的联机系统其简单的结构如图 1—2 所示。

随着与主机相连的远程终端数的增加，线路控制器的负担越来越重，线路控制器又是在主机的控制下工作的，因此，计算机既要承担数据处理任务，又要控制与终端之间的通信。

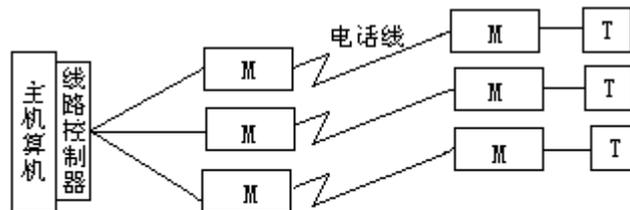


图1-2 联机系统结构示意图

M-Modem; T-Terminal.

主机的负担过于沉重，影响了它的工作效率。为了解决这个问题，人们推出了通信处理机（或称前端处理机）。通信处理机是一台具有独立数据处理能力的计算机，用来专门负责数据通信工作，从而实现了数据处理与通信控制的分工，使主计算机能够更好地发挥出它的数据处理能力。

另一方面，为了节省通信费用，提高通信效率，在终端比较集中的地方可以设置集中器。集中器也是一台独立的计算机，它的作用是把终端发来的信息收集起来，再用高速线路传给前端处理机，当主机把信息发给用户时，集中器先接收由前端处理机发来的信息，经过处理再分发给用户。

不论是通信处理机还是集中器，都是具有独立数据处理能力的计算机，因此，这种系统就称为面向终端的多机系统，其逻辑结构如图 1—3 所示。

随着计算机应用的发展，出现了多台计算机互连的需求。这些需求主要来自军事、科学研究及大型企业。他们希望将分布在不同地点的计算机系统通过通信线路互连起来，能够

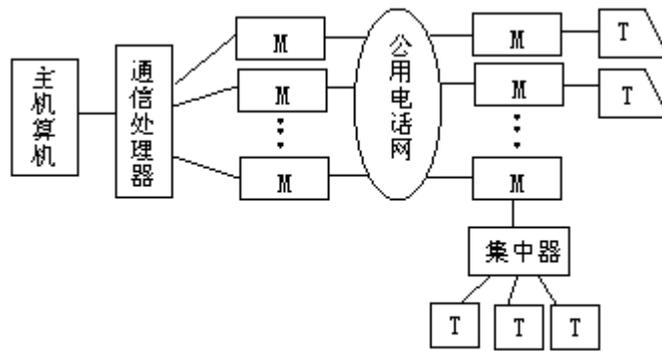


图1-3 面向终端的多机系统

彼此享用对方的信息资源。这样，用户既可以使用本计算机的软、硬件资源，也可以使用连网的其他计算机的资源，以达到资源共享的目的。这一时期研究的典型代表是美国国防部高级研究计划局（ARPA）研制的 ARPANET。1969 年美国国防部高级研究计划局提出将多个大学和研究机构的主计算机互连的课题，当年 ARPANET 就研制成功，当时只有 4 个主节点，1973 年发展到 40 个节点，到 1983 年其节点数已超过 100 多个，覆盖了从美国本土到夏威夷，欧洲的广阔地域。ARPANET 的投入运行标志着计算机网络的真正诞生，它在概念、结构及网络设计方面都为以后计算机网络的蓬勃发展打下了基础。

ARPANET 的研究成果对推动计算机网络的发展具有深远的意义。在它的基础上，70、80 年代计算机网络得到了迅猛的发展，出现了大量的广域网和局域网。广域网如美国的 Telnet、加拿大的 DATAPAC、日本的 Dox 等。局域网如

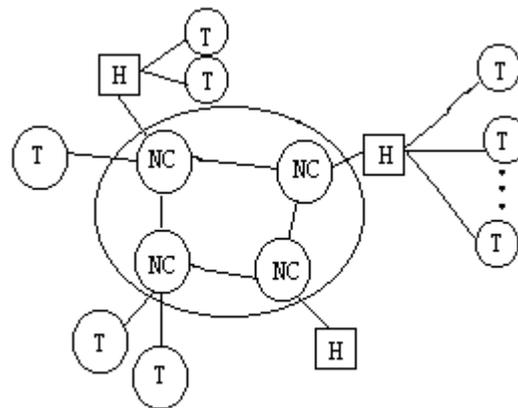


图1-4 计算机网络逻辑结构图

Ethernet，剑桥环等都是 70 年代研制出来的。与此同时，一些大的计算机公司纷纷开展了计算机网络研究工作，提出各种网络体系结构及网络协议。总之，计算机网络从一出现，就以迅猛不可阻挡之势得到了飞速发展。70 年代发展起来的很多网络系统经过适当修改与补充后目前仍在使用。

到 70 年代末，计算机网络的发展出现了危机，这是由于各个国家、各个公司都按照自己制定的网络体系结构和协议标准发展自己的网络。彼此之间不统一，彼此之间要想进行通信变得很难，而且给用户的选择带来很大的难度，用户一经选用某一公司的产品，就被限定了所有的部件只能选用该公司的产品，否则寸步难行。现实使大家认识到，网络体系结构及网络协议只有走国际化的道路，才能进一步发展。因此，80 年代，ISO 和 CCITT 等国

际标准化组织制定了一系列网络协议标准，加速了网络体系结构与协议国际化的研究与应用。符合国际标准是衡量一个网络能否生存下去的首要条件。

进入 90 年代，计算机网络的发展达到了空前繁荣阶段，网络已进入寻常百姓家，成为信息社会的支撑框架。网络的普及已对我们的经济、教育、科技的发展，甚至我们的日常生活带来了重要影响。

二、计算机网络的定义与组成

计算机网络是计算机技术与通信技术紧密结合的产物，是计算机应用到一定程度的必然产物。那么，什么是计算机网络呢？它又由哪些最基本部件组成？这一小节回答这两个问题。

关于计算机网络，曾经有过好几种定义，目前网络界基本上倾向于资源共享的观点。根据资源共享的观点，计算机网络是通过通信介质，把各个具有独立功能的计算机连接起来建立的系统，它实现了计算机与计算机之间的资源共享。这个定义中最重要的有两点：一是连网的计算机具有独立功能，其意思是联网计算机在不入网时仍可作为一台独立的机器使用。这一点与联机系统有本质的区别，在联机系统中终端依附于主机而存在，不能独立工作。该定义的第二个核心是建立计算机网络的主要目的是实现资源共享。网络用户可以使用本地资源，也可以通过网络访问远程连网计算机资源。

既然计算机网络的主要目的是资源共享，那么计算机网络就应提供数据处理和数据通信两大基本功能。为了完成这两个功能，它的组成从结构可以分成两部分：负责数据处理的计算机以及负责数据通信的通信处理机。典型的计算机网络组成如图 1—5 所示，从逻辑上可分为两个子网：通信子网和资源子网。

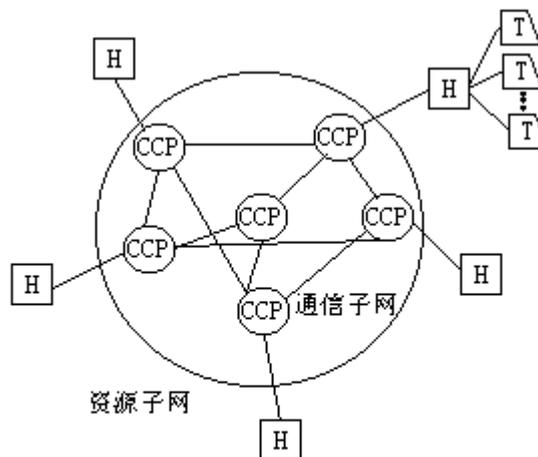


图 1-5 计算机网络的组成

CCP—Communication Control Processor; H—Host; T—Terminal.

资源子网又称为用户子网，因为它直接面向广大上网用户。资源子网主要负责全网的数据处理任务，向网络用户提供各种网络资源与网络服务。资源子网主要由计算机，终端，各种连网外设及各种数据资源组成。

连网的主机可以是大型、中、小及微型计算机，通过通信线路与通信子网的通信处理机直接相连。用户可以通过主机的终端入网，也可以直接通过主

机入网。随着微机的广泛应用，入网微机数已大大超过了大中型机。微机可以作为主机直接通过通信处理机连入网内，也可以通过连网到大、中型机，间接进入网内。

通信子网主要完成全网数据的存储、转发等通信处理工作，主要由通信处理机（CCP）通信线路及其他通信设备组成。

通信处理机是计算机网络中完成通信控制功能的专用计算机，一般由小型机或微型机配置通信控制硬件和软件构成。在不同的应用场合，通信处理机有不同的名字，存储转发处理机、集中器、网络协议转换器等均属于通信处理机。通信处理机一方面作为资源子网与通信网的接口节点，将资源子网的主机，终端等连入网内，另一方面作为通信子网中的报文分组存储转发节点，完成分组的转发、存储、校验等功能，使没有直接相连的节点之间的信息交换成为可能。

通信线路为各个部件之间提供通信信道。用于计算机网络的通信线路种类很多，常见的有双绞线、同轴电缆、光导纤维及微波与卫星通信等，随后的章节对这些组成通信线路的通信介质将作进一步的介绍。

第二节 计算机网络的分类及功能

计算机网络的分类方法很多，但最主要的有两种分类法。一种是按照网络的拓扑构形进行分类，另一种常用的方法是按照网络覆盖地理范围的大小进行分类。

一、计算机网络的拓扑分类法

“拓扑”是图论（几何学的一个分支）中的定义。那么，什么是拓扑呢？简单的说，网络拓扑就是指网络节点通过通信线路连接所形成的几何构形，或者说，这个网络从几何图形的角度看是什么样子的。计算机网络拓扑主要是指通信子网的拓扑构形。

按照网络的拓扑构形来分，计算机网络可分为星型网、环型网、总线型网和网状型网（如图 1—6 所示）。

<一>星型网的主要特点

星型拓扑如图 1—6（a）所示，在这种构形中，存在一个中心节点。任意一个节点与中心节点之间都通过单独的通信线路连接。中心节点控制全网的通信，任意两节点之间的通信都要通过中心节点。

星型拓扑构型简单，实现容易，且便于进行管理。但任意节点之间的通信都要经过中心节点，中心节点出现故障将会造成全网的瘫痪，这样就要求中心节点的可靠性要非常高，否则后患无穷。因此我们说星型网的可靠性相对较低，而且信道的利用率极不充分。典型的星型网络有以电话交换机为中心，通过拨号电话线路构成的 PABX 网。在 PABX 中，交换机是中心节点，网络的工作受它的集中控制。

星型拓扑的扩展形式称为树型拓扑（如图 1—6（c）所示）。在树型拓扑的构型中，节点接层次进行连接，信息交换主要应该在上下节点之间进行，相邻及层层节点之间进行极少量的数据交换。

<二>环型网

环型拓扑网如图 1—6 (b) 所示，网中各节点由各段线路连接成环状构形，信息在环内单方向流动。环形网络具有以下两个突出特点：

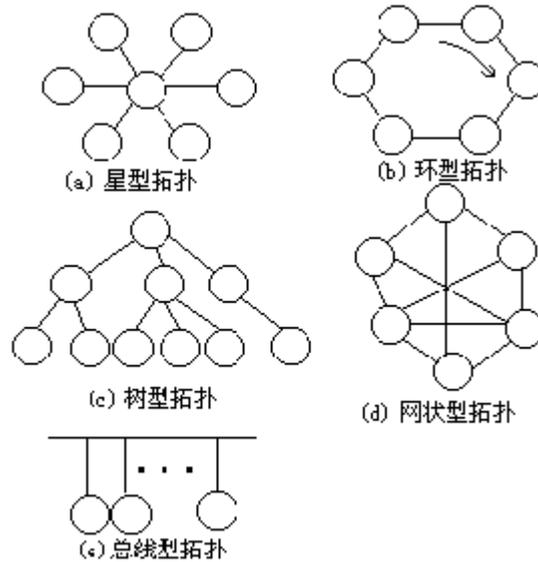


图1-6 常见网络拓扑

(1) 环路上的信息必须单方向流动；

(2) 任一节点发送的信息都必须经过每一个节点，即必须绕环一周。

因此，环型网的传输延迟（即信息从发送节点到达接收节点所耗费的时间）是可以确定的，但由于信息的传送要经过每个节点，任一节点出现故障都将造成网络瘫痪。为保证环的正常工作，需要较为复杂的维护处理。关于环型网在以后的章节中将作详尽的介绍。

<三>网状网

网状拓扑结构网又称为无规则型，（如图 1—6 (d) 所示），正如它的名字那样，网状结构网的节点之间连接成网型，无任何规律可言。网状拓扑的主要优点是系统可靠性高，但结构复杂，维护困难，大型计算机网络一般采用网状结构。

<四>总线型网

以上几种网络都属于点一点连接网，即发送节点和接收点是一一对应的，包括中转过程在内，发送节点发送的信息总是有明确的接收者。而总线型网则属于广播型网，发送者发送出去的信息，网中所有节点都能收到，就如广播一样。发送者和接收者之间是一对多的关系。

总线型网的结构如图 1—6 (e) 所示，网中的各个节点都挂接在一条公共的总线（bus）上，这条总线是任意节点对之间通信的公共信道。

总线型网络最突出的特点是拓扑形式简单，易于扩充，是目前局域网中最常见的一种拓扑。关于它的工作过程我们在局域网一章里将给大家作详尽的介绍。

二、网络的地理范围分类法

计算机网络的地理范围分类法是按照网络覆盖地理范围的大小而划分的，可以分为局域网、域域网和广域网。

<一>局域网

局域网 (Local Area Network, LAN) 的作用范围一般限于几千米, 用于将较小范围的 (如一个实验室, 一栋大楼, 整个校园等) 的各种计算机及外部设备互连成网。局域网的作用范围小, 入网设备便宜, 网络管理简单, 再加上微机的日益普及, 局域网成为发展最迅猛, 应用最广泛的一种廉价网, 是计算机网络中最活跃的领域之一。它有自己独特的一套网络标准和体系结构。

<二>城域网

城域网 (Metropolitan Area Network, MAN), 又称为城市地区网。即它的覆盖范围一般是一个城市。城域网是介于广域网与局域网之间的一种大范围的高速网络。城域网设计的主要目标是满足几十千米范围内的计算机连网需求, 实现大量用户, 多种信息 (数据、声音、图象等) 传输的综合性信息网络。城域网目前还处于研究阶段。已经制定出完备的网络标准和技术规范, 主要包括分布式队列总线、光纤分布式数据接口及交换多兆位数据服务。其中, 光纤分布式数据接口已得到大量应用, 而其余两种还未得到广泛普及。

<三>广域网

广域网 (Wide Area Network, WAN) 也称远程网, 它所覆盖的地理范围从几十千米到几千甚至几万千米, 覆盖一个地区、国家, 甚至延伸至全世界。计算机网络出现的初期, 就是以广域网的面目出现的, 局域网和城域网都是在广域网技术已经成熟后才出现的。因此大量的网络标准及技术规范都是针对广域网的, 像 ISO 的 OSI/RM, X25, TCP/IP 等, 这一点请大家注意。

网络覆盖的地理范围不同, 它所采用的技术就不同, 因此形成了不同的网络技术特点与网络服务功能。当然, 覆盖的地理范围越大, 采用的技术越复杂, 管理就越难, 造价也就越高。

三、计算机网络的功能

1. 实现计算机系统的资源共享

对于用户所在站点的计算机来讲, 无论是硬件还是软件, 性能总是有限的。但只要这台计算机联入网络, 用户就可以像使用自己所在地的机器一样, 使用网中的某一台高性能计算机来处理自己提交的某个大型复杂问题, 也可以使用网上的高速打印机、绘图仪, 更重要的是可以享用网上大量的软件资源。用户可以使用网上已有的软件 (有些大型软件根本不是用户机器能够运行的) 解决某个问题, 可以读取大量的文件和数据, 各种各样的数据库更是取之不尽。随着计算机网络覆盖地域的扩大, 信息交流越来越不受地理范围及工作时间的限制, 使得人类对所拥有的资源能够互通有无, 大大提高了资源的利用率, 提高了信息的处理能力。

2. 实现信息的快速传输

计算机网络是现代通信技术与计算机技术紧密结合的产物。分布在不同地区的计算机系统可以及时、高速地传递各类信息, 这对于像股票行情、期货交易等经济贸易活动是急需的。

3. 进行数据信息的集中和综合处理

当今社会是信息化社会, 无论是商业、金融、文化、教育, 还是科技领域, 每时每刻都在产生大量的信息并在大量地处理信息。将分散在各地的计算机中的数据资料适时集中或分级管理, 并经综合处理后形成各种各样的统

计资料，提供给管理者或决策者分析和参考。如政府部门的计划统计系统，金融财政系统，地质资料的采集与处理系统以及自动订票系统等等。

4. 均衡负载、分布处理

当网中某个计算机系统任务过重时，可以通过网络将某些任务传送到网中空闲的计算机中处理，以调节忙闲不均的现象。地球上不同地区的时差现象也为计算机网络的任务调配带来很大的灵活性，一般计算机白天的任务较多，晚上的任务较少。时差正好为计算机网络提供了半个地球的调度余地。另外，对于综合性的大型问题还可以采用适当的算法，将任务分散到网中的不同计算机上进行分布式处理。

第二章 数据通信基础

第一章我们多次提到，计算机网络由通信子网和资源子网所组成，通信子网又由通信控制机（中转节点）和通信线路组成，那么这些中转节点和通信线路是如何完成信息的传送任务呢？我们以图 2—1 加以说明。

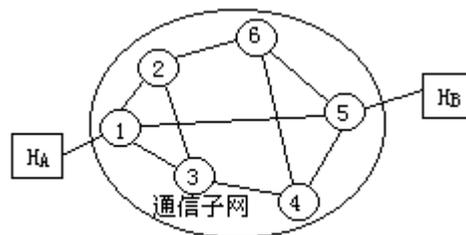


图2-1 计算机网络的通信过程

假定主机 A (H_A) 要与主机 B (H_B) 进行通信，而 H_A 与 H_B 之间并没有直接相连的线路， H_A 和 H_B 如何建立起联系呢？典型的过程是： H_A 将数据发送给通信节点 1，节点 1 将收到的信息存储起来，由它来决定传送给哪一个节点才能高效到达 H_B ，比如选定节点 2。节点 2 同样以存储转发的方式将信息传送给节点 3，节点 3 传送给节点 5 最终到达 H_B 。也就是说， H_A 发送的信息通过 1 2 3 5 的路径最终到达 H_B 。

为了完成这个通信过程，需要解决以下几个主要技术问题：

第一，数据在传输过程中的表示方式。

我们知道，数据在计算机中是以二进制数字表示的，即计算机数据都是数字数据。但在数据通信过程中，数据是以数字信号方式表示，还是以模拟信号方式表示，主要取决于所选用信道允许传输的信号类型。

通信信道允许传送的信号类型分为两类：数字信号和模拟信号，相应地数据传输方式分为基带传输和频带传输两类。

第二，数据通信方式。

数据通信方式包括串行通信或并行通信，单工通信或是双工通信，异步方式通信或是同步方式通信。

第三，数据在通信子网中的传输方式。

数据在通信子网中的传输方式分为线路交换和存储转发两大类。存储转发方式是计算机网络中普遍采用的传输方式，又可分为报文交换和分组交换。

第四，差错控制方法。

实际的通信信道总是会出差错的，为保证网中传输数据的正确性，通信

子网必须提供一定的检错、纠错措施。

数据通信的差错控制方法分为两类：一种方法是通过接收者检查出错误，再通知发送者要求重发；第二种方法是接收者检查出错误后，自己能够恢复到正确。前一种方法称为反馈重发，采用的编码叫检错码，后一种方法称为前向纠错，采用的编码叫做纠错码。反馈重发方式得到了更为广泛的应用。

第五，采用什么样的传输介质。

传输介质指用于连接两个或多个网络节点的物理传输线路，常见的有双绞线、光纤等。本章的目的就是向大家回答这些问题。

第一节 通信系统常用术语

不论通信系统采用哪一种通信方式，对一个通信系统来说，它都必须具备三个基本要素：信息源，信息目的和信息传输介质，如图 2—2 所示。



图2-2 通信系统基本要素

一、模拟通信系统/数字通信系统

如果通信介质上传输的是模拟数据，则这种通信系统统称为模拟通信系统；如果通信介质上传输的是数字化的数据，则这种通信系统称为数字通信系统。对于计算机通信来讲，计算机发出的数据是离散化的数字数据，因此，计算机之间的通信系统有如图 2—3 所示的两种形式。

二、信道/传输介质

上面还提到一个术语：信道。所谓信道即信号传输的通道，它与传输介质是有区别的；传输介质指用于连接两个或多个网络节点的物理传输线路，如电话线、同轴电缆等。通信信道是建立在传输介质之上的，一条信道传输一路信号。由

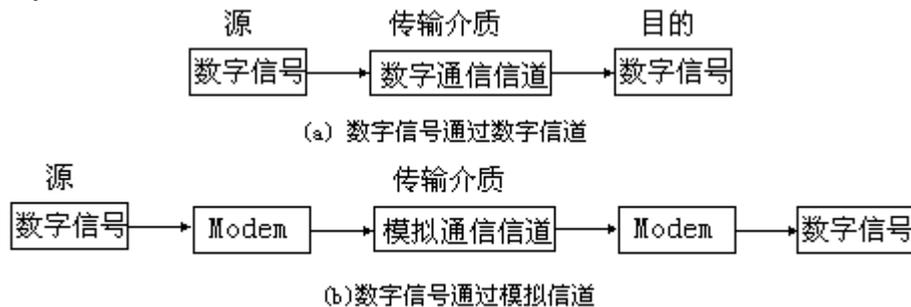


图2-3 计算机通信系统

于信号在传输时可以采用多路复用技术，因此，一条物理传输介质上可以建立多条信道。

三、调制解调器

数字数据通过模拟信道传输时，在信号源与传输介质之间需要一种信号转换设备，将信号源发出的数字信号转换成信道可以接收的模拟信号，这个转换过程称为调制，完成调制功能的设备称为调制器。在传输介质与目的地之间也需要信号转换设备，将模拟信号转换成接收者能够识别的数字信号，从模拟到数字的转换过程称为解调，完成解调功能的设备称为解调器。一般调制器和解调器是共存于一个设备中的，称为调制解调器（Modem）。调制解调器是数据通信系统中最常用的通信设备之一，我们将在第三章介绍广域网时作较为详尽的介绍。

四、数据传输速率

在数据通信系统中常用的速度单位有两个；比特率和波特率。比特率是该通信系统每秒能够传输多少位二进制数，单位是比特数/秒（bits/s），简称为 bps。波特率指传输信道上每秒经过多少个波形，常称为波形速率或调制速率，单位是波特（baud）。波特率不一定和比特率相等，因为一个波形信号可能包含多个二进制位，因而每传送一个信号可能要传输多个二进制位，最典型的例子就是后面要讲到的数字数据的多相调制，比如四相调制，用四个相位分别代表二进制组合 00，01，10 和 11，这时每传输一个波形就能传输两位二进制数。比特率就是波特率的二倍。

五、误码率

误码率是衡量通信线路质量的一个重要参数。误码率的定义为：数字信号在传输系统中被传错的概率。它近似等于被传错的二进制位数与所传二进制位总数的比值。计算机通信要求误码率低于 10^{-9} ，而对于一些特殊的应用，比如银行电算化，误码率则要低于 10^{-11} ，甚至更低。

六、信号带宽/信道带宽

信号通常都是以电磁波的形式传送的，电磁波都有一定的频谱范围，该频谱范围就称为该信号的带宽。理论上任何一种连续的信号频谱总是无限宽的，但在实际应用中，信号带宽指信号能量比较集中的那个频率范围。

信道带宽指信道上能够传送的信号的最大频率范围，如普通电话信道的带宽是 300 ~ 3400Hz。

第二节 数据通信方式

一、串行通信/并行通信

串行通信方式是指数据流在信道上传输时任一时刻信道上只有一位在传输。而并行通信是指数据以成组的方式在多个并行信道上同时进行传输，常用的方式是将组成一个字符的几位二进制分别通过几个并行的信道同时传输

(如图 2—4 所示)。

并行传输的效率高，但要求收发之间同时存在若干个信道，对于远程通信来讲，此代价显得过于高了一些。因此，计算机与计算机之间的通信极少采用并行方式，只有计算机各部件之间的通信（如 CPU 与存储器之间，CPU 与输入输出接口之间等）才采用并行方式。串行方式虽然相对效率较低，但串行通信的收发两方只需要有一条传输信道，易于实现，因此是通信系统目前主要采用的一种方式。

串行通信带来的一个问题是：由于在计算机中不论是字符还是数据都用若干位二进制比特（bit，位）的组合表示，比如字符‘A’的 ASCII 码表示为‘01000001’，字符 B 的 ASCII 码表示为‘01000010’。假定节点 1 与节点 2 之间要传送字符‘A’和字符‘B’，节点 1 顺序发出 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0，那么节点 2 怎样才能做到将收到的这 16 位看作是‘01000001’和‘01000010’两个组合而不会看作别的组合呢？也就是说收方如何在一大串二进制

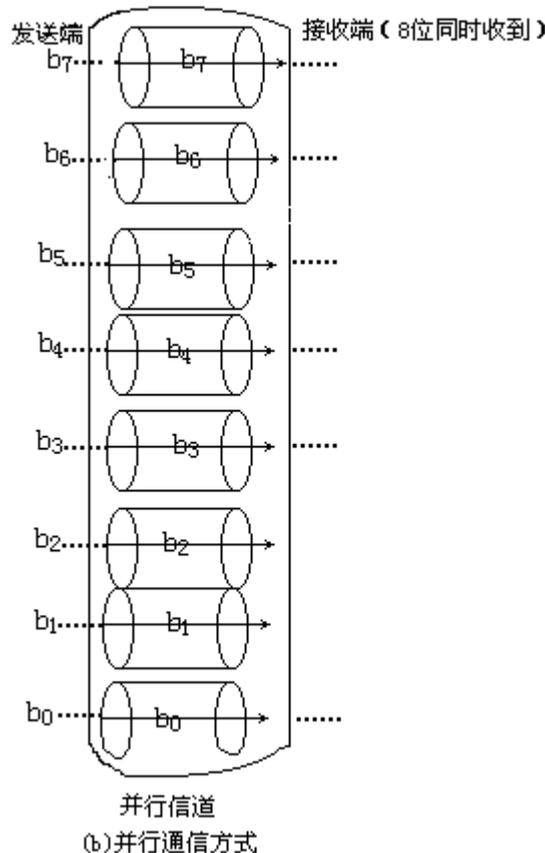
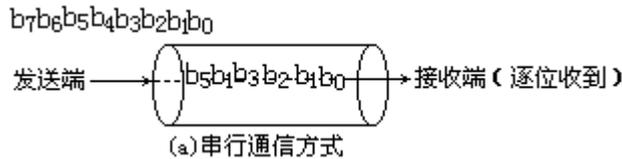


图 2-4 串行/并行通信方式

位流中提取出一个个字符呢？这实际上涉及了串行通信中的另一个问题：字符的同步。

二、单工/双工通信

数据传输的双工性，是指一条传输线路上数据流的方向及其时间关系。它有三种方式：

(1) 单工方式。在单工方式数据传输中，线路上的数据总是朝一个方向流动，不可反方向流动，如图 2—5 (a) 所示。比如，计算机与打印机，计算机与键盘之间的传输就是以单工方式进行的。在有些情况下，虽然不能反向传输数据，却有一条低速的辅助信道用于传输对方的差错或控制方面的反馈信息。但因为只有单方向的数据通道，所以仍属单工传输。

(2) 半双工方式。在半双工方式数据传输中，传输线路上的数据允许双向流动，但不能同时双向流动，如图 2—5 (b) 所示，这要求通信双方都要具有不同时工作的发送和接收机构。这种方式在通信系统中得到了广泛应用，因为它具有控制简单、可靠、通信成本低等一系列优点。

(3) 全双工方式。在全双工方式数据传输中，数据被允许在通信的双方同时双方向流动，如图 2—5 (c) 所示。这种传输方式要求通信双方具有能够同时工作的发送和接收机构，而且还要求具有两条性能对称的传输信道。这种方式的传输效率是半双工方式的两倍，在高速网络中得到了广泛应用。

三、同步/异步传输

我们说串行通信首先应该解决的就是字符的同步问题。同步是数据通信的基本要求之一，发送方沿传输介质逐位向

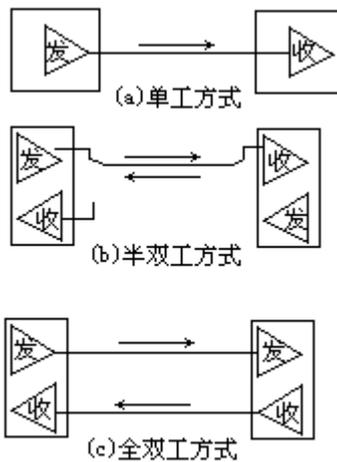


图2-5 数据传输的双工性

接收方发送信息，接收方必须知道一组二进制位的开始和结束。接收方还要知道每一位的持续时间，以便决定以什么样的时间间隔（频率）进行采样。通常接收方在每一位的中间取样，如果收发两边的时钟不同步，也就是说有误差，就算误差不大，比如说接收方的时钟比发送方的时钟慢一位持续时间的 5%。采样第一位时比中间位置偏 5%，这一位当然不会出错。但继续这样采样下去，偏移越来越多，到某一位时，将会采样到前一位上。由于发送方和接收方的时钟信号不可能绝对一致，如果没有一定的同步手段，总会因二者不同步而出现混乱。

计算机通信系统中提供两种同步手段，这就是异步传输和同步传输。

(一) 异步传输

这是通信系统中最早采用的同步措施，也是最简单的一种同步措施。具体实现是：每次传输一个字符时，前面用起始位作为开始的标志，后面用停止位标志该字符的结束。起始位为‘0’，持续时间为一位时间；停止位为‘1’，持续时间可以是一位，一位半或两位，具体选多少取决于所选用的通信标准。典型的异步传输数据格式如图 2—6 所示。

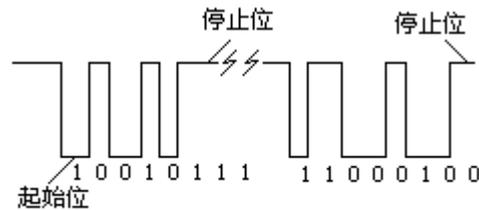


图2-6 异步传输

在本例中，传输两个字符，第一个字符的编码是‘10010111’，第二个字符的编码是‘11000100’，每个字符为8位，起始位为1位，停止位为2位。接收器根据从1 0的跳变识别一个新字符的开始，起始位随后的8位是有效数据位，两位停止位标志着该字符的结束。在这种方式中，接收器的时钟仍然要与发送时的时钟同步（即采样间隔，或者叫采样频率要保持一致），但由于每个字符都用起始位和停止位作为一个小单位隔离出来，对时钟的精度要求就降低了。一个字符一般由5~8位组成，加上起始位和停止位，收发双方只要能做到在十几位同步就可以了。统计表明，除非收发双方的时钟偏差超过50%（这样的时钟当然属于淘汰之列），就算是每次采样有一定的偏差，但在十几位的时间里，不会产生采样到别的位上的错误。

异步传输的同步以一个字符为单位，因此也称为字符同步方式。这种方式简单易行，但传输效率比较低。因为每5~8个有效位就要加上2~3位控制位，有效率只有8/10，（如果有效位只有5位，效率将会更低）。因此异步方式广泛用于低速线路中，比如计算机与终端的连接，计算机与调制解调器的连接等。

如果大家留心察看一下，就会发现所有的计算机都提供异步通信口，即使微机也提供一到两个以上的异步通信端口。

（二）同步传输

同步传输是通信系统中另一种同步方式的传输，称为位同步。同步传输以位块为单位进行传输，一个位块一般包括1000多个字符，每个字符不需要起始位和停止位。为了防止发送方与接收方发生不一致，接收时钟和发送时钟必须同步。同步方法可以分为外同步和自同步两种。在外同步法中，接收者的时钟频率由发送方的设备进行控制。自同步法中，所传输的数据自身就包含着时钟特征，也就是说对同步传输的字符必须采用特定的编码，具体采用什么样的编码将在下面给予介绍。既然传输数据中包含着发送时钟，接收方就可以从中提取出与发送时钟一致的时钟信号作为接收时钟信号，这样接收和发送时钟就自动同步了。

为了使接收过程与发送过程同步，除了要求双方时钟同步外，接收方还必须能够准确判断发送数据的开始和结束。通常的做法是在数据块的前面加一个一定长度的特殊位组合作为位块开始的信号，即所谓“前文”。在数据

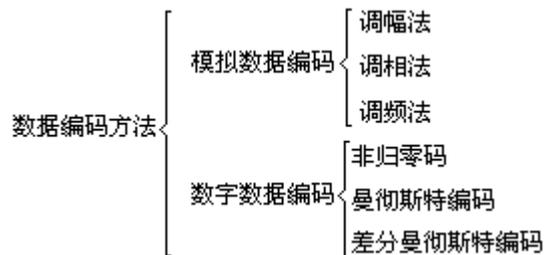
结束时也加上一个特殊位组合作为位块结束的信号，即所谓“后文”。数据块加上“前文”、“后文”及必要的控制信号，就构成了“帧”。

“帧”是同步传输的基本传输单位，实际上也是数据链路层的数据处理单位，帧的发送与接收及帧的形成是数据链路层重点解决的问题。

第三节 数据编码技术

在计算机中数据是以二进制 0、1 比特序列方式表示的，而计算机数据在传输过程中采用什么样的编码取决于它所采用的通信信道所支持的数据类型。计算机网络中常用的通信信道分为两类：模拟信道和数字信道。所谓模拟信道指其上只能传送模拟信号，也就是电流或随时间连续变化的信号。而数字信道指传输数字信号的信道，数字信号指电流或电压随时间不连续变化的信号，或者叫离散信号。计算机发出的二进制数据信号就是典型的数字信号。

既然通信信道分为模拟信道和数字信道，相应的用于数据通信的数据编码方式也分为两类：模拟数据编码和数字数据编码。计算机网络中常用的数据编码方式归纳为：



一、数字数据编码

我们知道，计算机发出的数字信号 0 和 1 是用两个不同的电平表示的，形成矩形脉冲信号，这种没有经过调制的原始数字信号称为“基带信号”，在通信信道中直接传输基带信号称为“基带传输”。基带信号虽然不需要调制，但却要经过一定的编码才能传输。最常用的数字信号编码技术有以下几种：

- (1) 非归零码 NR1；
- (2) 曼彻斯特编码；
- (3) 差分曼彻斯特编码。

<一>非归零码

非归零码 NR2 (Non - Return to Zero) 的波形如图 2—7 (a) 所示。NR2 码用直流电平“1”和“0”表示二进制的“1”和“0”。在本例中，正电平（比如+5V）表示“1”，用负电平（比如-5V）表示“0”。在一个二进制位的宽度内电平保持不变。NR2 码是最容易实现的，实际上是直接将计算机发出的信号加到通信线路上，未作任何处理，代价也最低。但 NR2 码的缺点是接收方无法判断一位的开始和结束，即不具备同步特性；另一个缺点是含有直流分量（请大家考虑连续多个“1”或连续多个“0”的情形），而数据传输中最不希望存在的就是直流分量。因此 NR2 码在实际中应用不多。

<二>曼彻斯特编码

曼彻斯特 (Manchester) 编码是目前应用最广泛的编码方法之一。曼彻斯特编码的特点是在每个位时间内 (一般在中间) 有一次信号跳变, 使接收端可以利用这一跳变信号作为提取一位数据的依据, 这就是所谓的自同步信号。典型的曼彻斯特编码波形如图 2—7 (b) 所示。在本例中, 曼彻斯特编码在每一位的中间产生一次跳变, 从 1 0 的跳变表示“1”, 以 0 1 的跳变表示“0”。由于这一跳变在每位的中心产生, 因此这一跳变同时表示了数据和发送时钟。

曼彻斯特编码的优点是: 由于每一位的中间都有一次电平跳变, 因此提取电平跳变可以作为收发双方的同步信号, 发送曼彻斯特编码时无需另发同步信号。这是自同步信号得到广泛应用的主要原因。曼彻斯特编码信号不含直流分量。

但曼彻斯特编码的缺点是传输效率低, 因为每一位要占用两个波形。

<三>差分曼彻斯特编码

差分曼彻斯特编码是对曼彻斯特编码的改进, 它与曼彻斯特编码的不同之处主要表现在:

- (1) 每一位中间的跳变只作提取时钟之用;
- (2) 每一位数据的值根据起始处有无跳变来决定。

典型差分曼彻斯特编码的波形如图 2—7 (c) 所示, 在图中, 每位开始时跳变表示数据“0”, 每位开始时无跳变表示数据“1”。

二、数字数据的模拟编码

上面所说的数字信号传输属于基带传输, 信道中传输的信号仍然是数字形式的脉冲信号, 但现在世界上还存在另一种传输信道, 其上只能传输模拟信号。典型的模拟信道就是我们所熟知的电话通信信道, 它是目前世界上覆盖最广、应用最普遍的一类通信信道。无论网络与通信技术如何发展, 电

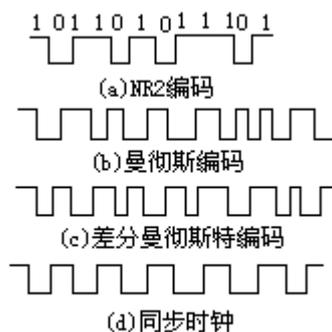


图2-7 数字信号的编码形式

话信道仍然是一种基本的通信手段。大量计算机之间的通信 (特别是远程通信) 在今后很长一段时间内需要借助于电话通信信道。但传统的电话信道是为传输语音信号而设计的, 只适用于传输音频范围 (300—3400Hz) 的模拟信号, 无法直接传输计算机发出的数字信号。为了利用传输语音的电话网传输计算机数据, 必须首先将数字信号转换成模拟信号。我们将数字信号转换成模拟信号的过程称为调制 (modulation), 将模拟信号还原为数字信

号的过程称为解调 (demodulation)。一般调制功能和解调功能是做在一个设备中的, 这种同时具备调制与解调功能的设备称为调制解调器 (Modem)。

数字数据的模拟化是借助于载波实现的。载波是频率、幅度都固定的周期信号, 通常是正弦信号。用数字数据对周期信号参数进行控制, 或者说将数字数据与周期信号进行叠加, 然后将叠加后周期信号发送出去。接收方再从收到的周期信号中去掉载波就可以得到数字信号了。周期信号正好起到了载体的作用, 因此称为载波。采用这种方式, 我们就可以利用模拟信道传输数字数据了。

我们知道, 频率、幅值和相位是同周期函数的三个重要特征, 把一个数字数据调制成模拟信号, 就是用一个数字数据控制周期信号的幅度、频率或相位。根据数字信号对幅度、频率或是相位进行控制。数字数据的模拟编码分为: 幅移键控法; 频移键控法; 相移键控法。下面分别进行介绍。

<一>幅移键控法

幅移键控法 (Amplitude - Shiftkeying, ASK) 或称调幅法, 它用载波信号的振幅表示数字信号的“1”和“0”。用载波幅度为 1 表示 1, 用载波幅度为 0 表示数字 0 的 ASK 信号图形如图 2—8 (a) 所示。

幅移键控法简单易行, 但抗干扰能力差 (有直流信号), 传输效率低, 是一种低效率的编码方法, 一般只用于数据传输速率不高于 1200bps 的情况。

<二>频移键控法

频移键控法 (Frequency - Shiftkeying, FSK) 或称调频法, 它通过改变载流信号的频率表示数字信号 1 和 0。在图 2—8 (b) 中, 用频率 f_1 表示数字 1, 用频率 f_2 表示数字 0。图 2—9 可以帮助我们进一步理解 FSK 的工作原理及用法。该图是贝尔系统 108 系列调制解调器的设计说明。电话线上可以传输 300 ~ 3400Hz 的声音信号。为了进行全双工传输, 带宽在 1700Hz 处分作两部分。一个传输方向的中心频率为 1700Hz, 从中心频率处向左、右两边分别移 1000Hz, 则代表数字信号 1 和 0, 即 1 和 0 的频率分别为 1270Hz 和 1070Hz。另一个传输方向的中心频率为 2125Hz, 各向左、右移动 100Hz 后的两个频率分别为 2225Hz 和 2025Hz, 分别代表 1 和 0。

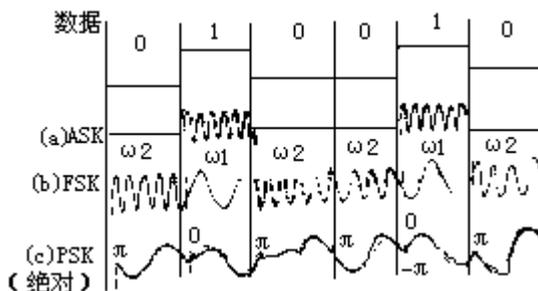


图 2-8 数字数据模拟信号编码

频移键控法实现容易, 技术简单, 抗干扰能力强, 是目前最常用调制方法之一, 普遍用于中速线路中。

<三>相移键控法

相移键控法 (Phase - Shift keying, PSK) 又称调相法, 它利用载波的相位变化表示数据 0 和 1。最简单的调相法是二相调制, 其波形如图 2—8(c) 所示。

在图例中, 用起始相位有无变化表示数字 1 和 0。起始相位无变化, 表示数字 0。而在每位 1 信号的前沿, 载波信号的相位突变 180° 。

除了二相调制外, 还经常用到四相调制、八相调制。所谓二相调制, 指传输系统可以传输两种信号即 '0' 和 '1' 两

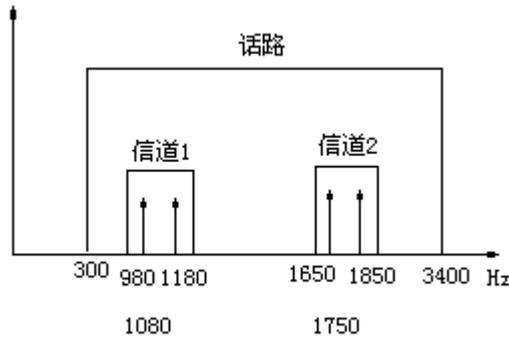


图2-9 音频线路全双工FSK传输

种状态, 对应的相位变化分别为 0 和 180° 。而四相调制, 数字数据单元为两位二进制数, 共有 00, 01, 10 和 11 四种状态, 对应的相位偏移为 0° , 90° 和 180° 和 270° 。在四相调制中, 一个波形就可以表示两位二进制数, 四相调制的波形如图 2—10 所示。同样的道理, 八相调制法一个波形可以表示三位二进制数 (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 中的一个组合), 对应的相位偏移为 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ 。

相位调制法抗干扰能力强, 而且比频率调制法效率更高, 因此是目前数字信号模拟化中最常用的方式, 特别是在高速调制解调器中, 几乎全都采用调相法。

上述三种调制方法还可以组合起来使用, 最常见的是 PSK 与 ASK 的结合。例如, 某种 Modem 采用八个相位调制, 同时还具有两种幅值, 结合起来就可以表示四位二进制的 16 种状态。

比特位	相对相位偏移值
00	0°
01	90°
10	180°
11	270°

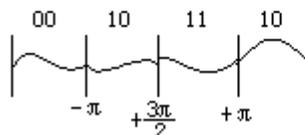


图2-10 四相调制波形

三、模拟数据的数据编码

与模拟信号传输相比，数字信号传输失真小，误码率低，数据传输速率高。因此除数字信号直接在数字信道上传输外，声音、图象等模拟信号的数字化也成为发展的必然趋势。模拟数据的数字化就是要把连续信号分别割成若干个离散信号，再将这离散信号定量化，用数字数据表示。脉冲码调制 PCM 和 DM 调制是最常用的两种模拟数据数字化的编码方法。

<一>PCM 技术

模拟数据的数字化包括三个步骤：即采样、电平量化和编码。所谓采样就是每隔一定的时间对模拟数据进行取样。采样所得到的值就代表采样间隔内模拟信号的值，如图 2—11 表示。在采样时间间隔为 T 的情况下，我们顺序采样得该模拟信号的幅值分别为：4.6, 5.2, 1.9, 1.0, 3.6, 6.1, 5.2, 3.2, 3.6, 4.8, 4.2, 2.8 和 2.0。得到的采样值要经过一定的措施（比如四舍五入）变成整数，亦即进行电平量化，得到幅值 5, 5, 2, 1, 4, 6, 5, 3,

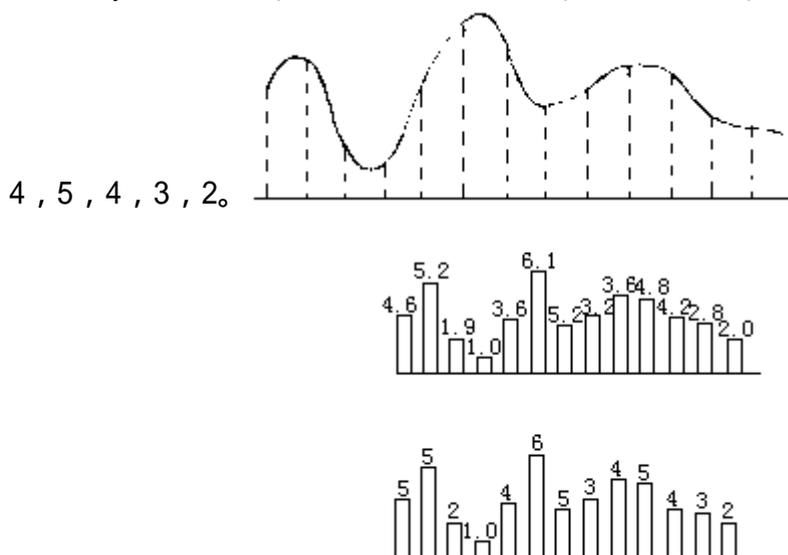


图2-11 PCM编码

显然，采样频率越高（或者说采样时间间隔越小），根据采样值恢复原始模拟信号的准确性就越高。理论研究指出，如果以等于或大于信道带宽 2 倍的速率定时对信号进行采样，就可以足够准确地重现原始信号。

对采样值进行取整、量化后，下一步就是进行编码了。编码是用若干位二进制数来表示采样并取整得到的量化幅度。在图 2—11 中，用三位二进制编码表示采样得到的幅值，因此共有八个量化级，这些采样值的编码分别是 101, 101, 010, 001, 100, 110, 101, 011, 100, 101, 100, 011, 010。经过这样三个步骤后就把一个连续信号数字化为二进制编码的数字信号了。

PCM 技术的典型应用是语音数字化。实际编码时，将声音分为 128 个量化级，每个采样值采用 7 位二进制编码表示。由于采样速率为 8000 次/秒，因此利用数字信道传输声音时，要求信道的传输速率要达到 $7 \times 8000 \text{ bit/s} = 56 \text{ kbps}$ 。

<二>DM 调制

PCM 的缺点是使用二进制位数较多，因此传输效率比较低。研究表明，许多模拟信号（比如音频信号）一般是一种舒缓的信号，很少有尖脉冲出现，因此可以通过比较相邻两次采样的方法来实现，这就是 DM 调制。

这种调制技术用一个数字化的阶梯函数近似代替原始输入的模拟信号。采样时将当前信号值与前一次采样值比较，如果当前值大于前面的值，DM 编码为 1，阶梯函数的幅值增加一个单位幅度。如果当前值小于前一个值，DM 编码为 0，阶梯函数幅值下降一个单位。每次采样值只需要用一位二进制（0 或 1）表示，与 PCM 方式相比，采样频率相同时，DM 方式输出信号的位数要少得多。而在保持数据信道上数据传输率不变的前提下，DM 方式可以采用更高的采样频率，因此恢复原始信号的准确度更高。

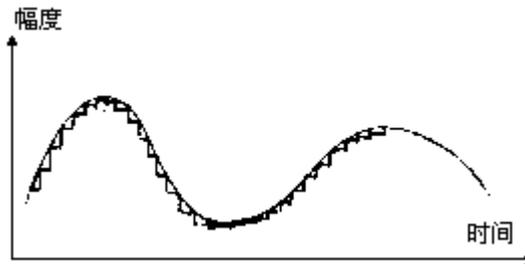


图 2-12 DM 调制

第四节 数据在通信子网中的交换方式

我们在上一章给大家介绍网络的组成时已经知道，要求通信的双方有可能有直接线路相连，也有可能没有直接相连的线路，而是通个多个节点的中转才能建立起联系。那么信息是通过什么样的传输渠道从发送方到达接收方呢？通信系统中存在两种截然不同的方式：线路交换和存储转发交换。

一、线路交换

交换 (Switching) 这一概念最早来自于电话系统。电话网中使用线路交换方式，它要在收发双方建立起电路连接为目的。当用户打电话时，首先要摘机拨号。拨号完毕，当地交换机就可以作出决定，该用户是要和本局的用户通信或是和别局的用户通信还是和外地的用户通信。交换机将会根据具体情况分别进行处理。以长途通话为例，当地交换机将与通信地的交换局建立起联系，通信地的交换机将与通话号码指定的用户建立起联系。这样，发话方和受话方经过双方所在地的交换机（实际情况有可能经历的交换机数不止这两个）建立起一个线路连接，即独占这条路，开始通话。通话结束，交换机将双方的线路断开，为双方各自开始一次新的通话作好准备。因此，线路交换就是通信时在通信双方建立起一条直通线路，通信完毕断开。

我们可以利用图 2—13 说明线路交换的过程。

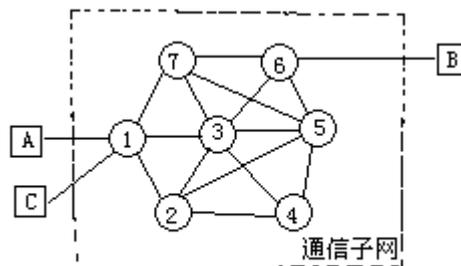


图2-13 交换网示换

假定主机 A 与主机 B 要进行通信，那么在通信子网中，节点 1 是源节点，节点 6 是目的节点。通信开始时，主机 A 向节点 1 发出通信请求（比如电话通信中的拨号），要求连接到主机 B。节点 1 根据通信线路的负载、费用等情况选择一条可通向节点 6 的空闲线路，比如选择到节点 3。节点 3 依据同样的原则选择节点 5，节点 5 选择节点 6。节点 6 已有专线连到主机 B。至此，一条从 A 至 B 的通路就建立了起来。A 与 B 通过 A 节点 1、节点 3、节点 5、节点 6 及 B 的专用线路执行数据传输。

在传输过程中，任何别的站都不能再使用 A 节点 1、节点 3、节点 5、节点 6 及 B 这几段线路。

数据传输完毕，由任一主机主动发出拆线指令（电话通信时挂机），沿通路各个线路段将予以拆除，使各个线路段成为可用资源。

线路交换方式的优点是：传输延迟小。通路建立起来后，唯一的延迟就是电信号的传输时间。通路一旦建立起来就不会再有竞争者竞争线路。因此，线路交换非常适合话音等实时性传输业务。

线路交换的缺点是：建立通路所需的时间比较长，经常需要 10 秒甚至更长时间。这个时间对于人来讲可以忍受，但对于快速运行的计算机来讲就是极大的浪费。线路的利用率很低。因为通信双方之间的通路一旦建立，即使双方不传送信息，整个通路上的任何一个线路段也不能为其他用户使用，直到线路拆除为止。

二、报文交换

在电话通信中，由于讲话双方总是一个在讲，一个在听，因此线路空闲时间占大约 50%。如果考虑到讲话过程中的停顿，那么还要多一些。不过，这样的情况被认为还是可以容忍的。在计算机通信中，由于人机交互（比如敲键盘，读屏幕）的时间比计算机进行通信的时间要多得多，如采用线路交换方式，线路空闲时间可高达 90% 以上。这一方面浪费了宝贵的通信资源，另一方面使用户承担了许多无谓的通信费用。因此，计算机通信采用线路交换被认为是行不通的。计算机数据交换一般采用另一种数据交换方式，即存储转发方式或称报文交换。

存储转发方式不要求交换网为通信的双方预先建立一条专用的数据通道。仍用图 2—13 来说明，如果主机 A 想发送一条信息（在数据交换网中称为一份报文）给主机 B。可在待发的报文前面附上 B 的地址，发送给节点 1。报文从 A 发到节点后，A 节点 1 之间的线路段就变成空的。节点 1 先将报文完整地接收并存储起来，然后根据各路径的负载、代价及空闲情况等选择合适的线路段发送给下一个节点，比如节点 3。每个节点都对报文进行这样的“存储—转发”，最终到达主机 B。因此称为存储转发交换。可见，报文在交换网中完全是按照接力的方式传送的，任一时间报文只占用一个线路段。通信的双方事先并不知道报文所要经过的传输路径，每个报文只是经过了一条逻辑上存在的通路。比如本例中 A 站的报文经过“A 节点 1、节点 3、节点 5、节点 6 及 B”的通路。

在存储转发方式中，任何时刻一份报文只在一个线路段上传输，每一个线路段对报文的可靠性负责。这样带来的好处是：不必要求每段线路传输

速率相同，因而也就不必要求两端计算机工作于相同的速度；由于接力式工作，任何时刻一份报文只占有一条线路段，不必占用整个通路。而且，通信双方即使一直保持着用户之间的联接，只要不传输数据，就不占用任何通信资源，大大提高了通信资源的利用率。

目前计算机通信网几乎无一例外全都采用存储转发方式，因此有时也把数据通信子网称为交换网。

三、分组交换

上面的交换方式称为报文交换，即每次存储/转发以一份报文为传输单位。所谓报文(Message)，就是收发双方要交换的一份信息，比如一份文件、一个通知或者一个程序等等。因此报文可以很长，比如一篇文章，也可以很短，比如一个关机的通知。这就带来一个很大的问题：各个节点的存储空间应该设多大呢？太大了，传输短报文时是一种浪费；太小了，传输长报文时又不够用。因此，实际应用中采用的是所谓分组交换。分组交换与报文交换依据完全相同的机理，唯一的区别在于参与交换(即存储/转发)的数据单元的长度不同。分组交换的数据单元不再是一份完整的报文，而称为分组(packet)或包。一个交换网的分组其长度是固定的，一般为1000~2000个字节。通信双方要交换一份报文时，往往将报文分割成若干个分组，每个分组都附上地址及其他控制信息，然后这些分组按序发送到交换网。交换网采用两种不同的传输方式处理这些来自同一份报文的分组。

<一>数据报方式

交换网对进网的任一个分组都当作独立的“小报文”进行处理，而不管它是属于哪一个报文。仍以图2—13为例进行说明。假定主机A将待传的报文划分成3个分组(P_1 , P_2 和 P_3)，按照 P_1 , P_2 , P_3 的顺序发送给节点1。节点1每收到一个分组先存储起来，然后分别对它们进行单独的路径选择。比如可能将 P_1 送往节点7，将 P_2 送往节点3，将 P_3 也送往节点7。具体送往哪个节点，完全取决于当时各线路段的情况。下一个节点对每一个收到的分组也依此处理。在本例中， P_1 可能经过

到达，而 P_3 则经过

到达。由于每个分组都带有终

点地址，所以虽然它们不一定通过相同的路径，但最终都能到达目的节点6。这些分组达到目的节点的顺序也可能被打乱，这就要求目的节点(节点6或主机B)负责分组的排序和重新装配成报文。

<二>虚电路方式

分组交换的虚电路方式是：发送站在发送报文之前，先发送一个“请求发送”报文，这个报文很短，一般只有几十位，一个分组就可以包容。请求发送报文携带有目的地址，进入交换网后，会走过某一条路径到达目的站。请求报文经过的路径应作为待发送报文通往目的站的路径，该报文的所有分组都要沿着这条路径进行存储/转发式传输，不允许节点对分组作单独的处理和另选路径。仍然以图2—13为例。假设A站的报文分为 P_1 、 P_2 、 P_3 三个报文要送往B站去。A站首先发一个“呼叫请求”分组给节点1，要求连接到B站。节点1根据路径选择的原则将这一请求分组转发到节点2，节点2又将该分组转发给节点5，节点5转发给节点6，由节点6通知B站，这样就初步

建立起一条 A 1 2 5 6 B 的逻辑通路。如果 B 站准备好接收报文，就发送一个“呼叫接收”分组给节点 6，沿着 6 5 2 1 的路径到达 A，从而 A 确认这条通路已经建立，并给这条通路分配一个逻辑通路号。此后， P_1, P_2, P_3 ，都附上这一逻辑通路号，顺序沿着这条通路到达目的站 B。全部分组到达 B 站后，任一站都可发送一个“清除请求”分组取消这条通路。

虚电路交换的主要特点是：要求一个报文的所有分组都必须沿着预先建立的虚拟通路进行传输。但请大家注意，这条通路是一条虚拟的，它不像线路交换方法那样，通信双方独占整个通路，而是任何时刻分组只占用一个线路段，所有的分组都要经过同样的路径进行存储/转发。

第五节 差错控制方法

一、差错产生的原因

传输差错是指数据通过信道的传输后，接收方收到的数据与发送方不一致的现象，简称为差错。通信系统差错的产生是不可避免的，图 2—14 给出差错产生的过程。

当数据信号从发送端出发，经过通信信道时，由于通信信道中总会有一些干扰信号存在，在到达接收端时，接收信号是发送信号和干扰信号的叠加。接收端对接收到的信号按照发送信号的时钟进行取样，如果干扰信号对信号叠加的影响过大，取样时就会取到与原始信号不一致的电平，这样就产生了差错。

通信信道上的干扰信号分为两类。一类是由传输介质的电子热运动产生的。这类干扰信号的特点是：时刻存在，但幅度较小，对传输信号的影响较弱，提高传输介质质量是消除这类干扰的有效办法。还有一类干扰信号是由外界电磁干扰引起的，这类干扰信号的出现无任何规律可言，而且幅度较大，



图2-14 差错产生过程

是引起传输差错的主要原因。

二、检错码与纠错码

既然传输差错是不可避免的，那就只能承认这个事实。想提高通信信道的传输质量，只有在接收端对收到的数据进行检测，并进行纠正。这种方法在通信系统中称为差错控制。

差错控制的主要目的是减少信道造成的传输错误，目前主要采取两种策略：第一种策略是让每个传输分组带上足够的检测信息，以便在接收端能发现错误并根据这些附加的检测信息还原出原始信息，即所谓检错方案，这些检测信息就称为检错码。第二种策略是让分组中附加一定的检测信息，使接收端能够发现接收的信号中有错误，但不能确定哪一位是错误的，只能通知发送方要求重发，这种方案称为纠错方案，这些附加的检测信息称为检错码。纠错码方案虽然有其优越之处，但实现方法复杂，造价高，一般很少采

用。在通信系统中广泛得到应用的是检错码。

三、常用检错码

目前常用的检错码有两类：奇偶检验码和循环冗余码（C 与 Cyclic Redundancy Code，CRC）。

<一>奇偶校验码

奇偶校验码的实现原理非常简单。分为水平奇偶校验，垂直奇偶校验和水平垂直偶校验。

1. 水平奇偶校验

水平奇偶校验以一个字节为一个校验单位。在每个字节的尾部加上一个校验位，构成带有校验位的码组，使得码组中‘1’的个数为偶数个（偶校验）或奇数个（奇校验）。进行数据传送时，把整个检验码发送出去。比如有两个字节分别是 10110110 和 11101110，它们的奇校验码分别对应为 101101100 和 111011101，使这两个码组中‘1’的个数为奇数个。

接收端在收到信号后，对每个码组检查其‘1’的个数，如果‘1’的个数为奇数（奇校验）或偶数（偶校验）就认为收到的数据正确，否则认为该码组有错，要求发送方重传。

显然，奇偶校验只能检测出码组中有奇数个位出错的情况，如果正好有偶数位（2 位、4 位、6 位等），奇偶校验是无能为力的。

2. 垂直奇偶校验

垂直奇偶校验是在整个数据段所有字节的某一位上进行奇偶校验，如表 2—1 所示，该数据段由 8 个字节组成，垂直奇偶校验分别对所有字节的第 0 位、1 位……7 位进行。该表中是进行奇校验。

表 2—1 垂直奇偶校验

	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
字节 1	1	0	1	1	0	1	1	0
字节 2	1	1	0	1	0	0	1	1
字节 3	1	1	1	0	0	1	0	0
字节 4	0	0	0	0	1	0	0	0
字节 5	1	1	0	1	0	0	0	1
字节 6	0	1	0	1	1	0	1	0
字节 7	0	0	1	1	1	1	1	0
字节 8	1	0	0	1	0	0	0	1
校验字节	0	1	0	1	0	0	1	0

表 2—2 水平垂直奇校验

字节 \ 位	位								水平校验位
	位 8	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	
字节 1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
字节 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
字节 3	0	0	1	0	1	1	0	1	1
字节 4	1	1	1	0	0	0	1	1	0
字节 5	0	0	0	0	0	0	0	1	0
字节 6	1	1	0	0	1	1	0	0	1
字节 7	1	0	1	0	1	1	0	1	0
字节 8	0	1	0	0	1	1	1	0	1
垂直校验位	0	1	0	1	0	1	0	1	1

3. 水平垂直奇偶检验

它是水平奇偶校验和垂直奇偶校验的综合，即对每个字节进行校验，又在垂直方向对所有字节的某一位进行校验，因此又称为矩阵码。表 2—2 是水平垂直奇偶检验（奇校验）的示意。矩阵码既可以检测出奇数个错，也能检测出偶数个错。

<二>循环冗余码 CRC

奇偶校验虽然实现简单，但检错能力差，一般只用于低速传送环境。在通信系统中广泛采用的是另一种校验码。——CRC 循环冗余码。

CRC 码是把待发送的二进制数据序列当作一个多项式 $f(x)$ 的系数，发送之前用收发双方预定的一个生成多项式 $G(x)$ 去除，求得一个余数，将余数加到待发送的数据序列之后就得到 CRC 检验码。发送方将校验码发往接收方，接收方用同样的生成多项式 $G(x)$ 去除收到的二进制数据序列，如果余数为 0 则说明传输正确，否则说明收到的数据有错。接收方通知发送方重发。

CRC 的生成多项式是经过长期研究和实践而确定的，因此 CRC 码的检错能力很强，实现也不复杂，是目前应用最广的检错码。

常用的 CRC 生成多项式有以下几种：

$$\text{CRC—12 } G(x) = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$$

(1100000001111)

$$\text{CRC—16 } G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

(11000000000000101)

$$\text{CRC—32 } G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

(100000100110000010001110110110111)

生成多项式的位数越多，检错能力越强。

我们用下面的实例说明 CRC 校验码的生成过程：

例 假定待发送数据序列为 11011011 (8 位)

生成多项式 $G(x) = x^4 + x^2 + 1$ 即为 10101 (5 位，最高次数为 4)

将待发送序列左移 4 位，得 110110110000

将左移后得到的二进制序列用生成多项式比特序列 (10101) 按模 2 算法去除得余数 0110

$$\begin{array}{r}
 \overline{110110} \\
 10101 \overline{) 110110110000} \\
 \underline{10101} \\
 11100 \\
 \underline{10101} \\
 01101 \\
 \underline{00000} \\
 11010 \\
 \underline{10101} \\
 11110 \\
 \underline{10101} \\
 10110 \\
 \underline{10101} \\
 00110 \\
 \underline{00000} \\
 0110
 \end{array}$$

将余数 0110 加到移位后的比特序列 110110110000 中得 1101101101100110，这就是 CRC 校验码。

待接数据 检验位
CRC 校验码

第六节 传输介质

信息的传输从一个节点传到另一个节点，不论信息在传输过程中是以模拟信号表示还是以数字信号表示，以单工方式传输还是以双工方式传输，采用线路交换方式还是存储转发方式，首先要求收发双方之间存在实际的传输介质，否则一切都是空谈。因此，我们说传输介质是通信中实际传送信息的载体。

网络中常用的传输介质分为两大类：有线通信介质和无线通信介质。

一、有线传输介质

计算机网络中常用的有线传输介质有：双绞线、同轴电缆以及光导纤维。

<一>双绞线

双绞线是由相互按一定的扭和距离绞合在一起的类似于电话线的传输介质，一根线外面加绝缘层，如图 2—15 所示。这种按一定距离绞合一次的双绞线可以使电磁辐射和外部电磁干扰减到最小。双绞线既可用于传输模拟信号又可传输数字信号，国际标准化组织将双绞线按照它的电气特性分为几类。一般第 1 类用于传输模拟语音信号，即平时我们所看到的电话线。第 2 类常用于传输数字化的语音信号。第 3、4、5 类普遍用于局域网，用于传输高速率的（目前可达 100Mbps）数字信号。

双绞线技术成熟、性能稳定、成本低，因此在通信领域中得到广泛应用。

<二>同轴电缆

同轴电缆是网络中常用的另一种低价位的传输介质，其结构如图 2—16 所示。它由内导体、外导体、绝缘层和保护层组成。

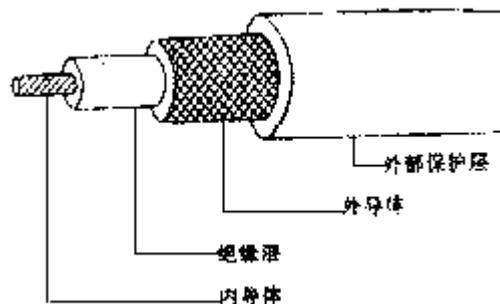


图 2-16 同轴电缆结构示意图

同轴电缆既可用于传输数字信号，也可用于传输模拟信号。基带同轴电缆一般用于传输数字数据信号，常用于局域网中。宽带同轴电缆可采用多路复用的方法，同时传输多路模拟信号（或数字信号）。大家最熟悉的同轴电缆莫过于公用天线——电视 CATV 电缆。

同轴电缆的抗干扰性比双绞线更胜一筹，但造价也稍高一些。

<三>光导纤维

光导纤维电缆（俗称光缆）是网络传输介质中性能最好，应用前途最为广泛的一种。

光缆由纤芯、紧靠纤芯的包层以及塑料保护层组成，其结构如图 2—17 所示。为了使用光纤传输电信号（不论是计算机发出的数字信号还是诸如声音、图象这些模拟信号），传输过程中均转换成以电平表示的电信号。双绞线、同轴电缆只能传输电信号。光纤两端必须配有光发射机和接收机。光发射机完成从电信号到光信号的转换；光接收机完成从光信号到电信号的转换。

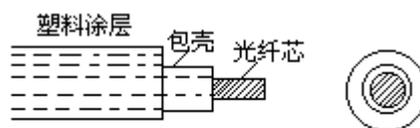


图2-17 光纤的结构

光信号在光纤中通过内部的全反射进行传输。由于可见光的频率非常高，约为 10^8 次方兆 H_z 的量级，因此光纤通信系统的传输带宽远远大于其它各种传输介质的带宽。光纤由于传输的不是电气信号，不受外界电磁干扰的影响，所以光纤的抗干扰能力极强。另外光纤还具有传输距离长，保密性好（因为不易被窃听或截取）等一系列优点。因此，随着光纤技术的进一步成熟和价格的逐年下降，光纤在通信系统中将会起到越来越重要的作用。

光纤分为单模光纤和多模光纤两类。单模光纤内传输的光信号是与光纤轴成单个可辨角度的一条光线。多模光纤传输的光信号是与光纤轴成多个可分辨角度的多条光线。单模光纤的性能优于多模光纤。单模光纤的发光源需要使用激光源，多模光纤的发光源使用发光二极管就可以了。因此单模光纤比多模光纤的管理更复杂，造价也比较高。

二、无线通信介质

计算机网各系统中的无线通信主要指微波通信。微波通信又可分为地面微波通信和卫星微波通信两种。

由于微波是沿直线传播的，而地球是一个曲面，因此限制了地面微波传播的范围。一般微波直接传输信号的距离为 40 ~ 60km，超过这个范围就需要通过地面中继站进行中转。设置中继站的目的除了对信号进行中转外，还要对信号进行放大及失真恢复。因为信号经过长距离传输后，波信号强度就会减弱；而且在传输过程中，受自然界各种噪声的干扰，信号有可能受到损坏而出现差错。中继站就要进行去噪声，进行信号的失真恢复等工作。

地面微波通信利用地面中继站进行远距离传输，这样地面微波通信的成本将随着通信距离的增加而加大。而且设置中继站还需要耗费大量的人力，特别是在条件艰苦的地方设置中继站，往往带来许多问题。

为了克服地面微波通信的不足，近年来开始大量利用人造卫星做中继站转发微波信号。卫星通信是通过地球同步卫星作为中继系统转发微波信号。一个地球同步卫星可以覆盖 $1/3$ 的地球表面，三个同步卫星就可以覆盖全球。正是有了卫星通信，全球通才成为可能。

卫星通信的缺点是传输延迟比较长，因为同步卫星距地球的平均距离为 3.6 万千米，信号经如此长的传输距离到达接收站的延迟达到了 0.2 ~ 0.3s。这就是我们通过卫星天线收看现场直播的电视节目时有一定滞后性的道理。

微波通信的特点是通信容量大，但数据的保密性差。地面微波通信与卫星通信的结构示意如图 2—18 所示。

第三章 计算机网络的体系结构

第一节 网络体系结构概述

计算机网络由许多互连的节点组成，其目的是要在节点之间不断地交换数据，即所谓共享资源。要做到在众多节点之间有条不紊地交换数据，每个节点都必须遵守一些事先约定好的规则。这些规则明确规定交换数据时数据的格式，传输时的时间顺序、纠正错误的方法，等等。这些为进行网络数据交换而建立的规则、约定被称为计算机网络协议（proto - col）。

由于网络中的计算机分散在不同的地点，往往由不同的厂家制造，各个厂家很可能有自己的一套标准。因此，网络中计算机之间的通信过程极其复杂，要协调的地方极多，如果用一个单一的协议处理这一过程是很困难的。从我们生活、工作中的经验可以得知，把一个复杂的大任务分解为若干个相对独立的小任务来实现，往往是解决问题的一个有效方法。因此，计算机网络系统的设计也采用这种分解的方法，把计算机网络系统的功能分解为多个子功能。表现在网络协议上，就是将网络协议分成若干层，每层对某个子功能作出规定。这种分层实现的方法降低了设计的复杂程度。

计算机网络怎么会和层次有关系呢？我们可以举一个例子说明。

寄信是我们大家都做过的事情。假定北京的甲要与上海的乙通信，让我们看看这件事是如何完成的。首先，甲乙双方有一个共同的约定，就是二人都能看懂中文。于是，甲用中文在信纸上写下自己想说的话；然后，甲把信纸封装在信封里，信封上按中国的邮政规定顺序写上收信人邮政编码、收信人地址、收信人姓名及发信人地址、姓名和邮政编码，然后将这封信投入邮筒。甲的任务至此就完成了。这封信是如何传递到乙手里呢？一般用户不考虑这个问题，而把它交给邮政系统去处理。邮递员把这封信从信筒里取回邮局，邮局工作人员根据信封上的邮政编码把它分捡到送往上海的邮车里，邮车把这些信件送往火车站（如果是航空就送往飞机场），火车把邮件带往上海。在上海火车站，上海邮局的邮车将信件拉回邮局，再根据邮政编码将信件分发到各个分局，分局的邮递员根据信封上的地址将信件送到乙的手里。乙的任务就是打开信，读取内容。

大家看，整个寄信过程最起码分成了四层。最高层是用户层，甲、乙双方按照中文的语法和格式写信、读信。第二层是邮递人员层，双方的邮递人员负责从信筒中取出信件送往邮局，从邮局将信件送往用户手里。邮递人员不关心信件的内容，但需要知道收信人地址。地址是用户传递给邮递人员的，可以称为这两层之间的信息。第三层是分捡人员层，从众多的信件中根据发往地址分门别类，他们不关心这些邮件从何处来，但必须依靠邮递人员的传递。第四层是传输层，由运输工具将信件从一地送往另一地。整个过程可以由图 3—1 表示。

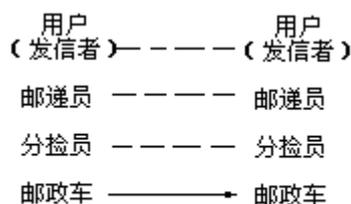


图3-1 信件发送过程

信件的实际传递是沿着图中实线从发信人手里到达收信人手里的。但从用户的角度看，就好像是直接发信者手里到了收信者手里（沿图中虚线）。别的层次的相应人员也有这种感觉。这是因为各层都遵循各层的规定，层与层之间通过信封上的信息进行了必要的沟通。

这样分层带来的好处是，每一层实现相对独立的功能，因而可以将一个难以处理的复杂问题分解为若干较为容易处理的小问题。这种方法在我们的日常生活和工作中随处可见，只不过我们在生活中不叫分层而叫分工合作罢了。现实生活中的分工合作是一件事由多人共同完成，而计算机网络的分层则是每层由计算机中的一些部件（硬件或软件程序）分别承担。

这种分层带来的好处是：

（1）各层之间是独立的。某一层并不需要知道它的下层是如何实现的，而只需要知道下层能够提供什么样的服务就可以了。

（2）灵活性好。当某一层遵守的规定更改时，只要上下接口（向上提供的服务和向下层要求的服务）不变，则这层之上或之下的各层都不会受到影响。因此分层结构下，每层都可以根据技术的发展不断改进，而用户却浑然不知。

（3）易于实现和维护。这种分层结构使得一个庞大系统的实现变得很容易，因为整个系统已经被分解为若干易于处理的小问题了。

计算机网络分成若干层来实现，每层都有自己的协议。我们将计算机网络的各层及其协议的集合，称为网络的体系结构。

世界上第一个网络体系结构是 IBM 公司于 1974 年提出的系统网络体系结构 SNA。凡是遵循 SNA 的设备都可以很方便地进行互连。

在此之后，许多公司纷纷建立自己的网络体系结构。这些体系结构都采用分层技术，但各有各的分法，每层采用的实现技术也不尽相同。这些体系结构也都有其各自的名称，如 DEC 公司的数字网络体系结构 DNA，ARPANET 模型 ARM 等。

第二节 开放系统互连参考模型 OSI/RM

如上所述，具有一定体系结构的各种计算机网络，在 70 年代中期，已经获得了相当规模的发展。但当时使用的各个网络体系结构其层次的划分、功能的分配与采用的技术均不相同。不同体系结构的计算机网络彼此之间的互连几乎成为不可能。随着信息技术的发展，各种计算机系统连网和各种计算机网络互连成为人们迫切需要解决的问题。

在这种形势下，国际标准化组织 ISO 和国际电工委员会 IEC，联合成立了一个技术委员会，专门用于制定统一的计算机网络标准。这个技术委员会发布的最著名的标准就是开放系统互连参考模型（Open System

Interconnection/ReferenceModel, OSI/RM), 简称 OSI 参考模型。

OSI 参考模型的结构如图 3—2 所示。

在 OSI 参考模型中, 主机中要实现七层功能, 通信子网中的通信处理机只需要实现低三层。

一、OSI/RM 各层功能

OSI 参考模型要实现七层功能。

(一) 物理层

物理层是整个 OSI 七层协议的最底层, 利用传输介质, 完成在相邻节点之间的物理连接。物理层主要对连接到网络上的设备从四个方面进行规定。这四个方面是机械方面、电气方面、功能方面及规程方面。机械方面规定连接器的类型、尺寸, 插脚的数目及所使用的电缆类型等; 电气方面则规定网络上所传输信号的电气范围(多大的电压表示 1, 多大的范围表示 0) 以及信号的编码方法等; 功能方面则规定每个引脚代表的是什么意思; 规程方面规定在相邻两个节点之间传送电气信号时的工作顺序。除此之外, 物理层还规定通信信道上信号的传输速率等。

物理层协议的例子有 RS—232C, CCITT V35 以及 10Base—T 等。

(二) 数据链路层

数据链路层的目的是无论采用什么样的物理层, 都能保证向上层提供一条无差错、高可靠性的传输线路, 从而保证数据在相邻节点之间正确传输, 为计算机网络的正常运行提供畅通无阻的基本条件。

数据链路层的首要任务是管理数据的传输。一方面, 它要选取一种数据传输方式, 比如是以字符为单位进行传输, 还是以数据块(帧)为单位进行传输; 另一方面, 它要提供一种差错检测和恢复方式, 以便在发现数据传输发生错误时能够采取补救措施。除此之外, 为保证数据传输时不会丢失, 数据链路层还应该提供流量控制措施, 做到接收方的接收速度不会低于发送方的发送速度。正是有了数据链路层的这些工作, 无论实际采用的是什么样的物理线路, 从上层的角度看都是无差错的数据链路。

数据链路层最典型的例子是高级数据链路控制规程(HDLC), 它是世界上较为通用的链路层规程, X25 网的链路层采用的就是这种标准。局域网的数据链路层一般分为两个子层, 即介质访问控制子层(MAC)和逻辑链路控制子层。其中 LLC 子层的功能类似于广域网中的数据链路层, 而 MAC 子层则是局域网所特有的。第四章介绍局域网时将给大家介绍。

(三) 网络层

网络层的主要任务是通过执行某一种路径选择算法和流量控制算法, 完成分组从通信子网的源节点到目的节点的传输。网络层是通信子网的最高层, 这一层功能的不同决定了一个通信子网向用户提供服务的不同。

(四) 传输层

传输层的目的是向用户提供从发送端(主机)到接收端(主机)报文的无差错传送。由于网络层向上提供的服务有的很强, 有的较弱, 传输层的任

务就是屏蔽这些通信细节，使上层看到的是一个统一的通信环境。

（五）会话层

会话层、表示层和应用层系统称为 OSI 的高层，这三层不再关心通信细节，面对的是有一定意义的用户信息。

会话层的目的是组织、协调参与通信的两个用户之间的对话，比如向用户分配用户名，规定入网格式等。

（六）表示层

表示层处理两个通信实体之间进行数据交换的语法问题。解决两个通信机器中数据表示格式不一致的问题（比如 IBM 大型机使用 EBCD 编码，而微型机普遍采用 ASCII 编码）。规定数据加密/解密，数据的压缩/恢复等采用什么样的方法，等等。

（七）应用层

应用层是 OSI 参考模型中的最高层，直接面向用户。应用层利用应用进程（比如 Internet 中的电子邮件系统，信息查询系统等）为用户提供访问网络的手段。

OSI 参考模型自 1983 年公布以来，得到普遍一致的接受，但它毕竟只是一套参考文献，各个厂商并未放弃他们各自的体系结构，只是尽力向 OSI 靠拢，这一点请大家注意。

二、OSI 参考模型中的数据流

以上简单介绍了 OSI 参考模型各层的功能，那么，按照这样的分层结构，信息传输的过程是如何进行的呢？我们可以通过图 3—3 和图 3—4 加以说明。

假设主机 A 中的应用进程 AP_A 要与主机 B 中的应用进程 AP_B 进行数据交换，主机 A 与主机 B 分处于两地，彼此通过通信子网连接。其中，主机 A 与通信子网的节点 1 相连，主机 B 与通信子网的节点 n 相连。

应用进程 A 为了与网络中的别的进程通信，首先必须进入网络环境，将待发送的信息（报文）递交给 OSI 的最高层。

第 7 层接收数据，加上该层的控制信息递交给第 6 层做进一步处理。第 6 层接收到从上层递交来的数据后，加上本层的控制信息组成第 5 层的数据单元送第 5 层。依此类推，每一层都接收从上层交来的数据加上该层的控制信息递交给下层。第 4 层以上的数据单元统称为报文，第 3 层的数据单元称为分组，第二层的数据单元称为帧，第一层则以二进制位为单位进行传输。

数据传送到第一层后，以二进制位流的形式通过传输介质传送到相邻节点。每个通信网中的节点对收到的二进制位流从第 1 层依次上升到第 3 层，每一层根据控制信息作相应的操作，然后剥去控制信息，将剩下的数据单元上交给更上一层。处理完毕再逐层加上控制信息递交给通信网的下一个节点，直到传送到目的端。

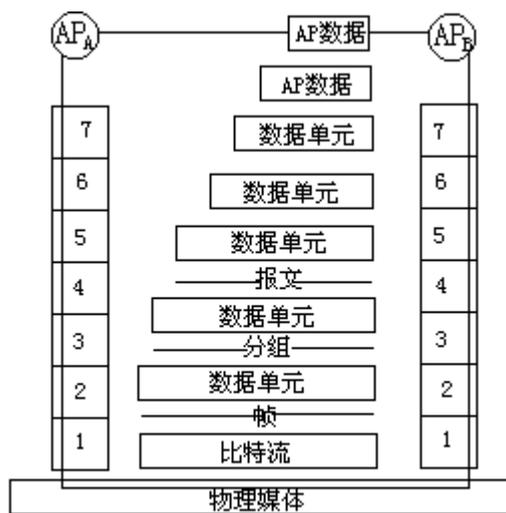


图3-4 数据在OSI网络中的传送

目的端从传输介质上收到位流后，从第1层依次上升到第7层，每层依据控制信息完成相应操作，然后剥去控制信息，将数据单元上交给更高一层。最终到达进程 AP_B 。

尽管应用进程 AP_A ，在OSI环境中经过复杂的处理过程才到达对方的应用进程 AP_B 。但对于这两个进程来讲，这一复杂处理过程是感觉不到的。从应用进程的角度看，应用进程 AP_A 的数据好像是“直接”传送给应用进程 AP_B 。

同理，任何两个同样层次之间（比如两个系统的第6层之间），也好像如图3—4中的水平虚线所示的那样，可将数据直接传递给对方。为什么能够这样，这是因为同等层遵循相同的协议。所谓各层协议，实际上就是在各个同等层之间传递数据时遵守的各项规定。

第三节 Internet 的体系结构：TCP/IP

虽然OSI/RM是国际标准，但由于它出现的时间晚于已经具体实现的SNA、DNA及TCP/IP等，再加上OSI/RM自身存在的缺点，在它推出将近20年后，并没有出现一统天下的局面。特别是TCP/IP，随着Internet在全球范围的不断普及，遵循TCP/IP的网络越来越多。大有与OSI/RM平分天下之势，因此，我们简单地向大家介绍TCP/IP体系。

我们知道，世界上第一个分组交换网或者说第一个实用计算机网络是美国军方的ARPANET。ARPANET的体系结构也是采用分层结构，原来称为ARM，代表ARPANET参考模型。当时的ARPANET现在已经发展成为世界上规模最大的互连网Internet。在Internet所使用的协议中，最著名也最能体现该体系核心思想的是传输层协议TCP和网络互连协议IP。因此，现在人们常用TCP/IP代表Internet所使用的体系结构。

与OSI/RM不同，TCP/IP从推出之时，就把考虑问题的重点放在了异种网互连上。所谓异种网，即遵从不同网络体系结构的网。TCP/IP的目的不是要求大家都遵循一种标准，而是在承认有不同标准的情况下，解决这些不同。因此，网络互连是TCP/IP技术的核心。

一、TCP/IP 简介

TCP/IP 的体系结构如图 3—5 所示。由于 TCP/IP 在设计时重点不放在具体的通信网实现上，而且 TCP/IP 并没有对低两层作出规定，所以 TCP/IP 允许任何类型的通信子网参与通信。

如图 3—5 所示，TCP/IP 由四个层次组成。

(一) 应用层

向用户提供一组常用的应用程序，比如文件传输访问、电子邮件等。严格说来，TCP/IP 只包含下三层，应用程序不能算 TCP/IP 的一部分。只不过就上面提到的常用应用程序，TCP/IP 制定了相应的协议标准，所以也把它们作为 TCP/IP 的内容。事实上，用户完全可以在 Internet 之上（即传输层之上）建立自己专用的应用程序。但这些专用的应用程序要用到 TCP/IP 罢了。

(二) 传输层

传输层提供应用程序之间（即端到端）的通信。这一层可以使用两种不同的协议。一种是传输控制协议 TCP（Trans -

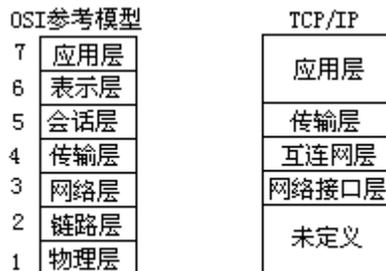


图3-5 TCP/IP体系结构及与OSI/RM的关系

mission Control Protocol），提供端到端之间的可靠传输，数据传送单位是报文段，其地位相当于前面提到的报文。另一种是用户数据报协议 UDP（User Datagram Protocol），在端与端之间提供不可靠服务，但传输效率比 TCP 协议高，数据传送单位是数据报（Datagram），实际上就是以前提到的分组。

除了在端与端之间传送数据外，传输层还要解决不同程序的识别问题，因为在一台计算机中，常常是多个应用程序可以同时访问网络。传输层要能够区别出一台机器中的多个应用程序。

(三) 互连网层

互连网层负责相邻计算机之间的通信，IP 协议是 TCP/IP 的核心，数据传送单位是数据报，即分组。其地位类似于 OSI 参考模型的网络层。向上提供不可靠的数据报传输服务。

(四) 网络接口层

这是 TCP/IP 的最底层，负责接收互连网层发来的数据报并通过具体网络发送，或者从具体网络上接收帧，抽出 IP 数据报，交给互连网层。

二、TCP/IP 与 OSI/RM 的区别

从以上的叙述可以看出，TCP/IP 与 OSI/RM 有许多不同，主要表现在以下几个方面：

(1) TCP/IP 虽然也分层,但其层次之间的调用关系不像 OSI 那样严格。在 OSI 参考模型中,两个 N 层实体之间的通信必须经过(N-1)层。但 TCP/IP 可以越级调用更低层提供的服务。这样做可以减少一些不必要的开销,提高了数据传输的效率。

(2) TCP/IP 一开始就考虑到了异种网的互连问题,并将互连网协议作为 TCP/IP 的重要组成部分。而 ISO 只考虑到用一种统一标准的公用数据网将各种不同的系统互连在一起,根本未想到异种网的存在,这是 OSI/RM 的一大缺点。

(3) TCP/IP 一开始就向用户同时提供可靠服务和不可靠服务,而 OSI 在开始时只考虑到向用户提供可靠服务。相对说来,TCP/IP 更侧重于考虑提高网络传输的效率,而 OSI 参考模型更侧重于考虑网络传输的可靠性。

第四章 计算机通过局域网通信

在第一章我们提到过,根据网络覆盖的地理范围,计算机网络分为三大类:局部地区网(LAN),城市区域网(MAN)和广域网(WAN)。

广域网也被称为远程网。广域网覆盖的地理范围大,可以覆盖整个地区、国家以至全球。但广域网的传输时延比较大,数据传输速率较低,而且广域网涉及很复杂的分组交换系统。

城市网一般覆盖一个城市范围,传输速率一般都很高,约为每秒几万位到 100 兆个位(64kbps~100Mbps)。一般采用光纤作传输介质。城市网是从局域网分化出来的,与局域网的分界线不是很明确。虽然关于城市网已经出台了完备的标准体系,但实际应用并不算广泛。本书对它不再作进一步介绍。

局域网覆盖的地理范围较小,通常只覆盖几个建筑物甚至更小。局域网的工作过程比较简单,传输速率最高。

第一节 局域网特点

局域网技术是当前计算机网络研究与应用的一个热门话题,也是目前技术发展最快的领域之一。严格定义局域网是比较困难的。但一般认为具有以下三个特点的计算机网络称为局域网:

(1) 局域网覆盖有限的地理范围,适用于有限范围(一间办公室,一幢办公楼等)内计算机的连网需求;

(2) 局域网具有高的数据传输速率(10~100Mbps)、低的误码率($< 10^{-9}$);

(3) 局域网的所有权和经营权属于一个单位所有。

从技术角度看,决定局域网特性的主要技术要素是:网络拓扑、传输介质及介质访问控制方法。

局域网与广域网的一个重要区别就在于它们所覆盖的地理范围。局域网一般为某个单位独立拥有,范围小、距离短,所以可以铺设专用的传输介质而不必采用公共电话网。从通信机制上它可以采用更为简单的机制,即从广域网的“存储转发”方式改变为“共享介质”方式。因此,在传输介质、介质存取控制方法上形成了自己的特点;在网络拓扑上也采用了简单的总线

型、环型及星型结构。

一、局域网的拓扑构型

在第一章中，曾简单地给大家介绍过网络的拓扑结构。其中点一点式的交换网采用的是存储/转发运行方式。这种方式每一个节点都要对经过的分组作存储，然后对收到的分组进行检错，并根据目的地址进行路径选择以转发到下一个节点去。以上的几个操作步骤使得分组在每个节点都要消耗一定的时间，这样就降低了传输效率，增加了用户的通信费用。

局域网实现的是小范围内的高速数据传输。局域网上连接的经常是价格低廉的微型计算机，因此，局域网不希望耗费时间和金钱在路径选择上。又由于局域网的误码率比广域网低得多，没必要在每一段线路上进行检错，所以局域网常采用广播型的拓扑构型。常见的有：总线型、星型和环型。

（一）总线型拓扑

总线型拓扑是局域网最重要的拓扑构型，图 4—1 (a) 给出的是实际总线型局域网的计算机连接情况，图 4—1 (b) 是抽象的总线型拓扑构型。

总线型拓扑的特点是：

（1）所有的节点都通过相应的硬件接口连接到一条公共的传输介质上，这条公共传输介质就称为总线（bus）；

（2）所有挂接到总线上的计算机（每一个称为一个工作站）都可以通过总线发送数据。但任一时刻只能有一个站发送数据。任一个站利用总线发送数据时，都采用广播的方式，即不论目的站是谁，总线上的所有站都能收到。

（3）由于所有挂接到总线上的计算机都利用总线发送数据，即总线为所有的站共享，这就有可能出现两个或两个以上站在同一时刻都要发送数据的情景，这种情况称作发生了“冲突”，冲突将造成发送失败。

（4）总线型拓扑既然是“共享介质”的拓扑，就必须解决多点访问总线时的“介质访问控制”问题，以解决发生冲突的问题。

总线型拓扑的优点是：结构简单，实现容易。

它的缺点是有冲突现象发生，重负载时传输效率急剧下降。

（二）环型拓扑

环型拓扑是局域网中另一种常见的拓扑，其构形如图 4—2 (a) 所示。

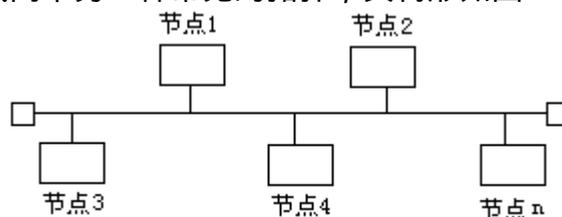
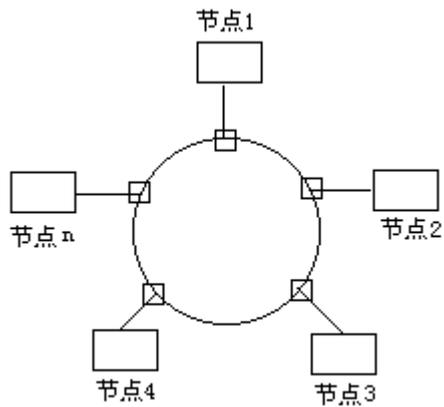
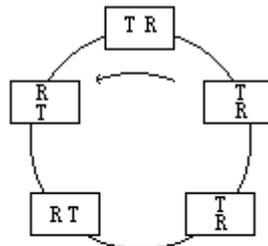


图4-1 局域网总线型拓扑

在这种拓扑中，各个节点之间的信息传送通过一个闭合的环进行，环路是所有节点公用的传输信道，因此，环型拓扑的网络也存在介质访问方法的问题。环型网络每个节点都与两个相邻的节点相连，并构成一个闭合环路。同时，由于每个节点对上一个节点传来的数据，再通过接收/转发的方式发送给下一个节点，所以环中数据传输方向是单一的（如图 4—2 (b) 所示）。



(a) 局域网环型拓扑



(b) 环型拓扑中数据传输方向

T-发送电路；R-接收电路。

图4-2 环形拓扑

二、局域网介质访问控制方法

所谓介质访问控制方法是指控制多个节点利用公共传输介质发送和接收数据的方法。介质访问控制方法要解决以下几个问题：某一时刻应该哪个节点发送数据？发送时会不会有别的节点也会发送？出现多个节点同时发送的情况时应该怎么办？等等。由于局域网是采用“共享传输介质”的方法，所以介质访问控制方法是局域网必须解决的共同问题。

目前常用的介质访问方法有以下两种：带冲突检测的载波侦听多路访问 CSMA/CD 和令牌环 Token Ring 方法。其中 CSMA/CD 方法用于总线拓扑，Token Ring 方法用于环型拓扑。这两种方法的具体工作过程在介绍具体网络时再介绍。

三、局域网体系结构与 IEEE802 标准

(一) 局域网体系结构

在 OSI 参考模型中，通信子网必须包括低三层，即物理层、数据链路层和网络层。局域网作为一种计算机通信网理应包括 OSI 的低三层，但由于局域网的拓扑非常简单，不需要进行路由选择。局域网不存在网络层。因此，局域网的通信子网只包括物理层和数据链路层。

局域网的物理层实际上由两个子层组成，其中，较低的子层描述与传输介质有关的特性，较高的子层集中描述与介质无关的物理层特性。

由于局域网采用公共传输介质进行传输，因此局域网要解决介质访问的问题。局域网的数据链路层也有两个子层组成：介质访问控制 (MAC) 子层和

逻辑链路控制 (LLC) 子层。不同的局域网采用不同的 MAC 子层，而所有局域网的 LLC 子层均是一致的。有了统一的 LLC 子层，虽然局域网的种类五花八门，但高层可以通用。局域网的低两层一般由硬件实现，这就是我们平常所说的网络适配器 (简称网卡)，高层由软件实现，网络操作系统是高层的具体实现。

OSI 参考模型与局域网体系结构比较如图 4—3 所示：

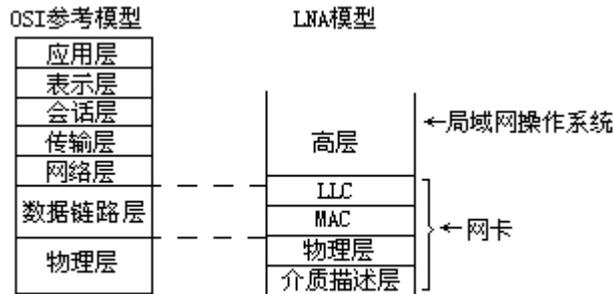


图4-3 OSI参考模型与局域网体系结构比较

(二) IEEE802 标准

IEEE 是通信领域的一个国际标准化组织，这个标准化组织有一个 802 委员会，专门研究和制定有关局域网的各种标准，目前已经制定出 12 个标准，如图 4—4 所示。

- (1) IEEE802.1 标准，包括局域网体系结构、网络互连以及网络管理；
- (2) IEEE802.2 标准，逻辑链路控制 LLC。
- (3) IEEE802.3 定义，CSMA/CD 总线介质访问控制方法与物理层规范；
- (4) IEEE802.4，定义令牌总线 (Token Bus) 介质访问控制方法与物理层规范；
- (5) IEEE802.5，定义令牌环 (Token Ring) 介质访问控

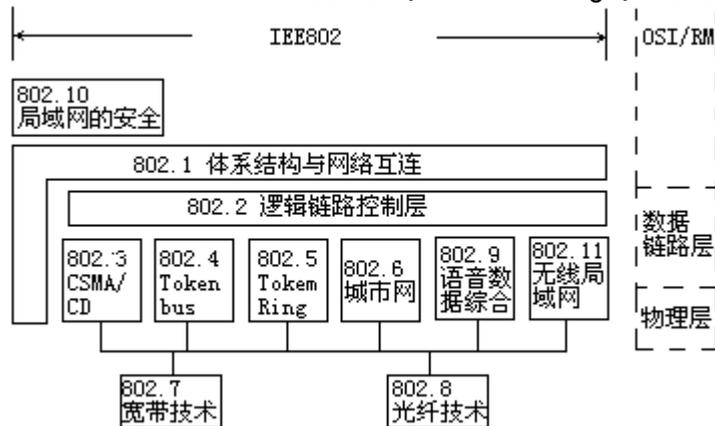


图 4-5 局域网组成示意图

制方法与物理层规范；

- (6) IEEE802.6，定义城市网介质访问控制方法与物理层规范；
- (7) IEEE802.7，定义了宽带技术；
- (8) IEEE802.8，定义了光纤技术；
- (9) IEEE802.9，定义了语音与数据综合局域网技术；
- (10) IEEE802.10，定义了局域网的安全机制；

- (11) IEEE802.11, 定义了无线局域网技术;
- (12) IEEE802.12, 定义了按需优先的介质访问方法, 用于快速以太网。

第二节 局域网的组成

局域网的组成如图 4—5 所示。

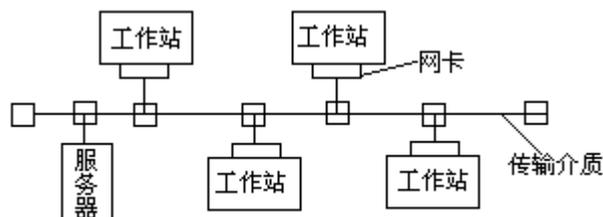


图4-5 局域网组成示意图

其组成主要包括：计算机，网卡，传输介质及附属设备，以及网络软件。

计算机是局域网的主要资源，分为工作站和服务器的。网卡是局域网的通信控制节点，它与传输介质及附属设备组成局域网的通信子网。当然，与广域网不同，每个通信节点（网卡）都依附于主机（计算机）而存在，不存在中转节点。既然网卡相当于广域网中的通信节点，根据 OSI/RM，网卡中要实现网络的低三层功能（实际上是低两层，因为局域网不需要网络层），每台入网的机器要实现七层功能，低三层已在网卡中实现，在入网机器上就要安装实现高四层协议的软件系统——网络操作系统。网络操作系统的内核安装在一台高性能计算机上，这台计算机称为该局域网的服务器。其余计算机上只安装网络操作系统的外壳程序，这样的计算机称为局域网的工作站。由此看来，服务器和工作站只是因为其上安装的软件不同，从网络实现（通信网）的角度看，所有的站点都实现同样的网低层协议。

一、网络服务器

网络服务器用来管理网络系统中的共享资源，如高速打印机，数据库文件等。一个局域网可以有不止一个服务器。局域网的许多功能是通过服务器实现的，网络操作系统的核心部分也驻留在服务器上。因此，网络服务器的性能直接影响到局域网的性能，用作服务器的机器应该是网络中性能最高的机器。

二、工作站

工作站是用户直接使用的计算机，用户通过它访问服务器，共享网络资源。局域网的工作站一般采用微型计算机。工作站既可以入网使用，也可以单机操作。

三、网络适配器

网络适配器，是局域网中的通信处理机，用户工作站和服务器的通过它连接到网上，网络适配器实现数据链路层通信协议及物理信号的转换，是网络

中的关键部件。局域网的网络适配器通常做成一块插件，安装在微机的插槽上，因而又称为网卡。

四、传输介质及附属设备

局域网使用的传输介质主要有双绞线、同轴电缆和光纤。双绞线和同轴电缆一般作为建筑物内的局域网连线，光纤电缆则因其优良的性能，较贵的价格常用作建筑物之间的连接干线。几种传输介质在一种网中可以混用。

附属设备随局域网类型及所使用的传输介质而定，一般包括插头、中继器等。

第三节 以太网

一、以太网工作原理

目前应用最广泛的一类局域网是以太网 Ethernet。它是由美国 Xerox 公司于 1975 年研制成功并获得专利。此后，Xerox 公司与 DEC 公司、Intel 公司合作，提出了 Ethernet 规范，成为第一个局域网产品规范，这个规范后来成为 IEEE802.3 标准的基础。

Ethernet 是典型的总线型局域网，其连接情况如图 4—6 所示，它的传输速率为 10Mbps。Ethernet 的核心技术是它的随机争用型介质访问控制方法，即带有冲突检测的载波侦听多路访问 (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 方法。

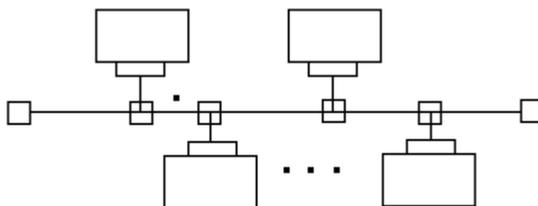


图4-6 Ethernet连接图

既然 Ethernet 是总线型网，网中没有控制节点，任何节点发送数据的时间都是随机的，网中节点都只能平等地争用发送时间。因此，这种介质访问控制方法属于随机争用型。

以太网的介质访问控制方法 CSMA/CD 的基本工作原理可以从发送流程、帧结构及接收流程三方面结合进行讨论。

(一) 帧结构

联网的通信双方要发送数据，上一章讲通信的同步问题时已经提到，收发双方必须同步。局域网中普遍采用的是以数据块为单位的自同步方式，待发送的数据加上一定的控制类信息构成的数据块称为“帧 (Frame)”。以太网的帧结构如图 4—7 所示。



图4-7 以太网的帧格式

(1) 前导码。前导码由 7 个字节组成，这 56 位的组合是 101010.....10，其作用是用于接收端的接收位同步。

(2) 帧定界符。帧定界符包括一个字节，其位组合是 10101011。标志着其后收到的将是目的地址。

(3) 目的地址。为发送帧的目的接收站地址，由 6 个字节（48 位）组成，可见以太网最多可以有 2^{48} 个工作站及服务器（实际上任何一个局域网也不可能有如此多个站点）。

(4) 源地址。标志发送站的地址，也由 6 个字节组成。

(5) 长度。长度字段由两个字节组成，用来指示数据有多少个字节。

(6) 数据。真正在收发两站之间要传递的数据块。标准规定数据块最多只能包括 1500 个字节，最少也不能少于 46 个字节。

(7) 校验位。帧校验采用 32 位 CRC 校验，校验范围是：目的地址、源地址、长度及数据块。

(二) 帧的发送流程

以太网中，如果一个节点要发送数据，它将以“广播”方式把数据通过公共传输介质发送出去，连接到总线上的所有节点都可以“收听”到发送节点发送的数据信号。由于网中所有节点都可以利用总线发送数据，并且网中又不存在中心节点，因此有可能出现多个节点争抢总线的情况。为了使争抢现象尽量减少，争抢发生后又能尽快解决，CSMA/CD 采用了如下策略：

每一个节点在利用总线发送数据时，首先要监听总线的忙、闲状态。如果总线上已经有数据在流动，说明总线忙；如果总线上没有数据信号在传输，说明总线空闲。由于以太网的数据信号是按差分曼彻斯特编码的，所以如果总线上存在电平跳变，则说明总线忙，否则说明总线空闲。如果一个节点在发送数据前监听到总线空闲，它就可以启动它的发送装置，将数据发送出去；如果节点在发送数据前监听到总线忙，它就一直监听下去，直到发现总线空闲。

请大家考虑下面这种情况：

如果有两个节点在几乎相同的时刻都要发送数据，它们就会在总线空闲时几乎同时将数据发送出去。这时总线上就会出现两套信号，那么就会产生冲突。所以节点在发送数据的过程中还应该进行冲突检测。

如果在发送数据的过程中发生了冲突，则马上进入“冲突加强”阶段，即发现冲突的站点进一步发送信号使冲突持续时间足够长，以使网中所有节点都能检测出冲突存在，避免使有用数据再进入总线。完成冲突加强后，站点停止当前的发送，进入重发状态。进入重发状态的第一件事是计算重发次数。以太网规定，一个帧最多可以重发 16 次。重发 16 次还未发送出去就认为发生了线路故障，系统出错结束。

如果数据发送过程中没有发生冲突，则数据发送完毕后正确结束。

帧的发送流程如图 4—8 所示。

(三) 帧的接收过程

在以太网中，节点要送数据需要通过竞争才能取得总线的使用权。不发

送的节点应该一直处于接收状态。一个节点收完一帧后。首先检查帧长度，如果帧长度小于规定的最小长度，说明一定是发生冲突后废弃的帧，接收节点丢弃已收到的帧，重新进入等待接收状态。如果帧长度正常，则接收节点接着检查帧的目的地址，如果目的地址是本节点地址，则接收该帧。如果目的地址不是本节点地址，则丢弃该帧。

二、以太网组网方式

IEEE802.3 标准中，指出以太网可以采用三种传输介质进行组网：细同轴电缆、粗同轴电缆和双绞线。

(一) 细同轴电缆以太网

组建一个细同轴电缆需要以下基本的硬件配置：

- (1) 网卡。每个节点需要至少一块网卡。
- (2) T 型连接器。细缆以太网的每个节点通过 T 型连接器连入网内。T 型连接器的两个水平端口连接电缆，一个垂直接口与网卡的连接器相连。
- (3) 电缆。直径为 1/4 英寸 (0.635cm) 的细同轴电缆。
- (4) 端接器。安排在细缆的两端。
- (5) 中继器。一根细缆的总长度不能超过 185m，如果实

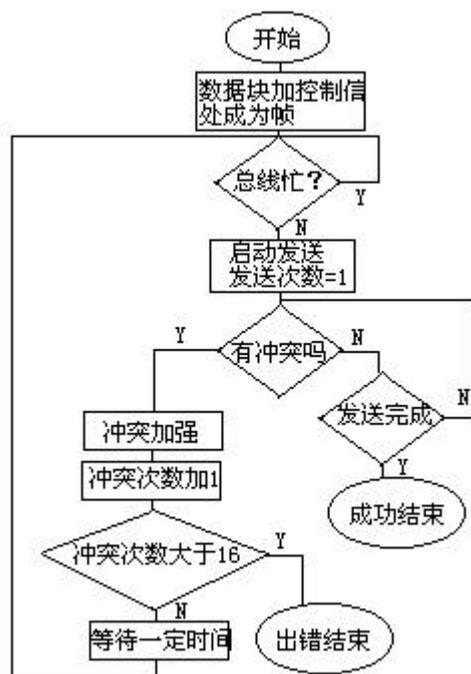


图 4-8 以太网发送流程图

际站点的分布距离超过这个限度，可以利用中继器进行扩充。中继器 (Repeater) 的作用是对信号进行放大。细缆网最多允许使用 4 个中继器，也就是细缆以太网最大覆盖距离不得超过 (185 × 5 =) 925m，连入细缆的节点数最好不要超过 30 个。

细缆系统造价比较低，安装容易，但由于各接头容易松动，可靠性受到一定影响。细缆以太网多用于小规模的网络环境。

(二) 粗同轴电缆以太网

粗缆网的结构如图 4—10 所示，组建一个粗同轴电缆需要以下硬件。

- (1) 网卡。
- (2) 收发器。粗缆以太网的每个节点需要一个安装在同轴电缆上的外部收发器进入网内；
- (3) 收发器电缆。用于网卡与收发器的连接；
- (4) 电缆，直径为 1/2 英寸 (1.27cm) 的粗同轴电缆；
- (5) 端接器。安装在粗缆的两端，防止信号反射，两个端接器中有一个必须接地；
- (6) 中继器。用于扩展电缆长度。一根粗缆的长度最长为 500m，超过 500m 的范围必须使用中继器，粗缆系统最多允许使用 4 个中继器。因此，粗缆以太网的最大覆盖范围不能超过 $500 \times 5=2500\text{m}$ ，连入网中的节点数为 100。

粗缆网的抗干扰能力比细缆好，但造价较高，安装较为复杂。

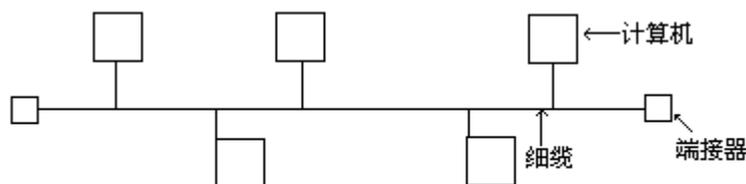


图4-9 细同轴电缆以太网

(三) 双绞线以太网

双绞线以太网是近几年得到广大用户青睐的以太网家族中的新成员，其结构如图 4—11 所示。

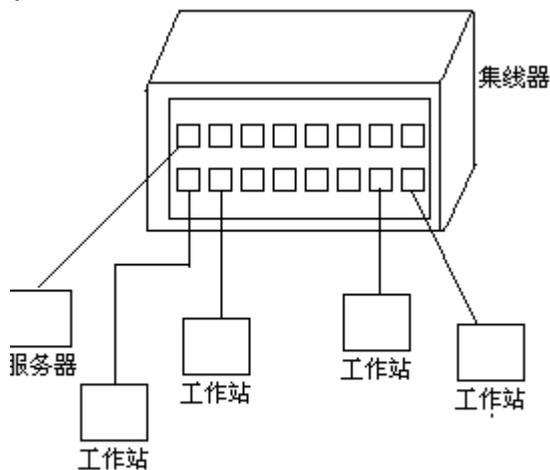


图4-11 双绞线以太网结构

双绞线以太网需要以下硬件配置：

- (1) 网卡。连入双绞线以太网的任一个节点都需要一块支持 RJ—45 接口（形状类似于电话接口）的网卡；
- (2) 双绞线。并不是所有的双绞线都能够用来连接计算机入网，以太网标准规定只能使用 3 类、4 类或 5 类双绞线；
- (3) 集线器 Hub。集线器是双绞线以太网的中心连接设备，它的作用是将接收到的数据广播到每一个端口（当然发送者端口除外）。从这种意义上

看，虽然双绞线以太网从外观看连接成星型，但从数据流动的情况上看，它仍然是一个总线型网。因此，我们往往说双绞线以太网是物理上星型、逻辑上总线型的局域网。

双绞线局域网利用集线器在物理连接上形成了一个星型结构，这种连接法使网络的建立变得极为容易，而且 RJ—45 插头不像同轴电缆中的插口，它的牢固性极好（想想你家的电话线会轻易从电话上掉下来吗？）。除此之外，双绞线以太网还具有扩充性好，易向上升级等优点，因此是目前组建以太网时的首选。

双绞线以太网的扩充是通过集线器的级联而完成的（如图 4—12 所示）。集线器的端口有限（一般为 16 个），超过 16 个节点的网就可以通过这种级联方式进行扩充。

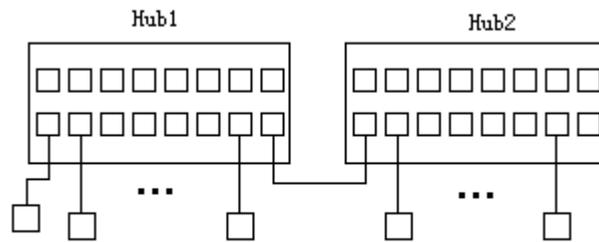


图4-12 两级集线器串联

有一点应该请大家注意的是，双绞线可以和同轴电缆混用，最常见的一种混用是楼层内的机器通过双绞线进行连接，再用粗同轴电缆将各个集线器串起来（如图 4—13 所示）。

三、快速以太网介绍

随着网络应用的进一步发展，大型数据库、多媒体等技术的普及，对局域网性能要求越来越高。原来被认为是快速的 10Mbps 以太网在某些应用场合越来越显得力不从心。因此，进入 90 年代，传输速率高达 100Mbps 甚至更高的网络得

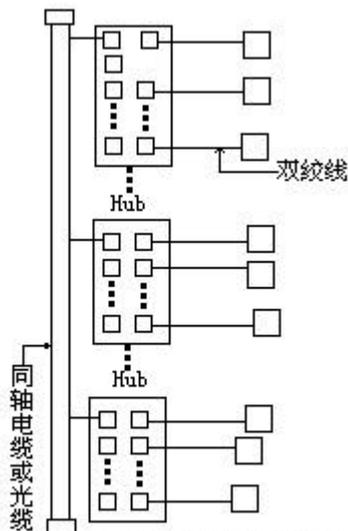


图4-13 多种传输介质混用的以太网

到了广泛的关注并在近两年得到普遍应用。其中值得一提的是快速以太网。

快速以太网的结构如图 4—14 所示。

从图中可以看出，传输速率为 100Mbps 的快速以太网的

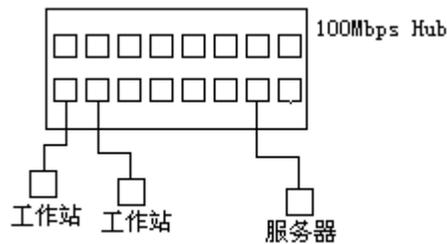


图4-14 快速以太网结构图

物理布局与 10M 传输速率的双绞线以太网极为类似。实际上快速以太网可以看作传统以太网的第二代。介质访问控制方法仍然采用 CSMA/CD，只是所使用的传输介质与信号编码方法与传统以太网不尽相同。我们知道，10M 双绞线以太网可以采用 3 类、4 类和 5 类双绞线，而 100M 以太网只能采用 5 类双绞线或者光纤（光纤产品还未得到普遍应用）。

快速以太网具有如下特点：

（1）快速以太网是 10M 双绞线以太网的扩展。10M 传输速率的双绞线以太网可以很容易地升级为 100M 的快速以太网；

（2）快速以太网卡有很强的调节性，可以自动识别与它通信的网卡工作在 10Mbps 模式下还是工作在 100Mbps 模式下，然后将自身的传输速率调整为与对方相当的速率，而且快速以太网中允许有 10M 的网卡存在。实际上，快速以太网常用于作互连局域网的主干网，二级网往往是 10M 以太网，这样做既能提高整个网络系统的性能，又能节约一定的资金。图 4—15 是一个典型的快速以太网与 10M 以太网的混合网络。

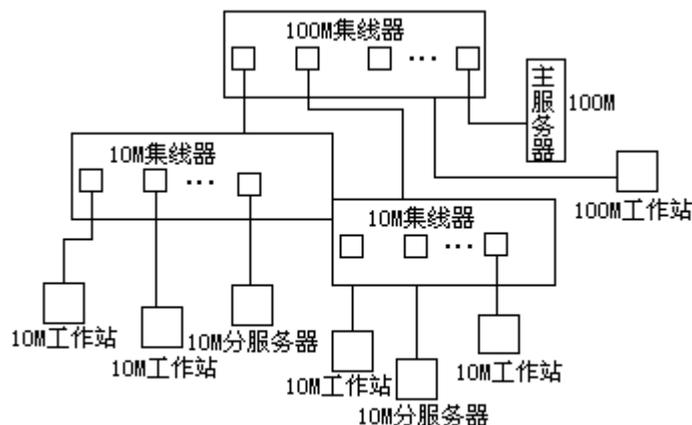


图4-15 以太网应用结构图

第四节 光纤分布式数据接口 FDDI

光纤分布式数据接口（Fiber Distributed Data Interface，FDDI）是目前在主干网中使用比较普遍的一种高速局域网。从它的名称可以看出，这种网络以先进的传输介质——光纤作为传输介质，传输速率为 100Mbps，能

互连高达 1000 台设备，覆盖范围可达 100km。

FDDI 的结构如图 4—16 所示

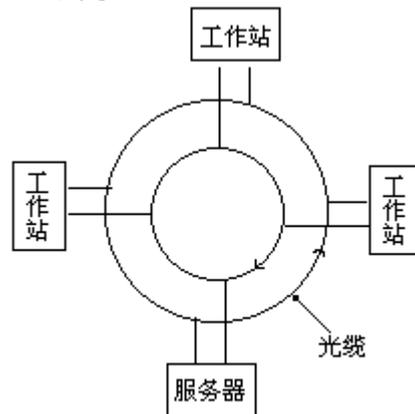


图4-16 FDDI结构示意图

从图中可以看出，FDDI 是双环结构，数据在两个环上按相反方向流动，在站或线路出现故障时，两个环路将合在一起形成单环继续工作，因此，FDDI 的可靠性极高。

一、 FDDI 的工作原理

FDDI 是一种高速局域网，我们知道不同类型的局域网表现在它的低两层，即物理层和数据链路层。其中物理层分为介质说明层（用于说明本局域网传输介质的特性）和物理层协议子层（用于说明信号的编码、同步等问题）。数据链路层分为介质访问控制子层和逻辑链路控制子层。其中介质访问子层说明多个节点以什么样的方式使用公共的传输介质，逻辑链路控制子层说明帧的发送/接收及对上层的接口、信号的编码、同步等问题。在本章的前面已介绍过逻辑链路控制子层对所有局域网都是共同的，信号在数据信道上的编码、同步等问题在第二章也已经说过。下面我们只介绍 FDDI 的传输介质和它的介质访问控制方法。

（一）FDDI 的传输介质

FDDI 规定用光纤作为它的传输介质。用于 FDDI 的光纤分为两类：多模光纤和单模光纤。“模”可以被看作是以特定角度进入光纤的光束。单模只允许一种模的光在光纤上传播。多模则允许多种模的光在光纤上传播。单模光纤比多模光纤具有更高的传输带宽和更长的延伸距离。因此，单模光纤常用于建筑物之间的连接，而多模光纤常用于建筑物内的连接。多模光纤利用发光二极管作为光源，而单模光纤则只能用激光作为光源。

（二）FDDI 的工作原理

FDDI 各站点对环路的共享采用令牌（Token）的方法。

1. 环路上的数据流

图 4—17 可以说明令牌传递方式下单环上数据的传输过程。当一个站点希望发送数据时，它首先必须等到一个令牌（Token）。所谓令牌是一些特定的二进制位组合，只有拥有令牌的站才有资格往环路上发送数据。

发送站得到令牌后，将令牌状态改为忙，然后将待发送的数据帧附在忙令牌的后面，一位一位地通过发送机构发送到环路上的相邻节点。

环上的所有站在不发送数据时，总处于收听状态。处于发送站点下一位

的站点对收到的数据序列进行转发，转发到相邻的下一个站点。转发时是先收下一位，然后转发一位，因此一个站点的转发只会造成一位延迟。二进制位在转发时经过整形和放大，所以即使经过很多个站点，环路上信号的幅度和形状基本上都不会改变，这就是为什么环形网可以用

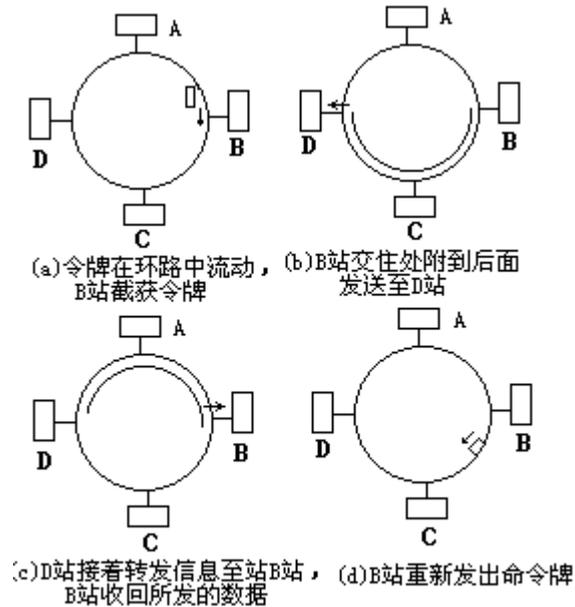


图4-17 令牌环的工作原理

于大规模网络的原因之一。

所有站点都对经过的信息做一位的存储转发处理，并留意目的地址。如果转发的数据帧的目的地址是本站地址，就将整个数据帧拷贝到本站的接收缓冲区中。同时继续照常向下一个节点转发从输入端输入的数据流。

数据帧在环路上转了一圈之后，最后必然回到发出这一数据帧的源站点。源站点收到自己发出去的帧后（信息帧的源地址与本站地址相同），就不再继续进行转发，而是对返回的数据进行检查，看看本次的发送是否成功。源站将自己所发数据帧全部收回之后，将令牌的状态设置为闲（产生一个新令牌）。这样环路上又有了令牌。令牌在环路中不断传送，直到有一个站截获它。

总之，发送数据的站首先要截获令牌，发送完毕后再负责将令牌恢复出来，发送数据的站要负责从环路上收回它所发的数据帧，或者说，不论发往环路的何处，数据帧都要绕环一周。

2. 令牌/数据帧格式

令牌和数据帧的格式如图 4—18 所示。

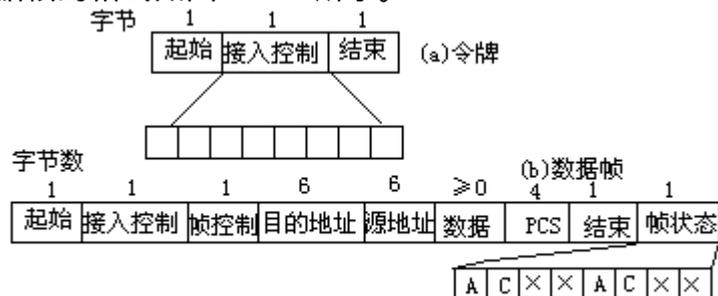


图4-18 令牌格式/数据帧格式

不论是令牌还是数据帧都各有一字节的开始字段和结束字段。这两个字段中的各有 4 位是正常的数数据脉冲（‘1’或‘0’），不可能出现特殊位（既不是 0，也不是 1）用来表示帧的开始和结束。

令牌的第 2 字节为接入控制字节，该字节中的第 4 位即 T 位是最关键的一位。大家可能也注意到了，数据帧的第二字节也是控制字节。如果 T=0，表示这是一个闲令牌；如果 T=1，表示随后的数据组是数据帧。所以“截获令牌”就是将这一位由 0 变 1。然后丢掉令牌的结束字节，并把数据帧第三字节起的各字段加上，成为一个要发送的数据帧。接入控制字节的其余位涉及令牌的优先权，因令牌的优先权操作比较复杂，这里不再叙述。

数据帧的目的地址、源地址、数据域及帧校验 FCS，其意义与上节以太网的情况类似。

数据帧的第三字节是帧控制字节，其中最主要的是前两位，用来表示帧的类型。01 表示为信息帧，00 表示为控制帧。

数据帧的最后一个字节为帧状态字段，用来表示帧的传输情况。当源站发完数据后，将 A 位和 C 位都置为 0。目的站如果识别了这一帧（即环路中确实存在与目的地址相符的站），则将 A 置 1。如果目的站将此帧复制到了接收缓冲区（即真正收到了），则将 C 置 1。这样，当源站收回自己发出去的数据帧后，只要观察状态字段的 A、C 位，就可以区分出以下几种情况：

- （1）目的站不存在（A=0，C=0）；
- （2）目的站存在，但没有收到此数据（A=1，C=0）；
- （3）目的站存在且收到了该数据（A=1，C=1）。

以上讲述的是单环上数据的传输原理，对于 FDDI 来讲，数据在主环和备用环上分别进行这样的传输。

环路的管理相当复杂，比如第一个令牌如何产生，令牌丢失或出现多个令牌怎么办？依照什么样的规则向站点发送令牌？等等，有兴趣的读者可参阅有关资料。

二、FDDI 的物理连接

FDDI 的物理连接如图 4—19 所示。所有入网站点连接成双闭合环，这两个环，一个叫主环，一个叫备用环。数据在主环和备用环上以相反的方向流动。

入网站点可以分为三类：单加接站 SAS，双加接站 DAS 和集中器。

双加接站和集中器加接在两个环上，所以一台计算机要想作为双加接站入网，其上必须安装两套光收发器，并占用两个输入/输出端口（如图 4—20 所示）。单加接站通过集中器连接到主环上。一个集中器可以连接多个单加接站。单加接站由于只挂接到一个环上，因此只需安装一个光收发器。采用集中器方式，可以保证任何单加接站在掉电或故障时，不会影响 FDDI 的运行。这种特性对于频繁开关电源的 PC 机或类似设备连接到 FDDI 环上时特别有用。

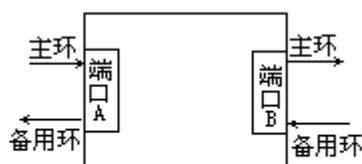


图4-20 DAS输入/输出端口

三、FDDI 的容错特性

FDDI 的双环机制使 FDDI 具有极强的容错特性。当双环中有一个环出现故障，如光纤断裂，可由另一个环的光纤线路处理正常的信息传输。如果双环上的一个站点出现故障或某处电缆断裂，双环将自动闭合成一个单环。图 4—21 (a) 中站 3 出现了故障，环路将在站 2 和站 4 处自动闭合成一个单环，网上信息的传输将不受影响。故障排除后，FDDI 系统又将传输线路恢复为双环状态。图 4—21 (b) 中是站 3 和站 4 之间的线缆出现故障时 FDDI 的处理方式。站 3 和站 4 将分别自动完成闭合，形成单环传输方式。随着 FDDI 环的不断增大，双环同时出现故障的可能性也随之增大。当双环有两处以上的故障时，整个 FDDI 双环将在出现故障的两边同时自动闭合，从而形成互不相通的多个闭合的单环，每个单环间的站点仍能正常进行数据传输。如图 4—21 (c) 所示，环路上出现两处故障（站 2 和站 3 之间以及站 5 和站 6 之间）。FDDI 的差错恢复机制将使环路在站 2 和站 3 及站 5 和站 6 之间自动闭合形成两个单环，其中，站 1、站 2 和站 6 形成一个单环，站 3、站 4 和站 5 之间形成一个单环。不同单环之间的通信受到了阻碍，但同一单环内站点之间的通信仍可进行。

第五节 局域网操作系统 Netware

一、网络操作系统

有了局域网的各种硬件（网卡、连接电缆等），一个局域网就可以连接起来了。但这样的网络还是什么事情也做不成，因为联网的最终目的是共享网络中的各种资源，只是在物理上连接起来的网是达不到这个目的的。就如我们买来一台计算机还必须要安装操作系统（DOS，Windows 等）一样，一个网络要想真正运行起来也离不开网络操作系统。

网络操作系统驻留在服务器（及工作站）并提供完成计算机系统的连接及建立网络操作环境的功能。网络操作系统为网络提供的功能主要包括文件和记录的管理，安全性提供，打印机等外设的共享，进程通信等。网络操作系统在很大程度上决定了网络的性能。

网络操作系统可以分为以下几个要素：

- 服务器操作系统（操作系统内核）；
- 服务器应用程序；
- 工作站连接软件。

这些要素合起来组成局域网的网络操作系统，它们之间的关系如图 4—22 所示。

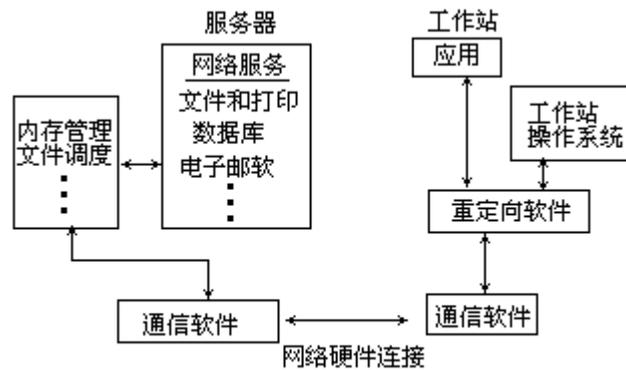


图4-22 网络操作系统体系结构

服务器操作系统（安装在服务器之上，也称为服务器内核）是网络操作系统的核心，它提供了维护最基本的网络操作所需要的核心功能，如文件系统管理、内存管理、进程调度等。

服务器应用程序是服务器为用户共享资源提供的各类服务软件，如文件共享服务、打印机共享服务、数据库服务，等等。各类网络操作系统能够提供的网络服务不尽相同，但发展趋势是所能提供的服务种类越来越多。网络服务种类的多寡是目前衡量一个网络操作系统性能强弱的一个重要因素。

通信软件实现通信协议，主要是实现传输层及会话层协议，在服务器和工作站之间建立起联系，从而使通信双方能够进行数据收发。

工作站的连接软件（网络操作系统的外壳程序）与工作站的单机操作系统（DOS, Windows, UNIX 或 Macintosh, OS/2）一起驻留在用户的工作站里。执行应用程序时，用户发出的每一条命令都发送给重定向软件，该软件的功能是判断每一条命令是网络命令还是单机命令。如果是单机命令（比如 DOS 的 DIR 命令），则将它传递给单机操作系统，在本地执行完命令后，操作结束。如果用户发出的命令是网络命令，重定向程序将它交给通信软件，经由网卡及通信介质传送到服务器；同时，重定向程序还负责对从通信软件接收来的服务器信息进行解释，送交工作站用户。

目前流行的网络操作系统一般都支持多种工作站操作平台（工作站操作系统），特别是我们要给大家介绍的 Netware，在这方面完成得尤为出色。

市面上流行的局域网络操作系统有以下几种：Netware, Windows NT, LAN Manager, Unix 等，其中尤以 Netware 所占市场份额为最大，下面给大家介绍这种网络操作系统。

二、网络操作系统实例 Netware

美国 Novell 公司的局域网操作系统 Netware 是目前国际上应用最广泛的一种局域网操作系统产品。Novell 公司 1981 年提出了文件服务器的概念，1983 年开始推出它的第一个正式局域网操作系统产品 Netware68。目前在局域网上运行 Netware 的版本有多种，但有代表性的是以下几种：AdvancedNetware 286 V2.15、SFT Netware 286 V2.15、Netware 386V3.12 及 Netware 386 V4.1 等。

其中最先进的当属 Netware V4.1，但应用最普遍的还是 Netware V3.12。因此本书中我们将以 Netware V3.12 作为介绍 Netware 的依据。

Netware 的功能与特点主要表现在以下几个方面：

(1) 高性能多任务。Netware 是一个多任务并发操作系统，即支持同时有多个进程在服务器中进行操作。

(2) 网络结构灵活。Netware 支持多种流行的网络接口卡，支持各种拓扑结构。即在 Netware 网络中，多种局域网（传统以太网、快速以太网，令牌环网，FDDI 等）可以并存，组成一个大规模网。

(3) 开放性环境。Netware 支持多种类型的计算机，支持几乎所有流行的用户平台，如 DOS、Unix、Windows、Macintosh、OS/2 等。

(4) 提供完备的系统容错。局域网环境中，服务器处于至关重要的地位，服务器故障将造成全网工作的停顿。一个好的网络操作系统应该能够提供尽量完备的容错措施，在故障发生的情况下仍能维持网络的正常运行。Netware 在这方面一直做得很棒，后面将给大家介绍它的做法。

(5) 完善的安全保密措施。网络环境中数据的安全保密一直是困扰网络专家和广大用户的一个重大问题。一个好的网络操作系统应该提供足够安全的数据保护措施，使用户不用担心自己的数据会被无关人员察看、拷贝甚至修改，同时还应该使合法用户没有不方便之感。Netware 所采取的安全保护措施在网络操作系统中极具代表性，其后也将给大家作一些介绍。

图 4—23 是典型的 Netware 网络连接图，从中可以看出，各类局域网、各类工作站平台在 Netware 的管理下和平相处。

三、Netware 的文件系统结构

Netware 要求一个局域网中至少有文件服务器。文件服务器对网络文件的访问进行集中、高效地管理。各类共享程序（文件）存储在文件服务器的硬盘上，所有用户都可以到服务器硬盘上进行访问。那么，文件在服务器硬盘上是如何组织的呢？本节将要说明这个问题。

我们大家都知道，DOS 的目录结构主要由磁盘驱动器、目录、子目录及文件所构成，如图 4—24 所示。

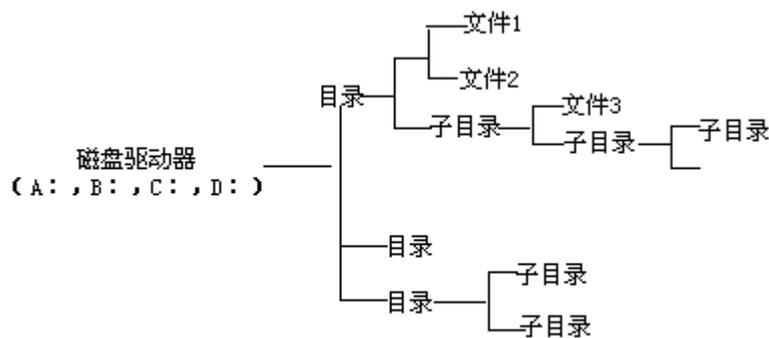


图4-24 DOS的目录结构

例如，一个文件的路径可表示为：

C : \ Moffice \ WORD \ DATA \ TEST . DOC

硬盘 目录 子目录 子目录 文件

与此类似，Netware 的目录结构主要由文件服务器、卷、目录、子目录

及文件所构成，如图 4—25 所示。

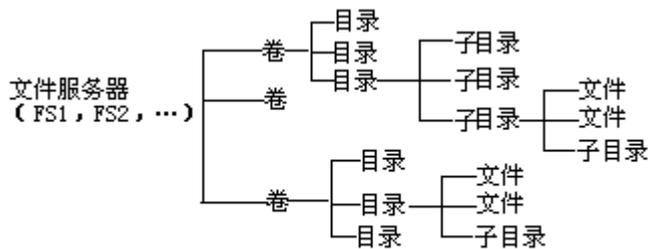
其中，文件服务器指存放共享数据及运行网络操作系统的计算机，通常都配有大容量的硬盘。一个网络至少有一个文件服务器。卷是文件服务器中硬盘空间的基本单位，我们可以将一个硬盘划分成多个卷（一个卷也可以跨两个硬盘而存在），一个文件服务器下最多可以有 64 个卷，但无论如何第一个卷的名称一定是 SYS。

例如，一个网络文件的路径描述为：

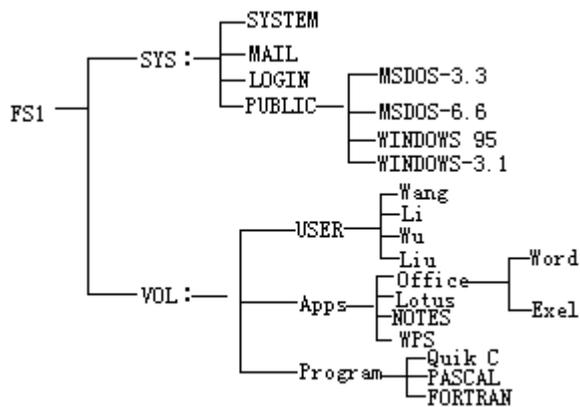


大家可能注意到了，Netware 网络路径名中服务器与卷名称之间用的是正斜杠 ‘ / ’，而卷与目录及目录与子目录之间的分隔符是反斜杠 ‘ \ ’。这在服务器硬盘上是如何组织的呢？本节要说明这个问题。

与我们所熟悉的 DOS、Windows 类似，Netware 也采用目录树结构组织文件。图 4—25 是一个典型的 Netware 文件的目录结构图。



(a) Netware 目录结构



(b) 典型结构

每个文件服务器都必须有一个唯一的名称，在安装 Netware 时由用户指定，本例中的文件服务器名字是 FS1。服务器的硬盘被划分成若干个卷（一个硬盘可以划分成几个卷，一个卷也可以跨越若干个硬盘）。每个文件服务器至少有一个叫做 SYS 的卷，称为系统卷。系统卷是系统建立起来时自动建立的，并在 SYS 卷中自动创建四个目录：

(1) SYSTEM 目录。此目录中包括了 Netware 网络操作系统、驱动程序

与服务器实用程序。这个目录只能由网络管理员使用，其它用户无权过问；

(2) MAIL 目录。MAIL 目录包括为每个用户建立的一个单独的子目录。MAIL 目录中的文件也只能由网络管理员操作；

(3) LOGIN 目录。包括用户在网上注册时所使用的几个基本 Netware 实用程序。

(4) PUBLIL 目录。用户可以把一些公开的程序放至该目录下。

这四个目录除 PUBLIL 目录外，用户不可在其余三个目录下再建立新子目录或增加新的文件。

除了系统自动创建的 SYS 卷和这四个目录外，用户可以根据需要再创建新的卷和新的目录。本例中用户又创建了一个 Vol 卷并在 Vol 卷下创建了若干目录。

四、Netware 的安全保密机制

网络的开放性和保密性是一对矛盾的集合体。一方面网络开放性要求用户能方便地访问共享资源（文件、程序等）。另一方面，有些文件不希望一些用户去访问。比如学生成绩单就不希望学生能够改动，又比如校级决策性文件一般教师和学生就不应看到。也就是说，既要保证文件不被非法用户访问到，又要保证合法用户能够方便地访问到，这就是安全保密机制要解决的问题。

Netware 提供了四级安全保密机制：

- (1) 注册安全性；
- (2) 用户信任者权限；
- (3) 目录权限屏蔽；
- (4) 目录与文件属性。

(一) 注册安全性

一个用户要想入网，首先向网络管理员提出申请，管理员为他分配一个用户网，同时给他分配一个口令，用户才可以使用这个用户名及正确的口令注册入网。不知道正确用户名和口令的非法用户将不得入网。

另外，网络管理员还可以对某个用户设置多种用户帐户限制。Netware 的用户帐户限制主要有以下几种：

(1) 帐户不允许。如果某个用户的帐户被设为不允许，即帐户不允许项设为 Yes，则该用户就不能成为网络的合法用户。

(2) 帐户有无截止日期。一般情况下用户的帐户无截止日期，如果想限定某个用户只能使用到某个日期，那么可以将用户的帐户设为有截止日期，在设定的日期过后，该用户将自动变为无效。

(3) 用户入网时间限制。Netware 还允许管理员为用户设定具体的入网时间，时间单位为半小时，用户只能在设定的时间内入网。

(4) 用户注册工作站限制。一般情况下，Netware 的用户可以在网中的任何一台工作站上用自已的用户名和口令入网。但出于网络管理与安全保密的需要，可以通过工作站限制规定用户只能从哪个工作站上才能入网。

(二) 用户信任者权限

用户信任者权限用来控制用户对目录和文件的访问。对某一目录或文件具有某种访问权限的用户就叫该目录或文件的信任者，相应的所具有的这些

权限就叫信任者权限。简单说来，用户信任者权限指某个用户对某个目录或文件拥有哪些操作权力。

Netware3.12 定义了 8 种权限（见表 4—1）。

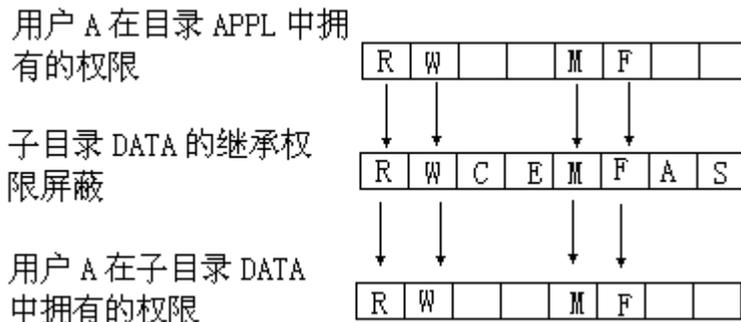
表 4-1 8 种用户权限名及意义

权限	缩写	含义
读 (Read)	R	允许用户打开并读目录中的文件
写 (Write)	W	允许用户打开目录中的文件，并向文件中写数据
建立 (Create)	C	允许用户在该目录中建立子目录或文件，并可对文件进行写操作
删除 (Erase)	E	允许用户删除目录及其下的子目录与文件
修改 (Modify)	M	允许用户修改该目录下的文件，子目录名，以及目录、文件的属性
文件查找 (File Scar)	F	允许用户查看该目录下所有子目录及文件名
访问控制 (Access control)	A	允许用户修改对该目录的信任者权限
管理员 (Supervisor)	S	允许用户对该目录下的子目录和文件拥有一切权限

Netware 规定，如果用户拥有对某一目录的某些权限，则同时对该目录下的子目录也拥有同样的权限。比如用户 A 在 USERS 目录中获得读和写的权限，那么他在 USERS 目录下的 WANG 子目录同样具有读和写的权力。

网络管理员还可以使用继承权限屏蔽的方法限制用户对子目录拥有的权限。继承权限屏蔽的默认状态是全部八个权限，即允许子目录继承父目录的所有权限，也可以通过减少一些权限而使子目录继承不到这些权限。

例如，用户 A 在目录 APPL 中拥有读 (R) 和文件查寻 (F) 及写 (W)，修改 (M) 权限，在目录 APPL 中建一个子目录 DATA，网络管理员通过继承权限屏蔽允许用户 A 在子目录 DATA 中继承所有的权限，那么用户 A 在子目录 DA - TA 中仍将拥有 (R)、(F)、(W) 及 (M) 权限。



如果用户 A 对目录 APPL 拥有读 (R)、写 (W)、修改 (M) 及文件查寻 (F) 权限，APPL 下的子目录 DAAT 的继承权限屏蔽为 R、F 和建立 (C)，则用户 A 对子目录 DATA 只能拥有 (R) 和 (F) 两种权限，即取二者的交集。

（三）目录与文件属性

属性是 Netware 用来保护目录和文件的最后一道防线，用来控制用户最终是否可以删除、修改、共享等操作。

常用的 Netware 目录和文件属性如表 4—2、表 4—3 所示。

属性的保护级别高于信任者权限，如果某个用户拥有对某个目录或文件的写权力，而这个目录或文件的属性为只读，那么用户对这个目录或文件不能执行写操作。

五、Netware 系统容错技术

文件服务器是 Netware 网络中的核心设备，它以集中方式管理网中的共享资源。如果文件服务器发生故障，将会造成网中数据的丢失，甚至造成网络瘫痪。防止网中数据的丢失有两种办法，一是定期对服务器硬盘上的数据进行备份，二是采取积极的防范措施，做到在网络故障的情况下数据仍能保持完整。第二种措施就是我们说的系统容错（System Failure Tolerance, SFT）。Netware 的系统容错技术在当前局域网中非常典型，它包括了三级容错。

（一）Netware 的第一级系统容错

Netware 的第一级容错是针对硬盘表面的，防止硬盘表面的磁粉因长期读写而受损。其措施主要是采用了双重目录和文件分配表，磁盘热修复及写后读验证。

1. 双重目录和文件分配表

磁盘上的目录表和文件分配表上存放着磁盘上所有文件的起始存放位置和文件大小等信息。这两个表的损坏将会造成磁盘上的文件部分甚至全部的存放混乱。为了防止这种情况发生，Netware 在服务器硬盘的不同区域保存着两份同样的目录和文件分配表。一旦一份发生故障，Netware 将自动转向复制表，从复制表中查找有关信息。Netware 的双重目录和文件分配表是系统自动生成的，不需要用户的介入。

2. 热修复和写后读验证

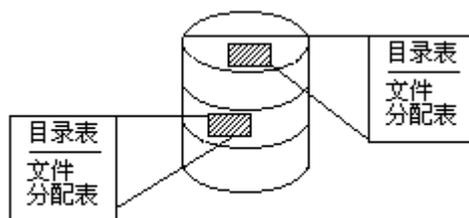


图4-26 Netware 双重目录和文件分配表示意图

硬盘是以“块”为单位进行读写的。随着时间的推移，硬盘表面的磁粉有可能损坏而造成存储数据错误。为了防止这类现象发生，Netware 采用了热修复及写后读验证技术。

Netware 将服务器硬盘的 20% 自动作为坏块修复区（术语称热修复区），用来备用，作为存放硬盘中的坏块信息。Netware 对写入硬盘的数据采取

写后读验证技术，即一个数据写入硬盘后，立即又从硬盘中读到内存，与内存中的原始数据进行比较。如果二者相等，说明硬盘完好，内存中保留的数据可以释放；如果二者不相等，说明存储该数据的硬盘区域有损坏。Netware 自动将有缺陷的硬盘块地址写入修复区中，并启动热修复功能，将保存在内存中的数据写入修复区中，把坏块地址记录下来防止以后再使用。这一过程如图 4—27 所示。热修复及写后读验证过程是 Netware 系统自动进行的，不需用户的介入。

（二）Netware 的第二级容错

Netware 的第二级系统容错是针对硬盘或硬盘通道故障而设计的，包括磁盘镜像与磁盘双工。

1. 磁盘镜像

磁盘镜像是在文件服务器的硬盘通道上挂接两个硬盘，一个叫原盘，一个叫镜像盘。Netware 自动将原盘上的所有数据（卷、目录、文件）复制到镜像盘上。当文件服务器写原盘时，同时也向镜像盘写。这两个盘上的数据就像一个实体和它在镜子里的像一样分毫不差，因此称为磁盘镜像。如果原盘发生故障，文件服务器能从镜像盘上得到相同的数据。文件服务器对两个硬盘均进行一级容错（双重表、写后读验证、热修复）。磁盘镜像的结构如图 4—28 所示。

2. 磁盘双工

磁盘镜像只能解决因盘体故障而造成的数据丢失，但如果硬盘通道出了故障，因为镜像盘是连接在同一个通道上的，磁盘镜像将无能为力。硬盘双工可以解决这样的问题，硬盘是将两个硬盘子系统互为镜像。硬盘子系统包括硬盘控制器、控制器电源、主机与硬盘的连接电缆以及盘体。硬盘双工在一个硬盘子系统出现故障时，服务器还能使用另一个硬盘上的数据。磁盘双工的结构如图 4—29 所示。

（三）Netware 的第三级系统容错

Netware 的第三级系统容错是在提供一、二级容错的基础上，提供文件服务器镜像功能。

文件服务器镜像如图 4—30 所示。主服务器与从服务器是配置完全相同的两台计算机。每台服务器除了按常规加插网卡外，还需插入一块 Norell 镜像服务器接口 NMSL（Novell Mirror Server Link）卡，然后用光缆将两块 NMSL 卡连接起来。

主服务器是当前正在为工作站提供网络服务的服务器，是工作站看到的文件服务器。Netware 自动将主服务器的内

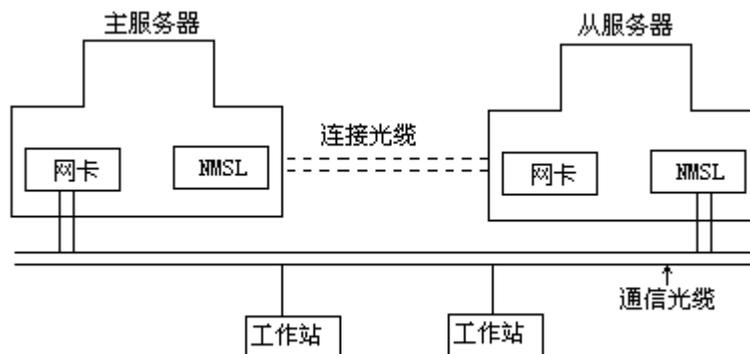


图4-30 服务器镜像

存和硬盘中的数据复制到从服务器。当主服务器发生故障时，从服务器成为网中的主服务器，使网络不受影响地正常工作。当故障排除后，两台服务器重新同步。

我们可以看出，Netware 的容错能力是依靠增加硬件而实现的（实际上这也是容错技术通常采用的作法，当然也有通过增加软件代价而实现的）。这三级系统容错技术，一级比一级容错能力强，同时也一级比一级的花费高。具体实现时，也不是容错能力越高这个网络性能就越好，而是要根据具体的应用及经济条件决定。一般的办公自动化应用采用一级容错就足够了，一些对可靠性要求比较高的应用，比如电子货币交换可能需要二级容错，只有极少数对可靠性要求极高的场合才会用到三级容错技术。

第五章 计算机通过广域网通信

上一章介绍了计算机如何通过局域网进行通信。一般用户的计算机只要购买一块网卡，有某一种连接电缆，再加上一些附加小部件（端接器、收发器等）就可以互连成局域网了。最后从某个经销商那里购买一套网络操作系统，那么这些连网的计算机就可以互通有无了。通过局域网进行通信，实现起来比较简单，也不需太大的投资。但局域网的连网范围受到其自身的制约，超过几十千米的用户要想进行通信，局域网是无能为力的。

远程计算机之间的通信只有依靠广域网才能实现。广域网由于覆盖范围极大，因而决定了它要采用比局域网复杂得多的实现技术。广域网的技术复杂性和昂贵的设备决定了广域网只能以公用网的形态出现（当然也有某个行业建立起来的专用网，但对绝大多数的普通用户来讲，专用网显得过于遥远，面对的总是公共网）。所谓公用网，一般指由国家邮电部门或其它专门的通信公司建立的通信网，任何人都可以使用，但在使用之前必须向该公共通信网的管理者进行申请，并向网络的管理者交纳费用。从我国的情况看，目前提供计算机通信服务的公用网有两类：电话网和公共数据网，均由邮电部拥有并管理。

第一节 计算机通过电话网通信

一、公用电话网简介

电话，对于现代社会的人来讲，变得就像若干年前的纸和笔一样必不可少，而且随处可见。除了极其偏僻的山村之外，没有使用过电话的人可以说是微乎其微。对于一个国家来讲，公用电话系统是一个现代化国家基础设施的重要部分。电话系统起初是为传送话音而设计的，而现在，它除了继续为传输声音而提供信道外，也为计算机之间的通信提供大量的服务。

1876年，当贝尔生产了第一部实用电话时，许多人认为世界上再没有比它更新奇的了。从那以后，国家有了电信局，电话以人们想象不出的发展速度渗透到了世界的每个角落。

目前全世界的电话机数目早已经超过了7亿多部。这样多的电话是如何有条不紊地进行通信的呢？唯一可行的办法就是进行分级管理。以我国的公

用电话网为例。我国的电话网络分为 5 级，上面 4 级是长途电话网络。最低一级是市话电话网。（如图 5—1 所示）4 级长途中心从上到下分别是：

- （1）一级中心，又称为大区中心或省间中心；
- （2）二级中心，又称为省中心；
- （3）三级中心，又称为地区中心或县级中心；
- （4）四级中心，又称为县中心。

每一个上级中心都按辐射状与若干个下级交换中心连成星型网。在四级中心以下则是市话交换局，直接与其管辖范

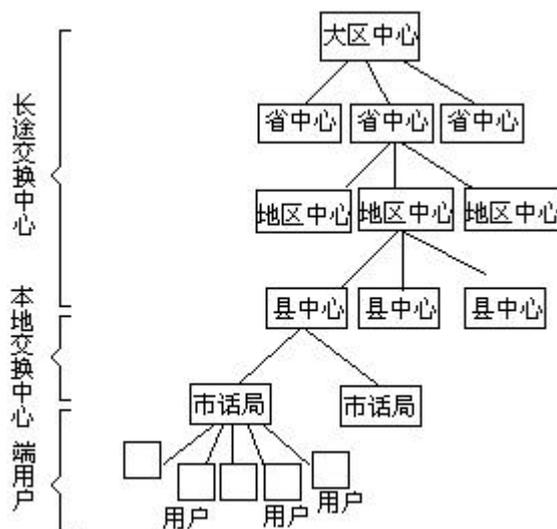


图5-1 电话网络示意图

围内的电话用户相连。因此，属于同一个市话局内的两个电话通信，只需要通过本市话局的转接。但在复杂情况下，两个电话用户之间可能要经过多个不同级别的交换局的多次转接。如果你要进行通话的电话与你自己的电话不在一个局里。而在同一个城市，比如你的电话是 62211295，属于 62 局，被叫电话号码是 64221233，属于 64 局，但这两个电话都在北京。则通信过程是：你的呼叫先发到 62 局，62 局的交换机检查被叫号码，发现被叫号码不在本局内，但也不是长途，就把你的呼叫连接到 42 局上，42 局的交换机再将这一呼叫连

接到你所呼叫的电话线上，这样 62211295 的用户通过 62 局、42 局，就与 64221233 的电户建立起连接，随后就可以通话了。其建立通路过程如图 5—2（a）所示。这种呼叫称为本地交换互叫。如果主叫电话和被叫电话属于同一个交换局，其呼叫建立过程要简单一些。如图 5—2（b）所示，这种呼叫称为本地呼叫。长途呼叫相对复杂些。通常长途呼叫先从本地交换局连接到一个专门的叫作长途电话点的交换局上。长途电话点再连到长途电话网上，依据拨叫号码的具体情况，经过若干级长途交换局，最终进入拨叫号码所在的市局进入被叫电话。比如，如果在北京的 62211295 用户想拨打上海的 23561256 用户。用呼拨号码（021）23561256，呼叫到达本地交换局后，得知是一个长途呼叫，本地局就将这一呼叫发送到长途电信局的交换机，长途中心交换机根据区号，发送到上海的长途电话点的交换机上，再到达被叫号码的本地局，最终到达被叫用户，如图 5—3 所示。如果国际长途或者是农村之间的呼叫则更复杂一些。

市话局内的通信线路叫用户线，用户线采用最廉价的双绞线，其上直接传输话音信号。用户线采用二线制，即发送信号和接收信号在同一对线上进行传输。用户线的通信距离约为 1~10km，在电话机较稠密的城市，用户到市话局的距离比较短；而在电话机分布较稀疏的农村，用户到市话局的距离可能更长一些。

长途干线最初采用铜线，同样传输模拟信号。随着电话的日益普及以及长途通信量特别是国际长途通信量的不断增加，传输模拟信号的铜缆长途干线就远远不够了。目前长途干线正逐步更新为传输数字信号的信号系统，干线传输介质也逐步由光缆、微波所替代。目前我国长途线路的数字化比例已达到 90%，今后的长途线路将全部采用数字传输。

由于大量的用户线在相当一段时间内还将保持为现在使用的模拟传输方式，因此在今后很长时间内，电话系统将是一个模、数混合传输系统，如图 5—4 所示。

模拟话音利用数字话路进行传输都是采用我们在第二章提过的脉码调制 PCM 体制。PCM 最初就是为了解决电话局之间中继线的不够用，而使一条数字线路可以传输多路电话。

根据 PCM 体制，一个话路的模拟信号（频率为 300~3400Hz）经模数变换后，变成每秒 8000 个脉冲信号，每个脉冲信号用 8 位二进制表示，这样一路话音的数字信号传输速率为 $(8 \times 8000) = 64\text{kbps}$ 。

为了有效地利用传输线路，总是将许多个话路的 PCM 信号用复用的方法送往线路上传输。由于历史的原因，PCM 有两个互不兼容的国际标准，即北美的 T1（24 路 PCM 复用）和欧洲的 E1（30 路 PCM 复用）。我国采用的是 E1 标准。T1 的速率是 1.54Mbps，E1 的速率是 2.048Mbps，不论是 T1 还是 E1 的数据率都要比若干个话路（T1 是 24 路，E1 是 32 路）的数据率总和高一些，因为复用后还需要增加一些控制位。T1 和 E1 称为一次群。

当需要用到更高的传输速率时，可以采用对一次群（E1 或 T1）复用的方法。例如，4 个一次群可以构成一个二次群。当然，一个二次群的速率比 4 个一次群的数据率的总和要多一些，因为复用后还需要一些控制位。表 5—1 给出北美和欧洲目前已在使用的高次群的话路数和数据传输率。

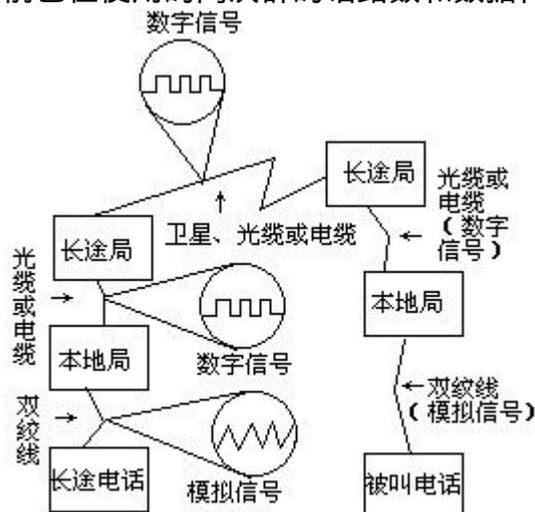


图5-4 典型电话线路

表5—1 数字传输系统的高次群话路数

系统类型		一次群	二次群	三次群	四次群
欧洲标准	符号	E1	E2	E3	E4
	话路数	30	120	480	1920
	数据率 (Mbps)	2.048	8.448	33.368	139.264
北美标准	符号	T1	T2	T3	T4
	话路数	24	96	672	4032
	数据率 (Mbps)	1.541	6.312	43.736	273.176

二、计算机通过电话网进行通信

上面我们提到了，虽然电话网干线的绝大部分是数字信道，但面向广大用户的用户线在今后很长一段时间内仍将采用模拟信道。要想利用遍布全世界的电话线传输计算机数据（数字信号），首先碰到的问题是如何解决数字信号的模拟化。完成数字信号模拟化的设备称为调制解调器（Modem）。图5—5是典型的利用公用电话网传输计算机数据的数据通路。

正如在图中所看到的那样，计算机数据通过 Modem 变换成模拟信号；模拟信号通过用户电话线路传到本地交换局。本地交换局将收到的音频模拟信号利用 PCM 机制变换成数字信号，同时通过长途交换机送到目的机器所在的本地交换局。对方的本地交换机再将这些信号经过数/模转换变换成音频信号并送到应答 Modem。应答 Modem 把音频信号通过解调技术再变换成数字数据，然后送到主机系统。因此，计算

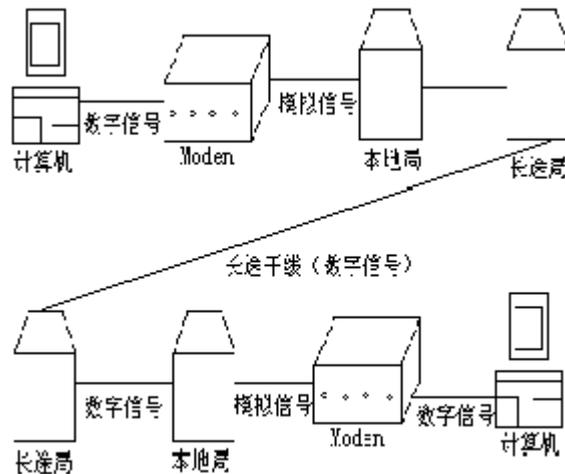


图5-5 计算机通过电话网通信

机数据通过公用电话网的传送要经过数字（调制）→模拟（模/数转换）→数字（数/模转换）→模拟（解调）→数字若干次转换。所以必须这样是因为用户电话线不能传送数字信号。

第二节 调制解调器

通过前面的介绍我们可以得知，对于一般用户来讲，要想利用电话网进行计算机通信，只要将计算机通过调制解调器接入电话系统就可以了。调制解调器在通过电话网的通信中不可缺少，因此有必要对调制解调器作更进一步的介绍。

一、调制解调器的构成

调制解调器的构成框图如图 5—6 所示。调制解调器主要由 基带处理，调制解调，信道形成三部分组成。下面简单加以说明。



图5-6 Modem构成框图

(1) 基带处理是在调制之前对数字信号进行一些处理，以适应不同调制方式对数据编码的不同要求。基带处理实际上是一种码型交换。

(2) 调制解调是 Modem 的核心。调制完成数据信号与载波的叠加，解调从收到的信号中还原出数字信号。

(3) 信道形成主要由收发滤波器完成。其中，发送滤波器取出适合信道传输的调制频谱，接收滤波器从收到信号中取出有用频谱并滤除噪音信号。

(4) 均衡设备用于消除因为信道不理想而造成的失真，取样判决器用于正确恢复出原来的数据信号。

二、调制解调器的分类

调制解调器根据应用场合、使用方式、性能指标等可以分成许多类型，主要有以下几种分类法。

1. 按传输速率分

按传输速率可以分为低速、中速和高速。

(1) 低速：9600bps 以下

(2) 中速：9600bps ~ 14.4kbps

(3) 高速：14.4kbPS 以上。

2. 按调制方式分类

分为调频、调相及混合调制

3. 按使用电路分类

(1) 普通交换电路（拨号线路）用 Modem

(2) 租用专线话路的 Modem

4. 按外型分类

按外型分类可分为独立式和内插式。内插式 Modem 直接装在计算机内部，外插式则需要用户用专门的电缆将之与计算机的串行口相连。

5. 按集成化程度分

分为智能化 Modem 和非智能化 Modem。

智能化 Modem 是内部装有微处理器的 Modem，智能化 Modem 通过微处理器可以对通信过程编程，具有自动检错、纠错功能，并具有缓冲器及数据压缩等功能。智能化程度越高，用户所作的操作越少，使用起来越方便、越灵活。随着智能化 Modem 价格的不断降低，Modem 终将全部智能化。

三、调制解调器与计算机的连接

调制解调器与计算机的连接一般是通过把 Modem 与计算机的串行口连接起来。这看起来非常简单，但实际上，由于计算机和调制解调器的种类繁多，不可能是同一厂家所生产，如果没有统一的规定，互联将是非常困难的。可以庆幸的是，通信界人士从一开始就意识到了这个问题，为计算机与调制解调器的连接制定出若干标准。其中使用最广泛的莫过手 RS—232—C 接口标准。

（一）RS—232—C 简介

在数据通信中，计算机或终端设备称为数据终端设备（DTE），调制解调器称为数据线路设备（DCE）。所以，计算机与调制解调器的接口即为 DTE 和 DCE 的接口，其接线关系如图 5—7 所示。

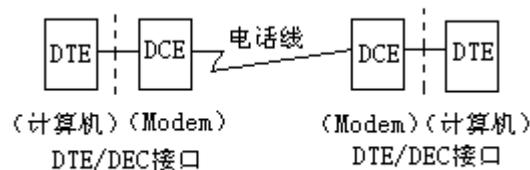


图5-7 DTE与DCE之间的连接

DTE/DCE 接口标准实际上就是开放系统互连参考模型（OSI/RM）中的物理层协议，国际标准组织从四个方面对 DTE 和 DCE 之间的接口作了详尽的规定。

1. 机械特性

机械特性规定了 DTE 和 DCE 进行连接时所使用的接插件（插头、插空）的形状、尺寸，引脚的数量和排列情况等。

2. 电气特性

电气特性规定 DTE 和 DCE 的连接线路上二进制信号的电平高低、阻抗大小，传输速率及距离限制等。

3. 功能特性

功能特性规定了 DTE 和 DCE 连接线上各条信号线的名称和功能。信号线一般分为数据线、控制线、地线等几类。

4. 规程特性

规程特性定义了利用 DTE/DCE 连接线在 DTE 和 DCE 之间进行信号传输时，各信号线的工作规则和时间顺序。

RS—232—C 接口标准是电话网中的 DTE 和 DCE（计算机和 Modem）连接使用最广泛的一种标准，是美国电子工业协会 EIA 在 1969 年制定的。以后曾作过一些修改，其基本内容是：

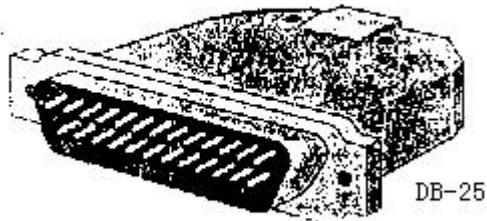


图5-8 25针插头示意图

在机械特性方面，RS—232—C 规定使用一个 25D 根插针的标准连接器(如图 5—8 所示)，并且规定，其阳面(连接器的插孔)与计算机的串行口相连，阴面(连接器的插针)与 Modem 相连。

电气特性方面，规定用+5 ~ +15V 表示‘0’，用-5 ~ -15V 表示 1。

功能特性方面，RS—232—C 对连接器中 25 根连接线的 20 根作了规定，其中最常用的 9 根连接线规定如下：

线编号	功能	数据传输方向
2	发送数据线	计算机 Modem
3	接收数据线	Modem 计算机
4	请求发送线	计算机 Modem
5	清除发送线	Modem 计算机
6	DCE 准备好	Modem 计算机
20	DTE 准备好	计算机 Modem
8	载波检测线	Modem 计算机
22	振铃指示	Modem 计算机
7	信号地	

(二) 计算机与 Modem 的连接

标准的计算机与 Modem 连接方式如图 5—9 所示。

其中，发送数据线(2 号线)和接收数据线(3 号线)用于在计算机和 Modem 之间传送数据，即计算机发往 Modem 的数据经由 2 号线送到 Modem，而通过 Modem 从电话线上

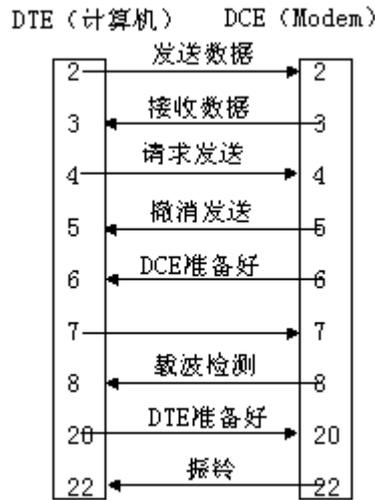


图5-9 RS-232-C标准连接方式

收到对方的数据由3号线送回计算机。Modem的工作是将本地计算机的数据发往远地Modem，或接收从远地Modem发送来的数据。因此在开始工作之前，首先要检测连接双方Modem的电话线连接是否正常，Modem之间通过传送用于线路质量检测的载波信号，当Modem检测到对方发送的载波信号时，将检测结果通过载波检测信号线传送给计算机，报告物理线路连接正常。

通过Modem及电话线相连的两台计算机按以下顺序进行工作（以图5—10为例）。

如果计算机A希望向B计算机发送数据，则它通过20号线向ModemA发DTE准备好信号，如果ModemA准备好（电源已接好），ModemA进行拨号。

ModemB检测到线路上的载波后，向计算机B发出振铃指示，及DCE准备好信号，计算机B准备好后向ModemB发

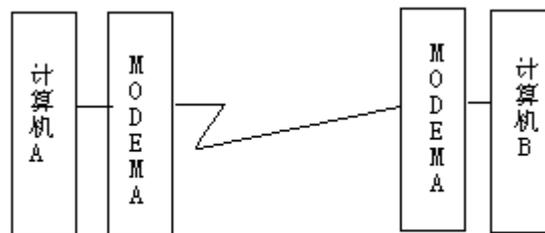


图5-10 通信过程

出DTE准备好信号，ModemB与计算机B之间建立起连接。

随后，ModemB向ModemA发出载波信号，报告线路一切正常，ModemA检测到载波信号后，向计算机A发出DCE准备好信号。至此，从计算机A—ModemA—线路—ModemB—计算机B之间的通路就建立起来了。

整个通路的建立过程由运行在计算机中的通信软件控制完成，不需要人工干预。现在的Modem面板上都有若干指示灯，用户可以从其中看出这一过程。

通路建立起来后，计算机A通过发送数据线将数据发送给ModemA，ModemA将数字信号变成模拟信号，经通信线路传送给ModemB，ModemB对信号解调后，通过接收数据线将数据送往计算机B。

数据发送完毕，计算机A将“DTE准备好”信号变为无效，以此通知ModemA

本次通信结束，ModemA 和 ModemB 通过 Modem 内部协议，结束这一次物理连接。

目前市面上的计算机都提供 RS—232—C 插孔，以微机为例，COM1 口和 COM2 口就是标准的 RS—232—C 接口。这样，微机与 Modem 的连接就变得极为简单，将买来的 RS—232 连接电缆，插孔的一头插入 COM 口，插针的一头插入 Modem 背面板上就可以了。有一点应该注意的是，许多微机的 COM 口不是 25 针插针而是 9 针插针，这是因为实践证明，绝大部分情况下，只要具备上面列出的 9 根连线，计算机与 Modem 之间的信号交换就可以正确进行，因此许多机器只提供 9 针的插头。连接这样的微机时，只要购买 9 针插头就可以了。市面上既提供 9 针插头，也提供 25 针插头。但连接 Modem 一端的插孔则只有 25 针一种。

连接电缆将计算机与 Modem 连接起来之后，安装在计算机中的通信软件首先要做的一件事是为这个串行口分配一个口地址及一个中断号。一般情况下，Intel 80X86 系列机的 COM1 口的口地址为 3F8，中断号(INT)为 4，COM2 口的口地址为 2F8，中断号为 3。

四、Modem 与电话线的连接

Modem 与电话线的连接很简单，购买 Modem 时，随机就会附有一个标准的电话插头，就如我们在家用电话机上所看到的那样，将这个插头插入电话机的插孔就可以了，另一头当然是插入 Modem 背后的插孔中。

第三节 计算机通过公共数据网通信

计算机通过电话网进行通信是一种投资少、见效快的计算机通信方式，但电话网通信有两个缺点：

第一，电话网的传输速率较低；

第二，计算机数据为通过电话网需要经过若干次模/数，数/模转换，造成的误差比较大。

因此，电话网通信比较适合传输速率不太高、误码率要求不太低的应用场合。对于那些传输要求比较高的应用，如银行转帐系统、飞机订票系统等，应该考虑利用提供数字化信道的公共数据网。

公共数据网是在一国范围或国际间提供公用数字化信息服务的数据通信网，主要用于计算机数据的传输与处理。

一、公共数据网的构成

如图 5—11 所示，公共数据网依然表示为两级子网结构。

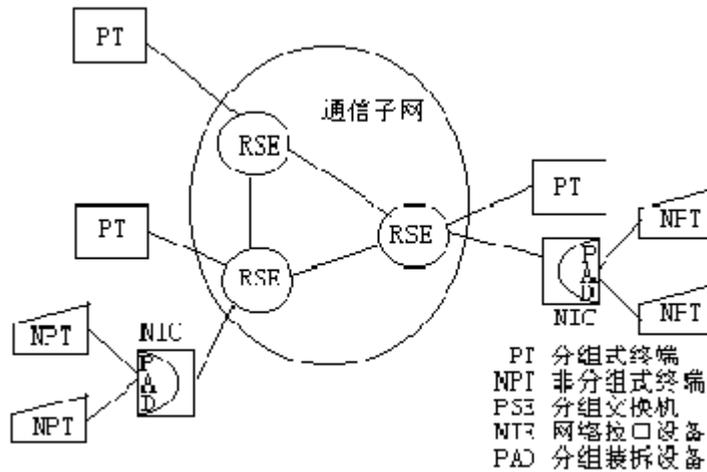


图5-11 公共数据网的构成

公共数据网的设备主要分为三类：用户终端设备、网络接口设备和节点交换设备。其中，互连成网的节点交换设备（或称通信处理机）组成通信子网，以分组交换方式完成全网数据的转接。用户终端设备直接面向用户，是用户子网的主要部分。网络接口设备则为终端设备顺利接入分组交换子网提供转换。

（一）用户终端设备

用户拥有的数据终端设备（入网设备）可能是多种多样的，但大致可以分为两类：分组式终端和非分组式终端。

所谓分组式终端，是指用户的入网机器具有足够的智能（一般是可编程的），能将用户发出的报文装配成通信子网要求的分组，并可以将从通信子网收到的分组重新装配成完整的报文。此外，它还能够与通信子网交换必要的控制信息以建立/拆除一次呼叫。简单的说，分组式终端一般指具有独立处理功能的各类计算机，可以直接和节点交换机进行通信。

所谓非分组式终端，指那些不具备足够智能的设备，比如电传打字机等。这类终端自身不具备可编程能力，因而也就没有装拆分组的能力及实现通信协议的能力。这些非智能终端要想入网，必须通过一种称为 PAD（分组装拆设备）的特殊设备。

（二）网络接口设备 NIE

网络接口设备包括：集中器、多路复用器、分组装拆设备（PAD）等等。这些设备所具有的功能有多有少，在不同的网络中其叫法也不尽相同，但无非完成四大功能：数据集中；多路复用；分组装拆；实现接入网络的协议。最终的作用是要使一个终端设备能够进入通信子网。

（三）节点交换机 PSE

节点交换机是分组交换通信子网的核心设备，用于对进网的分组进行传输控制，决定它们的传输路径，并提供差错控制，流量控制等。节点交换机又弥通信处理机，一般由一台专用计算机担任。

二、公共数据网的工作原理

在第二章我们提到过，数据在通信子网中的转发方式分为两类：线路交换和存储/转发交换。目前世界上已有的绝大部分数据网都采用存储/转发分

组交换方式，公共数据网也不例外。

所谓分组交换技术，是指进网传送的报文被分割成一定长度的数据块，然后附加上目的地址、分组编号、呼叫控制以及差错控制等控制信息被打成一个数据包 (Packet)，数据包在通信子网内沿着一条逻辑通路传送到目的地，然后“剥掉”附加的控制信息，卸出分组数据重新组装成报文，递交给目的用户。

一个分组好像是一封书信，它之所以能够“翻山越岭”、“历尽周折”最终到达遥远的目的地，是因为这些书信按照约定的规则进行了封装并附上了为传送、投递所必需的一切指示（就像我们的信封上按照格式要写好收信人地址、姓名、邮政编码及发信人地址、邮政编码一样）。我们寄信，信件寄往哪个国家，信封的书写格式就要严格按照那个国家的标准，否则信件将会下落不明。因为不同的国家有不同的书写格式。同样的道理，一个分组要想顺利经过网络到达终点，分组的格式必须严格遵守这种网络的规定，不同的网络有不同的分组格式。这里给大家介绍两种最常见的分组格式。

(一) X.25 网分组格式

X.25 是欧洲大多数国家的公共数据网遵循的网络标准，我国的公共数据网 CH2NAPAC 也是 X.25 网。

X.25 网的分组可以分成好几种，这里给出的是用来传送用户数据的分组格式。



P (S) 发送分组号

P (R) 待接收分组号



(二) 因特网 (Internet) 的分组格式

分组交换通信子网有两种传递分组的方式：数据报方式；虚电路方式。

(三) 数据报方式的分组交换

我们根据图 5—12 所示的网络来解释数据报方式的分组交换工作原理。

图中虚线框内属通信子网，子网有 6 个节点，分别标为 1, 2, 3, 4, 5, 6。每个节点都连接有若干用户设备（计算

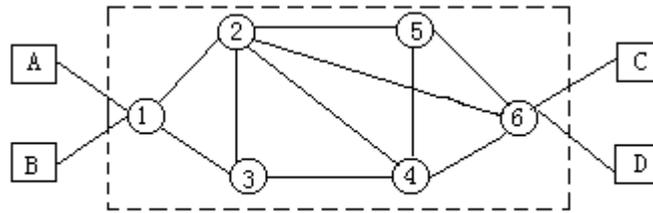


图5-12 分组交换网络示意图

机或终端)。现在假定用户 A 要和用户 C 进行通信，交换报文 M，那么对于通信子网的这些转接节点来讲，节点 1 是源节点，节点 6 是目的节点，其余节点是中转节点。为了分组传输，报文 M 进网后，源节点 1 要对它进行如下处理：

(1) 将报文按规定的长度划分成一个分组数据块，并给予编号。这里我们假定报文 M 划成 5 个数据块。

(2) 根据 M 的头部信息（目的地址、源地址、传输控制等）形成分组的控制信息并与分组数据一起计算出用于差错控制校验码，加到分组的尾部。这样就将各个分组数据分别装配成分组 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 和 P_5 ，等待发送。

一般情况下，通信子网中的任何一个节点都有若干条线路与相邻节点相连。这意味着一个节点中的分组可以发往多个节点。假定任一时刻，每条线路上只能传送一个分组。本例中各个分组在子网内的传输可以结合表 5—2 和表 5—3 加以说明。

各分组经过的路径分别如下：

P_1 ：(1—2, 2—4, 4—6)

P_2 ：(1—3, 3—4, 4—5, 5—6)

P_3 ：(1—6)

表 5-2 各分组在各线路段上的时刻

线路段	t_0-t_1	t_1-t_2	t_2-t_3	t_3-t_4	t_4-t_5	t_5-t_6
1-2	P_1	P_4				
1-3	P_2	P_5				
1-6	P_3		P_1			
2-3		P_1				
2-5						
2-6						
3-5						
3-4		P_2	P_5	P_4		
4-5			P_2			
4-6			P_1	P_5	P_4	
5-6						

表 5-3 各分组到各节点的时刻

时刻 节点	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	
2	P_1	P_4				
3	P_1	P_4				
4		P_1	P_5	P_4		
5						
6	P_3		P_1	P_5 P_2	P_4	

P_5 : (1—3, 3—4, 4—6)

各个节点可以根据自身的转发业务量和线路段的负荷决定所经过分组的发送时间和输出线路。这样，由于各个分组经历不同的传输路径，各分组到达目的节点 6 的顺序为 P_3, P_1, P_5, P_2, P_4 。

目的节点 6 每收到一个分组，立即对分组的头部信息作分析。如果确认本节点是该分组的目的节点，则对分组作以下处理：

- (1) 去掉分组的头部和尾部控制信息，获得数据块，并将它存入存储器；
- (2) 根据分组编号检查构成一个报文的所有分组是否都已到齐；
- (3) 如果构成一个报文的分组已经全部存储到了存储器（分组全部到达），立即将它们重新合成一个报文。否则等待其余分组的到达；
- (4) 所有分组合成一个报文后，一方面通知用户 C 准备接收报文，另一方面向源节点 1 发回一个确认信息，表示整个报文已经正确收到。

如果目的节点在指定的时间内没有正确收到一个报文的全部分组，就向源节点发送一个否认信息，要求源节点重新发送该报文的全部分组。

(四) 虚电路方式的分组交换

第二章我们介绍数据交换方式时提到过，所谓虚电路交换指通信双方一次通信所要转送的报文，它的所有分组都按照编号顺序从源节点沿着同一条路径到达目的节点，就好像收发双方占用这一条通路一样。但它又与线路交换方式有本质上的区别。线路交换在通信期间，通信双方自始至终地占用这一条通路上的所有线路段。但虚电路交换采用的仍然是存储转发的分组交换，所以只是继续占用该通路上的线路段，一个时间段内只占用其中的一个线路段，通路上其余的线路段仍然可以被其他用户占用。因此这条通路只是一条逻辑上存在的通路，是一条“虚”通路。

我们用图 5—13 说明虚电路交换的工作过程。假设用户 A 要与用户 C 交换数据。那么通信子网节点 1 就是源节点，节点 6 就是目的节点。首先，用户 A 先从节点 1 处取得一个逻辑信道号 CH_1 ，然后发出建立通信线路的呼叫分组。

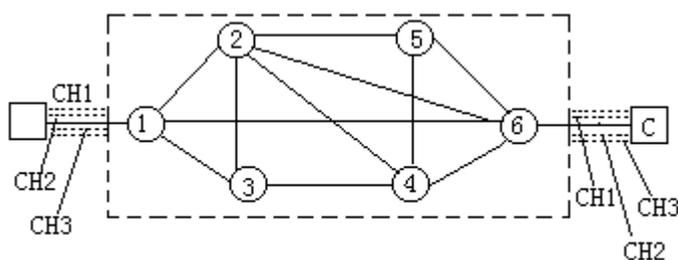


图5-13 虚电路分组交换过程

呼叫分组中给出发起通信的计算机（主呼站）和目的计算机（被呼站）的全称网络地址以及主呼逻辑信道号 CH_1 。为了提供虚电路服务，分组交换网的每个节点中都有一个虚电路转换表，记录虚电路与进入/输出线之间的对应关系。各节点上的转换表是在存储/转发呼叫分组时，依据路径选择算法，边选择路径边动态建立的。呼叫分组到达节点 6 后，它也会取得一个逻辑信道号（比如 CH_3 ），从而在 CH_1 和 CH_3 之间通过各中转节点的转换表建立起一条传输通路，亦即虚电路。

虚电路建立起来之后。通信双方只要使用较短的逻辑信道号而不再使用网络地址就可在通信双方之间进行分组传输。此后双方要传送的所有分组都沿着这条通路按照存储/转发方式在 A 与 C 之间传送。

（五）虚电路与数据报的组合应用

虚电路与数据报方式各有其优缺点。数据报方式适合传输短报文（比如只包含一个分组的报文），而虚电路方式适用于通信时间比较长的应用，特别是大批量数据传送。数据报方式由于各个分组的传送是独立进行的，到达终点的分组顺序有可能被打乱，个别分组还可能丢失，因此数据报方式的可靠性比虚电路方式要差。

刚才我们所说的是分组在通信子网内的两种传输情况。实际上，用户节点与通信子网的接口上，同样既可以采用虚电路方式，也可以采用数据报方式。而且在接口处所采用的方式可以与子网内的传输方式不同。

仍以图 5—12 为例，如果在用户计算机与通信子网的接口上采用虚电路方式入网，用户 A 通过虚呼叫与被呼用户 C 建立起一条虚电路，并且按序将分组 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 和 P_5 发送到节点 1，即用户 A 的分组按序进入通信子网。随后通信子网如何对这五个分组进行传输，完全取决于通信子网的传输策

略，既可按数据报方式发送到节点 6，也可以通过虚电路到达目的节点。目的节点负责将收到的分组组合成报文递交给用户 C。这样的通信子网称为提供可靠服务的网络。

如果用户计算机 A 与通信子网的接口采用数据报方式，则用户 A 的分组 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 和 P_5 每一个作为一个单独的处理对象入网，进入通信网的顺序都有可能被打乱。这种情况下各分组在子网内也按数据报方式进行传输，最终到达目的节点 6。节点 6 每收到一个分组就转交给用户 C，由用户负责将各个分组组合成报文。这种传输方式通信子网只负责尽力向前传送分组，不进行流量控制、差错检验等工作，也不负责将分组合成报文，这样的通信子网称为提供不可靠服务的网。

总结起来，网内和网外的传输方式可以有以下三种实用的组合。

(1) 网外虚电路，网内虚电路：用户之间通过呼叫请求建立起一条穿越网络的专用逻辑通路，双方所有的分组都沿着同一条通路传输。

(2) 网外虚电路，网内数据报：进网的所有分组各自独立地选取传输路径，但网络要负责将分组装配成报文递交给目的用户。这样就要求网内的目的节点拥有足够多的缓冲区，以便能够存储足够多的分组，然后完成排序重新装配成报文。

(3) 网外数据报，网内数据报：从用户到网络内部，对每个分组都作独立的处理。这种方式要求目的主机完成报文的重新装配。

提供 (1) 或者 (2) 传输方式的网被称为提供可靠服务的网，提供 (3) 传输方式的网被称为提供不可靠服务的网。在目前实用的公共交换数据网中，这三种方式都有应用。其中遵循 X.25 协议的网提供第一种方式的服务，遵循 TCP/IP 协议的网提供第三种方式的服务。

第四节 中国公用数据网——CHINAPAC

中国的公用数据网发展虽然较晚，但起步比较高，因而发展比较快。我国的第一个公用数据网是邮电部于 1993 年开通的 CHINAPAC。CHINAPAC 是一个 X.25 网，也就是它完全遵循 X.25 标准，向用户提供可靠的虚电路服务。

1993 年 9 月开通的中国公用分组交换网 CHINAPAC 由全国 31 个省会交换中心（通信控制器）和各省市内所交换中心所组成。其中一级交换中心设在北京、沈阳、上海、南京、广州、西安和成都，这八个交换中心采用全国网状结构进行连接，其它各节点之间采用不完全网状结构。目前 CHINA - PAC 已经覆盖了 600 多个城市，传输速率为 256kbps 和 2Mbps，并与多个国家和地区的几十个分组交换网进行了互连。

一、CHINAPAC 的特点

(1) 传输质量高。由于 CHINAPAC 是一个提供可靠服务的网，网内具有差错控制机制，使整个网络的误码率达到 10^{-10} 以下。

(2) 可靠性强。当网内某一节点或某一条传输线路发生故障时，由于节点之间的连接是网状连接，因此数据分组能自动避开故障点，选择别的路径传送。

(3) 不同种类的终端可以进行通信。由于 CHINAPAC 是一个分组交换网，每个节点对分组进行存储转发处理，因此通信两端的终端可以工作于不同的

通信速率，不同的控制规程。

(4) 可以进行多路通信。CHINAPAC 对传送的信号采用“时分复用”，一条物理线路上利用复用的方法可以同时传输多路数据信号。

二、CHINAPAC 提供的业务

(一) 基本业务

(1) 交换型虚电路。用户每次通信时通过呼叫与对方建立通路。

(2) 永久型虚电路。CHINAPAC 为申请永久型虚电路的用户分配固定的虚通道，用户不需通过呼叫就可直接传输数据。

(二) 可选业务

可选业务的种类很多，如闭合用户群、虚拟专用网、快速呼叫、反向计费。用户可以根据实际情况向邮电部门申请某几种可选业务。

(三) 增值业务

增值业务主要有以下三种：

(1) 电子信箱。用户可以申请一个电子信箱，每个信箱实际上是一定数量的存储空间，由 CHINAPAC 的管理机构为申请者进行分配。用户可以利用电子信箱与交换网中的别的用户进行信息交换。用户可以在任何时间、任何地点打开自己的信箱，迅速方便地处理信息，收发信件等。别的用户也可以随时向信箱中投放信息。电子信箱具有极强的安全保密措施。

(2) 电子数据交换(EDI)。EDI 是将贸易、运输、保险、海关等行业信息，通过电子信箱系统实现各有关部门间的数据交换，是一种利用计算机网络按国际通用惯例进行商务处理的新方法。EDI 又称为无纸贸易，因为使用 EDI，取消了传统的纸面贸易，代之以电子资料交换。采用 EDI 技术可以将原料采购与生产制造、订货与库存、市场需求与销售，乃至银行、保险等各个业务环节利用计算机网络有机地联系起来，增强对外贸易的竞争力。

(3) 可视图文。是一种开放式的信息服务系统，为用户提供文字、数字和图形等信息业务。可视图文实际上是一种信息检索系统，包含丰富的工作信息与生活信息。用户可以利用 CHINAPAC 提供的可视图文服务，实现全社会的资源共享。

三、用户进入 CHINAPAC 的方式

用户的计算机可以有以下几种入网方式：

(1) 作为 X.25 网的分组式终端入网。一般大中型机直接与通信处理机通过数字化专线直接相连；微型机可以与通信处理机直接相连，也可以作为大中型机构一个终端进入 CHI - NAPAC。

(2) 租用专线入网。

第六章 Internet 介绍

前两章我们分别给大家介绍了广域网和局域网，随着各类网络的不断涌现，如何将它们可靠、安全地集成在一起以及对它们进行有效地管理就成了众人关心的下一个焦点，网络互连技术就是在这样的背景下提出来的。所谓

互连网就是由多个互连着的小网所组成的网络，这些互连着的小网遵循共同的协议标准。图 6—1 给出多个网络互连的示意图。

大家所熟知的 Internet 是世界上规模最大，用户数最多、影响最大的计算机互连网络。到 1996 年底，全世界已有 100 多个国家和地区正式加入 Internet，连接的网络数已达 5 万多个，全世界约有近几千万人通过 Internet 进行信息交换和业务活动，而且这些数字仍在呈直线上升之势。Internet 的足迹已遍及全球，其应用范围已不限于教育和科研部门，而是广泛应用于政府、团体、公司、医疗、旅游等许多领域，正在进入寻常百姓之家。

第一节 Internet 的发展

一、什么是 Internet

什么是 Internet 呢？一般认为，Internet 是指以美国国家科学基金会 (National Science Foundation) 主干网 NSFnet 为

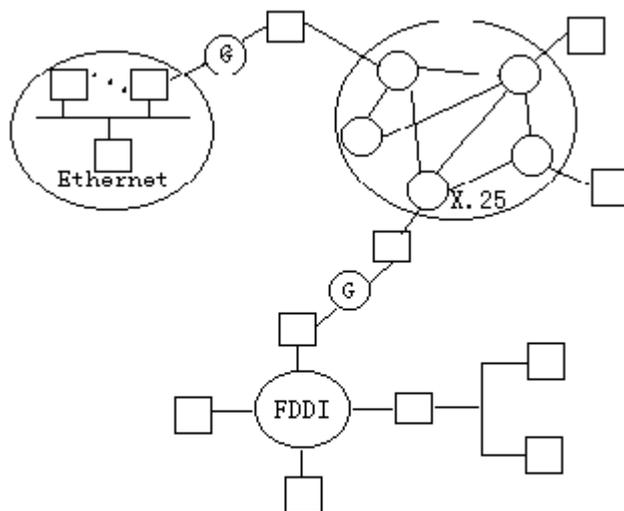


图 6-1 互连网络互表示意图

G—网关。

基础的全球最大的计算机互连网，所有入网的网络及主机共同遵守 TCP/IP 协议。

二、Internet 发展简史

Internet 的历史可追溯到 30 多年前。当时，美国国防部高级计划研究局 DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) 为了实现异种网 (遵循不同网络体系结构的网) 之间的互连，大力资助网络互连技术的研究。1969 年，DARPA 建立了著名的 ARPANET 网。

ARPANET 的成功极大地推进了网络互连技术的发展，到 1983 年，ARPANET 上已连上了 300 多台计算机，供美国的政府部门和研究机构使用。1984 年，ARPANET 分解成两个网路，一个仍称为 ARPANET，用于民用科研；另一个是军

用计算机网络 MILNET。由于这两个网络都是由许多网络互连而成，因此它们都称为 Internet。后来，ARPANET 成为 Internet 的主干。

美国国家科学基金会认识到计算机网络对科学研究的重要性，因此于 1986 年建立了国家科学基金网 NSFNET，它的主干网由 6 个大型计算中心连接而成，主干网下属地区网，地区网下属校园网，这样 NSFNET 就覆盖了全美主要的大学和研究机构。NSFNET 同时也与 ARPANET 相连，并逐渐成为 Internet 中的主要部分。到 1990 年，鉴于 ARPANET 的实验任务已经完成，ARPANET 宣布正式关闭。

1991 年，NSF 和美国其他政府机构认识到，Internet 终将不会限于大学和研究机构，而且随着 Internet 上通信量的急剧加大，Internet 的容量也不够用了。于是美国政府决定将 Internet 主干网交由私人公司经营，并开始对接入 Internet 的单位和个人进行收费。于是，IBM，MERIT 和 MCI 三家公司合作建立一个新的 Internet 主干网，其中 MCI 公司提供长途传输线路，IBM 公司提供网络中使用的计算机及软件，MERIT 管理新建立的网络。这个网络仍然沿用 NSFNET 这一老名称，但其主干网传输速率高达 45Mbps。目前，NSF 已和 MCI 签订合同建造另一个更高速率（155Mbps）的主干网。

目前，几乎所有发达的国家都建设有自己国家级的教育和科研计算机网络，并且都与 Internet 互连在一起，中国也不例外。由于 Internet 上具有极丰富的资源，它突破了地理位置的限制，为广大的入网人员提供一个很好的计算机环境，大大加快了人们之间的信息交流和合作。可以说，Internet 拉近了人们彼此之间的距离。

第二节 Internet 的结构

Internet 是由成百上千个大大小小的网络互连而成，如此多的网络要想协调一致地工作，除了共同遵循 TCP/IP 协议之外，在硬件连接上采用分层连接的方式，管理上也是按照分层管理的原则进行。

Internet 的结构如图 6—2 所示。整个 Internet 可以分为两部分：主干与外围。主干的主要部分包括主干网络和连接主干与外围的网关（核心网关）。为了便于 Internet 的扩充与管理，Internet 的外围部分又划分为若干个自治系统。自治系统的编号由 Internet 管理机构统一分配和管理。每个自治系统对下属连接的网络进行独立管理。一般情况下，一个自治系统往往对应于一个组织实体（比如一个地区，一个公司等），该组织实体内所有网络的进网、退网以及管理由本实体的管理者进行。不论是主干网络与自治系统之间，还是自治系统内部各局或网之间均通过一种称为网关（Gateway，G）的计算机互连起来，网关的作用是使所有的网络都能够按照 TCP/IP 协议进行通信。

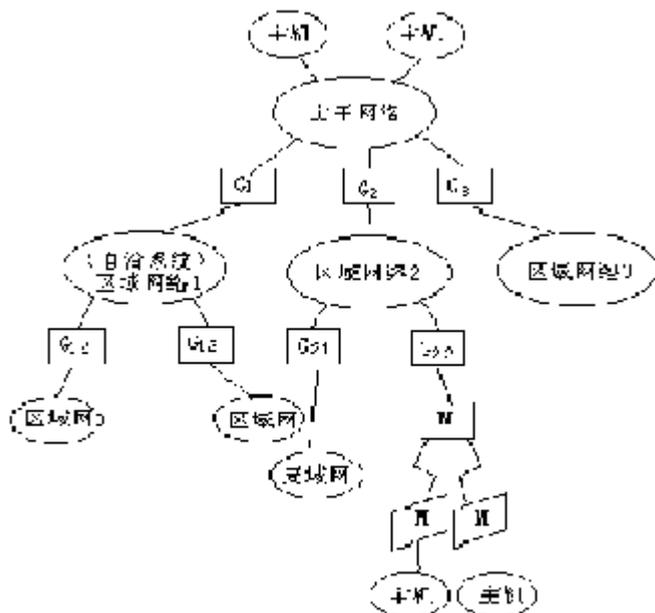


图 G-2 Internet 结构示意图

G 网关; R 调制解调器

第三节 Internet 的功能

由于 Internet 覆盖全球,再加上高质量通信技术的发展和多媒体技术的应用,Internet 的功能非常强大,其作用可以说无处不在。归纳起来有以下 8 点功能。

一、传递电子邮件

所谓电子邮件,指通过计算机网络传递的邮件。正如我们平常意义的邮件一样,电子邮件可以是一封信、一篇学术内容、甚至一个通知、一张名片等,只要是文本文件写就的都可以作为电子邮件通过计算机网络进行传递。电子邮件简单快捷,不会丢失,还能做到同时分发给众多的亲友而不需重复书写,也不需另加邮费。随着 Internet 家庭化的普及,电子邮件在邮件中所占比重将会越来越大。

二、交换文件

这里的文件指计算机文件(文本文件或可执行文件),通过计算机网络实现异地计算机之间传输文件是计算机网络的基本功能,其他功能都是以此为基础推广的。举个简单的例子,我们可以把存放在学校机器里面的 BASIC 程序传送到家里的机器上。

三、远程调用

在 Internet 上,连接了许多的计算机系统,在这些联网的计算机之间,可以通过自己的键盘使用远地的计算机,也就是说,联网用户可以调用

Internet 上任意地方的计算机系统为自己服务，感觉就像这台机器在自己面前一样。当然，这种远程调用，必须征得异地计算机主人的同意，而且用户还必须拥有远程调用权。

四、收看和发送电子新闻

通过网络，可以看到世界各地的网络用户在网络上公开的各种各样的新闻及图片报道，也能看到世界上的风土民情、商品供求及广告信息，还可以把自己的信息发布到网上，供其他用户阅读。除此之外，还可以通过 Internet 收看天气预报，看到世界各地的重大体育比赛的新闻报道和情况分析。网络上既有文字，也有图片，趣味性非常强。如果你的机器带有麦克风，还能从网上收听到伴随着图片、文字的解说。

五、传递和接收声音、图片、动画和电影

随着计算机多媒体技术的发展，Internet 网上的用户还可以收看、收听到世界各地的电影、电视和图象资料及有声资料。

六、进行实时“笔谈”

利用计算机与世界各地见过面或未见过面的朋友通过 Internet 进行实时“笔谈”，在 Internet 世界已经司空见惯。所谓实时“笔谈”，即是通过键盘键入自己想说的话，很快就能从屏幕上读到对方的回答，十分方便有趣。

七、召开电子会议

可以利用 Internet 进行声音和图象的同步传送。利用这一特性，分散在世界各地的用户可以召开网络会议。

八、情报检索和学术交流

学术信息包括有关科学研究的课题及论文，图书馆的藏书及各类杂志等的文字和图象资料。通过网络，Internet 的用户可以检索和查询与网络相连的世界各地已经公开的学术资料，还可以与对方进行资料交换等。除学术交流外，也可以通过 Internet 进行商业情报检索，比如专利情报的检索就是 Internet 上比较成功的情报检索。

第四节 连接 Internet 的方式

Internet 是世界上发展最快、容量最多的一个计算机网络，由许多广域网和局域网组成。不论在哪里，只要连接处有接入 Internet 的节点，就可以通过该节点加入到 Internet 上去。一台计算机主要可以通过以下三种方式加入 Internet。

- 电话拨号仿真终端方式；

- SLIP/PPP 方式；
- 专线连接方式。

一、电话拨号仿真终端方式

电话拨号仿真终端方式是用户加入 Internet 最简单的方法。在这种方式中,用户的计算机是作为一台正式加入 Inter - net 的计算机的仿真终端工作的。所谓正式加入 Internet 的计算机指具有 Internet 地址 (IP 地址) 的计算机,在电话拨号仿真终端方式中往往指 Internet 服务提供商的主机,又称为宿主机。以这种方式连入 Internet 的计算机并没有真正加入 Internet,从 Internet 管理员那里看不到这个节点,也不会给它分配地址。因此,这种方式属于间接连接方式。

目前提供电话拨号连接服务的计算机大多采用 UNIX 操作系统。以这种方式连入的计算机实际是作为宿主机的一个终端,只能使用宿主机提供的命令和功能。电话拨号仿真终端方式的连接如图 6—3 所示。



图6-3 拨号仿真终端方式入网示意图

这种连接方式的用户需要有以下设备：

- 计算机 (PC 286 以上) ；
- 调制解调器；
- 电话线；
- 普通通信软件。

用户在通信之前,必须在所选择的 Internet 提供商那里申请一个帐户,这样才会成为宿主机的合法终端。用户若要想往网上发送信息,首先要用电话拨号进入提供商的联机服务系统,并将信息发送到宿主机上,再由宿主机把它发往网上。同样,用户如果希望从网上读取信息,只能将请求发往宿主机,由宿主机调用 Internet 上的信息,然后再传回用户。因为用户只能使用所连接的宿主机提供的命令和功能,宿主机 (Internet 提供商) 提供的功能强,用户得到的网络服务就多;宿主机提供的功能弱,用户得到的网络服务就少。由于用户与网络间信息的传递总要依赖宿主机的转储,通常宿主机分配给每个用户的存储空间有限 (1 ~ 2M 字节),这就限制了用户每次可以从网上读取的信息量。

这种连接方式的优点是收费最便宜,而且由于提供商的服务系统处理了大量的连网工作,简化了用户对 Internet 的操作过程,从而使用户的入网连接工作变得极为简单,用户只要拨号进入联机服务系统就可以使用网络服务了。因此,电话拨号终端方式适合一般个人用户采用。

目前,几乎所有的 Internet 提供商都向用户提供这种连接方式。

二、SLIP/PPP 方式

SLIP/PPP 方式为用户提供了比联机服务方式更充分的连接。这种方式适合业务量不太大但又希望以主机方式连入 Internet 的用户使用,是个人用户

经常采用的一种连接方式。

使用这种方式的连接如图 6—3 所示。

使用这种方式，用户需要配备：

计算机（386 以上）；

调制解调器；

电话线；

普通通信软件；

附加了 SLIP/PPP 的 TCP/IP 软件。

这种方式所需的硬件与联机服务方式完全一样，唯一不同之处是需要用户在用户机上安装带有 SLIP/PPP 的 TCP/IP 软件。由于在用户的计算机上运行了 TCP/IP 软件，用户的计算机与 Internet 就建立了直接联系，成为 Internet 上的一台主机。

这种方式要求用户系统和 Internet 服务提供商的宿主系统在运行 TCP/IP 的同时还要运行 SLIP/PPP 协议。

用户系统与宿主系统之间通过电话线路进行通信，而电话系统只能实行串行数据通信。SLIP/PPP 的作用就是在串行线路上实现 TCP/IP 所提供的 Internet 功能，使用户能够通过调制解调器和电话线路直接访问 Internet。

当用户以 SLIP/PPP 方式入网时，用户先以终端方式通过 Modem 拨号呼叫服务提供商的宿主机。宿主机在监听到用户的请求后，要求用户输入正确的帐号和口令，然后检查程序，设置网络接口，同时在用户的计算机上启动相应的 SLIP/PPP 程序，并在用户机上设置相应的网络接口。这样，用户机就与 Internet 建立起直接联系，作为 Internet 的一个主机，用户能够从自己的计算机上直接访问 Internet 提供的全部服务。

用户与宿主机建立起联系后，宿主机在启动 SLIP/PPP 程序时要给用户机分配一个 Internet 地址。地址的分配分为固定和动态两种。固定方式指用户的计算机使用一个固定的网络地址，用户每次上网都使用该地址获取网络服务。用户即使不上网，该地址也不能分配给别人使用。动态方式是指用户的计算机并没有固定的网络地址。每次用户请求入网时，宿主系统分配一个空闲地址给这个用户。如果用户退出网络，他所占用的地址宿主系统可能分配给其他刚上网的用户使用。用户每次上网所使用的网络地址可能不尽相同。

以这种方式入网的用户若想访问 Internet 提供的服务，他的机器上要安装相应的访问这些服务的工具软件，而以仿真终端方式入网的用户则不需要。

三、专线连接方式

专线连接方式支持用户以高速方式入网，并可使用 Internet 提供的的所有服务功能。但与上两种方式相比，费用要贵得多。因此，专线方式一般适合某个机构（学校、团体、公司等）连接 Internet 时使用。

用户的专线连接方式如图 6—4 所示。

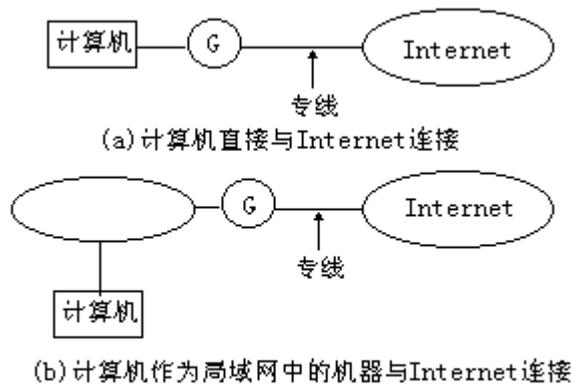


图6-4 专线连接示意图

这种方式用户需要配备：

- 计算机；
- 路由器；
- 通信专线。

用户通过专线连接 Internet 时，专线上可以连接一台计算机（如图 6—4（a）），更多的时候是连接一个局部网络（如图 6—4（b））。专线的另一端连接与 Internet 相连的国家级或区域级公共数据网络。一个（或一个局域网中的多个）用户要想成为 Internet 的一部分，除要有专线连接外，还必须向相应的 Internet 服务提供商申请正式的 Internet 网络地址。

在专线方式连接下，用户的计算机可以一天 24 小时与 Internet 相连，并可享受 Internet 提供的全部网络服务。

专线连接适宜大量使用 Internet 服务的用户采用，专线方式的系统响应服务也是最好的。

第五节 中国与 Internet

中国的 Internet 虽然起步较晚，但发展却是较快的。1994 年，由世界银行和我国政府共同支持建立的中国国家计算机和网络设施 NCFC (National Computing & Networking Facility of China) 代表中国正式加入 Internet。从这时起，中国正式加入了 Internet。随后的几年，中国的 Internet 发展极为迅速，目前已有 6 个网络能够直接连接 Internet 国际通信线路。而随着中国 Internet 主干网——CHINANET 的开通，并向全社会提供服务，Internet 在我国已是家喻户晓。下面我们给大家介绍我国主要的几个拥有直接连接 Internet 国际通信线路的机构及其网络。

一、科学院高能物理研究所计算中心（GLOBANET）

1993 年，中科院高能物理研究所因国际合作的需要，建成了与美国斯坦福大学直线加速器中心的 64kbps 通信专线。高能所计算中心当时用一台 VAX785 计算机，经过邮电部的公共数据网 CHINAPAC 首先连到北京电信局，再经微波传送到北京的卫星地面通信站，租用国际卫星信道与斯坦福直线加速中心的计算机相连，进入 Internet，结束了我国不能同 Internet 联网的

历史。当然，由于我国当时还未申请正式加入 Internet，高能所的计算机是作为美国能源科学网的节点而存在的。1993 年 5 月，在国家自然科学基金会的资助下，高能所开始向国内数百名著名的科学家及国家自然科学基金重大项目负责人提供多项 Internet 服务，首次为科技界的国际间合作交流提供了现代化手段。

目前，高能所除继续使用 VAX 机向用户提供服务外，还配备了一台 SUN 计算机进行用户服务。另外，高能所还建立了中国首家商业服务器，在美国建立了它的镜像服务器节点。在北京的服务器上（GLOBANET）提供全球的相关商业动态，使得国内用户可以很方便地获取和借鉴国外的商业信息。而在美国的镜像服务器（CHINA - Window）则成为全球了解中国的窗口。目前，中科院高能物理研究所计算中心的 GLOBANET 有 30 多条国际出口线。

用户要想通过 GLOBANET 进入 Internet，可以通过以下方式入网：

- （1）通过电话拨号仿真终端方式入网；
- （2）通过租用专线与高能所联网；
- （3）通过 CHINAPAC 与高能所的计算机相连。

二、中科院计算机网络信息中心（NCFC）

1994 年，由我国政府和世界银行共同支持的中国国家计算机和网络设施 NCFC，正式代表我国加入 Internet。NCFC 是一个具有相当规模，用光纤互连的计算机网络，最初实施范围为北京中关村地区的北京大学、清华大学及中科院的几十个研究所，网络中心设于中国科学院计算机网络信息中心，俗称中关村网络。

NCFC 采用两级网络结构：三个独立的院校网（科学院网 CASNET，北京大学校园网 PUnet，清华大学校园网 TUnet），连接 3 个院校网的 NCFC 主干网。主干网与 Internet 相连。3 个院校网内部也有其主干网下连到各个局域网。比如 CASnet 经集线器和路由器下连到各研究所的局部网上。NCFC 结构如图 6—5 所示。

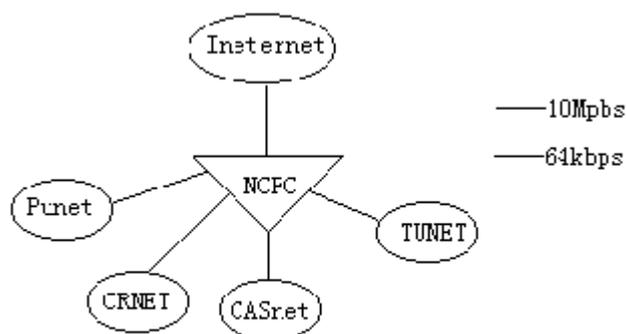


图 6-5 NCFC 结构图

CRNET-中国研究网络

目前，NCFC 除了通过高速光纤网以 10Mbps 的速率直接连接 TUnet、PUnet 和 CASnet 之外，还以 64kbps 的速率连接着北京和全国各地的中科院及其他部委的科研院所和大专院校。NCFC 是一个面向科技界的计算机网络。

NCFC 连入 Internet 的方法是经过租用专线到达卫星通信地面站，再经卫星传送到美国旧金山 Sprint 公司的数据交换中心，从而进入 Internet 的主干网。目前专线的通信速率是 64kbps。

三、邮电部北京电信管理局 (CHINANET)

CHINANET 是邮电部门经营管理的中国公用 Internet 网,是中国 Internet 主干网。与前几个网络不同,CHINANET 从一开始就是面向全社会的,而不仅限于教育界和科技界。CHINANET 于 1995 年开通,从开通至今的短短两年间,对推动我国 Internet 的发展起到举足轻重的作用。

CHINANET 的结构如图 6—6 所示。由骨干网、接入网和全国网络管理中心组成。骨干网是主要的信息通路,主要负责转接全网的业务,并为接入网提供访问端口,同时也为国内众多的 Internet 服务提供商(Internet Service Provider, ISP)提供高速访问端口;此外,骨干网中配置一定的服务器,为全网提供 Internet 网络服务。骨干网包括所有的省会城市及直辖市。

接入网由各省接入层网络构成,负责为用户提供接入端口,并与公用电话网、公用数据网等互联。全国网络管理中心负责 CHINANET 骨干网的管理,对网络设备的运行情况、业务情况进行实时监控,以保证网络安全可靠地运行。网管中心设在北京。

CHINANET 分别在北京和上海设两个国际出口点,分别以速率 256kbps 的专线经在美国旧金山的 Sprint 公司连入 Internet 的主干网。北京出口有 96 条出口线并准备扩充到 160 条,出口带宽北京已经升到 1Mbps,上海升到 2Mbps。另外,广州还有一个连接到香港的出口点,经在香港的节点进入 Internet。CHINANET 的干线速率目前已达到 E1 (2.048Mbps)。

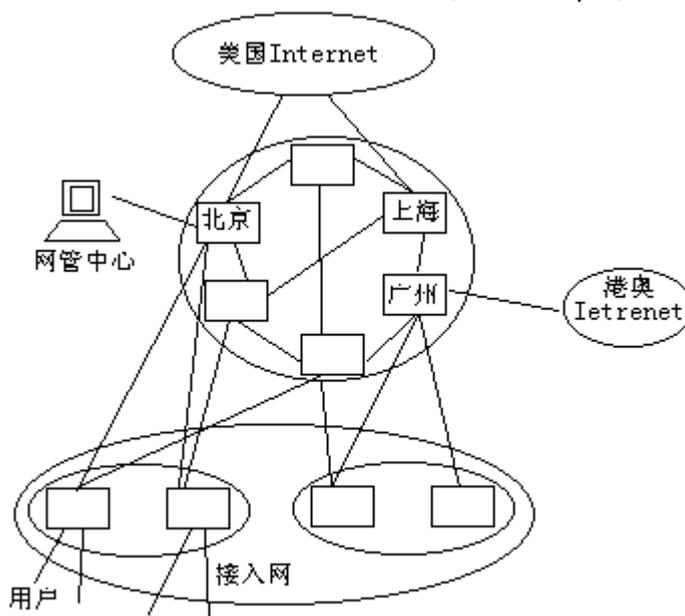


图 6-6 CHINANET 网络结构

四、中国教育科研计算机网络 (CERNET)

中国教育科研计算机网络 CERNET 是国家教委正在全力建设的面向教育界的全国性计算机网络。CERNET 的目标是连通全国所有的大专院校,并将进一步延伸到中小学。CERNET 也是两级网络结构。CERNET 结构如图 6—7 所

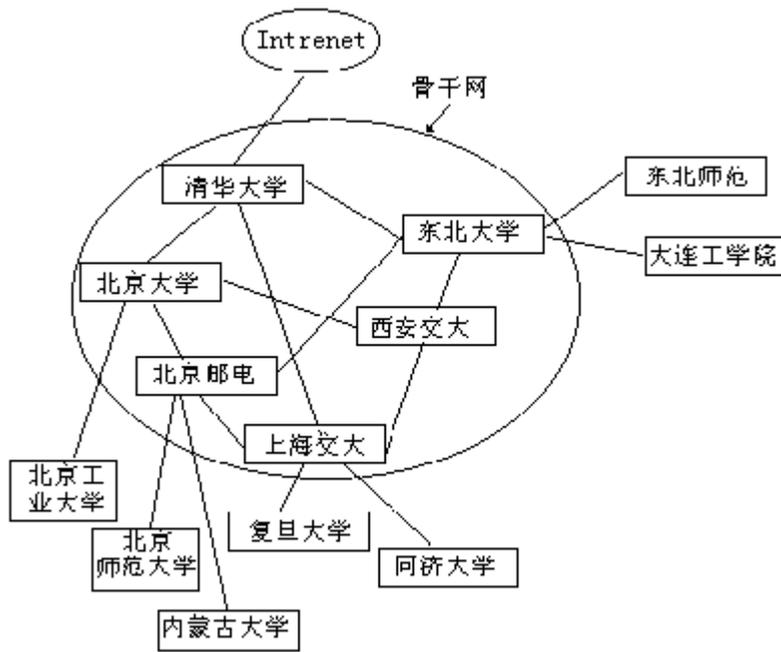


图 6-7 CERNET 结构示意图

设在北京、上海、广州、南京、西安、武汉、成都和沈阳 8 个城市的 10 所大学的网络中心组成 CERNET 的主干网络，由这 10 个网络中心为中心，辐射该地区的大专院校以至中小学形成全国教育界的联网。这 10 个地区性网络中心是：清华大学、北京大学、北京邮电大学、上海交通大学、华南理工大学、东南大学、西安交通大学、华中理工大学、四川联合大学和东北大学。CERNET 的国际出口设在清华大学网络中心，目前清华大学的国际出口线路已有 200 条，出口带宽为 2Mbps。

