

1 计算机网络基础

【引导案例】

2001年9月11日，美国遭到恐怖分子袭击，当电话、电报等传统通信系统几乎都被摧毁时，电子邮件使人们与远方的亲人仍可互通信息。可以说，在这次袭击中，当人类的许多现代文明都面临危险时，只有计算机网络以最顽强的生命力担负起了为人类信息交流的使命。根据2012年12月中国互联网络信息中心发布的第31次中国互联网络发展状况统计报告，我国网民总人数大约为56400万人，人均每周上网时长达20.5小时，互联网普及率42.1%。

计算机网络已经成为人们获取信息的一个重要渠道。计算机网络给大家的工作、学习和生活带来了革命性变化。随着各种网络应用的发展，人们的工作效率得以提高；随着远程教育的发展，人们的学习变得更加方便，终生教育成为可能；随着网络游戏、虚拟社区等新兴应用的发展，人们的生活增加了许多乐趣。计算机网络推动了整个人类社会文明的发展。

1.1 计算机网络概述

1.1.1 计算机网络概念

1. 计算机网络定义

计算机网络就是为了实现信息共享而利用通信线路连接起来的两台或多台相互独立计算机的集合。这并不是最权威的定义，只是计算机网络定义中的一种。随着网络技术的发展以及网络应用范围的扩展，计算机网络的概念也在发展。不同的书中对计算机网络的定义也各不相同。关键不是记住计算机网络的定义，而是通过对概念的正确理解把握它的内涵，而理解计算机网络需要把握以下两点：

(1) 组成计算机网络的计算机要求是独立的。每台计算机核心的基本部件，如处理器、系统总线等要求存在并且是独立的。有的计算机系统不满足这一要求，在1980年前后，许多图书馆采用了图书查询系统，采用一台小型机带几十台查询终端的体系结构，如图1.1所示。这种系统不是计算机网络，因为整个系统中除了有一台主机具有处理器外，其他的终端都只有输入/输出设备，而不是完整、独立的计算机，所以该系统属于具有一台主机的计算机系统，而不是计算机网络。

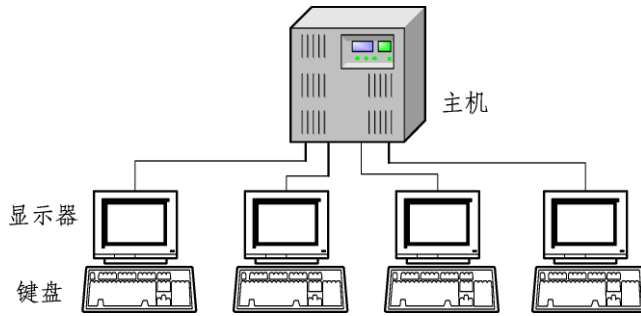


图 1.1 图书查询系统

(2) 计算机网络通信的目的是实现信息共享。有的计算机系统数据通信的目的不是为了实现信息共享,而是为了实现分布式处理等,这种计算机系统也不是计算机网络。如在多处理机系统中,在各个处理器之间虽然也存在数据通信,但数据通信的目的是为了实现多个处理器协同处理一个更大的任务,保证每个处理器都能完成自己的一部分任务而不至于发生调度混乱。因此,一个多处理机系统,如双 CPU 的计算机系统不是计算机网络。在科学计算、天气预报等领域广泛应用的多处理机系统可以看做是处理能力很强的计算机,而不是计算机网络。判断计算机系统是不是计算机网络的一个必要标准,就是系统是否以实现信息共享作为数据通信的目的。当然,并不是说所有分布式处理的系统都不是计算机网络,一个计算机网络也可以实现分布式处理,如有的网络操作系统(Windows Server 2003、Linux 等)支持集群的功能,可以实现在网络环境中的多台计算机之间的负载平衡,具有分布式处理的能力。因此对于一个系统是否属于计算机网络,可从以上两个方面加以分析。

2. 计算机网络的服务

为什么要把多台计算机连成一个计算机网络呢?换句话说,计算机网络主要为用户提供了哪些服务?这个问题的答案可以概括为以下四个方面:

(1) 资源共享。资源包括硬件、软件和数据。硬件为处理器、存储设备和输入/输出设备等,可以通过计算机网络实现这些硬件的共享,如打印机、硬盘空间等。软件包括操作系统、应用程序和驱动程序等,可以通过计算机网络实现这些软件的共享,如多用户的网络操作系统、应用程序服务器等。在后面的章节中会介绍利用 Windows Server 2003 的远程桌面服务进行应用程序的共享,在一台服务器上安装的应用程序可以在其他的计算机上直接使用。数据包括用户文件、配置文件和数据文件等,可以通过计算机网络实现这些数据的共享,如通过网络邻居复制文件、网络数据库等。通过资源共享可使资源发挥最大作用,同时节省成本、提高效率。

(2) 数据传输。这里的数据指的是数字、文字、声音、图像、视频信号等媒体所存储信息的计算机表示。在计算机世界里,一切事物都可以用 0 和 1 这两个数字表示出来。计算机网络使得各种媒体信息通过一条通信线路从甲地传送到乙地。数据传输是计算机网络各种功能的基础,有了数据传输,才会有资源共享,才会有其他的功能。

(3) 协调负载。在有多台计算机的环境中,这些计算机需要处理的任務可能不同,经常有忙闲不均的现象。有了计算机网络,可以通过网络调度来协调工作,把“忙”的计算机上的部分工作交给“闲”的计算机去做,还可以把庞大的科学计算或信息处理题目交给几台联网的计算机协调配合来完成。分布式信息处理、分布式数据库等只有依靠计算机网络才能实现协调负

载，提高效率。在有些科研领域，只有借助计算机网络的协调负载才能使一些计算处理任务的繁重工作得以完成。

(4) 提供服务。有了计算机网络，才有了现在风靡全球的电子邮件、网络电话、网络会议、电子商务等，它们给人们的生活、学习和娱乐带来了极大方便。有了网络，使得实时控制系统有了备用和安全保证，使得军事设施在遭到敌方打击时指挥系统保持畅通无阻。最大的计算机网络——因特网就是冷战时期的产物，用它能够解决可靠性问题，并为计算机用户带来极大便利。随着网络新技术层出不穷，不断有新的服务使人们从中受益。

以上介绍的是计算机网络的一般功能，只是一个描述性的介绍，所有计算机网络的功能都会是以上四种功能中的一种或几种。具体的计算机网络可能各有不同的功能，如有的网络能够实现打印机共享，有的网络可以实现电子邮件服务等。

3. 计算机网络的组成

一般而言，计算机网络结构包括三部分：若干个主机，它们为用户提供服务；一个通信子网，它主要由结点交换机和连接这些结点的通信链路所组成；一系列的协议，这些协议是为在主机和主机之间或主机和子网中各结点之间的通信而采用的，它是通信双方事先约定好的和必须遵守的规则。为了便于分析，按照数据通信和数据处理的功能，一般从逻辑上将网络分为通信子网和资源子网两个部分。典型的计算机网络结构如图 1.2 所示。

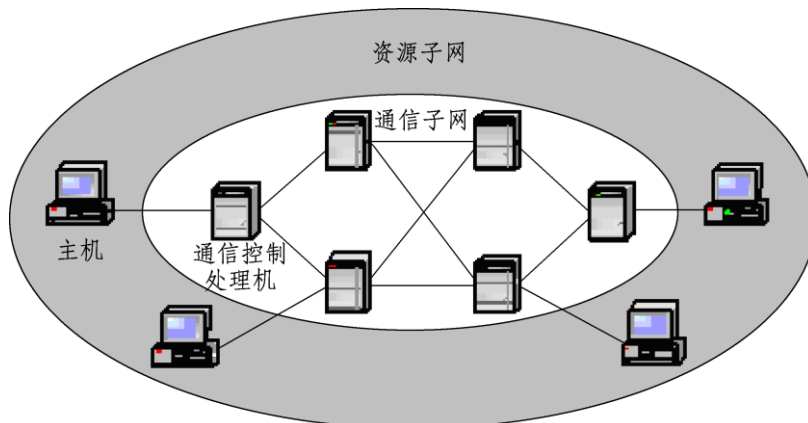


图 1.2 典型计算机网络结构

尽管现在的计算机网络很多，但不同的计算机网络都有一个共同的特点，那就是它们都由三部分组成，即网络硬件、传输介质和网络软件，如图 1.3 所示。

(1) 网络硬件。网络硬件是构成网络的节点，包括计算机和网络互联设备。作为网络硬件的计算机可以是服务器，也可以是工作站。网络互联设备包括集线器、交换机和路由器等。有的网络硬件（如计算机）只有一个网络接口；有的网络硬件（如各种网络互联设备）可能有几个、几十个甚至更多的网络接口，如集线器、交换机和大多数路由器等。路由器这种特殊的网络互联设备，在网络中可以有一个网络接口，也可以有多个网络接口用以连接网络，这是由路由器在网络中的功能决定的。路由器用于连接多个网络，如果一台路由器用于连接多个物理网络，那么它需要有多个物理网络接口；如果一台路由器用于连接多个逻辑网络，那么，它可以有多个逻辑接口共用一个物理接口。

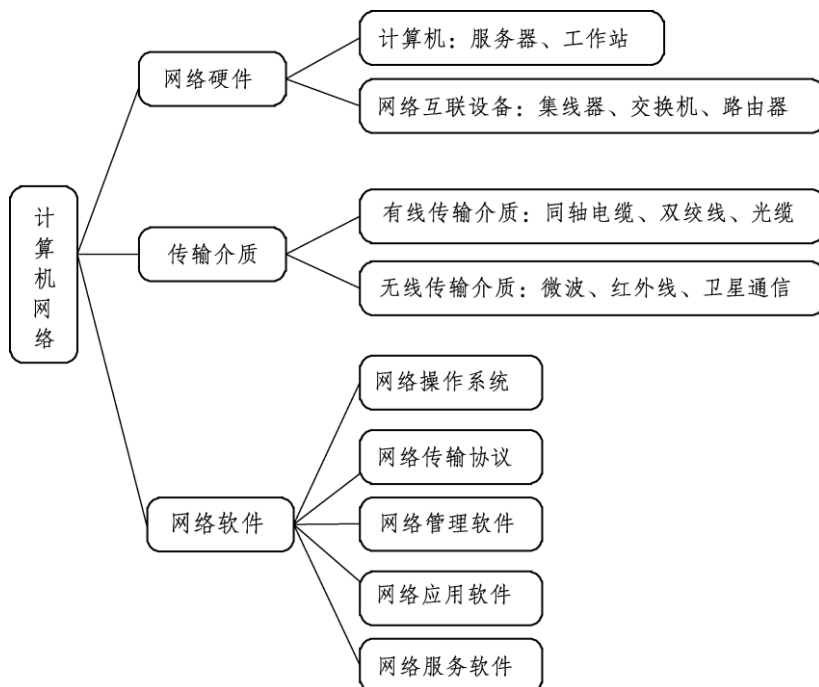


图 1.3 网络组成部分

(2) 传输介质。传输介质是把网络节点连接起来的数据传输通道，包括有线传输介质和无线传输介质。同轴电缆、双绞线、光缆都是有线传输介质；微波、卫星通信、红外线都是无线传输介质。传输介质是网络数据传输的通道，所有的网络数据都要经过传输介质进行传输。因此，一个网络所选用传输介质的种类和质量对网络性能的好坏有较大影响。

(3) 网络软件。网络软件是负责实现数据在网络硬件之间通过传输介质进行传输的软件系统。包括网络操作系统、网络传输协议、网络管理软件、网络服务软件和网络应用软件。

① 网络操作系统。网络操作系统是指在计算机或其他网络硬件上安装的，用于管理本地及网络资源和它们之间相互通信的操作系统。网络操作系统有集中式和对等式两种。集中式网络操作系统安装在网络服务器上，集中管理网络资源；对等式网络操作系统平等地安装在所有网络节点上，没有服务器。最典型的对等式网络操作系统是 Windows 98，常见的集中式网络操作系统有 Windows 2000/2003、Windows XP、Linux、Netware 和各种 UNIX (Solaris、AIX、HP UNIX、FreeBSD 等)。其中 Windows 系列的操作系统比较适合个人用户的 PC 机和中小型网络的服务器，UNIX 比较适合作为大型的因特网服务器。本书后面会具体地介绍 Windows 2003 操作系统在网络方面的应用。Linux 是 UNIX 操作系统在 PC 机上的实现，因其免费开放的特性，研究使用的用户比较多，许多网络管理人员都是从使用 Linux 开始的。而且，Linux 还可以作为经济实用的企业服务器操作系统。

② 网络传输协议。协议指两个或两个以上实体为了开展某项活动，经过协商后达成的一致意见。网络传输协议就是连入网络的计算机必须共同遵守的一组规则和约定，它可以保证数据

传送与资源共享能顺利完成。这类似于人与人之间说话，一个人说英语，一个人说德语，一个人说汉语，谁也不知道对方在说些什么，只有大家都说一种互相都能听懂的语言，彼此之间才能交流。计算机之间要想交流数据也是如此，必须规定数据如何编码，如何找到信息的头部和尾部，如何识别收发者的名称和地址，传送过程是否有误，出错如何处理，收发速率不一致如何处理等。

国际标准化组织（ISO）制定的开放系统互联参考模型（Open System Interconnection, OSI）定义了计算机联网的标准框架，它超越了具体的物理实体或软件，从理论上解决了不同的计算机及外部设备和不同的计算机网络之间相互通信的问题，成为世界上所有计算机或计算机网络通信生产厂商和所有计算机网络软件生产厂商共同遵守的标准。OSI 采用分层的办法把整个计算机通信过程划分为 7 层，每一层完成一定的功能，每一层又都建立在下层之上，仅在相邻的两层之间有接口。换句话说，第 N 层在实现自身定义的功能时，只能使用第 $(N-1)$ 层提供的服务，而第 $(N-1)$ 层向第 N 层提供服务时，不仅包括第 $(N-1)$ 层本身的功能，还包括其下层服务提供的功能。

在实际工作中，各计算机网络厂家都制定了网络传输协议。如 IBM 的 NetBIOS、Microsoft 的 NetBEUI 等。经过多年的市场竞争和实践考验，目前占主导地位的网络传输协议已为数不多，最著名的就是因特网采用的 TCP/IP 协议。

③ 网络管理软件。网络管理软件是能够通过对网络节点进行管理，以保障网络正常运行的管理软件。网络管理软件有免费的，也有商业的。MRTG（Multi Router Traffic Grapher，多路由器通信图示器）是一个以图形方式显示支持简单网络管理协议设备的免费网络管理软件。它可以显示从路由器、交换机以及其他支持 SNMP 的网络设备处获得的网络通信信息及其他统计信息，然后产生 HTML 格式的页面和 PNG（或 GIF）格式的图形，提供了通过 Web 浏览器显示可视的网络性能信息的功能。CiscoWorks 是 Cisco 公司的一个大型商业网络管理软件，这个软件可以实现对 Cisco 的网络设备的集中管理，在一台网管工作站上可以很容易地批量修改网络设备的配置，提高网络管理效率。不同的网络管理软件运行于不同的操作系统，有的网络管理软件在各种常见的操作系统下都有相应的版本。

④ 网络服务软件。网络服务软件是运行于特定的操作系统下提供网络服务的软件。在 Windows XP/2003 下，因特网信息服务（Internet Information Server, IIS）可以提供 WWW 服务、FTP 服务和 SMTP 服务等。Apache 是在各种 Windows 和 UNIX 系统中使用频率都很高的 WWW 服务软件。War FTPd、Serv-U FTP PRO 都是功能很强大的运行于 Windows 系列操作系统的 FTP 服务器。

⑤ 网络应用软件。网络应用软件是能够与服务器进行通信，直接为用户提供网络服务的软件。用户需要网络提供一些专门服务时，需要使用相应的网络应用软件。例如，要访问因特网，需要使用 Internet Explorer 或 Firefox 浏览器；要收发电子邮件、阅读或粘贴网络新闻，需要使用 Outlook Express 或 Eudora；要在因特网上传或下载文件，可使用 FlashGet 或迅雷等；要参加网络会议，可使用 NetMeeting。随着网络应用的普及，将会有越来越多的网络应用软件为用户带来便利，这些软件也必将推动网络普及。

1.1.2 OSI/RM 参考模型

ISO (International Standards Organization) 成立于 1947 年, 是世界上最大的国际标准化组织。它的宗旨就是促进世界范围内的标准化工作, 以便于国际间的物资、科学、技术和经济方面的合作与交流。

早期开发的局域网、城域网、广域网在许多方面都是混乱的。它们由于使用不同技术规范, 因此网络之间进行相互通信就变得困难。随着网络技术的进步和各种网络产品的出现, 一个现实问题摆在人们面前, 这就是对网络产品公司或广大用户来说, 都希望解决不同系统的互联问题。在此背景下, 1977 年, ISO 专门建立了一个委员会, 在分析和消化已有网络的基础上, 考虑到联网方便和灵活性等要求, 提出了一种不基于特定机型、操作系统或公司的网络体系结构, 即开放系统互联参考模型 OSI/RM (Open System Interconnection, OSI)。OSI 定义了异种机联网的标准框架, 为连接分散的“开放”系统提供了基础。这里的“开放”, 表示任何两个遵守 OSI 标准的系统都可以进行互联。

OSI 参考模型采用分层结构化技术, 将整个网络的通信功能分为 7 层, 如图 1.4 所示。划分层次的基本出发点是: 应从逻辑上将功能分组, 每一层完成一特定功能, 层次不能太少, 以便每一层功能明确且易于管理; 但也不能太多, 以免汇集各层的开销太大。具体的 7 层由低层至高层分别是: 物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层、应用层。需要强调的是, OSI 给出的仅是一个概念上和功能上的标准框架, 是将异构系统互联的标准分层结构。它定义的是一种抽象结构, 而并非是对具体实现的描述。模型本身不是一组有形的、可操作的协议集合, 它既不包含任何具体的协议定义, 也不包括强制的实现一致性, 也就是说网络体系结构与实现无关。如果把需要在网络上传输的数据比成货物, 那么协议就是能够运送货物的汽车, 而 OSI 参考模型就是设计汽车的蓝图。

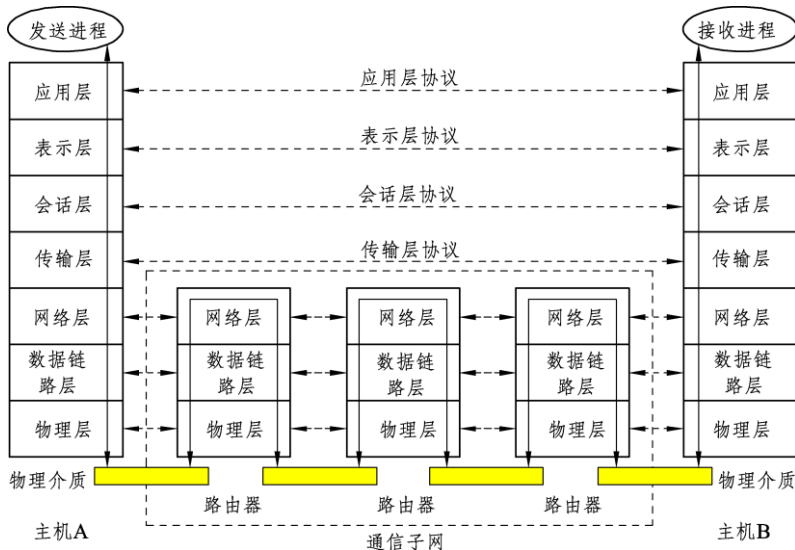


图 1.4 OSI 参考模型的分层结构

通过建立 OSI 参考模型, 国际标准化组织向厂商提供了一系列标准, 以保证世界上许多公司提供的不同类型的网络技术之间具有兼容性和互操作性; 定义了连接计算机的标准框架。它

超越了具体的物理实体或软件，从理论上解决了不同计算机及外设、不同的计算机网络之间相互通信的问题，成为计算机网络通信的标准。

OSI 参考模型的每一层都有独立的功能，并且每一层只与其相邻层存在接口，可以进行数据通信。OSI 参考模型中的每一层的真正功能是为其上一层提供服务。例如， $(N+1)$ 层对等实体间的通信是通过 N 层提供的服务来完成的，而 N 层的服务则要使用 $(N-1)$ 层及其更低层提供的功能服务。OSI 参考模型的最高层——应用层为网络应用程序提供网络通信服务，是网络应用程序与 OSI 参考模型的接口。OSI 参考模型的最底层——物理层把网络数据转换成电信号发送到网络上，是 OSI 参考模型与网络的接口。

OSI 7 层模型可以分为两个大的层次：介质层和主层。介质层控制网络之间消息的物理传送，是面向网络通信的。主层负责计算机之间数据的精确传输，是面向数据的。常见的网络互联设备都工作在主层，如集线器工作在物理层，交换机工作在数据链路层，路由器工作在网络层。网络中的主机除了能够与介质层接收和发送数据外，还要能够完成通信控制、会话管理、数据表达等主层的处理工作。

下面介绍 OSI 参考模型各层的作用，如图 1.5 所示。

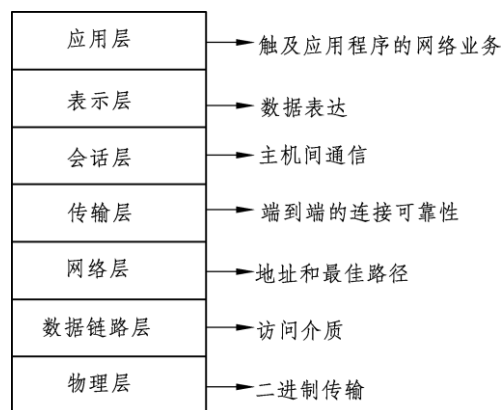


图 1.5 OSI 参考模型各层功能描述

- (1) 物理层：在物理媒体上传输原始的数据比特流。
- (2) 数据链路层：将数据分成一个个数据帧，以数据帧为单位传输。有应必答，遇错重发。
- (3) 网络层：将数据分成一定长度的分组，将分组穿过通信子网，从信源选择路径后传到信宿。
- (4) 传输层：提供不具体网络的高效、经济、透明的端到端数据传输服务。
- (5) 会话层：进程间的对话也称为会话，会话层管理不同主机上各进程间的对话。
- (6) 表示层：提供数据信息的语法表示变换方法。
- (7) 应用层：提供应用程序访问 OSI 环境的手段。

OSI 参考模型每一层处理的数据是不一样的。我们把每一层协议处理数据的单位叫做协议数据单元 (Protocol Data Unit, PDU)。物理层的 PDU 是数据位 (bit)，数据链路层的 PDU 是数据帧 (frame)，网络层的 PDU 是数据包 (packet)，传输层的 PDU 是数据段 (segment)，其他更高层次的 PDU 是数据 (data)。OSI 参考模型的数据封装过程如图 1.6 所示。

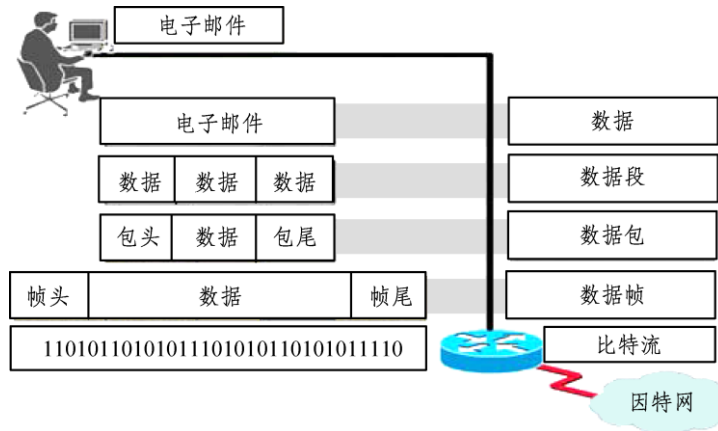


图 1.6 数据封装

1.1.3 TCP/IP 参考模型

因特网是一个开放的计算机网络系统，全球有数千万台计算机已经连入其中。TCP/IP 就是用在因特网上的网络通信协议，用该协议可以让因特网上的所有计算机互相沟通而形成了今天的因特网。传输控制协议/网际协议（Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP）是工业界标准的协议组，为跨越局域网和广域网环境的大规模互联网络设计。协议的发展历程如图 1.7 所示。TCP/IP 始于 1969 年，也就是美国国防部高级研究计划署设计开发的 ARPANET 网络。ARPANET 是资源共享实验的结果，其目的是在美国不同地区的各种超级计算机之间提供高速网络通信链路。

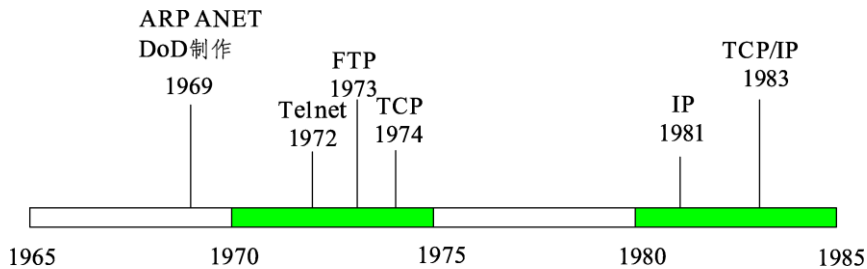


图 1.7 协议的发展历程

Telnet（用于虚拟终端仿真）和文件传输协议（FTP）之类的早期协议，是用于 ARPANET 网络共享信息所需的基本实用程序。随着 ARPANET 的规模和作用范围日益扩大，出现了其他两个重要协议：

（1）1974 年，传输控制协议（TCP）作为规范草案引入，描述了如何在网络上建立可靠的、主机对主机的数据传输服务。

（2）1981 年，网际协议（IP）以草案形式引入，描述了如何在互联的网络之间实现寻址的标准以及如何数据包的路由。

1983 年 1 月 1 日，ARPANET 开始对所有的网络通信和基本通信都要求使用 TCP 和 IP 协议。从这天开始，ARPANET 逐渐变成更为广泛知名的因特网，它所要求的协议逐渐变成 TCP/IP

协议组。TCP/IP 协议组在各种 TCP/IP 软件中均可实现，可用于多种计算平台。今天，TCP/IP 在因特网上得到了广泛使用，并经常用于建立大型的路由专用互联网络。

TCP/IP 标准是在一系列称为 RFC (Request for Comment, 需求注释) 的文档中发布的。RFC 是目前仍在发展的描述 TCP/IP 和因特网内部工作的一系列报告、协议的提议以及协议标准。

虽然 TCP/IP 标准都是以 RFC 形式发布的，但并非所有 RFC 都指定标准。RFC 是由个人编写的，这些人自愿从事这一工作并向“Internet 工程任务组 (IETF)”及其他工作组提交新协议或规范的草案。提交的草案首先由技术专家、任务组或 RFC 编辑审阅，然后指派一个状态。如果草案通过初审阶段，则传播到更大的因特网社会团体，他们进一步评论和审阅一段时间，然后指派一个 RFC 编号 (这个 RFC 编号保持不变)。如果需要更改所提议的规范，则修改或更新的草案将使用新的 RFC (比原始 RFC 编号更高) 传播以识别最新的文档。

可以从 RFC Web 站点 (<http://www.rfc-editor.org/>) 处获得 RFC 文档。这个站点目前由发布所有 RFC 分类列表的信息科学院 (ISI) 成员来维护。RFC 按如下标准之一分类：认可的因特网标准、提议的因特网标准 (以草案形式传播，供审阅)、因特网最佳操作或仅供参考 (FYI) 的文档。

TCP/IP 已成为 UNIX 系统互联的一种标准，同时它也是因特网的基础协议。TCP/IP 具有很强的灵活性，支持任意规模的网络，几乎可连接所有的计算机服务器和工作站。虽然 TCP/IP 协议并不是通用的国际标准，但它的应用十分广泛，其特点如下：

- (1) TCP/IP 已走向成熟。
- (2) TCP/IP 具有健全的、有效的管理机构。
- (3) TCP/IP 得到了许多应用软件很好的支持。
- (4) TCP/IP 是在服务器领域占有很大份额的 UNIX 操作系统的基础。
- (5) TCP/IP 与经销商无关。

1. TCP/IP 协议分层结构

TCP/IP 模型采用同样分层的策略使网络实现结构化。与 OSI 参考模型不同的是，TCP/IP 协议采用了 4 层的体系结构。属于 TCP/IP 协议组的所有协议都位于该模型的上面 3 层。如图 1.8 所示，TCP/IP 模型的每一层都对应于国际标准化组织 (ISO) 提议的 7 层“开放系统互联 (OSI)”参考模型的一层或多层。

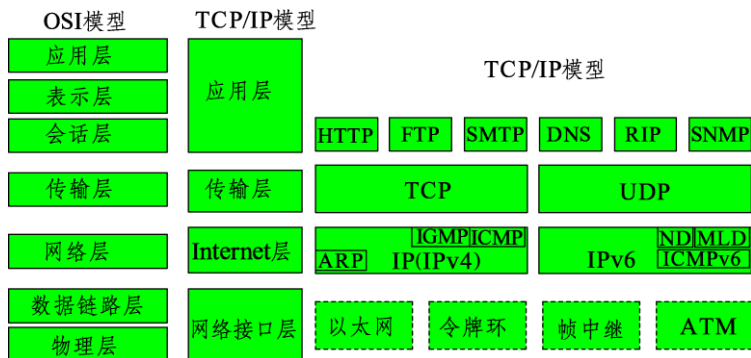


图 1.8 OSI 参考模型与 TCP/IP 协议分层对照

每一层负责不同的功能。下面分别进行介绍：

(1) 网络接口层：通常包括操作系统中的设备驱动程序和计算机中对应的网络接口卡。它们一起处理与电缆或其他任何传输媒介的物理接口细节。

(2) 网络层：有时也称互联网层，处理分组在网络中的活动，例如分组的路由选择。

(3) 传输层：主要为两台主机上的应用程序提供端到端的通信。

(4) 应用层：负责处理特定的应用程序细节。

2. TCP/IP 协议的组件

下面介绍 TCP/IP 协议组件的组成部分：

(1) 应用层：定义了 TCP/IP 应用协议以及主机程序与要使用网络的传输层服务之间的接口，用来支持文件传输、电子邮件、远程登录和网络管理等其他应用程序的协议。包括 Telnet（远程登录）、FTP（文件传输协议）、HTTP（超文本传输协议）、SMTP（简单邮件传输协议）、SNMP（简单网络管理协议）等。

(2) 传输层：提供主机之间的通信会话管理，定义了传输数据时的服务级别和连接状态，提供可靠的和不可靠的传输。在 TCP/IP 协议组件中，有两个互不相同的传输协议：TCP（传输控制协议）和 UDP（用户数据报协议）。

(3) 网络层：将数据装入 IP 数据报，包括用于在主机间以及经过网络转发数据报时所用的源和目标的地址信息，实现 IP 数据报的路由。在 TCP/IP 协议组件中，网络层协议包括 IP 协议（网际协议）、ICMP 协议（Internet 互联网控制报文协议）以及 ARP 协议（地址解析协议）、RARP 协议（反向地址解析协议）。

(4) 物理接口层：指定如何通过网络物理地发送数据，包括直接与网络媒体（如同轴电缆、光纤或双绞铜线）接触的硬件设备如何将比特流转换成电信号。这一层没有 TCP/IP 的通信协议，而要使用介质访问协议，如以太网、令牌环、FDDI、X.25、帧中继、RS-232、v.35 等，为高层提供传输服务。

1.1.4 网络数据传输方式

按照通信方式，网络数据传输分为并行通信和串行通信，其中串行通信分为同步通信和异步通信；按照通信方向，网络数据传输分为单工、半双工和全双工；按照通信时对信道的使用方式，网络数据传输分为共享通信和点对点通信。

1. 并行通信和串行通信

先看两个概念。信号是数据的电磁编码，信号中包含了所要传递的数据。信道是数据传输的通道。数据传输的过程就是发送方把数据编码成信号，通过信道使信号传递到接收方，接收方再把信号解码成数据以便继续处理。信号经由信道从发送方到达接收方的过程就是数据通信方式。有两种通信方式，即并行通信和串行通信，如图 1.9 所示。

并行通信：指使用独立的通信线路同时传输多组数据。并行通信普遍应用于两个短距离设备之间的通信。最常见的例子是计算机和外围设备之间的通信，如计算机和打印机之间的通信。并行传输不适合长距离传输，基于以下原因：第一，在长距离上使用多信道要比使用一条单独信道成本高很多；第二，为了降低信号的衰减，在长距离的传输时要求线缆比较粗，多条这样

的线缆组合成并行信道比较困难；第三，长距离传输时，信号的同步不容易实现。

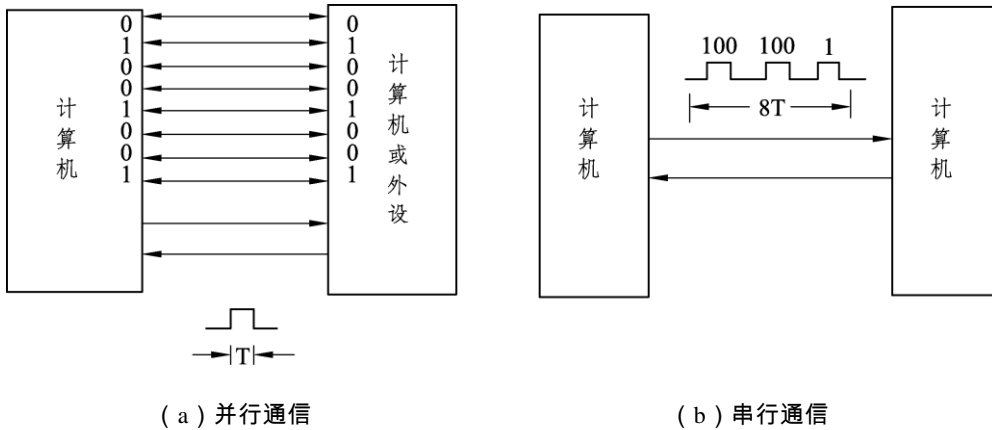


图 1.9 两种通信方式

串行通信：指使用一条通信线路，依次传送多组数据。它具有成本低、适合长距离传输等优点。因为它每次只能发送一个比特位，显然在同等条件下其速度比并行通信慢。串行通信的线路简单，因为它只需要一根传输线。但正是因为只有一根传输线，每次只能传送一位数据，因此串行通信的传送速率低。如果 N 位数据并行传送所需的时间为 T ，则采用串行通信方式传送时，至少需要 NT 时间。从另一方面看，并行传送虽然传送速率高，但需要的传输线路多，这不但使线路复杂，成本提高，而且信号线存在的分布电容会引起线间串扰，影响传送的可靠性。因此两种通信方式各有利弊，可根据实际需要选用某一种通信方式。一般而言，并行通信适用于短距离快速通信，而串行通信适用于长距离传送的情况。

2. 异步和同步传输

异步传输指数据的传送以一个字符为单位。一个字符所包含的位数可以是 8 位、7 位、6 位或 5 位，可根据具体需要来确定。根据需要还可以选择是否设置奇偶校验位，如果设置了校验位，还需选择是采用奇校验还是偶校验等。异步通信的速率在 50 ~ 19 200 波特之间，它常用于主机与 CRT 终端和字符打印机之间的通信，以及分布式控制系统中上位机与下位机之间的通信等。

同步传输方式是指把若干个要传送的数据字符顺序连接起来，组成一个数据块（通常称为一帧），在数据块的开头加上同步字符。同步字符的格式和个数可以根据需要来确定，它被接收器作为确定数据字符块的起始界限。同步传输常用于计算机之间的通信和计算机与 CRT 等外设之间的通信。

异步通信是以字符为单位，把每个字符看作一个独立的信息，用起始位和停止位作为字符开始和结束的标志，在每个字符起始处同步。异步通信仅要求发送器和接收器的时钟能够在一段时间内保持同步，而各个字符之间的发送间隙时间长度不受限制，因此比较容易实现，所需设备也简单。同步通信方式以数据块为单位，许多字符组成的数据块使用公共的成帧字符（同步字符及校验字符），仅在数据块的起始处同步，字符之间没有间隙，也不加起始位和停止位等成帧信号。因此，同步传送的速度高于异步传送。但同步通信要求接收器与发送器的时钟严格保持同步，不仅频率相同，而且要求相位一致，这就需要采取一系列保证措施，

硬件比较复杂。

3. 单工、半双工和全双工通信

前面介绍了数据从发送方到接收方实现数据传输的不同方式。数据传输的过程有明确的方向性，根据数据传输的方向不同，数据通信可以分为单工、半双工和全双工，如图 1.10 所示。

如果甲可以向乙发送数据，但是乙不能向甲发送数据，这样的通信就是单工通信（Simplex Communication）。单工通信是只在一个方向上进行的通信，使用一条单方向的信道。这类似于传呼机，只允许传呼台给传呼机发送信息，而传呼机不能给传呼台发送信息。

如果甲可以向乙发送数据，乙也可以向甲发送数据，但是这两个方向的通信不能同时发生，这样的通信就是半双工通信（Half-Duplex Communication）。半双工通信是不能同时在两个方向上进行的通信，使用一条双向的信道。这类似于架线工人使用的无线步话机，一个人在说话时，另外一个人只能听。

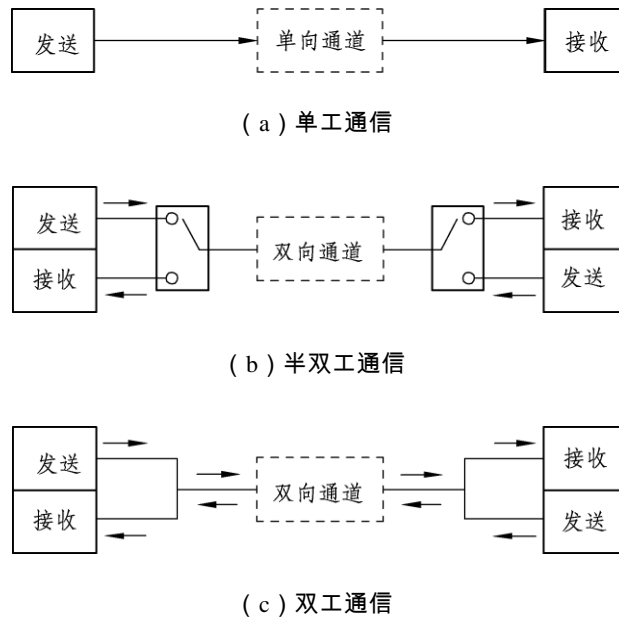


图 1.10 三种通信方式

如果甲可以向乙发送数据，乙也可以同时向甲发送数据，这样的通信就是全双工通信（Full-Duplex Communication）。全双工通信是可以同时在两个方向上进行的通信，使用两条双向的信道。这类似于用手机打电话，对方都可以讲话（只是在一般情况下不会那样做而已）。

单工通信是最简单的，也是通信效率最低的。全双工通信是最复杂的，其通信效率最高。双向通信比较复杂，特别是在网络上。协议必须确保信息能被正确而有序地接收，并允许设备有效地进行通信。网络设备中集线器是半双工的，多数交换机都是全双工的。早期的网卡是半双工的，现在的网卡多数是全双工的。

4. 共享通信和点对点通信

网络通信都离不开传输介质。根据对传输介质的使用方式，数据通信可以分为两类：共享通信和点对点通信。

共享通信指许多节点（多于两个）可以共享传输介质进行通信，如图 1.11 所示。因为多数通信都会独占整个信道，共享通信事实上就是通过一定的分配策略把传输介质分配到多个节点轮流使用，这是通过介质访问控制协议实现的。类似于地上铁路系统，例如京广线，从北京到广州之间的铁路线上运行着许多不同车次的列车，这些列车可能有不同的始发站与终点站，如有北京到广州的，有郑州到武汉的。如果把不同车次的列车看作不同源节点发往不同目标节点的数据，那么铁路调度系统就是介质访问控制协议，负责通信准确有序地发生。通过铁路调度系统，可以节省多修铁路的开销，但是不可避免地会使有的通信变得低效，因为要避免撞车这种情况发生。网络共享通信也是如此，虽然可以节省传输介质，但会有冲突发生。在共享传输介质的网络上，如果有两个或两个以上的节点同时发送数据，就会破坏数据的准确性，这种现象就是冲突。所以有的介质访问协议在传输数据时会检测是否有冲突发生。当冲突发生时，数据发送方都会分别等待一个随机时间后再重新开始传输。显然，冲突频繁发生的网络是低效的。

点对点通信是指两个节点独占传输介质的通信，如图 1.12 所示。点对点通信类似于地下铁路系统，在一条线路上的列车都是从一个始发站到同一个终点站的。这种情况下不会有冲突发生，是最高效的通信，现在的交换网络使用的都是点对点通信。

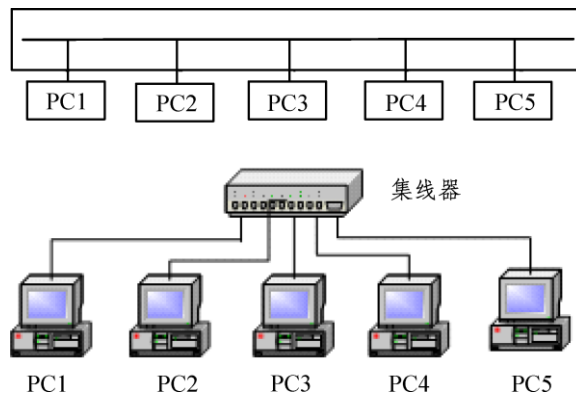


图 1.11 共享通信

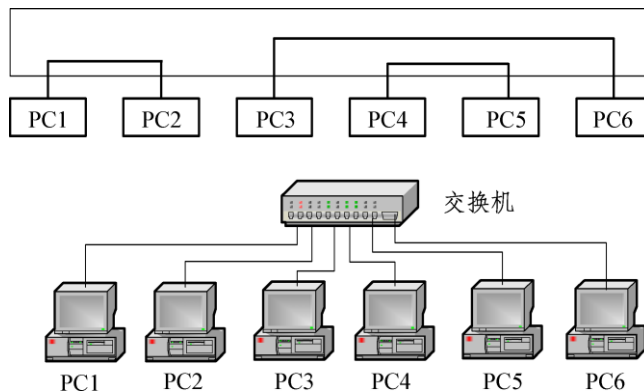


图 1.12 交换网络中点对点通信

通常共享传输介质的网络，其可用带宽只是最大带宽的 30%，并且网络中的节点数目越多这个值就会越小。例如，一个 10 Mb/s 的共享传输介质的网络可用带宽往往不会超过 3 Mb/s。点对点的通信要比共享通信性能好得多，其可用带宽会很接近最大带宽，可以超过 90%。另外，对于点对点的通信，可以很容易地实现全双工。那么对于一个 10 Mb/s 的点对点网络，在全双工的情况下，可用带宽可接近 20 Mb/s。随着网络技术和网络设备价格的下降，人们为了提高网络性能，逐渐用交换机替代集线器，用点对点通信的交换网络替代共享网络。

1.2 数据链路层协议

1.2.1 数据链路层概述

数据链路层简称为链路层，通常包括操作系统中的设备驱动程序和计算机中对应的网络接口卡。它们一起处理与电缆（或其他任何传输媒介）的物理接口细节。ARP（地址解析协议）和 RARP（逆地址解析协议）是某些网络接口（如以太网和令牌环网）使用的特殊协议，用来转换 IP 层和网络接口层使用的地址。

数据链路层最基本的服务是将源计算机网络层来的数据可靠地传输到相邻节点的目标计算机的网络层。为达到这一目的，数据链路层必须具备一系列相应的功能，主要有：将数据组合成数据块（在数据链路层中将这种数据块称为帧，帧是数据链路层的传送单位）；控制帧在物理信道上的传输，包括处理传输差错，调节发送速率以使之与接收方相匹配；在两个网络实体之间提供数据链路通路的建立、维持和释放管理。这些功能具体表现在以下几个方面。

1. 帧同步

为了向网络层提供服务，数据链路层必须使用物理层提供的服务。而物理层我们知道，它是以比特流进行传输的，这种比特流并不保证在数据传输过程中没有错误，接收到的位数量可能少于、等于或者多于发送的位数量。而且它们还可能有不同的值，这时数据链路层为了能够实现数据有效的差错控制，就采用了一种“帧”的数据块进行传输。而要采用帧格式传输，就必须有相应的帧同步技术，这就是数据链路层的“成帧”（也称为“帧同步”）功能。

采用帧传输方式的好处是，在发现有数据传送错误时，只需将有差错的帧再次传送，而不需要将全部数据的比特流进行重传，这样传送效率将大大提高。但同时也带来了两方面的问题：（1）如何识别帧的开始与结束；（2）在夹杂着重传的数据帧中，接收方在接收到重传的数据帧时是识别成新的数据帧，还是识别成已传帧的重传帧呢？这就要靠数据链路层的各种“帧同步”技术来识别了。“帧同步”技术既可使接收方能从以上并不是完全有序的比特流中准确地区分出每一帧的开始和结束，同时还可识别重传帧。

2. 差错控制

在数据通信过程中可能会因物理链路性能和网络通信环境等因素，难免会出现一些传送错误，但为了确保数据通信的准确，又必须使得这些错误发生的概率尽可能低。这一功能也是在

数据链路层实现的，就是它的“差错控制”功能。

在数字或数据通信系统中，通常利用抗干扰编码进行差错控制。一般分为4类：前向纠错（FEC）、反馈检测（ARQ）、混合纠错（HEC）和信息反馈（IRQ）。

FEC方式是在信息码序列中，以特定结构加入足够的冗余位——称为“监督元”（或“校验元”）。接收端解码器可以按照双方约定的这种特定的监督规则，自动识别出少量差错，并能予以纠正。FEC最适于高速实时传输的情况。

在非实时数据传输中，常用ARQ差错控制方式。解码器按编码规则逐一对接收码组检测其错误。如果无误，向发送端反馈“确认”ACK信息；如果有错，则反馈回ANK信息，以表示请求发送端重复发送刚刚发送过的这一信息。ARQ方式的优点在于编码冗余位较少，可以有较强的检错能力，同时编解码简单。由于检错与信道特征关系不大，在非实时通信中ARQ方式具有普遍应用价值。

HEC方式是上述两种方式的有机结合，即在纠错能力内，实行自动纠错；而当超出纠错能力的错误位数时，可以通过检测而发现错码，不论错码多少都可以利用ARQ方式进行纠错。

IRQ方式是一种全回执式最简单差错控制方式。在该检错方式中，接收端将收到的信码原样转发回发送端，并与原发送信码相比较，若发现错误，则发送端再进行重发。它只适于低速非实时数据通信，是一种较原始的做法。

3. 流量控制

在双方的数据通信中，如何控制数据通信的流量同样非常重要。它既可以确保数据通信的有序进行，还可避免通信过程中不会出现因为接收方来不及接收而造成的数据丢失。这就是数据链路层的“流量控制”功能。数据的发送与接收必须遵循一定的传送速率规则，可以使得接收方能及时地接收发送方发送的数据。并且当接收方来不及接收时，就必须及时控制发送方数据的发送速率，使两方面的速率基本匹配。

4. 链路管理

数据链路层的“链路管理”功能包括数据链路的建立、链路的维持和链路的释放三个方面。当网络中的两个结点要进行通信时，数据的发送方必须确知接收方是否已处在准备接收的状态。为此通信双方必须先要交换一些必要的信息，以建立一条基本的数据链路。在传输数据时要维持数据链路，而在通信完毕时要释放数据链路。

5. MAC寻址

这是数据链路层中的MAC子层的主要功能。这里所说的“寻址”与后文介绍的“IP地址寻址”是完全不一样的，因为此处所寻找的地址是计算机网卡的MAC地址，也称“物理地址”或“硬件地址”，而不是IP地址。在以太网中，采用媒体访问控制（MAC）地址进行寻址，MAC地址被烧入每个以太网网卡中。这在多点连接的情况下非常必要，因为在这种多点连接的网络通信中，必须保证每一帧都能准确地送到正确的地址，接收方也应当知道发送方是哪一个站。