

第 1 章 计算机网络基础

【情境描述】 2020 年是互联网前身阿帕网(ARPAnet)诞生 51 周年。在现代计算环境中,分散在各处的计算机经过通信设施彼此互联在一起,共同提供着人们所需要的计算服务和信息服务。这些独立运行又彼此互相通信的计算机和连接它们的通信设施就构成了计算机网络,正是这种计算机网络支撑着今天的计算环境,把计算能力带到了用户所需要的场所。

1.1 计算机网络的产生与发展

所谓联网,就是把计算机与计算机经过通信线路连接起来,使其彼此能相互通信。计算机网络的发展经过了以下几个阶段。

1. 联网的尝试

从 20 世纪 50 年代开始,美国军方所研制的半自动地面防空系统(SAGE)试图把各雷达站测得的数据传送到计算机中进行处理。自 1958 年建成纽约防区,到 1963 年共建成了 17 个防区。该项工程投入了约 80 亿美元,推动了当时计算机产业的技术进步。

几乎同时,美国 IBM 公司研制了全美航空订票系统(SABRAI)。到 1964 年,美国各地的旅行社就都能用它来预定航班的机票了。

严格地说,上述两个系统都只是将远程终端和主机联机的系统,只是人们联网的尝试,并没有实现计算机之间的联网。同一时期,在大学与研究机构中,为均衡计算机的负荷和共享宝贵的硬件资源也进行着计算机间通信的试验,做了联网的种种尝试。

2. ARPAnet 的诞生

20 世纪 60 年代,在数据通信领域提出了分组交换的概念,这是人们着手研究计算机间通信技术的开端。1968 年美国国防部高级研究计划署(advanced research projects agency, ARPA)资助了对分组交换的进一步研究,1969 年 12 月,在西海岸建成有 4 个通信节点的分组交换网,这就是最初的 ARPAnet。随后,ARPAnet 的规模不断扩大,很快遍布美国的西海岸和东海岸之间。

ARPAnet 实际上分成了两个基本的层次,底层是通信子网,上层是资源子网。初期的 ARPAnet 租用专线连接专门负责分组交换的通信节点。通信节点实际上是专用的小

型计算机,线路和节点组成了底层的通信子网。大型主机通常分接到通信节点上,由通信节点支持它的通信需求。由于这些大型主机提供了网上最重要的计算资源和数据资源,故有些文献说联网的主机及其终端构成了 ARPAnet 上的资源子网。这种把网络分层的做法,极大地简化了整个网络的设计。

分组交换和进行网络服务的分层对计算机网络的发展都起了重要的作用。

3. 多种网络技术的并存

20 世纪 70 年代是多种网络技术并存的发展阶段,也是标准化备受关注的时期,微机和局域网的诞生是这一时期的两个重大事件。

1) 各公司自行制定了网络的体系结构

在 20 世纪 70 年代,IBM、Dec 等计算机公司分别制定了自己计算机产品的联网方案。在公司内部以及自身的用户群中建立了一批专门性的网络,并分别确定了网络的体系结构。IBM 所生产的各种计算机,能够以系统网络体系结构(SNA)组网;Dec 生产的各种型号的计算机则能够以 Digit 网络体系结构(DNA)组网,不同的计算机公司,用于组成网络的硬件、软件和通信协议都各不兼容,难以互相连接。

2) 标准化备受关注

在这个阶段,人们开始在标准化方面进行大量的工作。当时的电报电话咨询委员会(CCITT)制定了分组交换的 X.25 标准。从西欧开始,先后在世界各地建立了遵循 X.25 标准的公共数据网(PDN)。公共数据网的建立对组建远程计算机网络起了重大作用。

同期,国际标准化组织(ISO)在当时负责信息处理与计算机方面标准制订的技术委员会(TC97)的几个子委员会的努力下,分别建立了开放系统互联参考模型(OSI/RM)和在这一框架模型下相关的各项标准。制定这个参考模型的目的是规定计算机系统在与其它计算机系统通信时应当遵循的通信协议。这样不管系统本身多么不同,只要在与别的系统通信时遵循相同的协议与规则,就被认为是开放系统。

3) 局域网

局域网(LAN)诞生于 20 世纪 70 年代中期,随着微电子技术的进步,其性能价格比都在急剧提高。到了 20 世纪 80 年代,经济低廉的微型计算机的性能早已超过了早期的大型计算机,这极大地促进了计算机应用的普及。局域网则在近距离内,通过可共享的信道连接了多台计算机。这种简易、低成本又安全可靠的网络结构解决了微型计算机彼此通信的问题,使局域网上的激光打印机、大型主机、高档工作站、超级小型机和大容量的存储设备都可以被网上多台微型计算机所共享,这就使计算机应用的成本进一步降低了,因此 LAN 被各行各业普遍接受了。

几乎是在同一时期,为了满足不同的需要,开发了几种不同的 LAN 技术,各种局域网的性能、价格和通信协议各不相同,当然这也为相互联网增了一些难度。

局域网与远程网络的互联,使局域网上每个用户都能访问远方的主机,这又反过来提出了如何使不同计算机、网络广泛互联的新课题,这种广泛互联的需求促使 Internet 崛起了。

4) Internet——TCP/IP 的崛起

20 世纪 80 年代初期,为了使不同型号的计算机和执行不同协议的网络都能彼此互联,ARPA 资助了相关的研究项目,特别是为了使互不兼容的 LAN 都能与 WAN 互联,建立了 Internet 项目组。

美国国家科学基金会(NSF)于 1980 年前资助了旨在使各大学计算机科学系彼此联网的项目,建立了 CSnet(计算机科学网)。它以灵活的策略,采用不同方式实现了广泛的互联。网上的资源共享和电子邮件(E-mail)促进了合作与交流。

CSnet 的成功,促使 NSF 在 1985 年提出使百所大学用 TCP/IP 联网的计划并建立了使用 TCP/IP 的 NSFnet,它与 ARPAnet 在费城的卡内基—梅隆大学彼此互联,NSFnet 成了 Internet 的组成部分。在 NSFnet 建成之前,网络的使用者只是计算机科学家、军方、大公司及与政府签约的机构;在 NSFnet 建成之后,大学各学科的师生都能使用网络了,这的确是个非常重大的转变。

为使美国在未来的发展中能始终领先,NSF 认为应当使每个科技人员都能使用网络。1987 年 NSF 决定用 T1 干线(1.544Mb/s)连接几个国家级的高性能计算中心,这个 T1 主干网于 1988 年夏天建成,实际上替代了原有的 ARPAnet 主干网。在这个形势下,ARPAnet 于 1990 年宣布退出运营。NSF 在建设主干网的同时,又资助各地区建设了中级网络。各地区的中级网络连接本地区的主要城市、各个大学校园网及各个公司的企业网,使它们既彼此互联,又能接到 Internet 主干,这样就形成了主干网、中级网及校园网(企业网)三级网络彼此互联的层次结构。

从 1988 年起,Internet 就正式跨出了美国国门,首先是接到了加拿大、法国和北欧诸国,随后延伸到了地球的每个大洲的各个角落。

1.2 计算机网络的基本概念

1.2.1 计算机网络的定义

按资源共享的观点,计算机网络就是利用通信设备和线路将分布在地理位置不同的、功能独立的多个计算机系统连接起来,在网络操作系统、网络通信协议及网络管理软件的管理和协调下,实现网络资源共享和信息传递的计算机系统。

1.2.2 计算机网络的功能

计算机网络的主要功能包括实现数据信息的传输,实现资源共享,提供负载均衡与分布式处理能力。

1. 数据传输

计算机网络中的计算机之间或计算机与终端之间,可以快速可靠地相互传递数据、程

序或文件。例如,腾讯 QQ、微信等通信工具可以使相隔万里的异地用户快速准确地相互通信;Web 服务将互联网信息快捷地传输到世界各地,互联网用户可以非常便捷地获取世界各地的信息。

2. 资源共享

计算机网络可以实现网络资源的共享。这些资源包括硬件、软件和数据。资源共享是计算机网络组网的目标之一。

(1) 硬件共享。用户可以使用网络中计算机所连接的硬件设备,如共享打印机、共享存储等。

(2) 软件共享。用户可以使用远程主机的软件——包括系统软件 and 用户软件,既可以将相应软件调入本地计算机执行,也可以将数据送至对方主机,运行其软件,并返回结果。

(3) 数据共享。网络用户可以使用其他主机和用户的数据。

3. 系统的可靠性与负载均衡

通过计算机网络实现网络备份可以提高计算机系统的可靠性。当某一台计算机、网络设备出现故障时,可以立即由计算机网络中的另一台计算机、网络设备来代替其完成所承担的任务。与此同时,还可以配置负载均衡策略,由不同计算机、不同网络设备分担实现计算机网络的数据处理工作,如集群技术、设备虚拟化技术。

4. 分布式网络处理

对于大型的任务或当网络中某台计算机的任务负荷太重时,可将任务分散到网络中的其他计算机上进行,或由网络中比较空闲的计算机分担负荷,这样既可以处理大型的任务,使得一台计算机不会负担过重,又提高了计算机的可靠性,起到了分布式处理和均衡负荷的作用,如云计算技术。

1.2.3 计算机网络的构成

计算机网络在逻辑上可以划分为两部分,一部分的主要工作是对数据信息的收集和处理;另一部分则专门负责信息的传输,ARPAnet 把前者称为资源子网,后者称为通信子网,如图 1-1 所示。

1. 资源子网

资源子网主要是对信息进行加工和处理,面向用户,接受本地用户和网络用户提交的任务,最终完成信息的处理。它包括访问网络和处理数据的硬软件设施,主要有计算机、终端和终端控制器、计算机外设、有关软件和共享的数据等。

1) 主机

网络中的主机(host)可以是大型机、小型机或微型计算机,它们是网络中的主要资

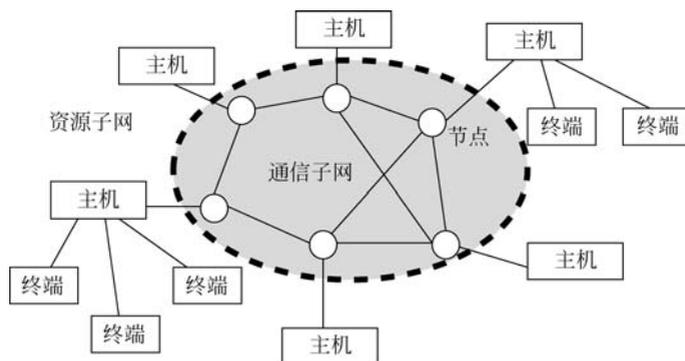


图 1-1 资源子网和通信子网

源,也是数据资源和软件资源的拥有者,一般都通过高速线路将它们和通信子网的节点相连。

2) 终端和终端控制器

终端是直接面向用户的交互设备,可以由键盘和显示器组成的简单的终端,也可以是微型计算机系统;终端控制器连接一组终端,负责这些终端和主计算机的信息通信,或直接作为网络节点。在局域网中它相当于集线器(hub)。

3) 计算机外设

计算机外设主要是网络中的一些共享设备,如大型的磁带机、高速打印机、大型绘图仪等。

2. 通信子网

通信子网主要负责计算机网络内部信息流的传递、交换和控制,以及信号的变换和通信中的有关处理工作,间接地服务于用户。它主要包括网络节点、通信链路、交换机和信号变换设备等软硬件设施。

1) 网络节点

网络节点的作用:①作为通信子网与资源子网的接口,负责管理和收发本地主机和网络所交换的信息,相当于通信控制处理机 CCP(在 ARPAnet 中称为接口信息处理机 IMP——interface message processor);②作为发送信息、接收信息、交换信息和转发信息的通信设备,负责接收其他网络节点传送来的信息并选择一条合适的链路发送出去,完成信息的交换和转发功能。网络节点主要包括交换机(switch)、路由器(router)以及负责网络中信息交换的设备等。

2) 通信链路

通信链路是两个节点之间的一条通信信道。链路的传输介质包括双绞线、同轴电缆、光纤、无线电、微波通信、卫星通信等。一般在大型网络中和相距较远的两节点之间的通信链路,都利用现有的公共数据通信线路。

3) 信号变换设备

信号变换设备的功能是对信号进行变换以适应不同传输媒体的要求。这些设备一般

有：将计算机输出的数字信号变换为电话线上传送的模拟信号的调制解调器、无线通信接收和发送器(如无线 AP、无线路由器)、用于光纤通信的编码解码器等(如光猫)。

1.2.4 计算机网络的类型

对计算机网络的分类有多种形式,主要有以下几种。

1. 按跨度分类

网络的跨度是指网络可以覆盖的地理范围,根据网络覆盖的地理范围,网络可以分为广域网、局域网、城域网等。

1) 广域网(wide area network, WAN)

广域网有时也称远程网,其覆盖范围通常在数十千米以上,可以覆盖整个城市、国家,甚至整个世界,具有规模大、传输延迟大的特征。广域网通常使用的传输装置和媒体由电信部门提供;但随着多家经营的政策落实,也出现其他部门自行组网的现象。在我国除电信网外,还有广电网、联通网等为用户提供远程通信服务。

广域网主要有以下技术特点。

- ① 广域网覆盖的地理范围从几十千米到几千千米。
- ② 广域网的通信子网主要使用分组交换技术,它的通信子网可以利用公用分组交换网、卫星通信网和无线分组交换网。
- ③ 广域网需要适应大容量与突发性通信、综合业务服务、开放的设备接口与规范化的协议以及完善的通信服务与网络管理的要求。

2) 局域网(local area network, LAN)

局域网也称局部区域网络,覆盖范围常在几千米以内,限于单位内部或建筑物内,常由一个单位投资组建,具有规模小、专用、传输延迟小的特征。目前我国绝大多数企业都建立了自己的企业局域网。局域网只有与局域网或者广域网互联,进一步扩大应用范围,才能更好地发挥其共享资源的作用。

局域网主要有以下技术特点。

- ① 局域网覆盖有限的地理范围,一般属于一个单位。
- ② 提供高数据传输速率(10M~1000Mb/s)。
- ③ 决定局域网特性的主要技术要素为网络拓扑、传输介质与介质访问控制方法。

3) 城域网(metropolitan area network, MAN)

城域网也称市域网,覆盖范围一般是一个城市,介于局域网和广域网之间。城域网使用了广域网技术进行组网。

城域网主要有以下技术特点。

- ① 它是介于广域网与局域网之间的一种高速网络。
- ② 城域网设计的目标是满足几十千米范围内的大量企业、公司的多个局域网互联的需求。
- ③ 它可以实现大量用户之间的数据、语音、图形与视频等多种信息的传输。

④ 早期城域网采用的主要产品是 FDDI。

随着网络技术的发展,新型的网络设备和传输介质的广泛应用,距离的概念逐渐淡化,局域网以及局域网互联之间的区别也逐渐模糊。同时,越来越多的企业和部门开始利用局域网以及局域网互联技术组建自己的专用网络,这种网络覆盖整个企业和部门,范围可大可小。

2. 按网络采用的传输技术分类

按网络所使用的传输技术可以将网络分为点对点传播方式网和广播式传播网。

在采用点对点线路的通信子网中,每条物理线路连接一对节点,其分组传输要经过中间节点的接收、存储、转发,直至目的节点。从源节点到达目标节点可能存在多条路径,因此需要使用路由选择算法。

在采用广播信道的通信子网中,一个公共的通信信道被多个网络节点共享。

采用路由选择和分组存储转发是点对点式网络与广播式网络的重要区别。

3. 按管理性质分类

根据对网络组建和管理的部门和单位不同,常将计算机网络分为公用网和专用网。

1) 公用网

公用网由电信部门或其他提供通信服务的经营部门组建、管理和控制,网络内的传输和转接装置可供任何部门和个人使用。公用网常用于广域网的构造,支持用户的远程通信,如我国的电信网、广电网、联通网等。

2) 专用网

专用网是由用户部门组建经营的网络,不允许其他用户和部门使用。由于投资的因素,专用网常为局域网或者是通过租借电信部门的线路而组建的广域网,如由学校组建的校园网、由企业组建的企业网等。

3) 利用公用网组建专用网

许多部门直接租用电信部门的通信网络,并配置一台或者多台主机,向社会各界提供网络服务,这些部门构成的应用网络称为增值网络(或增值网),即在通信网络的基础上提供了增值的服务,如中国教育科研网 Cernet、全国各大银行的网络等。

1.3 数据通信基础

1.3.1 基本概念

1. 数据通信系统的基本组成

通信是指信息的传输,它具有 3 个基本要素:信源、信宿和信道,如图 1-2 所示。

(1) 信源是指发送各种信息(语言、文字、图像、数据)的信息源,如人、机器、计算机等。

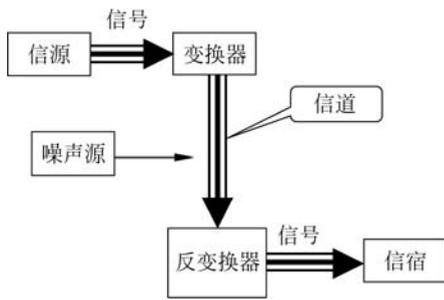


图 1-2 通信系统基本组成

计算机通信中的调制解调器就是一种变换器。

(5) 反变换器提供与变换器相反的功能,将从信道上接收的电(或光)信号转换成信宿可以接收的信息。

(6) 噪声源即通信系统中噪声的来源。通信系统的噪声可能来自各个部分,包括发送或接收信息的周围环境、各种设备的电子器件、信道外部的电磁场干扰等。

2. 数字通信与模拟通信

1) 数据与信号

通信的目的是传输信息,数据是传递信息的实体,它总是和一定的形式相联系。数据分为模拟数据和数字数据两大类。

信号是数据的电编码或电磁编码。它有模拟信号和数字信号两种基本形式,如图 1-3 所示。

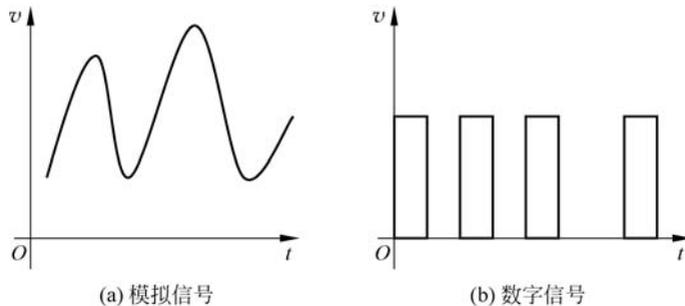


图 1-3 模拟信号和数字信号

(1) 模拟信号反映的是连续信息,取值是连续值,如语音和图像等。

(2) 数字信号反映的是离散信息,数字数据的取值是离散形式的并由字母、符号、数码等表示的数据。

(3) 模拟信号是在某一数值范围内可以连续取值的电信号,如图 1-3(a)所示,如电话机送话器输出的话音信号、电视摄像管产生的图像信号、某些物理的测量结果等。

(4) 数字信号是一种离散信号,如图 1-3(b)所示,它的取值是有限的。

2) 数字传输和模拟传输

模拟数据和数字数据两者都可以用模拟信号或者用数字信号来表示,因而也可以用这两种信号来传输。

通常模拟信号是时间的函数并占有一定的频率范围,可以直接由占有相同频率范围的电磁信号表示。如声音,其声波的频率范围为 20Hz~20kHz。由于声音的能量大多集中在窄得多的频率范围内,所以电话通信规定,语音信号标准频率范围为 300~3400Hz。在此频率范围内,可以十分清晰地传输语音。电话设备的所有输入也是在此频率范围之内。模拟数据也可以用数字信号表示和传输,这时需要有一个将模拟信号转换为数字信号的设备。如声音信号可以通过一个变换器(称编码/译码器)进行数字化。同样,数字数据可以用数字信号直接表示,也可以通过一个变换器(调制解调器,Modem)用模拟信号来表示。

(1) 模拟传输即用模拟信号进行的传输信号。这种传输方法与这些信号是代表模拟数据还是数字数据无关。

(2) 数字传输即用数字信号进行的传输信号。它可以直接传输二进制数据或采用二进制编码数据,也可以传输数字化了的模拟数据,如数字化了的声音。

3. 信道和信道基本参数

(1) 信道是信号可以单向传输的途径,它以传输介质和中继通信设施为基础。信道的类型及特点如表 1-1 所示。

表 1-1 信道的类型和特点

分类	定 义	特 点	传输媒体
有线信道	一对导线构成一条有线信道	传输介质为导线(双绞线或者光纤等),信号沿导线传输,能量相对集中在导线附近,因此具有较高的传输效率	架空明线、电缆和光缆等
无线信道	发送方(信源)使用高频发射机和定向天线发射信号,接收方(信宿)通过接收天线和接收机接收信号	信号相对分散,传输效率较低,安全性较差。无线信道可分为长波、中波、短波、超短波和微波等多种。卫星通信系统是一种特殊的微波中继系统	自由空间
模拟信道	支持模拟信号的传输	在信道上传输一段距离之后,信号将会有所衰减,最终导致传输失真。因此为了支持长距离的信号传输,模拟信道每隔一段距离,应当安装放大器,利用放大器使信道中的信号能量得到补充	电话线、双绞线等
数字信道	支持数字信号的传输	数字信道具有对所有频率的信号都不衰减,或者都作同等比例衰减的特点。长距离传输时,数字信号也会有所衰减,因此数字信道中常采用类似放大器功能的中继器来识别和还原数字信号	光纤等

(2) 信道带宽与信道容量是信道的两个基本参数,它由信道的物理特性所决定。

① 信道带宽即信道可以不失真地传输信号的频率范围。为不同应用而设计的传输介质具有不同的信道质量,所支持的带宽有所不同。

② 信道容量即信道在单位时间内可以传输的最大信号量,表示信道的传输能力。信道容量有时也表示为单位时间内可传输的二进制位的位数(称信道的数据传输速率,位速率),以比特/秒形式的予以表示,简记为 b/s。

(3) 数据传输速率即信道在单位时间内可以传输的最大比特数。信道容量和信道带宽具有正比的关系,带宽越大,容量越大。

局域网带宽(传输速率)一般为 10Mb/s、100Mb/s、1000Mb/s,而广域网带宽(传输速率)一般为 64Kb/s、2Mb/s、155Mb/s、2.5Gb/s 等。

(4) 差错率/误码率是描述信道或者数据通信系统(网络)质量的一个指标,即数据传输系统正常工作状态下信道上传输比特总数与其中出错比特数的比值。

$$\text{差错率/误码率}(P_e) = \frac{\text{出错比特数}}{\text{传输比特数}}$$

信道的差错率与信号的传输速率或者传输距离成正比,网络的差错率则主要取决于信源至信宿之间的信道的质量,差错率越高表示信道的质量越差。

1.3.2 数据传送方式

根据收发双方信息交换的方向性,数据在信道上的传输方式有单工、半双工和全双工之分。

(1) 单工传输是指任意时刻只允许向一个方向进行信息传输,如图 1-4 所示,如广播方式的传输。

(2) 半双工传输是指可以交替改变方向的信息传输,但在任一特定时刻,信息只能向一个方向传输,即半双工传输是一种可切换方向的单工传输,如图 1-5 所示,如对话方式的传输。

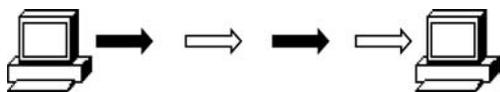


图 1-4 单工传输

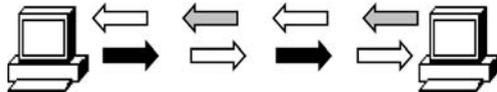


图 1-5 半双工传输

(3) 全双工传输是指任意时刻信息都可进行双向的信息传输,如图 1-6 所示。全双工传输是两个单工传输的结合,要求收发设备都具有独立的收发能力。

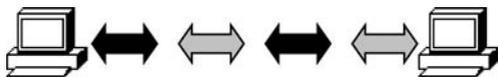


图 1-6 全双工传输