

计算机

网络工程技术

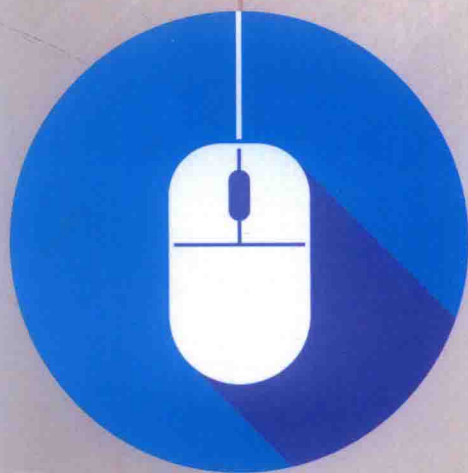
及其实际应用

初雪 著

JISUANJI

WANGLUO GONGCHENG JISHU

JIQI SHIJIAN YINGYONG



中国原子能出版社

计算机

网络工程技术

及其实地应用

初雪 著

中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络工程技术及其实践应用 / 初雪著. --北京:中国原子能出版社, 2018. 7

ISBN 978-7-5022-9232-4

I. ①计… II. ①初… III. ①计算机网络—研究
IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 170825 号

内 容 简 介

计算机网络工程是指按计划进行的以工程化的思想、方式、方法,设计、研发和解决网络系统问题的工程。本书对计算机网络工程技术及其实践应用进行了研究,主要内容包括:网络传输介质与互连设备、网络通信基础、局域网技术、广域网技术、IPv4 与 IPv6、网络安全技术、网络工程建设与管理等。本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,是一本值得学习研究的著作。

计算机网络工程技术及其实践应用

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 刘东鹏

责任校对 冯莲凤

印 刷 三河市铭浩彩色印装有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 16

字 数 287 千字

版 次 2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-9232-4 定 价 63.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: atomep123@126.com

发行电话: 010-68452845

版权所有 侵权必究

前 言

计算机网络技术是当今世界发展最为迅速的一门技术,也是计算机应用中一个空前活跃的领域。新的技术、新的网络标准层出不穷、日新月异,时刻影响并改变着每一个人的生活。对计算机网络技术展开系统性的研究,深入揭示其技术机理,厘清其发展脉络,发掘其技术创新的着力点,为构建集先进性、实用性、扩展性为一体的计算机网络提供有效的解决方案,无疑是一项十分有意义的工作。为此,作者特撰写本书,对计算机网络工程技术及其实际应用展开系统性的研究。

全书内容共分 8 章:第 1 章在简单概述计算机网络的定义、内涵、体系结构、拓扑结构的同时,简单讨论了网络工程的内涵与特点,为全书的研究奠定了基础;第 2 章讨论了网络传输介质与互连设备,其中传输介质从有线介质和无线介质两个方面进行讨论,互联设备按物理层、数据链路层、网络层、应用层进行分类讨论;第 3 章讨论了网络通信的基础理论和基本技术,主要包括信道复用技术、数据编码技术、数据交换技术、差错控制技术等;第 4 章针对局域网技术进行了系统的研究讨论,主要包括局域网的模型与标准、介质访问控制方法、以太网及其组网技术、虚拟局域网和无线局域网等;第 5 章研究讨论了广域网技术,主要包括广域网接入技术、Internet 接入技术、TCP 协议、UDP 协议等;第 6 章针对 IPv4、IPv6 以及从 IPv4 到 IPv6 的过渡技术进行了讨论;第 7 章分析讨论了网络安全技术,主要包括数据加密技术、防火墙技术、计算机病毒及其防治、网络攻击与入侵检测等;第 8 章分析讨论了网络工程的建设与管理,内容主要包括需求分析、网络规划设计、综合布线、测试与验收、管理与维护等。

全书以“系统观”的思想组织网络技术的理论体系,内容完整、逻辑条理、层层递进,完整呈现了计算机网络工程技术的核心概貌。既夯实基础又贴近前沿,既注重理论研究又重视实践应用,还加入了许多作者在相关方面的创新想法。既具有一定的学术价值,又具有广泛的应用性。

在撰写本书的过程中,本人得到了同行业内许多专家学者的指导帮助,也参考了国内外大量的学术文献,在此一并表示真诚的感谢。

计算机网络工程是一个十分活跃的专业领域,新思想、新技术、新标准层出不穷。限于本人水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处,真诚希望有关专家和读者批评指正。

作 者

2018 年 5 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 计算机网络概述	1
1.2 计算机网络的体系结构	8
1.3 计算网络的拓扑结构	14
1.4 网络工程的内涵与特点	18
第 2 章 网络传输介质与互连设备	23
2.1 网络传输介质	23
2.2 物理层使用的设备	34
2.3 数据链路层使用的设备	37
2.4 网络层使用的设备	43
2.5 应用层使用的设备	47
第 3 章 网络通信基础	55
3.1 数据通信基本知识	55
3.2 数据编码技术	64
3.3 多路复用技术	68
3.4 数据交换技术	76
3.5 差错控制技术	79
第 4 章 局域网技术	84
4.1 局域网概述	84
4.2 局域网的模型与标准	88
4.3 介质访问控制方法	92
4.4 以太网及其组网技术	103
4.5 虚拟局域网	110
4.6 无线局域网	117

第 5 章 广域网技术.....	121
5.1 广域网概述	121
5.2 广域网接入技术	124
5.3 Internet 接入技术	130
5.4 TCP 与 UDP 协议	136
第 6 章 IPv4 与 IPv6	145
6.1 IPv4 编址概述	145
6.2 子网划分与子网掩码	155
6.3 IPv6 地址概述	174
6.4 IPv6 的运行方式	184
6.5 IPv6 的路由选择及过渡技术	188
第 7 章 网络安全技术.....	197
7.1 网络安全概述	197
7.2 数据加密	197
7.3 防火墙技术	203
7.4 计算机病毒与防治	213
7.5 网络攻击与入侵检测	214
第 8 章 网络工程建设与管理.....	221
8.1 网络的需求分析与规划	221
8.2 网络方案的设计	228
8.3 网络的综合布线	233
8.4 网络的测试与验收	237
8.5 网络的管理与维护	238
参考文献.....	245

第 1 章 概 述

计算机网络是计算机技术和通信技术紧密结合的产物。它的诞生使计算机的体系结构发生了巨大变化,并在当今社会经济发展中发挥非常重要的作用。一个国家网络建设的规模和应用水平是衡量一个国家综合国力、科技水平和社会信息化的重要标志。在当今的信息社会,计算机网络技术已经进入了一个崭新的时代,网络技术已日益深入到国民经济各部门和社会生活的各个方面,成为人们日常生活和工作中不可缺少的工具。本章将在简要概述计算机网络的定义与发展历程的基础上,讨论其体系结构、拓扑结构以及网络工程的有关内容。

1.1 计算机网络概述

计算机网络源于计算机与通信技术的结合,自 20 世纪 90 年代以来,它取得了长足的发展。在今天,计算机网络技术已经普及到人类生产和生活的各个方面,深刻影响着人类社会的各个领域。

1.1.1 计算机网络的定义

计算机网络是当今人类最熟悉的事物之一,然而在不同的历史时期,人类对计算机网络有着不同的认识与定义。在当前的信息化时代,计算机网络的定义可以简单概括为:一些互相连接的、自治的计算机的集合。这里“互相连接”意味着互相连接的两台或两台以上的计算机能够互相交换信息,达到资源共享的目标。而所谓“自治”,具体指的是,任何一台计算机都可以独立地工作,都不受其他计算机的控制或干预,例如启动、停止等,任意两台计算机之间不需要主从关系。

通过上述定义我们容易发现,计算机网络主要涉及以下三个问题:

(1) 两台或两台以上的计算机相互连接起来才能构成网络,达到资源共享的目标。

(2) 两台或两台以上的计算机相互连接进行通信,就需要有一条通道,这条通道的连接是物理的、由硬件实现,这就是连接介质(有时称为信息传输介质)。它们可以是“有线”介质,也可以是“无线”介质。

(3) 为了使得计算机之间能够很好地交换信息,即实现通信,就必须制定一些协议,这里的协议指的是一些能够确保计算机能够“理解”对方信息的一些约定或规则。

综上所述,我们可以给计算机网络一个更为精确的定义。即所谓计算机网络,是指利用特定设计的通信设备或通信线路,将所处地理位置不同而且彼此独立工作的多台计算机及其外部设备连接起来,使之能够按照一定的约定或规则进行信息交换的一种现代化系统,在该系统之下,人们可以利用各类计算机软件实现信息交换和资源共享。

早期面向终端的网络由于网络中的终端没有自治能力,因此在今天就不能再算作是计算机网络,而只能称为联机系统,但在那个时代,联机系统就是计算机网络。在不同的历史时期,计算机网络的定义显然会有所不同。我们有理由相信,随着计算机技术的不断发展与变迁,计算机网络的定义还会发生变化,而其功能也会越来越强大。

1.1.2 计算机网络的产生与发展

回眸历史,计算机网络经历了从简单到复杂,从单一主机到多台主机,从终端与主机之间的通信到计算机与计算机之间的直接通信等阶段。其发展历程大致可划分为四个阶段。

1. 计算机技术与通信技术结合(诞生阶段)

计算机网络发展的第一阶段是 20 世纪 60 年代末,这一阶段又称萌芽阶段。此时,计算机是只具有通信功能的单机系统,一台计算机经通信线路与若干终端直接相连,该系统被称为终端计算机网络,是早期计算机网络的主要形式,如图 1-1 所示。

第一个远程分组交换网是 ARPANET,它计算机网络发展的第一阶段的典型代表,它的诞生标志着计算机网络的诞生。从功能上看,ARPANET 是通信网络和资源网络复合构成计算机网络系统,这在计算机发展史上具有划时代的意义。这一阶段的网络特征是共享主机资源。存在的问题是主机负荷较重,主机既要承担通信任务又要负责数据处理,通信线路利用率低,网络可靠性差。

这里需要特别指出的是,第一阶段的计算机网络的终端并没有 CPU

和内存,而只有一台计算机及其显示器、键盘等外部设备,不具备自主处理数据的能力,仅能完成输入/输出等功能,所有数据处理和通信任务均由中央主机完成。

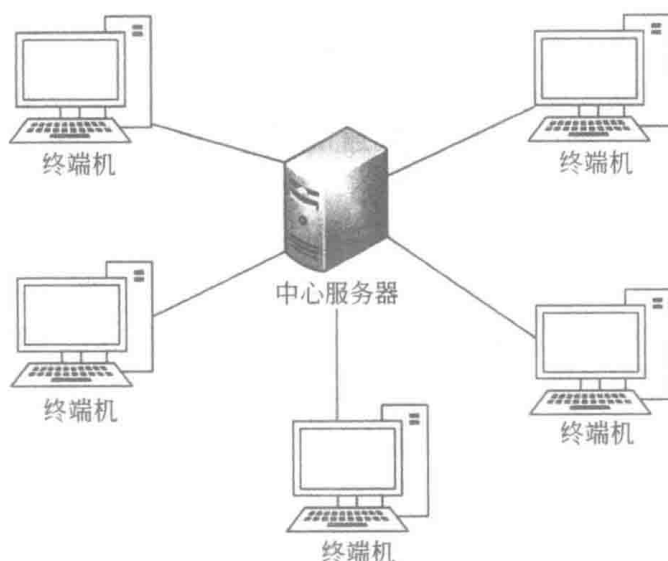


图 1-1 第一阶段的计算机网络

2. 计算机网络具有通信功能(形成阶段)

第二阶段的计算机网络是以多台主机通过通信线路互联,为用户提供服务。主机之间不是直接用线路相连,而是通过接口报文处理机(Interface Message Processor, IMP)实现互联。IMP 及处于它们之间通信线路构成通信子网,而主机间的通信任务正是由通信子网来完成的。对应地,由通信子网互联的主机构成了资源子网,资源子网的主要任务就是运行相关程序,从而实现资源共享。如图 1-2 所示,是第二阶段的计算机网络示意图。总的来说,这一时期计算机网络的基本概念就是:将功能独立的计算机通过一定的技术手段互联起来,构成一个有机的集合体,从而达到资源共享的目的。

这个阶段,每台主机服务的子网之间的通信均是通过各自主机之间的直接连线实现数据的转发。其网络特征是以多台主机为中心,网络结构从“主机—终端”转向为“主机—主机”;而其存在的问题是该阶段各企业的网络体系及网络产品相对独立,没有统一标准。此时的网络只能面向企业内部服务。

随着子网间通信数量的增加,由主机负责数据转发的通信网络显得力不从心,于是新的网络设备被研制出来,即通信控制处理机(Communica-

tion Control Processor, CCP)。该设备负责主机之间的通信控制,使主机从通信任务工作中被分离出来。

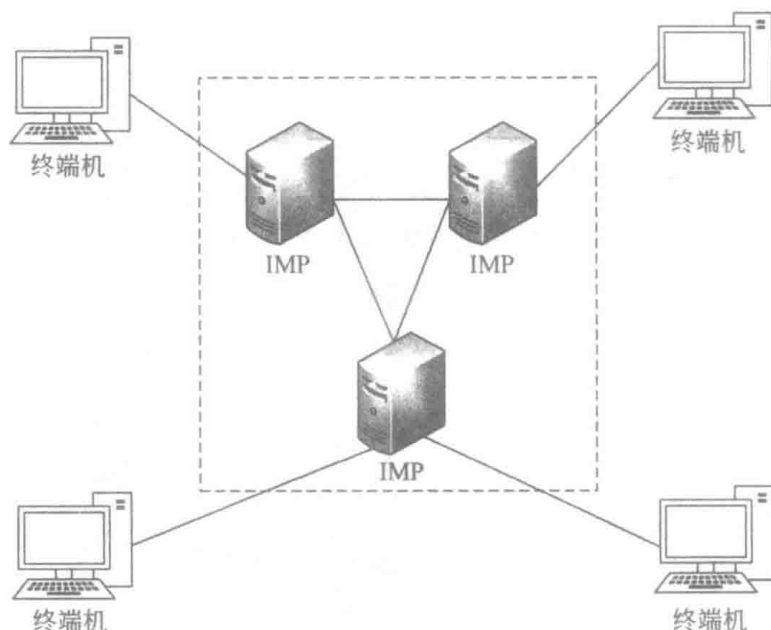


图 1-2 第二阶段的计算机网络

3. 计算机网络互联标准化(互联互通阶段)

20 世纪 70 年代末 80 年代初,网络发展到第三阶段,主要体现在如何构建一个标准化的网络体系结构,使不同公司或部门的网络系统之间可以互联,相互兼容,增加互操作性,以实现各公司或部门间计算机网络资源的最大共享。

1977 年,国际标准化组织成立了“计算机与信息处理标准化委员会”下属的“开放系统互联分技术委员会”,专门着手制定开放系统互联的一系列国际标准。1983 年,ISO 推出“开放系统互联参考模型”(Open System Interconnection/Recommended Model, OSI/RM)的国际标准框架。自此,各网络公司的网络产品有了统一标准的依据,各种不同网络的互联有了可参考的网络体系结构框架。

目前,有两种国际通用的体系结构,即 OSI 和 TCP/IP。这两种结构使网络产品有了统一的标准,同时也促进了企业竞争,尤其为计算机网络向国际标准化方向发展提供了重要依据。

20 世纪 80 年代以后,个人计算机(PC)的应用越来越广泛,这为局域网的产生与发展提供了客观条件。1980 年 2 月,着眼于计算机、个人计算机、

局域网的发展,美国电气与电子工程师协会(IEEE)于旧金山成立了局域网标准委员会(IEEE 802, 又称 LMSC),该组织的基本任务就是致力于制定局域网技术的一系列协议标准。随后的几年时间里,光纤分布式数据接口(FDDI)技术迅速发展起来,该技术又称新一代光纤局域网技术,对局域网技术的发展有着极其重要的推进意义。如图 1-3 所示,是第三阶段的计算机网络的标准化结构图。通过该图容易发现,在第三阶段的计算机网络中,路由器和交换机是通信子网的主要交换设备。

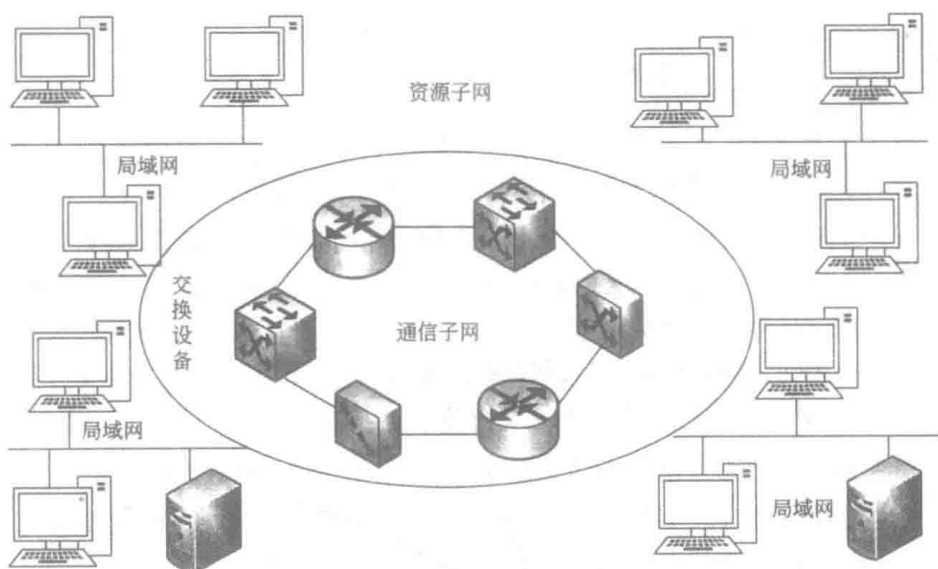


图 1-3 第三阶段的计算机网络

4. 互连、高速、宽带、智能与更广泛的应用

经过上述三阶段的发展,计算机网络所潜藏的巨大使用价值逐渐被人们发掘,计算机网络的应用前景也越来越光明。越来越多的商业机构积极加入到计算机网络技术的研究和发展中来,基于计算机网络的各种应用,也如雨后春笋般涌现。20 世纪 90 年代之后,人类陆续在高速通信技术、大规模集成电路技术、微电子技术等方面取得了重大突破,以这些先进技术为有力支持,计算机网络技术继往开来,向着互联互通、高速化、集成化、智能化的方向不断迈进,新一代网络的问世已经成为大势所趋。

在互联互通方面,以先进的计算机网络技术为依托,不仅全球各地的人们都可以通过 Internet 实现实时通讯,而且诸如虚拟社区、电子政务、电子商务、虚拟大学之类的网络应用层出不穷,通过先进的计算机网络,人类可以实现跨越时间与空间障碍的便捷通信,实现各方面的广泛交流与互动。

随着工业互联网技术的发展,在不久的将来,我们传统的工业生产模式也将被打破,实现“你想要什么样的商品→通知相关生产商→生产商按要求生产→便捷物流配送到你手中”的个性化生产供应。

在高速化方面,网络从十兆以太网、百兆以太网、千兆以太网、万兆以太网到十万兆以太网,它的每个发展过程都给人们带来了惊喜,可谓“长江后浪推前浪,一浪更比一浪强”。

在移动互联网方面,已经从第一代移动通信技术(1G),经历 2G、3G,发展到了如今广泛使用的是第四代移动通信技术(4G),而且 5G 通信的相关技术与标准也已基本就绪。每一次更新换代,都会给广大用户带来更加高速的移动互联网通信体验。

在集成化方面,人类不仅在大规模集成电路技术方面取得了十分卓越的成就,而且更加先进的大数据技术、云计算计算也正在迅速地发展和应用。以著名电子商务供应商京东商城为例,该公司在全国各地建立了完善的仓储/物流配送系统,在此系统的基础上,该公司应用先进的大数据技术和云计算技术,可以很好地估计用户的购买需求。据称,该公司的后台服务系统可以从购买者点集浏览商品开始就能估计到该客户的需求,然后适时地安排配货和转运,在该客户正式下订单之前,相关商品已经完成了长途物流运输过程,剩下的只是从就近仓库到客户手中的一小段距离。

在智能化方面,人工智能技术一直是近些年的热点话题,根据相关技术快讯的报道,计算机网络的智能化已经是大势所趋。目前,有许多大型公司纷纷加入人工智能的研究和应用行列,美国的典型代表有亚马逊、谷歌等,而中国的典型代表有百度、科大讯飞等。就以百度应用人工智能向其手机 APP 用户推送信息流为例而言,相信使用过手机百度的人士一定深有体会。在手机百度上面,你经常搜索什么,对什么话题感兴趣,手机百度就会不停地向你推送相关信息。你喜欢某些演员,你的手机百度里就会频繁出现该演员的相关新闻;你对国家的军事比较关心,你的手机百度里总是会向你推送我国军事科技发展或人民解放军实战演练等相关新闻。不仅如此,百度的技术团队还将用户的消费习惯也集成于其中。细心的用户可以发现,在你浏览的信息最后所附的广告中,广告的商品和服务往往正是你所需要的。这是由于,如果你需要某种商品或服务,你可能在百度里搜索该商品或服务的相关信息,你的这一举动会被百度的人工智能系统准确地记录下来,然后将相关商品或服务的广告链接相应地推送到你所浏览的媒体信息之后。

总之,当今的计算网络正朝着互连、高速、集成化、智能化的方向高速发展。

1.1.3 计算机网络的组成与分类

1. 计算机网络的组成

从资源构成的角度来看,计算机网络是由硬件和软件组成的。硬件包括各种主机、终端等用户端设备,以及交换机、路由器等通信控制处理设备,而软件则由各种系统程序和应用程序以及大量的数据资源组成。但从计算机网络工程的角度看,更多的是从功能的角度去看待计算机网络的组成,并从功能上将计算机网络逻辑划分为资源子网和通信子网。通信子网为资源子网提供信息传送服务,是支持资源子网上用户之间相互通信的基本环境。一般地,计算机网络的主要组成元素包括分组交换器、集线器、多路转换器、分组组装/拆卸设备 PAD、网络控制中心 NCC、网关、资源子网、主机 HOST、终端设备、网络操作系统、网络数据库等。限于本书篇幅,这里不再详细讨论这些组成元素的具体细节,有需要的读者可以参阅相关文献资料。

2. 计算机网络的分类

计算机网络的分类方法有许多种。例如,根据覆盖的地理范围的不同,可以分为局域网、城域网和广域网;根据所采用交换方式的不同,可以分为电路交换网、分组交换网、帧中继交换网、信元交换网等;根据应用规模的不同,可以分为 Intranet、Extranet、Internet;根据拓扑结构的不同,可以分为总线型、星状、环状、网状等;根据所采用的网络协议的不同,可以分为 TCP/IP 协议网络、SNA 协议网络、SPX/IPX 协议网络、AppleTALK 协议网络等。

虽然网络类型的划分标准各种各样,但是从地理范围划分是一种大家都认可的通用网络划分标准。按这种标准可以把各种网络类型划分为局域网、城域网、广域网和互联网四种。局域网(Local Area Network, LAN)一般来说只能是在一个较小区域内;城域网(Metropolitan Area Network, MAN)是不同地区的网络互联;广域网(Wide Area Network, WAN)也称为远程网,所覆盖的范围比城域网更广,地理范围可从几百千米到几千千米;因特网(Internet)是目前地理范围和网络规模都最大的一种网络,它实现了全球计算机的互联,常称之为“Web”“WWW”或“万维网”。不过在此要说明的一点就是,这里的网络划分并没有严格意义上地理范围的区分,只是一个定性的概念。

1.2 计算机网络的体系结构

计算机网络是由多台独立的计算机和各类终端通过传输媒体连接起来,相互交换数据信息的复杂系统,相互通信的计算机系统必须高度协调地工作。计算机网络体系结构从整体角度抽象地定义了计算机网络的构成及各个网络部件之间的逻辑关系和功能,给出了协调工作的方法和计算机必须遵守的规则。

1.2.1 网络的体系结构和协议

代表现代计算机网络的计算机网络体系结构是按结构化方式进行设计的,分层次定义了网络通信功能,制定了各层的通信协议标准。每一层都建立在它的下层之上(除了最低层)。每一层次在逻辑上相互独立,且都具有特定的功能。对于一个网络体系而言,一般情况下,如果其体系结构不同,那么其各层的名称、内容、功能以及所分层次的数量都将会有所不同。但是就目前的计算机网络的具体结构来看,绝大多数情况下,计算机网络中的每一层都是为了给上一层提供一定的服务而设计的。

传统的网络模型是面向传输硬件的,具有十分明显的局限性。层次模型打破了面向传输硬件这一局限,极大地增强了网络的灵活性和可靠性,而且成本十分低廉,在以业务为基础的现代网络中得到了广泛的应用。以层次模型为基础建立基础网,不仅可以专门用于信息位流的传送,而且还可以组建形式多样的业务网,进而满足更多业务和应用的需要。

计算机网络上的数据通信发生在不同系统的实体之间。实体是指能发送和接收信息的任何东西,如用户应用程序、进程、浏览器、电子邮件软件、数据库管理系统等。系统则是指一个物理的物体,可以是计算机、终端设备、网络设备等。系统中可以存在一个或多个实体。两个实体要成功地交换信息就必须具有同样的语言。交换什么,怎样交换及何时交换,都必须遵从互相都能接受的一些规则,这些规则的集合称为协议。协议主要由说明数据格式和结构的语法、定义数据每一位意义的语义、描述事件实现顺序的定时关系 3 个部分组成。

每个协议都用于特定目的,所以各个协议的功能是不一样的。但是也有一些功能会经常出现在不同的协议中,如差错检测和纠正、对数据块的分块和重组、为数据块编号排序、发送和接收速度的协调匹配等。协议的设计

过程通常要考虑网络系统的拓扑结构、信息的传输量、所采用的传输技术、数据存取方式,还要考虑其效率、价格和适用性等问题。

在组建网络的过程中,考虑到网络设备各方面的特性,用户会要求把不同厂商生产的设备互连在一起。为使这些设备相互间能正常交换信息,各个生产厂商都要遵守预先制定的标准,以保证设备间协同工作的能力。尽管标准有时会延长产品的开发时间,降低设计的灵活性,但是来自于用户的需求使工业界认识到使用标准的必要性。目前,标准已被网络设备的制造者所接受,并正在起到促进技术发展的作用。

1.2.2 OSI 参考模型

为使不同公司生产的计算机之间能互连成网,国际标准化组织(ISO)在 1977 年为计算机网络提出了一种独立于特定机型、操作系统的开放系统互连参考模型(OSI/RM)。经过若干年的发展,在 1983 年形成了开放系统互连参考模型的正式文件,即 ISO7498 国际标准。OSI 参考模型是连接异种计算机的标准框架,为连接分布式的“开放”系统提供了基础。所谓开放就是指遵循 OSI 标准后,一个系统就可以和其他也遵循该标准的系统进行通信。

OSI 采用了分层的结构化技术,有 7 层,分别为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层、应用层,各层功能详述如下:

(1)物理层。物理层建立在物理媒体上,是 OSI 参考模型的最底层,负责在物理媒体上传输数据位。所有的通信设备、计算机等均需要用物理媒体互连起来,因此物理层是组成计算机网络的基础。物理层的功能是通过物理媒体,建立、维护和拆除实体之间的物理连接,实现实体之间的位传送,向数据链路层提供一个透明的位流传送服务。

(2)数据链路层。数据链路层最主要的作用就是通过一些数据链路层协议,在相邻节点的物理链路上建立数据链路,实现可靠的数据传输,从而保证数据通信的正确性。数据链路层的主要功能包括数据链路的管理、帧同步、差错检测和恢复、信息流量控制、数据的透明传输、寻址等。

(3)网络层。网络层的任务是将数据信息从源端传输到目的端。从源端到目的端可以经过许多中继节点,也可能要经过好几个通信子网,这是网络层与物理层、数据链路层的主要区别。网络层是处理端到端数据传输的最底层,具备路由选择、拥塞控制等功能。

(4)传输层。传输层的目标是为用户在网络上提供有效、可靠和价格合理的数据传输服务。传输层是整个协议层次结构中最关键的一层。较低层的协议一般要比传输层简单,且容易理解。对于两个需要利用网络进行通

信的主机来说,端到端的可靠通信还是要靠传输层协议来解决。另外,许多网络应用也只需要在两台机器之间进行可靠的位流传输,而不需要任何会话层和表示层的服务。

(5)会话层。会话层给会话用户提供一种称为会话的连接,并在其上提供以普通方式传输数据的方法。会话层的主要功能是数据的交换和会话的管理。

(6)表示层。表示层的主要功能是保证所传输的数据经传输后不改变意义。这是因为各种计算机都有自己的数据信息表示方法,不同的计算机之间交换数据信息需要经过一定的转换,这样才能使数据的意义在不同计算机内保持一致。

(7)应用层。应用层是 OSI 的最高层,它借助应用实体(AE)、应用协议和表示服务交换信息,并给应用进程访问 OSI 环境提供手段。应用层的作用是在实现多个进程相互通信的同时,完成一系列业务处理所需要的服务功能,这些服务功能与业务功能(如远地文件操作、远地报文分发等)有密切的关系。

如图 1-4 所示,是 OSI 参考模型。OSI 是设计和描述网络通信的基本框架、生产厂商根据 OSI 模型的标准设计自己的产品。OSI 描述了网络硬件和软件如何以层的方式协同工作进行网络通信。

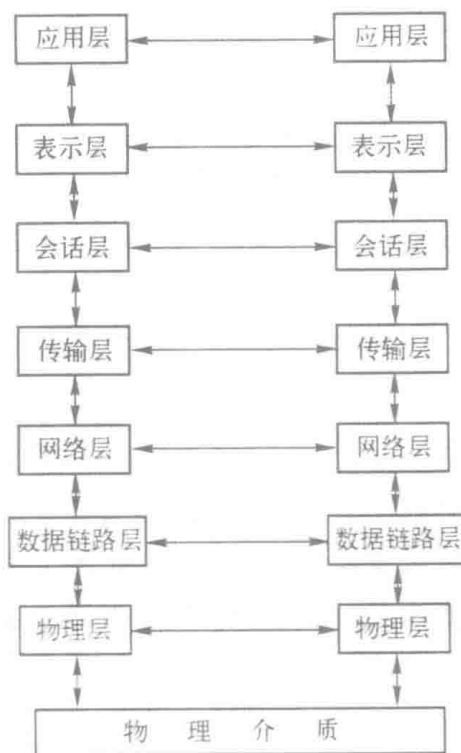


图 1-4 OSI 参考模型