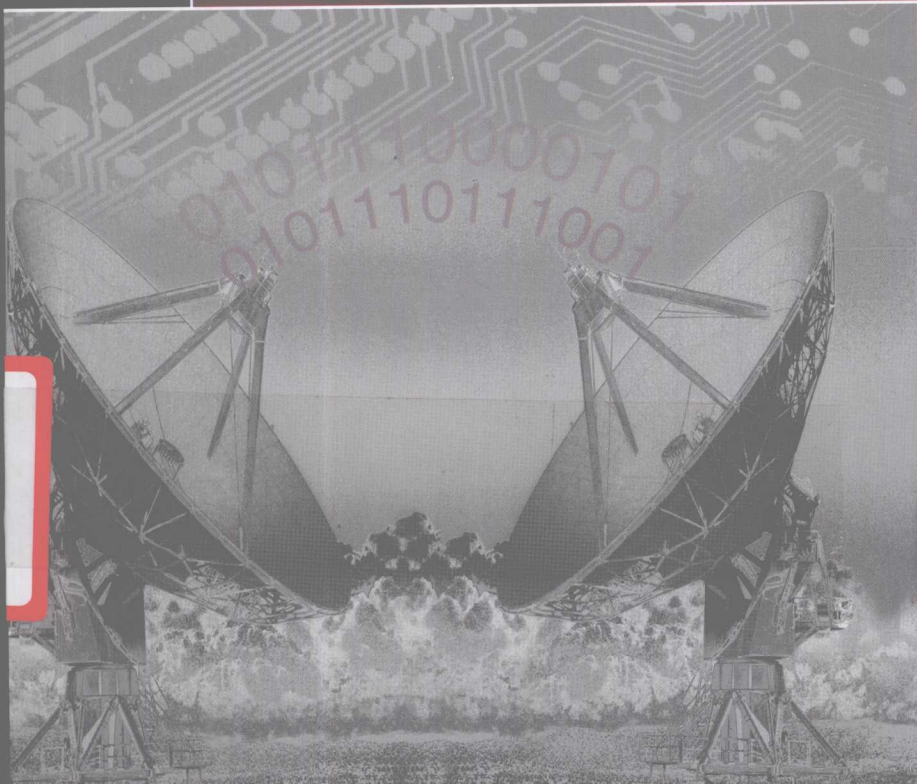


计算机 通信网基础

周德新 主编 张会兵 刘联海 参编



机械工业出版社
China Machine Press

21
世纪

高等院校电子信息类本科规划教材

TN915.01
4

TN915.01
4

计算机 通信网基础

周德新 主编
张会兵 刘联海 参编



机械工业出版社
China Machine Press

本书全面介绍了计算机通信网的基本概念、基本原理和研究网络问题的基本方法。主要内容包括：物理层、数据链路层、数据链路层网络、网络层、传输层、应用层、网络安全与攻防技术等。

本书重点突出，层次分明，知识详尽，说理透彻。力求图文并茂，穿插了367幅插图，便于学习和理解。另外，本书还配有完整的电子课件，便于教学。

本书可作为普通高等院校计算机、通信、电子信息、电子商务、自动化、电气工程等专业的本科生与研究生教材，也可作相关工程技术人员的学习参考用书。

版权所有，侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目(CIP)数据

计算机通信网基础/周德新, 张会兵, 刘联海编. —北京: 机械工业出版社, 2008.12
(21世纪高等院校电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-111-25122-4

I. 计… II. ①周… ②张… ③刘… III. 计算机通信网 IV. TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第141869号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑: 盛东亮

北京慧美印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2008年12月第1版第1次印刷

184mm×260mm·20.75印张

标准书号: ISBN 978-7-111-25122-4

定价: 36.00元

凡购本书, 如有倒页、脱页、缺页, 由本社发行部调换
本社购书热线: (010) 68326294

前言

作者多年从事计算机网络的教学工作,承担过多项有关网络的科研课题,学习了国内外众多著名网络专家的教材和专著,从中得到几点较深的启迪:一是网络技术发展很快,内容越来越多;二是国外一些权威网络教材的版本更新周期变短;三是网络教材更新不单是内容更新,更多的是教材内容的取舍和组织结构的调整。本着上述思想,我们试图编写一本内容较为新颖,尽量反映当前网络技术中最基本和最重要内容的计算机通信网教材。

本书以五层协议的网络模型作为全书的主线。这样做的好处是理论性较强,概念清楚,各章的内容联系紧密,按协议层次由下而上的叙述形成整体。

本书重点突出,点面结合,重点对数据链路层的协议、网络及IP层协议作了较详尽的论述。如果读者偏重于数据传输,则数据链路层协议(也包括物理层)是其关注的重点;如果读者偏重于Internet的研究,则IP协议是关键。

全书力求做到图文并茂,共有367幅插图。每章的后面附有习题,以帮助学生深入学习。

全书由周德新统稿。第1章到第5章由周德新编著,第6章和第7章(部分)由张会兵编著,第8章和第7章(部分)由刘联海编著,附录由张会兵、刘联海合作编写。洪莉老师为全书的排版和校对作了许多工作。

由于水平所限,时间紧迫,错误和不妥之处在所难免。恳请专家和同行批评指正,也希望使用本书的读者给予批评和建议,不胜感谢。

周德新

2008年1月21日于桂林电子科技大学

目 录

前言	2.5.1 频分复用	38
第1章 概述	2.5.2 波分复用	40
1.1 计算机通信网	2.5.3 时分复用	41
1.1.1 什么是计算机通信网	2.5.4 码分复用	44
1.1.2 数据通信	2.6 交换	46
1.1.3 计算机通信网的拓扑结构	2.6.1 电路交换	47
1.2 计算机通信网的分类	2.6.2 报文交换	48
1.3 因特网	2.6.3 分组交换	48
1.4 协议和标准	2.7 利用公用电话网传输数据	54
1.5 网络模型	2.7.1 PSTN的组成	54
1.5.1 网络的层次结构	2.7.2 调制解调器	54
1.5.2 OSI 模型	2.7.3 数字用户线	56
1.5.3 TCP/IP协议栈	2.8 SONET/SDH	58
1.5.4 网络模型的工作举例	2.8.1 SONET/SDH的速率	58
习题	2.8.2 SONET/SDH网络	59
第2章 物理层	2.8.3 SONET/SDH的帧	60
2.1 物理层的功能	习题	62
2.2 数据通信基础	第3章 数据链路层	65
2.2.1 数据通信系统的组成	3.1 数据链路层的功能	65
2.2.2 数据和信号	3.2 错误检测和纠正	66
2.2.3 模拟传输系统和数字传输系统	3.2.1 错误检测	67
2.2.4 数据通信模式	3.2.2 错误纠正	71
2.2.5 数据传送方式	3.3 数据链路控制	72
2.2.6 信道最大数据传输速率	3.3.1 成帧	72
2.3 传输媒体	3.3.2 流量控制和错误控制	74
2.3.1 导向传输媒体	3.3.3 停止等待ARQ协议	77
2.3.2 非导向传输媒体	3.3.4 连续ARQ协议	80
2.4 编码与调制	3.3.5 选择重传ARQ协议	86
2.4.1 数字数据的编码	3.3.6 数据链路层协议举例	91
2.4.2 模拟信号的编码	3.4 媒体访问控制	97
2.4.3 数字数据的调制	3.4.1 随机访问协议	97
2.4.4 模拟信号的调制	3.4.2 受控访问协议	103
2.5 复用	3.4.3 信道静态分配	104
	习题	104

第4章 数据链路层网络	106
4.1 IEEE标准	106
4.2 以太网	107
4.2.1 标准以太网	107
4.2.2 快速以太网	113
4.2.3 千兆以太网	115
4.2.4 万兆以太网	118
4.3 无线局域网	118
4.3.1 IEEE802.11	118
4.3.2 蓝牙	128
4.4 局域网的互连	131
4.4.1 网络连接设备	132
4.4.2 虚拟局域网 (VLAN)	138
4.5 帧中继	141
4.5.1 帧中继网的组成	141
4.5.2 帧中继的协议	142
4.6 ATM	144
4.6.1 ATM的产生和特点	144
4.6.2 ATM网络	146
4.6.3 ATM的协议栈	149
4.6.4 ATM的应用与展望	150
习题	151
第5章 网络层	152
5.1 网络层的几个问题	152
5.1.1 网络层的功能和服务	152
5.1.2 虚电路网络和数据报网络	154
5.1.3 路由器的组成和作用	156
5.1.4 网络层设计要解决的主要问题	158
5.1.5 本章主要内容和讨论方法	158
5.2 IP地址	159
5.2.1 IPv4地址	159
5.2.2 IPv6地址	167
5.3 IP协议	170
5.3.1 IPv4协议	170
5.3.2 协同IPv4工作的协议	175
5.3.3 IPv6协议	184
5.4 路由算法和路由协议	189
5.4.1 分组的转发	190
5.4.2 单播路由协议	196
5.4.3 多(组)播路由协议	211
5.5 拥塞控制和服务质量	218
5.5.1 拥塞的概念和拥塞控制	218
5.5.2 服务质量QoS	221
习题	221
第6章 传输层	225
6.1 传输层概述	225
6.1.1 传输层的位置	225
6.1.2 传输层的服务	225
6.1.3 传输层的相关机制	227
6.1.4 TCP/IP体系中的传输层	231
6.2 TCP/IP的用户数据报协议UDP	232
6.2.1 UDP概述	232
6.2.2 UDP协议	233
6.2.3 UDP的应用	236
6.3 TCP/IP的传输控制协议TCP	237
6.3.1 TCP概述	237
6.3.2 TCP协议	238
6.3.3 TCP的连接管理	241
6.3.4 TCP的差错控制和流量控制	247
6.3.5 TCP的拥塞控制	254
6.3.6 TCP的糊涂窗口综合症	258
6.3.7 TCP的定时器管理	260
6.4 基于WinSock的简单应用	261
6.4.1 WinSock基本原理	261
6.4.2 基于WinSock的编程模型	263
习题	265
第7章 应用层	267
7.1 域名系统	267
7.1.1 域名系统的基本应用	267
7.1.2 DNS的基本概念	268
7.1.3 DNS的域名解析	270
7.1.4 DNS的封装	273
7.2 电子邮件	273
7.2.1 电子邮件的体系结构	273
7.2.2 用户代理UA	274
7.2.3 报文传送代理SMTP	275
7.2.4 报文访问代理POP3	276
7.2.5 电子邮件系统的功能扩展和改进	277

7.3 文件传送协议	277
7.3.1 FTP的基本结构和工作原理	278
7.3.2 FTP的访问	279
7.4 万维网	279
7.4.1 万维网的结构	279
7.4.2 静态页面和HTML	282
7.4.3 动态万维网文档	283
7.4.4 超文本传输协议	285
7.5 简单网络管理协议	287
7.5.1 网络管理的基本概念	287
7.5.2 SMI	289
7.5.3 MIB	290
7.5.4 SNMP	291
习题	292

第8章 网络安全与攻防技术294

8.1 信息安全技术	294
8.1.1 信息安全基础	294
8.1.2 密码学	294
8.1.3 对称加密体系	295
8.1.4 非对称加密体系	296

8.1.5 散列函数	297
8.2 网络安全	298
8.2.1 数字签名	298
8.2.2 认证	299
8.2.3 IP安全	299
8.2.4 Web安全	301
8.2.5 电子邮件安全	301
8.2.6 网络系统安全	302
8.3 网络攻击与防范	305
8.3.1 入侵检测与响应	305
8.3.2 网络攻击技术	307
习题	312

附录A Unicode313

附录B 常用RFC文档315

附录C 常见UDP、TCP端口号317

附录D 缩写词318

参考文献325

第1章 概述

1.1 计算机通信网

1.1.1 什么是计算机通信网

计算机通信网通常也简称为计算机网络。它是计算机的运算和处理功能同通信系统的信息传输功能相结合的产物。这两种功能的结合所产生的效果远远超过了它们各自发展所能达到的目标。今天,不管是哪个国家的、从事哪个职业的人,从小孩到老人,无不在使用着网络,无不从网络的应用中享受着它给工作和生活带来的极大的便利和收获。网络改变了人们的生活和工作方式,这是众所周知的事实。同时,网络技术的出现和发展也改变了计算机和通信这两大技术领域的发展方向。20世纪40年代诞生的计算机是人类的一个伟大发明,它能得到如此广泛的应用,有两个因素:一是个人计算机(PC)的出现;二是计算机网络的发展。因此,有人把计算机的发展时代从第4代以后称之为网络时代。不仅如此,计算机的软、硬件也发生了相应变化,硬件增加了更多的网络通信接口,在软件方面,操作系统的功能除了原有的四大(进程、存储器、文件和设备)管理功能外,还增加了对网络通信协议的支持。就通信领域而言,19世纪发明的电报和电话,20世纪发明的电视、卫星通信及移动电话系统,对人类的生活和工作起了重要作用。但是,目前由多个运营商管理的电视网、电话网和数据通信网,它们的主要功能是信息传输,功能单一,对信息的处理功能不强,面临着改造和功能融合的问题。计算机网络的发展和应用对传统的通信业是一个严峻的挑战。

我们可以给计算机通信网下一个定义:计算机通信网是一个依靠通信技术互连的自主计算机的集合。这里强调的是自主计算机,即计算机自身是一台具有完整功能的计算机。顺便说一下因特网(Internet),因特网是多个网络互联并运行TCP/IP协议的互联网。

计算机之间的数据通信,将计算机运算处理功能扩展为:运算处理和计算机之间的信息交换;资源共享,使得本来是孤立分散的资源通过网络可以供多人在不同的地方共同使用。

由于将计算机技术融入通信领域,给原有的通信系统带来更多的灵活性和更高的性能。数据库技术使信息的存储、检索变得方便,嵌入式计算机技术加速了传统通信系统的更新换代。

1.1.2 数据通信

计算机网络最基本的功能是信息交换,而数据是信息的表现形式,因此,数据通信是计算机通信网其他一切功能的基础。数据通信是指网络中任何两台设备通过通信线路交换数据的过程。一个数据通信系统由5个组成部分:报文、数据的发送者、数据的接收者、传输媒体和通信协议(协议是支配通信的规则)。通常把网络上的设备称做结点,网络中任意两结点之间的数据通信的方式有3种:单工、半双工和全双工。传输的数据可以是:文本、数字、音频和视频。文本数据是将文字编码(例如ASCII码)产生的二进制数据;数字是用各种数字进位制编码产生的二进制数据;音频信息是把语音信号经过取样离散化后,再将每个取样语音信

号量化并编码生成的二进制数据；视频信息是先将视频信号在时间上离散化为一帧一帧的图像序列，再对每一帧图像在行和列上抽样为像素，对像素量化并编码，最终也得到二进制数据。总之，在网络中传输的都是二进制数据，只是这些数据的来源不同，它们的特性不同，对网络传输的要求也不同。

文本和数字数据的传输要求是精确无误，电子支付凭证、程序、文件、商务合同等就是这一类数据的例子。它们的传输对网络实时性要求不高。

相反，对语音和视频信息来说，它们以固定速率采样和编码以后，应该是一恒定速率的数据流。而它们在网络中传输时被分成一个一个的数据块（叫做分组或数据包），每个数据块的传输会有延时，而且各个块的延时还会不同。当接收方把这些数据块还原成语音或视频时，收听者或观看者会感到有明显的失真。这类数据在传输中允许在一定程度上发生错误。

1.1.3 计算机通信网的拓扑结构

通常把网络中的计算机用通信链路（link）连接的方式称为网络的拓扑结构。目前共有4种拓扑形式：网状结构、星形结构、总线结构和环形结构。

1. 网状结构

如图1-1所示，网状结构的特点是网络中任何两个结点之间均有链路连接，任何两结点间均可直接通信。这种网络的可靠性高，因为每一结点和其他结点都有通信链路相连，如果某条链路发生故障，不能通信，那么可通过其他结点进行转发来达到通信的目的。由于任何两结点之间均有专用的通信链路，即不是多个结点共享一段通信链路，因此不存在因等待链路而造成的通信延时。但是这种结构的缺点是网络连接的布线（电缆或光纤）的数量大大增加，如网络中有 n 个结点，则共需连接的链路数目为： $n(n-1)/2$ 。如果这些结点分布的地理空间达到几千公里，那么通信链路所需的代价很大，而且实际安装也是很困难的。

这种网络结构只用在要求高度可靠，且对链路带宽要求高的场合。在一些由多个网络组成的互联网中，它的骨干网（backbone）通常采用网状结构。

2. 星形结构

如图1-2所示，星形结构中每个结点只用一根连线与集线器相连，集线器是一个有源的中继设备，它把从任意一个端口输入的数据向其他各个端口转发出去。任何两台计算机之间的通信必须通过集线器转发来实现。在这种结构中， n 台计算机只需 n 根连接线。此外，任一计算机或连接线的故障并不影响其他端口的通信。目前大多数局域网（LAN）都采用该结构，它的缺点是如果集线器故障，那么整个网络就瘫痪了。

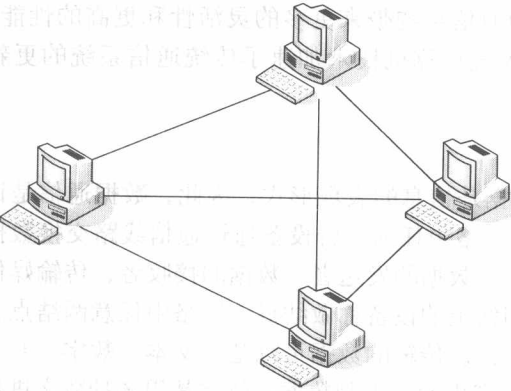


图1-1 网状结构

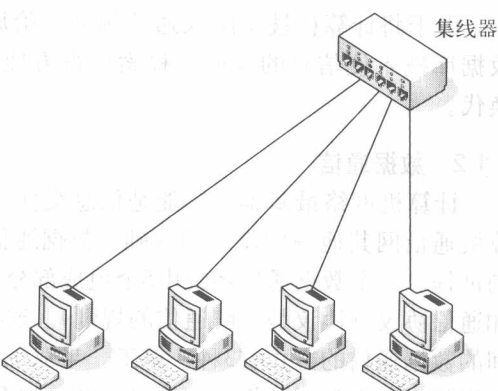


图1-2 星形结构

3. 总线结构

如图1-3所示，图中的传输线是同轴电缆，计算机与同轴电缆间的连线也是一段同轴电缆，它们之间用分接头连接（图中未画出），任何两台计算机之间的通信都通过这根称为总线（bus）的同轴电缆进行传输，显然，这是最节省传输线的方法，可是电缆的故障会使整个网络不工作。早期的以太网（Ethernet）就采用这种结构。

4. 环形结构

如图1-4所示，每台计算机用连线与接口相连，计算机的数据发送和接收都通过它的接口进行，发送时把数据送到环上，接收时从环上接收其他计算机发来的数据。数据在环上沿一个方向通过各个接口传输，到达目的地就停止传输。例如当H向E发送数据时，如果信号在环上沿着顺时针的方向传输，则H将要发送的数据通过它的接口送到环上，经过A、B、C和D的接口的转发，最后到达E的接口，传输到计算机E。这种网络在早期的局域网中应用，在目前的光纤网络中也有应用。

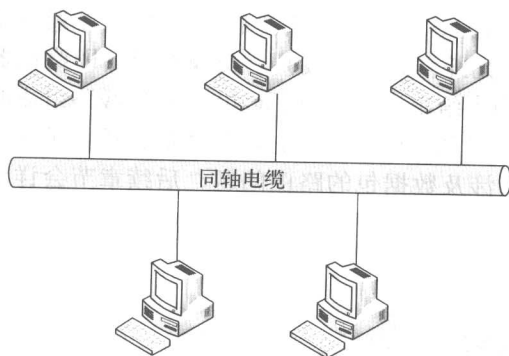


图1-3 总线结构

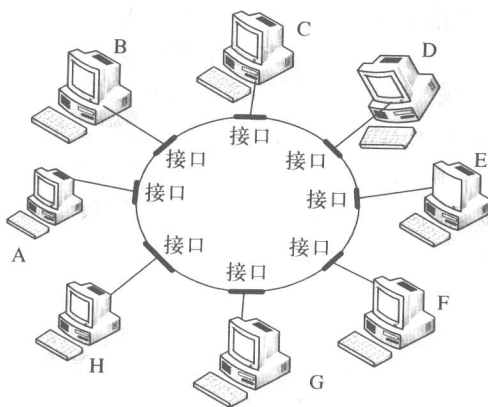


图1-4 环形结构

1.2 计算机通信网的分类

要对计算机网络进行分类，首先要确定根据什么准则来分类。可以用它们的拓扑结构来分类，于是就有：网状网络、星形网络、总线型网络、环形网络，以及由它们组合成的混合型网络。也可以根据传输特点分为：有线网络和无线网络，或是点到点的传输网（如公用电话网）和广播网（如电视网）。不过大多数人都采用根据网络占有的地理范围的大小进行分类，由小到大分为如下一些网络：

1. 家庭网

这是正在成长和新出现的网络，顾名思义就是一个家庭内的网络。随着计算机、通信、电视网的融合，以及多媒体技术的发展和现代智能建筑的推广，家庭中的计算机、通信设备、娱乐设备、家用电器、安全监控设备，以及水、电、气、暖的仪表等均应组成网络并接入Internet，家庭主人可以随时对家庭的设备进行控制和对家庭状况实时监控。

2. 局域网（Local Area Network, LAN）

局域网的地理范围在几公里以内，它通常建在校园、办公室和科学研究室等场合，它是由使用者自己建立并管理和使用的。这种网络数量多，用得非常普遍，尤其是以太网更是广泛。它们的结构形式在早期（20世纪80年代）有总线形、环形和星形，现在几乎全部采用集线器（hub）或用交换机连接的星形结构。

3. 城域网 (Metropolitan Area Network, MAN)

它通常覆盖几十公里的范围，并为该地域的用户提供高速数据服务，有线电视网就是一个城域网。传统的有线电视网只是单方向地由广播电视服务机构把电视信号传送给千家万户，它正面临着改造，要能进行双向传输并提供数据传输服务。

4. 广域网 (Wide Area Network, WAN)

这种网络的地理覆盖范围从几百公里到几千公里，跨过一个国家或一个国家的几个省(或州)，显然这类网络是由网络运营商来维护 and 管理的。固定电话网、移动电话网、卫星网及帧中继网、ATM网等均属于广域网。广域网在原理和网络结构上与局域网有很大不同。一个广域网由使用该广域网进行数据通信的计算机和通信子网组成。这些计算机是面向应用的，当需要在它们间进行数据交换时，就由通信子网来完成。这些计算机可以是PC也可以是工作站，以后我们称它们为主机。此外，这些主机也可以是局域网(LAN)上的主机，也就是连接到通信子网的也可以是局域网。通信子网的任务就是提供数据通信，在广域网中两台主机间的通信是采用点到点的传输方式，在这样广大的地理范围内不可能使得任两台主机之间有专用的通信链路。许多通信链路要共享同一物理线路，采用的办法就是“交换”。就通信子网而言，它由两部分组成：传输线路(即电缆、光纤、无线电波)；交换单元(即路由器(router))。图1-5所示为广域网的组成原理图。图中给出由6个路由器和8条通信线路组成的通信子网，在这个广域网上共有5台主机。由图可见任两台计算机之间的通信在通信子网中有多条路径可选择，究竟如何选择传输路径，将涉及数据包的路由问题，后续章节会详细讲述。

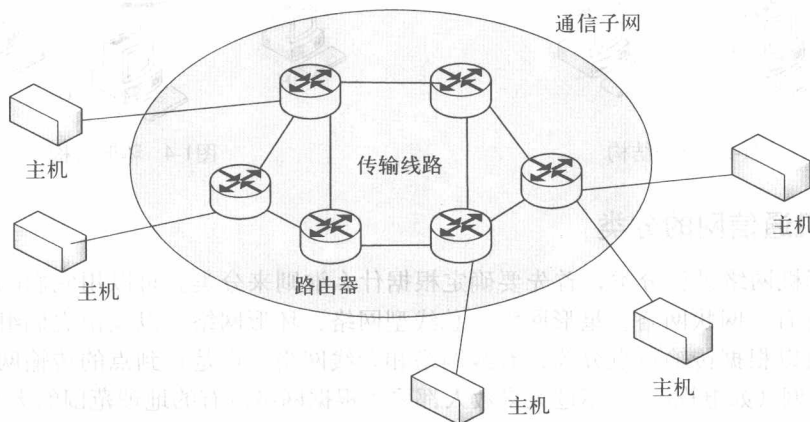


图1-5 广域网

5. 互联网 (internet)

实际应用中往往是多个网络相互连接在一起工作，可能是多个局域网互连，也可能是局域网与广域网互连或是广域网与广域网互连。图1-6的例子就是这种情况。广域网上除了连接有主机和服务外，还有两个局域网连接在上面。一个是星形局域网，另一个是总线型局域网。这时，若星形局域网上一台计算机要与总线型局域网上一台计算机通信，它们首先把要传出的数据交给连接到该局域网的路由器，通过广域网把数据送到目的主机局域网所连接的路由器，然后由目的主机所在的局域网把数据交给目的主机。

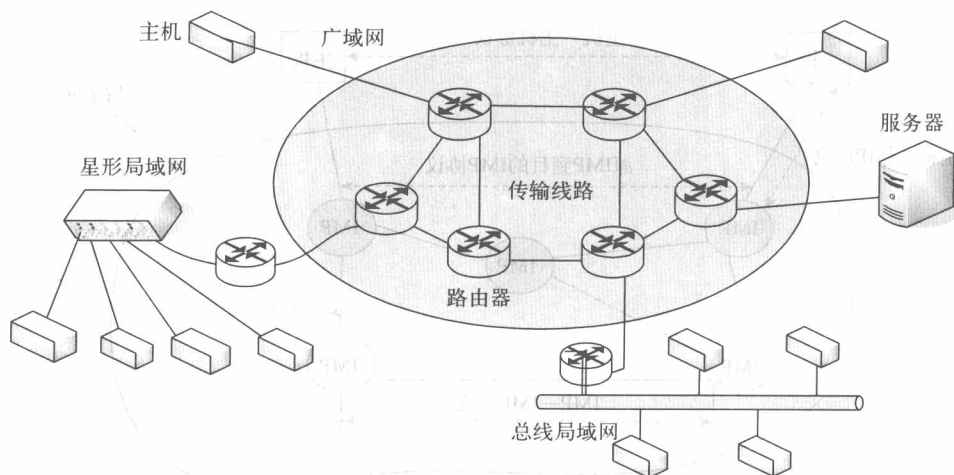


图1-6 互联网

1.3 因特网

1. 因特网发展简史

20世纪50年代美国和前苏联处于冷战的高峰时期，美国国防部（Department of Defense, DoD）欲建立一个用于军事指挥和控制的网络。对这种网络的基本要求是抗毁性好，即网络在战争中遭到部分破坏时，网络还能保持通信。那时所有的军事通信都是由公共电话网络系统来完成的。电话网络采用电路交换技术，但它满足不了上述要求。于是国防部专门成立了一个叫做高级研究计划署（Advanced Research Projects Agency, ARPA）的组织，来实施这一计划。这个组织只是一个管理机构，不是一个研究机构。它向大学、公司和研究部门寻求解决方案。最后ARPA采用了兰德（RAND）公司的员工Pual Baran的分组交换的思想来组建新型网络。关于分组交换和电路交换的原理和特性在后面章节有详细说明。从1967年到1969年仅用了两年多的时间ARPA就实现了他们的想法，这就是ARPANET的诞生。ARPANET本身不是互联网，它就是一个单个的网络，但它是世界上第一个分组交换网络，是因特网的起源。图1-7给出了ARPANET的组成。通信子网由交换设备IMP和传输线路组成，IMP（Interface Message Processor）称为接口报文处理机，相当于现在使用的路由器功能。IMP是用一台小型计算机来实现的。传输线路租用电话公司的56kb/s的线路来连接这些IMP，每个IMP必须连到其他两个以上的IMP上。每个IMP把主机送来的数据分成1008比特的数据包（packet）或称分组，IMP转发的过程是存储转发，先把数据包接收到IMP的存储器中，IMP可以为这个数据包找到最佳的路由并把它转发出去。只要我们想到IMP是一台计算机而不是像电力网的转接开关那样，那么对于上面的概念是不难理解的。当有IMP或线路故障时，IMP可以选择其他路径来传送数据。软件部分主要是一些协议：IMP到IMP协议、源IMP到目的IMP协议、主机到主机协议和主机到IMP协议。到了1969年，ARPR最终实现了一个实验性的网络。网络由4个结点通过IMP连接而成，这4个结点分别是加利福尼亚大学洛杉矶分校（UCLA）、加利福尼亚大学圣迭戈分校（UCSB）、斯坦福研究所（SRI）和犹他大学（UTAH）。当时这4个单位都有许多互不兼容的计算机并接受了ARPA的合同。支持通信的软件的总名称叫做网络控制协议（Network Control Protocol, NCP）。

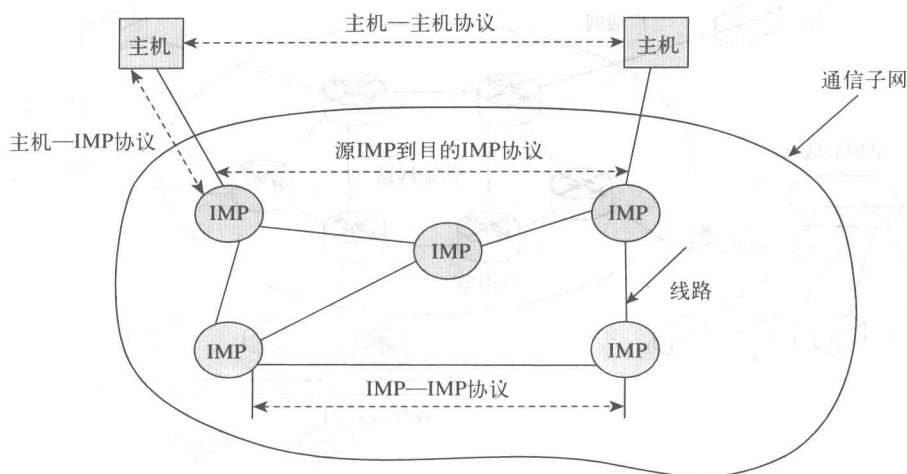


图1-7 最初的ARPANET

ARPANET的成功开创了计算机网络发展的新局面，首先是ARPANET自身的规模迅速增加，结点数和主机数呈指数上升。

20世纪70年代末，美国国家科学基金会 (National Science Foundation, NSF) 看到了ARPANET的成就，于是决定自己建立一个与ARPANET类似的网络，它一开始选择了6个结点，将6个超级计算中心连接起来。它的软件一开始就选用TCP/IP协议。这就是在Internet的发展中也起着重要作用的NSFNET网。它经过很快发展并实现了与ARPANET的互连，这可以说是因特网的雏形。

1974年Vint Cerf和Bob Kahn两人发明了TCP/IP协议，这个协议一开始叫传输控制协议 (Transmission Control Protocol, TCP)，后来被分成两个协议，一个是TCP，另一个是IP(Internetworking Protocol)协议。TCP/IP是因特网发展的一个里程碑。

20世纪90年代以前，因特网的应用对象还局限于一些专业人员。90年代初，由欧洲粒子物理研究所的物理学家Tim Berners-Lee在因特网的信息结构上提出了超文本和超链接的概念，于是导致了万维网WWW(World Wide Web)的出现。与此同时，在美国超级计算应用中心工作的Marc Andreeseen为Mosaic操作系统研制出浏览器，产生了用浏览器访问WWW网页的方便方法。加上后来的域名系统DNS，从而使因特网为广大非专业人员的应用打开了方便之门。实际上WWW就是一个以网页为基本信息存储结构的全球最大的分布式信息系统。

20世纪90年代以后，大量的因特网服务提供商ISP (Internet Service Providers) 的出现进一步促进了因特网的发展，ISP就是为用户提供因特网接入并提供因特网应用服务的公司。这样，最初由军事应用和科学研究为目的网络发展成为包含各行各业的广大用户都离不了的信息平台，同时因特网也由政府管理的网络变为一个商业网络。

2. 因特网的体系结构

我们很难给出因特网的详细结构，一是没有必要，大多数人只需要能接入因特网，并希望获得因特网的服务，对使用因特网的人来说，他们更关心的是因特网能提供哪些服务。二是因为因特网太大，并且因特网是在不断变化的过程中，经常有新的网络接入因特网，又会不断地有网络从因特网上取下来。下面我们就以ISP为基础给出因特网的结构。

因特网是由4个不同的ISP组成的层次结构，如图1-8所示。在结构的最高层是国际ISP，它服务于各个国家之间的因特网。国家ISP是由该国家的一些运营公司建立并管理维护的主干网络，如AT & T和Sprint，这些主干网络有上千台路由器，通过高带宽的光纤连接起来。各个国家ISP都连接到网络接入点（Network Access Point, NAP）使它们互通。NAP是由这些公司以外的第三方运营的，是由在一个地方的一些高性能的路由器互连而成，每个国家ISP必须与NAP连接。国家ISP可以提供两种服务形式：一是为不同的区域ISP提供连接服务，二是为一些大公司和高性能服务器群提供服务，因为它们会被众多区域ISP访问，要求访问速度很快，于是将它们直接连在国家ISP上（图中未画出）。接下来的是区域ISP，它连接到一个或多个国家ISP，又向下连接多个本地ISP，区域ISP的通信速率比国家ISP的低，它是为本地ISP提供连接服务的。本地ISP为终端用户提供服务，它连接到区域ISP（也可以连接到国家ISP）。本地ISP可能是一个专门提供因特网服务的公司，也可能是为自己的员工提供因特网服务的非商业机构（如组织或学校）。

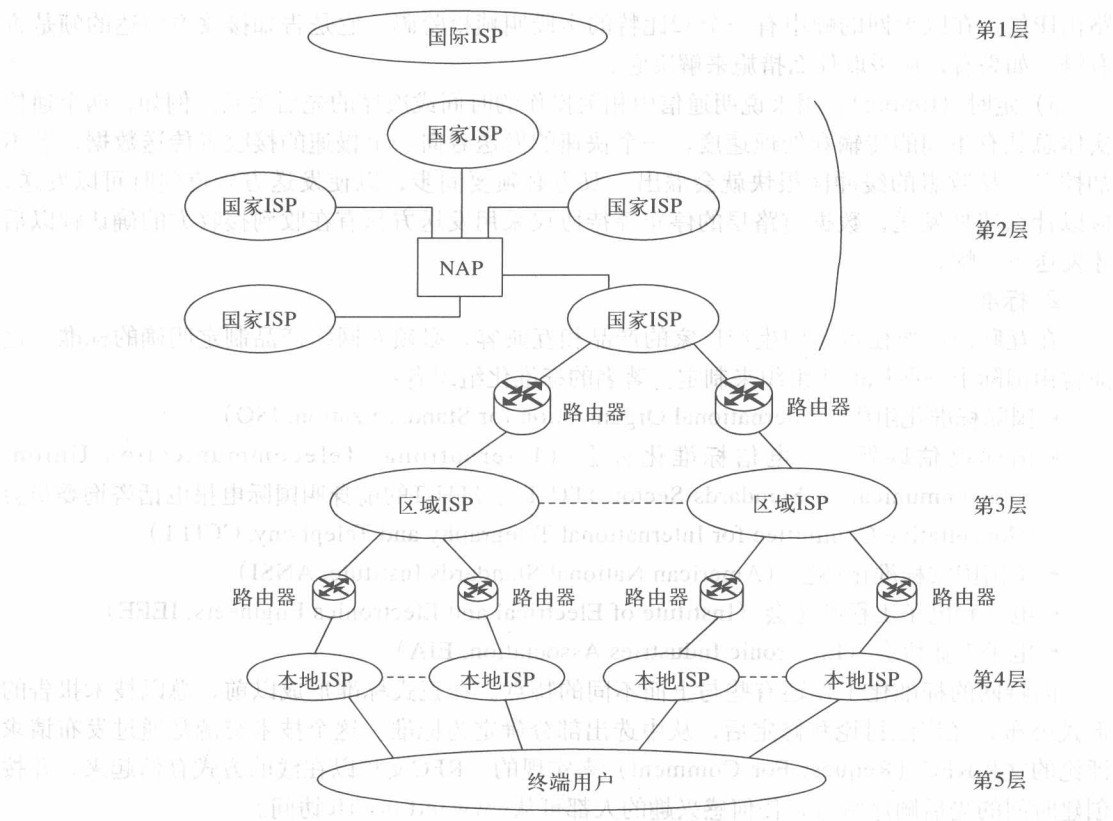


图1-8 因特网的层次结构

由上述分析可见：

- 1) 因特网是一个由许多分布在世界各地不同类型的网络互连的层次结构的庞大网络，向这种结构上增加或减少网络是很方便的。
 - 2) 保持因特网体系工作的软件基础是TCP/IP协议。
- 在四个层次上各个ISP的网络及路由器的性能也是由高到低逐渐变化。

1.4 协议和标准

1. 协议 (protocol)

前面已经多次出现过这个词, 协议对网络来说太重要了, 可以设想, 如果我们只把在不同地方不同类型的计算机用通信线路 (有线或无线) 连接起来, 是不能实现正常通信的。计算机网络不是电力网也不是自来水管网, 只要有传输线或管道的地方就有电或水。计算机网络是用来在计算机之间进行数据通信的。在网络中把参与数据通信的设备称为实体 (entity), 任何两个实体间的数据通信必须要遵循一定的规则。协议就是支配数据通信正常进行的规则集合。包含三方面的内容:

1) 语法 (syntax), 语法代表了被传输的数据结构和含义, 一个IP包前面的20个字节一定是IP头。一个以太网帧必须有帧头和帧尾。

2) 语义 (semantics), 表示每一字段的含义及网络设备应该采取的动作, 例如IP头中有一个32比特的源IP地址和一个32比特的目的IP地址, 网络中的路由器就根据这个字段信息来路由IP包, 在以太网的帧中有一个32比特的字段叫帧检验码, 它是告知接收方到达的帧是否有错, 如果有, 应采取什么措施来解决它。

3) 定时 (timing), 用来说明通信中相关操作的时间或次序的先后关系。例如, 两个通信实体总是有不同的传输和处理速度, 一个快速的发送者向一个慢速的接收者传送数据, 若不加控制, 接收者的缓冲区很快就会溢出, 双方必须要同步, 以使发送方知道何时可以发送, 应以什么速度发送, 数据链路层的停止等待协议采用发送方只有在收到接收方的确认帧以后才发送下一帧。

2. 标准

在互联网中要使得不同生产厂家的产品相互兼容, 必须对网络产品制定明确的标准, 这通常由国际上一些标准化组织来制定。著名的标准化组织有:

- 国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO)
- 国际电信联盟——电信标准化分会 (International Telecommunication Union-Telecommunication Standards Sector, ITU-T)。ITU-T的前身叫国际电报电话咨询委员会 (Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony, CCITT)
- 美国国家标准化协会 (American National Standards Institute, ANSI)
- 电气和电子工程师协会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)
- 电子工业协会 (Electronic Industries Association, EIA)

因特网的标准化工作还有些与上面不同的特点。在正式标准形成以前, 总以技术报告的形式公布, 经广泛讨论和修定后, 从中选出部分确定为标准。这个技术交流是通过发布请求评论的文档RFC (Request For Comment) 来实现的。RFC文档以在线的方式存储起来, 并按创建时间的先后顺序编号, 任何感兴趣的人都可从www.ietf.org/rfc访问。

1.5 网络模型

计算机网络的基本功能是实现计算机之间的数据通信, 它是通过许多称做路由器的中间结点转发来实现的, 如图1-9所示。这些路由器的连接情况分为两种: 在单个网络中它们是连接通信链路的中间结点; 在互联网中, 它们是各个网络的连接结点, 这时的路由器就是互联网路由器。主机A如果要给主机B传一个报文, 它首先将数据发送给与它最接近的路由器, 然后它通过一段链路或一个网络按最佳路径传到下一个路由器, 中间经过多次这样的重复过程,

最后数据到达主机B连接的路由器，由它把数据交给主机B。那么这样一个功能的完成是怎样实现的呢？作为关键设备的路由器是怎样工作的？主机上又需要有哪些功能？传输问题纯属通信的研究范畴，在讨论网络功能时就不研究它了。可见，在开放的互联网中要实现互不兼容的网络设备互连互通是一项很复杂的任务。为此，我们首先要研究网络的系统结构，即网络模型。本节是以后各章学习的基础。

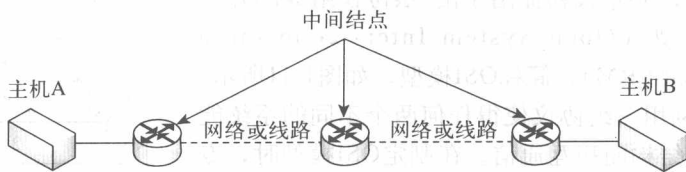


图1-9 主机间的通信

1.5.1 网络的层次结构

1. 举例

首先来看一下邮政系统工作的过程，如图1-10所示。A发给B的信是经过三个不同层次的功能来实现的。从结果来看是A的信件到了B的手中。但其真实过程是：在发信端，A书写的信→邮箱→邮局→（发送）运输部门，由上而下穿过三个功能层次。到了收信端，又经过（接收）运输部门→邮局→邮箱，交给了B，经过了由下而上的三个子功能的层次。从模型的横向来看，最上面表示信由A传到B；从第3层看，好像把信从A这边的信箱送到了B这边的信箱；从第2层看，好像把A的信从A这边的邮局送到B那边的邮局；从第1层来看，好像把邮包从A的所在地运送到B的所在地。至于采用什么类型的运输工具不作为邮政系统的功能范围之列，于是认为邮政系统是一个三层结构模型。此外，为了能正确通信，还得有一些规则，邮政编码就是一例，在各层也必须要有完成各项功能的操作者及硬件设施，如邮递员、邮箱、邮局、信件分拣机等。当然，这只是个大致比喻而已，没有很好体现中间的交换过程。从信息形式来看，一封信件有两类信息，信封上的信息是供邮政系统使用的，其目的是使信件能正确到达目的地，称它为控制信息，信封内的信息才是书信双方要交换的内容，是收发信者所需要的。

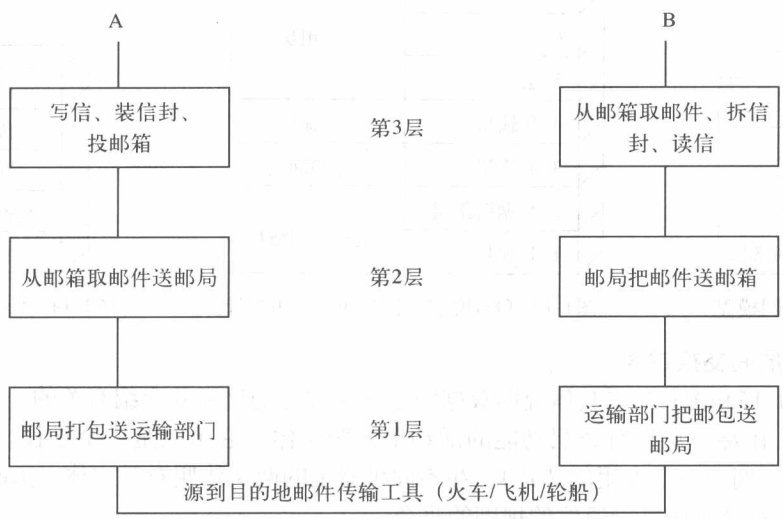


图1-10 邮件传输示意图

2. 开放系统互连参考（OSI）模型和因特网模型

计算机网络的工作与上面的例子有相似之处，但是要复杂得多。国际上许多学者和专家试图为计算机网络建立一个模型，这个模型应该是个开放的模型。国际标准化组织ISO从20世纪70年代初就着手这项研究，想建立一个能使各种互不兼容的计算机在世界范围内互连互通的网络框架，80年代初提出了由7层协议组成的开放系统互连参考模型（Open System Inter-connection Reference Model, OSI/RM），简称OSI模型，如图1-11所示。“开放系统”是指利用一组协议使得任何两个不同的系统能独立于网络底层的结构而相互通信。在制定OSI模型时，专家们分析网络数据通信的最基本的要素，把相关的功能要素集中构成一个层（如与解决分组路由有关的措施放在网络层），把另外一些相关功能放在一起，构成另一层，这些层相互配合起来完成网络通信任务。

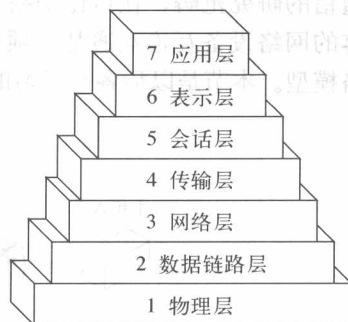


图1-11 OSI模型

因特网模型出现在OSI之前，所以它的模型不遵循OSI的结构，它是4层模型，如图1-12所示。因为因特网强调的是网络互连，所以它的最底层叫主机—网络层，泛指主机必须用某个协议连接到网络上。它的第2层互联网层（internet）也称网际层，是因特网的核心功能层。图1-13所示是两个模型的对比。图1-12中的主机—网络层相当于OSI的第1、2层，互联网层相当于OSI的网络层，图1-12中的应用层相当于OSI的第5、6、7层。

OSI模型对各层的功能有严格的定义，模型的理论完整。可惜，至今没有一个实现的网络原型，也没有完整的协议栈。相反，因特网模型在现实的网络中得到了广泛应用，而且有一组完整的协议栈。但是OSI模型所包括的数据链路层和物理层是通信子网的基础，而因特网模型却没有对此说明，所以从学习和研究网络来说，使用5层的混合网络模型作为本书的教学指导模型较为合适，即采用图1-14所示的5层混合模型。



图1-12 因特网模型



图1-13 OSI模型与因特网模型的对比



图1-14 5层混合模型

3. 数据在层间交换过程

下面用图1-15和图1-16来具体说明数据经过各层传送的过程并介绍有关的一些术语。

- 1) 实体：在每一层执行该层功能的单元叫实体，它可以是一个进程（运行的程序）或是一个硬件（例如一个专用的芯片）。在不同机器上的两实体叫对等实体（peer entity）。
- 2) 协议：对等实体进行通信的规则集合。
- 3) 协议栈：一组协议的集合称为协议栈。