

高等院校计算机应用系列教材

计算机网络 实用教程

刘 建 胡念青 时月梅 主 编
刘 刚 王 倩 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书基于编者多年的计算机网络课程教学经验以及在实际组网项目中的工程经验而编写,坚持实用技术和工程实践相结合的原则,注重能力和技能的培养,所举的很多例子都来自编者的组网项目,有很强的针对性和实用性。同时还准备了大量的交换机和路由器实验,能让在学习理论知识的同时,在实践能力方面也能得到很大的提升。

本书共分为9章,集理论知识和实践操作于一体。内容包括:计算机网络概述、物理层、数据链路层、网络层、传输层、应用层、网络安全概述、交换机配置实验、路由器配置实验。

本书理论和实践紧密结合,内容新颖,能反映当前计算机网络技术的发展水平。本书既可以作为普通高校(特别是技能型高等学校)计算机网络课程的教材,也可作为计算机网络技术人员和管理人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络实用教程 / 刘建, 胡念青, 时月梅主编. —北京: 清华大学出版社, 2022.2

高等院校计算机应用系列教材

ISBN 978-7-302-59890-9

I. ①计… II. ①刘… ②胡… ③时… III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 006024 号

责任编辑: 刘金喜

封面设计: 高娟妮

版式设计: 妙思品位

责任校对: 马遥遥

责任印制: 朱雨萌

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-83470000 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京嘉实印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 16 字 数: 360 千字

版 次: 2022 年 2 月第 1 版 印 次: 2022 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 59.80 元

产品编号: 093386-01

前 言

计算机网络在过去的几十年里取得了长足的发展，是当今最热门的学科之一。尤其是近年来，因特网深入到千家万户，越来越多的家庭、企业、单位都已离不开计算机网络。就学科而言，计算机网络涉及的内容比较广泛，它是计算机和通信技术密切结合的产物，是一门综合性学科。对于今后想从事计算机研究与应用的学生来说，计算机网络是一门重要的必修课程。本书正是针对这种需求而编写的，目的是为广大读者学习和掌握计算机网络相关知识和技术提供帮助和参考。

本书基于编者多年的计算机网络课程教学经验以及在实际组网项目中的工程经验而编写，坚持实用技术和工程实践相结合的原则，注重能力和技能的培养，所举的很多例子都来自编者的组网项目，有很强的针对性和实用性。本书专门安排了两章的篇幅，准备了大量的交换机和路由器实验，能让在学习理论知识的同时，在实践能力方面也能得到很大的提升。

本书共分为 9 章，集理论知识和实践操作于一体。内容包括：计算机网络概述、物理层、数据链路层、网络层、传输层、应用层、网络安全概述、交换机配置实验、路由器配置实验。

本书既可以作为普通高校(特别是技能型高等学校)计算机网络课程的教材，也可作为计算机网络技术人员和管理人员的参考书，具有教科书和技术资料的双重特征。

本书由刘建、胡念青、时月梅任主编，刘刚、王倩任副主编。此外，参加编写工作的还有张笑、王强、刘明春、吴春容、刘雪婷。其中，第 1 章由胡念青编写，第 2 章由刘刚编写，第 3 章、第 8 章由刘建编写，第 4 章由张笑编写，第 5 章由刘明春编写，第 6 章由王强编写，第 7 章由王倩编写，第 9 章由刘建、吴春容、刘雪婷共同编写，全书由刘建、时月梅统稿。在编写过程中，得到了四川大学、电子科技大学、成都理工大学、成都信息工程大学、四川建筑职业技术学院相关专家、教授的大力支持和帮助，成都文理学院信息工程学院陈坚副教授提出了很多宝贵的意见和建议，在此一并表示衷心感谢。

由于计算机网络技术发展迅猛，作者水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大同行、专家和读者批评指正。

本书 PPT 教学课件和习题答案可通过扫描下方二维码下载。



PPT 课件+习题答案

编者
2021 年 10 月

目 录

第 1 章 计算机网络概述	1	2.3 物理层的传输媒体	40
1.1 计算机网络技术	1	2.3.1 导引型传输媒体	40
1.1.1 网络技术背景简介	1	2.3.2 非导引型传输媒体	45
1.1.2 网络技术发展历程	2	2.4 信道复用技术	48
1.1.3 计算机网络的定义	4	2.4.1 频分多路复用	48
1.1.4 计算机网络的功能	5	2.4.2 时分多路复用与统计时分 多路复用	49
1.1.5 计算机网络的组成	5	2.4.3 波分多路复用	51
1.2 计算机网络体系结构	6	2.4.4 码分多路复用	52
1.2.1 计算机网络拓扑	6	2.5 宽带接入技术	54
1.2.2 计算机网络协议	7	2.5.1 ADSL 技术	55
1.2.3 计算机网络分层控制模型	9	2.5.2 FTTx 技术	58
1.2.4 TCP/IP 协议	12	习题	60
1.2.5 计算机网络特性分析	15	第 3 章 数据链路层	62
1.3 网络通信技术相关概念与术语	18	3.1 数据链路层信道分类	62
1.3.1 电路交换与分组交换	18	3.2 点对点信道数据链路层的 三个基本问题	63
1.3.2 数据报与虚电路	20	3.2.1 封装成帧	63
1.3.3 交换与路由	21	3.2.2 透明传输	64
1.3.4 客户/服务器(C/S)通信模式	21	3.2.3 差错检测	65
1.3.5 网页与网站	23	3.3 点对点协议	66
习题	25	3.3.1 PPP 协议的特点	67
第 2 章 物理层	26	3.3.2 PPP 协议的帧结构	68
2.1 物理层的基本概念	26	3.3.3 PPP 协议的工作过程	69
2.1.1 物理层功能	26	3.4 使用广播信道的数据链路层	71
2.1.2 物理层功能详解	26	3.4.1 局域网标准	71
2.2 数据通信基础知识	27	3.4.2 广播信道的共享	72
2.2.1 数据通信基本模型	27	3.4.3 CSMA/CD 协议	72
2.2.2 数字信号与编码技术	32		
2.2.3 信道的极限容量	38		

3.4.4 以太网的MAC层·····	76	第5章 传输层 ·····	122
3.5 扩展以太网·····	79	5.1 传输层概述·····	122
3.5.1 在物理层扩展以太网·····	80	5.1.1 传输层的功能·····	122
3.5.2 在数据链路层扩展以太网·····	81	5.1.2 传输层的主要协议·····	123
3.5.3 虚拟局域网·····	86	5.1.3 端口与套接字·····	123
习题·····	88	5.2 UDP协议·····	125
第4章 网络层 ·····	89	5.2.1 UDP协议概述·····	125
4.1 网络层提供的两种服务·····	89	5.2.2 UDP数据报的首部格式·····	126
4.2 IP协议·····	90	5.3 TCP协议·····	128
4.2.1 虚拟互联网·····	91	5.3.1 TCP协议概述·····	128
4.2.2 分类IP地址·····	91	5.3.2 TCP报文段的首部格式·····	128
4.2.3 IP地址与物理地址·····	95	5.4 TCP的连接管理·····	132
4.2.4 地址解析协议·····	96	5.4.1 TCP的连接建立·····	132
4.2.5 IP数据报的格式·····	96	5.4.2 TCP的连接释放·····	133
4.2.6 网络层转发分组的流程·····	98	5.5 TCP可靠传输的实现·····	135
4.3 子网划分与超网·····	100	5.5.1 停止等待协议·····	135
4.3.1 子网划分·····	100	5.5.2 连续ARQ协议·····	136
4.3.2 无分类编址CIDR·····	104	5.5.3 滑动窗口实现流量控制·····	137
4.4 ICMP协议·····	107	5.5.4 超时重传时间的选择·····	138
4.4.1 ICMP协议的报文类型·····	107	5.5.5 拥塞控制·····	139
4.4.2 ICMP应用·····	108	习题·····	141
4.5 互联网路由选择协议·····	109	第6章 应用层 ·····	142
4.5.1 内部网关协议·····	109	6.1 域名系统·····	142
4.5.2 外部网关协议·····	112	6.1.1 域名系统概述·····	142
4.5.3 路由器的结构·····	113	6.1.2 互联网域名结构·····	142
4.6 IPv6协议·····	115	6.1.3 域名服务器·····	143
4.6.1 IPv6数据包基本首部·····	115	6.1.4 域名解析过程·····	145
4.6.2 IPv6地址·····	116	6.2 文件传输协议·····	146
4.6.3 IPv6网络与IPv4网络的 主要区别·····	117	6.2.1 工作原理·····	146
4.7 虚拟专用网和网络地址 转换技术·····	118	6.2.2 用户分类·····	147
4.7.1 VPN技术·····	118	6.2.3 传输方式·····	147
4.7.2 NAT技术·····	119	6.2.4 支持模式·····	148
习题·····	121	6.2.5 匿名FTP·····	149
		6.3 远程终端协议·····	149
		6.3.1 工作过程·····	150

6.3.2 交互过程·····	150	7.3.9 数字时间戳·····	181
6.4 万维网服务·····	151	7.4 密钥分配·····	181
6.4.1 万维网概述·····	151	7.5 系统安全策略·····	185
6.4.2 统一资源定位符·····	152	7.5.1 防火墙·····	185
6.4.3 超文本传输协议·····	153	7.5.2 入侵检测技术·····	193
6.5 电子邮件·····	153	习题·····	198
6.5.1 地址格式·····	153	第8章 交换机配置实验 ·····	199
6.5.2 电子邮件系统的工作方式·····	153	8.1 交换机的基本配置·····	199
6.5.3 邮件传送协议·····	153	8.2 在交换机上配置Telnet·····	203
6.6 动态主机配置协议·····	155	8.3 不同VLAN通信配置·····	205
6.6.1 功能概述·····	155	8.4 跨交换机VLAN间路由·····	208
6.6.2 工作原理·····	156	8.5 交换机的端口地址绑定·····	211
6.7 简单网络管理协议·····	158	8.6 交换机DHCP配置·····	214
习题·····	158	第9章 路由器配置实验 ·····	218
第7章 网络安全 ·····	159	9.1 在路由器上配置Telnet·····	218
7.1 网络安全概述·····	159	9.2 单臂路由·····	220
7.1.1 网络安全具体内容·····	161	9.3 静态路由配置·····	223
7.1.2 当前面临的网络安全问题·····	164	9.4 RIPv2配置·····	226
7.2 密码体制·····	165	9.5 OSPF单区域配置·····	230
7.2.1 对称密钥密码体制·····	165	9.6 OSPF多区域配置·····	232
7.2.2 公钥密码体制·····	170	9.7 配置标准IP ACL·····	236
7.3 数字签名技术·····	176	9.8 配置基于时间的扩展IP ACL·····	239
7.3.1 数字签名的定义·····	176	9.9 利用动态NAT实现局域网	
7.3.2 数字签名的原理·····	176	访问互联网·····	241
7.3.3 数字签名的特点·····	176	9.10 利用NAT实现外网主机访问	
7.3.4 数字签名的功能·····	177	内网服务器·····	244
7.3.5 数字签名的过程·····	177	参考文献·····	247
7.3.6 数字签名算法举例·····	179		
7.3.7 常用数字签名流程举例·····	180		
7.3.8 使用RSA算法进行盲签名·····	181		

计算机网络概述

本章重点介绍以下内容：

- 计算机网络技术
- 计算机网络体系结构
- 网络通信技术相关概念及术语

计算机的发明问世，使人类真正意义上进入了信息化时代。计算机最初的运行模式是单机作业，不涉及联网操作、数据交换、资源共享和分布式处理。从二十世纪六十年代后期逐步发展起来的计算机网络技术是计算机技术和通信技术相结合的产物，它利用通信传输设备和介质将处于不同地理位置的计算机连接起来，使得独立的计算机之间能够交换数据、共享资源、协同作业，从而拉开了互联网时代新的 IT 技术大幕。

1.1 计算机网络技术

1.1.1 网络技术背景简介

始于十九世纪上半叶，以电磁技术为核心，以电报、电话、广播电视、电子计算机等为标志的电信革命，使人类在信息存储、信息交换和信息处理方面达到了一个前所未有的、划时代的新高度；走到今天，Internet 的问世在真正意义上拉开了信息时代的帷幕。互联网将人类过去运用的各种信息化技术手段整合在一起，形成了一个与现实世界平行的、基于“Network+X”（X 是人类可以运用的所有信息形式）的虚拟平台，未来人类与信息有关的一切活动都可能建构在这一平台上。

纵观 IT 发展史，数字技术出现过两次发展浪潮。第一次是以处理和存储技术为中心，以处理器和存储器的发展为核心动力，并由此产生了计算机工业，特别是 PC 工业，从而促使计算机得以迅速普及和应用。在这一阶段，计算机是以单机模式运行的，并没有联网的概念。尽管在这一期间，随着计算机处理速度和能力的增强，允许一台主机挂接多个终端，甚至利用电话线、Modem(调制解调器)以及复接器、前端处理器(Front-end Processor, FEP)或通信控制器(Communication Control Unit, CCU)等设备，实现这些终端的远程接入，但这仍是基于主从结构的分时系统，所挂接的终端也只是一个 I/O(输入/输出)设备，而非一个独立运行的计算机主机。远程多终端系统如图 1-1 所示。

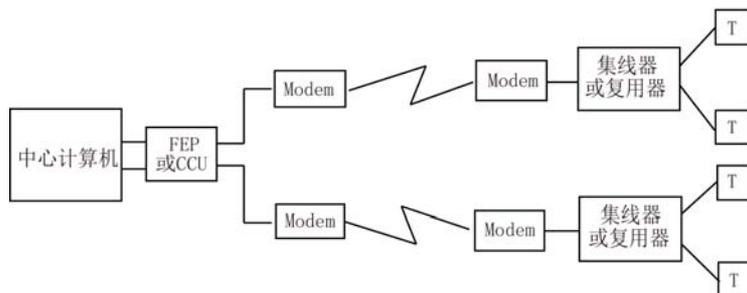


图 1-1 远程多终端系统

数字技术发展的第二次浪潮是以传输技术为中心，以网络发展为核心动力。随着通信技术的发展，人们开始寻求将计算机利用通信线路联接在一起以实现数据交换和资源共享，并由此拉开了互联网的序幕。

1.1.2 网络技术发展历程

现代意义上的计算机网络诞生于美国。一九六九年美国国防部研制的 ARPANET，采用“接口报文处理机”将四台独立的计算机主机互连在一起，实现数据的转发。这一网络雏形尽管只连接了四个节点且结构简单，但已蕴含了现代计算机网络的几个基本而核心的要素，即：多机独立对等、资源子网与通信子网的分离、分组交换与分层协议控制等。

网络技术早期的发展是各自为政、互不相通的，较为典型的代表是1974年英国剑桥大学研制的剑桥环网(Token Ring)和1975年美国 Xerox 公司推出的实验性以太网(Ethernet)，上述两种网络都是只适用于短距离、区域性通信的所谓计算机局域网(LAN)。1976年，适用于远程通信的公用分组交换协议——X.25 协议问世。另外，业界也相继提出了不同的网络系统内部的所谓体系结构，这是对一个网络内部组网方案和通信流程的一种总体定义和规范，可使诸厂商生产的各类计算机和网络设备按照相应的软、硬件配置要求而方便地互联和通信，其中最有代表性的是美国 IBM 公司提出的 SNA(系统网络体系结构)和 DEC 公司提出的 DNA(数字网络体系结构)。

但正是由于计算机网络早期形成的这种各自为政、互不相通的格局，导致采用不同的体系结构、内部协议和组网方式的网络之间难以互联通信，这样计算机的联网与通信便只能局限在单一的区域性小型网络范围内，无法扩展，每一个网络都变成了一个“网络孤岛”，内部可以通信，但其间则难以联通。为此，国际标准化组织(ISO)在1978年提出了“开放系统互联/参考模型”(OSI/RM)，意在打破这一疆界和制约，形成一个更大范围的网络互联。尽管今天主流的、基于 TCP/IP 协议的互联网并未严格按照此模型组网，而是有所改进和变化(如增加了网际层即 IP 层而削弱了表示层和会话层)，但这一模型对于网络技术的发展、整合与标准化以及对于真正意义上互联网的产生都起到了非同寻常的作用。

而在计算机网络技术发展历程中，最具里程碑意义的是 1983 问世的 TCP/IP 协议。在这一协议框架中，首次引入了“网际层”的概念，即在一个个具体的物理网络之间(或者说之上)，架构一个 IP 层，利用它来屏蔽这些物理网络之间的差异，以此实现异种网络之间的互联。计算机网络发展至今，TCP/IP 协议意义非凡、功不可没，它已经演变为了 Internet 事实上的工业标准。这一协议集的产生，客观地面对了计算机网络本身的复杂性和差异性，它允许各种物理网络之间存在巨大的差异性，无论它们是局域网还是广域网，甚至只是一条点到点的数据链路；也无论它们内部的组网方式及采用何种具体的通信协议，只要这些网络都支持 TCP/IP 协议，在一定的多协议转换设备(如边界路由器)的支持下，即可实现网络互联。由此可见，我们平常所说的 Internet 并不是一个纯粹而单一的网络，而是由若干个地处不同空间位置、内部结构也可能完全不同的多个网络互联而成，它实际上是一个网间网、网际网、网中网或者说网联网，如图 1-2 所示。

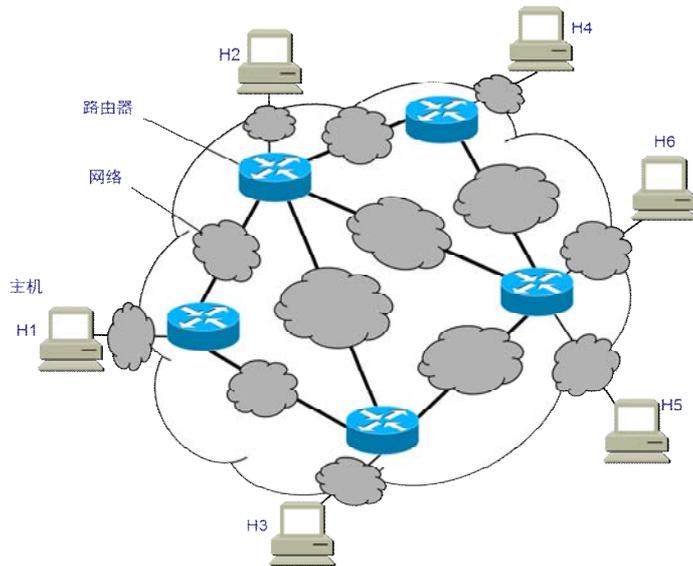


图 1-2 网络互联

1986 年美国 Cisco 公司的第一台支持多协议的路由器问世，它为真正意义上的网络互联提供了硬件支持。1989 年欧洲高能物理研究所的科研人员提出了一种称为 HTML 的超文本标记语言，用以组织各种计算机多媒体信息，并置于网上传播，这就是我们大家今天所熟悉的网页，并由此产生了基于超文本传输协议(HTTP)的万维网(World Wide Web, WWW)网络通信模型。

大家知道，计算机网络最初的应用主要集中在邮件通信和文件传输，范围和领域相对专业和局限，而 WWW 网络的出现使计算机网络技术得到真正的普及和推广并开始走向千家万户，网页成为了网络中最为核心的信息载体。人们将现实世界中的各种形式的信息以网页的形式组织在一起并置于大型的 Web 服务器上，用户只需要一个简单的浏览器软件即可检索、访问和下载它们，并获得形式新颖、丰富多彩的各类网络通信服务，如网上信息发布和浏览、网上购物、网上信息查询、网上事务处理、网上考试、网上聊

天、网上看电影听音乐，以及更为复杂的电子商务、电子政务、网络教育等。人们也正是通过这些网络应用，才开始接触网络、了解网络并喜欢上网络，最终变得离不开网络。计算机网络成了继报纸、广播和电视外的名副其实的第四媒体(所谓的 *Imidea*)，其在信息整合能力、传播速度及跨地域、消除时空局限等方面的特性和优势是传统媒体无法比拟和超越的，它正在日益深刻地影响和改变着我们的日常生活以及人类社会的方方面面。

综上所述，计算机网络技术从1969年诞生至今已有五十余年历史，其发展速度、应用范围以及对人类社会生活的影响力等方面在人类科技史上堪称之最。纵观其整个发展历程，大致经历了4个阶段，包括联机终端系统阶段、通信子网和资源子网阶段、采用程序化标准体系结构阶段、宽带综合业务数据或信息高速公路阶段。从技术发展的角度可以分为：1969—1983年，研发阶段；1983—1994年，实用、推广阶段；1994年至今，商用化与全面提升、普及阶段，并从单一、封闭的网络发展成为今天全球范围的网络互联。网络技术发展历程如图 1-3 所示。

1968年: GE Information Service
1969年: ARPANET
1970年: UNIX操作系统(美国Bell公司)
1972年: 以太网(Ethernet, 美国Xerox公司)
1972年: 通过ARPANET成功传输首封电子邮件
1974年: SNA体系结构 (IBM公司)
1976年: X.25协议 (广域网分组交换协议)
1978年: ISO-OSI/RM模型
1983年: TCP/IP 协议
1986年: 首台Cisco多协议路由器
1989年: WWW与 HTML (欧洲高能物理研究所)
1993年: 首个网络浏览工具软件Mosaic
1995年: 跨平台网络程序语言Java

图 1-3 网络技术发展历程

1.1.3 计算机网络的定义

计算机网络这一概念可从不同的角度加以描述，概括地说，计算机网络可以被阐述和理解如下：

- (1) 将地理上分散的、具备独立功能的计算机通过通信设施及线路互联在一起，在一定的网络协议(软件)的支持与管理下，用以实现数据通信与资源共享的信息系统。
- (2) 计算机技术与通信技术相结合以实现远程通信与资源共享的信息系统。在网络协议(软件)的控制和管理下，由多台计算机主机、终端、通信设备和线路组成的计算机复合系统。

1.1.4 计算机网络的功能

经过多年快速发展，当前的计算机网络具备如下功能。

(1) 数据传输功能：计算机网络使用初期的主要用途之一就是在分散的计算机之间实现无差错的数据传输。计算机网络能够实现资源共享的前提条件，就是在源计算机与目标计算机之间完成数据交换任务。

(2) 资源共享功能：计算机网络建立的最初目的就是为了实现对分散的计算机系统的资源共享，以此提高各种设备的利用率，减少重复劳动，进而实现分布式计算的目标。

(3) 分布式处理功能：通过计算机网络，我们可以将一个任务分配到不同地理位置的多台计算机上协同完成，以此实现均衡负荷，提高系统的利用率。

(4) 网络综合服务功能：我们利用计算机网络，可以在信息化社会实现对各种经济信息、科技情报和咨询服务的信息处理。计算机网络将文字、声音、图像、数字、视频等多种信息进行传输、收集和处理。综合信息服务和通信服务是计算机网络的基本服务功能，人们得以实现文件传输、电子邮件、电子商务、远程访问等。

1.1.5 计算机网络的组成

从广义上看，计算机网络由资源子网和通信子网构成。其中，资源子网由主机、终端和终端控制器组成，其目标是使用户共享网络的各种软、硬件及数据资源，提供网络访问和分布式数据处理功能；而通信子网由各种传输介质、通信设备和相应的网络协议组成，它为网络提供数据传输、交换和控制能力，实现了联网计算机之间的数据通信功能。

具体地说，计算机网络由计算机主机和通信中转部件所组成；同时由于网络通信的实现主体是电脑这类智能化设备，后者要能按要求完成预定的通信功能和通信任务，还必须配备一定的软件加以控制，如网络通信软件、网络管理软件、协议控制软件等，因此一个完整的网络系统应由以下部件构成。

1. 硬件(Hardware)

(1) 端系统(End System, ES)：即计算机主机(Host)，包括客户机、服务器主机、网络工作站等，它们是网络通信的主体，是信息的发源地，也是真正面向用户(人)和面向应用的，用以实现网络通信任务的终端设备。

(2) 中间设备(Intermediate System, IS)：通过适当的转发和寻址策略，为源主机传递和转发数据报文至目的主机，如网络交换机、路由器、网关等设备，它们与 ES 一道共同构成网络中的节点(Node)设备。

(3) 接口设备：如 NIC、Modem 等，用作计算机与网络的接口。

(4) 传输介质：双绞线、同轴电缆、光导纤维、无线电和卫星链路等。

2. 软件

- (1) 计算机网络操作系统(NOS)。
- (2) 网络通信协议软件。
- (3) 网络管理软件(如网络接入、认证、监控、计费等软件)。
- (4) 交换路由控制软件(IOS)以及各种网络应用软件。

1.2 计算机网络体系结构

计算机网络的构成异常复杂,涉及硬件设施、传输媒介及软件实体,且其组网结构与传输方式也差异巨大,因此我们可以从不同的角度去加以观察、理解和分析,并由此理解其体系结构和内在特性。

1.2.1 计算机网络拓扑

所谓计算机网络拓扑(Topology)是指构成计算机网络的各主机及传输节点设备基于某种几何学意义的连接方式,又称为组网结构。无论哪种形式的计算机网络,其拓扑结构中都包含下列核心要素。

(1) 节点

计算机网络上的每一个连接点都称为节点(Node),这是网络设备所在位置在几何意义上的一个抽象,一般又将其分为端节点(资源节点)和中转节点(通信节点)两种类型。

(2) 链路(Link)与通路(Path)

网络上任意两个相邻节点之间构成一条数据链路,简称链路,这是通信连接媒介(有线或无线)在几何意义上的一个抽象;而任意两个端节点(计算机主机)之间的通信连接则构成一条所谓的通路。很显然,一般情况下一条通路是由若干条链路串接而成的。

因此,所有网络都有一个由节点和链路连接而成并最终为联网的计算机主机形成通路的、具有较为复杂的图形学意义的物理布局,它决定了一个网络的组网方式和内部结构,也决定了数据信号在网络内部的传递方式与流向,这种物理布局形式就是网络拓扑。常见的网络拓扑结构有星型、环型、树型、总线型及网状型,如图 1-4 所示。

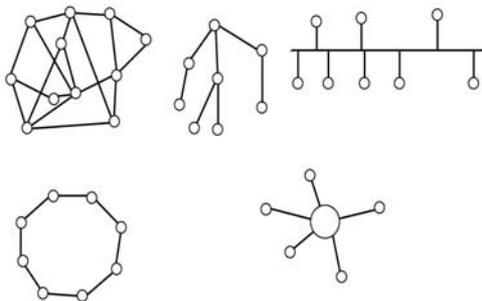


图 1-4 网络拓扑结构示意图

1.2.2 计算机网络协议

1. 网络协议的功能内涵

如果我们从网络内部的通信控制流程来观察网络，可以看到网络通信中一个最重要和最核心的要素，那就是网络通信协议。大家都知道，计算机网络通信实质上是人们将所需信息交由机器传递，而这些机器作为智能化的电子设备，若无相应的软件指令对其动作、行为、流程事先做出约定、规范和指示，它们是无法正常运行并完成预定任务的。网络通信协议恰好就属于这类技术和软件范畴的约定、规范和标准，它在两台计算机之间或计算机与其他中转设备之间进行数据交换和通信的过程中，帮助它们建立并确认数据通信所需要的基本而重要的附加信息(除原始携带信息以外的附加信息)。这些附加信息包括：

(1) 寻址和建立通信连接

任何通信任务的顺利完成，首先需要找到作为收信方的目的节点并与之建立相应的通信连接(如呼叫有时又称为握手)，这种模式类似于电话通信中的拨号行为，在网络通信中运用得相当普遍，我们将其称为有连接的通信模式。当然在网络通信中也存有类似邮政信件传递的所谓无连接通信方式，即发信方在发信时无须与收信方事先建立连接就直接将信息交由网络传递，尽管如此，数据包上收信方的地址标注仍是一个必不可少的环节。此所谓：名字指出我们所要寻找的那个资源；地址指出该资源的位置；路由告诉我们如何找到该位置。

(2) 差错与流量控制

数据(包)在传输的过程中有无因通信失真而误码(发信方本来发送的是二进制“1”码，却被收信方误读为“0”码；反之亦然，称为误码)，进而出错；以及发信方发出信息的速率是否超出了收信方接收信息的能力，这些重要问题均需要通过协议中的差错与流量控制环节加以监控与纠正。

(3) 响应与确认

在两台机器之间频繁往来的通信中，收方正确无误地收妥哪些信息，而因出错或丢失未收妥哪些信息，均需要以某种机制通报发方，以便遇错重发，提高通信的可靠性。这在有连接的网络通信模式中属于一个必不可少的重要环节，即收方对发方所发信息的响应与确认，这类附加的响应和确认信息也需要在网络协议中加以体现。

(4) 数据通信过程中收发双方需要交换的其他附加信息

如当一个数据包(原始报文)过大被分成若干报文段送入网络中传送时，各报文段需要适当的顺序编号或标识来加以区分；又如用以说明所携带数据的格式、类型、大小(长度)、传输优先级的信息及传输途中信道拥塞状况等信息。

2. 网络协议的通用格式

上述这些附加信息称为网络协议控制信息(PCI)。它们显然都不是用户原本需要通过两台机器传送的信息,都属于附加和额外的信息,传输它们无疑会增加附加和额外的开销,但为确保通信最终的成功完成,它们又都是必不可少的信息。这就如同我们要正确地递交一封书信至收件人手中,直接投递信件本身肯定是不行的,我们需要为其附加一个信封,将信件传送所需要的额外附加信息写在信封上,用以帮助邮件传递机构(邮局)正确地递交。计算机网络在传送数据时也会采用这种在原始信息的基础上附加一个类似信封一样的头部数据(协议头),从而实现额外附加信息与原始数据之间的封装,最后再进行传送的处理流程。

网络通信的复杂性以及各种具体的物理网络、应用环境和通信模式的差异性,使得网络通信协议的种类也异常丰富,即单一的网络通信协议无法满足多种网络通信实现的需要。尽管各种网络通信协议的语义内含和语法特征不尽相同,虽有简有繁各有所长,但万变不离其宗,基本上都涵盖了上述四个要点所涉及的内容。

每一种网络通信协议都是针对特定的通信环境和应用并经过长期研究和修正而拟定出来的,它最终需经某个国际标准化组织的认可并形成一种技术规范和标准文档,从而获得各网络开发、制造和运营商的兼容支持和推广普及。

网络通信协议尽管是网络通信技术的核心与灵魂,但它要能真正地起作用,帮助两台机器实现正确无误的数据交换与通信,最终还需以协议软件的形式安装配置在计算机或其他智能化的中转设备上(如交换机、路由器),通过计算机指令的形式来实现其语义要求和功能特征。

当机器硬件启动通信时,处于活动状态的协议软件会将协议所要求的额外附加信息,如地址信息、差错校验信息、流量控制信息、响应确认信息以协议头(Header)亦即所谓的协议控制信息(PCI)的形式添加在待传的原始报文数据前面,形成一个所谓的协议数据单元(PDU),再交由后继通信部件或实体处理,这一过程在网络通信的整个过程中频繁产生,称为数据封装(如图 1-5 所示);而收信方的对等实体(配置了与发信方同样的协议软件)在收到这一 PDU 后,会阅读其 PCI 以理解发信方的某些通信要求,并作出相应的反馈,最终取出附在后面的数据单元,从而完成一次正常的通信任务,此过程称为数据解封。

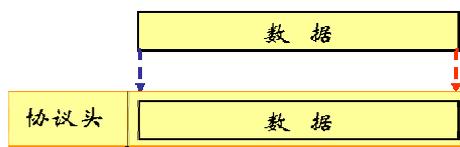


图 1-5 协议数据封装示意图

3. 网络协议的内容要素

如前所述,网络通信协议实质上是计算机通信时所使用的一种收发双方都能理解和识别的语言和约定规范,网络通信协议的构成要件包含以下三大要素。

(1) 语义(Semantics)

协议的语义是指该协议需要在通信过程中附加和传递哪些额外控制信息,以帮助收发双方正确地完成通信。它规定了通信双方需要发出何种控制信息、完成何种动作行为以及做出何种应答响应,并标明了构成该协议各部分内容(即所谓的协议字段或协议元素)的意义与内涵,即收发双方想要说什么,简记为“**What to Say**”。

(2) 语法(Syntax)

协议的语法确定了协议生成的基本格式,标明了数据与控制信息的组织结构和编码规则,用以指出一个协议数据单元(PDU)中,哪一部分协议字段或元素表达哪一种语义信息,并依照某种语法规则将这些信息有机地组织在一起供收发双方的协议软件阅读和理解,即收发双方如何说,简记为“**How to Say**”。

(3) 定时(Timing)

除上述两要素之外,通信协议还包含第三个要素,即通信的“时序或同步”规则,它是指通信流程中各事件发生的因果及先后时间,用以规定某个通信事件及由它而触发的一系列后续事件的执行顺序和同步关系,以及两台机器在通信时互相应答的时序匹配,从而解决收发双方“谁先说”“谁后说”以及“何时说”等与信息收发时序有关的问题,简记为“**When to Say**”。

1.2.3 计算机网络分层控制模型

1. 采用分层控制模型的原因

计算机网络通信不同于大家熟知的电话语音通信或邮政信件通信,后两者的通信过程中由于大量存在人为的直接参与(如发信方、收信方、中转方即邮局方都是人),使得很多环节与流程得以简化。而网络通信的绝大多数重要环节都是由机器负责完成的,故其困难度和复杂性会高出很多。

另外,由于历史形成的原因和技术发展本身的特质,使得现存的计算机网络使用的硬件设施、软件配置、传输介质、采用的网络拓扑结构和处理的应用业务种类以及所遵循的网络通信协议都呈现出多元化的状态,由此组建的各类网络千差万别、差异巨大,并体现在网络通信技术的方方面面。包括:

- 不同的状态报告方法
- 不同的路由选择技术
- 不同的用户访问控制
- 不同的服务:面向连接和无连接服务
- 不同的超时控制
- 不同的管理与监控方式
- 不同的寻址方案
- 不同的最大分组长度
- 不同的网络访问机制
- 不同的差错恢复方法

由于上述网络差异性的存在，使得各类异种网络之间的兼容和互操作变得十分不易，这也直接导致了网络通信本身流程的复杂性和困难度，使我们要面对和处理的问题显得异常繁杂、琐碎与多变。因此，在复杂多变的通信环境中，相互通信的两个计算机系统必须高度协调工作才行，而这种“协调”是相当复杂的。分层是人们处理复杂问题的基本方法。人们在处理一些复杂的问题时，通常会将其分解为若干个较容易处理的小一些的问题。在计算机网络中，将总体要实现的功能分解在不同的模块中，每个模块要完成的服务及服务实现的过程都有明确规定；每个模块叫做一个层次，不同的网络系统分成相同的层次；不同系统的同等层具有相同的功能；高层使用低层提供的服务时并不需知道低层服务的具体实现方法。这种层次结构可以大大降低复杂问题处理的难度。

2. ISO-OSI/RM 模型结构

ISO-OSI/RM 模型包含七大功能层，如图 1-6 所示。

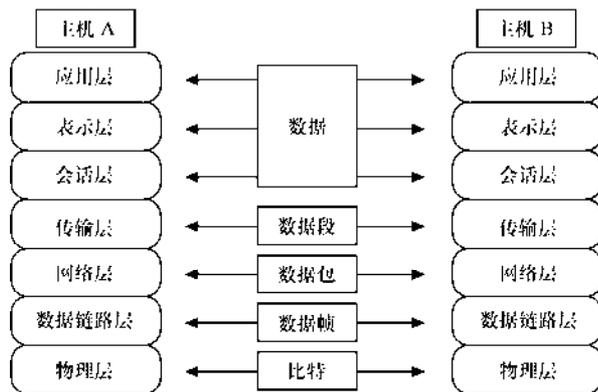


图 1-6 ISO-OSI/RM 参考模型

(1) 应用层

对应于两台计算机主机进行网络通信的应用进程，用以实现最高层亦即用户意义上的应用需求，如浏览网页、收发邮件、下载(上传)文件等。常见的应用层协议有 HTTP 协议(超文本传输协议，用于网页信息传送)、SMTP 与 POP3 协议(用于收发邮件)、FTP 协议(文件传输协议，用于文件传输)、Telnet 协议(用于远程主机登录)等。

(2) 表示层

为异种机之间的通信提供一种公共语言，以便能进行互操作。一般来说，一段数据的语义部分由其应用层决定，而其语法部分则由表示层决定，该层所处理的是文字、图像、声音的表示方式以及数据压缩、加密等与表示形式有关的方面，并通过代码转换、字符集转换、数据格式转换等手段实现由各具体设备的所谓局部语法向网络传输所需的通用(公共、传送)语法的转换。

(3) 会话层

其主要目的是提供一个“面向用户”的连接服务，两个正在通信的用户(进程)也是在这一层才实现真正意义上的交互，我们将该层为发送和接收计算机之间建立的一对一

的这种交互称为一个会话。该层将为两个会话用户(会话实体)间的会话活动进行协调管理,包括会话连接的建立和释放、确定会话方式(如单工或双工)、实现会话权标管理和会话同步服务;并可在会话数据流中设置检查点,以便当会话中断后确定重发数据的起始点。

(4) 传输层

对应于两台计算机主机端到端之间的通信,通过端口地址来确保两台主机上对应的应用进程能够相互通信,并利用相应的传输层协议机制来实现报文分段排序与编号、残留差控(一段报文经过漫长的网络通信环节递交到目的端主机,尚存有的漏检差错称为残留差错)以及端到端的流量控制和端到端的连接建立等。常见的传输层控制协议有 TCP 协议(传输控制协议)和 UDP(用户数据报协议)等。

(5) 网络层

如前所述,一段报文要从源端主机成功地递交到目的端主机,一般需穿越多个不同的物理网络。在每一个网络内部,需要对数据的传输给予相应的规范,包括网络设备寻址、路由选择信息(虚电路标识)、响应与确认、网络连接的建立以及网络流量控制等。最著名的网络层协议是公用分组交换网协议(即所谓的 X.25 协议),另外在帧中继网和 ATM 网中也配置有相应的网络层协议及其相应的报文分组格式,以实现数据分组在这些特定网络中的正确传递。

(6) 数据链路层

网络通信的终极目的是实现两个远程主机上对等的用户(应用)进程之间交换数据信息,但此目的需经由端到端、网到网以及节点到节点等各通信环节的协同合作方可实现。很显然,无论两个端系统之间的距离多么遥远并可能穿越多少个不同的物理网络,二者之间的传输通路必然是由沿途若干个网络节点设备所构成的数据链路串接而成的。为实现对相邻两个节点设备之间的诸如寻址、流控与差控以及响应与确认等通信控制,特在部分重要的数据链路上配置了相应的数据链路层协议。比较常见的有局域网中的 MAC 协议(介质访问控制协议)及 LLC 协议(逻辑链路控制协议)和广域网中的 HDLC(高级数据链路控制规程)。

(7) 物理层

物理层协议是指各种网络设备进行互联时必须遵守的最底层协议,其目的是在两个物理设备之间提供无结构的二进制位流传输。它并不具体地规定为实现两数据链路实体之间的数据通信必须使用何种物理设备和物理介质,而是对二者之间的物理连接(物理接口)及其相应的机械、电气、功能和规程特性予以定义和规范,以帮助两个数据链路实体之间成功地进行二进制位流的传输。这是一个最底层协议,若无两物理设备之间的正确互联与接口标准,建立在其上的网络通信就无法实现。物理层关心信号传输的问题,如模拟与数字信号、基带与宽带技术、异步与同步传输、多路复用等。其可能实现的功能包括:物理连接的建立、维持与释放,物理层服务数据单元的传输,数字脉冲的编码方案以及物理层的管理(如传输质量监测、差错状况通报、异常情况处理)等。常见的物理层协议有 RS-232-C 接口标准和 V.35、X.21 等协议标准。

1.2.4 TCP/IP 协议

1. TCP/IP 协议概述

如前所述，基于网络通信的复杂性，国际标准化组织 ISO 提出了 OSI/RM 参考模型，意在架构一种标准而统一的计算机网络体系结构，并采用分层协议的方式来对网络通信的每一环节加以控制。但这一模型仅是一个理论构想，其真正的技术实现就是大家所熟知的 TCP/IP 协议，这是在计算机网络通信技术中具有划时代和里程碑意义的一组协议，实质上也成为了互联网事实上的通信和传输标准。

TCP/IP 协议集基于 OSI 模型的基本框架和分层控制思想，但做了必要的改进，它省略了表示层与会话层；同时增加了网际层 IP 以屏蔽各物理网络的差异，并通过网络接口层与底层物理网络交互，其与 OSI 模型的对比如图 1-7 所示。



图 1-7 TCP/IP 协议与 OSI 模型间的对比

具体地分析，TCP/IP 参考模型包括：

(1) 应用层

应用层在最高层，用户调用应用程序来访问互连网络提供的各种服务。应用程序负责发送和接收数据，它将数据按要求的格式传送给传输层。从某种意义上说，TCP/IP 体系结构中的应用层是属于开放型的，即可以根据用户的具体需求，添加不同类型的报文格式和传输标准。目前，应用层中的典型协议包括超文本传输协议 HTTP、文件传输协议 FTP、简单邮件传输协议 SMTP、邮局协议 POP、远程登录 Telnet、域名服务 DNS 等。

(2) 传输层(TCP 协议层)

传输层提供端到端的通信控制功能，包括区分多个不同的应用程序产生的数据、提供差错控制和数据排序。传输层协议软件将要传送的应用数据流划分成报文或报文段，并连

同目的主机上的服务地址(端口号)传送给 IP 层。传输层又提供有连接的通信服务与无连接的通信服务, 分别对应两种传输层协议: 即传输控制协议 TCP 和用户数据报协议 UDP。

(3) 网际层(IP 协议层)

网际层将报文段封装在具有统一格式的 IP 数据报中, 交由默认的出口路由器向外转发; 其间, 可能途经多个中转路由器并穿越多个物理网络, 直至到达目的主机。该层具体又包含互联网协议 IP、网际报文控制协议 ICMP、主机地址解析协议 ARP、反向主机地址解析协议 RARP 等。

(4) 网络接口层

网络接口层是具体的、多样化的、充满差异的各类物理网络, 如 X.25、帧中继、ATM、802.3、802.5 等, 它们是网络数据传输的物理载体。

由此可见, TCP/IP 协议实际上是 OSI 模型的具体实现, 它也是一个协议集, 包含了众多的通信协议, 其核心即是 TCP 和 IP 协议, 其具体构成如图 1-8 所示。



图 1-8 TCP/IP 协议集的构成

除以上两种模型外, 还有一种五层协议的体系结构, 能更简洁清楚地阐述计算机网络的体系结构。七层、四层、五层体系结构的对比如图 1-9 所示。

以 OSI 模型结合 TCP/IP 模型, 得到用于学习研究的五层模型

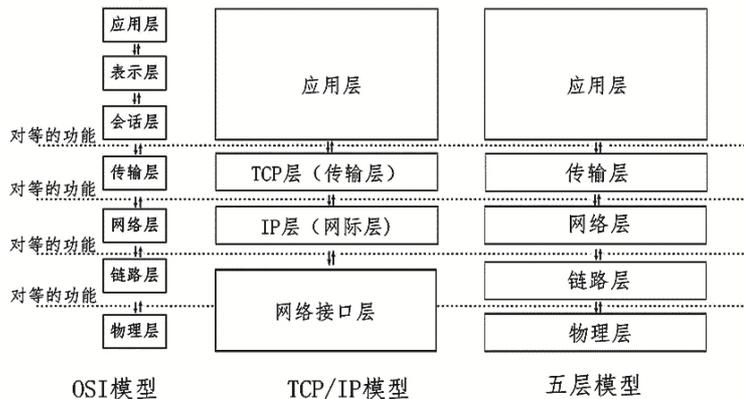


图 1-9 各种参考模型的对比关系

2. TCP 协议

TCP 协议即传输控制协议, 顾名思义它显然工作在传输层, 用以实现主机之间端到端的通信控制。TCP 协议是基于有连接的通信服务, 即两台主机在通信之前, 需要通过该协议完成连接交互, 从而确立传输通道(虚电路), 进而完成数据通信, 此即为 TCP 协议的“三次握手”连接机制。同时, TCP 协议中有相应的字段用于标识发送方具体的通信进程, 称为端口号或服务地址。另外, 应用层的长用户报文也需要通过传输层的控制

和 TCP 协议软件的处理, 分割为适宜于在网络中传输的分组长度(如 ≤ 1500 字节), 再送往下层网络传递, 这称为报文分段。最后, 报文接收方的数据接收能力(用于流量控制)和对已收报文的响应以及接收报文的差错信息也是通过 TCP 协议的相应字段告之于报文发送方的。总之, TCP 协议是实现计算机主机通信基于端到端的相关因素控制。

在同一层控制工作的还有 UDP 协议, 即用户数据报协议。这是一种基于无连接的通信服务, 即通信双方在数据传送之前无须事先建立虚电路连接, 而是直接将数据送入通道传递。这种通信方式快捷、简便, 但安全性和可控性较差, 适宜于一些小数据或实时性要求较高的场合的通信。

3. IP 协议

IP 协议是互联网通信中的一个核心协议, 其名即为互联网协议; 也是分层模型中的支撑控制层, 我们将其称为网际层, 也就是大家常说的 IP 层。这是互联网通信中一个特殊的协议处理层, 在原 OSI/RM 模型中并未明确定义。大家知道, 由于历史形成的原因, 现存的各类网络之间在拓扑结构、网络通信协议、传输特性、寻址模式、报文格式等方面都存有极大的差异, 每个网络内部参与通信的软、硬件实体均无法理解其他网络内部传递的数据报文, 网络之间的互联在这个意义上说是不可能的。于是提出了网际层这一概念, 即在原有各物理网络之上, 再架构一个全球统一的 IP 层, 利用它来为需穿越不同网络的用户报文提供一个全球统一的格式, 然后交由各底层物理网络予以传递, 这样便包容和屏蔽了各底层物理网络的差异性, 成功解决了网络间的互联与兼容问题。换句话说, 各物理网络的内部协议语义在其间不能相互理解没有关系, 只要大家都遵循 IP 协议, 并配置类似于路由器或网关这类支持多协议及其间转换的边界设备, 就能实现网络间的互联和互通。IP 协议很类似于我们自然语言中的世界语, 即虽然各国的语言差异很大, 但大家都可通过世界语作为通行的中介来进行无障碍交流。IP 协议网络互联示意图如图 1-10 所示。

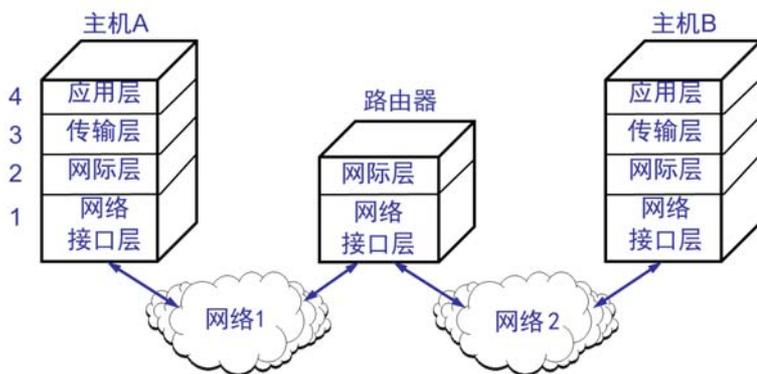


图 1-10 IP 协议网络互联

通过图 1-10, 我们可以看到: 当数据报文从源主机 A 发送至目的主机 B 的整个通信过程中, 贯穿始终并全程支持的是 IP 数据报, 它恒定不变(除因报文过长而被分片)且所有的主机设备(包括路由等网关设备)都能识别和理解它的协议语义。当它需要穿越某个物理网络时, 它需要进一步被封装处理成该网络所能识别的分组或帧格式, 而在离开这个网络时, 再解封还原为原始的 IP 报文并为进入下一个网络作封装准备。在这一不断变

换的过程中，支持多协议的边界路由器起到了非常核心的作用，上述封装和解封过程实际上都是由它完成的，它实现了一个承上启下的协议翻译和转换功能。

1.2.5 计算机网络特性分析

如前所述，由于历史形成的原因和技术发展本身的特质，使得现存的计算机网络使用的硬件设施、软件配置、传输介质、采用的网络拓扑结构、处理的应用业务种类以及所遵循的网络通信协议都呈现出多元化的状态，由此组建的各类网络千差万别，这些差异的存在增加了网络通信流程的复杂性和困难度，这些复杂性表现在以下方面。

1. 通信主体和通信环境(环节)的不同与变化

在互联网通信中，一段数据报文将可能穿越多个不同的网络、途经若干个中转节点与数据链路才能从一台计算机主机(源端节点)到达另一台计算机主机(目的端节点)。另外，一台主机上还可能同时存有多个通信进程(应用程序)在利用网络与外界通信(例如你可以一边下载文件一边又在网络聊天等)。这样，在一次完整的网络通信流程中，参与通信的主体(软、硬件实体)及通信所处的环境与历经的环节都在不断地发生变化。概括地说，大致需经历从进程到进程(最高层对等应用软件实体之间)、从端到端(即从主机到主机)、从节点到节点(途经若干条链路)以及从网络到网络(穿越多个实际的物理网络)。很显然，这样的多样性和变化必然导致网络通信的复杂性，它要求在不同的通信环境中遵循和采用不同的通信协议、通信流程与通信方式；相应地，在诸如寻址、路由、可靠性(检错)、互操作性(兼容性与协议转换)、安全性、流控方式和报文格式等方面也将采取完全不同的策略与通信规则。

2. 分层通信控制协议的不同与变化

为了应对上述复杂多变的网络通信环境，在网络通信技术的具体实现中，采取了模块化的分层控制体系结构，即将一个完整而复杂的网络通信流程按其所处的通信环境、参与通信的实体和能够实现的功能以及相互之间的依赖与关联关系，分解成若干个上下结构的层次化模块，每一层都配置有相应的网络通信协议，它们分别就寻址、建立连接、流控与差控、响应与确认及其他与网络通信有关的问题(如报文排序与编号、报文大小等信息)予以控制。这便是国际标准化组织在 1978 年提出的开放系统互连/参考模型(ISO-OSI/RM)。

3. 寻址模式的不同与变化

面对复杂多变的通信环境与分层控制协议，网络通信中的地址标识和寻址方式也不像电话通信或邮政信件通信中那样简单化一，而是呈现出多元化状态。即在不同的通信环境中针对不同的通信实体，其地址标识完全不一样，常用的有以下几个。

(1) 服务地址

又称端口地址或端口号(Ports No.)，用以标识同一台计算机主机上不同的应用进程(因为允许同一台主机上同时有多个进程进行网络通信)。它类似于操作系统中的进程标识，但仅用于区分网络通信中的高层应用；它属于软件标识而非指物理设备的连接端口(如计算机通信串口、交换机的 RJ-45 接口或路由器的广域网串口等)；它一般以 16 位端口号的形式被写在传输层协议(如 TCP 或 UDP)字段中。

一般普通用户的网络通信进程端口号是由其配置在操作系统内核中的传输层协议软件随机分配的，默认范围为 49 152 到 65 535(十进制)，又称为动态端口或私有端口(Dynamic and/or Private Ports)；而一些面向公众的服务器进程的端口号则已被预先分配确定，称为周知端口或公认端口、固定端口(Well-known Ports，其编号在 0~1023 之间)，此举的目的是为了远程客户机在事先知道其端口号的前提下方便地与之通信。例如，HTTP 协议的服务器应用进程守护端口号为 80(十进制)；而 FTP 协议的周知端口号有两个，一个用于与客户进程之间协商对话，号码为 20，另一个用于数据传输，号码为 21。另外，SMTP 服务器进程的守候端口号为 25，域名解析服务器程序(DNS)端口号为 53，简单网络管理协议(SNMP)软件的端口号为 161。此外，针对一些特定的商业应用，还允许 ICP(互联网内容提供商)通过注册的方式申请专用端口号(Registered Ports)，其编号范围被限制在 1024~49151 之间，如 QQ 的客户端和服务器的端口号分别为 4000 和 8000，基于 HTTP 协议的 Resin 服务器的默认端口号为 8080 等。

(2) 物理地址

在每一个物理网络内部，各类设备都会被赋予一个具体而明确的通信地址，称为物理地址。该物理网络内部的通信与寻址均是基于物理地址展开的，换句话说，即在一个物理网络内部必须使用与该网络匹配的内部地址，方能找到相应的目的节点设备。例如，在局域网内部(总线型、以太网)通信时，相互之间所发的数据报文(MAC 帧)即是以 48 位的所谓 MAC 地址(亦即网卡地址)作为寻址依据的；而在广域网中，各类包交换机及其接入设备的内部地址则是由若干位的十进制数(类似于电话号码)编码而成。而像路由器这类的边界网关设备，由于其多个端口被分别接入至不同的物理网络上，故它会同时具备多种物理地址，以满足不同网络和物理端口的寻址要求。

(3) 网络(主机)地址

基于 TCP/IP 的互联网络采用了一种全局性的编址方案，为接入互联网的每一台独立的计算机主机分配一个全球唯一的地址，用以在浩如烟海的网络世界中寻址到某台你希望与之通信的目的主机，此即为大家频繁使用且耳熟能详的所谓 IP 地址。之所以称其为 IP 地址，是因为这一地址标识被运用在 IP 协议中，属于一种协议地址(又称软件地址)，或者说是一种虚拟地址。此类地址并不在某一网络内部通信时使用(网内通信采用上述物理地址)，而是在网间通信时使用，并能被网络层(三层)以上的所有主机与转发设备所识别。由于其适用于所有的 TCI/IP(支持 TCP/IP 协议的)网络并具备全球唯一性，因而成为

互联网中寻址一台主机的核心标识。网络中的 IP(支持 IP 协议的)路由器(类似于信件转发的邮政局)就是依据此类地址来将一段数据报文成功地转发并递交到目的主机的。而由于像路由器这样的设备往往处于多个网络边界的交汇处,故其不同的端口相应地也具备不同的 IP 地址,以便与相联的网络通信。

在 v4 版本的 IP 协议中,IP 地址采用 32 位的编码方案,理论上可标识 40 多亿台主机,但由于互联网及其接入主机数的规模呈爆炸性增长,加之部分地址代码在协议设计之初就被分配另做它用,以及美国本土分配的地址量过大等诸多原因,故目前 IP 地址已呈紧缺态势。IP 地址由国际互联网信息中心(NIC)及其各分支机构管理,其再分配权由各国的网络运营商即 ISP 所有,普通用户较难获得独立的 IP 地址(一般需经出口网关利用地址转换协议——NAT 协议将其内部 IP 映射为公网上可全球唯一识别的独立 IP)。故未来即将投入商务应用的 IPv6 协议将采用 128 位的地址编码方案,以彻底解决可用 IP 稀缺这一现实问题。

IP 地址采用二维对偶形式的编码方案,即将现有的 32 位地址码分成网络标识与主机标识两个部分(Net Id +Host Id),前面若干位作为互联网中某个具体网络的标识,而后面若干位则作为此网络中某台具体主机的标识,二者合起来去定位和寻址全球互联网中不计其数的网络节点设备(或其某一接入端口)。

4. 数据格式的不同与变化

由于网络通信中采用了分层控制协议,从而导致在不同的通信环境中,同一段用户数据报文将可能以完全不同的协议数据单元格式出现在传输途中。同时,可能基于分层控制的需要,对此段报文数据将实施多次协议封装,具体地说,即上层协议数据单元在交由下层实体进行传输时,会进一步经下层通信协议的再次封装处理,由此形成下层通信实体自己的协议数据单元。

举例说明,一封用户电子邮件(报文),经应用层 SMTP(简单邮件传输协议)协议处理后形成应用报文(原始的邮件报文);然后,交由 TCP 协议层处理,经其报文分段处理及 TCP 协议控制信息头(TCP PCI)封装后形成 TCP 报文段(TCP PDU);再交由 IP 协议层处理,在附加 IP 地址(源、目的主机)及其他附加控制信息后形成 IP 数据报;再交由下层具体的物理网络传递,其格式将与底层网络具体的组网方式与结构相匹配,并在传输途中随承载网络的不同而发生变化,它可能是局域网的 MAC 帧,也可能是分组交换网中的 X.25 协议分组、帧中继网中的广域网帧或 ATM 网中的信元等,难以一概而论;在经过上述分层控制协议的层层封装处理后,最终形成的具有复杂内含的多层协议数据单元将以非结构二进制位流(bit 流)的形式交由物理层传输介质传送至下一节点设备并最终投递到目的端计算机主机上,后者所配置的对应通信实体将作反变换,即对上述多协议报文作解封处理,最终取出源主机发来的原始邮件交予用户阅读,从而完成一次完整意义上的网络通信。很显然,在这一过程中,数据将经过封装、解封、

再封装、再解封等多次复杂的变换过程，才能成功地完成这次网络通信。具体各层报文封装流程如图 1-11 所示。

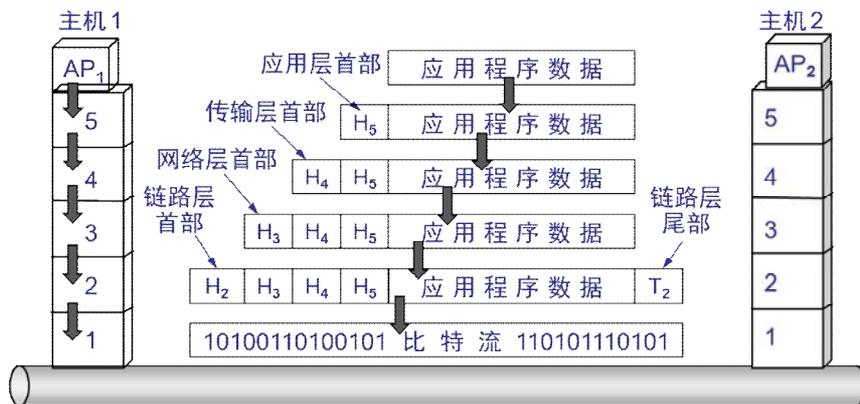


图 1-11 分层协议数据封装示意

1.3 网络通信技术相关概念与术语

1.3.1 电路交换与分组交换

在通信网络中大量使用交换机这样的中转设备来实现两个终端设备之间的远程通信，如电话通信网中的程控交换机、网络通信中的包(分组)交换机，目的是减少各终端设备之间的介质连线数目(无须任意两个端节点之间都设置传输通道)，以此节约通信网络的线路铺设成本。交换机本身并不关心其所传输的数据内容，数据信号经由沿途交换机逐站转发，最终被传送至目的节点，从而完成一次通信。相应地，各交换机所处的位置称为交换节点，各种终端设备则称为“端站点”，在计算机网络中这些站点可能是计算机、边界网关等。一般来说，计算机网络中所有站点的集合构成所谓的“资源子网”，而所有的交换节点及其连接介质的集合则构成“通信子网”。目前，通信网络中常用数据交换技术有电路交换与分组交换。

1. 电路交换

电路交换服务是指在两用户需要进行通信时，首先为其建立一条临时的专用线路，用户通信期间独占此线路，直至通信结束将其释放。这一专用线路可以是一条真正的物理线路，也可以是在一物理线路上通过多路复用技术建立的一个子信道。

电路交换的优点是数据传输可靠、传输延迟小(通常仅有传播延迟)、实时性好；其缺点是建立连接需要较长的时间、数据传输率低(一般在128Kb/s以下)、信道的利用率低(一般在75%以下)、通信费用偏高。这种交换模式适用于模拟信息的传输与实时大批量连

续的数字信息传输，在目前普通的电话通信中采用的即是电路交换技术。

电路交换实际是按需要、经用户申请来分配信道，其通信过程需经过三个阶段：

- (1) 建立连接(hello)
- (2) 传送数据(talk)
- (3) 拆除连接(bye)

简而言之，传送前需先在两站点间建立专用“通路”，通路由一组交换节点间构成的链路串接而成，并形成两站点间的“透明”连接(直接连接)，如图 1-12 所示。

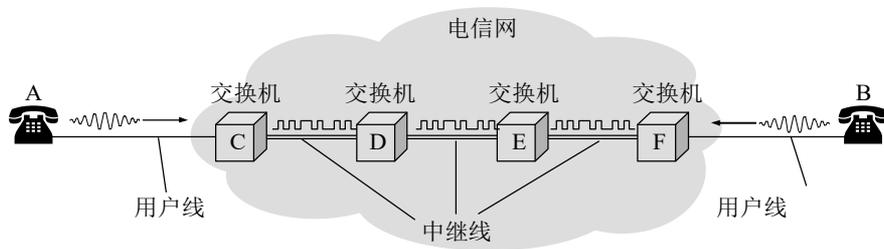


图 1-12 电路交换示意图

2. 分组交换

当用户在计算机网络中需要传送非即时性数字数据时，交换节点可以把收到的信息暂时存储起来，待信道空闲时再转发至下一节点，这种经过多个中转节点的存储转发，最后到达目标节点的交换方式称为存储交换或存储转发(Store and Forward)。在这一交换模式中，用户不是按需分配而是按排队(在无优先级的情况下采用先来先服务模式)方式来使用信道，同时所有分组也以非独占而是共享的方式来使用信道，这便是目前互联网中广泛采用的数据交换技术。分组交换网示意图如图 1-13 所示。

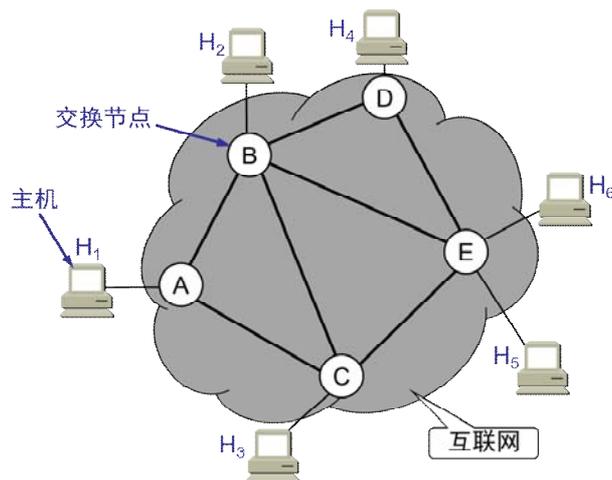


图 1-13 分组交换网示意图

分组交换的特点是：将要发出的数据当作一个有结构的整体(报文、报文段或报文分组又称为数据包，简称包)；它可以是定长的也可以是不定长的；在报文正文之外还需附加诸如分组序号(如一段长报文被分割为多个分组)以及目的站点地址等其他额外信息；通信前可通过呼叫分组事先在两站点之间建立连接(虚电路服务模式)，亦可不建立连接而直接将分组送入通信子网转发(数据报服务模式)；传输时各交换节点均采用存储转发方式；同一对站点之间通信的报文可通过单一固定的通路传递，亦可各自走不同的线路到达目的站点(即先发的报文不一定先到达终点的无序性)。

分组报头中一般含有分组编号、源和目的站地址及其他协议控制信息，交换节点将根据目的地址为该分组选路；而报尾则一般包含数据校验信息，用以帮助目的站点对所接收的报文分组进行差错控制，如图 1-14 所示。

分组编号及其他控制信息	目的地址	源地址	正文数据	校验序列
-------------	------	-----	------	------

图 1-14 报文分组-数据格式示意图

1.3.2 数据报与虚电路

如前所述，在计算机网络中普遍采用的是分组交换技术，该项技术在实际应用中又有两种具体的实现方式(或称服务类型)：即无连接的数据报(Datagram)方式和有连接的虚电路(Virtual Circuit)方式。

1. 数据报方式

数据报方式是一种无连接的网络通信模式，所谓无连接，并非指通信双方无须建立物理通路，而是指在发送端发送数据分组前，无须事先通报接收端并得到确认，而是直接将分组送入网络。各分组独立传送，其间在路径选择与传送时序方面并无关联(由于各分组经由不同的路径，并面临不同的信道状况与网络环境，故常常先发出的分组却后到达目的站点，即不能保证分组按序到达——分组的重组由目的站点完成)。

在数据报传送方式中，每一分组头中除包含分组序号外，还必须包含完整的目的地地址，以供交换节点选路使用。这一数据传递方式类似于普通邮政模式。由于传输无须建立连接，故较适用于短报文的传递；但又因在网络不畅时易发生分组丢失的问题，故较常用于对传输可靠性要求不高的通信场合。

2. 虚电路方式

虚电路方式吸纳了电路交换技术的要旨，将其运用到分组交换技术中，提供一种所谓面向连接的数据传输服务。在此模式中，发信方需在通信前向收信方发送一呼叫控制分组(类似于电话拨号)并得到后者的确认后，才正式向对方发送数据。

在这一建立连接的过程中，由于呼叫控制分组中携带了目的站点的地址，沿途中转节点将为其选择一条传输路径，并据此为收发双方建立一条物理连接，这非常类似于电

话语音通信。但与之不同的是，由于各路数据分组采用的是存储转发方式，故此物理连接并不为每一对收发双方所独占，大家依然是按照排队的方式来共享其中的每一段信道；或者说两个用户在通信期间并没有自始至终地占用一条端到端的物理信道，而只是断断续续地依次占用传输通路上的各段链路。很显然，对任意一对收发用户而言，这条连接只能被看作一条逻辑连接，故我们将其称为虚电路。

当虚电路建立好后，发端的用户数据分组将按序通过此逻辑连接逐一传输，不再需要为其中的任一分组做路由选择了(路由选择工作已经在建立虚电路时就完成了)，当通信结束时，同样需要有拆除虚电路的操作。即它类似于电话通信业务，两个节点通过虚电路进行数据通信，需经过虚呼叫、数据传输和拆除虚电路三个过程。

1.3.3 交换与路由

交换与路由是计算机网络通信中最为常见也较易混淆的两个重要概念。

1. 交换

交换指在一个单一的网络内部利用网络交换机(局域网或广域网)这类中转设备，通过查询其上建立的端口转发表，将数据帧或分组从交换设备的一个端口转发至另一端口，并成功地通过交换机的接力传输而穿越此网络，到达出口边界设备。

2. 路由

路由指利用路由器这类网络边界设备(或称出口网关设备)，通过查询其上配置的路由表，以确定到达的数据分组应经后续哪一台邻居路由器将其继续接力传递下去，并基于与交换机相同的端口转发机制实现分组转发。

既然都属于数据分组在计算机网络中的转发，一般的读者可能较难理解上述名词解释间的差异，一言以蔽之：交换是在网内实现的；而路由是在网间实现的。即交换是处理报文分组在同一网络内部的选路与转发问题，以使此分组成功地穿越此网络；而路由是处理报文分组在网络互联环境中诸网络间的寻径与转发问题，以便为此分组确定后续传递网络及下一台中转路由器问题。

1.3.4 客户/服务器(C/S)通信模式

1. 概述

在互联网中，若将信息资源分散存放，则对其进行收集、管理、共享、检索及安全管理等都将变得十分不便。表现在资源的收集上将可能出现过多的重复和冗余；而在检索方面则要求用户对各类分布极广的信息资源的位置都要有一个清晰的了解，这显然是不现实的，即便在今天互联网中我们大量采用客户/服务器(C/S)这种集中的模式来管理

网络信息资源，依然需要依靠类似搜索引擎、WAIS、Archive、Gopher 等信息服务系统来帮助我们检索信息；另外，数据的安全性、保密性也很难得到保证；此外要求大量存有公共数据信息的所有主机长时间处于活动状态，也是不现实的。

故目前在互联网中，大量采用了客户—服务器模式来实现资源的共享。在这一模式中，仅由数量相对有限的、投资较高的、配置良好的且功能强大的、有专业队伍管理和维护的大型计算机主机承担网络信息的服务任务，它们长时间都始终处于活动状态，而广大网络用户则以客户这一身份及其相应的软件实体去使用这些信息服务。

2. 定义

简单地说，客户—服务器交互模式是目前互联网上的一种主流的通信模式，其中客户和服务器分别指在一个通信活动中所涉及的两个应用实体(高层应用对象或软件实体)，其中主动启动通信的应用实体称为客户，而被动等待通信到来的应用实体称为服务器。从这一简单的定义可以看到，客户—服务器这一术语并非硬件方面的概念，而是指计算机网络中通信主机上所配置的应用程序。相应地，我们常将配置了客户程序的主机称为客户机；而配置了服务器程序的主机称为服务器主机。事实上，许多主机既安装并运行客户程序，也安装并运行服务器程序，即它在某一时刻可以主动去启动一个通信，而在其他时刻又可被动地等待一个通信。尽管在日常生活中，我们经常将运行服务器程序的大型计算机主机简称为服务器，而将用户端运行客户程序的普通 PC 机简称为客户，但实际上它们之间并非完全相同的一个概念。

目前互联网上主流的通信模式——C/S 模式，实际上是指两个参与通信的软件实体，其中客户实施通信的启动，而服务器则用以完成更为复杂和具体的通信任务处理。因此，客户和服务器之间要能成功通信，首要前提是在网络一端的客户机上安装和配置客户程序，而在网络另一端的服务器主机上安装和配置服务器程序，二者缺一不可。大家所熟悉的 QQ 聊天及大量的网络游戏均采用此模式。

因此，需要大家注意的是，正因为网络通信目前主流的模式为客户—服务器模式，故在许多网络通信服务中，用户之间的通信并不是直接的、点对点进行的，而是在服务器主机这类中介设备的帮助下才得以完成的。例如，大家熟知的电子邮件(E-mail)并非直接从发件人的电脑传送到收件人的电脑上，而是通过邮件服务器实施中转；又如网络聊天(或网络游戏)，两个人说的话也不是在两人中间直接传送的，而需在聊天服务器或游戏服务器上做适当的数据交换才能顺利完成。

3. 浏览器/服务器(B/S)通信模式

对于互联网中通信量最大的几种常规信息服务如文件传输(FTP)、网页访问(HTTP)以及基于 Web 通信的网上事务处理(将应用业务处理代码嵌入普通的 HTML 网页中，实现网上购物、网络信息查询等功能)，在客户端都配有一款大家非常熟悉的通用软件，此

即网络浏览器。其中,较为著名的有微软公司的 IE 浏览器和网景公司的 Navigator 浏览器。在该款软件中内置有 HTTP、FTP、Telnet 等网络高层应用的客户端模块,故凡装有此软件的计算机便无须再额外配置其他客户端软件,即可完成上述常规网络通信任务。此便是 C/S 模式的一个简化但仍很常用的形式——B/S 模式,这里的 B 即代表 Browser(浏览器)的首写字母。当然,在 B/S 模式中,服务器端仍需配置专门的服务器软件,如 FTP 服务器、WWW 服务器等以完成服务器端的处理任务。

1.3.5 网页与网站

1. 网页

这是互联网中最为常见的一个术语,一般普通用户最初接触网络也都是从浏览网页开始的。那么到底什么是网页呢?概括地说,网页是指这样一种信息形式:计算机利用超文本标记语言 HTML 将各种文本(字符)与超文本(声画等多媒体)信息有机地组织在一起,形成所谓的 HTML 文档(*.html)即网页文件,并将其置于网络主机(一般为 Web 服务器主机)的指定目录中,供普通用户上网浏览访问;用户电脑上所配置的客户端浏览器软件,通过 TCP/IP 通信层协议和 HTTP 应用层协议,将网页数据包下载到本地主机上,最后再利用浏览器软件将以 HTML 格式组织的网页信息内容解释还原成普通的、生动的、为一般用户所能接受的信息显示形式。

网页又可进一步分类为静态网页和动态网页。前者在网页文件(HTML 文档)编制时,其组织的信息内容即已确定,在网页信息传递与显示的过程中,这些信息内容均不再发生变化,此即为静态网页。在目前的 WWW 网络通信中,这类网页已经较少使用了。而所谓动态网页,即是在普通的 HTML 文档中加入程序的要素,利用程序代码的可计算与可控制功能,增强网页的动态效果。如网页画面中信息内容、显示格式、所处位置的不断变化;又如可为客户端用户提供信息录入界面,以实现客户与服务器端的信息交互(互动),增强用户的参与性;又如在网页文件中嵌入更复杂的与后台数据库连接的代码和应用逻辑处理代码,以完成更为复杂的网上事务处理业务,如网上注册与报名、网络信息查询、电子商务、电子政务等。

由于通常情况下,网页是置于服务器主机之上供远程用户浏览访问的,因此上述嵌入在网页标记中的程序代码便存有两个可执行位置,一个为服务器端,另一个为客户端。其中那些较为简单的、被我们称为脚本程序的代码一般置于客户端被浏览器软件直接加以解释执行。比较常用的脚本程序有 VBScript 和 JavaScript,Script 英文原意为脚本,在这里特指一些功能特定且有限的小程序,一般用以实现客户端的数据验证以及网页中的美工、动画及某些特殊的显示与装饰效果。而另外一些程序代码则被指明和规定在服务器端执行,它们均有属于自己的特定的语法规范并在服务器端配有相应的解释或编译程序。这些代码嵌入在网页中,在用户下载前(离开服务器时)即已被服

务器执行，并生成为普通的 HTML 文档回传至客户端。它们均可实现更为复杂的应用业务逻辑，完成更为复杂的网上事务处理任务，属于网站设计与 Web 通信中的核心要素，离开了他们的支持，用户便只能访问一些普通的静态网页，Web 通信的功能将大打折扣。目前互联网中主流的服务器端编程技术有 ASP、JSP、PHP、Java Servlet、CGI 等(其中的 SP 意指 Server Page，表明此类网页中的程序代码必须在服务器端执行)。

2. 网站

对于一个专业或商用网站，它提供给用户的服务与信息种类将是丰富多样的，一个简单的页面很难担当此任；而对于一个复杂的网上事务处理过程，将各类功能任务纳入并涵盖在单一的网页中，也是不现实的。

例如，对于一个购物网站，它可能需要包含一张主页用以起到封面与目录的作用，还需要若干张页面对用户的注册与登录进行处理，某些页面用于商品的存放与展示，某些页面用于帮助用户将所选商品放入购物车中并最终完成下单购买等操作。另外，还需某些数据库连接与操作代码将服务器端的网络程序与后台数据库绑定，以便将某些用户信息存入数据库中或从数据库中查询检索出用户所需的数据信息。

可见，所谓网站是指将一系列具有内在联系、用以实现一组特定和复杂的网上事务处理逻辑的网页(动态或静态)，按照某种顺序架构有机地组织在一起，并置于大型的 Web 服务器主机指定的目录中，供广大网络用户浏览访问。

网站特指一组网络信息资源的有机集合，是一个软件而非硬件的概念。通俗地讲，如果说网页是服务器主机上的一个 HTML 文件，网站则是由一组网页组合而成的文件夹。用户通过在浏览器软件的地址栏中输入统一资源定位符(URL)来指明网页文件的具体位置路径或通过超级链接等其他方式，来访问这些指定的网页文件。

在 Web 通信中广泛采用的是 B/S 模式，由客户端的浏览器软件向 WWW 服务器程序发起网页信息询问请求包，再由后者从相应的 URL 中检索出相应的网页文件，并以应答响应数据包的形式回传给前者，如图 1-15 所示。

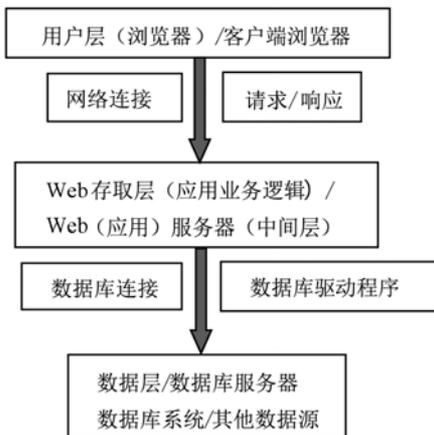


图 1-15 基于 B/S 模式的 Web 通信架构

因此，在早期的静态网页通信中，只需要简单的二级架构(浏览器—服务器)即可完成此项任务。而发展到后期，由于大量动态网页编程技术的出现，使得服务器端架构被进一步一分为二，即分成所谓的 Web 服务器与应用服务器，前者专门负责与客户交互，它接收用户的请求信息，并转交给后者加以处理；而后者特指由第三方编程语言和平台搭建的、专门用于应用业务逻辑处理的服务器端程序代码，如ASP、JSP、PHP 等，并允许他们使用各自的内置对象与绑定控件来完成许多复杂的任务。另外，为实现网络资源信息的有效存储与处理，还专门设置了数据库服务器，用以与应用服务器交互，实现用户与信息处理有关的任务。由此，便形成当今专业或商用网站广泛采用的三级架构，即浏览器+(Web 服务器+应用服务器)+数据库服务器，彼此之间均有相应的通信连接机制，大家既有分工也有合作，共同完成复杂的 Web 通信任务。

习 题

- 1-1 什么是计算机网络？
- 1-2 简述 OSI 模型共分为几层，每层的名字(可以图形表示)及其主要功能。
- 1-3 简述电路交换与报文分组交换的区别。
- 1-4 简述遵循 TCP/IP 协议的 Internet 的通信流程。
- 1-5 简述路由与交换的区别。