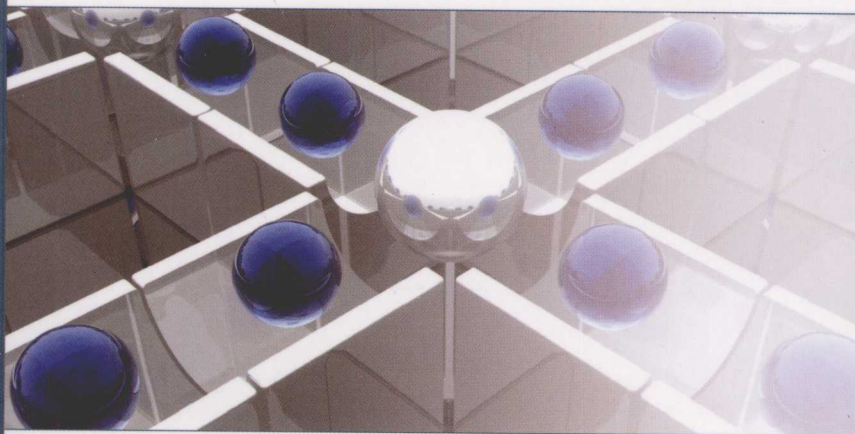


21世纪高等院校网络工程规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Network Engineering



TCP/IP—— 协议分析与应用编程

TCP/IP
Analysing and Programming

李峰 陈向益 编著

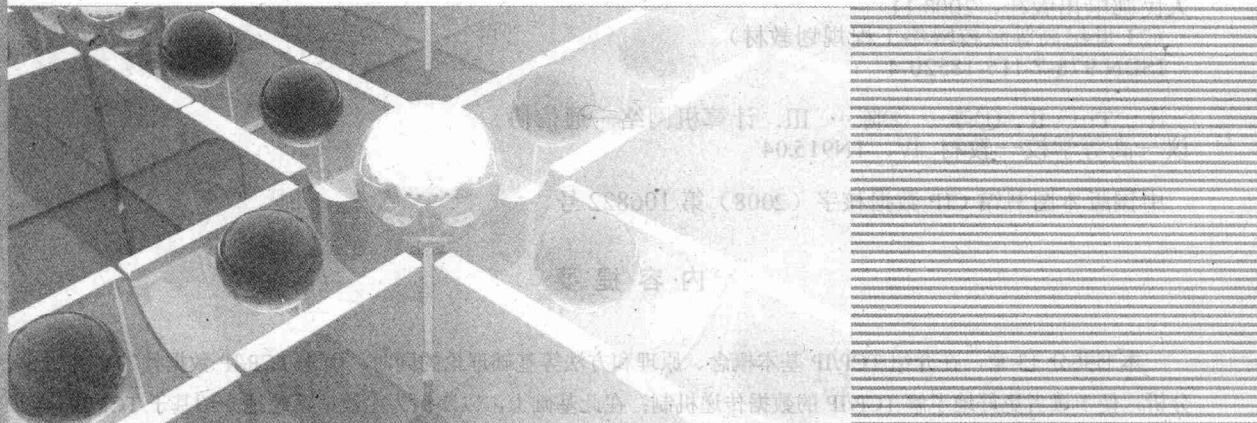
- 涵盖TCP/IP主要内容
- 阐述典型协议工作原理
- 介绍经典案例编程方法

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等院校网络工程规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Network Engineering

TN91
2008
4



TCP/IP— 协议分析与应用编程

TCP/IP
Analysing and Programming

李峰 陈向益 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

TCP/IP: 协议分析与应用编程 / 李峰, 陈向益编著. —北京:
人民邮电出版社, 2008.11
(21 世纪高等院校网络工程规划教材)
ISBN 978-7-115-18520-4

I. T… II. ①李… ②陈… III. 计算机网络—通信协
议—高等学校—教材 IV. TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 106822 号

内 容 提 要

本书共分 13 章, 在介绍 TCP/IP 基本概念、原理和方法等基础理论的同时, 引入 TCP/IP 数据帧的实例分析, 便于读者更好地了解 TCP/IP 的数据传递机制; 在此基础上, 以实例为主线, 系统地介绍基于 TCP/IP 的网络应用程序开发方法, 内容涉及 TCP/IP 体系结构、各层协议、套接字编程、MFC 网络编程、多播编程以及 WinInet 和 MAPI 编程等。

本书可作为高等院校计算机、网络工程、通信工程、信息安全等专业本科生与研究生网络协议分析课程的教材, 也可作为相关领域工程技术人员的参考用书。

21 世纪高等院校网络工程规划教材

TCP/IP——协议分析与应用编程

-
- ◆ 编 著 李 峰 陈向益
责任编辑 滑 玉
执行编辑 张 鑫
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京楠萍印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.5
字数: 387 千字
印数: 1—3 000 册
 - 2008 年 11 月第 1 版
2008 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18520-4/TP

定价: 26.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前 言

随着网络技术的发展, TCP/IP 以其高效、可靠、实用的特点和得天独厚的因特网背景, 逐渐确立了它在计算机网络协议中的地位。了解和掌握 TCP/IP 的体系结构、工作原理、实现方法以及应用编程方法是对每个网络管理人员和应用程序开发人员最基本的要求。

本书可作为高等院校网络协议分析等相关课程的教材, 供计算机相关专业的高年级本科生和研究生使用。为提高学生的分析和应用能力, 本书在介绍 TCP/IP 基本概念、原理和方法等基础理论的同时, 引入了 TCP/IP 数据帧的实例分析, 以便帮助学生更好地了解 TCP/IP 的数据传递机制。在此基础上, 以实例为主线系统地介绍了基于 TCP/IP 的网络应用程序开发方法。因此, 本书在写作中突出了如下特点。

- 内容力求全面, 涵盖了 TCP/IP 协议族中 IP 层到应用层的主要协议。
- 叙述尽量做到深入浅出, 并且注意理论联系实际, 对典型协议依据其工作原理对其数据帧进行了系统分析, 便于读者理解和掌握。

- 突出应用编程开发方法的介绍, 以实例为主线对主要的网络编程方法进行了讲解。
- 由于网络技术在飞速发展, 本书在知识点的介绍上尽量反映互联网领域的最新发展。

本书按以下方式组织。

第 1 章介绍因特网的分层体系结构和 TCP/IP 协议族结构。涉及 OSI 参考模型, 以及 OSI 参考模型与 TCP/IP 协议族的关系。在此基础上引入了基于客户机/服务器模型的网络应用程序的工作原理。

第 2~4 章详细介绍网络层相关协议, 内容包括 IP 地址的概念、地址解析协议、IP、IPv6 和移动 IP 的概念以及网际控制报文协议 (ICMP)。

第 5 章介绍 IP 路由的工作原理以及相关的 IP 路由协议。

第 6 章引入了端到端通信的概念, 详细介绍传输层协议 TCP 和 UDP。

第 7 章和第 8 章对套接字概念和基于套接字的编程方法进行了详细介绍, 同时结合应用实例介绍主要的编程方法, 包括 WinSock API 编程方法和 MFC 网络编程方法。

第 9 章引入了 IP 多播的概念, 介绍了实现 IP 多播的相关协议。在此基础上, 结合实例介绍基于 WinSock 2 的多播应用程序设计方法。

第 10 章详细介绍应用层的常见协议, 包括 DNS、Telnet、FTP、HTTP、SMTP 以及 POP3 等。并讨论了基于 CAsyncSocket 类和 CSocket 类的应用层协议编程方法、基于 WinInet 的网络客户端应用编程方法以及基于信报 API 的电子邮件应用程序编程方法。

第 11 章介绍 BOOTP 和 DHCP 的工作原理。

第 12 章介绍简单网络管理协议 (SNMP) 的工作原理, 以及应用实例。

第 13 章讨论网络系统的安全问题, 主要介绍了 IP 层、传输层和应用层的相关安全协议和系统。

因此, 本书的第 1~6 章着重介绍 TCP/IP 的基本原理、协议等内容, 第 7~10 章则对网络编程方法进行了介绍, 特别是第 10 章, 在介绍应用层协议的同时还介绍了面向不同应用的网络编程方法。第 11~13 章则可以看成是本书基本内容的补充, 介绍网络管理和网络系统安

全等方面内容。在写作过程中，考虑到篇幅的因素，有些程序实例没有完整地写入相关章节，但所有程序实例均在 VC++.NET 2005 环境中调试通过，完整程序代码可从人民邮电出版社教学服务与资源网 (www.ptpedu.com.cn) 上下载。

推荐参考教学时数为 40 学时，如下表所示。也可根据具体情况作相关调整。

章 节	教 学 时 数
第 1 章 计算机网络体系结构	2
第 2 章 IP 地址	2
第 3 章 网际协议	4
第 4 章 网际控制报文协议	2
第 5 章 IP 路由	2
第 6 章 传输层协议	4
第 7 章 套接字编程	3
第 8 章 MFC 套接字编程	3
第 9 章 IP 多播和网际组管理协议	2
第 10 章 应用层常用协议与编程	10
第 11 章 自举与自动配置	2
第 12 章 网络管理协议	2
第 13 章 网络安全协议	2

本书共分 13 章，其中第 1~6 章和第 13 章由李峰编写，第 11~12 章由陈向益编写，第 7~10 章由金红编写。另外，张志军、张敏、李建钰、黄志杰等参加了部分章节的编写整理以及程序实例的调试等工作。

由于编者水平有限，加之 TCP/IP 及其应用编程方法和编程工具仍在不断发展和完善，因此书中难免存在缺点和不足，敬请广大读者批评指正。

编 者
2008 年 8 月

目 录

第 1 章 计算机网络体系结构	1	2.6.4 ARP 实用工具	22
1.1 计算机网络的概念	1	2.6.5 反向地址解析协议	23
1.2 网络体系结构与 OSI 参考模型	2	2.6.6 代理 ARP	24
1.2.1 协议	2	2.6.7 ARP 实例分析	25
1.2.2 分层的体系结构	2	本章小结	26
1.2.3 OSI 参考模型	3	习题	27
1.3 TCP/IP 的体系结构	6	第 3 章 网际协议	28
1.3.1 因特网的概念	6	3.1 网际协议	28
1.3.2 因特网的产生	6	3.1.1 IP 数据报	28
1.3.3 TCP/IP 协议族	7	3.1.2 IP 数据报分片与重组	33
1.3.4 TCP/IP 的工作过程	9	3.1.3 实例分析	35
1.4 客户机/服务器模型	10	3.2 IPv6	35
本章小结	11	3.2.1 IPv6 地址	35
习题	11	3.2.2 IPv6 报文格式	39
第 2 章 IP 地址	12	3.2.3 IPv4 到 IPv6 的转换	41
2.1 IP 地址概述	12	3.3 移动 IP	42
2.2 IP 地址分类与寻址规则	13	3.3.1 移动 IP 概述	42
2.2.1 IP 地址分类	13	3.3.2 移动 IP 实现原理	44
2.2.2 一些有特殊用途的 IP 地址	15	3.3.3 移动 IP 的效率	47
2.2.3 IP 的寻址规则	16	本章小结	48
2.3 子网与掩码	17	习题	48
2.3.1 子网和子网地址	17	第 4 章 网际控制报文协议	49
2.3.2 子网掩码的概念	17	4.1 网际控制报文协议	49
2.3.3 子网划分	18	4.2 ICMP 报文格式与类型	49
2.4 超网	18	4.2.1 ICMP 报文类型	49
2.4.1 超网的概念	18	4.2.2 ICMP 报文格式	50
2.4.2 超网掩码	19	4.3 ICMP 报文	50
2.4.3 超网合并	19	4.3.1 ICMP 差错报告	50
2.5 无分类编址	19	4.3.2 ICMP 查询报告	53
2.5.1 无类地址的概念	19	4.4 ICMP 报文的封装	56
2.5.2 无类地址的表示法	20	4.5 实例分析	56
2.6 地址解析	20	4.6 ping 实用程序	58
2.6.1 静态映射和动态映射	20	本章小结	59
2.6.2 地址解析协议	20	习题	59
2.6.3 ARP 的改进	22	第 5 章 IP 路由	60
		5.1 IP 路由概述	60

5.2 路由表	61	第 8 章 MFC 套接字编程	119
5.2.1 路由表结构	61	8.1 CAsyncSocket 类	119
5.2.2 Route 命令	62	8.2 使用 CAsyncSocket 类编程	125
5.2.3 路由选择流程	63	8.2.1 CAsyncSocket 类编程模型	125
5.3 路由选择算法	64	8.2.2 CAsyncSocket 类编程实例	127
5.3.1 静态路由算法	64	8.3 CSocket 类	129
5.3.2 距离向量路由算法	65	8.4 使用 CSocket 进行网络编程	130
5.3.3 链路状态路由算法	66	8.4.1 CSocket 编程模型	130
5.4 路由选择协议	67	8.4.2 CSocket 编程实例	131
5.4.1 路由信息协议	67	本章小结	137
5.4.2 开放最短路径优先协议	69	习题	137
5.4.3 边界网关协议	72	第 9 章 IP 多播和网际组管理协议	138
实例分析	74	9.1 IP 多播概述	138
本章小结	77	9.2 IP 多播网络体系结构	139
习题	77	9.2.1 多播的工作原理	139
第 6 章 传输层协议	78	9.2.2 实现 IP 多播的前提条件	139
6.1 端到端通信概述	78	9.2.3 多播地址分配与 MAC 地址映射	140
6.2 传输控制协议	79	9.3 网际组管理协议	141
6.2.1 TCP 报文段结构与封装	79	9.3.1 网际组管理协议	141
6.2.2 TCP 连接管理	82	9.3.2 IGMP 报文	142
6.2.3 TCP 流量控制	84	9.3.3 IGMP 操作	144
6.2.4 TCP 拥塞控制	86	9.3.4 实例分析	145
6.2.5 TCP 差错控制	87	9.4 多播路由选择	146
6.2.6 实例分析	88	9.4.1 多播转播树	147
6.3 用户数据报协议	89	9.4.2 多播路由算法	148
6.3.1 UDP 数据报格式和封装	90	9.4.3 多播路由协议	150
6.3.2 UDP 的操作	91	9.5 基于多播的应用编程	151
6.3.3 实例分析	92	9.5.1 多播应用程序的开发方法	151
本章小结	93	9.5.2 多播应用程序设计实例	153
习题	93	本章小结	157
第 7 章 套接字编程	94	习题	157
7.1 客户机/服务器模型	94	第 10 章 应用层常用协议与编程	158
7.2 套接字概念	95	10.1 域名系统	158
7.3 套接字编程基础	96	10.1.1 域名系统概述	158
7.4 WinSock 函数	100	10.1.2 域名解析	161
7.5 基于 TCP 的应用编程	107	10.1.3 DNS 报文	162
7.6 基于 UDP 的应用编程	115		
本章小结	118		
习题	118		

10.1.4 DNS 报文实例分析	164	11.2.3 理解租用地址	208
10.2 远程登录协议	166	11.2.4 管理地址池	209
10.2.1 Telnet 协议	166	11.2.5 DHCP 的报文格式	209
10.2.2 远程登录实用程序	169	11.3 DHCP 实例分析	209
10.2.3 Telnet 应用编程	170	本章小结	211
10.3 文件传输协议	172	习题	211
10.3.1 文件传输协议	173	第 12 章 网络管理协议	212
10.3.2 FTP 应用实例	176	12.1 网络管理概述	212
10.4 超文本传输协议	177	12.1.1 SNMP 的历史	212
10.4.1 万维网技术	177	12.1.2 与 SNMP 相关的标准	213
10.4.2 超文本传输协议	178	12.2 SNMP 体系结构	214
10.4.3 HTTP 应用实例	180	12.2.1 网络管理的协议结构	214
10.5 基于 WinInet 的应用编程	180	12.2.2 管理信息结构	215
10.5.1 WinInet 介绍	181	12.2.3 SNMP 的管理信息库	218
10.5.2 基于 WinInet 的 FTP 应用编程	182	12.3 SNMP 报文	221
10.5.3 基于 WinInet 的 HTTP 应用编程	186	12.3.1 SNMP 的 5 种协议数 据单元	222
10.6 邮件传输协议	188	12.3.2 SNMP 报文举例	224
10.6.1 电子邮件系统工作 原理	188	12.4 SNMP 应用实例	225
10.6.2 SMTP	189	12.4.1 在 Windows XP 中配 置被控端 SNMP	225
10.6.3 POP3	190	12.4.2 MIB 浏览器和基本 SNMP 管理功能	226
10.6.4 多功能因特网邮件 扩充	191	本章小结	228
10.7 基于信报 API 的应用编程	193	习题	228
10.7.1 SMAPI 介绍	193	第 13 章 网络安全协议	229
10.7.2 基于 SMAPI 的程序 设计流程	194	13.1 网络安全概述	229
10.7.3 基于 SMAPI 的程序 开发实例	197	13.2 网络层安全协议	229
本章小结	203	13.2.1 IPSec 体系结构	230
习题	203	13.2.2 鉴别首部协议	231
第 11 章 自举与自动配置	204	13.2.3 封装安全载荷协议	233
11.1 BOOTP	204	13.2.4 IPSec 传输模式	234
11.1.1 BOOTP 的工作过程	204	13.3 传输层安全协议	235
11.1.2 BOOTP 的报文格式	205	13.3.1 SSL 协议的结构	235
11.2 DHCP	206	13.3.2 SSL 握手协议	236
11.2.1 DHCP 如何工作	207	13.3.3 SSL 记录协议	237
11.2.2 中继代理如何工作	208	13.4 应用层安全协议	237
		本章小结	239
		习题	239
		参考文献	240

第 1 章 计算机网络体系结构

本章学习目标

- (1) 掌握因特网的分层体系结构，理解分层和协议之间的关系。
- (2) 掌握 TCP/IP 协议族的结构，理解其工作原理，了解其与 OSI 参考模型之间的关系。
- (3) 理解客户机/服务器模型的工作原理。

1.1 计算机网络的概念

随着计算机应用的深入，特别是个人计算机的普及，人们期望通过计算机来共享信息资源和传递信息的愿望越来越迫切，这就促使计算机向网络化方向发展，即将分散的计算机连接成网，组成计算机网络，以利于计算机之间的软硬件资源共享。

计算机网络能够把分布在不同地理区域的计算机和专门的外部设备用通信线路互连成一个规模大、功能强的网络系统，从而使众多的计算机相互之间可以方便地传递信息，共享硬件、软件、数据信息等资源。因此，计算机网络是通过通信链路连接到一起的一组计算机或设备的集合，是现代通信技术与计算机技术相结合的产物。用网络术语来讲，连接到网络上的每台计算机或设备都称为节点。节点通过链路连接到一起，链路可以是电缆等有线链路也可以是广播信号等无线链路，网络上的节点通过在链路上传输消息来与其他任何节点进行信息交换。

通过网络，不同计算机用户之间可以一起共享资源，如磁盘上的文件及打印机等，也可以彼此之间互相交换数据信息，如图 1.1 所示。

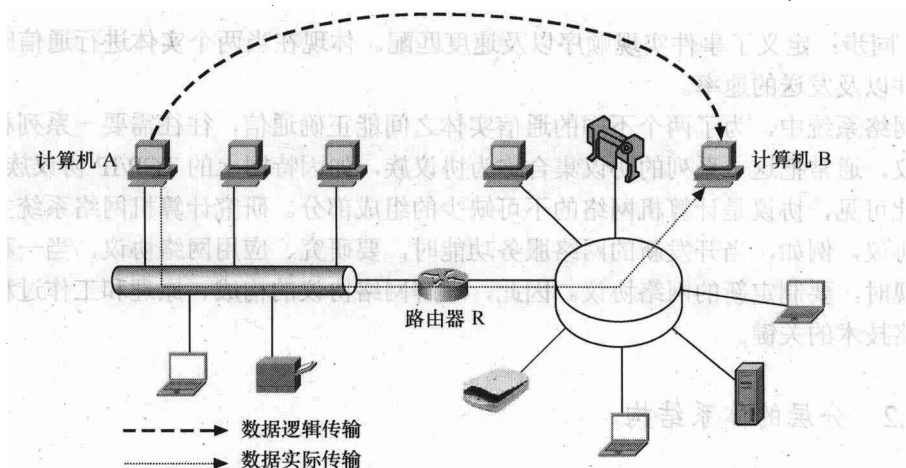


图 1.1 计算机网络示意图

通常,按计算机连网区域的大小,可以把网络分为局域网(Local Area Network, LAN)、城域网(Metropolitan Area Network, MAN)和广域网(Wide Area Network, WAN)。局域网是指在一个较小地理范围内的各种计算机网络设备互连在一起的通信网络,可以包含一个或多个子网,通常局限在几千米的范围。如在一个房间、一座大楼,或是在一个校园之内的网络就称为局域网。城域网的作用范围一般是一个城市,范围约为5~50km,可以为一个或几个单位所拥有,也可以是一种公用设施,用于将多个局域网进行互连。广域网连接地理范围较大,常常是一个国家或一个地区。其目的是为了让分布较远的各局域网互连。平常所说的因特网就是最大最典型的广域网。

1.2 网络体系结构与 OSI 参考模型

在计算机网络技术中,网络的体系结构指的是通信系统的整体框架。它的目的是为网络硬件、软件、协议、存取控制和拓扑结构提供标准,例如 OSI (Open System Interconnection, 开放系统互连) 参考模型。网络体系结构的关键要素是协议和拓扑。

1.2.1 协议

计算机网络是一个极为复杂的系统。两台或多台计算机之间要能通信、交换信息,相互之间必须高度协调一致才能正常工作。因此,网络系统中各部件之间就必须遵循一定的规则和约定,这种规则和约定就是协议。

因此,协议是指在计算机网络中,为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定的集合,如交换数据的格式、编码方式、同步方式等。就像两个自然人之间在交流时必须使用彼此能理解的语言一样。因此,协议定义了通信的方式和进行通信的时间,主要包括语法、语义和同步3个关键要素。

- 语法:定义了所交换数据的格式和结构,以及数据出现的顺序。
- 语义:定义了发送者或接受者所要完成的操作,包括对协议控制报文组成成分含义的约定。
- 同步:定义了事件实现顺序以及速度匹配。体现在当两个实体进行通信时,数据发送的事件以及发送的速率。

在网络系统中,为了两个不同的通信实体之间能正确通信,往往需要一系列相互协调的工作协议,通常把这一系列的协议集合称为协议族,如因特网上的 TCP/IP 协议族。

由此可见,协议是计算机网络的不可缺少的组成部分。研究计算机网络系统主要是要研究网络协议,例如,当开发新的网络服务功能时,要研究、应用网络协议,当一种新的网络服务出现时,要制定新的网络协议。因此,理解网络协议的构成、原理和工作过程是掌握计算机网络技术的关键。

1.2.2 分层的体系结构

计算机网络是一个非常复杂的系统,它有着大量的应用程序和协议,以及各类端到端之

间的连接。对一个复杂系统进行设计和分析时，常用的方法是“分而治之”，即把一个大的问题分解为若干个子问题或子部分进行设计，然后把它们有机组织在一起，进而完成对整个系统的设计与实现，以降低复杂度。因此，对计算机网络这样一个复杂的系统，为了降低其设计复杂性，设计者以分层的方式组织协议以及实现这些协议的软硬件。从底层硬件提供的服务开始，每一层都建立在其下一层的基础上并负责完成被明确定义的该层功能，同时向它的上一层提供特定的服务。通常将每个层次称为一个实体，不同机器上对应层的实体叫做对等体。对等体之间利用协议来实现它们之间的通信，同时每一层实体使用其下一层实体为它提供的服务来实现本层协议，同时向它的上一层实体提供服务。如图 1.2 所示，当主机 A 的第 n 层实体和主机 B 的第 n 层实体进行通信时使用的是第 n 层协议，同时主机 A 的第 n 层协议的实现用到了第 $n-1$ 层实体提供的服务。

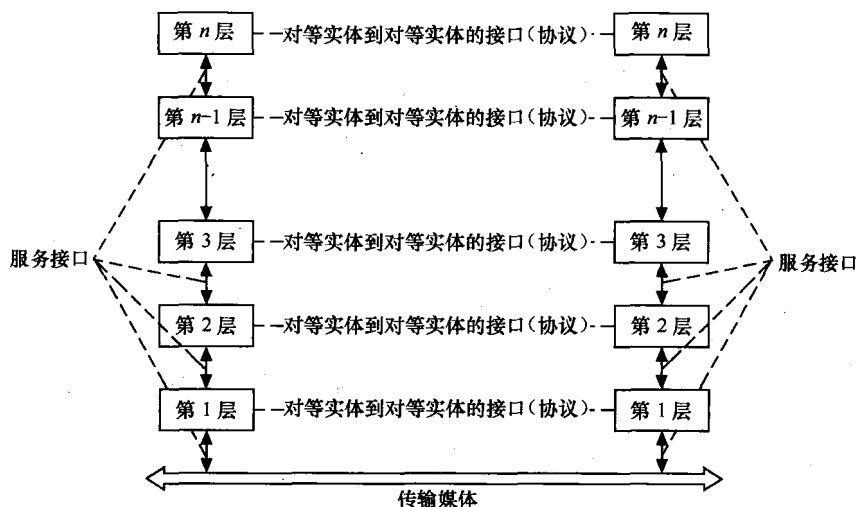


图 1.2 分层体系结构、服务接口与对等实体接口

每个实体通常定义两种不同的接口：一个是为同一计算机上使用它的通信服务的其他上层实体定义的服务接口，简称服务；另一个是为另一台计算机上对等实体定义的对等接口，即协议。因此，协议是“水平的”，是对等体之间通信的规则；服务是“垂直的”，是由下层向上层通过层间接口提供的。

计算机网络的各层及其协议的集合就构成了网络的体系结构，即计算机网络及其构成所完成的精确定义，因此，体系结构是一个抽象概念。

1.2.3 OSI 参考模型

在计算机网络产生之初，每个计算机厂商都有一套自己的网络体系结构，它们之间互不相容。所造成的后果是厂商可以“永久”地留住顾客，然而不同网络体系的计算机却很难共享数据。为此，国际标准化组织（ISO）在 1979 年建立了一个分委员会来专门研究一种用于开放系统互连（OSI）的体系结构，使得只要遵循 OSI 标准的系统，便可以位于世界上任何地方的遵循 OSI 标准的其他任何系统进行连接。OSI 参考模型采用了网络分层方案，将计算机网络分为 7 层，分别是物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层，如图 1.3 所示。

1. 物理层

就计算机网络而言,要传递信息就要利用一些物理介质,如双绞线、同轴电缆等,但具体的物理介质并不在 OSI 的 7 层之内,这里所说的物理层主要是提供用于建立、保持和释放物理连接的条件,以保证在物理介质上透明地传输比特流。它提供接口和传输媒体的机械和电气规范,定义物理设备和接口在传输时所必须执行的过程和功能。如规定使用电缆和接头的类型,传送信号的电压等。在这一层,数据还没有被组织,仅作为原始的比特流或电气电压处理,传输单位是比特 (bit)。

应用层
表示层
会话层
传输层
网络层
数据链路层
物理层

图 1.3 OSI 参考模型

2. 数据链路层

负责在两个相邻节点间无差错地传送以帧为单位的数据。每一帧包括一定数量的数据和一些必要的控制信息。和物理层相似,数据链路层要负责建立、保持和释放数据链路的连接。在传送数据时,如果接收点检测到所传数据中有差错,就要通知发送方重发这一帧。

3. 网络层

进行通信的两台计算机之间可能存在多个数据链路,也可能还要经过多个通信子网。网络层的任务就是确定数据报从源端到目的端的路由,负责将从发送端送来的数据报能够按目的地址传送到接收端,进而实现主机到主机的传输,即点到点的数据传输。当数据报要跨越多个通信子网时,网络层还负责解决网际互连问题。它将传输层提供的数据组成数据报,包中封装有网络层首部,其中包含逻辑地址信息:源端和目的端的网络地址。

4. 传输层

传输层实现的任务是根据通信子网的特性,最好地利用网络资源,并以可靠和经济的方式,为上层用户应用程序提供端到端的透明数据传输,数据的传送单位是报文。

5. 会话层

会话层用来在两个通信的应用进程之间建立、保持和同步其交互。它不参与具体的传输,只是对数据传输进行管理,提供包括访问验证和会话管理在内的建立和维护应用进程之间通信的机制,如服务器验证用户登录便是由会话层完成的。这一层也可以称为会晤层或对话层。

6. 表示层

表示层主要解决所传输信息的语法表示问题。它将欲交换的数据从适合于某一用户的抽象语法,转换为适合于 OSI 系统内部使用的传送语法,即提供格式化的表示和转换数据服务,包括数据的压缩和解压缩、加密和解密等工作。

7. 应用层

应用层主要用来确定应用进程之间通信的性质以满足用户需要,以及提供网络与用户应

用软件之间的接口服务。如因特网上的远程登录、文件传输、WWW 和电子邮件等都由应用层完成。

因此,应用 OSI 参考模型传输数据的基本过程如图 1.4 所示。当发送方的某一层收到从相邻的上一层送来的数据后,把收到的全部信息看成是本层需要传送的数据,再加上本层的协议首部,传送给它的下一层,这一过程称为封装。封装过程在每一层重复进行,直到数据到达物理层。在接收方某一层收到从相邻的下一层送来的数据后,首先要把本层协议的首部去掉,然后向上一层传送,即各层协议的首部被逐层地剥去,这一过程称为拆封。数据到达应用层时,报文变成应用层所需要的形式,送交给接收进程。

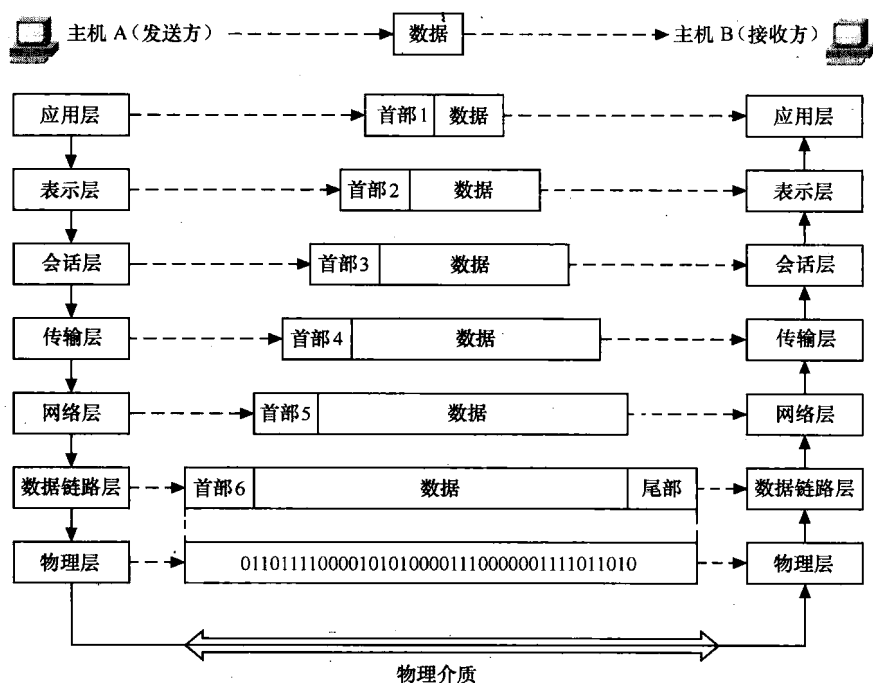


图 1.4 两主机间使用 OSI 参考模型交换数据的基本过程

在实际传输过程中,各对等实体之间进行的通信是虚通信,也称为逻辑通信,而数据的实际传输方向是垂直的,当然,在物理介质上进行的通信也是实通信。

报文在传输过程中,有可能还要经过许多中间节点(如路由器),其中主机与中间节点以及中间节点之间的数据交换都只涉及 OSI 参考模型中的低三层,如图 1.5 所示。因为中间节点只是起到信息传输过程中的驿站的作用,并不会对所传输的数据进行解释处理。

OSI 参考模型虽然为计算机网络的设计提供了一个参考模型,但由于其体系结构复杂而不实用,几乎没有厂家生产完全符合 OSI 参考模型的网络产品。另外,在 OSI 参考模型中并没有定义每一层上所用到的协议和服务,它仅仅是一个概念和功能上的一个标准框架,是异型网络实现互连的一种标准分层结构。其特点是概念清晰,理论较完整,指明了每一层上应该做什么事,因此其对统一网络体系结构和协议起到了积极的作用,是开发网络协议标准体系结构的理论框架。

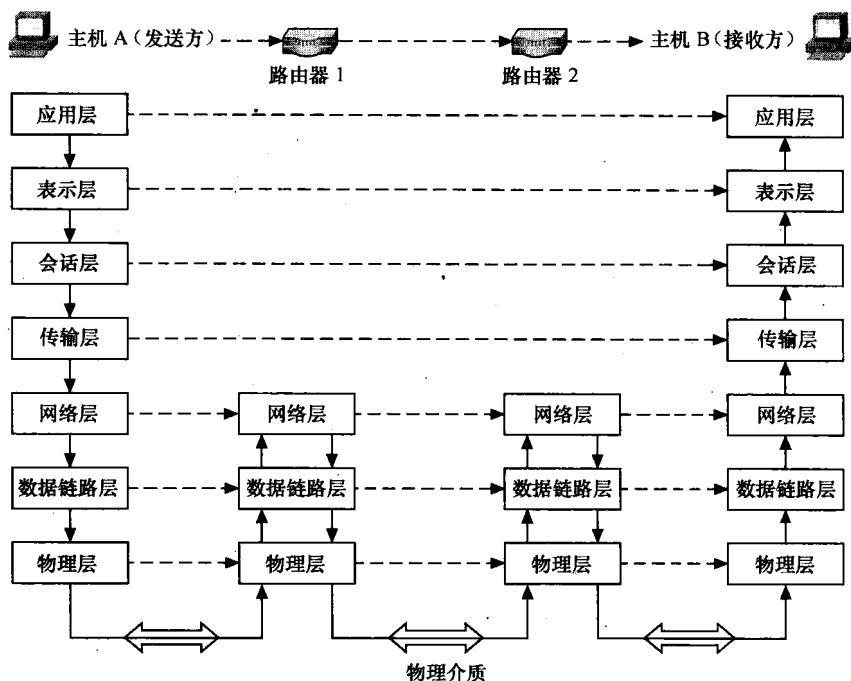


图 1.5 经过中间节点数据传递的过程

1.3 TCP/IP 的体系结构

1.3.1 因特网的概念

因特网是通过网络互连技术将现有的异构网络互连起来构成的一个统一的一致性网络。它不仅连接了世界各地的数千万台计算机，更重要的是把计算机前的所有人联系在一起，形成在因特网上工作、学习和生活的一个社会网络，创造了一个前所未有的人文环境。

1.3.2 因特网的产生

因特网的形成与发展经历了试验研究网络、学术性网络 and 商业化网络 3 个阶段。1969 年，美国国防部高级研究计划管理局（Advanced Research Projects Agency, ARPA）建立了一个采用存储转发方式的分组交换广域网——ARPAnet，把美国的几个军事及研究用计算机主机连接起来。虽然该网络只有 4 个节点，但它却是今天因特网的前身。

1983 年，ARPA 和美国国防部通信局研制成功了用于异构网络的 TCP/IP，美国加利福尼亚大学伯克莱分校把该协议作为其 BSD UNIX 的一部分，使得该协议得以在社会上流行起来，从而诞生了真正的因特网。

从 1969 年 ARPAnet 诞生到 20 世纪 80 年代中期，是因特网发展的第一阶段——试验研究阶段，这也是单个网络 ARPAnet 向因特网发展的阶段。

1986 年，美国国家科学基金会（National Science Foundation, NSF）利用 ARPAnet 发展

出来的 TCP/IP 通信协议,在 5 个科研教育服务超级计算机中心的基础上建立了 NSFnet 广域网,它是因特网的前驱。由于 NSF 的鼓励和资助,很多大学、政府资助的研究机构甚至私营的研究机构纷纷把自己的局域网并入 NSFnet 中。ARPAnet 逐步被 NSFnet 所替代。到 1990 年,ARPAnet 已退出了历史舞台。

NSFnet 的形成与发展,使它成为因特网最重要的组成部分。与此同时,许多国家相继建立本国的主干网,并接入因特网。到了 20 世纪 90 年代初期,因特网事实上已成为一个“网中网”——各个子网分别负责自己的架设和运作费用,而这些子网又通过 NSFnet 互连起来,由此进入了以三级结构为特征的因特网第二阶段。

因特网的扩张不单带来量的改变,同时亦带来质的某些改变。由于多种学术团体、企业研究机构,甚至个人用户的进入,因特网的使用者不再限于计算机专业人员。新的使用者发现,加入因特网除了可共享 NSFnet 的巨型机的资源外,还能进行相互通信,而这种相互间的通信对他们来讲更有吸引力。于是,他们逐步把因特网当作一种交流与通信的工具,而不仅仅是共享 NSFnet 巨型机的运算能力。

在 20 世纪 90 年代以前,因特网的使用一直仅限于研究与学术领域。随着因特网规模的迅速扩大,政府已无法在财政上提供更多的支持,因此鼓励民间公司 MERIT、MCI 和 IBM 来成立一个非营利性的组织——网络服务促进协会(ANSC),以促进因特网在商业中的应用。1994 年,NSF 宣布不再给 NSFnet 在运行和维护上的经费支持,而由 MCI、Sprint 等公司进行运行维护。这样不仅商业用户可以进入因特网,而且因特网的经营也商业化了。1995 年,NSFnet 结束了它作为因特网主干网的历史使命,从此,因特网从学术性网络转化为商业性网络。

随着因特网商业化服务提供商的出现,工商企业终于可以堂堂正正地进入因特网。商业机构一踏入因特网这一陌生的世界就发现了它在通信、资料检索、客户服务等方面的巨大潜力。于是,其势一发不可收拾。世界各地无数的企业及个人纷纷涌入因特网,带来因特网发展史上一个新的飞跃,形成了多层次 ISP (Internet Service Provider) 结构的因特网,即因特网发展的第三阶段。1996 年以后,因特网上计算机数量的发展更为迅速,1996 年初为 947 万台,1997 年初就增加到了 1 614 万台,2000 年 7 月增加到了 9 300 多万台。目前,因特网成为世界上信息资源最丰富的计算机公共网络。

1.3.3 TCP/IP 协议族

传输控制协议/网际协议 (Transfer Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP) 是因特网的基础。虽然从名字上看 TCP/IP 包括两个协议,即传输控制协议 (Transfer Control Protocol, TCP) 和网际协议 (Internet Protocol, IP),但 TCP/IP 实际上是一系列协议,它包括上百个各种功能的协议,如远程登录、文件传输和电子邮件等,而 TCP 和 IP 只是保证数据完整传输的两个基本的重要协议。通常说 TCP/IP 是指因特网协议系列,而不单单是 TCP 和 IP 两个协议,因此也常称为 TCP/IP 协议族。TCP/IP 协议族是 20 世纪 70 年代中期美国国防部为其 ARPAnet 广域网开发的网络体系结构和协议标准,以它为基础组建的因特网是目前国际上规模最大的计算机网络。因为因特网的广泛使用,所以 TCP/IP 协议族成了事实上的标准。

TCP/IP 采用了层次化的体系结构,包含 4 个层次,由低到高分别是:网络接口层(链路

层)、网络层、传输层、应用层。每一层的功能由一个或多个协议实现,其层次结构如图 1.6 所示。图 1.6 还反映出 TCP/IP 协议族与 OSI 参考模型之间的对应关系。

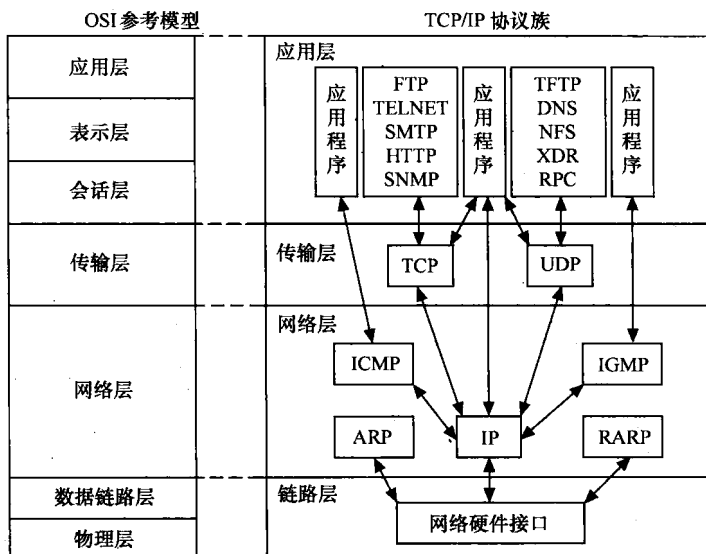


图 1.6 TCP/IP 协议族的层次结构

1. 链路层

TCP/IP 协议族的最低层,也称为网络接口层,通常包含操作系统中的设备驱动程序和对应的网络接口卡,对应于 OSI 参考模型中的数据链路层和物理层。负责接收网络层的 IP 数据报并通过网络发送到网络传输介质上,或者从网络上接收物理帧,抽出 IP 数据报,交给网络层。TCP/IP 协议族并没有具体定义链路层,只要是在其上能进行 IP 数据报传递的物理网络都可以作为 TCP/IP 中的链路层,如以太网、令牌网等。这样使得 TCP/IP 在数据链路层的选择上有较大的灵活性。当然,也存在一定问题,如当数据在物理网络上传递时,需要不同物理设备的物理地址,而不同物理网络中,物理设备的物理地址描述可能是不同的,为此在 TCP/IP 中引入了 IP 地址的概念,来从逻辑层面上统一地址描述,并且提供了两种特殊的地址转换协议:ARP(地址解析协议)和 RARP(逆地址解析协议),来实现 IP 地址和具体物理地址的转换。

2. 网络层

也称为互联网层,由于该层的主要协议为 IP,通常也简称为 IP 层。该层主要负责相邻计算机之间的通信,即把某主机(信源)上的数据报发送到因特网中的任何一台目标主机(信宿)上,即点到点通信。其功能包括 3 方面。

(1) 处理来自传输层的数据报发送请求,收到请求后,将数据报装入 IP 数据报,填充 IP 数据报首部,选择去往信宿的路径,然后将数据报发往适当的网络接口。

(2) 处理输入数据报,即首先检查数据报的合法性,然后进行传输路径的选择。假如数据报已到达信宿,则去掉 IP 数据报首部,将剩下部分交给相应的传输协议;假如该数据报尚未到达信宿,则转发该数据报。

(3) 处理路径、流控、拥塞等问题。

网络层协议包括 IP (网际协议)、ICMP (因特网控制报文协议) 和 IGMP (因特网组管理协议)。

3. 传输层

通常所说的两台计算机之间的通信其实是指两台计算机上对应的应用程序之间的数据通信, 传输层提供的就是应用程序间的通信, 一般也称为端到端的通信。其功能包括:

(1) 格式化信息流;

(2) 提供可靠传输。

为实现后者, 传输层协议引入了确认/重发机制, 即规定接收端必须返回确认信息, 假如数据报丢失, 发送端必须重新发送。当然, 在不同的情况下, 应用程序之间对通信质量的要求是不一样的, 因此, 传输层包含两个不同的传输协议: 一个是传输控制协议 (TCP), 另一个是用户数据报协议 (UDP)。其中 TCP 为两台计算机提供高可靠的数据通信, 而 UDP 则为应用层提供一种非常简单的数据传输服务, 具体内容将在后续章节中介绍。

4. 应用层

应用层向用户提供一组常用的应用程序, 主要包括超文本传输协议 (HTTP), 简单网络管理协议 (SNMP), 文件传输协议 (FTP), 简单邮件传输协议 (SMTP), 域名系统 (DNS), 远程登录协议 (Telnet) 等。其中, 有些应用层协议是基于 TCP 来实现的, 如 FTP、HTTP 等, 有些是基于 UDP 来实现的, 如 SNMP 等。尽管应用层为用户提供的协议较多, 但是其只能满足用户的一般需求。如果用户有一些特殊的应用需求, 应用层并不能提供相应的协议和应用程序, 为此需要根据用户的特殊需求进行应用程序的设计开发, 这也是本书编写的目的之一。

1.3.4 TCP/IP 的工作过程

下面以图 1.1 中的计算机 A (信源) 和计算机 B (信宿) 之间采用应用层协议 FTP 传送数据为例, 说明 TCP/IP 的工作原理。图 1.1 中的逻辑传输线路表明了数据传输的方向, 以及信源和信宿, 实际传输线路表明了数据的真实传输链路。数据从信源传输到目的信宿的过程可描述如下。

(1) 在信源上, 利用所需的应用层协议 (FTP) 将需传输数据流传送给信源上的传输层。

(2) 信源上的传输层将应用层的数据流截成若干分组, 并加上 TCP 首部形成 TCP 段, 送交信源上的网络层。

(3) 信源的网络层给 TCP 报文段封装上包括源、目的主机 IP 地址的 IP 首部, 生成一个 IP 数据报, 并将 IP 数据报送交信源的链路层。

(4) 信源的链路层在其 MAC 帧的数据部分装上 IP 数据报, 再封装上包括源、目的主机的 MAC 地址的 MAC 帧头和帧尾, 并根据其目的 MAC 地址, 将 MAC 帧发往信宿或中间路由器, 如路由器 R。

(5) 路由器是一个具有多个接口的网络互连设备, 可以把 IP 数据报从一个网络转发到另一个网络, 如图 1.1 的路由器 R。当 IP 数据报传输到路由器后, 路由器将根据 IP 数据报中的目的 IP 地址进行传输路径的选择, 并根据所选择的传输路径进行 IP 数据报的转发。通常,