

“十一五”国家重点图书

计算机科学与技术学科前沿丛书

计算机科学与技术学科研究生系列教材（中文版）

高级计算机网络

李向丽 编著



清华大学出版社



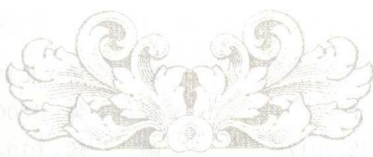
“十一五”国家重点图书

计算机科学与技术学科前沿丛书

计算机科学与技术学科研究生系列教材（中文版）

高级计算机网络

李向丽 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书在对 TCP/IP 协议原理进行简单回顾的基础上,系统介绍了计算机网络研究和应用领域中的一些高级主题、前沿主题和最新进展。具体包括三大部分:下一代互联网协议 IPv6、多播技术、无线网络与移动 IP 技术。通过这些内容的学习,可以为高年级本科生深入理解 TCP/IP 协议、拓宽知识面、接受了解最新发展技术提供帮助。更为重要的是,可以为研究生在计算机网络领域的论文选题打好基础,储备知识。

本书是在作者多年从事计算机网络、高级计算机网络教学和科研的基础上编写的。可以作为计算机以及相关专业的低年级本科生、硕士和博士研究生的教材和参考书。也可以为电子、通信等相关领域的从业者提供参考。

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。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

高级计算机网络/李向丽编著. —北京:清华大学出版社, 2010.9

(计算机科学与技术学科前沿丛书·计算机科学与技术学科研究生系列教材(中文版))

ISBN 978-7-302-22861-5

I. ①高… II. ①李… III. ①计算机网络—研究生—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 099235 号

责任编辑:汪汉友

责任校对:梁毅

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

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

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:23.25

字 数:563千字

版 次:2010年9月第1版

印 次:2010年9月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:36.00元

产品编号:036787-01

“十一五”国家重点图书 计算机科学与技术学科前沿丛书
计算机科学与技术学科研究生系列教材

编
委
会

■ 名誉主任：陈火旺

■ 主 任：王志英

■ 副 主 任：钱德沛 周立柱

■ 编委委员：(按姓氏笔画为序)

马殿富 李晓明 李仲麟 吴朝晖

何炎祥 陈道蓄 周兴社 钱乐秋

蒋宗礼 廖明宏

前言

据了解,很多高校的计算机相关专业的硕士研究生都开设了“高级计算机网络”课程。从研究生教学体系考虑,应该使学生了解计算机网络技术研究和 Development 情况,以及目前的研究动向。在学习、实践、总结和提炼的基础上,学会在网络技术领域去尝试选题和研究。课程的目标是使学生了解所研究领域的前沿问题、方法、进展和趋势,从而选择合适的研究方向。

在课程开展的初期,授课内容需要从不同资料上摘取。例如,书籍、期刊论文、会议论文和硕士博士论文,以及因特网上的最新文献,当然 IETF 的 RFC 文档是参考的第一手资料。从 2003 年开始,着手整理教学讲稿。经过几年的教学实践和修改,逐步形成了教材初稿,并用于多届硕士研究生的教学中。

下一代互联网协议 IPv6、多播、无线网络与移动 IP 这 3 种新技术都是计算机网络领域研究的热点,为此,教材主要对这 3 个主题所涉及的最新协议和技术进行了系统介绍。

IPv6 将取代 IPv4,是下一代因特网所使用的协议标准。由于 IPv4 地址空间较小,地址结构的层次性差,以及 IPv4 分组长度不固定等方面的影响,从而导致 IPv4 面临地址分配枯竭、路由效率低、安全性差,以及对各种实时业务缺乏支持等的挑战。IPv6 定义了 128 比特的地址空间,支持灵活的层次结构,采用路由聚合技术。IPv6 分组基本首部长度固定,取消了选项功能,通过定义扩展首部增加 IPv6 协议对特殊功能的支持,这些都为提高路由器的工作效率奠定了基础。

ICMPv6 能够在 IPv6 网络中传递网络控制信息和报告差错。ICMPv6 综合实现了 IPv4 中的 ICMP、ARP 和 IGMP 等协议的功能。另外,IPv6 增加了任播功能,更好地支持多播和移动技术,并且为 IPv4 和 IPv6 共存提出了过渡方案。

随着因特网用户数量的增加,以及多媒体通信的开展,更多的应用需要使用多播技术。IP 多播技术是一种允许多播源发送单一数据报到多台主机的 TCP/IP 网络技术。多播作为一点对多点的通信,是节省网络带宽的有效方法之一。IPv4 使用 D 类地址标识多播组,IPv6 则定义了多播地址类型。IGMP 是 IPv4 环境下支持多播技术的必不可少的协议,主要用于对多播组成员进行管理,实现多播组成员的加入和退出操作。多播路由协议能够使路由器在 IP 网络上交换多播组成员信息,确保每个多播分组的副本到达所有多播组成员。

根据多播转发树的不同,多播路由协议分为共享树路由协议和基于源的树的路由协议。DVMRP 采用 RPF 等技术,为每个多播分组的源构建不同的多播转发树,并通过嫁接和剪枝操作对转发树进行维护。PIM-SM 协议支持基于源的树和共享树。它首先生成共享树并传送最初的多播分组。为了提高效率,在多播组成员接收多播分组的速率超过一定的门限值后,将把多播分组切换到基于源的树上。MBGP、MSDP 和 PIM-SM 这 3 种协议的组合用于实现域间多播路由。其中 MBGP 用于自治域之间交换多播路由信息;MSDP 用于在 ISP

之间交换多播源信息;PIM-SM 用作域内的多播路由协议。

移动设备的广泛使用导致了无线网络技术的迅速发展。与有线环境相比,无线网络具有一定的内在复杂性,需要解决隐藏站、暴露站等特殊问题。所以,IEEE 802.11 的 MAC 层使用载波侦听多路访问/冲突避免协议 CSMA/CA。

自组网模式 Ad hoc 网络是一个多跳网络,开发良好的路由协议是建立 Ad hoc 网络的首要问题。DSR 属于按需路由协议,它使用洪泛路由技术进行路由发现。DSR 没有周期性的广播路由更新报文,结点必须通过路由维护过程来检测路由的可用性;DSDV 属于表驱动路由协议,它建立在 RIP 协议的基础上。通过引入序号机制来区分新旧路由,解决了路由环路、无穷计算等问题;AODV 属于按需路由协议,它综合了 DSR 和 DSDV 的特点。

移动 IP 技术的使用,可以使结点在移动时保持其原有的工作,不中断正在进行的通信。依赖家乡代理和外地代理的实现,移动结点对网络应用和高层协议保持透明。移动 IP 采用安全认证和多种隧道技术来保障移动结点通过程的安全性。

移动 IPv6 是 IPv6 协议不可缺少的组成部分。移动 IPv6 沿用了移动 IP 的一些概念和技术,但是在很多方面也进行了相应改进。通过优化路由,避免了移动 IP 中的三角路由问题。

本书共分 11 章,涵盖的内容包括 4 个部分。

第一部分 TCP/IP 技术回顾,由第 1 章组成。

第 1 章 TCP/IP 协议。按照 TCP/IP 层次结构,概述以太网、网际层、传输层、应用层的主要协议机制。

第二部分 下一代互联网协议 IPv6,由第 2 章~第 6 章组成。

第 2 章 IPv6 概述。分析 IPv4 存在的问题,介绍 IPv6 的产生,以及 IPv6 的特点。

第 3 章 IPv6 编址技术。介绍 IPv6 的地址表示形式、IPv6 的地址结构和类型。

第 4 章 IPv6 分组及协议机制。介绍 IPv6 分组格式,以及 IPv6 协议机制。描述 6 个扩展首部的功能。

第 5 章 ICMPv6 及应用。介绍 ICMPv6 报文格式及应用,描述邻结点探测协议 NDP 的相关机制。

第 6 章 IPv6 过渡机制。简单介绍双协议栈和隧道技术,以及 IPv4/IPv6 协议转换技术。

第三部分 多播技术,由第 7 章~第 9 章组成。

第 7 章 多播技术基础。介绍多播相关概念、IP 多播的特征和多播的应用,IP 多播地址。

第 8 章 因特网组管理协议 IGMP。介绍 IGMPv1/v2/v3 三种版本的报文格式、功能及应用。

第 9 章 多播路由技术。介绍多播路由的基本概念、多播路由算法和多播路由协议。着重介绍距离向量多播路由协议 DVMRP、多播开放最短路径优先 MOSPF、基于核心的树 CBT、PIM-DM、PIM-SM,以及域间多播技术。

第四部分 无线网络与移动 IP 技术,由第 10 章和第 11 章组成。

第 10 章 无线网络。主要介绍无线网络的基本概念和无线局域网的工作原理(CSMA/CA、IEEE 802.11 帧格式),以及无线 Ad hoc 网络的路由技术。

第11章 移动IP技术。着重介绍移动IP的基本原理、移动IP的控制报文、安全机制、隧道技术、路由转发处理和移动IPv6协议机制。

本书结构合理、层次清晰、内容丰富。既分析了新协议提出的背景和设计思路,又强调了协议的工作原理和协议设计的合理性,也指出了新技术的研究动向。注重讲解新协议标准与原标准的联系和区别,力求反映计算机网络领域的最新课题和发展。其主要特点如下。

(1) 精炼介绍TCP/IP基础知识。用一章的篇幅介绍了TCP/IP参考模型的各层主要协议的功能和技术,为新协议新技术的学习奠定基础。

(2) 关注新协议、新技术,把握其发展动向。

(3) 在追求新的基础上,强调准确。如果多个参考资料的描述有歧义,那么以RFC英文文档为准。

(4) 对于抽象的、复杂的、难以理解的技术,列举相应例证,化繁为简。

(5) 注重知识巩固环节。每章都附有大量习题,以加强学生对知识点的理解。

(6) 提供丰富的教辅材料。列有大量参考文献,并建立了课程学习网站(<http://www2.zzu.edu.cn/NetTechnique/>)。读者可以从中下载教学资源,并进行技术交流。

本书的编写过程中得到了学院领导和同事的支持和帮助;之前的书稿先后在2003级到2009级计算机专业研究生中试用,不少同学提出了自己的见解和想法;清华大学出版社为本书的出版提供了很多帮助。在此,向他们表示衷心的感谢。同时也要感谢我的家人对我的理解和支持,使得我有足够的时间从事教学和科研工作,得以顺利完成书稿。

网络技术发展很快,自己的研究和工作涉及的领域比较窄,深度也十分有限。所以对某些技术的理解可能会有不准确甚至错误的地方,难免会有疏漏和不当之处,敬请读者给予中肯的批评和建议。作者的邮箱地址是lixli@zzu.edu.cn,欢迎赐教和交流。

李向丽

郑州大学 信息工程学院

2010年8月

目 录

第一部分 TCP/IP 技术回顾

第 1 章 TCP/IP 协议	3
1.1 TCP/IP 层次结构	3
1.2 TCP/IP 工作原理	4
1.3 网络接口层	8
1.3.1 以太网协议	8
1.3.2 串行线网际协议	10
1.3.3 点对点协议	10
1.4 网际层	10
1.4.1 IP 协议	11
1.4.2 IP 地址	14
1.4.3 地址解析协议	18
1.4.4 逆向地址解析协议	19
1.4.5 因特网控制报文协议	20
1.4.6 因特网组管理协议	24
1.4.7 因特网的路由技术	24
1.5 传输层	29
1.5.1 端口和套接字	30
1.5.2 用户数据报协议	31
1.5.3 传输控制协议	32
1.6 应用层	38
1.6.1 应用层的客户/服务器方式	38
1.6.2 域名系统	39
1.6.3 文件传输协议	43
1.6.4 电子邮件	44
1.6.5 万维网	45
1.7 本章小结	46
1.8 习题	47

第二部分 下一代互联网协议 IPv6

第 2 章 IPv6 概述	53
2.1 IPv4 的局限性	53
2.2 IPv4 的改进措施	55
2.3 IPv6 的产生	56
2.4 IPv6 的特点	57
2.5 本章小结	63
2.6 习题	63
第 3 章 IPv6 编址技术	64
3.1 IPv6 地址表示形式	64
3.2 IPv6 的地址结构和类型	66
3.2.1 相关概念	67
3.2.2 IPv6 地址结构	67
3.2.3 单播地址	69
3.2.4 任播地址	76
3.2.5 多播地址	77
3.3 必需的 IPv6 地址	81
3.4 IPv4 地址与 IPv6 地址的比较	82
3.5 本章小结	82
3.6 习题	83
第 4 章 IPv6 分组及协议机制	85
4.1 IPv6 分组格式	85
4.1.1 IPv6 分组的基本首部	85
4.1.2 IPv6 分组的扩展首部	86
4.2 IPv6 分组扩展首部使用的 TLV 可选项	88
4.2.1 TLV 可选项及格式	88
4.2.2 TLV 可选项的对齐表示	90
4.2.3 设计新的 TLV 可选项	91
4.3 跳到跳选项扩展首部	93
4.4 源路由选择扩展首部	94
4.5 分片扩展首部	98
4.6 目的选项扩展首部	101
4.7 IPv6 的安全体系 IPsec	102
4.7.1 计算机网络安全简介	102
4.7.2 IPsec 通用操作、组件和协议	103
4.7.3 IPsec 的认证机制	104

4.7.4	IPsec 的加密机制	107
4.7.5	AH 和 ESP 保护区域的差别	110
4.8	IPv4 分组与 IPv6 分组首部的比较	111
4.8.1	简化的首部	111
4.8.2	修改的字段	112
4.8.3	新导入的字段	113
4.9	IPv6 下的域名系统 DNS 扩展	113
4.9.1	新的资源记录类型 AAAA	113
4.9.2	逆向指针资源记录 PTR	114
4.9.3	对查询过程的修改	114
4.10	本章小结	115
4.11	习题	115
第 5 章	ICMPv6 及应用	117
5.1	ICMPv6 概述	117
5.2	ICMPv6 报文的基本格式	119
5.2.1	ICMPv6 报文校验和的计算	119
5.2.2	封装 ICMPv6 报文的 IPv6 分组的源地址	120
5.2.3	ICMPv6 报文的处理规则	120
5.3	ICMPv6 差错报告报文	121
5.3.1	目的不可达 ICMPv6 报文	122
5.3.2	分组过大 ICMPv6 报文	123
5.3.3	超时 ICMPv6 报文	124
5.3.4	参数错误 ICMPv6 报文	124
5.4	ICMPv6 信息报文	125
5.5	邻结点探测协议 NDP	126
5.5.1	邻结点探测协议 NDP 概述	126
5.5.2	邻结点探测协议定义的 ICMPv6 报文	128
5.5.3	替代 ARP	139
5.5.4	无状态地址自动配置	141
5.5.5	前缀重新编址	146
5.5.6	路由器重定向	146
5.5.7	NDP 总结	147
5.6	本章小结	147
5.7	习题	148
第 6 章	IPv6 过渡机制	149
6.1	双协议栈	149
6.2	隧道技术	151

6.3	IPv4/IPv6 协议转换	154
6.4	本章小结	155
6.5	习题	155

第三部分 多播技术

第 7 章	多播技术基础	159
7.1	单播、多播和广播	159
7.2	硬件广播	160
7.3	多播的硬件起源	160
7.4	以太网多播	161
7.5	多播和广播的区别	161
7.6	IP 多播的特征	162
7.7	多播的应用	163
7.8	多播的概念性组成部分	163
7.9	IP 多播地址	164
7.9.1	IP 多播组地址格式	164
7.9.2	IP 多播组地址到以太网多播地址的映射	166
7.10	IP 多播分组在网络上的传送	167
7.11	多播作用域	167
7.12	本章小结	168
7.13	习题	168
第 8 章	因特网组管理协议 IGMP	169
8.1	IGMP 概述	169
8.1.1	IGMP 的功能	170
8.1.2	IGMP 在 TCP/IP 协议栈的位置	170
8.2	IGMPv1	171
8.2.1	IGMPv1 的报文格式	171
8.2.2	IGMPv1 查询—响应过程	172
8.2.3	报告抑制	172
8.2.4	查询路由器选举	173
8.2.5	主机加入组和离开组的过程	173
8.3	IGMPv2	174
8.3.1	IGMPv2 的报文格式	174
8.3.2	查询—响应过程	175
8.3.3	主机加入多播组和离开多播组的过程	175
8.3.4	选举查询路由器	177
8.3.5	IGMPv1 与 IGMPv2 的互操作性	178
8.3.6	IGMPv2 的操作	178

8.3.7	IGMPv2 的实现	178
8.4	IGMPv3	183
8.4.1	IGMPv3 的报文格式	183
8.4.2	IGMPv3 的主要改进	187
8.5	本章小结	188
8.6	习题	188
第9章	多播路由技术	190
9.1	在局域网上的多播	190
9.2	多播转发和路由选择信息	191
9.3	多播转发树	192
9.4	多播路由算法	195
9.4.1	最短路径树算法	196
9.4.2	最小生成树算法	196
9.4.3	Steiner 树算法	196
9.5	多播路由协议	197
9.6	距离向量多播路由协议 DVMRP	198
9.6.1	逆向路径转发 RPF	198
9.6.2	逆向路径广播 RPB 与截尾逆向路径广播 TRPB	200
9.6.3	逆向路径多播 RPM	201
9.6.4	剪枝和嫁接	203
9.6.5	DVMRP 的协议行为	205
9.7	多播开放最短路径优先 MOSPF	207
9.8	基于核心的树 CBT	208
9.8.1	树的形成	208
9.8.2	发送多播分组	210
9.9	PIM-DM	210
9.10	PIM-SM	211
9.10.1	汇聚点 RP 的选定	211
9.10.2	RP 共享树的构建	213
9.10.3	共享树的剪枝	216
9.10.4	发送多播分组	216
9.10.5	从共享树切换到基于源的树	219
9.10.6	多播源到多播组成员的 SPT 树的建立	220
9.10.7	PIM-SM 的特点	221
9.11	域间多播技术	222
9.11.1	域间多播问题	222
9.11.2	MSDP 协议	223
9.11.3	MBGP 协议	225

9.11.4	域间多播示例	225
9.12	多播主干 MBone	227
9.13	IPv6 多播技术	228
9.13.1	IPv6 多播新特性	228
9.13.2	IPv6 多播接收者发现协议 MLD	229
9.13.3	IPv6 多播路由协议	232
9.13.4	IPv6 试验网中的多播	232
9.14	本章小结	232
9.15	习题	233

第四部分 无线网络与移动 IP 技术

第 10 章	无线网络	237
10.1	无线网络概述	238
10.2	无线局域网	240
10.2.1	IEEE 802.11 协议栈	241
10.2.2	IEEE 802.11 服务集和关联	242
10.2.3	IEEE 802.11 物理层	243
10.2.4	IEEE 802.11 MAC 子层	245
10.2.5	IEEE 802.11 MAC 帧	252
10.2.6	IEEE 802.11 无线 LAN 提供的服务	256
10.2.7	IEEE 802.11 无线站点接入过程	257
10.2.8	IEEE 802.11 协议标准	259
10.3	无线个人区域网	261
10.4	无线城域网技术	264
10.5	无线 Ad hoc 网络	264
10.5.1	无线 Ad hoc 网络协议的分层结构	265
10.5.2	无线 Ad hoc 网络的特点	267
10.5.3	无线 Ad hoc 网络关键技术	268
10.5.4	无线 Ad hoc 网络按需路由协议	279
10.5.5	无线 Ad hoc 网络表驱动路由协议	292
10.6	本章小结	297
10.7	习题	298
第 11 章	移动 IP 技术	299
11.1	引言	299
11.2	移动 IP 的基本原理	300
11.3	移动 IP 的控制报文	304
11.3.1	代理发现	305
11.3.2	注册	310

11.4	移动 IP 的安全机制	319
11.4.1	安全认证	319
11.4.2	注册报文的重发保护	320
11.5	移动 IP 的隧道技术	321
11.5.1	IP in IP 封装	321
11.5.2	最小封装	322
11.5.3	GRE 封装	323
11.6	路由转发	323
11.6.1	单播分组的路由	323
11.6.2	广播分组的路由	324
11.6.3	多播分组的路由	324
11.6.4	移动路由器	325
11.6.5	ARP、代理 ARP 和无偿 ARP	326
11.7	移动 IPv6	327
11.7.1	移动 IPv6 的工作原理	328
11.7.2	移动首部	334
11.7.3	家乡地址选项	341
11.7.4	第 2 类路由首部	341
11.7.5	ICMP 家乡代理地址发现报文	342
11.7.6	对 IPv6 邻结点发现报文的若干修改	346
11.8	移动 IPv6 与移动 IPv4 的比较	349
11.9	本章小结	352
11.10	习题	352
参考文献		353

第一部分

TCP/IP 技术回顾

当今使用最广泛的互联网即是因特网,其前身是 ARPANET。ARPANET 是最早出现的计算机网络之一,现代计算机网络的很多概念都是在它的基础上发展起来的。在 ARPANET 的发展、演变过程中,TCP/IP 成为 ARPANET 的正式协议,因特网仍然采用 TCP/IP 协议。

第 1 章

TCP/IP协议

TCP/IP 并不是一个简单的协议,而是由一系列协议构成的,其中包括 TCP、UDP、IP、ICMP 以及其他一些协议。把这些协议称为 TCP/IP 协议族。

本章首先介绍 TCP/IP 的层次结构和工作原理,然后按照 TCP/IP 参考模型自下而上的顺序,即从网络接口层开始,接着是网际层、传输层,最后是应用层,分别介绍各层主要协议的功能和协议工作机制。

1.1 TCP/IP 层次结构

TCP/IP 参考模型可以分为 4 层,自下而上依次是网络接口层、网际层、传输层和应用层,如图 1-1 所示。这几个层次画在一起很像一个栈(stack)的结构,所以也可以称其为 TCP/IP 协议栈。

TCP/IP 层次结构与 OSI 参考模型的层次结构对应关系如图 1-2 所示。

下面简单说明这 4 个层的功能。

(1) 网络接口层。对应于 OSI 参考模型的数据链路层和物理层。TCP/IP 的层次结构中并没有对网络接口层做具体的描述,TCP/IP 协议可以运行在不同的物理网络上,例如以太网、点对点线路等。这样,TCP/IP 参考模型允许处于不同物理网络的主机连接到网络时使用不同的协议,体现了 TCP/IP 协议的兼容性和适应性,也为 TCP/IP 的成功奠定了基础。

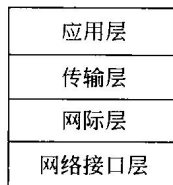


图 1-1 TCP/IP 层次结构

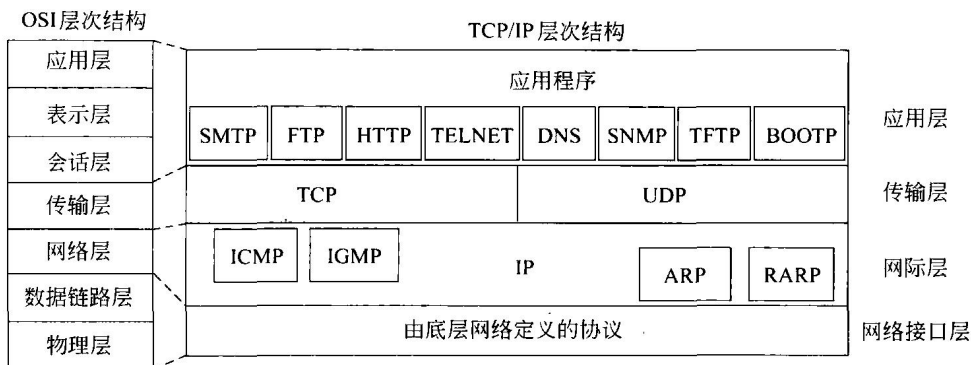


图 1-2 TCP/IP 层次结构与 OSI 层次结构的对应关系

(2) 网际层。该层对应于 OSI 参考模型的网络层。网际层、传输层和应用层的具体实

现都体现在操作系统中,目前流行的操作系统,例如 Windows、UNIX、Linux 等都支持 TCP/IP 协议。主要功能是使数据报从源主机传送到目的主机,源主机和目的主机可以在一个网络上,也可以在不同的网络上。IP、ICMP、ARP、RARP、IGMP 等协议都属于网际层协议,这些协议用来处理数据报的路由信息,以及进行地址解析等操作。

(3) 传输层。该层与 OSI 参考模型的传输层功能类似。主要提供在应用进程之间的端到端通信。TCP/IP 参考模型定义了传输控制协议(transport control protocol, TCP)和用户数据报协议(user datagram protocol, UDP)。TCP 协议是一种可靠的面向连接的协议,能够将一台主机的字节流(byte stream)无差错地传送到目的主机。UDP 协议是一种不可靠的无连接协议。

(4) 应用层。应用层相当于 OSI 参考模型的会话层、表示层和应用层的组合。应用层已经定义了很多协议,并且不断有新的应用层协议被定义,这些协议都是为了解决某一类应用问题而定义的,而问题的解决又往往是通过位于不同主机中的多个应用进程之间的通信和协同工作来完成的。应用层的具体内容就是规定应用进程在通信时所遵循的协议。DNS、HTTP、SMTP、FTP、TELNET 等协议都属于应用层协议。应用层协议可以使用不同的传输层协议,有的应用层协议依赖于 TCP 协议,有的依赖于 UDP 协议,有的既可以依赖于 TCP 协议,也可以依赖于 UDP 协议。

1.2 TCP/IP 工作原理

TCP/IP 模型中有 4 层,每层分别具有不同的协议和功能,TCP/IP 协议族是一组在不同层上的多个协议的组合。各层在实现自己的功能时,使用它的直接下层提供的服务,同时也为它的直接上层提供服务。下面说明这些协议进行协调工作的基本原理。

1. 协议之间的关系

TCP/IP 协议族中有很多协议,这些协议处于不同的层,它们之间的关系如图 1-3 所示。

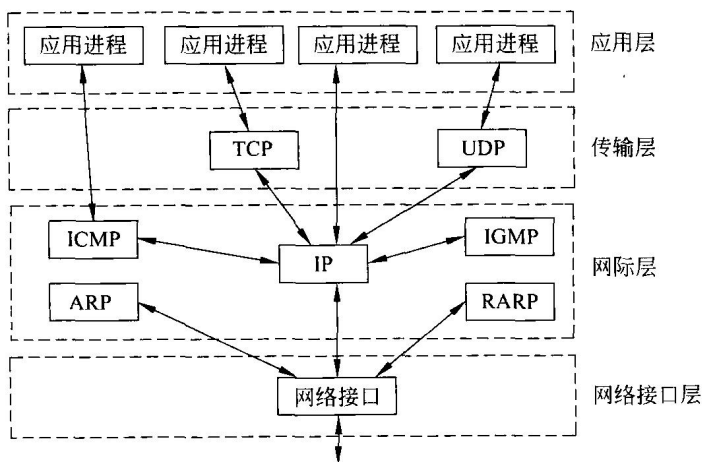


图 1-3 TCP/IP 协议族中协议之间的关系