

21世纪高等学校规划教材 | 计算机应用

网络编程技术

娄路 盛明兰 编著



清华大学出版社

TP393/976

21世纪高等学校规划教材

2013

网络编程技术

娄路 盛明兰 编著

北方工业大学图书馆



C00338974

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍网络编程的基本原理、主要方法和典型应用程序实现,全书共7章,以基于TCP/IP协议层的套接字编程接口入手,按照Internet网络协议体系层次,阐述了网络编程原理及实现技术方法,内容包括网络编程基础、Linux系统套接字编程、Windows套接字编程、应用层网络程序编程、网络底层编程技术、流媒体编程技术、网络安全编程。

本书可作为计算机网络、通信工程、电子信息工程或其他相关专业的教材,也可作为相关领域的研究人员和专业技术人员的参考书。

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。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

网络编程技术/娄路,盛明兰编著.--北京:清华大学出版社,2013

21世纪高等学校规划教材·计算机应用

ISBN 978-7-302-32127-9

I. ①网… II. ①娄… ②盛… III. ①计算机网络—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第082909号

责任编辑:梁颖 赵晓宁

封面设计:傅瑞学

责任校对:时翠兰

责任印制:沈露

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:010-62770175

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

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印装者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:13

字 数:315千字

版 次:2013年8月第1版

印 次:2013年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:25.00元

产品编号:045883-01

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容,改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。
- (8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

网络编程就是利用网络应用编程接口开发通信应用程序,实现两个或多个通信设备之间的信息交互功能。随着近二十年社会网络信息化程度的迅速提高,网络通信方式从最初的局域网之间的消息交换、文件和打印等资源的共享,发展到互联网上的邮件交流、文件下载、远程登录、网页浏览、流媒体电视、论坛和博客、电子商务等;通信设备类型也由最早单纯的 PC,发展到目前的智能手机、便携式终端、嵌入式工业设备和智能家电等。网络带宽越来越大,通信媒质从有线电视、光纤到宽带无线;通信模式则从最初的客户机/服务器(C/S)到后来的浏览器/服务器(B/W),以及目前崭露头角的云计算(Cloud Computing)等。政府、企业和个人都力图充分利用信息网络化所带来的低成本、高效率、灵活性的巨大技术优势。然而,互联网的发展充满着活力,社会各领域的信息分享、信息交流需求也层出不穷,网络编程技术始终面临着巨大的挑战。

网络通信依赖于通信协议,在计算机网络发展过程中出现过许多性能优异的网络通信协议,也发挥了很大的历史作用。随着互联网的发展,最终 TCP/IP 协议以其层次化、易扩展、灵活方便等优势,成为目前唯一通用的网络通信协议。从网络编程角度看,尽管当前有大量优秀的网络编程语言和相关开发工具,但是基于 TCP/IP 协议层的套接字编程接口(Socket API)仍然是理解计算机网络协议、掌握网络编程技术的前提基础。因此本书主要围绕 TCP/IP 协议套接字编程接口,由浅至深地展开对网络编程技术的讨论。

要学好网络编程及相关开发技术,对于操作系统、计算机网络、软件编程语言等要有较深入的理解和掌握,因为网络应用编程与它们密不可分。本书以实际应用场景为例,介绍了 Linux 和 Windows 操作系统下的网络编程的原理、接口和方法以及各种应用程序编程和开发技术。

编者在编写过程中,对内容的安排和写作进行了广泛的讨论,对书中涉及的内容安排相关专业本科生和研究生中进行了实验性的教学。本书第 1 和第 5 章由盛明兰编写,第 2~第 4 章由娄路编写,第 6 和第 7 章由两位编者共同完成。

在编写过程中,参考和引用了大量的书籍、论文、网页和其他形式的前人研究成果,并在书后参考文献中尽量做了出处说明,但有的参考文献由于时间仓促及编者的原因可能有所遗漏,在此对文献的著作者表示深切的谢意,如有因作者疏漏而未列出的文献,敬请谅解。

由于作者视野和水平有限,编写时间仓促,加之计算机网络通信技术的发展日新月异,书中的错误和不足之处在所难免,恳请广大读者给予批评指正。

编 者

2013 年 5 月于重庆

目 录

第 1 章 网络编程基础	1
1.1 引言	1
1.2 计算机网络发展历史	3
1.3 开放式系统互连参考模型(OSI/RM)	4
1.3.1 OSI/RM 概述	5
1.3.2 OSI/RM 的成功与失败	5
1.4 国际互联网(Internet)的体系结构	7
1.5 互联网和 TCP/IP 协议的相关基础	8
1.5.1 IP 地址及其表示方法	8
1.5.2 IP 地址转换	11
1.5.3 域名解析系统 DNS	13
1.5.4 IP 地址分配和域名管理	14
1.6 IPv6 的启用	16
1.6.1 IPv6 的优势	16
1.6.2 IPv4 向 IPv6 的过渡	17
1.7 网络通信程序编程	17
1.7.1 互联网在当今信息社会中的角色	17
1.7.2 面向互联网的网络程序编程	19
1.7.3 网络通信程序的开发调试方法	20
1.8 本书的内容侧重和默认约定	21
小结	22
思考与练习	22
第 2 章 Linux 系统套接字编程	23
2.1 引言	23
2.2 套接字简介	26
2.2.1 Socket 的历史	26
2.2.2 Socket 定义及基本概念	27
2.2.3 Socket 的类型	28
2.3 套接字编程相关基础	29

2.3.1	套接字数据类型	29
2.3.2	本机字节顺序和网络字节顺序	30
2.4	Socket 的工作一般步骤	31
2.4.1	TCP 的三次握手建立连接	32
2.4.2	TCP 的四次握手释放连接	32
2.5	基本套接字函数介绍	33
2.5.1	套接字函数功能分类	33
2.5.2	IPv4 和 IPv6 套接字函数的差别	34
2.6	基本套接字函数使用说明	36
2.7	基本数据读写套接字函数	40
2.8	高级数据发送和接收套接字函数	42
2.9	其他 Socket 系统调用	48
2.10	阻塞和非阻塞	49
2.11	原始套接字编程	50
2.12	Socket 应用实例	54
	小结	62
	思考与练习	62
第 3 章	Windows 套接字编程	63
3.1	引言	63
3.2	Windows Sockets 概述	63
3.3	Winsock 提供的函数调用	64
3.3.1	基本套接口函数	64
3.3.2	针对 Microsoft Windows 的扩展函数	64
3.4	Winsock 对 BSD Socket 的扩充	65
3.5	Winsock 1.1 扩展的主要函数介绍	69
3.6	Winsock 2.0 的扩充功能	75
3.7	Winsock 编程实例	80
	小结	84
	思考与练习	84
第 4 章	应用层网络程序编程	85
4.1	引言	85
4.2	.NET Framework 概述	85
4.3	C# 编程基础	88
4.3.1	网络编程中的常用类	88
4.3.2	C# 网络套接字编程	89
4.3.3	.NET 中的进程与线程	90
4.3.4	.NET 中的 Socket 类	93

4.4 C# 的 TCP 编程	97
4.4.1 TcpClient 类	97
4.4.2 TcpListener 类	98
4.5 C# 的 UDP 编程	100
4.5.1 UdpClient 类	100
4.5.2 多播编程	102
4.6 基于 C# 的 E-mail 应用编程	103
4.6.1 SMTP 协议编程	105
4.6.2 POP3 协议编程	109
4.6.3 IMAP4 协议概述	110
4.7 基于 C# 的 FTP 应用编程	113
4.7.1 FTP 概述	113
4.7.2 FTP 编程方法	117
4.8 基于 C# 的 HTTP 客户端编程	122
4.8.1 HTTP 原理概述	122
4.8.2 HTTP 客户端编程方法	126
4.9 基于 C# 的网络编程实例	127
小结	134
思考与练习	134
第 5 章 网络底层编程技术	135
5.1 引言	135
5.2 基于 Libpcap 的网络编程	135
5.2.1 Libpcap 概述	135
5.2.2 Libpcap 库函数与数据结构	136
5.2.3 Libpcap 的应用实例	140
5.3 基于 Winpcap 的网络编程	141
5.3.1 Winpcap 简介	141
5.3.2 Winpcap 的结构	142
5.3.3 packet.dll 的相关数据结构及函数	143
5.3.4 wpcap.dll 的相关数据结构及函数	147
5.4 基于 NDIS 的网络编程	151
5.4.1 Windows 网络体系结构	152
5.4.2 NDIS 规范概述	152
5.4.3 NDIS 小端口驱动程序	154
5.4.4 NDIS 中间层驱动程序	154
5.5 网络数据报捕获编程实例	158
小结	161
思考与练习	161

第6章 流媒体编程技术 162

6.1 引言 162

6.2 流媒体概述 163

6.2.1 实时流协议(RTSP) 163

6.2.2 多媒体服务协议(MMS) 168

6.2.3 流媒体文件的压缩格式 168

6.3 VLC 软件简介 170

6.3.1 VLC 主要技术特点 170

6.3.2 VLC 视频播放的基本原理 170

6.3.3 VLC 的动态调用 172

6.4 流媒体编程实例 174

小结 178

思考与练习 178

第7章 网络安全编程 179

7.1 SSL 概述 179

7.2 SSL 的设计目标 179

7.3 SSL 与 TCP/IP 协议层 180

7.4 SSL 协议体系结构 181

7.5 OpenSSL 编程概述 184

7.6 SSL 编程示例 186

小结 195

思考与练习 195

参考文献 196

第1章

网络编程基础

本书假定读者已经对计算机网络和操作系统等课程的基础理论、概念与体系结构有一定理解,为方便读者从实践角度掌握网络通信编程等基本思路、编程接口方式以及与其他软件编程方法的区别,建立一个完整的网络通信编程的总体概貌。本章从通信实例入手逐步引出了信息交换的基本手段、计算机网络的层次模型、TCP/IP 协议的优点等,从实践应用角度帮助读者加深理解计算机网络原理、TCP/IP 基本协议功能以及分层网络的数据传输过程等。

1.1 引言

计算机网络以资源共享为目的,其主要功能是相互通信和交流信息。计算机网络最大的特点是通过不同的通信介质把不同厂家、不同操作系统的计算机和其他相关设备(如打印机、嵌入式信息终端、手机等)连接在一起,打破地域空间的界限,低成本、灵活方便地共享硬件资源和进行信息传输。然而,实现在不同介质上的不同软硬件资源之间的信息共享,需要计算机与相关设备采用相同的协议(即通信规则的集合)进行通信。

TCP/IP 协议与其他协议相比较,具备先天的技术优势,尽管不是完美无缺,但它的可行性、灵活性和可扩展性使其一直在不断完善和提高,技术优势得到了充分地体现。经过多年的发展,当前计算机网络组织结构是以 TCP/IP 协议为主的 Internet 结构。

本书为了方便阐述各章节的逻辑关联性,提高读者对一些理论概念的实践认识和理解,虚构设计了一个现实生活中的网络通信案例。

背景:大勇、小强和阿牛以前是关系要好的高中同学。高考之后,大勇和小强都选择了 A 大学的计算机专业,依旧是同窗好友并且住同一个宿舍,现在两人都迷恋上网、编程。阿牛则考入另一个城市的 C 大学计算机系学习,目前是班上公认的技术高手。

大勇和小强与另外两个舍友在宿舍都使用各自的计算机上网、聊天、共享文件,大勇是个便携式计算机,安装的是 Windows XP,小强是个台式 PC,安装了双系统,Windows XP 和 Linux(Fedora 10)。宿舍的计算机使用双绞网线(RJ45)和一个 8 端口的集线器(Hub)组成一个局域网,这集线器又接到隔壁宿舍的一个路由器(Router)上,然后从这里接入学校的校园网。学校的校园网内部通信是免费的,访问中国高校教育互联网也是免费的(CERNET),但是如果访问其他互联网资源要收费,按流量计费或包月计费。

有一天,他们正在上网,突然网络断了,检查发现是 Hub 坏了。这下可急坏了他俩,经过一番折腾,总算有了办法。

1. 用串口数据线实现两台计算机的串行通信

这个方法很简单,接上串口线,然后给两台计算机的串口设置相同的通信速率(如 57 600b/s)、数据格式(数据位、停止位、奇偶校验),就可以工作了。这就是 RS-232/445 异步通信协议,是一种“古老”的数据通信标准,但一直被广泛地使用。串行口与网络接口一样,是目前普遍使用的通信接口。

大勇和小强找到一些串口通信软件,安装运行,就能开始两人之间的聊天,也可以进行文件的传送。他俩发现,有的串口软件在聊天时输入汉字竟然是乱码,无法正常传送,只能用英文聊天;但使用串口软件的文件传送功能(这时又需选择一些他俩不甚明白的协议,如 Xmodem、Zmodem 等),却可以发送含有汉字、图片等各类文件,他俩对此有点迷惑。

2. 用串口数据线配置局域网协议和 TCP/IP 协议

上面的方法只是一个简单的数据通信,能进行字符聊天和文件发送,不能共享文件夹,也不能玩联网游戏(如反恐精英 CS1.5),大勇和小强感觉极不方便,仿佛穿越到了远古时代,心想 TCP/IP 协议这般强大,应该能用在串口通信上。一番研究之后,找到了办法。原来 Windows XP 本身支持串口电缆使用 TCP/IP 协议连接两台计算机。于是,大勇在他的计算机上按照帮助说明逐步设置,工作组/机器名、主机/来宾账户、PPP 协议、TCP/IP 地址、文件和打印机共享协议、IPX/SPX 协议等……两台计算机最终连接成功。除了速度慢点,其余感觉都与 Hub 罢工之前一样,文件夹共享和游戏联网对战也都可以进行。

3. 用 RJ45 网线直接连接两台计算机的网卡

串口线太短(不得已两人都把计算机搁得很近),文件传送也慢。大勇和小强突然想改用网线直接把两台计算机连起来,RJ-45 网线的接头线序是否需要修改?是否要用特制的直连网线?先接上网线试试再说,小强说。检查设置了各自的 IP 地址,小强先用 ping 命令一试,竟然通了,其他网络通信完全正常,文件共享速度极快,俩人大喜,也后悔该早用网线连接。但是为什么这个连接 Hub 的交叉线序的网线也能用呢?二人又迷惑了。

正在这时,大勇的手机(诺基亚 6300)响了起来,阿牛的来电。你们咋回事?这么长时间都不在线呢,阿牛说道,我的个人技术博客网站正在进行选 10 强的投票活动,你俩赶紧去网站给我投票!大勇将无法上网的情况说了(他手机上的嵌入式浏览器访问许多网站也存在问题)。阿牛说这简单啊,你的手机不是开通了上网功能(GPRS)嘛,你现在用你的笔记本,把你的手机作为拨号上网设备,上网给我投票。我的计算机如何与手机相连呢,我手机又没有串口?大勇问。你用你的手机数据线啊,那个 USB 接口!数据线若丢了就用蓝牙,阿牛很自信地说。在阿牛的指导下,大勇和小强很快先用数据线(Mini USB 接口)把笔记本电脑与手机连接起来,然后在 Windows 控制面板里找到了 Nokia 手机设备(Modem),简单设置了几条拨号命令(AT 命令),笔记本计算机就顺利地建立起 TCP/IP 通道接入到互联网。虽然数据很慢,但是重新上网的感觉让大勇和小强激动不已。大勇很快就在阿牛的网页上投了票,然后用聊天工具问阿牛,为啥刚才用网线能直接把两台计算机的网卡连接起来工作呢?物理层接法都是不对的。阿牛说,目前新的网络设备和网卡都具备智能检测直连还是交叉网线的功能,能够自适应调整,所以你们用直连还是交叉网线估计都不成问题。大勇和小强恍然大悟。

这时,小强突然发现大勇的计算机上有三个 TCP/IP 网络链路,串口、网线和手机无线上网,也对应着三个不同的 IP 地址,他猛然想到:我的计算机能否也通过连接大勇计算机,

使用他的手机无线链路上互联网呢？他在自己的计算机上用浏览器输入阿牛的网站一试，哇，竟然也能访问。再试其他网站，也都可以访问，他乐得一蹦三尺。他赶紧给阿牛投票，但是这次出了错，提示：你已经投过票，同一个网络地址只能投一次票！这是咋回事呢？好思考的小强又一次陷入了深思。

他越来越觉得网络的妙处、TCP/IP 协议的强大，同时也对网络编程产生了兴趣……

从上面的例子中可以看到，即使生活中一个简单的网络通信案例，也涉及许多不同类型的物理层接口设备及相关链路层协议，如从物理通道上看，有传统的串行口、网卡设备，到较新的 USB 接口和无线通信；从通信协议上看，有串口通信、点对点 PPP 协议、局域网协议 (IPX/SPX) 和无所不在的 TCP/IP 协议。计算机网络通信因为异种网络和设备之间的互联变得十分复杂的。

为了完成计算机间的通信合作，把每个计算机互连的功能划分成定义明确的层次，并规定了同层次进程通信的协议及相邻层之间的接口和服务，这样的层次结构模型和通信协议统称为“网络体系结构”。

为研究和设计网络，采用层次结构有以下优点：

- (1) 各层之间相互独立，高层不需要知道低层是如何实现的，而仅知道该层通过层间的接口所提供的服务。
- (2) 灵活性好。某层的改变，只要层间接口不变，则不影响上下层。
- (3) 结构上可分割，各层都可采用最合适的技术来实现。
- (4) 这种结构使得系统的实现和维护变得容易控制。
- (5) 有利于促进标准化工作。

OSI/RM 模型和 TCP/IP 模型陆续出现，为清晰地理解互联网络、开发网络产品和网络设计带来了极大的方便，推动了计算机网络的飞跃发展。从这些分层模型入手，也有助于理解和掌握网络应用编程的理论和开发技术方法。

1.2 计算机网络发展历史

计算机网络技术发展的第一个里程碑以报文 (Message) 或分组 (Packet) 交换技术的出现为标志。1965 年美国兰德公司的一份内部报告中首先提出报文存储转发 (Store-and-forward) 技术，又称分组或报文交换技术。传统的线路/电路交换技术将待传信息作为一个整体在线路上传送，中继结点为之转接一条专用线路前传；而分组/报文交换技术将被传信息划分成若干分组/报文作为独立的单元在线路上传输，在网络设备内存储转发。由于新技术具有对通信线路利用率高、出错后纠错效率高等优点，很快引起计算机与通信界的注意。

1968 年美国国防部的现代研究项目署 (Advanced Research Project Agency) 开始建设以报文交换为基础的网络，即 ARPANET，这是分组交换技术在广域网中的具有划时代意义的示范工程。ARPANET 在网络层采用无连接的 IP 报文协议，IP 之上采用面向连接的传输控制协议 TCP，其基本技术与实践也为现在风行全球的因特网 (Internet) 的发展奠定了基础。将分组交换技术应用在局域网范畴的先驱者——英国国家物理实验室 (National Physical Laboratory, NPL) 的数据通信网 (Data Communication Network, DCN)，是与

ARPANET 同期出现的网络,其物理层通信采用 8 位并行传输方式,而网络层则采用了面向连接的传输协议 TCP。ARPANET 和 DCN 可以说是早期分组交换网中提供无连接与面向连接网络服务两大流派的代表。

计算机网络技术发展的第二个里程碑以开放式系统互连参考模型(Open System Interconnection/Reference Model,OSI/RM)的出现为标志。面对 20 世纪 70 年代网络技术的大发展,出现了数以百计的体系结构各异的网络,因而异种网络间的互联成为当时困惑网络应用者的大问题。国际标准化组织(International Standards Organization,ISO)成立了相应的工作组,着手研究网络的体系结构问题,于 1980 年形成了一个 7 层的开放式系统互连参考模型(OSI/RM),并在 OSI/RM 的框架之内进一步对各层的功能、所提供的服务以及提供有关服务所需的协议进行了定义,完成了有关文本的编制。OSI/RM 的重要意义就在于为网络界讨论与研究网络问题提供了完整的体系结构参考,全面地界定了开放式系统互联的功能要素。尽管由于多方面原因,最终制定的协议并未在实践中获得实际应用推广,但有关工作仍为后来的网络研究奠定了基础。

计算机网络技术发展的第三个里程碑以 Internet 的迅速发展与推广为特征。20 世纪 80 年代中期,有人开始把多个互联起来的网络看作一个“互联网”。1983 年 1 月,TCP/IP 协议集成为 ARPANET 的唯一的官方协议后,ARPANET 上联入的计算机与网络迅速增长,特别是当 ARPANET 与美国科学基金网 NSFNET 互联以后,加入互联网的计算机与网络数更是呈指数增加。到 1990 年,联入“互联网”的网络数已增至 3000 个,入网计算机数达到 20 万台。这时,人们开始用大写字母 I 打头的 Internet 用于特指这个以 TCP/IP 为基础的国际性的互联网络,以区别于一般意义上的其他互联起来的网络(用小写字母 i 打头的 internet 表示)。在国内,人们把 Internet 译作“因特网”或直接用英文 Internet。

不过,直到 1990 年初,Internet 的用户仍主要是学术界、政府和工业界的研究人员,网上主要提供 4 种服务:电子邮件(E-mail)、消息论坛(News)、远程登录(Remote Login)和文件传输(File Transfer),Internet 也没有正式的营运管理机构。1989 年出现的 WWW(World Wide Web)和 1993 年出现的图形界面浏览器 Mosaic,由于其操作简便,能查询到图文并茂的多媒体信息,这就彻底改变了 Internet 的应用范围、使用模式和用户群,由此而形成了所谓的浏览器/服务器(B/S)工作模式。Mosaic 浏览器公布第一年,WWW 服务器就由 100 台发展到 7000 台,网络用户群从集体用户延伸到大量的个体上网者。1992 年,联入 Internet 的主机台数已达 1 百万台,到 1995 年,Internet 已经发展为由多个骨干网、数百个区域性广域网组成的,连接数万个局域网和上千万用户机的全球性网络。从这种意义上讲,把 WWW 和 Mosaic 的出现看作 Internet 大发展的起点,将第三里程碑的时间坐标置于 20 世纪 90 年代初期是一种比较合适的选择。

1.3 开放式系统互连参考模型(OSI/RM)

OSI 参考模型(OSI/RM)的全称是开放系统互连参考模型(Open System Interconnection Reference Model,OSI/RM),是由国际标准化组织 ISO 提出的一个网络系统互连模型。是网络技术的基础,也是分析、评判各种网络技术的依据。它揭开了网络的神秘面纱,让其有理可依,有据可循,透明地处理标准和硬件的变化。虽然迄今为止没有哪种网络结构是完全

按照这种模型来实现的,但它是一个得到公认网络体系结构的模型。

需要注意的是,OSI 模型并不是一个网络结构,因为它并没有定义每个层所拥有的具体的服务和协议,它只是告诉我们每一个层应该做什么工作。但是,ISO 为所有的层次提供了标准,每个标准都有其自己的内部标准定义。

1.3.1 OSI/RM 概述

下面来看 OSI 模型的层次图(如图 1.1 所示),OSI 开放式系统互连参考模型把开放系统划分为两类:由 7 层(7 个子系统)组成的端系统(End System)和由 3 层(3 个子系统)组成的中继系统(Relay System),或称中间系统(Intermediate System)。子系统间按上下排列,下层向上一层提供以该层命名的 OSI 服务,同层实体之间的通信关系由该层的协议规定。各层的名称由下而上分别为物理层(Physical Layer)、数据链路层(Data Link Layer)、网络层(Network Layer)、传送层(Transport Layer)、会话层(Session Layer)、表示层(Presentation Layer)和应用层(Application Layer)。

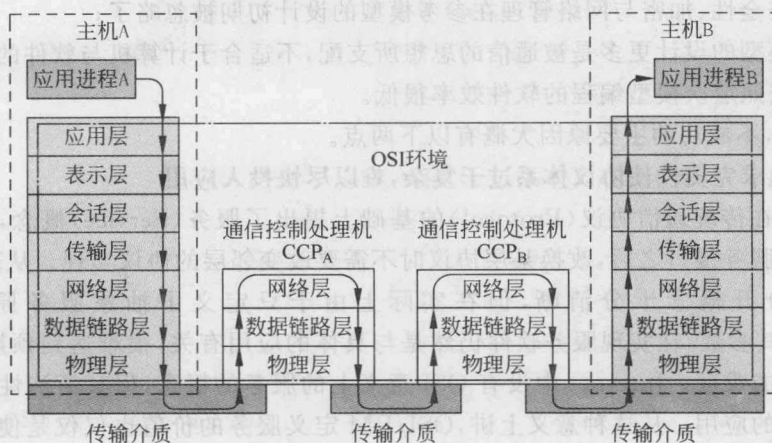


图 1.1 OSI/RM 的典型 7 层体系结构

各层对应的典型代表举例如下:

应用层——计算机: 应用程序, 如 FTP, SMTP, HTTP。

表示层——计算机: 编码方式, 图像编解码、URL 字段传输编码。

会话层——计算机: 建立会话, SESSION 认证、断点续传。

传输层——计算机: 进程和端口。

网络层——网络: 路由器、防火墙、多层交换机。

数据链路层——网络: 网卡、网桥、交换机。

物理层——网络: 中继器、集线器、网线、Hub。

1.3.2 OSI/RM 的成功与失败

由于 OSI 系统十分复杂, 加上协议中可选项太多, 要实现开放式系统互联实际上并非易事。20 世纪 90 年代由于 Internet 在全世界范围内得到广泛的应用, 而其以 TCP/IP 为基础的通信协议集十分简洁, 网络产品厂商和软件开发商纷纷转向, 使以 OSI/RM 为基础的

协议并未在市场上站住脚。因此,有关工作的最大贡献主要体现在 OSI/RM 本身作为讨论网络体系结构的参考作用上。

需要指出的是,OSI/RM 并非如 1.3.1 节讨论那样逐层发展起来的,而是在 20 世纪 60~70 年代发展起来的不同结构层次、同名层内涵不尽相同的背景下,通过 ISO 有关工作组的反复研究、争论和协商的结果。因此,它既是当时能获得学术界与业界认同的网络体系结构,可作为讨论网络体系结构和各种新旧网络间关系的参照,也是 ISO 有关工作组制定各层标准的依据。这一点也正是 OSI/RM 最成功之处和对计算机网络技术的最大贡献。另外,也应当看到 ISO 有关工作组花了近 10 年时间为 OSI/RM 制定的数十个标准,试图做到尽善尽美、包罗万象,最后却没能成为网络界实际使用的标准,是一个极大的遗憾。

OSI/RM 模型的缺点如下:

- 层次数量与内容选择不是很好,会话层很少用到,表示层几乎是空的,数据链路层与网络层有很多的子层插入;
- 寻址、流控与差错控制在每一层里都重复出现,降低系统效率;
- 数据安全性、加密与网络管理在参考模型的设计初期被忽略了;
- 参考模型的设计更多是被通信的思想所支配,不适合于计算机与软件的工作方式;
- 严格按照层次模型编程的软件效率很低。

总结起来,不成功的主要原因大概有以下两点。

1. 过分追求完美性使协议体系过于复杂,难以尽快投入应用

OSI/RM 在传统通信协议(Protocol)的基础上提出了服务(Service)概念,其原意在于定义了抽象的服务接口之后,改换某层协议时不需要改变邻层的协议实现。从理论上讲,服务与协议的分开概念十分清晰,但在实际上由于只定义了抽象服务原语(Service Primitives)及其参数,在实现服务软件仍然是与具体的应用有关,很难达到预期的目的,反而增加了实现的难度。Internet 中没有 OSI 意义上的服务的概念,但其简洁性却使它在实践中获得广泛的应用。从这种意义上讲,OSI/RM 定义服务的价值也仅仅是使讨论问题时概念较为清晰。

另外,OSI/RM 在初期只考虑了提供面向连接(Connection Oriented)的服务,后来经过长期的争论(特别是 Internet 的网络层就使用无连接的 IP 协议),最终引入了无连接(Connectionless)服务。这样就造成在几乎所有的层中都必须考虑定义两类服务与协议,从而增加了系统可互连互通的难度。加上因追求完美而在所有的服务与协议中定义了大量可选项(如服务类别、协议类别、参数等),造成即使选用同一服务与协议标准的不同产品之间因选项不同而不能互连互通。这类矛盾在对协议实现进行是否符合标准的测试中(Conformance Test)就暴露得更加明显。为了减少可选项带来的麻烦,国际标准化机构和部分国家的标准化机构着手制订“官方”实施指南,但后来发现各种实施指南间的差异反而带来新的问题。这也是 OSI 有关协议产品软件迟迟未能投入市场获得广泛应用的重要原因。

2. 标准制订周期太长,不适应市场需求的迅速变化和技术的发展

与系统复杂有关的另一个相关的问题是标准制定的周期过长,因而难于尽快形成产品投入市场。国际上通常认为,标准化工作完成的最佳时机应该在研制开发与社会投入大量资金两个高峰之间,而且标准化工作持续时间不宜过长。这也是 OSI 协议集在与 Internet

的竞争中失利的重要原因。于是 TCP/IP 由于其简洁性和实际应用较多,而成为事实上的网络通信平台的标准。

1.4 国际互联网(Internet)的体系结构

从上面的回顾可以看出,把 Internet 称为“互联网”是有道理的,它不是单个网络,而是由基于 TCP/IP 协议集的多个网络互联而成的集合体。20 世纪 80 年代,有人开始使用 Internet 这一术语来代表以 TCP/IP 协议集为基础的网络群体,而 20 世纪 90 年代以 Moosaic 浏览器出现为代表的所谓万维网(WWW,即 World Wide Web)更展示了现代 Internet 的浏览器/服务器访问模式,使计算机网络从科技人员的专用工具,变成现代人日常工作与生活中实现信息交流与共享的手段。

在 TCP/IP 协议研究时,并没有提出体系结构参考模型。在 1974 年 Kahn 定义了最早的 TCP/IP 参考模型;20 世纪 80 年代 Leiner、Clark 等人对 TCP/IP 参考模型进一步的研究。TCP/IP 协议一共出现了 6 个版本,后 3 个版本是版本 4、版本 5 与版本 6。目前使用的是版本 4,它的网络层 IP 协议一般记作 IPv4,版本 6 的网络层 IP 协议一般记作 IPv6(或 IPng,IP Next Generation),IPv6 被称为下一代的 IP 协议。本书约定,各章节中所提及 IP 协议及相关概念若没有特别说明版本均默指 IPv4。

TCP/IP 参考模型分为 4 层,各层的功能分别如下:

(1) 应用层。

(2) 传输层。

(3) 互连层。

(4) 主机-网络层。

图 1.2 为 Internet 体系结构与 OSI/RM 的对比示意图。

OSI参考模型	TCP/IP参考模型
应用层	应用层
表示层	
会话层	
传输层	传输层
网络层	互联层
数据链路层	主机-网络层
物理层	

图 1.2 OSI/RM 的 7 层结构与 TCP/IP4 层结构的对应关系

从图 1.2 的对比可以看出,尽管 TCP/IP 模型在物理层和数据链路层广泛使用各种技术而未定义专用的协议,只概括地称为“主机-网络层”。但其最下面 4 层结构与 OSI/RM 的下面 4 层基本是一一对应。TCP/IP 模型在体系结构上有别于 OSI/RM 之处在于将 OSI/RM 中的上面 3 层合成为应用层,将应用层所需的会话层和表示层功能根据需要融入应用层之中。