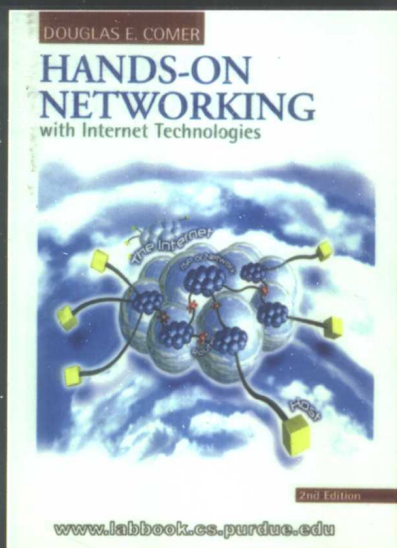


互联网技术 实验指导书 (第二版)

Hands-On Networking with Internet Technologies
Second Edition



[美] Douglas E. Comer 著

齐望东 薛卫娟 译



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

国外计算机科学教材系列

互联网技术实验指导书

(第二版)

Hands-On Networking with Internet Technologies
Second Edition

[美] Douglas E. Comer 著

齐望东 薛卫娟 译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

掌握网络技术的最好方式是动手做实验。本书设计了多达45个互联网技术实验。按照所需的硬件环境和技能的复杂程度分成六个部分,分别为可以在单台计算机上完成的设计、探测和测试实验;在局域网环境中进行的网络程序设计和网络协议设计实验;测量和分组分析实验;互联网配置实验;在专用实验室中进行的协议栈开发实验以及在网络系统工程实验室中进行的系统设计实验。

以往的计算机网络教材内容大多注重理论,提供的实验材料较少。本书则是专用的网络实验教材,对于普通的网络教材也是很好的补充。本书即可作为本科生的计算机网络实验教材,也适合用做网络工程专业本科生或者研究生进行课题设计的实验材料。

Simplified Chinese edition Copyright © 2004 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Hands-On Networking with Internet Technologies, Second Edition, ISBN: 0131443100 by Douglas E. Comer. Copyright © 2004. All rights reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和Pearson Education培生教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2003-7695

图书在版编目(CIP)数据

互联网技术实验指导书:第二版/(美)科默(Comer, D. E.)著;齐望东,薛卫娟译.

-北京:电子工业出版社,2004.4

(国外计算机科学教材系列)

书名原文:Hands-On Networking with Internet Technologies, Second Edition

ISBN 7-5053-9808-3

I. 互... II. ①科... ②齐... ③薛... III. 互联网络-实验-教材 IV. TP393.33

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第027649号

责任编辑:史 平

印 刷:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:12.25 字数:267千字

印 次:2004年4月第1次印刷

定 价:19.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

出版说明

21 世纪初的 5 至 10 年是我国国民经济和社会发展的关键时期,也是信息产业快速发展的关键时期。在我国加入 WTO 后的今天,培养一支适应国际化竞争的一流 IT 人才队伍是我国高等教育的重要任务之一。信息科学和技术方面人才的优劣与多寡,是我国面对国际竞争时成败的关键因素。

当前,正值我国高等教育特别是信息科学领域的教育调整、变革的重大时期,为使我国教育体制与国际化接轨,有条件的高等院校正在为某些信息学科和技术课程使用国外优秀教材和优秀原版教材,以使我国在计算机教学上尽快赶上国际先进水平。

电子工业出版社秉承多年来引进国外优秀图书的经验,翻译出版了“国外计算机科学教材系列”丛书,这套教材覆盖学科范围广、领域宽、层次多,既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。这些教材涉及的学科方向包括网络与通信、操作系统、计算机组织与结构、算法与数据结构、数据库与信息处理、编程语言、图形图像与多媒体、软件工程等。同时,我们也适当引进了一些优秀英文原版教材,本着翻译版本和英文原版并重的原则,对重点图书既提供英文原版又提供相应的翻译版本。

在图书选题上,我们大都选择国外著名出版公司出版的高校教材,如 Pearson Education 培生教育出版集团、麦格劳-希尔教育出版集团、麻省理工学院出版社、剑桥大学出版社等。撰写教材的许多作者都是蜚声世界的教授、学者,如道格拉斯·科默(Douglas E. Comer)、威廉·斯托林斯(William Stallings)、哈维·戴特尔(Harvey M. Deitel)、尤利斯·布莱克(Uyless Black)等。

为确保教材的选题质量和翻译质量,我们约请了清华大学、北京大学、北京航空航天大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通大学、国防科学技术大学、解放军理工大学等著名高校的教授和骨干教师参与了本系列教材的选题、翻译和审校工作。他们中既有讲授同类教材的骨干教师、博士,也有积累了几十年教学经验的老教授和博士生导师。

在该系列教材的选题、翻译和编辑加工过程中,为提高教材质量,我们做了大量细致的工作,包括对所选教材进行全面论证;选择编辑时力求达到专业对口;对排版、印制质量进行严格把关。对于英文教材中出现的错误,我们通过与作者联络和网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订。

此外,我们还将与国外著名出版公司合作,提供一些教材的教学支持资料,希望能为授课老师提供帮助。今后,我们将继续加强与各高校教师的密切联系,为广大师生引进更多的国外优秀教材和参考书,为我国计算机科学教学体系与国际教学体系的接轨做出努力。

电子工业出版社

教材出版委员会

主 任	杨芙清	北京大学教授 中国科学院院士 北京大学信息与工程学部主任 北京大学软件工程研究所所长
委 员	王 珊	中国人民大学信息学院院长、教授
	胡道元	清华大学计算机科学与技术系教授 国际信息处理联合会通信系统中国代表
	钟玉琢	清华大学计算机科学与技术系教授 中国计算机学会多媒体专业委员会主任
	谢希仁	中国人民解放军理工大学教授 全军网络技术研究中心主任、博士生导师
	尤晋元	上海交通大学计算机科学与工程系教授 上海分布计算技术中心主任
	施伯乐	上海国际数据库研究中心主任、复旦大学教授 中国计算机学会常务理事、上海市计算机学会理事长
	邹 鹏	国防科学技术大学计算机学院教授、博士生导师 教育部计算机基础课程教学指导委员会副主任委员
	张昆藏	青岛大学信息工程学院教授

前 言

网络工程师、管理员、程序员、教师和学生都在问同一个问题：怎样才能更深入理解计算机网络和互联网。本书回答了这个问题。书中强调，最好的学习方式是动手做实验——没有什么能够代替在真实网络上获得的实践经验。把硬件互连起来、配置软件、测试性能、观察协议的实际运行以及编制通过一个网络进行通信的客户机 - 服务器程序，所有这些活动都有利于加深我们对知识的理解和把握。

要动手做实验需要什么软件和硬件设施？本书分成六个部分，每个部分分析一个硬件平台并列出了可以用该平台进行的实验。第一部分先介绍最简单的设施——一台单独的计算机。后续各个部分讨论了越来越强大（也越来越昂贵）的设施以及它们可以支持的实验。最后一部分论述了用于协议开发和网络系统工程的高级软件和硬件设施。重要的是，实验总是可能的——虽然现有的设施限定了可以完成的实验类型，但即使在廉价的、通用的设施上也有实验的可能。

各种设施之间最大的区别在于共享的程度。本书前几章论述了可以在常规、通用的计算机上进行的实验，这些计算机全都连接到一个运营网络上。后面的章节论述了分组捕获、内联网配置和协议开发等实验，这些都需要特殊的、专用的设施。工业界经常使用术语“测试台”或者“测试网”来描述一个独立、专用的设施，而学术界通常使用术语“实验室”。一个工业测试台可以有两种用途。其一，就像学校的实验室一样，测试台提供了培训环境。其二，测试台提供了一个安全的环境，可以在公司的运营网络上安装新的或者升级的网络系统之前在该环境中对其进行配置、调节和测试。虽然在本书中使用的是学术界的术语实验室，但许多实验都是以工业测试台为背景设计的。例如，在有关配置的论述中，其中的实验指定使用一个孤立的设施对主机、路由器和防火墙进行配置以便构造一个内联网。

本书不仅话题的范围很广泛，而且各个实验在难度上差异也很大。有些实验非常简单，尤其是每章开始部分的实验，可能只需要半个小时或更少的时间就可以完成。其他实验则既困难又冗长。例如，第 20 章描述的 IP 路由器实验源自我在 Purdue 大学教授的二年级研究生课程。学生组成团队进行工作，需要几乎一个学期才能构造一个可以工作的 IP 路由器。大部分实验给出了额外的扩充，提出了超出基础知识范围的实验内容。我教的班上学习优异的学生完成了所有的额外扩充项目，有些还设计了自己的扩充方式。

独立工作的网络专业人员可以从各章的实验中加以选择。程序员可以重点关注第一部分和第二部分的客户机 - 服务器实验，系统管理员可以进行第四部分的配置实验。实现和

优化网络系统和协议栈的工程师可重点研究第三部分的性能测量实验或者第五部分和第六部分的协议开发实验。

讲授计算机网络课程的教师可以选择适合自己班级的实验。大部分学院和大学将计算机网络和网络互连课程都压缩为只占用一个学期的一门概论课程。在这门课程中,学生应该进行很多不同种类的实验以便熟悉这门课的各个方面,尤其是网络编程、网络测试和协议分析。例如,在我讲授的本科课程中,学生在第一个星期使用因特网应用程序并进行第二部分的编程实验。在讲解到局域网内容的时候,可以让学生完成第三部分的测试实验。在课程进行到IP和TCP的时候,学生应完成第三部分的分组捕获和协议分析实验。最后,进行第三部分更高级的(套接字)编程实验。

开设多门计算机网络课程的学校可以把本书的实验分配到各门课程中,并且将每个实验做得更深入。在一个学期的网络程序设计课程中,学生可以集中做第三部分的程序设计实验。这门课程的学生也喜欢构造第8章介绍的互联网仿真网关以及为简化的API构造一个函数库。如果学生缺乏经验,他们可以从第二部分的简化API开始,这使得他们可以在学到套接字的细节之前就开始编程。我通常鼓励网络程序设计课程的学生也完成额外扩充部分,并且考虑应用给软件加入参数的方法。

在一个学期的网络管理课程中,学生可以重点完成第四部分的配置实验。学生通常很喜欢建造他们自己的内联网,尤其在配置出不同寻常的域名时极为高兴。一个很有意思的挑战是,我让学生为同一组计算机建立两个不相关的域名体系。

最后,在任何讨论协议设计的课程中,学生应该从构造第8章的因特网仿真网关开始。网关项目要求学生学习UDP,扩展关于套接字编程的知识。该项目让他们看到一个应用网关,以及协议必须应对的差错(即分组丢失、重复、损坏和延迟)。

有一些资源可以帮助想要建立实验室并尝试做实验的读者。为了帮助实验者,我们为本书建立了一个辅助Web网站:

www.labbook.cs.purdue.edu

这个网站包括实验输出的示例、关于使用特定编译器或者操作系统的说明、提示和其他有用的信息。我们鼓励实验者,尤其是授课的教师,为该网站提供材料。W. David Laverell管理该Web网站,可以用下列地址与他联系:

lave@calvin.edu

许多实验都参考了我编写的《计算机网络与互联网》^[1],这本书有一个Web网站:

www.netbook.cs.purdue.edu

[1] 本书由电子工业出版社于2001年4月出版——编者注

和一个邮件列表：

`netbook@cs.purdue.edu`

要加入该邮件列表，给下列地址发送一个电子邮件消息 `subscribe netbook`：

`netbook-request@cs.purdue.edu`

要退出该邮件列表，给同一个地址发送电子邮件消息 `unsubscribe netbook`。

我感谢各方多年来对我在 Purdue 的实验室的支持，包括 Agere Systems 公司、Hewlett Packard 公司、IBM 公司、Intel 公司和 Sun Microsystems 公司。我特别感谢从 Xinu 实验室 1984 年建成至今为其奉献良多的很多研究生。我并没有做记录，但是我记得下列各位所做的贡献：Bob Brown, Chris Kent, Steve Munson, Ken Rodemann, Raj Yavatkar, Andy Muckelbauer, Shawn Ostermann, John Lin 以及 Mike Evangelista。最近，Dennis Brylow, Ben Kupermann 和 Florian Kerschbaum 把 Xinu 软件移植到最新一组的后端系统上，另外还设计了一个在 PCI 总线上运行的设备驱动程序；Dennis Brylow 设计了重启动控制器。Gustavo Rodriguez-Rivera 在实验室管理软件方面提供了帮助，而 Chris Telfer 设计了下一代的设施，它提供图形界面和自动互连功能。特别感谢我的妻子和伙伴 Christine，她的细致编辑为本书增色不少。

Douglas E. Comer

2003 年 9 月

作者简介

Douglas Comer 博士是一位国际知名的 TCP/IP 协议、计算机网络和因特网专家。他是 20 世纪 70 年代末到 20 世纪 80 年代参与因特网早期建造的研究人员之一，曾担任负责指导因特网发展的因特网体系结构委员会的委员。他曾担任 CSNET 技术委员会主席，而现在仍然是 CSNET 执行委员会委员。

Comer 担任工业界中计算机网络设计的顾问。除了在大学授课之外，他还为世界各地的网络专业人员讲授课程。Comer 的操作系统 Xinu 以及对 TCP/IP 协议的实现（都包含在他的课本中）则用于商用系统。

很多年以来，Comer 一直在设计和建设网络测试台和教学实验室。他在实验室方面的工作使得他入选 ACM 核心课程工作组。该工作组采纳了他关于计算机科学和计算机工程的实验课程的建议。

Comer 是 Purdue 大学计算机科学教授。他开设和教授计算机网络、网络互连以及操作系统方面的课程并进行研究工作。除了写过一系列的深受好评的技术书籍外（现在已经有 16 种语言的译本），他还是“Software — Practice and Experience”杂志北美地区的编辑以及 ACM 荣誉会员。

其他的信息可以参考：

www.cs.purdue.edu/people/comer

有关 Comer 编写的书籍可以参考：

www.comerbooks.com

目 录

第 1 章	引言与概论	1
1.1	实验室的重要作用	1
1.2	一系列可能的实验室配备	1
1.3	关于模拟	3
1.4	本书的组织	3

第一部分 单台计算机上的网络编程

第 2 章	单台计算机上的硬件和软件	6
2.1	两种类型的支持及其应用	6
2.2	对于网络接入的支持	6
2.3	对于网络编程的支持	6
2.4	建议	7
2.5	小结	7
第 3 章	使用应用程序的实验	8
3.1	使用单台计算机完成应用程序的实验	8
3.2	使用单台计算机开发和测试网络应用	8
3.3	对应用程序用仿真的互联网进行应力测试	9
3.4	在单台计算机上开发运输协议	11
3.5	小结	11
实验 3.1	使用 telnet 联系一台“命运”服务器	12
实验 3.2	使用 telnet 联系一台 Web 服务器	14
实验 3.3	使用 telnet 发送一封电子邮件	16
实验 3.4	使用 ping 程序	18
实验 3.5	下载并使用分组捕获工具	20

第二部分 在一组共享的工作站上进行网络编程

第 4 章	共享工作站实验室的硬件和软件	22
4.1	共享的结果	22
4.2	共享实验室技术示例	22

4.3	共享实验室的体系结构	23
4.4	在网络课程中使用共享实验室	23
4.5	广播域假设	23
4.6	小结	23
第 5 章	使用简化的 API 进行网络编程实验	24
5.1	简介	24
5.2	获得该 API 软件	25
5.3	小结	25
实验 5.1	编译、测试以及扩展范例 echo 软件	26
实验 5.2	编译、测试以及扩展范例 chat 软件	28
实验 5.3	创建一个简单的文件传输服务	30
第 6 章	使用套接字 API 进行网络编程实验	32
6.1	简介	32
6.2	套接字的有关信息	32
6.3	关于套接字编程难点的说明	32
6.4	小结	33
实验 6.1	编译、链接并运行套接字程序	34
实验 6.2	使用套接字编写 echo 客户机和服务器	36
实验 6.3	使用套接字创建一个网络服务器	38
实验 6.4	建立一个网络 API 函数库	41
第 7 章	并发网络编程实验	43
7.1	简介	43
7.2	小结	43
实验 7.1	编写一个并发服务器 (线程)	44
实验 7.2	创建一个并发文件传输服务器 (进程)	46
实验 7.3	编制一个多服务的服务器	48
第 8 章	协议设计实验	50
8.1	简介	50
8.2	对协议进行应力测试	50
8.3	用一个网关仿真因特网	50
8.4	仿真行为	51
8.5	网关的细节	51
8.6	网关注册报文	52
8.7	分组交互	53

8.8 差错处理	54
8.9 网关的语义和默认值	54
8.10 可能的扩充	55
8.11 小结	55
实验 8.1 创建一个因特网仿真网关	56
实验 8.2 设计一个时钟同步协议	58
实验 8.3 设计一个可靠的数据传送协议	60
实验 8.4 设计一个滑动窗口协议	62
实验 8.5 调试应用协议	64
第 9 章 有关 TCP/IP 协议族协议的实验	66
9.1 简介	66
9.2 困难与回报	66
9.3 小结	66
实验 9.1 创建一个 Time 协议的客户机	67
实验 9.2 编制一个 DNS 客户机程序	69
实验 9.3 创建一个 DHCP 客户机	71
第三部分 在增强的共享工作站实验室中进行网络测试和分组分析实验	
第 10 章 增强的共享实验室中的硬件和软件	74
10.1 理想的测量实验室	74
10.2 不同于孤立网络的另一种环境	74
10.3 增加的内容	74
10.4 保护运营中的网络	75
10.5 专用网络上的计算机	75
10.6 小结	76
第 11 章 网络测量实验	77
11.1 简介	77
11.2 测量吞吐率	77
11.3 小结	77
实验 11.1 编译和测试 tcp	78
实验 11.2 测量 10 Mbps 和 100 Mbps 网络的吞吐率	80
实验 11.3 比较交换机和集线器的吞吐率	82
第 12 章 分组捕获及分析实验	84
12.1 简介	84
12.2 混杂模式与集线器	84

12.3 对分组的手工检查	84
12.4 小结	84
实验 12.1 捕获并解码以太网的帧	85
实验 12.2 对 IP 首部进行解码	87
实验 12.3 对 TCP 段的首部进行解码	89
实验 12.4 编制一个分组分析器	91
第 13 章 协议观察实验	93
13.1 简介	93
13.2 每一层上的协议序列	93
13.3 小结	93
实验 13.1 捕获与重组 IP 分片	94
实验 13.2 从 TCP 流中提取数据	96
实验 13.3 观察并发的 TCP 连接	98
第四部分 专用内联网实验室中的配置实验	
第 14 章 专用内联网实验室中的硬件和软件	102
14.1 专用设施与运营设施	102
14.2 专用内联网实验室的特点	102
14.3 专用实验室中的设施示例	103
14.4 小结	104
第 15 章 因特网地址配置实验	105
15.1 简介	105
15.2 各章的组织	105
15.3 小结	105
实验 15.1 配置 IP 地址	106
实验 15.2 分配固定长度的 IP 子网地址	108
实验 15.3 使用 CIDR 分配 IP 地址	110
第 16 章 Web 技术配置实验	112
16.1 简介	112
16.2 Web 技术	112
16.3 小结	112
实验 16.1 配置一个 Apache Web 服务器	113
实验 16.2 下载并且配置一个 Squid 高速缓存	115
实验 16.3 配置并测试 Web 负载均衡器	117

第 17 章	IP 路由选择和 IP 转发实验	119
17.1	简介	119
17.2	间接的与直接的观察	119
17.3	小结	119
实验 17.1	使用 netstat 检查路由表	120
实验 17.2	使用 SNMP 探测路由表	121
实验 17.3	配置并运行 RIP 软件	123
实验 17.4	配置并运行 OSPF 软件	126
第 18 章	虚拟、受保护的因特网环境实验	128
18.1	简介	128
18.2	灵活的抽象	128
18.3	小结	128
实验 18.1	配置 DNS 服务器	129
实验 18.2	安装并配置 NAT 盒子	131
实验 18.3	安装并配置 VPN	133

第五部分 在专用实验室中实现协议栈

第 19 章	专用协议开发实验室的硬件和软件	136
19.1	简介	136
19.2	需要两台计算机	136
19.3	实验室中的前端和后端设备	137
19.4	功能需求	137
19.5	体系结构示例	138
19.6	作者实验室的运作方式	139
19.7	自动恢复	141
19.8	实验室软件的组织	141
19.9	复位控制器硬件	142
19.10	体系结构的扩展	144
19.11	虚拟实验室	146
19.12	进一步的细节	146
19.13	小结	146
第 20 章	协议栈开发实验	147
20.1	简介	147
20.2	建造协议栈的价值	147
20.3	小结	147

实验 20.1	与网络设备驱动程序的接口	148
实验 20.2	建造 IP 转发机制	150
实验 20.3	实现 IP 路由器	152

第六部分 在工程实验室中进行网络部件设计

第 21 章	网络系统工程实验室的硬件与软件	156
21.1	网络处理器	156
21.2	所需的设施	156
21.3	典型实验室中的硬件	157
21.4	网络处理器测试台	157
21.5	实验室中的典型软件	158
21.6	与前几种实验室体系结构的关系	159
21.7	小结	159
第 22 章	网络系统工程实验	160
22.1	简介	160
22.2	小结	160
实验 22.1	配置你的账户	161
实验 22.2	编译并下载代码到网络处理器	163
实验 22.3	在网络处理器上编制一个分组分析器	165
实验 22.4	创建一个以太网网桥	168
实验 22.5	编制一个 IP 分片程序	170
实验 22.6	编制一个通信量分类程序	172
实验 22.7	编制一个最小的 MicroACE	174
实验 22.8	编制一个分类器微码模块	176
实验 22.9	编制微引擎帧转发程序	178

第1章 引言与概论

1.1 实验室的重要作用

中国谚语说：

耳听为虚，
眼见为实，
实践出真知。

在计算机网络课程中，通过动手来学习的方法十分重要。虽然许多大学的课程都教授计算机网络和互联网所使用的协议、技术以及应用，但任何一个了解该领域的人都认识到课本和讲授并不能提供足够的信息——没有一本书可以提供深入细微的讲解或者让我们理解这些技术的实际运行情况。这种领悟只能来自第一手经验，也就是说我们必须在由真实网络设备所连接的计算机上一试身手。总之，对计算机网络的深刻了解需要可以用来建造、观察、实验和测试的实验室设施。在网络上实际操作会加强我们对概念的理解，因为这会促使我们应用这些概念并得到可以具体感觉到的结果。因此，在实验室中的操作使我们看到实际的网络活动，理解每个部件的功能以及其中的细微之处。

1.2 一系列可能的实验室配备

用于实践的网络实验室需要什么设备？这些设备需要花多少钱？设备之间如何互连？令人惊奇的是，答案是从所有实验室得来的经验（即使是使用功能有限的廉价设备进行的实验）都会增进我们的理解。更复杂的设备可以完成更复杂的实验。因而，我们将探讨一系列可能的实验室设施，从简单、廉价的到复杂、昂贵的设施。针对每一种实验室设施，我们将研究所需的硬件和软件，考虑设备如何互连，并列出可以利用该设施进行的实验。许多实验只需要少量的廉价设备，而只有在做最复杂的实验时才需要复杂的设施。

开始，先简要探讨最简单的设施，即单台计算机以及它在开发和测试网络应用程序方面的特殊作用。然后，重点讨论网络编程、网络分组分析和网络配置。其中，要研究支持每一种活动的实验室设施。我们将看到支持网络编程的实验室是由连接到一个局域网的多台计算机组成的，而要支持网络分组分析还需要增加其他少量的硬件。在进行网络配置实

验的时候需要专用内联网，它由路由器互连起来的多个局域网构成。此后，则考虑具有各种不平常功能的更复杂的专用实验室设施。我们提出的实验室体系结构之一给实验者^①提供了创建并测试一个完整协议栈的环境；另外一个则提供了用网络处理器（用来建造交换机和路由器的专用硬件设备）进行设计的环境。

下面总结了一系列实验室体系结构，并且介绍了可以用每种体系结构进行的实验的特点。本书后面的章节中扩展了对实验室的描述并给出更多细节，包括可以进行的各种实验。

● 最简单的设施：单台计算机

我们可以用来进行网络软件实验的最简单设施是单台计算机。如果它连入了因特网，计算机可以运行应用程序与因特网站点进行交互。即使没有与因特网连接，单台计算机也可以用来开发与测试网络软件，方法是让客户机和服务器在单台计算机内部进行通信。

● 一个典型的实验室：共享的、通用的工作站

大学中的典型实验室设施并不供一个人或者一个班单独使用，也并非只有一种用途。实际上，计算机课程的实验室通常由通用工作站组成，这些设备由许多学生和班级分享。这样一个实验室中的计算机通过一个局域网互连起来，大部分实验室也都连接到全球互联网。

共享设施对于客户机-服务器应用很理想。实验者可以用实验室进行网络编程：编制和测试应用层的协议。为了测试自己的软件，实验者在实验室的计算机上运行客户机和服务器并让它们通过实验室网络进行通信。除了测验正确性，实验者还可以测试性能。

● 一种廉价的升级：增强的、通用的设施

我们将看到可以使用廉价的网络硬件增强常规的工作站，从而完成更复杂的实验，包括分组捕获和协议分析。

● 一个可供配置的实验室：专用内联网

内联网设施是由多个网络通过IP路由器互连组成的。如果有一个专用的内联网，就可以进行因特网地址分配和路由选择实验。

遗憾的是，很少有大学可以为学生的实验室负担一套专用内联网设施。然而，通过使用网络地址转换（NAT，Network Address Translation）等技术，在共享设施上也可以完成一些同样的实验。

● 精英之道：专门的协议开发实验室

也许本书描述的最有趣的体系结构是一个高度专用的实验室，在Purdue大学它已经使用了十几年。这个实验室可以让实验者以团队的形式建造并测试完整的TCP/IP协议栈。在

^① 在本书中我们用实验者这个术语表示进行实验的人，不论他是网络专业人员还是修学一门课程的学生。