

Addison  
Wesley

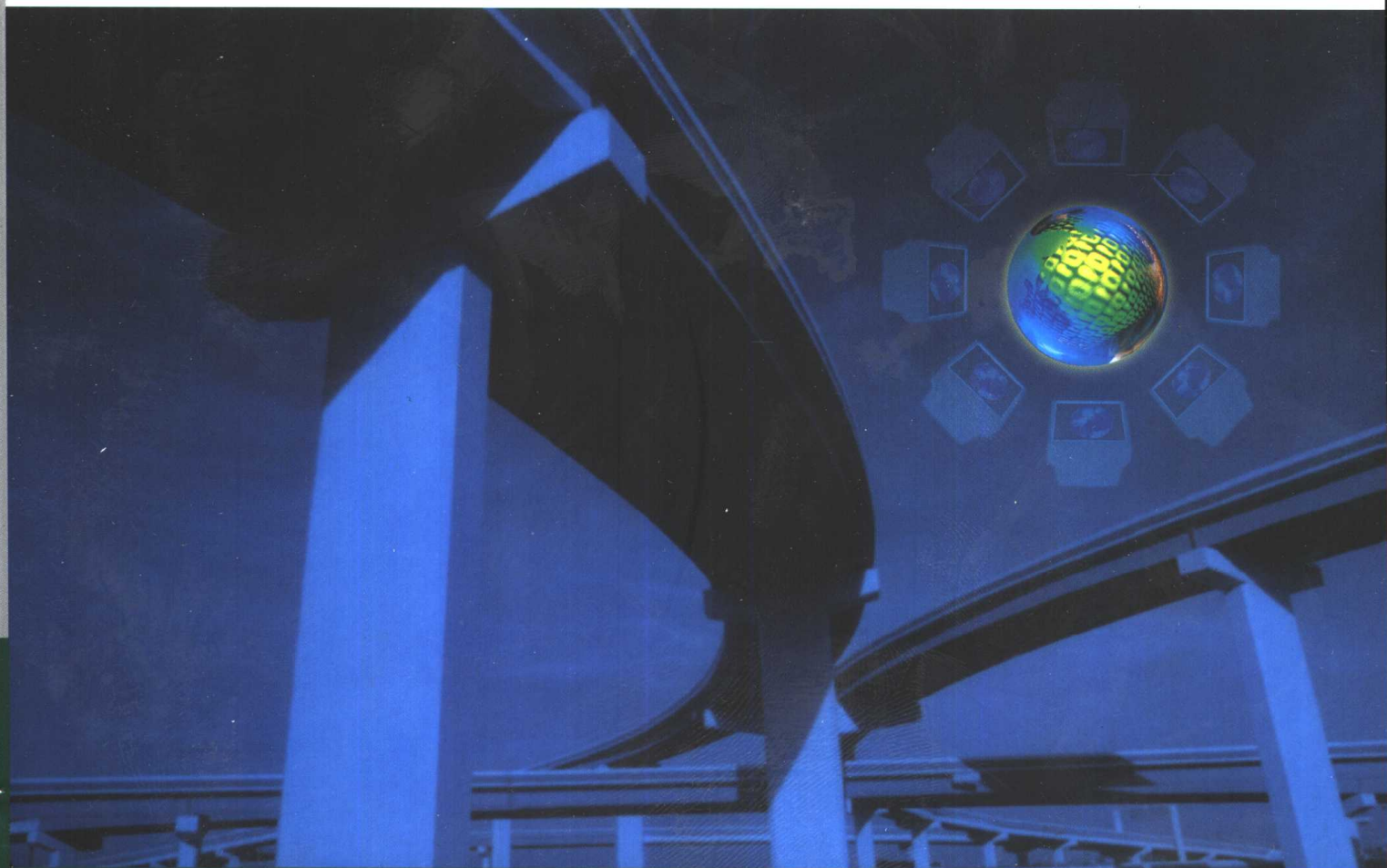
计算机科学译丛

Computer Networking

A Top-Down Approach Featuring  
the Internet

# 计算机网络

——自顶向下方法与 Internet 特色



[美] James F.Kurose Keith W.Ross 著

申震杰 王金伦 杜江 译



清华大学出版社

# 计算机网络

——自顶向下方法与 Internet 特色

Computer Networking

A Top-Down Approach Featuring the Internet

[美] James F. Kurose                    著  
      Keith W. Ross                      著  
      申震杰 王金伦 杜江            译

清华大学出版社

# (京)新登字 158 号

## 内 容 简 介

本书以 Internet 为特色,采用自顶向下的方法由应用层到物理层顺序讲述计算机网络的基本原理及应用技术。

本书的内容与特点:首先,以成熟且实用的 TCP/IP 五层协议体系为讲授基础,更容易激发读者的学习兴趣和积极性。其次,在内容上做到按需学习,除第 1~5 章为必授章节外,其余章节的讲授可多可少、可前可后。第三,伴随本书的 Web 站点提供本书完整的在线版本,以及到相关学习素材的众多链接,非常适合于异步在线课程。最后,本书包含了对网络理论或应用做出过巨大贡献的人物专访,以使学生们了解这些巨人们的创造精神。

本书适合作为本科生课程或一年级研究生课程的教材,对于电信业的实践工作者来说,本书也极具参考和使用价值。

### **Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet**

Copyright © 2001 by Addison Wesley Longman, Inc.

Original English language edition published by Pearson Education.

All rights reserved.

本书中文简体字版由美国培生教育出版集团授权清华大学出版社在中国境内(香港、澳门特别行政区和台湾地区除外)出版、发行。未经出版者书面许可,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 激光防伪标签,无标签者不得销售。**

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2001-5312

**版权所有,盗版必究。**

#### 图书在版编目(CIP)数据

计算机网络——自顶向下方法与 Internet 特色/(美)卡洛斯,罗斯著;申震杰,王金伦,杜江译.

—北京:清华大学出版社,2002

ISBN 7-302-06150-5

I. 计… II. ①卡… ②罗… ③申… ④王… ⑤杜… III. 计算机网络 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 099490 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

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

印刷者:北京市耀华印刷有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开本: 异 16 印张: 38.5 字数: 840 千字

版次: 2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7-302-06150-5/TP · 3679

印数: 0001~5000

定价: 59.00 元

# 关于作者

## Jim Kurose

Jim Kurose是麻萨诸塞大学计算机科学系的教授和系主任。

他是国立科技大学第8届杰出教师奖的获得者，麻萨诸塞大学自然科学与数学学院杰出教师奖的获得者，研究生院东北协会1996年度杰出教师奖的获得者。他还是通用电气公司奖学金、IBM教员开发奖和Lilly教学奖的获得者。

Kurose博士是IEEE通信学报和IEEE/ACM网络学报的前主编。目前活跃在IEEE Infocom、ACM SIGCOMM和ACM SIGMETRICS的程序委员会。他是哥伦比亚大学的计算机科学博士。



## Keith Ross

Keith Ross是Institut Eurecom多媒体通信部的部门经理。1985年至1997年，被宾夕法尼亚大学聘为教授，在那儿的系统工程系和Wharton商学院同时供职。在1999年，他与别人合创了因特网后起之秀Wimba.com。

Ross博士发表了50多篇论文，编著了2本书。他曾服务于5家主流期刊的社论版面，也曾就职于若干个网络协会的程序委员会，包括IEEE Infocom和ACM SIGCOMM。他指导学生完成了10多篇博士论文。他的研究与教学集中在多媒体网络、异步学习、Web高速缓存、流式音频与视频以及通信量建模。他从密歇根大学获得了博士学位。



# 前 言

欢迎阅读《计算机网络——自顶向下方法与Internet特色》一书。我们相信这本教科书给计算机网络课程的教学提供了一套全新的方法。你也许会问：为什么需要一套全新的方法呢？近几年来我们已在计算机网络领域目睹了两大革命性的变化，而这两大变化并没有在20世纪80年代和90年代出版的教科书中得到体现。变化之一是，因特网已经接替整个计算机网络领域。现今关于计算机网络的任何严肃的讨论都已离不开因特网。其二，过去十年中最大的增长点一直在网络服务与应用上，Web的出现、电子邮件服务无所不在的使用、音频与视频流、因特网电话、ICQ以及在线商业活动都是这一变化的见证。

我们已经教了15年计算机网络课程，以后也许会继续教下去。既然在涵盖计算机网络基础原理的同时强调因特网所用网际协议族以及网络应用的教科书还没有面世，这就激发我们编写一本这样的教科书。你会发现这种全新的与时代同步的计算机网络教学方法存在不少好处。

本书适合作为计算机网络的初中级课程，既可在计算机科学系使用，也可在电子工程系使用。至于编程语言，本书只是假设学生已有C、C++或Java的使用经验。只用C或C++而未用Java编过程的学生在研读应用编程素材上应该不会有任何困难，尽管这些素材是在特定的Java上下文中提供的。与许多入门性的其他计算机网络教科书相比，我们认为本书表述更为精确，分析更为细致，但也很少用到读高中时没有学过的数学概念。我们刻意避免使用任何高等数学、概率论和随机过程的概念。因此，本书适合作为本科生课程或一年级研究生课程的教材，对于电信业界的从业者也应该有用。

## 本书独特之处

计算机网络这门学科的内容博大精深，涉及以错综复杂的方式彼此交织在一起的许多概念、协议和技术。为应对这种广阔度和复杂度，许多计算机网络教科书通常围绕网络体系结构中层的划分来组织内容。这种分层的组织形式使得学生能够看透计算机网络的复杂性——他们在学习整个体系结构中某部分的独特概念与协议的同时，也看清了如何把它们整合在一起。举例来说，许多教科书是围绕OSI体系结构的7层模型组织的。我们的亲身体会是，从教育学上看这种分层的教学法确实是高度必要的。然而我们发现，从物理层往应用层讲解的自底向上的传统方法对于计算机网络这门课程来说并非最佳。

## 自顶向下的方法

与计算机网络的其他教科书不同，本书以自顶向下的方式组织内容，也就是说从应用层开始往物理层讲解。这种自顶向下的方法有若干好处。首先，它相当程度地强调应用层，而应用层恰是计算机网络领域多年来的持续高增长点。实际上，计算机网络领域近来的许多革新都发生在应用层，包括Web、音频与视频流、内容分发等。我们相信，无论在研究探索还是在实际部署上，应用层会继续成为该领域的高增长点。本书对应用层事务的及早强调不同于其他大多数教科书所采取的方法，那些教科书只有少量关于网络应用及其需求、应用范式(譬如客户/服务器范式)以及应用编程接口的素材，有的根本没有。

其次，我们作为教师的体会是，在计算机网络课程刚开始的阶段讲解网络应用，其本身就是激发学生学习动机的有效工具。学生们急于了解诸如电子邮件和Web等日常用到的网络应用如何工作。一旦理解了网络应用，他们就会掌握支持网络应用所需的网络服务，接着就会依次钻研在较低层提供并实现这些服务的各种方式。及早讲解应用激发了学生学习本书其余部分的动机。

自顶向下方法的第三个好处是，使得教师能够在课程的早期介绍网络应用程序的开发。学生们不仅能看到流行的应用和协议如何工作，还能体会到编制自己的网络应用程序和应用层协议有多容易。其他入门性计算机网络教科书不讲解应用程序的开发和套接字编程(尽管有专门讲解网络编程的书，却不是入门性网络教科书)。我们通过提供Java语言的套接字编程例子来点明中心概念，而不是拿复杂的代码来造成学生不得要领的局面。计算机科学系和电子工程系的本科生在阅读这些Java代码上应该不会有困难。因此采用自顶向下的方法后，学生就能及早接触应用编程接口(APIs)、服务模型和协议等概念，它们是后续讨论的各层中屡屡重现的重要概念。

## 以因特网为特色

正如书名所指，本教科书以因特网为特色。现有的大多数教科书给予各种电信网络和协议族以显要的地位，而把因特网仅仅作为众多的连网技术之一来看待。我们却把因特网置于显要的地位，把因特网所用的网际协议族作为研讨某些更为基本的计算机网络概念的载体。有人会问：为什么把因特网置于显要的地位，而不是诸如ATM等某种其他连网技术？首先，因特网业已成为计算机网络的同名词。在5到10年前情况还不是这样，那时有许多关于ATM局域网及其应用的话题（不通过TCP/IP）。目前的状况却是几乎所有数据都通过因特网(或内联网)传送。与因特网竞争的网络现在只剩下线路交换式的电话网，连它也可能退出竞争。尽管当今大部分语音数据还是通过电话网传送的，网络设备制造商和电话公司运营商却正在准备往因特网技术做大的转移。

把因特网置于显要地位的另一个好处是，恰好满足大多数计算机科学系与电子工程系

的学生急于了解因特网及其协议的学习动机。他们日常就在使用因特网(至少用来收发电子邮件和Web冲浪),并反复听到因特网如何成为破旧立新的变革性技术,深入地改变着整个世界的种种事迹。有了对因特网的大量中肯的感性认识后,学生们自然对于学习其原理抱有极强的求知欲。因此,一旦把因特网作为指导焦点,教师就易于调动学生学习计算机网络基本原理的积极性。

既然本书以因特网为特色,我们就围绕因特网体系结构的5层模型来组织它,而舍弃OSI体系结构的7层模型。因特网体系结构的5层自顶向下依次为应用层、传输层、网络层、链路层、物理层。

## 着眼于原理

计算机网络领域现已足够成熟,许多基础性的重要问题业已清楚。例如,传输层的基础性问题包括:在不可靠网络层上的可靠通信、连接的建立/拆除与握手、拥塞与流量控制、多路复用。网络层的基础性问题有两个:一是如何找到路由器之间的“好”路径,二是如何处理一大堆异构系统之间的互连。数据链路层的一个基础成问题是,如何共享一个多路访问信道。本书在标明基础性网络问题的同时,给出解决这些问题的方法。我们相信,用因特网把学生引入门之后强调网络的基础性问题和解决方法,会使得他们迅速理解几乎任何连网技术。

## 提供Web站点

本书最具独创性的特色是伴有一个Web站点:<http://www.awl.com/kurose-ross>,其内容相当广泛,包括:

- ◆ **整本在线教科书!** 如果教师或学生手头没有硬拷贝的话,通过访问该Web站点的Web页面也能在任何时候从任何地点阅读本书(英文版)。在线版本还使得我们能够(在文本和插图中)使用更多的字体和颜色,从而既艳丽又怡人。另外,在线格式允许我们发布更新版本,使得本教科书与迅速变化着的计算机网络领域保持一致的步调。
- ◆ **链到相关素材的500多个链接。** 作为因特网热衷者,大家知道描述因特网的许多最好的素材就在因特网上。嵌埋在本书在线版本相关上下文中的超链接使得读者能够直接访问与计算机网络和网际协议族关联的某些最好的Web站点。这些链接不仅仅指向RFC文档、期刊与会议文章,还指向更具有教学意义的Web站点,包括关于因特网技术中特定方面的原创页面以及出现在在线商贸杂志中的文章。教师可以把这些链接所指向的素材作为辅助阅读材料,甚至作为必读材料。我们预期每年数次检查这些链接的准确性。

- ◆ **交互的学习素材。**该Web站点包含多个交互执行的Java小应用程序(applets)，用于阐明关键的网络概念。它还提供(通过本地浏览器)直接运行一些程序的功能，例如展示分组在因特网中所经历之路径的Traceroute程序。教师可以把这些交互性的功能用作小实验。该Web站点还提供对因特网草案搜索引擎以及讨论本书课题的特定新闻组的直接访问功能。它另有一个搜索功能，允许读者对本书的在线版本进行全文搜索。该Web站点也提供许多交互式的小问题，学生们可由此检查自己对书本内容的基本理解状况。

我们预期会持续扩展该Web站点的内容，在增加诸如在线课堂等新特性的同时，补充由其他教师和读者贡献的素材。该Web站点应该每3个月更新一次。如果对该Web站点存有任何疑问，那就往aw.cse@awl.com发电子邮件。

本书的在线版本及其所伴的Web站点非常适合于异步在线课程。异步在线课程对于需每天乘车上学或因课时冲突难以调开班次的同学来说特别有吸引力。本书作者曾使用该在线版本的早期草稿开设过关于计算机网络的完全在线的异步课程。我们发现，异步教学的成功措施之一是每周布置在线读物，让学生每周参与关于这些读物的新闻组讨论活动。通过汇集所有学生各自主页的URL并在本课程相应班次的Web页面中罗列出来，教师就能给予学生虚拟存在的效果。学生们甚至可以在诸如研讨性论文的撰写和网络应用程序的开发等项目上合作，通过因特网异步地进行。如果你有兴趣更多地了解异步在线学习，请访问异步学习网络(Asynchronous Learning Network)Web站点：<http://www.aln.org>。

## 教育学特性

我们已教了15年以上的计算机网络课程。本书是我们俩合在一起30余年教学经验的总结。我们成为计算机网络领域的活跃研究者也已超过20年(实际上，我们俩是在1979年于哥伦比亚大学攻读硕士学位时初次见面的，当时我们都选了由Mischa Schwartz执教的一门计算机网络课程)。我们认为就计算机网络的历史与未来而言，这些经历给予我们比较透彻的看法。尽管如此，在组织本书的素材时，我们还是抵抗住了偏向于各自所钟爱的研究项目的诱惑。如果对我们的研究感兴趣，那么你可以访问我们的个人Web站点。一句话，本书是讲解现代计算机网络的，也就是当今的计算机网络协议与技术，以及这些协议与技术的基础原理。

### 实践中的原理插注

本书的一个重要特性是强调计算机网络的基础原理以及这些原理在实践中的作用。我



们在每一章中加了一个特别的插注，点明计算机网络中的一个重要原理。这些插注有助于学生们赏析已应用到现代网络中的某些基本概念。

## 历史回顾插注

起源于20世纪60年代末的计算机网络领域有一段丰富而引人入胜的历史。我们在本书中就讲述这段历史做了特别的尝试。我们在第1章中专门安排一节简要地回顾历史，再在其余各章中点缀以十多个历史回顾插注。在这些历史回顾片段中，我们讲述了分组交换技术的发明、因特网的沿革、Cisco和3Com等网络界巨人的崛起以及许多其他重要事件。学生们会为这些历史回顾片段所激励。另外正如历史学家们所说，历史有助于预测未来。在这个日新月异变化着的领域中，正确地预测未来对于任何网络协议或技术的成功都是关键性的。

## 访谈实录

我们还有一个别出心裁的足以激励学生的特色——与网络领域享有盛誉的革新者们的访谈录。我们提供访谈Leonard Kleinrock、Tim Berners-Lee、Sally Floyd、J.J. Garcia-Luna-Aceves、Bob Metcalfe、Henning Schulzrinne、Phillip Zimmermann和Jeff Case的记录。

## 教师增补材料

我们认识到转变一门课程的教学方法会花掉教师们很长的准备时间。为辅助他们完成这种转变，我们随时准备提供一套完整的增补材料，其内容包括：

- ◆ **PowerPoint幻灯片** 本课程的Web站点提供本书总共8章的详细PowerPoint幻灯片。这些幻灯片使用了图形和动画效果，而不仅仅使用单调的文字，因而既充满趣味又夺人耳目。我们给教师们提供的是原始的PowerPoint幻灯片，这样便于他们按照自己的教学需要进行定制。
- ◆ **课外实验任务** 该Web站点还提供数个课外编程任务，包括编写一个多线程的Web服务器程序，编写一个GUI界面的电子邮件客户程序，编写某个可靠的数据传输协议的发送端和接收端，还有一个关于因特网路由的任务。
- ◆ **课外作业解答** 该Web站点提供一套本书课外作业求解题部分的解答手册。这些解答只向教师提供，可通过联系当地的Addison-Wesley销售代表获取，也可以通过往aw.cse@awl.com发电子邮件索取。

## 各章间的依赖关系

第1章提供一个自成一体的计算机网络概貌。这一章引入许多关键概念和术语，为本书其余部分奠定根基，因而其余各章直接依赖于它。我们建议在讲完第1章之后，按顺序讲解第2章到第5章，从而遵循自顶向下的宗旨。这5章中任何一章都用到前面各章的内容。

讲完前5章之后，教师会有相当大的灵活性。本书最后3章彼此独立，以任何一种顺序讲解都行，不过它们依赖于前5章的内容。理想情况下，作为一门完整的课程，教师会有选择性地讲解这3章的内容。

我们也注意到，综合全面且自成一体的第1章可用作计算机网络短期培训班的基础教材。

## 最后的话

我们鼓励教师和学生编写阐明本书中概念和协议的Java小应用程序。如果你有自认为适合本书的小应用程序，那么请你提交给我们。如果这些小应用程序(包括注释和术语)确实合适，我们自然乐于把它们加到本书的Web站点上，并指明其作者。我们也鼓励教师们提供新的课外作业求解题(及解答)，以增补现有的题目。我们会把它们张贴在本书Web站点上只供教师访问的部分。

我们还鼓励学生和教师们以电子邮件方式就本书硬拷贝或在线版本提出任何意见和建议。请大家无保留地提供感兴趣的URL，指出排印错误，反驳我们的任何主张，告诉我们哪些管用，哪些不管用。请告诉我们你认为在下一版中应保留或去除哪些内容。我们的电子邮件地址是kurose@cs.umass.edu和ross@eurecom.fr。

# 目 录

<b>第1章 计算机网络与因特网</b> .....	<b>1</b>
1.1 什么是因特网.....	1
1.1.1 架构上的描述.....	1
1.1.2 服务上的描述.....	4
1.1.3 一些有用的超链接.....	5
1.2 什么是协议.....	6
1.2.1 人类活动的类比.....	6
1.2.2 网络协议.....	7
1.3 网络边缘部分.....	8
1.3.1 终端系统、客户和服务.....	8
1.3.2 无连接服务和面向连接服务.....	9
1.4 网络核心部分.....	11
1.4.1 线路交换、分组交换和消息交换.....	12
1.4.2 数据网络中的路由.....	22
1.5 接入网络和物理介质.....	26
1.5.1 接入网络.....	26
1.5.2 物理介质.....	30
1.6 分组交换网络中的延迟和丢失.....	34
1.6.1 延迟的类型.....	34
1.7 协议层及其服务模型.....	39
1.7.1 分层的体系结构.....	40
1.7.2 网际协议栈.....	44
1.7.3 网络实体与协议层.....	46
1.8 因特网主干、NAP和ISP.....	47
1.9 计算机网络和因特网发展史.....	50
1.9.1 分组交换原理的早期发展与演示：1961-1972.....	50
1.9.2 网际互连和新兴的专属网络：1972-1980.....	51
1.9.3 网络数目激增：1980-1990.....	53
1.9.4 商业化和Web：20世纪90年代.....	54
1.10 小结.....	55

---

1.11 课外作业 .....	56
1.12 访谈实录: Leonard Kleinrock .....	60
<b>第2章 应用层 .....</b>	<b>62</b>
2.1 应用层协议的原理 .....	62
2.1.1 应用层协议 .....	62
2.1.2 应用所需的服务 .....	67
2.1.3 由因特网传输协议提供的服务 .....	68
2.1.4 本书涵盖的网络应用 .....	70
2.2 Web: HTTP .....	71
2.2.1 HTTP概貌 .....	72
2.2.2 非持久连接和持久连接 .....	74
2.2.3 HTTP消息格式 .....	77
2.2.4 用户-服务器交互: 身份认证和cookie .....	80
2.2.5 带条件的GET .....	82
2.2.6 Web高速缓存服务器 .....	83
2.3 文件传送: FTP .....	88
2.3.1 FTP命令和应答 .....	90
2.4 因特网中的电子邮件 .....	91
2.4.1 SMTP .....	94
2.4.2 与HTTP的比较 .....	96
2.4.3 邮件消息格式和MIME .....	97
2.4.4 邮件访问协议 .....	102
2.4.5 持续媒体电子邮件 .....	106
2.5 DNS——因特网的目录服务 .....	107
2.5.1 DNS提供的服务 .....	107
2.5.2 DNS工作机理概述 .....	109
2.5.3 DNS记录 .....	114
2.5.4 DNS消息 .....	115
2.6 用TCP进行套接字编程 .....	117
2.6.1 用TCP进行套接字编程 .....	118
2.6.2 用Java编写的客户/服务器应用程序示例 .....	120
2.7 用UDP进行套接字编程 .....	126
2.8 构建一个简单的Web服务器 .....	132
2.8.1 Web服务器的功能 .....	132
2.9 小结 .....	136

---

2.10	课外作业 .....	137
2.11	访谈实录: Tim Berners-Lee .....	141
<b>第3章</b>	<b>传输层 .....</b>	<b>143</b>
3.1	传输层服务和规范 .....	143
3.1.1	传输层和网络层之间的关系 .....	144
3.1.2	因特网中传输层的概述 .....	146
3.2	应用程序的多路复用和多路分解 .....	147
3.3	无连接的传输: UDP .....	150
3.3.1	UDP的数据段结构 .....	154
3.3.2	UDP校验和 .....	154
3.4	可靠数据传输的原理 .....	156
3.4.1	构造一个可靠数据传输协议 .....	157
3.4.2	流水线可靠数据传输协议 .....	165
3.4.3	第N个分组重发 (GBN) .....	168
3.4.4	选择性重复 (SR) .....	173
3.5	面向连接的传输: TCP .....	178
3.5.1	TCP连接 .....	178
3.5.2	TCP 数据段结构 .....	180
3.5.3	序号和确认号 .....	182
3.5.4	用Telnet来研究序号和确认号 .....	183
3.5.5	可靠数据传输 .....	185
3.5.6	流量控制 .....	190
3.5.7	往返计时和超时 .....	193
3.5.8	TCP连接管理 .....	195
3.6	拥塞控制原理 .....	199
3.6.1	拥塞的起因与代价 .....	200
3.6.2	拥塞控制的方法 .....	205
3.6.3	ATM ABR拥塞控制 .....	206
3.7	TCP拥塞控制 .....	208
3.7.1	TCP拥塞控制概述 .....	209
3.7.2	建模延迟时间: 静态拥塞窗口 .....	215
3.7.3	建模延迟时间: 动态拥塞窗口 .....	219
3.8	小结 .....	224
3.9	课外作业 .....	225
3.10	访谈实录: Sally Floyd .....	233

<b>第4章 网络层和路由</b> .....	<b>235</b>
4.1 引言和网络服务模型.....	235
4.1.1 网络服务模型.....	237
4.1.2 数据报和虚电路服务的起源.....	241
4.2 路由选择原理.....	242
4.2.1 链路状态路由算法.....	244
4.2.2 距离向量路由算法.....	247
4.2.3 其他路由算法.....	256
4.3 层次路由选择.....	258
4.4 因特网协议.....	261
4.4.1 IPv4寻址方式.....	262
4.4.2 从源端到目的端传输数据报：寻址方式和路由选择.....	269
4.4.3 数据报格式.....	273
4.4.4 IP分片和重组.....	275
4.4.5 ICMP：因特网控制消息协议.....	277
4.5 因特网中的路由选择.....	279
4.5.1 因特网中的自治系统内部路由选择.....	279
4.5.2 自治系统间路由选择.....	285
4.6 路由器内部有什么.....	288
4.6.1 输入端口.....	289
4.6.2 交换结构.....	292
4.6.3 输出端口.....	294
4.6.4 排队在哪里发生.....	294
4.7 IPv6.....	296
4.7.1 IPv6分组格式.....	297
4.7.2 从IPv4到IPv6的过渡.....	299
4.8 多点传送路由选择.....	302
4.8.1 介绍：因特网多点传送抽象和多点传送小组.....	303
4.8.2 IGMP协议.....	305
4.8.3 多点传送路由选择：一般的情况.....	309
4.8.4 因特网中的多点传送路由选择.....	315
4.9 小结.....	319
4.10 课外作业.....	321
4.11 访谈实录：José Joaquín García-Luna-Aceves.....	327
<b>第5章 数据链路层和局域网</b> .....	<b>329</b>

---

5.1 数据链路层：引言、服务.....	329
5.1.1 链路层提供的服务.....	329
5.1.2 适配器通信.....	332
5.2 差错检测和纠错技术.....	334
5.2.1 奇偶校验.....	335
5.2.2 校验和方法.....	337
5.2.3 循环冗余校验（CRC）.....	337
5.3 多路访问协议和局域网.....	339
5.3.1 信道划分协议.....	342
5.3.2 随机访问协议.....	347
5.3.3 轮转协议.....	354
5.3.4 局域网.....	354
5.4 局域网地址和ARP.....	356
5.4.1 局域网地址.....	356
5.4.2 地址解析协议（ARP）.....	358
5.5 以太网.....	362
5.5.1 以太网基本要素.....	363
5.5.2 CSMA/CD：以太网的多路访问协议.....	367
5.5.3 以太网技术.....	369
5.6 集线器、网桥和交换机.....	372
5.6.1 集线器.....	373
5.6.2 网桥.....	374
5.6.3 交换机.....	381
5.7 IEEE 802.11局域网.....	385
5.7.1 802.11局域网体系结构.....	385
5.7.2 802.11介质访问协议.....	386
5.8 PPP：点到点协议.....	389
5.8.1 PPP数据成帧.....	392
5.8.2 PPP链路控制协议（LCP）和多种网络控制协议.....	394
5.9 异步传输模式（ATM）.....	395
5.9.1 ATM的主要特性.....	396
5.9.2 ATM物理层.....	398
5.9.3 ATM层.....	400
5.9.4 ATM适配层.....	401
5.9.5 IP over ATM.....	403
5.9.6 ARP和ATM.....	405

5.10	X.25和帧中继.....	406
5.10.1	对X.25的一些阐述.....	406
5.10.2	帧中继.....	407
5.11	小结.....	411
5.12	课外作业.....	412
5.13	访谈实录: Robert (Bob) Metcalfe.....	419
<b>第6章</b>	<b>多媒体网络.....</b>	<b>422</b>
6.1	多媒体网络应用.....	423
6.1.1	多媒体应用的例子.....	423
6.1.2	当今因特网上的多媒体障碍.....	426
6.1.3	因特网应该向支持多媒体的方向发展.....	426
6.1.4	音频和视频压缩.....	427
6.2	可存储的音频视频流.....	429
6.2.1	访问Web服务器的音频和视频.....	430
6.2.2	从流式服务器发送多媒体到媒体播放应用.....	432
6.2.3	实时的数据流协议(RTSP).....	434
6.3	充分利用尽力服务: 一个因特网电话的例子.....	436
6.3.1	尽力服务的限制.....	437
6.3.2	消除接收方音频的抖动.....	438
6.3.3	恢复丢失的分组.....	441
6.3.4	可存储的音频和视频流.....	443
6.4	RTP.....	443
6.4.1	RTP 基础.....	444
6.4.2	RTP分组头部字段.....	446
6.4.3	RTP控制协议(RTCP).....	447
6.4.4	H.323.....	449
6.5	超尽力服务.....	454
6.5.1	场景1: 一个1 Mbps的音频应用程序和一个FTP传输.....	455
6.5.2	场景2: 一个1 Mbps的音频应用程序和一个高优先权FTP传送.....	455
6.5.3	场景3: 一个异常的音频应用程序和一个FTP传输.....	456
6.5.4	场景4: 在超负荷的1.5 Mbps链路之上的两个1 Mbps的音频应用程序.....	457
6.6	调度和管理机制.....	459
6.6.1	调度机制.....	459
6.6.2	管理: 漏桶.....	464
6.7	综合服务.....	466



6.7.1 有保障的服务质量.....	468
6.7.2 受控负载网络服务.....	469
6.8 RSVP.....	469
6.8.1 RSVP的精华.....	469
6.8.2 一些简单的例子.....	471
6.8.3 路径消息.....	473
6.8.4 预留样式.....	474
6.8.5 预留消息的传送.....	477
6.9 有差别的服务.....	478
6.9.1 有差别的服务：一个简单的场景.....	479
6.9.2 通信量的分类和调节.....	480
6.9.3 单跳行为.....	482
6.9.4 新的起点.....	483
6.10 小结.....	484
6.11 课外作业.....	485
6.12 访谈实录：Henning Schulzrinne.....	489
<b>第7章 计算机网络安全.....</b>	<b>491</b>
7.1 什么是网络安全.....	491
7.1.1 安全通信.....	491
7.1.2 因特网中的网络安全问题.....	492
7.2 密码学原理.....	494
7.2.1 对称密钥密码学.....	496
7.2.2 公共密钥加密.....	499
7.3 身份认证：你是谁.....	504
7.3.1 身份认证协议ap1.0.....	504
7.3.2 身份认证协议ap2.0.....	505
7.3.3 身份认证协议ap3.0.....	505
7.3.4 身份认证协议ap3.1.....	506
7.3.5 身份认证协议ap4.0.....	506
7.3.6 身份认证协议ap5.0.....	507
7.4 完整性.....	510
7.4.1 数字签名的产生.....	510
7.4.2 消息摘要.....	511
7.4.3 哈希函数算法.....	513
7.5 密钥分发和认证.....	515