国外计算机科学教材系列

用 TCP/IP 进行网际互连

第 1 卷：原理、协议和体系结构（第 3 版）

Internetworking With TCP/IP

Vol I : Principles,Protocols,and Architecture(Third Edition)

DOUGLAS E. COMER 著

林 瑶 蒋 慧 杜蔚轩 等译

谢希仁 校

電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

PRENTICE HALL 出版公司

国外计算机科学教材系列

用 TCP/IP 进行网际互连

第 1 卷:原理、协议和体系结构(第 3 版)

Internetworking With TCP/IP Vol Ⅰ:
Principles, Protocols, and Architecture (Third Edition)

DOUGLAS E. COMER 著

林 瑶 蒋 慧 杜蔚轩 等译

PRENTICE HALL 出版公司

電子工業出版社

内 容 提 要

本书是一部计算机网络经典性教科书(现在是第三版)。它是目前美国大多数大学里所开设的计算机网络课程的主要参考书。目前国内外能见到的各种有关 TCP/IP 的书籍,其主要内容均出自本书。本书的特点是:强调原理,概念准确,深入浅出,内容丰富且新颖。全书共分为三卷。第 1 卷是最基本的,从 TCP/IP 的基本概念讲起,讨论了 TCP/IP 的主要协议和整个的体系结构。各章之后还附有很多很好的练习题。书后还有两个附录,给出了 RFC 指南和重要的词汇表。本书可供计算机和通信专业的研究生、高年级本科生作为教科书和学习参考书,也可供从事科研和技术开发的人员参考。

丛 书 名: 国外计算机科学教材系列
原 书 名: Internetworking With TCP/IP Vol. I :Principles, Protocols, and Architecture (Third Edition)
书 名: **用 TCP/IP 进行网际互连第 1 卷:原理、协议和体系结构(第 3 版)**
著 者: **DOUGLAS E. COMER**
译 者: 林 瑶 蒋 慧 杜蔚轩 等译
审 校 者: 谢希仁
责任编辑: 陆伯雄
特约编辑: 苏子栋
印 刷 者: 顺义县天竺颖华印刷厂印刷
出版发行:电子工业出版社出版、发行 **URL:http://www.phei.com.cn**
北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036 发行部电话(68214070)
经 销:各地新华书店经销
开 本:787×1092 1/16 印张:29.75 字数:690 千字
版 次:1998 年 4 月第 1 版 1998 年 4 月第 1 次印刷
印 数:10000 册
书 号:**ISBN 7-5053-4607-5/TP·2188**
定 价:38.00 元
著作权合同登记号 图字:01-97-1869

出版说明

计算机科学的迅速发展是20世纪科学发展史上最伟大的事件之一。从1946年第一台笨重而体积庞大的计算机的发明至今，仅仅半个多世纪，计算机已经变得小巧无比却又能力非凡。它的应用已经渗透到了社会的各个方面，成为当今所谓的信息社会的最显著的特征。

处于世纪之交科技进步的大潮中，我国正在加强计算机科学的高等教育，着眼于为下一世纪培养高素质的计算机人才，以适应信息社会加速度发展的需要。当前，全国各类高等院校已经或计划在各专业基础课程规划中增加计算机科学的课程内容，而作为与计算机科学密切相关的计算机、通信、信息等专业，更是在酝酿着教学的全面革新，以期规划出一整套面向21世纪的、具有中国高校计算机教育特色的课程计划和教材体系。值此，我们不妨借鉴并引进国外具有先进性、实用性和权威性的大学计算机教材，洋为中用，以更好地服务于国内的高校教育。

美国 Prentice Hall 出版公司是享誉世界的高校教材出版商，自1913年公司成立以来，即致力于教育图书的出版。它所出版的计算机教材在美国为众多大学所采用，其中有不少是专业领域中的经典名著。许多蜚声世界的教授学者成为该公司的资深作者，如：道格拉斯·科默（Douglas Comer），安德鲁·坦尼伯姆（Andrew Tanenbaum），威廉·斯大林（William Stallings）……几十年来，他们的著作教育了一批批不同肤色的莘莘学子，使这些教材同时也成为全人类的共同财富。

为了保证本系列教材翻译出版的质量，电子工业出版社和 Prentice Hall 出版公司共同约请北京地区的清华大学、北京大学、北京航空航天大学，上海地区的上海交通大学、复旦大学，南京地区的南京大学、解放军通信工程学院等全国著名的高等院校的教学第一线的几十位教师参加翻译工作。这中间有正在讲授同类教材的年轻教师和博士，有积累了几十年教学经验的教授和博士生导师，还有我国著名的计算机科学家。他们的辛勤劳动保证了本系列丛书得以高质量地出版面世。

如此大规模地引进计算机科学系列教材，在我们还是第一次。除缺乏经验之外，还由于我们对计算机科学的发展，对中国高校计算机教育特点认识的不足，致使在选题确定、翻译、出版等工作中，肯定存在许多遗憾和不足之处，恳请广大师生和其他读者提出批评、建议。

电子工业出版社
URL：http://www.phei.com.cn
Prentice Hall 出版公司
URL：http://www.prenhall.com

译者的话

我们很愿意向广大读者推荐 Douglas E. Comer 的这部有关计算机网络的经典性教科书。在美国的大多数大学里所开设的计算机网络课程的主要参考书共有两本。一本是 Andrew S. Tanenbaum 的《计算机网络》(现在也出到第三版),而另一本就是本书。可以这样说,目前国内能见到的各种版本的有关 TCP/IP 的书籍,其主要内容均出自本书。Comer 的书为什么会受到这样的欢迎呢?就是因为本书的作者强调基本原理,所阐述的概念准确,在安排上深入浅出,符合教学法,内容十分丰富且新颖。全书共分为三卷。第 1 卷是最基本的,从 TCP/IP 的基本概念讲起,讨论了 TCP/IP 的主要协议和整个的体系结构。各章之后还附有很多很好的练习题。因此,本书第三版的中译本的出版,对广大读者进一步学习以 TCP/IP 为核心的计算机网络,会起到积极的促进作用。

在翻译中遇到的主要困难是新的名词较多。如"hop"一词在通信中一般译为"跳"。在计算机网络中的意思是:从一个主机(或路由器)到下一个路由器,叫做一个 hop。因此可译为"1 跳"。而"hop count"可译为"跳数"。但有时如"next hop router",则译为"下一站路由器"可能更好些。本书后面的附录 2 可供读者遇到新名词时参考。

参加翻译本书的有林 瑶、蒋 慧、杜蔚轩、赵 刚、刘 鹏等同志,全书译稿由谢希仁教授审阅。限于水平,错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

译者
南京通信工程学院
1996 年 11 月

前　言

Douglas Comer 教授的书是介绍 TCP/IP 的经典教科书。大家知道，为初学者写书介绍 TCP/IP 是一件非常困难的事，但 Comer 教授深入浅出地将计算机通信的主要原理与 TCP/IP 协议族的具体例子相结合，向我们提供了一本非常容易读的书。

虽然本书专门讲述 TCP/IP 协议族的内容，但本书也是学习各种计算机通信协议的好教材。因为尽管各种协议族的细节不同，但在体系结构、分层法、多路复用、封装、寻址与地址映射、选路与命名的原理方面，各种协议族都是类似的。

计算机通信协议本身不会作任何事情。像操作系统一样，它们是为应用进程服务的。进程是实施通信的活跃元素，是所发送的数据的最终发送者与接收者。协议的各个层次就像计算机操作系统中的各层次，尤其与文件系统的情况相类似。因而，理解协议体系结构也就类似于理解操作系统体系结构。在本书中 Comer 教授采用了“自底向上”方法，在抽象的层次中从物理网络开始一直向上讲述到应用层。

由于应用进程是使用协议所支持通信的活跃元素，因而 TCP/IP 就是“进程间通信”(IPC)的机制。因为几个有关操作系统格式报文的传递以及基于 IP 的 IPC 过程调用类型的实验仍在进行中，所以本书的焦点更多地集中在传统的应用方面，这些应用使用 UDP 数据报或 IPC 的 TCP 逻辑连接形式。在典型的操作系统中，操作系统向应用进程提供了一个功能集。这类系统调用接口通常包括打开、读、写和关闭文件的调用。许多系统中都有类似的 IPC 功能的系统调用，包括网络通信在内。作为这类接口的一个例子，Comer 教授提供了插口(socket)接口概述。

本书标题中的“网际互连”是 TCP/IP 所固有的关键概念之一。一个通信系统的能力直接取决于系统中的机器数目。电话网之所以很有用是因为几乎所有话机都连成了一个网络(正像用户看起来那样)。目前的计算机通信系统与网络仍处于分隔开的状态。虽然随着越来越多的用户和企业采用 TCP/IP 作为其网络通信手段，并且也加入了 Internet，从而网使这种情况日益改善，但仍有许多工作有待开展。互相连接与网际互连的目标，是拥有一个简单而功能强大的计算机通信网络，是 TCP/IP 的设计的基本课题。

网际互连的要点是寻址，以及一个通用的协议，即 Internet 协议。当然，单个网络拥有自己的用于传送 IP 数据报的协议，并且也一定有从单个网络地址到 IP 地址的映射方法。在 TCP/IP 的整个生存期间，这些单个网络的性质已从早期的 ARPANET 变为最近发展起来的 ATM 网络。本书的这一版中新添了一章讨论 ATM 网络上的 IP 。本书现在还包含了动态主机配置 DHCP 方面的新近发展状况，这些发展将简化网络管理及新计算机的入网方法。

要形成一个互连网，必须将单个的网络互相连接起来。这种用于连接的装置就是路由器。更进一步说，路由器必须能将数据从一个网络传入另一个网络。数据以 IP 数据报的形式传输，并且目的地是由 IP 地址指明的。但路由器的选路判决必须基于 IP 地址以及有关构成 Internet 的连通性的知识。把当前的连通性信息进行分发的过程称为选路算法，目

前对此的研究和开发都很多。特别是最近发展的无类别域间选路 CIDR 技术，对减少选路信息的交换是很重要的。

像所有通信系统一样，TCP/IP 协议族也是尚未完备的系统。它仍在发展中，以适应不断变化的要求和新的机遇。因此本书从某种意义上说也只是 TCP/IP 的一瞥，并且正像 Comer 教授所指出的那样，有一些不足之处。随着最近 Internet 的迅猛发展，有关 TCP/IP 协议特别是它的地址空间方面的能力引起了关注。与此相应，研究与工程组织开发了 Internet 协议的“下一代”版本，名叫“IPng”。很多企业现在都连入了 Internet，这牵涉到安全性问题。本版中新添了一章讨论安全性与防火墙。

本书各章的最后都给出了一些资料供“进一步的学习”。其中很多资料都引用了 RFC 系列备忘录。产生 RFC 系列是基于这样的政策：让各种在工作中产生的思想，以及由 TCP/IP 研究与开发团体开发出的各种协议规范，更加广泛地被人们利用。这些协议的基本的和详细的信息的可用性，以及这些协议的早期实现的可用性，对这些协议现在得到广泛的普及起到了很大的作用。公布这样详细的文档对进行研究工作具有非同寻常的意义，并且对计算机通信的发展已经做出了重要的贡献。

本书融合了 TCP/IP 体系结构与协议的各方面信息，因而可读性较好。它的出版是计算机通信发展中的一个非常重要的里程碑。

南加利福尼亚大学
信息科学学院连网部副主任
Jon Postel
1995 年 1 月

序　言

自从本书第二版付印以来，世界已发生了巨大的变化。真令人难以相信仅仅只过去了四年。1990 年夏天，当我开始这一版的写作时，Internet 网已从写作本书第一版时的只拥有 5 千台主机的网络，发展成为拥有近 30 万台主机的大网。那时，我们对这个目标不太明确的研究项目竟然能发展到如此庞大而深感惊讶。忧心忡忡的人们曾预言，这种持续不断的发展将导致 Internet 于 1993 年全面崩溃。但 Internet 没有崩溃，它反而不断爆炸性地扩张。如今，1990 年时所称的“巨大”Internet 只不过是目前 Internet 的 7%。

TCP/IP 和 Internet 已经调整得更加合理。十年来，在通信量以指数般的速率增长下，基本的技术仍然保留下来了。各种协议在新的高速网络技术上仍能发挥作用，并且能够处理在十年前所无法想像的许多应用。不过，整个协议族并非保持不变。一些新的协议被采用；一些新技术被开发出来，以适应新的网络技术上使用的协议。所有这些变化都在 RFC 中作了记录，甚至使得 RFC 的内容也增加了 50%以上。

这一版收进了许多已更新的信息（包括用商业化的流行术语 IP 路由器代替传统科技术语 IP 网关），包括描述技术发展与进步的新材料。原先有关子网编址的那一章，现在既讲述子网也介绍超网，并说明了这两种不同技术是如何由相同的目标而促进发展的。讨论自举（bootstrapping）的一章阐明了一个重要技术进步：动态主机配置协议 DHCP，它将废除手工配置主机，允许每台计算机自动得到其 IP 地址。讨论 TCP 的章节收进了有关糊涂窗口综合症（Silly Window Syndrome）的内容，并解释了 TCP 用来防止出现这种问题的启发性思想。讲电子邮件的章节描述了多用途 Internet 邮件扩充（MIME），它可将非 ASCII 数据在一个标准的电子邮件中发送。

新增添的三章包含着一些重要发展方面的细节信息。第 18 章解释 TCP/IP 是怎样在 ATM 网络上使用的。它讨论了 ATM 上的硬件组织、适配层协议的目的、IP 封装、地址绑定（binding）、选路以及虚电路管理。此章阐明了像 IP 那样的无连接协议可以使用 ATM 所提供的面向连接的接口。第 28 章讲述了许多团体计划连入全球 Internet 时所考虑的一个关键问题：网络的安全性。它阐述了互连网的防火墙的概念，并说明如何使用一种防火墙体系结构来保护一个组织内部的网络和计算机免受非法的访问。这章还讨论了两级防火墙的设计原理，分析了一个安全的计算机如何进行外部访问的问题。最后新添的一章是介绍从 TCP/IP 诞生至今所经历的最重要变化：即将被采纳的下一代 IP 协议（IPng）。第 29 章叙述了由 IETF 开发的作为 IPng 的协议。虽然此协议还未经过全面测试以证明它能够作为一个永久性标准，但看来这个新的设计会被人们一致选用。这一章提供了所提出的设计和地址分配方案。

第三版保留了第二版的总的内容和组织方法。整个教科书集中阐述网际互连的一般概念，特别是 TCP/IP 互连网的技术。网际互连是一个非常有用的抽象概念，可使我们能对付底层的多种通信技术的复杂性。网际互连屏蔽了网络硬件的许多细节，而提供了一个高层的通信环境。本教科书将网络互连的体系结构和作为网络互连的基础的协议原理，看成是一个统一的通信系统。本书还表明，一个互连网系统也可以用来进行分布式的计算。

在读完本书后，你将会了解多个物理网络为什么可以互连成为一个协调得很好的系统，互连网协议怎样在这样的环境中工作，以及应用程序怎样使用这样构成的系统。作为一个特定的例子，你将学到全球 TCP/IPInternet 的许多细节，包括它的路由器系统的体系结构，以及它所支持的应用协议。此外，你还会了解到互连网的这种方法有何局限性。

由于本书既是大学教科书也是专业参考书，因此写成了大学本科高年级或研究生的水平。对专业人员来说，本书提供了对 TCP/IP 技术和 Internet 体系结构的全面介绍。虽然并没有想取代一些协议标准，本书对学习网际互连来说仍是一个极好的起点，这是因为它提供了一个强调原理的综述。此外，本书还给读者一些观点，而这些观点很难从单个的协议文档中得到。

当进行教学时，无论是对本科生或研究生，本书所提供的材料都超过一个学期的网络课程所需要的内容。如果配合一些程序设计的课题和文献阅读，那么这门课程就能扩充到两个学期。对本科生来说，课本中的许多细节是不需要的。本科生必须能够抓住书中的基本概念，并能叙述和使用这些基本概念。对研究生，就应当能够用书中的材料作为基础进行进一步的研究。他们必须对许多细节有足够好的理解，以便作练习题或解决在他们研究工作中遇到的一些问题。有许多练习题会涉及到这些问题；要解决这些问题需要学生阅读协议的标准，并努力理解其中的重要结论。

对各种程度的人来说，工作中的经验会加深概念，并使学生得到直觉知识。因此，我鼓励教师给出研究课题，以迫使学生使用 Internet 的服务和协议。我在珀杜(Purdue)大学开设的研究生课程"网际互连"有一个课程设计，就是让学生实现一个 IP 路由器。我们提供硬件设备和操作系统的源代码，包括网络接口的设备驱动程序；而学生需要做出一个可以工作的、连接具有不同 MTU 的三个网络的路由器。这个课程非常严格，学生分成小组工作，而最后的结果给人留下的印象是难以忘却的(许多企业招收学过此课程的毕业生)。虽然这样的实验是最没有风险的(这个教学的实验网络与用于计算的产品设施是隔离的)，但我们发现，当学生们接入到一个起作用的 TCP/IP 互连网时，他们表现出最大的热情，并且受益也是最大的。

本书分成为四大部分。第 1 和第 2 章是引言，包括概述和讨论现有的网络技术。第 2 章回顾了物理网络的硬件。这样做是为了提供可能得到的基本直观概念，而不必在硬件细节上花费过多的时间。第 3～13 章描述从一个单个主机看到的 TCP/IP Internet，阐述一个主机包含的各种协议，以及这些协议是怎样工作的。这几章还包括 Internet 的编址和选路的基本概念，以及协议分层的一些概念。第 14～18 和 28 章讨论世界范围的互连网的体系结构。这几章探讨选路的体系结构，以及路由器用来交换选路信息的一些协议。第 19～27 章讨论在 Internet 可以使用的应用级的服务。这里给出了客户机－服务器的交互模型，并给出了若干关于客户机和服务器软件的例子。

各章的安排是自底向上。先从硬件的概述开始，然后不断地在它的上面增加新的功能。这种做法会使每一个 Internet 软件的开发人员感兴趣，因为这与人们在实现过程中所使用的方法是一致的。分层的概念直到第 11 章才出现。在分层的讨论中，强调了功能的概念层次与实际的分层的协议软件(在其中的每一层会出现多个对象)的区别。

要掌握上述内容需要有一定的基础知识。读者应当具有对计算机系统的基本了解，并熟悉数据结构，如堆栈、队列和树。读者还需要基本上掌握计算机软件中的操作系统，因为它支持并发程序和许多应用程序，而这些是用户在执行计算时需要进行调用的。读者并不需要更复杂的数学，也不需要信息论或数据通信的理论；本书将具体的物理网络看成是一个黑盒子，然后围绕它构成一个互连网络。书中阐述用英文写出的设计原理，并讨论动机和结果。

我感谢所有对本书的再版做出贡献的人。John Lin 对这一版，包括对 RFC 进行分类，做了大量的工作。Ralph Droms 审阅了讨论自举的一章。珀杜大学的 COAST 安全研究课题组的 Sandeep Kumar, Steve Lodin, 和 Christoph Schuba 对有关安全的一章提出了意见。特别要感谢我的妻子 Chris，她的认真编辑使文字增色不少。

目　录