

国外计算机科学经典教材

Mc
Graw
Hill Education

TCP/IP Protocol Suite
Second Edition

TCP/IP 协议族

(第2版)

(美) Behrouz A. Forouzan 著
Sophia Chung Fegan 译
谢 希 仁 译



清华大学出版社

国外计算机科学经典教材

TCP/IP 协议族

(第 2 版)

(美) Behrouz A. Forouzan 著
Sophia Chung Fegan 译
谢 希 仁 译

清华大学出版社
北 京

Behrouz A. Forouzan, Sophia Chung Fegan

TCP/IP Protocol Suite, Second Edition

EISBN: 0-07-119962-4

Copyright © 2003 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition is published and distributed exclusively by Tsinghua University Press under the authorization by McGraw-Hill Education(Asia) Co., within the territory of the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体字翻译版由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授权清华大学出版社在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)独家出版发行。未经许可之出口视为违反著作权法,将受法律之制裁。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。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2003-4887

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

TCP/IP 协议族/(美) 法罗赞恩, (美) 费根著; 谢希仁译. 第 2 版.— 北京: 清华大学出版社, 2003

书名原文: TCP/IP Protocol Suite, Second Edition

(国外计算机科学经典教材)

ISBN 7-302-07406-2

I. T… II. ①法… ②费… ③谢… III. 计算机网络-通信协议-教材 IV. TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 092468 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 曹康

文稿编辑: 王曉娜

封面设计: 康博

版式设计: 康博

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市金元装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 50.5 字数: 1292 千字

版 次: 2003 年 11 月第 2 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-07406-2/TP·5471

印 数: 1~3000

定 价: 98.00 元

译者序

我们很高兴向广大读者推荐 Behrouz A. Forouzan 所著的《TCP/IP 协议族》第 2 版。

关于 TCP/IP 协议族的国外著作已有多种，但 Forouzan 所著的这本《TCP/IP 协议族》特色非常显著。通过对本书的翻译，译者收获很大，因为从这本书中可以学习到很多知识。

大家知道，教材和学术专著有很大的区别。学术专著要突出作者在某个学术领域所做出的贡献，特别要包含作者所取得的有创造性的研究成果。但教材则不然。译者认为，对一本教材的评价，最主要的就是看这本教材是否能够起到给学生领好路的作用，是否能够符合学生认识事物的规律，使学生在学完这本教材后，逐渐能够在这一领域入门。因此，从这样的观点来看，这本教材应当是很不错的。

译者认为，这本教材具有如下一些主要特色：

(1) 本书的作者特别重视基本概念。在讲解 TCP/IP 协议时，强调了各种协议的基本概念，而不是纠缠在一些细节问题上，或是不分主次地摘抄一些协议标准中的具体规定。这本书不仅对于计算机网络的入门者很有用处，就是对那些已经比较熟悉计算机网络的人也颇有参考价值。因为同一个问题可以用不同的方法来阐明，而作者所采用的介绍各种协议的方法，能够使读者较快地掌握复杂协议要点。例如，直接交付和间接交付是很重要的基本概念。由于这个概念并没有多少深奥的理论，因此很多讲述 TCP/IP 协议的书就一带而过，致使部分读者并没有真正弄清楚这个重要概念。但 Forouzan 却专门用了一节(6.2 节)，以近两页的篇幅来阐述这两种交付的区别。这样就使读者比较容易地建立对这两种交付的正确理解。

(2) 作者非常重视插图在教材中的作用。Forouzan 的观点是：对于计算机网络来说，插图比文字有时更加重要，因为网络中的概念，如“连接”和“传输”等，只有利用插图才能把问题说明得更加清楚。因此，本书的插图特别多，而且很有独创性，使得这些插图特别能够说明问题，起到了画龙点睛的作用。这一特点在同类书籍中尚不多见。实际上，这些插图也说明了作者有着丰富的教学经验。例如，最大传送单元 MTU 是一个十分重要的网络参数。但这个术语的名称很容易令人产生错误的理解。于是 Forouzan 专门用一副图(图 8-6)来说明 MTU 是帧的数据部分，但并不是指整个帧的长度。像这样的指出重要概念的插图，在本书中是很多的。当然插图会占去书的大量篇幅，使书的页数增多。

(3) 对 TCP/IP 协议族来说，这本书内容翔实，取材新颖。每章后面都有重要术语和本章要点的小结。练习题安排得也很有特色，有多项选择和一般的习题以及一些编程练习。附录内容也很丰富，便于学生进一步深入学习。特别是，对一些重要概念或结论，Forouzan 还使用“注释”语句提醒读者注意。例如，学生往往把 ISO 和 OSI 弄混。于是 Forouzan 就在第 2 章的开头使用了以下的句子提醒读者：

注释：

ISO 是个组织。而 OSI 是个模型。

像这样的例子，在本书中也是很多的。

(4) 本书的第 2 版除了对许多章节的内容进行了更新外，还增加了 6 章新的内容，即：“多播和多播路由选择协议”、“在 ATM 上运行 IP”、“移动 IP”、“因特网上的实时通信”、“因特网的安全”，以及“专用网、虚拟专用网和网络地址转换”。

译者认为，本书也有一些美中不足之处。例如，有些内容的叙述似乎可以更加精炼一些，可以适当减少一些重复。习题似乎可以减少一些，因为精选习题或许效果会更好些。每一章后面的重要术语可能也多了些。但总的说来，本书还是很值得仔细阅读的好教材。

译者在翻译过程中发现的一些原书的错误，已经在翻译过程中进行了改正(或许也还有遗漏)。吴白珠、耿建美和李翔宇等对译稿进行了认真的校对，译者在此表示衷心的感谢。限于水平，翻译不妥或错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

译者的电子邮件地址是：xiexiren@tsinghua.org.cn.

译者

2003 年 6 月

于解放军理工大学通信工程学院，南京

前 言

在今天的文明生活中，与网络和网络互联有关的技术可能是增长最快的。这种技术增长的结果就是，要想在许多职业中获得成功就必须懂得网络和网络互联技术，并且这种职业的种类正在急剧增多。于是，学习网络课程的学生数目也在成比例地增多。

本书是讲述 TCP/IP 的书。它为想要在数据通信和网络互联领域获得学位的学生提供了必要的信息。本书还可作为在基于 TCP/IP 的网络上工作或准备工作的专业人员的参考书。简言之，本书对任何需要了解 TCP/IP 协议的人都是有用的。

本书假定读者并没有关于 TCP/IP 协议的预备知识，不过，最好先学习一下数据通信的课程。

1. 组织

本书分为 5 个部分。第 1 部分由第 1~3 章组成，回顾了一些基本概念和基础技术。虽然这部分内容与 TCP/IP 协议没有直接关系，但却有助于理解 TCP/IP 协议。

本书的第 2 部分讨论网络中的协议和传输层。第 4~10 章重点讨论网络层的一些协议。运输层协议在第 11~12 章详细讨论。第 13~14 章则详细说明几种路由选择协议。

本书的第 3 部分讨论使用网络和传输层协议的应用程序。第 15~16 章简单地介绍客户-服务器范式和套接字编程，为后面讨论应用层协议的第 17~25 章打下了基础。

第 4 部分(第 26~30 章)包含了因特网中比较新的问题和题目。我们讨论在 ATM 上运行 IP、移动 IP、实时通信、因特网的安全和专用网(包括实际的专用网和虚拟专用网)。

本书的第 5 部分(第 31 章)讨论下一代的 TCP/IP。我们介绍 IPv6、ICMPv6，以及从版本 4 到版本 6 的过渡。

2. 特点

为了使学生更容易地学习 TCP/IP，本书的编写具有如下一些特点：

(1) 直观

本书用图文并茂的方法讲述了技术性很强的内容，但并没有使用复杂的公式。大约有 590 幅插图与正文配合提供了一种直观的方法来阐述有关内容。在解释网络的概念时，插图是特别重要的，因为网络的概念是基于连接和传输。使用插图要比使用文字更容易地理解这些概念。

(2) 重点突出

我们多次重复一些在“注释”中出现的重要概念，使读者可迅速找到和引起注意。

(3) 丰富的示例和应用

只要有合适的场合，我们就用示例来阐明书中给出的有关概念。此外，我们在每一章都安排了许多实际生活中的应用，以利于读者学习。

(4) 协议软件包

虽然我们并不试图给出每种协议详细的实现代码,但在许多章还是包括了专门的一节,用来讨论每种协议的实现的一般思想。这些内容可帮助理解每一种协议的思路和问题。这些节可作为选读内容。

(5) 重要术语

在每一章的最后列出了这一章用过的新术语。这些术语的定义包含在词汇表中。

(6) 小结

每一章有这章内容的小结。小结是该章所有重点内容的归纳。

(7) 练习题

各章章末都附有练习题,用来巩固重点的概念,同时鼓励学生应用这些练习题。练习题分为三个部分:多项选择问题、习题和编程练习。多项选择问题是测验学生对基本概念和术语的掌握情况。习题则需要对内容有更深入的了解。编程练习则要求学生或读者学过一门或两门 C 语言或类似语言的编程课程。这些练习是为打算学习客户-服务器编程课程的学生使用的。

(8) 附录

附录的作用是迅速找到参考内容,或为理解本书中的概念需要而复习一些内容。

(9) 词汇表

词汇表包含本书使用的许多词汇和缩写词。

3. 怎样使用本书

本书是为学校学生和专业人员编写的。它可作为感兴趣的专业人员的自学指导书。本书可用作一学期的教材。各章的组织有很大的灵活性。下面是一些建议:

- 如果学生已经学过数据通信和联网的课程,则可跳过第 1~3 章。
- 第 4~14 章对了解 TCP/IP 是至关重要的。
- 第 15~16 章可作为网络编程课程的简要入门。
- 对于一年分为两个学期的学制,第 17~25 章可详细讨论。
- 当时间受限时,第 26~30 章可略去。
- 第 31 章可自己灵活掌握。

4. 致谢

很显然,编写这样篇幅的书没有很多人的帮助是不可能的。我们在第 1 版的序言中对许多人的贡献表示了感谢。对于第 2 版,我们要感谢许多同行审阅人对编写本书的贡献。我们必须特别感谢以下一些审阅人:

- Walter Read, 加利福尼亚州立大学, 弗雷斯诺 (California State University, Fresno)
- Wayne D. Smith, 密西西比州立大学 (Mississippi State University)
- Ronald R. Srodawa, 奥克兰大学 (Oakland University)
- Rod Fatoohi, 圣何塞州立大学 (San Jose State University)
- Abdullah Abonamah, 阿克伦大学 (University of Akron)
- Douglas Jacobson, 衣阿华州立大学 (Iowa State University)

- Sam C. Hsu, 佛罗里达大西洋大学 (Florida Atlantic University)
- Dale Liu, 印第安纳大学-印第安纳波利斯 (Indiana University-Indianapolis)
- Dennis Karvelas, 新泽西技术学院 (New Jersey Institute of Technology)

特别要感谢麦格劳-希尔(McGraw-Hill)公司的工作人员。我们的出版者 Besty Jones 证明了熟练的出版者可以把不可能的事情变为可能。只要我们需要, 开发编辑 Emily Lupash 就会给我们提供帮助。我们的项目经理 Sheila Frank 在本书的出版过程中一直以极大的热情领导着我们。我们还要对 Sherry Kane 在成书过程中和 Rick Noel 在设计上的贡献, 并对文稿编辑 Barbara Somogyi 的工作一起表示感谢。

我们还要特别感谢 Andy Yu, 他从技术上审阅了本书的内容。

5. 商标介绍

在本书中我们使用了许多商标。我们在每一次提到商标名字时没有插入商标符号, 因此我们感谢这些商标拥有者, 并且声明我们没有对它们进行侵权的意图。其他的产品名称、商标、注册商标等都是其拥有者的财产。下面是对本书所使用的商标的说明:

- Apple、AppleTalk、EtherTalk、LocalTalk、TokenTalk, 以及 Macintosh 是苹果计算机公司的注册商标。
- Bell 和 StarLan 是 AT&T 的注册商标。
- DEC、DECnet、VAX、以及 DNA 是数字设备公司的注册商标。
- IBM、SDLC、SNA, 以及 IBM PC 是 IBM(国际商用机器公司)的注册商标。
- Novell, Netware、IPX、以及 SPX 是 Novell 公司的注册商标。
- Network File System 和 NFS 是 Sun Microsystems 公司的注册商标。
- PostScript 是 Adobe 系统公司的注册商标。
- UNIX 是 UNIX 系统实验室公司(是 Novell 公司完全拥有的子公司)的注册商标。
- Xerox 是商标, 而 Ethernet 是 Xerox 公司的注册商标。

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 Internet 简史	1
1.1.1 ARPANET	1
1.1.2 Internet 的诞生	2
1.1.3 传输控制协议/网际协议(TCP/IP)	2
1.1.4 MILNET	2
1.1.5 CSNET	2
1.1.6 NSFNET	3
1.1.7 ANSNET	3
1.1.8 今日的 Internet	3
1.1.9 大事记	4
1.1.10 Internet 的增长	5
1.2 协议和标准	5
1.2.1 协议	5
1.2.2 标准	6
1.3 标准化机构	6
1.3.1 标准创建委员会	6
1.3.2 论坛	7
1.3.3 管理机构	7
1.4 Internet 标准	7
1.4.1 成熟等级	8
1.4.2 需求等级	9
1.5 Internet 的管理机构	9
1.5.1 Internet 协会(ISOC)	10
1.5.2 Internet 体系结构研究委员会(IAB)	10
1.5.3 Internet 工程部(IETF)	10
1.5.4 Internet 研究部(IRTF)	11
1.5.5 Internet 赋号管理局(IANA)和 Internet 名字与号码指派公司(ICANN)	11
1.5.6 网络信息中心(NIC)	11
1.6 重要术语	11
1.7 小结	12
1.8 练习题	13

1.8.1 多项选择	13
1.8.2 习题	14
第2章 OSI模型和TCP/IP协议族	15
2.1 OSI模型	15
2.1.1 层次体系结构	16
2.1.2 对等进程	16
2.2 OSI模型中的层次	18
2.2.1 物理层	18
2.2.2 数据链路层	19
2.2.3 网络层	20
2.2.4 传输层	21
2.2.5 会话层	22
2.2.6 表示层	23
2.2.7 应用层	24
2.2.8 各层的小结	24
2.3 TCP/IP协议族	25
2.3.1 物理层和数据链路层	26
2.3.2 网络层	26
2.3.3 传输层	27
2.3.4 应用层	27
2.4 编址	27
2.4.1 物理地址	28
2.4.2 Internet地址	29
2.4.3 端口地址	30
2.5 TCP/IP的版本	31
2.5.1 版本4	31
2.5.2 版本5	32
2.5.3 版本6	32
2.6 重要术语	32
2.7 小结	34
2.8 练习题	34
2.8.1 多项选择	34
2.8.2 习题	36
第3章 底层技术	38
3.1 局域网(LAN)	38
3.1.1 以太网	39
3.1.2 令牌环	44

3.1.3 无线局域网	46
3.2 点对点广域网	49
3.2.1 物理层	49
3.2.2 数据链路层	52
3.3 交换的广域网	53
3.3.1 X.25	53
3.3.2 帧中继	54
3.3.3 ATM	55
3.3.4 ATM 局域网	58
3.4 连接设备	62
3.4.1 转发器	62
3.4.2 网桥	63
3.4.3 路由器	64
3.4.4 交换机	66
3.5 重要术语	66
3.6 小结	69
3.7 练习题	70
3.7.1 多项选择	70
3.7.2 习题	71
3.7.3 编程练习	72
第 4 章 IP 编址：分类编址	73
4.1 引言	73
4.1.1 地址空间	73
4.1.2 记法	74
4.2 地址的种类	75
4.2.1 辨认类	76
4.2.2 Net-id 和 Host-id	78
4.2.3 类和块	79
4.2.4 网络地址	82
4.2.5 足够的信息	82
4.2.6 掩码	83
4.2.7 地址耗尽	85
4.3 其他问题	85
4.3.1 连接多个网络的设备	85
4.3.2 位置不是名字	85
4.3.3 特殊地址	85
4.3.4 专用地址	89

4.3.5 单播、多播和广播地址	89
4.4 分类地址的互联网实例	91
4.5 重要术语	92
4.6 小结	93
4.7 练习题	93
4.7.1 多项选择	93
4.7.2 习题	96
4.7.3 编程练习	99
第5章 划分子网/构成超网和无分类编址	101
5.1 划分子网	101
5.1.1 三级层次结构	102
5.1.2 子网掩码	103
5.1.3 划分子网的特殊地址	105
5.1.4 设计子网	105
5.1.5 变长子网掩码	108
5.2 构成超网	108
5.2.1 指派地址	109
5.2.2 超网掩码	110
5.3 无分类编址	111
5.3.1 可变长度块	112
5.3.2 找出网络地址	115
5.3.3 划分子网	115
5.3.4 构成超网	117
5.3.5 演变	117
5.3.6 无分类域间路由选择(CIDR)	117
5.4 重要术语	117
5.5 小结	118
5.6 练习题	118
5.6.1 多项选择	118
5.6.2 习题	120
5.6.3 编程练习	123
第6章 IP分组的交付和路由选择	124
6.1 面向连接和无连接服务	124
6.2 直接交付和间接交付	124
6.2.1 直接交付	124
6.2.2 间接交付	125
6.3 路由选择的方法	126

6.3.1	下一跳路由选择	126
6.3.2	特定网络路由选择	126
6.3.3	特定主机路由选择	127
6.3.4	默认路由选择	127
6.4	静态和动态路由选择	128
6.4.1	静态路由表	128
6.4.2	动态路由表	128
6.5	路由表和路由选择模块	128
6.5.1	路由表	129
6.5.2	路由选择模块	130
6.5.3	举例	130
6.6	无分类编址: CIDR	134
6.6.1	路由表的大小	135
6.6.2	分层次的路由选择	135
6.6.3	分地区路由选择	135
6.6.4	路由表的搜索算法	136
6.7	重要术语	136
6.8	小结	137
6.9	练习题	138
6.9.1	多项选择	138
6.9.2	习题	139
6.9.3	编程练习	140
第7章	ARP 和 RARP	141
7.1	ARP	142
7.1.1	分组格式	143
7.1.2	封装	144
7.1.3	操作	144
7.1.4	ATM 上的 ARP	146
7.1.5	代理 ARP	147
7.2	ARP 软件包	147
7.2.1	高速缓存表	148
7.2.2	队列	149
7.2.3	输出模块	149
7.2.4	输入模块	150
7.2.5	高速缓存控制模块	150
7.2.6	举例	151
7.3	RARP	153

7.3.1 分组格式	154
7.3.2 封装	155
7.3.3 RARP 的另一种解决方法	155
7.4 重要术语	155
7.5 小结	155
7.6 练习题	156
7.6.1 多项选择	156
7.6.2 习题	157
7.6.3 编程练习	158
第 8 章 网际协议(IP)	159
8.1 数据报	159
8.2 分段	165
8.2.1 最大传送单元(MTU)	165
8.2.2 与分段有关的字段	166
8.3 选项	169
8.3.1 格式	169
8.3.2 选项类型	170
8.4 检验和	175
8.4.1 发送端的检验和计算	175
8.4.2 接收端的检验和计算	176
8.4.3 IP 分组中的检验和	176
8.5 IP 软件包	178
8.5.1 添加首部模块	178
8.5.2 处理模块	179
8.5.3 队列	179
8.5.4 路由表	179
8.5.5 路由选择模块	180
8.5.6 MTU 表	180
8.5.7 分段模块	180
8.5.8 重装表	181
8.5.9 重装模块	181
8.6 重要术语	182
8.7 小结	183
8.8 练习题	183
8.8.1 多项选择	183
8.8.2 习题	185
8.8.3 编程练习	186

第 9 章 Internet 控制报文协议(ICMP)	188
9.1 报文类型	189
9.2 报文格式	189
9.3 差错报告	190
9.3.1 目的端不可达	191
9.3.2 源端抑制	192
9.3.3 超时	193
9.3.4 参数问题	194
9.3.5 改变路由	195
9.4 查询	196
9.4.1 回送请求和回答	196
9.4.2 时间戳请求和回答	197
9.4.3 地址掩码请求和回答	199
9.4.4 路由器询问和通告	199
9.5 检验和	200
9.5.1 检验和的计算	200
9.5.2 检验和的测试	201
9.5.3 举例	201
9.6 ICMP 软件包	201
9.6.1 输入模块	202
9.6.2 输出模块	202
9.7 重要术语	203
9.8 小结	203
9.9 练习题	204
9.9.1 多项选择	204
9.9.2 习题	207
第 10 章 Internet 组管理协议(IGMP)	210
10.1 组管理	210
10.2 IGMP 报文	210
10.3 IGMP 的操作	211
10.3.1 加入一个组	212
10.3.2 退出一个组	213
10.3.3 监视成员关系	213
10.4 封装	215
10.4.1 IP 层	216
10.4.2 数据链路层	217
10.5 IGMP 软件包	218

10.5.1	组表	218
10.5.2	计时器	219
10.5.3	组加入模块	219
10.5.4	组退出模块	220
10.5.5	输入模块	220
10.5.6	输出模块	221
10.6	重要术语	221
10.7	小结	222
10.8	练习题	222
10.8.1	多项选择	222
10.8.2	习题	225
10.8.3	编程练习	227
第 11 章	用户数据报协议(UDP)	228
11.1	进程到进程的通信	229
11.1.1	端口号	229
11.1.2	套接字地址	232
11.2	用户数据报	232
11.3	检验和	233
11.3.1	发送端的检验和计算	234
11.3.2	接收端的检验和计算	234
11.3.3	举例	234
11.3.4	检验和的可选使用	235
11.4	UDP 的操作	235
11.4.1	无连接服务	235
11.4.2	流量控制和差错控制	235
11.4.3	封装和拆装	236
11.4.4	排队	236
11.4.5	复用和分用	237
11.5	UDP 的使用	238
11.6	UDP 软件包	239
11.6.1	控制块表	239
11.6.2	输入队列	239
11.6.3	控制块模块	239
11.6.4	输入模块	240
11.6.5	输出模块	240
11.6.6	举例	241
11.7	重要术语	242

11.8 小结	243
11.9 练习题	243
11.9.1 多项选择	243
11.9.2 习题	246
11.9.3 编程练习	248
第 12 章 传输控制协议(TCP)	249
12.1 进程到进程的通信	250
12.1.1 端口地址	250
12.1.2 套接字地址	251
12.2 TCP 的服务	252
12.2.1 流交付服务	252
12.2.2 全双工服务	253
12.2.3 面向连接服务	253
12.2.4 可靠服务	254
12.3 给字节编号	254
12.3.1 字节号	254
12.3.2 序号	254
12.3.3 确认号	255
12.4 流量控制	255
12.5 糊涂窗口综合症	258
12.5.1 发送端产生的症状	259
12.5.2 接收端产生的症状	259
12.6 差错控制	260
12.7 TCP 的计时器	262
12.7.1 重传计时器	263
12.7.2 坚持计时器	264
12.7.3 保活计时器	264
12.7.4 时间等待计时器	264
12.8 拥塞控制	265
12.8.1 拥塞窗口	265
12.8.2 拥塞避免	265
12.9 报文段	267
12.10 选项	269
12.11 检验和	271
12.12 连接	272
12.12.1 连接建立	272
12.12.2 连接终止	273