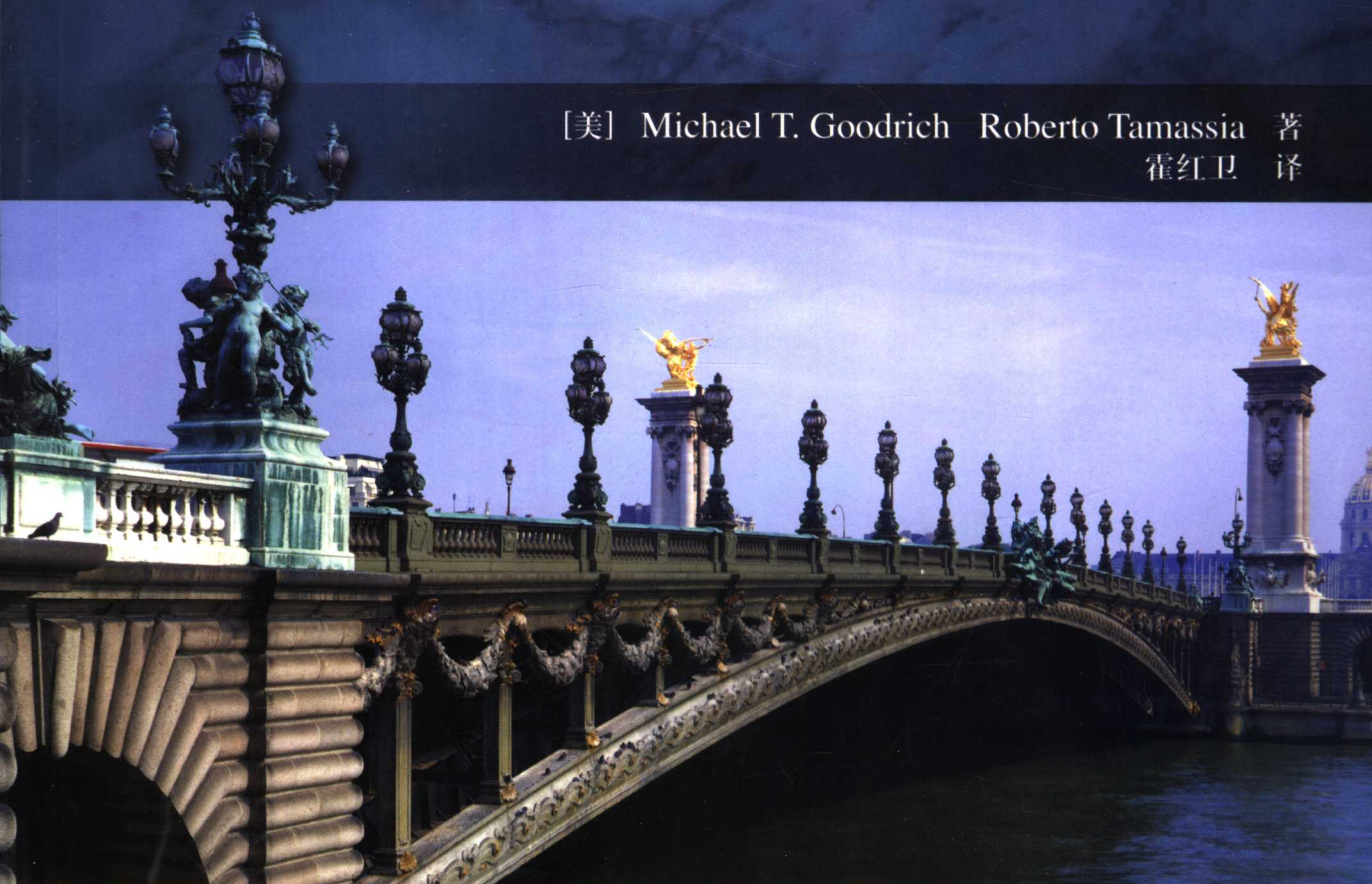


算法分析与设计

Algorithm Design

Foundations, Analysis, and Internet Examples

[美] Michael T. Goodrich Roberto Tamassia 著
霍红卫 译



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

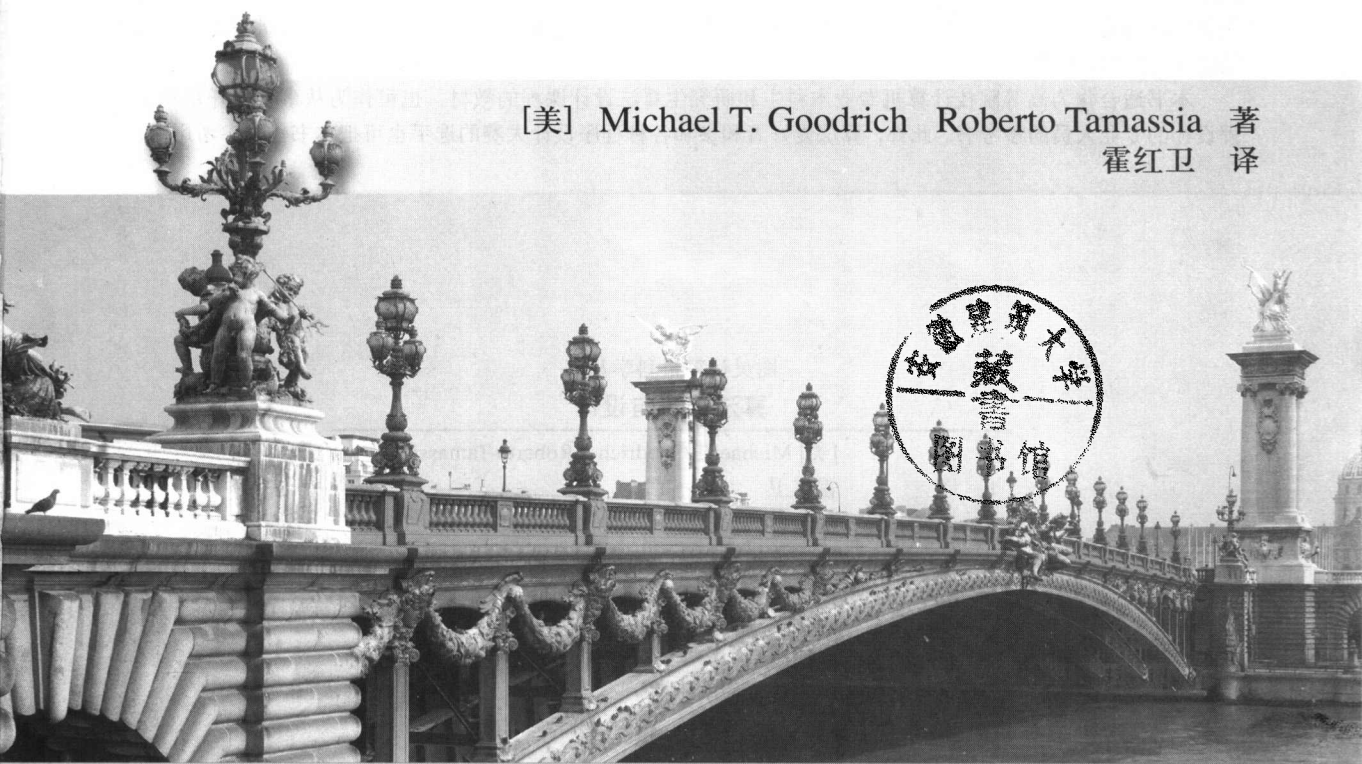
图灵计算机科学丛书

算法分析与设计

Algorithm Design

Foundations, Analysis, and Internet Examples

[美] Michael T. Goodrich Roberto Tamassia 著
霍红卫 译



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

算法分析与设计 / (美) 古德里奇 (Goodrich, M.T.) (美) 塔玛西亚 (Tamassia, R.) 著;
霍红卫译. —北京: 人民邮电出版社, 2006.10
(图灵计算机科学丛书)

ISBN 7-115-15054-0

I. 算... II. ①古...②塔...③霍... III. ①电子计算机—算法分析②电子计算机—算法设计 IV. TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 084591 号

内 容 提 要

本书系统地阐述了算法设计的方法、技术和应用实例。全书内容包括基础算法、基本数据结构、基本算法设计技术、图算法、网络流和匹配、文本处理算法、数论算法、网络算法、NP完全性、近似算法、回溯法和分枝限界法、外存算法、并行算法和在线算法。Java实现示例覆盖了软件设计方法、面向对象实现问题和算法的实验性分析。这些典型问题的Java应用示例分布在不同的章节中。此外,书中以大量图例说明算法的工作过程,使算法更加易于理解和掌握。

本书适合作为高等院校计算机专业本科生和研究生算法设计课程的教材,也可作为从事软件开发和工程设计的专业人员的参考书。此外,算法爱好者和参加各种程序设计大赛的选手也可把本书作为参考用书。

图灵计算机科学丛书

算法分析与设计

-
- ◆ 著 [美] Michael T. Goodrich Roberto Tamassia
 - 译 霍红卫
 - 责任编辑 杨海玲
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
 - 邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 北京鸿佳印刷厂印刷
 - 新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 31.5
 - 字数: 845 千字 2006 年 10 月第 1 版
 - 印数: 1—4 000 册 2006 年 10 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2005-5221 号

ISBN 7-115-15054-0/TP · 5579

定价: 55.00 元

读者服务热线: (010)88593802 印装质量热线: (010)67129223

版 权 声 明

Original edition, entitled *Algorithm Design: Foundations, Analysis, and Internet Examples*, by Michael T. Goodrich and Roberto Tamassia, ISBN 0-471-38365-1, published by Wiley Publishing, Inc. Copyright © 2002 John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved. This translation published under license.

Translation edition published by POSTS & TELECOM PRESS Copyright 2006.

Java® is a trademark of Sun Microsystems, Inc.

Unix® is a registered trademark in the United States and other countries, licensed through X/Open Company, Ltd.

All other product names mentioned herein are the trademarks of their respective owners.

本书简体中文版由Wiley Publishing, Inc.授权人民邮电出版社独家出版。

版权所有，侵权必究。

译者序

本书是算法分析与设计方面的优秀著作。它系统地阐述了算法设计的方法、技术和应用实例。书的内容具有一定的深度和广度，包括基础算法、基本数据结构、基本算法设计技术、图算法、网络流和匹配、文本处理算法、数论算法、网络算法、NP完全性、近似算法、回溯法和分枝限界法、外存算法、并行算法和在线算法。

算法设计一直是备受广泛关注的研究主题。这本教科书介绍了算法设计研究领域的最新进展。因特网示例展示了传统算法在因特网领域中的应用。

本书分算法基础（第1章～第5章）、图算法（第6章～第8章）、因特网算法（第9章～第11章）和高级主题（第12章～第14章）四个部分。本书主要内容及特点如下：

- 把数据结构和算法设计方法与应用实例紧密联系在一起。相关例子包括栈在Web浏览器中的应用，集合求交集算法在因特网搜索引擎中的应用、图模型在面向对象程序及因特网中的表示。
 - 因特网中的大量问题促进了新算法的研究和传统算法的应用。相关的例子包括信息检索、Web爬行、数据分组路由、Web拍卖算法和Web高速缓存算法。通过因特网应用算法主题大大提高了学生对学习算法的兴趣。
 - 在文本处理一章中全面介绍了涉及trie的各种数据结构，以及它们在搜索引擎中的应用。
 - Java实现示例，覆盖了软件设计方法、面向对象实现问题和算法的实验性分析。这些典型问题的Java应用示例分布在不同的章节中。
 - 以深入浅出的方式介绍了NP完全性理论，引入了P类问题和NP类问题的定义。通过网络路由器最优配置问题、网络服务器带宽优化问题和因特网站点拍卖问题等现实中的具体问题，说明为什么要研究NP完全问题。同时给出了许多重要的NP完全问题的实例。讨论了近似算法在NP完全问题中的应用。
 - 书中习题分为三类，一类是基础题，用于巩固所学概念和方法，另一类是需要一些综合知识才能求解的创新题，最后一类是结合所学方法和应用问题的程序设计题。
 - 本书以大量图例说明算法的工作过程，使得算法更加易于理解和掌握。
- 由于时间紧迫及译者水平有限，译文难免有错误及不妥之处，恳请读者批评指正。

霍红卫

西安电子科技大学计算机学院

2006年8月

前言

本书旨在全面介绍计算机算法设计与分析和数据结构的内容。依据计算机科学和计算机工程的课程设置，本书主要适用于大学三年级或四年级，或者某些学校一年级研究生的算法课程。

涵盖的主题

本书涵盖了离散算法设计与分析领域的内容，取材广泛，包括下面几个方面。

- **算法设计与分析**，包括渐近表示、最坏情况分析、平摊分析、随机分析和实验分析。
- **算法设计方法**，包括贪心法、分治法、动态规划、回溯法和分枝限界法。
- **算法框架**，包括NP完全性、近似算法、在线算法、外存算法、分布式算法和并行算法。
- **数据结构**，包括表、向量、树、优先队列、AVL树、(2, 4)树、红黑树、伸展树、B树、散列表、跳跃表、合并寻找树。
- **组合算法**，包括堆排序、快速排序、归并排序、选择、并行表排列和并行排序。
- **图算法**，包括遍历（DFS和BFS）、拓扑排序、最短路径（所有点对最短路径和单源点最短路径）、最小生成树、最大流、最小代价流和匹配问题。
- **几何算法**，包括范围查找、凸包、线段相交和最近点对问题。
- **数值算法**，包括整数相乘、矩阵相乘和多项式相乘、快速傅里叶变换（FFT）、扩展的Euclid算法、模求幂和素性测试。
- **因特网算法**，包括分组路由、多播、领导人选举、加密、数字签名、文本模式匹配、信息检索、数据压缩、Web高速缓存和Web拍卖。

致教师

本书主要用作高年级算法课程的教科书，也可用作某些学校一年级研究生算法课程的教材。本书习题量大，可分为基础题、创新题和程序设计。本书专门针对教学做出了如下安排：

- **可视化证明**（即图形化证明），使学生更易于理解数学公式。可视化证明的一个例子是分析自底向上构造堆的过程。传统上这部分内容对于学生而言是很难理解的，因此教师要花相当多的时间进行解释。本书包含的可视化证明直观、严谨和快速。
- **算法设计方法**，提供了算法设计和实现的一般性技术。例子包括分治法、动态规划、修饰模式和模板方法模式。
- **使用随机技术**，算法中利用随机选择简化其设计与分析。这种用法用对简单数据结构和算法的直观分析，代替了复杂数据结构的复杂平均情况分析。例子包括跳跃表、随机化快速排序、随机化快速选择和随机化素性测试。
- **因特网算法主题**，既从新的因特网观点激发了传统算法主题，同时又强调因特网的应用引出的新算法。例子包括信息检索、Web爬行、分组路由、Web拍卖算法和Web高速缓存算法。通过因特网应用算法主题大大提高了学生对学习算法的兴趣。
- **Java实现示例**，覆盖软件设计方法、面向对象实现问题和算法的实验性分析。这些实现

示例分布在不同的章节中。教师可以从中进行选取，既可在课堂上讲授，又可作为附加阅读材料，也可以一带而过。

本书结构合理，给予教师充分的自由来组织和介绍内容。同样，每章之间的相关性相当灵活，教师可以定制算法课程，突出他们认为重要的部分。我们还广泛讨论了因特网算法主题，结果表明学生对这部分内容相当感兴趣。此外，在许多地方还包括了传统算法在因特网中应用的示例。

表0-1说明了如何在传统算法导论课程中使用本书，其中有些主题是因特网应用引出的。

表0-1 传统算法导论课程的大纲计划，每章包括可选部分

章	主 题	选 讲
1	算法分析	实验分析
2	数据结构	堆Java示例
3	查找	3.2~3.5节中的一节
4	排序	原位快速排序
5	算法技术	FFT算法
6	图算法	DFS算法Java示例
7	加权图	Dijkstra算法Java示例
8	匹配和流	课程结束时包括
9	文本处理（至少一节）	trie
12	计算几何	课程结束时包括
13	NP完全性	回溯
14	框架（至少一节）	课程结束时包括

本书还可专门用于因特网算法课程，它回顾了传统算法主题，但这是从因特网的角度进行的，同时还涵盖了源于因特网应用的新的算法主题。表0-2说明了如何将本书用于因特网算法课程。

表0-2 因特网算法课程的大纲计划，每章包括可选部分

章	主 题	选 讲
1	算法分析	实验分析
2	数据结构（包括散列法）	快速回顾
3	查找（包括3.5节，跳跃表）	搜索树Java示例
4	排序	原位快速排序
5	算法技术	FFT算法
6	图算法	DFS算法Java示例
7	加权图	跳过—个MST算法
8	匹配和流	匹配算法
9	文本处理	模式匹配
10	安全和密码学	Java示例
11	网络算法	多播算法
13	NP完全性	课程结束时包括
14	框架（至少2节）	课程结束时包括

当然也可以有其他选择，比如，将传统算法课程和因特网算法课程结合起来。对此，这里不做过多讨论，感兴趣的教师可以进行独创性的安排。

网上增值教辅

本书配套网站如下：

<http://www.wiley.com/college/goodrich>

这个网站包含大量教辅信息，增加了本书的主题。特别为学生提供了如下信息：

- 本书大部分主题的演示文稿课件（一页4张幻灯片的格式）。
- 所选作业的提示数据库，并按题号索引。
- 交互式Java小程序（applet），动态模拟基本数据结构和算法。
- 本书Java示例的源代码。

我们感觉其中的提示应该是很有趣的，尤其是对于创新题，这些习题对于某些学生具有相当大的挑战性。

对于使用本书作为教材的教师，本网站还专为其提供了一部分内容，其中包括如下教辅材料：

- 本书中的部分习题的答案。
- 附加习题及其答案的数据库。
- 本书大部分主题的演示文稿课件（一页1张的格式）。

对数据结构和算法实现感兴趣的读者可从<http://www.jdsl.org>下载JDSL，即*Data Structure Library in Java*。

预备知识

本书假定读者掌握基本数据结构，如数组和链表，并且至少熟悉一种高级程序设计语言，如C、C++或Java。不过，书中所有算法均用高级伪代码描述，特定的程序设计语言仅在所选的Java实现示例中使用。

关于数学背景，假设读者熟悉大学一年级的数学课程，包括指数、对数、求和、极限和基本概率知识。即便如此，我们仍在第1章中回顾了其中大部分数学知识，包括指数、对数和求和，并且在附录A中总结了其他有用的数学知识，包括概率基础。

致谢

许多人对本书给予了帮助。特别要感谢Jeff Achter、Ryan Baker、Devin Borland、Ulrik Brandes、Stina Bridgeman、Robert Cohen、David Emory、Devid Ginat、Natasha Gelfand、Mark Handy、Benoît Hudson、Jeremy Mullendore、Daniel Polivy、John Schultz、Andrew Schwerin、Michael Shin、Galina Shubina和Luca Vismara。

非常感谢我们以前的助教帮助开发了习题、程序设计作业和算法动画系统。许多朋友和同事对本书给出了有益的评述，使本书不断完善。我们特别要感谢Karen Goodrich、Eugene Luks、Art Moorshead和Scott Smith富有洞察力的评论。同时还要真挚感谢那些不知名的审阅人给予的详细而又富有建设性的批评，他们的评论非常有用。

感谢编辑Paul Crockett和Bill Zobrist对于本书给予的热情支持。Wiley的产品组一直非常优秀。还要感谢那些在本书的编写过程中给予帮助的人。他们是Susannah Barr、Katherine Hepburn、Bonnie Kubat、Sharon Prendergast、Marc Ranger、Jeri Warner和Jennifer Welter。

书稿中的文本主要用L^AT_EX完成，图片用Adobe FrameMaker®和Visio®完成。LGrind系统用于

将Java代码段格式化成 $\text{\LaTeX}$ 。CVS版本控制系统理顺了我们（有时并发）的文件编辑工作。

最后，我们还要热情地感谢Isabel Cruz、Karen Goodrich、Giuseppe Di Battista、Franco Preparata、Ioannis Tollis和我们的父母，他们在本书的准备过程中一直在给我们提供建议、鼓励和支持。同时感谢他们提醒我们在写作之余，好好地享受生活。

Michael T. Goodrich

Roberto Tamassia

作者简介

Goodrich教授和Tamassia教授是数据结构和算法领域的著名学者，在该领域发表了涉及因特网计算、信息可视化、地理信息系统和计算机安全等方面的多篇论文。他们的研究得到美国国家自然科学基金、陆军研究办公室以及美国国防部高级研究计划署的支持。同时在教育技术领域，他们在算法可视化系统和支持远程教育的基础设施方面也相当活跃。

Michael Goodrich于1987年从普度大学获得计算机科学博士学位，目前是加州大学（欧文分校）信息和计算机科学学院计算机科学系的教授，网络安全与隐私中心主任。此前，他是约翰·霍普金斯大学计算机科学系的教授，同时也是霍普金斯算法工程中心的主任。Goodrich教授是*International Journal of Computational Geometry & Applications*、*Journal of Computational and System Sciences*和*Journal of Graph Algorithms and Applications*等学术刊物的编委。

Roberto Tamassia于1988年从伊利诺伊大学（Urbana-Champaign）获得电子和计算机工程博士学位，目前他是布朗大学计算机科学系的教授和几何计算中心的主任。Tamassia教授是*Computational Geometry: Theory and Applications*、*Journal of Graph Algorithms and Applications*的编委，曾经担当过*IEEE Transactions on Computers*的编委。

除了在研究方面所取得的成就之外，两位作者在教学方面也经历颇丰。自1987年以来，Goodrich博士一直从事数据结构和算法方面的教学工作，为大学一、二年级学生开设数据结构课程，为高年级学生开设算法导论课程，并多次获得教学成果奖。他的教学风格生动，通过课堂上和学生互动，使学生对于数据结构和算法设计技术既有直观的了解，又有相当深入的认识，同时在进行算法分析时又不失数学的严谨。自1988年以来，Tamassia博士一直为大学低年级学生开设数据结构和算法导论课程。他在布朗大学为研究生开设的计算几何课程广受学生的好评，也吸引了众多的学生，包括本科生。在教学中，继续沿用布朗大学“电子课堂”的传统，还有效地利用交互式超媒体演示，使其教学风格独树一帜。由Tamassia博士精心设计的课程网页已经广泛用作全世界的学生和专业人员的参考材料。

目 录

第一部分 基础工具

第1章 算法分析..... 2

1.1 算法的分析方法学..... 2	
1.1.1 伪代码..... 4	
1.1.2 随机存取机 (RAM) 模型..... 5	
1.1.3 统计基本操作的数量..... 6	
1.1.4 递归算法分析..... 7	
1.2 渐近符号..... 8	
1.2.1 大O符号..... 8	
1.2.2 与大“O”相关的渐近符号..... 10	
1.2.3 渐近表示的重要性..... 12	
1.3 数学概览..... 13	
1.3.1 求和..... 13	
1.3.2 对数和指数..... 14	
1.3.3 简单证明技术..... 16	
1.3.4 概率基础..... 18	
1.4 算法分析案例研究..... 20	
1.4.1 二次时间前缀平均值算法..... 21	
1.4.2 线性时间前缀平均值算法..... 22	
1.5 平摊方法..... 22	
1.5.1 平摊技术..... 23	
1.5.2 扩展数组实现分析..... 25	
1.6 实验..... 28	
1.6.1 实验组织..... 28	
1.6.2 数据分析和可视化..... 29	
1.7 习题..... 31	
基础题..... 31	
创新题..... 33	
程序设计..... 35	
1.8 本章笔记..... 36	

第2章 基本数据结构..... 37

2.1 栈和队列..... 37	
2.1.1 栈..... 37	
2.1.2 队列..... 40	
2.2 向量、表和序列..... 43	

2.2.1 向量..... 43	
2.2.2 表..... 44	
2.2.3 序列..... 48	
2.3 树..... 49	
2.3.1 树抽象数据类型..... 51	
2.3.2 树的遍历..... 52	
2.3.3 二叉树..... 55	
2.3.4 表示树的数据结构..... 60	
2.4 优先队列和堆..... 62	
2.4.1 优先队列抽象数据类型..... 63	
2.4.2 PQ排序、选择排序和插入排序..... 64	
2.4.3 堆数据结构..... 66	
2.4.4 堆排序..... 71	
2.5 字典与散列表..... 76	
2.5.1 无序字典ADT..... 76	
2.5.2 散列表..... 77	
2.5.3 散列函数..... 78	
2.5.4 压缩映射..... 80	
2.5.5 冲突处理模式..... 80	
2.5.6 通用散列..... 83	
2.6 Java示例：堆..... 85	
2.7 习题..... 87	
基础题..... 87	
创新题..... 89	
程序设计..... 91	
2.8 本章笔记..... 91	

第3章 查找树和跳跃表..... 93

3.1 有序字典和二叉查找树..... 94	
3.1.1 有序表..... 94	
3.1.2 二叉查找树..... 96	
3.1.3 二叉查找树中的查找..... 96	
3.1.4 二叉查找树中的插入..... 98	
3.1.5 二叉查找树中的删除..... 99	
3.1.6 二叉查找树的性能..... 100	
3.2 AVL树..... 101	
3.2.1 更新操作..... 102	

3.2.2 性能	105
3.3 深度有界查找树	106
3.3.1 多路查找树	106
3.3.2 (2,4)树	108
3.3.3 红黑树	113
3.4 伸展树	123
3.4.1 伸展	123
3.4.2 伸展过程的平摊分析	128
3.5 跳跃表	131
3.5.1 查找	132
3.5.2 更新操作	133
3.5.3 跳跃表的概率分析	135
3.6 Java示例: AVL树和红黑树	136
3.6.1 AVL树的Java实现	138
3.6.2 红黑树的Java实现	141
3.7 习题	143
基础题	143
创新题	144
程序设计	145
3.8 本章笔记	146

第4章 排序、集合和选择

4.1 归并排序	147
4.1.1 分治法	148
4.1.2 归并排序和递归方程	151
4.2 集合抽象数据类型	152
4.2.1 简单的集合实现	152
4.2.2 具有union-find操作的划分	153
4.2.3 基于树的划分实现	154
4.3 快速排序	159
4.4 基于比较的排序下界	162
4.5 桶排序和基数排序	163
4.5.1 桶排序	163
4.5.2 基数排序	164
4.6 比较排序算法	165
4.7 选择	166
4.7.1 剪枝-查找法	166
4.7.2 随机化快速选择	166
4.7.3 随机化快速选择分析	167
4.8 Java示例: 原位快速排序	168
4.9 习题	170
基础题	170

创新题	171
程序设计	172

4.10 本章笔记	173
-----------------	-----

第5章 基本技术

5.1 贪心法	174
5.1.1 背包问题	175
5.1.2 任务调度	176
5.2 分治法	177
5.2.1 分治递归方程	177
5.2.2 整数相乘	182
5.2.3 矩阵相乘	183
5.3 动态规划	185
5.3.1 矩阵链乘	185
5.3.2 一般技术	187
5.3.3 0-1背包问题	188
5.4 习题	190
基础题	190
创新题	191
程序设计	191
5.5 本章笔记	192

第二部分 图算法

第6章 图

6.1 图抽象数据类型	194
6.2 图的数据结构	199
6.2.1 边表结构	199
6.2.2 邻接表结构	201
6.2.3 邻接矩阵结构	203
6.3 图的遍历	204
6.3.1 深度优先查找	204
6.3.2 双连通分量	206
6.3.3 广度优先查找	211
6.4 有向图	213
6.4.1 遍历有向图	214
6.4.2 传递闭包	216
6.4.3 DFS和垃圾收集	218
6.4.4 有向无环图	219
6.5 Java示例: 深度优先查找	222
6.5.1 修饰模式	222
6.5.2 DFS引擎	223

6.5.3 模板方法设计模式	224	8.6 习题	281
6.6 习题	227	基础题	281
基础题	227	创新题	281
创新题	228	程序设计	282
程序设计	229	8.7 本章注记	282
6.7 本章注记	229		
第7章 加权图	230	第三部分 因特网算法	
7.1 单源点最短路径	231	第9章 文本处理	284
7.1.1 Dijkstra算法	231	9.1 串和模式匹配算法	284
7.1.2 Bellman-Ford最短路径算法	236	9.1.1 串操作	285
7.1.3 有向无环图中的最短路径	238	9.1.2 蛮力模式匹配	286
7.2 所有顶点对之间的最短路径	240	9.1.3 Boyer-Moore算法	287
7.2.1 动态规划最短路径算法	240	9.1.4 Knuth-Morris-Pratt算法	289
7.2.2 利用矩阵相乘计算最短路径	241	9.2 trie	292
7.3 最小生成树	244	9.2.1 标准trie	292
7.3.1 Kruskal算法	245	9.2.2 压缩trie	294
7.3.2 Prim-Jarník算法	249	9.2.3 后缀trie	295
7.3.3 Barůvka算法	251	9.2.4 搜索引擎	298
7.3.4 MST算法比较	253	9.3 文本压缩	298
7.4 Java示例: Dijkstra算法	253	9.3.1 赫夫曼编码算法	299
7.5 习题	256	9.3.2 修正贪心法	300
基础题	256	9.4 文本相似性测试	301
创新题	256	9.4.1 最长公共子序列问题	301
程序设计	257	9.4.2 应用动态规划求解LCS问题	301
7.6 本章注记	258	9.5 习题	303
第8章 网络流和匹配	259	基础题	303
8.1 流和割	260	创新题	304
8.1.1 流网络	260	程序设计	305
8.1.2 割	261	9.6 本章注记	305
8.2 最大流	262	第10章 数论和密码学	306
8.2.1 剩余容量和增大路径	262	10.1 与数有关的基本算法	306
8.2.2 Ford-Fulkerson算法	264	10.1.1 基本数论的一些事实	307
8.2.3 Ford-Fulkerson算法分析	266	10.1.2 欧几里得GCD算法	308
8.2.4 Edmonds-Karp算法	267	10.1.3 模运算	310
8.3 最大二分匹配	269	10.1.4 模指数运算	313
8.4 最小代价流	270	10.1.5 模乘法逆元	315
8.4.1 增大回路	271	10.1.6 素性测试	316
8.4.2 连续最短路径	272	10.2 密码计算	320
8.4.3 修改权值	273	10.2.1 对称加密模式	321
8.5 Java示例: 最小代价流	276	10.2.2 公钥密码系统	322

10.2.3	RSA密码系统	323
10.2.4	El Gamal密码系统	325
10.3	信息安全算法和协议	326
10.3.1	单向散列函数	326
10.3.2	时间戳和认证字典	327
10.3.3	硬币抛掷和比特承诺	327
10.3.4	安全电子传输 (SET) 协议	328
10.3.5	密钥分发和交换	329
10.4	快速傅里叶变换	330
10.4.1	本原单位根	332
10.4.2	离散傅里叶变换	333
10.4.3	快速傅里叶变换算法	335
10.4.4	大整数相乘	337
10.5	Java示例: FFT	339
10.6	习题	345
	基础题	345
	创新题	345
	程序设计	346
10.7	本章笔记	346
第 11 章	网络算法	348
11.1	复杂性测度和模型	349
11.1.1	网络协议栈	349
11.1.2	消息传递模型	349
11.1.3	网络算法的复杂性测度	350
11.2	基本分布式算法	351
11.2.1	环网上的领导人选举	351
11.2.2	树网上的领导人选举	354
11.2.3	广度优先查找	356
11.2.4	最小生成树	359
11.3	广播路由和单播路由	360
11.3.1	广播路由的洪泛算法	360
11.3.2	单播路由的距离矢量算法	361
11.3.3	单播路由的链路-状态算法	362
11.4	多播路由	363
11.4.1	逆向路径转发	363
11.4.2	中心树	364
11.4.3	Steiner树	365
11.5	习题	367
	基础题	367
	创新题	367
	程序设计	369

11.6	本章笔记	369
------	------	-----

第四部分 其他主题

第 12 章 计算几何

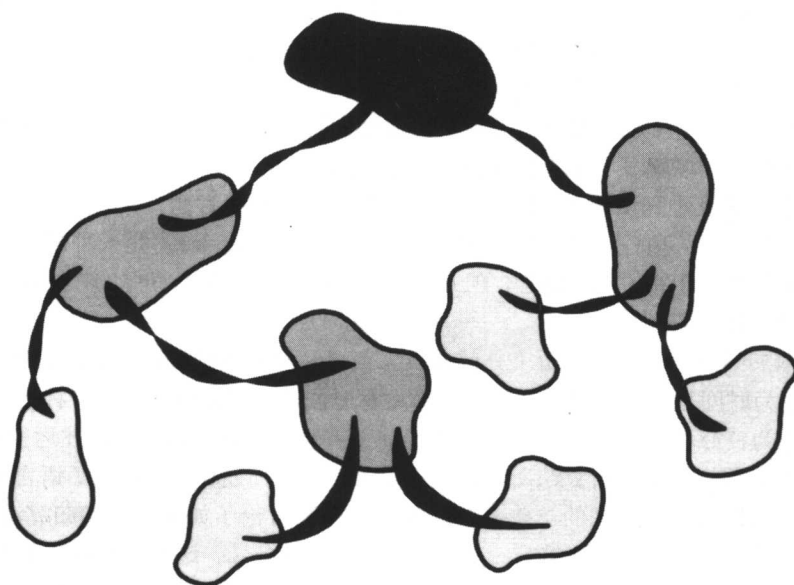
12.1	范围树	372
12.1.1	一维范围查找	373
12.1.2	二维范围查找	375
12.2	优先查找树	377
12.2.1	构造一棵优先查找树	378
12.2.2	优先查找树中的查找	378
12.2.3	优先范围树	380
12.3	四叉树和 k -d树	380
12.3.1	四叉树	381
12.3.2	k -d树	382
12.4	平面扫描技术	383
12.4.1	正交线段相交	383
12.4.2	查找最近点对	385
12.5	凸包	388
12.5.1	几何对象表示	388
12.5.2	点方位测试	389
12.5.3	凸包的基本性质	390
12.5.4	礼品包扎算法	392
12.5.5	Graham扫描算法	393
12.6	Java示例: 凸包	395
12.7	习题	398
	基础题	398
	创新题	398
	程序设计	400
12.8	本章笔记	400

第 13 章 NP 完全性

13.1	P类和NP类	402
13.1.1	定义复杂类P和复杂类NP	402
13.1.2	NP中的一些有趣问题	404
13.2	NP完全性	406
13.2.1	多项式时间归约和NP困难度	406
13.2.2	Cook-Levin定理	407
13.3	重要的NP完全问题	408
13.3.1	CNF-SAT和3SAT	410
13.3.2	VERTEX-COVER	412
13.3.3	CLIQUE和SET-COVER	413

13.3.4	SUBSET-SUM和KNAPSACK	415	14.2.1	并行计算模型	445
13.3.5	HAMILTONIAN-CYCLE 和TSP	417	14.2.2	简单并行分治法	446
13.4	近似算法	419	14.2.3	串行子集和Brent定理	447
13.4.1	多项式时间的近似模式	420	14.2.4	递归倍增	447
13.4.2	VERTEX-COVER的2-近似 算法	422	14.2.5	并行归并和排序	450
13.4.3	TSP特例的2-近似算法	423	14.2.6	找出凸多边形的直径	450
13.4.4	SET-COVER的对数近似算法	424	14.3	在线算法	452
13.5	回溯法和分枝限界法	426	14.3.1	高速缓存算法	452
13.5.1	回溯法	426	14.3.2	拍卖策略	457
13.5.2	分枝限界法	429	14.3.3	竞争查找树	458
13.6	习题	433	14.4	习题	461
	基础题	433		基础题	461
	创新题	434		创新题	461
	程序设计	435		程序设计	462
13.7	本章注记	435	14.5	本章注记	462
第 14 章	算法框架	437	附录 A	有用的数学知识	464
14.1	外存算法	437	A.1	对数和指数	464
14.1.1	分层的存储器管理	438	A.2	整型函数和关系	465
14.1.2	(a, b) 树和B树	440	A.3	求和	466
14.1.3	外存排序	443	A.4	有用的数学技术	467
14.2	并行算法	445	参考书目	468	
			索引	476	

基础工具





有一个经典的故事，国王要求著名数学家阿基米德确定工匠为其制作的皇冠是否是纯金的，而没有掺杂银。阿基米德在进入浴池的一霎那在浴池中找到了解决这个问题方法。他注意到水漫出浴池的量与他进入浴池的身体的体积成正比。明白这个事实蕴涵的道理后，他立即跑出浴池，裸奔穿过大街并大声喊道：“我找到了，我找到了！”因为他找到了一种分析工具（排水量），这种工具再加上一个简单的天平，就可以确定国王的新皇冠是否是纯金制成的。但是，这项发现对于金匠而言是不幸的，因为当阿基米德进行分析时，皇冠排出的水量比同等重量的纯金制品排出的水量要多，这就表明皇冠并非纯金制成。

本书着重研究设计“良好的”算法和数据结构。简言之，算法（algorithm）是一个在有限时间内逐步执行某项任务的过程，而数据结构（data structure）是一种系统地组织和访问数据的方法。这些都是计算的核心概念，但是为了能够确定什么是“良好的”算法和数据结构，就必须有精确的分析方法。

本书中所用的主要分析工具都涉及表征算法和数据结构操作的运行时间，以及占用空间的大小。因为时间是一种宝贵的资源，因而运行时间是“良好程度”的一种自然度量。但主要把运行时间作为良好程度的基本度量，意味着至少需要一点数学知识来描述运行时间和比较算法。

本章首先描述分析算法所需的基本框架，包括描述算法的语言、语言所适用的计算模型，以及计算运行时间时考虑的一些主要因素。还简明讨论了如何分析递归算法。在1.2节中，给出了用于表征运行时间的主要符号——所谓的“大O”符号。这些工具构成了设计和分析算法的主要理论工具。

在1.3节中，我们从对算法分析框架的讨论暂时转到对某些重要的数学知识的回顾，包括讨论求和、对数、证明技术和基本的概率知识。了解这个背景和算法分析所用的符号之后，1.4节提出了一些关于理论算法分析的案例研究。接下来在1.5节提出了称为平摊法的一项有趣的分析技术，它可以解释多个独立操作的共同动作。最后在1.6节讨论了一种重要和实用的分析技术——实验。我们讨论了一个良好的实验框架的主要原则，以及概括和表征实验分析数据的技术。

4

1.1 算法的分析方法学

算法或数据结构操作的运行时间通常与许多因素有关，那么什么才是度量它们的合理方法？如果算法已经实现，可以通过在各种测试输入下来执行它，并记录每次执行所使用的实际时间，