

原书第2版

Mc
Graw
Hill
Education

数据结构、算法与应用 C++语言描述

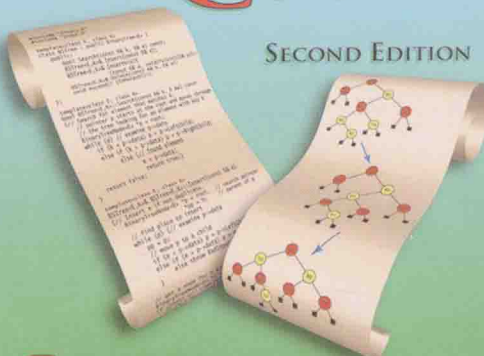
[美] 萨特吉·萨尼 (Sartaj Sahni) 著

王立柱 刘志红 译

Data Structures, Algorithms,
and Applications in C++ Second Edition

DATA STRUCTURES,
ALGORITHMS, AND
APPLICATIONS IN
C++

SECOND EDITION



SAHNI

SP Silicon Press



机械工业出版社
China Machine Press

计 算 机 科 学 丛

原书第2版

数据结构、算法与应用

C++语言描述

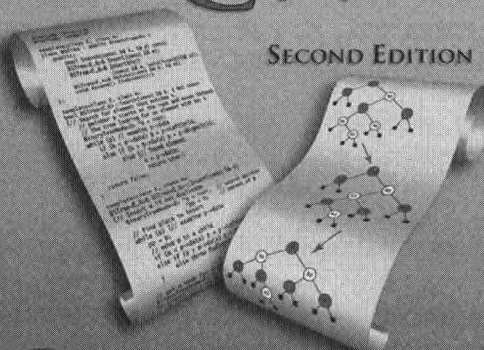
[美] 萨特吉·萨尼 (Sartaj Sahni) 著

王立柱 刘志红 译

Data Structures, Algorithms,
and Applications in C++

DATA STRUCTURES,
ALGORITHMS, AND
APPLICATIONS IN
C++

SECOND EDITION



SAHNI

Press



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

数据结构、算法与应用: C++语言描述 (原书第2版)/(美)萨尼 (Sahni, S.) 著;王立柱, 刘志红译. —北京: 机械工业出版社, 2015.3

(计算机科学丛书)

书名原文: Data Structures, Algorithms, and Applications in C++, Second Edition

ISBN 978-7-111-49600-7

I. 数… II. ①萨… ②王… ③刘… III. ①数据结构 ②算法分析 ③C语言-程序设计 IV. ①TP311.12 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 047638 号

本书版权登记号: 图字: 01-2011-3946

Sartaj Sahni: Data Structures, Algorithms, and Applications in C++, Second Edition (ISBN 978-0-929306-32-2).

Copyright © 2005 by McGraw-Hill Education.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education and China Machine Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2015 by McGraw-Hill Education and China Machine Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可, 对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播, 包括但不限于复印、录制、录音, 或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔 (亚洲) 教育出版公司和机械工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内 (不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾) 销售。

版权 © 2015 由麦格劳-希尔 (亚洲) 教育出版公司与机械工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

全书共分三个部分。第一部分从第1章到第4章, 旨在复习C++程序设计的概念以及程序性能的分析 and 测量方法。第二部分从第5章到第16章, 研究数据结构, 包括线性表的数组描述和链式描述, 以及用这两种描述方法描述的数组和矩阵、栈、队列、字典、二叉树、优先级队列、竞赛树和图等数据结构。第三部分从第17章到第21章, 研究常用算法, 包括贪婪算法、分而治之算法、动态规划、回溯算法和分支定界算法。

本书内容广博、组织合理、论述清晰、循序渐进, 每章包含丰富的习题, 对程序性能的分析 and 测量系统且细致, 不仅是数据结构和算法的经典教材, 而且是计算机科学与工程领域的理想参考书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 朱秀英

责任校对: 殷虹

印刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版次: 2015年4月第1版第1次印刷

开本: 185mm×260mm 1/16

印张: 35

书号: ISBN 978-7-111-49600-7

定价: 79.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

文艺复兴以来，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域中取得了垄断性的优势；也正是这样的优势，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起到积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与Pearson, McGraw-Hill, Elsevier, MIT, John Wiley & Sons, Cengage等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从他们现有的数百种教材中甄选出Andrew S.Tanenbaum, Bjarne Stroustrup, Brian W.Kernighan, Dennis Ritchie, Jim Gray, Alfred V.Aho, John E.Hopcroft, Jeffrey D.Ullman, Abraham Silberschatz, William Stallings, Donald E.Knuth, John L.Hennessy, Larry L.Peterson等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力相助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专门为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近两百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也被越来越多实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着计算机科学与技术专业学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方式如下：

华章网站：www.hzbook.com

电子邮件：hzjsj@hzbook.com

联系电话：(010) 88379604

联系地址：北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码：100037



华章教育

华章科技图书出版中心

数据结构和算法是计算机科学和工程的基础。它们的相互联系和作用是程序的本质，Nicklaus Wirth 把它们表示为：算法 + 数据结构 = 程序。Sartaj Sahni 博士的《数据结构、算法与应用——C++ 语言描述》一书是彰显这一本质的当代经典，这主要表现在五个方面：

1) 每一种数据结构和算法设计不仅都用 C++ 语言优美地实现了，而且与 C++ 标准模板库所使用的结构在相似性或同一性上保持兼容，既纯粹又规范。

2) 对程序性能的分析 and 测量系统而严谨，既有严格的数学分析，又有周密的实验测量。

3) 几乎每一种数据结构和算法都是从多个应用实例中分析和抽象出来的，既可以拓宽应用领域知识，又可以提高学习兴趣。

4) 一个典型的应用实例常常用多种数据结构和算法来实现，既丰富了程序设计经验，又在比较中提高了鉴别能力。

5) 练习题丰富。本书及其网站共有 800 多道练习题，而且和教材正文中的示例代码相辅相成。这些练习题趣味多样且难易相济，可满足各层次读者的需求。

如果你是一名程序设计新手，本书是你拾级而上的阶梯；如果你是一名专业程序设计者，本书是你高屋建瓴的楼台；如果你是在校大学生，本书是你学习数据结构和算法的理想教材或参考书。

对中国学生来说，本书的意义还可以从更高的层次来认识。爱因斯坦认为，西方科学的发展是以两个伟大的成就为基础的：形式逻辑体系和实验体系。今天的计算机科学不仅是这两个成就的综合体现，而且深入社会的每个角落，时刻改变着我们的生活，使每一个人时刻感受到它的力量。数据结构和算法作为计算机科学和工程的核心，可以使更多的中国学子通过这门课程而更积极、更有效地掌握形式逻辑和实验方法。但是长期以来，我国的教材大都使用伪码来描述数据结构和算法，给教学和自学带来极大的困难。因为代码不落实，实验测量就无法进行；没有实验测量，单凭分析就没有可靠的结果（例如高速缓冲存储器对运行时间的影响是不能只靠分析得到的）；分析没有结果，就容易流于形式，以至于理论和实践脱节，成为概念的灌输。这正是 Stroustrup 在《C++ 程序设计原理与实践》一书的前言中所批评的学习模式：先学习一个月的理论知识，然后看看是否能使用这些理论。

Sartaj Sahni 博士的力作如阳光和雨露照耀和滋养我们，它从五个方面引导我们走上精神探险的旅程，饱览西方科学成就中美丽璀璨的风景，尽情品尝科学智慧中一种鲜美甘甜的果实：数据结构与算法。

王立柱

2014 年 10 月于天津

对数据结构和算法的研究是计算机科学和工程的基础。精通这方面的知识，对开发能够有效利用计算机资源的程序是必不可少的。因此，所有计算机科学和工程专业都有一门或几门课程专门用来讲授这方面的内容。一般来说，第一门程序设计课程介绍数据结构和算法的基础知识（数据结构的栈和队列，算法的排序和矩阵运算）。第二门程序设计课程介绍数据结构和算法的系统知识。随后，可以对数据结构和算法进行深入的研究，这通常需要一门或两门课程。

计算机科学和工程的本科专业课程过多，已经迫使很多高等院校进行课程整合。例如，在佛罗里达大学，给本科生只开设一学期的数据结构和算法的课程。在学习本课程之前，要求学生已经学过一学期的 Java 程序设计和离散数学。

本书既可以用于两门或更多的专门研究数据结构和算法的课程，也可以用于相关的一门综合课程。全书共分三个部分。第一部分从第 1 章到第 4 章，旨在复习 C++ 程序设计的概念以及程序性能的分析 and 测量方法。对于熟悉 C 语言程序设计的学生，通过学习第 1 章应该能够过渡到 C++。第 1 章虽然不是 C++ 的入门知识，但是依然包含了 C++ 的一些基本概念，这些概念常令学生感到困惑，如参数传递、模板函数、动态存储分配、递归、类、继承、异常的抛出和捕捉。第 2 章和第 3 章复习了程序性能的分析 and 测量方法——操作计数、执行步数和渐近符号（大 O 、 Ω 、 Θ ，小 o ）。第 4 章复习了程序性能的实验测量方法，还简要地讨论了高速缓冲存储器对运行时间测量的影响问题。第 2 章通过程序性能分析方法的应用，深入研究了在程序设计入门课程中遇到的典型的基础性算法：简单的排序算法（冒泡排序、选择排序、插入排序和计数排序），顺序搜索，利用 Horner 法则进行多项式求值，矩阵运算（矩阵相加、矩阵转置、矩阵相乘）。第 3 章研究了二分搜索算法。尽管第 2 章到第 4 章的主要目的是学习程序性能的分析 and 测量方法，但是也让学生精通了一组基本算法。

本书第二部分从第 5 章到第 16 章，深入研究了数据结构。第 5 章和第 6 章分别研究了数据的数组描述方法和指针（或链式）描述方法，构建起数据结构研究的框架。这两章用这两种数据描述方法来创建 C++ 类，以描述线性表数据结构。我们通过实验数据对不同的数据描述方法在描述线性表时的性能进行了比较。第二部分从第 7 章以后都是应用第 5 章和第 6 章的描述方法来描述其他的数据结构，如数组和矩阵（第 7 章）、栈（第 8 章）、队列（第 9 章）、字典（第 10、14 和 15 章）、二叉树（第 11 章）、优先级队列（第 12 章）、竞赛树（第 15 章）和图（第 16 章）。

本书在处理数据结构时，试图做到与 C++ 标准模板库（STL）所使用的结构在相似性或同一性上保持兼容。例如，第 5 章的线性表数据结构便是按照 STL 的类 `vector` 的模式而建立的。本书通篇都利用了 STL 的函数，诸如 `copy`、`min` 和 `max`，学生由此会熟悉这些函数。

本书第三部分从第 17 章到第 21 章^①，研究常用的算法设计方法。这些方法有贪婪算法（第 17 章）、分而治之算法（第 18 章）、动态规划（第 19 章）、回溯算法（第 20 章）和分支定界算法（第 21 章）。另外还包括两种下限的证明（最小最大问题和排序问题）（18.4 节）、机器调度的近似算法（12.6.2 节）、箱子装载算法（13.5 节）和 0/1 背包问题（17.3.2 节）。12.6.2

① 第 20 和 21 章发布在原书网站上，中译版书包含第 20 和 21 章。——编辑注

节还简略地介绍了 NP- 复杂问题。

本书的一个特色是强调应用。书中的每一种数据结构和算法设计都通过多个应用实例来演示。通常每一章的最后一节都针对本章介绍的数据结构或设计方法给出具体的应用。很多时候，在一章的前面几节也包含一些应用实例。这些应用实例涉及多个方面——排序（冒泡排序、选择排序、插入排序、计数排序、堆排序、归并排序、快速排序、箱子排序、基数排序和拓扑排序）；矩阵运算（矩阵加法、矩阵转置、矩阵乘法）；电路设计自动化（搜索电路网组、电路布线、元件折叠、开关盒布线、设置信号放大器、交叉分布、电路板排列）；压缩编码（LZW 压缩、霍夫曼编码）；计算几何（凸包和最近点对）；仿真（工厂仿真）；图像处理（图元标注）；趣味数学（汉诺塔、残缺棋盘、迷宫老鼠）；调度（LPT 调度）；优化（装箱问题、货箱装载、0/1 背包、矩阵乘法链）；统计（直方图、寻找最大值和最小值、寻找第 k 个最小值）；图论（生成树、图元、最短路径、最大完备子图、二分覆盖和旅行商）。研究这些应用实例不需要学生具有相关领域的预备知识，因为本书包含了这些知识，而且这些知识会提高学生的学习兴趣。

我们希望通过把实际应用与数据结构和算法设计方法的基础研究紧密结合，能够激发学生更大的专业兴趣。学生通过完成本书和本书网站的 800 多道练习题，知识将会更加丰富和牢固。

网站

本书网站的 URL 为 <http://www.cise.ufl.edu/~sahni/dsaac>。

访问该网站可以得到本书的所有程序以及示例数据和输出结果。示例数据并不是特意设计的测试数据，而是用来运行程序以便将输出结果与给定的输出结果进行比较的数据。网站还有每一章的练习答案、一些测试样本以及相应的测试结果、补充的应用实例和对书中一部分内容的进一步讨论。

如何使用本书

使用本书讲授数据结构和算法可以采用多种课程安排，这需要教师根据学生的知识背景、对应用的侧重程度和课时的多少来决定。下面是几种可能的课程安排方案。我们建议学生的作业是编写和调试一些程序，开始是一些小程序，随着课程的深入，程序逐渐复杂。学生应该根据课堂讲授的内容，同步阅读本书的相关内容。

两季度课程安排——第一季度
(一周回顾，数据结构和算法内容系列)

周	主题	阅读
1	回顾 C++ 和程序性能	第 1 ~ 4 章，布置作业 1
2	基于数组的描述	第 5 章，完成作业 1
3	链表描述	6.1 ~ 6.4 节，布置作业 2
4	箱子排序和等价类	6.5.1 ~ 6.5.4 节，完成作业 2
5	数组和矩阵	第 7 章，测试
6	栈和队列	第 8 章和第 9 章，布置作业 3
7	跳表和散列	第 10 章，完成作业 3
8	二叉树和其他树	11.1 ~ 11.8 节，布置作业 4
9	并查集应用，堆和堆排序	11.9.2 节、12.1 ~ 12.4 节和 12.6.1 节，完成作业 4
10	左高树，霍夫曼编码和竞赛树	12.5 节和 12.6.3 节，第 13 章

两季度课程安排——第二季度
(数据结构和算法内容系列)

周	主题	阅读
1	二叉搜索树, AVL 或红黑树, 直方图	第 14 章和第 15 章, 布置作业 1
2	图	16.1 ~ 16.7 节, 完成作业 1
3	图	16.8 节和 16.9 节, 布置作业 2
4	贪婪算法	17.1 ~ 17.3.5 节, 完成作业 2
5	贪婪算法和分而治之算法	17.3.6 节和 18.1 节, 布置作业 3
6	分而治之算法应用	18.2 节, 测试
7	求解递归式, 下限和动态编程	18.3 节、18.4 节和 19.1 节, 完成作业 3
8	动态编程应用	19.2.1 节和 19.2.2 节, 布置作业 4
9	动态编程应用	19.2.3 ~ 19.2.5 节, 完成作业 4
10	回溯和分支定界算法	第 20 章和第 21 章

一学期课程安排
(两周回顾, 数据结构内容系列)

周	主题	阅读
1	回顾 C++	第 1 章, 布置作业 1
2	回顾程序性能	第 2 ~ 4 章
3	基于数组的描述	第 5 章, 完成作业 1
4	链表描述	6.1 ~ 6.4 节, 布置作业 2
5	箱子排序和等价类	6.5.1 节和 6.5.4 节
6	数组和矩阵	第 7 章, 完成作业 2, 第 1 次测试
7	栈和队列, 一或两个应用	第 8 章和第 9 章, 布置作业 3
8	跳表和散列	第 10 章
9	二叉树和其他树	11.1 ~ 11.8 节, 完成作业 3
10	并查集应用	11.9.2 节, 布置作业 4, 第 2 次测试
11	优先级队列、堆排序和霍夫曼编码	第 12 章
12	竞赛树和装箱问题	第 13 章, 完成作业 4
13	二叉搜索树, AVL 树或红黑树, 直方图	第 14 章和第 15 章, 布置作业 5
14	图	16.1 ~ 16.7
15	图, 最短路径	16.8 节、16.9 节、17.3.5 节和 19.2.3 节, 完成作业 5
16	最小生成树, 合并排序和快速排序	17.3.6 节、18.2.2 节和 18.2.3 节

一学期课程安排
(一周回顾, 数据结构和算法内容系列)

周	主题	阅读
1	回顾程序性能	第 1 ~ 4 章
2	基于数组的描述	第 5 章, 布置作业 1
3	链表描述	第 6 章
4	数组和矩阵	第 7 章, 完成作业 1
5	栈和队列, 一或两个应用	第 8 章和第 9 章, 布置作业 2
6	跳表和散列	第 10 章, 完成作业 2, 第 1 次测试
7	二叉树和其他树	11.1 ~ 11.8 节, 布置作业 3

(续)

周	主题	阅读
8	并查集应用, 堆和堆排序	11.9.2 节、12.1 ~ 12.4 节和 12.6.1 节
9	左高树, 霍夫曼编码和竞赛树	12.5 节和 12.6.3 节, 第 13 章, 完成作业 3
10	二叉搜索树, AVL 树或红黑树, 直方图	第 14 章和第 15 章, 布置作 4, 第 2 次测试
11	图	16.1 ~ 16.7 节
12	图和贪婪算法	16.8 节、16.9 节、17.1 节和 17.2 节, 完成作业 4
13	货箱装载, 0/1 背包, 最短路径和生成树	17.3 节, 布置作业 5
14	分而治之算法	第 18 章
15	动态编程	第 19 章, 完成作业 5
16	回溯和分支定界算法	第 20 章和第 21 章

致谢

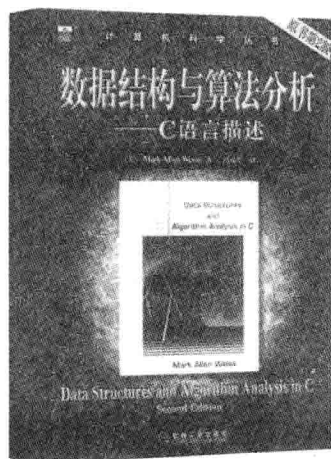
本书的出版有赖于很多人的帮助、意见和建议。我对审阅了本书第 1 版的人士深表感激, 他们给予的宝贵意见使本书有了很大的改进。这些人士有:

Jacabo Carrasquel	卡内基梅隆大学
Yu Lo Cyrus Chang	新罕布什尔大学
Teofilo F. Gonzalez	加州大学圣塔芭芭拉分校
Laxmikant V. Kale	伊利诺伊大学
Donald H. Kraft	路易斯安那州立大学
Sang W. Lee	密歇根大学
Jorge Lobo	伊利诺伊大学芝加哥分校
Brian Malloy	克莱姆森大学
Thomas Miller	爱达荷大学
Richard Rasala	东北大学
Craig E. Wills	伍斯特理工学院
Neal E. Young	达特茅斯学院

特别感谢我的学生, 他们不仅提出了有价值的反馈意见, 而且帮助审查原稿。我还要感谢佛罗里达大学的一些同事所给予的帮助, 他们是: Justin Bullart, Edward Y. C. Cheng, Rajesh Dasari, Thomas Davies, Pinkesh Desai, Vinayak Goel, Haejae Jung, Kun-Suk Kim, Haibin Lu, Jawalant Patel, Sanguthevar Rajasekeran, Gauri Sukhatankar, Gayatri Venkataraman 和 Joe Wilson。

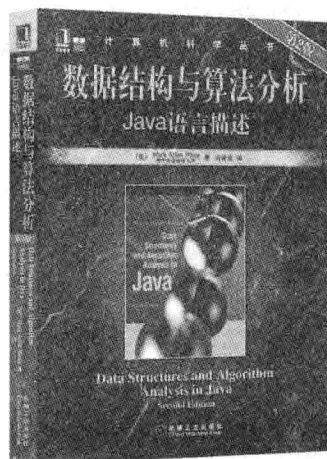
Sartaj Sahni
2004 年 6 月于盖恩斯维尔

推荐阅读



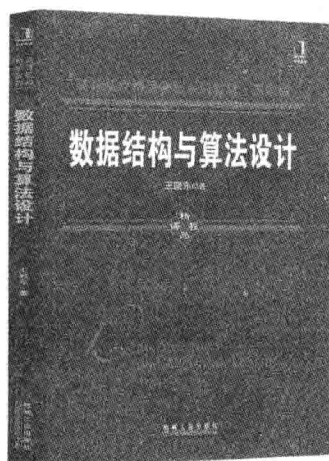
数据结构与算法分析——C语言描述（原书第2版）

作者：Mark Allen Weiss 译者：冯舜玺 ISBN：978-7-111-12748-X 定价：35.00元



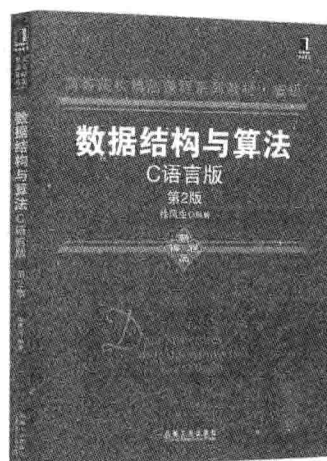
数据结构与算法分析：Java语言描述 第2版

作者：Mark Allen Weiss 译者：冯舜玺 ISBN：978-7-111-23183-7 定价：55.00元
第3版中文版即将出版



数据结构与算法设计

作者：王晓东 ISBN：978-7-111-37924-9 定价：29.00元



数据结构与算法：C语言版 第2版

作者：徐凤生 ISBN：978-7-111-47940-6 定价：35.00元

推荐阅读



中文版
第6版

作者: Abraham Silberschatz 著
中文翻译版: 978-7-111-37529-6, 99.00元
本科教学版: 978-7-111-40085-1, 59.00元



中文版
第3版

作者: Jiawei Han 等著
中文版: 978-7-111-39140-1, 79.00元



中文版
第3版

作者: Ian H. Witten 等著
中文版: 978-7-111-45381-9, 79.00元



中文版
第2版

作者: Randal E. Bryant 等著
书号: 978-7-111-32133-0, 99.00元



中文版
第4版

作者: David A. Patterson John L. Hennessy
中文版: 978-7-111-35305-8, 99.00元



中文版
第6版

作者: James F. Kurose 著
书号: 978-7-111-45378-9, 79.00元



中文版
第3版

作者: Thomas H. Cormen 等著
书号: 978-7-111-40701-0, 128.00元



中文版
第2版

作者: Brian W. Kernighan 等著
书号: 978-7-111-12806-0, 30.00元



中文版
第7版

作者: Roger S. Pressman 著
书号: 978-7-111-33581-6, 79.00元

出版者的话	
译者序	
前言	

第一部分 预备知识

第 1 章 C++ 回顾	2	1.8 标准模板库	30
1.1 引言	2	1.9 测试与调试	32
1.2 函数与参数	3	1.9.1 什么是测试	32
1.2.1 传值参数	3	1.9.2 测试数据的设计	34
1.2.2 模板函数	4	1.9.3 调试	36
1.2.3 引用参数	4	1.10 参考及推荐读物	37
1.2.4 常量引用参数	5	第 2 章 程序性能分析	38
1.2.5 返回值	5	2.1 什么是程序性能	38
1.2.6 重载函数	6	2.2 空间复杂度	39
1.3 异常	7	2.2.1 空间复杂度的组成	39
1.3.1 抛出异常	7	2.2.2 举例	42
1.3.2 处理异常	7	2.3 时间复杂度	44
1.4 动态存储空间分配	9	2.3.1 时间复杂度的组成	44
1.4.1 操作符 new	9	2.3.2 操作计数	45
1.4.2 一维数组	9	2.3.3 最好、最坏和平均操作计数	48
1.4.3 异常处理	9	2.3.4 步数	53
1.4.4 操作符 delete	10	第 3 章 渐近记法	64
1.4.5 二维数组	10	3.1 引言	64
1.5 自有数据类型	12	3.2 渐近记法	65
1.5.1 类 currency	12	3.2.1 大 O 记法	65
1.5.2 一种不同的描述方法	18	3.2.2 渐近记法 Ω 和 Θ	67
1.5.3 操作符重载	20	3.3 渐近数学 (可选)	69
1.5.4 友元和保护性类成员	22	3.3.1 大 O 记法	69
1.5.5 增加 <code>#ifndef</code> 、 <code>#define</code> 和 <code>#endif</code> 语句	23	3.3.2 Ω 记法	71
1.6 异常类 <code>illegalParameterValue</code>	24	3.3.3 Θ 记法	72
1.7 递归函数	25	3.3.4 小 o 记法	73
1.7.1 递归的数学函数	25	3.3.5 特性	73
1.7.2 归纳	25	3.4 复杂度分析举例	75
1.7.3 C++ 递归函数	26	3.5 实际复杂度	78
		3.6 参考及推荐读物	80
		第 4 章 性能测量	81
		4.1 引言	81
		4.2 选择实例的大小	82
		4.3 设计测试数据	82

4.4 实验设计	82	第 7 章 数组和矩阵	146
4.5 高速缓存	87	7.1 数组	146
4.5.1 简单计算机模型	87	7.1.1 抽象数据类型	146
4.5.2 缓存未命中对运行时间的影响	87	7.1.2 C++ 数组的索引	147
4.5.3 矩阵乘法	88	7.1.3 行主映射和列主映射	147
4.6 参考及推荐读物	90	7.1.4 用数组的数组来描述	148
第二部分 数据结构		7.1.5 行主描述和列主描述	149
第 5 章 线性表——数组描述	92	7.1.6 不规则二维数组	149
5.1 数据对象和数据结构	92	7.2 矩阵	151
5.2 线性表数据结构	93	7.2.1 定义和操作	151
5.2.1 抽象数据类型 linearList	94	7.2.2 类 matrix	152
5.2.2 抽象类 linearList	94	7.3 特殊矩阵	157
5.3 数组描述	95	7.3.1 定义和应用	157
5.3.1 描述	95	7.3.2 对角矩阵	158
5.3.2 变长一维数组	96	7.3.3 三对角矩阵	159
5.3.3 类 arrayList	97	7.3.4 三角矩阵	160
5.3.4 C++ 迭代器	102	7.3.5 对称矩阵	161
5.3.5 arrayList 的一个迭代器	103	7.4 稀疏矩阵	164
5.4 vector 的描述	107	7.4.1 基本概念	164
5.5 在一个数组中实现的多重表	109	7.4.2 用单个线性表描述	165
5.6 性能测量	111	7.4.3 用多个线性表描述	170
5.7 参考及推荐读物	112	7.4.4 性能测量	172
第 6 章 线性表——链式描述	113	第 8 章 栈	175
6.1 单向链表	113	8.1 定义和应用	175
6.1.1 描述	113	8.2 抽象数据类型	177
6.1.2 结构 chainNode	114	8.3 数组描述	178
6.1.3 类 chain	115	8.3.1 作为一个派生类实现	178
6.1.4 抽象数据类型 linearList 的扩充	121	8.3.2 类 arrayStack	179
6.1.5 类 extendedChain	121	8.3.3 性能测量	181
6.1.6 性能测量	122	8.4 链表描述	182
6.2 循环链表和头节点	126	8.4.1 类 derivedLinkedStack	182
6.3 双向链表	128	8.4.2 类 linkedStack	183
6.4 链表用到的词汇表	129	8.4.3 性能测量	184
6.5 应用	130	8.5 应用	184
6.5.1 箱子排序	130	8.5.1 括号匹配	184
6.5.2 基数排序	134	8.5.2 汉诺塔	185
6.5.3 凸包	135	8.5.3 列车车厢重排	187
6.5.4 并查集	137	8.5.4 开关盒布线	191
		8.5.5 离线等价类问题	193
		8.5.6 迷宫老鼠	196

8.6 参考及推荐读物	204	11.3 二叉树的特性	274
第 9 章 队列	205	11.4 二叉树的描述	275
9.1 定义和应用	205	11.4.1 数组描述	275
9.2 抽象数据类型	206	11.4.2 链表描述	276
9.3 数组描述	207	11.5 二叉树常用操作	277
9.3.1 描述	207	11.6 二叉树遍历	277
9.3.2 类 arrayQueue	209	11.7 抽象数据类型 BinaryTree	281
9.4 链表描述	212	11.8 类 linkedBinaryTree	282
9.5 应用	214	11.9 应用	285
9.5.1 列车车厢重排	214	11.9.1 设置信号放大器	285
9.5.2 电路布线	217	11.9.2 并查集	288
9.5.3 图元识别	219	11.10 参考及推荐读物	296
9.5.4 工厂仿真	222	第 12 章 优先级队列	297
9.6 参考及推荐读物	234	12.1 定义和应用	297
第 10 章 跳表和散列	235	12.2 抽象数据类型	298
10.1 字典	235	12.3 线性表	299
10.2 抽象数据类型	236	12.4 堆	299
10.3 线性表描述	237	12.4.1 定义	299
10.4 跳表表示 (可选)	239	12.4.2 大根堆的插入	300
10.4.1 理想情况	239	12.4.3 大根堆的删除	301
10.4.2 插入和删除	241	12.4.4 大根堆的初始化	301
10.4.3 级的分配	241	12.4.5 类 maxHeap	302
10.4.4 结构 skipNode	242	12.4.6 堆和 STL	305
10.4.5 类 skipList	242	12.5 左高树	306
10.4.6 skipList 方法的复杂度	246	12.5.1 高度优先与宽度优先的最大及 最小左高树	306
10.5 散列表描述	246	12.5.2 最大 HBLT 的插入	308
10.5.1 理想散列	246	12.5.3 最大 HBLT 的删除	308
10.5.2 散列函数和散列表	248	12.5.4 两棵最大 HBLT 的合并	308
10.5.3 线性探查	250	12.5.5 初始化	309
10.5.4 链式散列	255	12.5.6 类 maxHblt	310
10.6 一个应用——文本压缩	260	12.6 应用	313
10.6.1 LZW 压缩	260	12.6.1 堆排序	313
10.6.2 LZW 压缩的实现	261	12.6.2 机器调度	314
10.6.3 LZW 解压缩	264	12.6.3 霍夫曼编码	317
10.6.4 LZW 解压缩的实现	265	12.7 参考及推荐读物	322
10.6.5 性能评价	268	第 13 章 竞赛树	323
10.7 参考及推荐读物	269	13.1 赢者树和应用	323
第 11 章 二叉树和其他树	270	13.2 抽象数据类型 WinnerTree	326
11.1 树	270	13.3 赢者树的实现	327
11.2 二叉树	273		

13.3.1 表示	327	15.2.6 实现细节的考虑及复杂性分析	374
13.3.2 赢者树的初始化	328	15.3 分裂树	376
13.3.3 重新组织比赛	328	15.3.1 介绍	376
13.3.4 类 completeWinnerTree	328	15.3.2 分裂树的操作	376
13.4 输者树	329	15.3.3 折算复杂性	378
13.5 应用	331	15.4 B-树	379
13.5.1 用最先适配法求解箱子装载问题	331	15.4.1 索引顺序访问方法	379
13.5.2 用相邻适配法求解箱子装载问题	335	15.4.2 m 叉搜索树	380
13.6 参考及推荐读物	337	15.4.3 m 阶 B-树	381
第 14 章 搜索树	338	15.4.4 B-树的高度	382
14.1 定义	338	15.4.5 B-树的搜索	382
14.1.1 二叉搜索树	338	15.4.6 B-树的插入	382
14.1.2 索引二叉搜索树	340	15.4.7 B-树的删除	384
14.2 抽象数据类型	340	15.4.8 节点结构	387
14.3 二叉搜索树的操作和实现	341	15.5 参考及推荐读物	389
14.3.1 类 binarySearchTree	341	第 16 章 图	390
14.3.2 搜索	342	16.1 基本概念	390
14.3.3 插入	342	16.2 应用和更多的概念	391
14.3.4 删除	343	16.3 特性	394
14.3.5 二叉搜索树的高度	346	16.4 抽象数据类型 graph	395
14.4 带有相同关键字元素的二叉搜索树	347	16.5 无权图的描述	396
14.5 索引二叉搜索树	348	16.5.1 邻接矩阵	396
14.6 应用	349	16.5.2 邻接链表	397
14.6.1 直方图	349	16.5.3 邻接数组	398
14.6.2 箱子装载问题的最优匹配法	351	16.6 加权图的描述	400
14.6.3 交叉分布	353	16.7 类实现	400
第 15 章 平衡搜索树	359	16.7.1 不同的类	400
15.1 AVL 树	360	16.7.2 邻接矩阵类	401
15.1.1 定义	360	16.7.3 扩充 chain 类	405
15.1.2 AVL 树的高度	361	16.7.4 链表类	405
15.1.3 AVL 树的描述	361	16.8 图的遍历	407
15.1.4 AVL 搜索树的搜索	361	16.8.1 广度优先搜索	407
15.1.5 AVL 搜索树的插入	361	16.8.2 广度优先搜索的实现	408
15.1.6 AVL 搜索树的删除	364	16.8.3 方法 graph::bfs 的复杂性分析	409
15.2 红-黑树	367	16.8.4 深度优先搜索	410
15.2.1 基本概念	367	16.8.5 深度优先搜索的实现	411
15.2.2 红-黑树的描述	368	16.8.6 方法 graph::dfs 的复杂性分析	412
15.2.3 红-黑树的搜索	368	16.9 应用	412
15.2.4 红-黑树的插入	368	16.9.1 寻找一条路径	412
15.2.5 红-黑树的删除	371	16.9.2 连通图及其构成	414
		16.9.3 生成树	415

第三部分 算法设计方法

第 17 章 贪婪算法	420	19.1 算法思想	479
17.1 最优优化问题	420	19.2 应用	481
17.2 贪婪算法思想	421	19.2.1 0/1 背包问题	481
17.3 应用	424	19.2.2 矩阵乘法链	484
17.3.1 货箱装载	424	19.2.3 所有顶点对之间的最短路径	489
17.3.2 0/1 背包问题	425	19.2.4 带有负值的单源最短路径	492
17.3.3 拓扑排序	427	19.2.5 网组的无交叉子集	496
17.3.4 二分覆盖	430	19.3 参考及推荐读物	501
17.3.5 单源最短路径	433	第 20 章 回溯法	502
17.3.6 最小成本生成树	436	20.1 算法思想	502
17.4 参考及推荐读物	445	20.2 应用	506
第 18 章 分而治之	446	20.2.1 货箱装载	506
18.1 算法思想	446	20.2.2 0/1 背包问题	512
18.2 应用	453	20.2.3 最大完备子图	515
18.2.1 残缺棋盘	453	20.2.4 旅行商问题	517
18.2.2 归并排序	455	20.2.5 电路板排列	519
18.2.3 快速排序	459	第 21 章 分支定界	525
18.2.4 选择	464	21.1 算法思想	525
18.2.5 相距最近的点对	466	21.2 应用	528
18.3 解递归方程	474	21.2.1 货箱装载	528
18.4 复杂度的下限	475	21.2.2 0/1 背包问题	535
18.4.1 最小最大问题的下限	476	21.2.3 最大完备子图	536
18.4.2 排序算法的下限	477	21.2.4 旅行商问题	538
第 19 章 动态规划	479	21.2.5 电路板排列	541

| 第一部分 |
Data Structures, Algorithms, and Applications in C++, Second Edition |

预 备 知 识