

Algorithms in C++ Parts 1-4
Fundamentals, Data Structures, Sorting, Searching
算法 I-IV (C++ 实现) ——
基础、数据结构、排序和搜索
(第三版)

[美] Robert Sedgewick 著
张铭泽 赵剑云 梁勇等 译

国外经典计算机科学教材

Algorithms in C++ Parts 1-4
Fundamentals, Data Structures, Sorting, Searching

算法 I-IV (C++ 实现) ——

基础、数据结构、排序和搜索

(第三版)

[美] Robert Sedgewick 著
张铭泽 赵剑云 梁勇等 译



中国电力出版社

www.infopower.com.cn

Algorithms in C++, Parts 1-4: Fundamentals, Data Structure, Sorting, Searching, 3rd Edition (ISBN 0-201-35088-2)

Robert Sedgewick

Authorized translation from the English language edition, entitled Algorithms in C++, Parts 1-4: Fundamentals, Data Structure, Sorting, Searching, published by Addison Wesley, Copyright © 1998.

All rights reserved.

No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by China Electric Power Press Copyright © 2003.

本书由美国培生集团授权出版。

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2000-3090 号

图书在版编目（CIP）数据

算法 I~IV（C++实现）——基础、数据结构、排序和搜索（第三版）/（美）塞奇威克著；张铭泽等译。

—北京：中国电力出版社，2004

（国外经典计算机科学教材）

ISBN 7-5083-1808-0

I.算... II.①塞...②张... III.①电子计算机—算法设计—教材②C语言—程序设计—教材 IV.TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 110219 号

丛 书 名：国外经典计算机科学教材

书 名：算法I-IV（C++实现）——基础、数据结构、排序和搜索（第三版）

编 著：（美）Robert Sedgewick

翻 译：张铭泽 赵剑云 梁勇 等

责任编辑：姚贵胜

出版发行：中国电力出版社

地址：北京市三里河路6号 邮政编码：100044

电话：（010）88515918 传 真：（010）88518169

印 刷：北京丰源印刷厂

开 本：787×1092 1/16

印 张：34.125 字 数：755 千字

书 号：ISBN 7-5083-1808-0

版 次：2004 年 2 月北京第 1 版

2004 年 2 月第 1 次印刷

定 价：55.00 元

版权所有 翻印必究

出版说明

新世纪的朝阳刚刚露出丝抹微红，如火如荼的全球信息化浪潮便汹涌而至，让人无时无刻不感受到新一轮产业革命的气息。如何在这场变革中占尽先机，既是对民族信息业的挑战，也是机遇。从而，作为民族信息产业发展基石的高等教育事业就被赋予了比以往更重的责任，对培养和造就我国 21 世纪的一代新人提出了更高的要求。但在计算机科学突飞猛进的同时，专业教材的发展却严重滞后，越来越成为人才培养的瓶颈。同时，以美国为代表的西方国家计算机科学教育经历了充分的发展，产生了一批有着巨大影响力的经典教材，因此，以批判、借鉴的态度有选择地引进这些国外经典计算机教材，将促进国内教学体系和国外接轨，大大推动我国计算机教育事业的发展。

中国电力出版社进入计算机图书市场已有近 6 个年头，通过坚持“高端、精品、经典”战略，致力于与国外著名出版机构合作，出版了大批博得计算机业界和教育界赞誉的作品。通过与信息技术教育界人士的广泛沟通，同时依托丰富的出版资源，中国电力出版社适时推出了“国外经典计算机科学教材”的出版计划。本次教材出版计划是和美国最大的计算机教育出版机构——Pearson 教育集团(Addison-Wesley、Prentice-Hall 等皆为其下属子公司)合作，依托其数十年积累的大批经典教材资源，确保了教材选题的权威经典。

为保证这套教材的含金量，并做到有的放矢，我们在国内组织了由中国科学院、北京大学等一流院校教师组成的专家指导委员会，对高校课程教学体系做了系统、详细的调查，听取了众多教育专家、行业专家的意见，对教育部的教育规划进行了认真研究，并深入了解国外大学实际教学选用的教材状况，对国外教材做了理性的分析，确立了依托国家教育计划、传播先进教学理念、为培养符合社会需要的高素质创新型人才服务，来作为本次“国外经典计算机科学教材”出版计划的宗旨。

我们从 2002 年的下半年开始着手这套教材的策划工作，并多次组织了专家研讨会、座谈会等，分析现有教材的优点与不足，采其精华，并力争体现本套教材的质量和特色。

1. 深入理解国内的教学体系结构，并比照国外相同专业的课程设置，既具有现实的适用性，又立足发展眼光，具备一定的前瞻性。

2. 以计算机专业的核心课程为基础，同时配合专业教学计划，争取覆盖专业选修课程和专业任选课程。

3. 选取国外的最新教材版本，同时对照国内同专业课程的学时要求，对不适用的版本进行剔除，充分满足国内教学要求。

4. 根据专业对口和必须具备同课程教学经验的要求，严格挑选译者，并严把质量关，确保教材翻译的高质量。

5. 通过从原出版社网站下载勘误表及与原书作者进行沟通的方式,对原书中的错误一一做了修改。

6. 对教材出版的后期的工作,如审校、编辑、排版、印刷进行了严格的质量把关。

经过专家指导委员会的集体讨论,并广泛听取广大高等院校师生的意见,反复比较,从数百种国外教材中遴选出数十种,列入第一阶段的出版计划。这些教材的作者无一不是学富五车的大师,如 Stallings, Date, Ullman, Aho, Bryant, Sedgewick 等,他们的作品均是一版再版,并被众多国外一流大学如 Stanford University, MIT, UC Bekerley, Carnegie Mellon Univeristy, University of Michigan 等采用为教材。拟订的第一阶段出版计划包括 30 种图书,内容覆盖程序设计、数据结构、操作系统、计算机体系结构、数据库、编译原理、软件工程、图形学、通信与网络、离散数学等计算机专业核心基础课程,基本满足国内计算机专业的教学要求。

此外,为了帮助广大任课教师加深对本系列教材的理解,减轻他们的备课难度,我们从国外出版机构引进了大批的课程教学辅助资料,并积极延请国内优秀教师,根据其使用该系列教材中的教学经验,着手编写更加适合国内应用状况的教辅材料。

由于我们对国内高校计算机教育存在认识深度上的不足,在选题、翻译、编辑加工出版等方面的工作中还有许多有待提高之处,恳请广大师生和读者提出批评和建议,并期待有更多的人加入到我们的工作中来。我们的联系方式是:

电子邮件: csbook@cepp.com.cn

联系电话: 010-88515918-300

联系地址: 北京市西城区三里河路 6 号中国电力出版社

邮政编码: 100044

前 言

写作本书的意图是纵览当今所使用的最重要的计算机算法，并为越来越多需要了解这方面知识的读者讲解基础的技术。本书可以在学生掌握了基本的程序设计技能，熟悉了计算机系统，但是还没有学习过计算机科学或计算机应用的高级领域的专门课程时，作为计算机科学的第二、第三或第四门课程的教科书。此外，由于本书包含了大量有用算法的实现和关于其性能特征的详细信息，所以它还适用于自学，或作为那些从事计算机系统或应用程序开发的人员的参考手册。宽广的视角使本书成为了计算机算法领域最合适的入门读物。

对于这新的一版，我不仅完全重写了它的内容，而且还添加了一千多个练习、一百多幅图和许多程序，此外还给所有的图和程序都添加了详细的注释。新的素材涵盖了两个方面的内容——新的主题和对许多经典算法的更完整的解释。抽象数据类型是这本书的新重点，这个新重点使程序的应用更广泛，并且与现代程序设计环境的关系更紧密。读过本书旧版本的人一定会发现，新版本包含了更为丰富的新信息。所有读者都能感到大量的教学性资料为掌握基本概念提供了有效的途径。

由于新的素材数量过多，所以我们把新版本分成了两卷（每一卷的容量大约都相当于旧的版本），本书就是第一卷。这一卷包括基本概念、数据结构、排序算法和搜索算法；第二卷涵盖的高级算法和应用程序是以第一卷介绍的基本抽象概念和方法为基础的。在这一版中，几乎所有关于基本原理和数据结构的素材都是新的。

这本书不仅仅是为程序设计人员和计算机科学系的学生而编写的，凡是想使计算机运行得更快，或想用它解决更多问题的人都可以使用这本书。本书中的算法代表了过去 50 多年所研究的知识的主体，对于形形色色的应用程序来说，它们已经成为有效使用计算机所不可缺少的。从物理学中的 N 体仿真到分子生物学中的基因序列问题，这些基础算法已成为科学研究的要素；从数据库系统到 Internet 搜索引擎，它们已经成为现代软件系统的实质。随着计算机应用领域的不断扩大，本书介绍的大量基础算法的效用也在逐渐增长。本书的目标就是成为学生和那些想了解基础算法并且能够灵活地运用这些算法作为基本工具来处理任意计算机应用程序的专业人士的资源。

范围

本书共有十六章，分为四大部分：基本原理、数据结构、排序算法和搜索算法。这里的说明是想让读者对尽可能多的基础算法的基本特性有一个了解。本书介绍的算法已经经过多年的广泛应用，代表了程序员和计算机科学系学生掌握的知识主体。从二项式队列到帕氏线索算法这个范围内的有创见的方法都与计算机科学核心的基础范例相关。第二卷

由另外四部分构成，它们分别为字符串处理算法、几何算法、图形算法和高级主题。我写这本书的主要意图是将各个领域应用的基础方法集合起来，从而提供用计算机解决基本问题的最好方法。

如果你已经学习过一两门计算机科学的初级课程（如 C++、Java 或 C 等高级语言的程序设计课程，可能还有讲解程序设计系统的基础概念的课程）或者具有同等的程序设计经验，那么一定会非常欣赏本书提供的资料。因此，本书是为每个熟悉现代程序设计语言和现代计算机系统的基本特性的人而编写的。书中所建议的参考文献有助于你弥补背景知识的不足。

由于用来支持分析结果的大部分数学知识都来源于本书之内（或者被标记为不在本书范围之内），所以尽管具有完备的数学知识无疑会有很大帮助，但是专门的数学准备却不是必需的。

课程中的用法

如何教授本书的内容具有极大的灵活性，这是由教师的经验和学生的知识储备决定的。这里有充足的基础内容用来教授初学者数据结构，也有充足的高级主题来教授高年级学生算法设计与分析。有些教师可能想着重于实现和实践方面的内容，有些教师则可能想着重于分析和理论概念方面的内容。

我为这本书的使用设计了多种课程学习资料，其中包括讲稿用的幻灯片、程序设计作业、家庭作业以及示例测验和交互式练习。访问本书的主页 <http://www.awl.com/cseng/titles/0-201-35088-2> 可以得到这些资料。

关于数据结构和算法的基础课程可能会着重于第二部分中的基本数据结构和它们在第三、四部分中的实现中的使用。关于算法设计和分析的课程可能会着重于第一部分和第五章中的基础内容，然后研究第三、四部分中的算法如何达到良好的渐近性能的方法。关于软件工程的课程可能会省略数学和高级算法部分的内容，而着重于如何把这里给出的算法实现集成到大的应用程序或系统中。关于算法的课程则可能采用通盘考虑的方法并介绍所有领域内的概念。

本书的早期版本近年来被全世界各大学院和大学用作计算机科学的第二或第三门课程的教材或其他课程的补充性阅读材料。在普林斯顿大学，我们的经验是这本书内容广泛，为专业学生提供了计算机科学的引论，此后有关算法分析、系统程序设计和理论性计算机科学的课程都可以对它进行扩展，此外它还给其他学科的学生提供了一整套方法，他们可以立刻将这些方法很好地利用起来。

本书中的练习（大部分是这一版新添的）分为几种类型。有些专用于测试对文中内容的理解程度，只要求读者完成一个练习或应用文中介绍的概念。有些则涉及到算法的实现和结合，或者根据学习经验比较各种算法来学习它们的特性。还有一些则是重要内容的深入探讨，这些内容不适于放在正文中。仔细阅读和思考这些练习会使每个读者受益匪浅。

实际应用的算法

任何想更加有效地使用计算机的人都可以把这本书作为参考手册或自学材料。具有程序设计经验的人可以在这本书中找到许多专业主题的内容。对于更大范围内的读者，则可以通过阅读个别独立的章节，尽管有时某一章中的算法会用到前一章中介绍的方法。

本书的定位是研究有可能实际用到的算法。它提供的专业工具信息很中肯，读者可以放心地实现、调试和试验算法，来解决问题或在应用程序中提供功能性。本书中讨论的算法都有完整的实现，而且在一系列连贯的示例中还有关于操作这些应用程序的描述。

由于我们使用的是真正的代码，而不是伪代码，所以你可以便捷地将它们应用到实际当中。访问本书的主页可以得到各个程序的清单。你可以以多种方式利用这些有指导意义的程序来研究算法。阅读这些代码可以检测你对算法细节的理解程度，或者弄明白初始化、边界条件处理和其他常常给程序设计带来挑战的问题的解决方法。还可以试着运行一下代码来查看运行中的算法，根据经验研究它们的性能，并将你得到的结果与书中的表进行对照，或者尝试着对它们进行一些修改。

在适当的时候，书中会列出经验数据和分析结果以说明为什么选择某些算法。当要引起注意时，它会描述实际应用的算法和纯理论的结果之间的关系。尽管没有强调算法分析和理论计算机科学之间的联系，但是上下文中仍然对它们进行了说明。有关算法和实现的性能特征被综合在一起，进行了概括，在本书中随处可见。

程序设计语言

本书中所有实现所用的程序设计语言都是 C++。其中的程序使用了大量标准的 C++ 语法，而且文中还对每个结构做了简要说明。

我和 Chris Van Wyk 基于类、模板和重载操作符开发了一种 C++ 程序设计形式，我们认为这种形式是把算法和数据结构当作真正的程序来表示的一种有效方式。我们努力使实现的代码精致、紧凑、高效，并具有可移植性。由于这种形式无论何时都是一致的，所以用它开发的相似程序看起来就比较相像。

本书中的许多算法本身就具有相似性，而与实现它们的语言无关，例如快速排序算法就是进行快速排序（一个典型的例子），无论它是用 Ada、Algol-60、Basic、C、C++、Fortran、Java、Mesa、MoDula-3、Pascal、PostScript、Smalltalk 以及其他无法尽数的程序设计语言实现的，还是在证明了它是高效排序方法的环境中实现的。一方面，我们的代码是根据用这些语言或大量其他的语言（本书还有一个用 C 语言实现的版本，此外用 Java 实现的版本很快就会面世）实现算法的经验形成的；另一方面，某些语言的某些特性是根据它们的设计者使用本书介绍的某些算法和数据结构的经验形成的。

第一章中包含一个复杂的例子，说明如何用这种方法开发算法的高效 C++ 实现。第二章描述了对这些算法进行分析的方法。第三和第四章说明并验证了我们用来实现数据类型

和 ADT 实现的基本机制。这四章为本书的其余章节打下了基础。

致谢

有许多人对这本书的早期版本提出了有用的反馈信息。尤其是普林斯顿大学和布朗大学的学生们，在过去的几年中，他们一直为本书的草稿所苦。特别感谢 Trina Avery 和 Tom Freeman，他们在编写第一版的过程中给予了我极大的帮助。感谢 Janet Incerpi，她以自己的创造力和才智说服了我们使用早期原始的用计算机处理的数字排版硬件和软件来制作本书的第一版。感谢 Marc Brown，是他负责的算法可视化研究创建了本书中的诸多插图。感谢 Dave Hanson 和 Andrew Appel，他们回答了我许多关于程序设计语言的问题。我还要感谢众多读者对各个版本所做的评论，他们是：Guy Almes、Jon Bentley、Marc Brown、Jay Gischer、Allan Heydon、Kennedy Lemke、Udi Manber、Dana Richards、John Reif、M. Rosenfeld、Stephen Seidman、Michael Quinn 和 William Ward。

我有幸和 Peter Gordon、Debbie Lafferty 和 Helen Goldstein 一起，在 Addison-Wesley 共同完成了这个新的版本，在整个项目的进展过程中我得到了他们耐心的指导。还有 Addison-Wesley 的其他职员，能和他们一起工作也是我的荣幸。这个项目的特性使得本书给他们中的许多人带来了非同寻常的挑战，对于他们的耐心我感谢万分。

在编写本书的过程中，我结交了三位良师益友，在这里，我特别想表达对他们的感谢。首先是 Steve Summit，他在技术层次上仔细检查了手稿的早期版本，提出了大量详尽的文字意见，尤其是关于程序方面的。Steve 很明白我的目标是提供精致、高效的实现代码，他的意见不仅有助于我衡量实现代码的一致性，还有助于我充分地改进它们。第二位是 Lyn Dupre，他也对我的手稿提出了大量详尽的意见，这对于纠正和避免语法错误，更重要的是找到一种连贯一致的编写形式来说非常宝贵，就是这种形式将本书众多的技术资料很好地组织在了一起。第三位是 Chris Van Wyk，他用 C++ 语言实现并调试了我所有的算法，还回答了我大量有关 C++ 的问题，帮助我开发了一种合适的 C++ 程序设计形式，并且将我的手稿仔细阅读了两遍。此外，当我拆开了他的许多 C++ 程序，而后随着我从他那里学习的 C++ 知识逐渐增多，又将这些程序还原成他编写的样子时，Chris 依然极力支持着我。对于能有向 Steve、Lyn 与 Chris 学习的机会，我感谢万分，他们的投入对于这本书的进展至关重要。

我在本书中所写的内容大部分都是从 Don Knuth 的教学和著述中学到的，他是我在斯坦福大学的指导老师。尽管 Don 对这本书没有什么直接的影响，但是其中仍然能够感受到他的存在，因为他把算法研究放到了科学基础之上，使这样的著述成为了可能。Philippe Flajolet 是我的朋友兼同事，他是将算法分析发展成一个成熟研究领域的主力，对这本书具有相同的影响力。

我深深地感谢普林斯顿大学、布朗大学和 INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et Automatique) 给予的支持，在那里，我完成了本书的大部分工作。还要感谢 Defense Analyses 学会和 Xerox Palo Alto 研究中心，我在访问它们的时候完成了本书的某些工作。本书

的许多部分都依赖于 National Science Foundation (国家科学基金会) 和 Office of Naval Research 的慷慨支持。最后, 我要感谢 Bill Bowen、Aaron Lemonick 和 Neil Rudenstine, 他们帮助我在普林斯顿创建了一个学术环境, 使得我能够在其中编写这本书而不受其他众多任务的打扰。

Robert Sedgewick

Marly-le-Roi, 法国, 1983

普林斯顿, 新泽西州, 1990, 1992

詹姆斯敦, 罗得马州, 1997

普林斯顿, 新泽西州, 1998

C++顾问的前言

是算法让我接近了计算机科学。算法研究要求以几种方式进行思维: 用创造性的方式来发现解决问题的想法; 用逻辑方式来分析它的正确性; 用数学方式来分析它的性能; 用挥洒汗水的方式将想法表达成具体的步骤序列, 使它能够成为软件。由于我在算法研究方面最满意的地方就是将它们实现成为有指导意义的计算机程序, 所以我欣然接受了与 Bob Sedgewick 共同编写一本基于 C++ 程序来介绍算法的书。

Bob 和我以简明的方式用 C++ 的适当特性编写了许多示例程序。我们使用了类将抽象数据类型的说明和它的实现细节分离开。此外我们还使用了模板和重载操作符, 以便我们的程序不做改变就能应用于多种不同的数据类型。

但是我们放弃了展示其他 C++ 技术的机会。例如, 我们通常会省略一些构造函数, 它们是使每个类成为“一级类”所必需的 (参阅第四章, 可以学到如何实现这一点); 大多数构造函数都使用赋值运算代替初始化将值存储在数据成员中; 我们使用 C 形式的字符串, 而不依赖于 C++ 库中的字符串类型; 大多数“轻量级”的包装类我们都不使用, 而只使用简单的指针。

我们之所以做出这样的选择, 是为了将重点放在算法本身上, 而不让 C++ 特有的某些技术细节分散读者的注意力。一旦读者明白了本书中的程序是如何运行的, 那么就有很好的基础去弄明白所有的 C++ 技术, 去欣赏它们所涉及的效率权衡, 去崇拜标准模板库设计者的天才了。

无论读者是第一次遇到算法的研究, 还是重逢旧相识, 都会从这本书中得到乐趣, 至少像我和 Bob Sedgewick 共同开发程序时所得到的乐趣一样多。

感谢 Jon Bentley、Brian Kernighan 和 Tom Szymanski, 我从他们那里学到了很多程序设计知识。还要感谢 Debbie Lafferty, 是他建议我考虑这个项目的。最后要感谢贝尔实验室、德鲁大学和普林斯顿大学, 它们给予了我制度上的支持。

Christopher Van Wyk

查塔姆, 新泽西州, 1998

有关练习的注释

给练习分类是件充满风险的事情, 因为本书的读者具有的知识和经验水平参差不齐。虽

然如此，指导仍然是适宜的，所以许多练习都附加了一个记号，以帮助你判断如何使用它们。

测试你对内容的理解程度的练习是用空心三角标识的，如下所示：

▷ 9.56 给出一个空二项式队列在插入 EASYQUESTION 后的结果。

通常这样的练习都与文中的例子直接相关。它们不会有特别的难度，但是做这些练习可以教会你一个事实或一个概念，它们可能是在你阅读正文时感到困惑不解的。

给正文添加新的和引人思考的资料的练习是用空心圆标识的，如下所示：

○ 14.19 编写一个程序，对 $N=10^3$, 10^4 , 10^5 和 10^6 ，采用链地址法将 N 个随机整数插入表长为 $N/100$ 的散列表中，然后给出最长和最短的地址链的长度。

这样的练习将鼓励你思考一个与正文内容相关的重要概念，或者回答你阅读正文时可能遇到的一个问题。你会发现做这种练习是非常有价值的，即使你没有时间把它们都做一遍。

具有挑战性的练习是用黑色圆点标识的，如下所示：

● 8.45 假设归并排序将文件按随机方式进行拆分，而不是恰好进行平分。使用这样的方法对包含 N 个元素的文件进行排序，平均需要使用多少次比较操作？

这种练习可能需要花费大量的时间才能完成，这是由你的经验决定的。一般说来，最有效的办法就是分几个不同的时期来攻克它们。

少数难度极大（与其他大多数练习比较而言）的练习是用两个黑色圆点标识的，如下所示：

●● 15.29 请证明 N 个随机 0、1 序列关键字构造的线索的高度为 $2\lg N$ 。提示：考虑生日问题（见性质 14.2）。

这种练习近似于研究文献上陈述的问题，不过本书中的资料已经为你尝试解决它们（可能会成功）做好了准备。

对于考察你的程序设计能力和数学能力的练习，则没有明确记号。这些要求程序设计或数学分析的练习是一种自我检查。我们鼓励所有的读者都通过实现算法来检测自己对它们的理解程度。对于程序员或程序设计课程的学生来说，这样的练习很简单，不过对于最近很少编程的人来说，可能会有一定难度：

1.22 修改程序 1.4，用随机产生的 $0 \sim N-1$ 之间的整数对来代替标准输入，而且循环只执行 $N-1$ 次合并操作。试分别在 $N=10^3$, 10^4 , 10^5 和 10^6 时运行你的程序，输出对应于每个 N 值所产生的边的个数。

出于同样的心情，我们鼓励所有的读者探索有关算法特性知识的分析基础。对于科学工作者或离散数学课程的学生来说，这样的练习很简单，不过对于近来很少做数学分析的人来说，可能会有一定难度：

1.12 在用“带权的快速合并”算法在最坏情况下建立的 2^n 个节点的树中，计算从一个节点到根节点的平均距离。

还有更多的练习需要你阅读和吸收。我希望这里有足够的练习能够激励你去积极地加深对自己感兴趣的主题的理解程度，而不仅仅满足于阅读正文所得到的收获。

目 录

出版说明

前 言

第一部分 基本原理

第一章 简介	3
1.1 算法	3
1.2 示例：连通问题	5
1.3 合并-查找算法	8
1.4 前景展望	16
1.5 总结	17
第二章 算法分析原理	19
2.1 实现和经验分析	20
2.2 算法分析	22
2.3 函数的增长	24
2.4 大 O 符号	30
2.5 递归基础知识	33
2.6 算法分析举例	36
2.7 保证、预测和限制	40
第一部分参考资料	44

第二部分 数据结构

第三章 基本数据结构	47
3.1 构建组件	48
3.2 数组	56
3.3 链表	62
3.4 基本的链表处理	68
3.5 链表的内存分配	75
3.6 字符串	78
3.7 复合数据结构	82
第四章 抽象数据类型	91
4.1 抽象对象和对象集合	98
4.2 下推栈 ADT	100
4.3 栈 ADT 客户示例	103
4.4 栈 ADT 的实现	108

4.5	创建一个新 ADT	112
4.6	FIFO 队列和广义队列	117
4.7	复制和索引项	124
4.8	一级 ADT	128
4.9	基于应用的 ADT 范例	137
4.10	前景展望	142
第五章	递归与树	144
5.1	递归算法	145
5.2	分治法	150
5.3	动态编程	161
5.4	树	168
5.5	二叉树的数学性质	174
5.6	树遍历	177
5.7	递归二叉树算法	181
5.8	图遍历	186
5.9	前景展望	191
第二部分	参考资料	192

第三部分 排序算法

第六章	基本排序方法	195
6.1	游戏规则	196
6.2	选择排序	200
6.3	插入排序	201
6.4	冒泡排序	203
6.5	基本排序方法的执行特性	205
6.6	Shell 排序法	209
6.7	对其他类型的文件进行排序	217
6.8	索引和指针排序	221
6.9	链表排序	227
6.10	关键字索引统计	230
第七章	快速排序	233
7.1	基本算法	234
7.2	快速排序算法的性能特性	237
7.3	栈大小	240
7.4	小的子文件	243
7.5	利用三个元素的中间元素来划分	245
7.6	重复值	249
7.7	字符串和向量	251

7.8 选择	253
第八章 归并及归并排序	256
8.1 二路归并	257
8.2 抽象的合适归并算法	258
8.3 自顶向下的归并排序	260
8.4 对基本排序方法进行改进	263
8.5 自底向上的归并排序	264
8.6 执行典型的归并排序算法	268
8.7 使用链表执行归并排序	270
8.8 再次讨论递归过程	272
第九章 优先队列与堆排序	274
9.1 基本的实现方法	276
9.2 堆的数据结构	279
9.3 基于堆的算法	281
9.4 堆排序	285
9.5 优先队列抽象数据类型	293
9.6 索引元素的优先队列	297
9.7 二项式队列	300
第十章 基数排序	309
10.1 比特、字节、字	310
10.2 二进制快速排序	313
10.3 MSD 基数排序	316
10.4 三路基数快速排序	322
10.5 LSD 基数排序	326
10.6 基数排序的特性	328
10.7 运行时间低于线性的排序	332
第十一章 特殊用途的排序方法	335
11.1 巴彻尔奇偶归并排序	336
11.2 排序网络	340
11.3 外部排序	347
11.4 “排序-归并”的实现	351
11.5 并行“排序-归并”	356
第三部分参考资料	360

第四部分 搜索算法

第十二章 符号表和二叉搜索树	365
-----------------------------	------------

12.1	符号表抽象数据类型 (ADT)	366
12.2	关键字索引检索	372
12.3	顺序搜索	374
12.4	二叉搜索	380
12.5	二叉搜索树	384
12.6	BST 的性能特性	390
12.7	符号表的索引实现	393
12.8	在 BST 的根进行的插入	397
12.9	其他 ADT 函数的 BST 实现	400
第十三章	平衡树	408
13.1	随机化 BST	411
13.2	发散 BST	416
13.3	自上而下 2-3-4 树	421
13.4	红黑树	426
13.5	跳跃表	434
13.6	性能特性	441
第十四章	散列	444
14.1	散列函数	445
14.2	链地址法	451
14.3	线性探测	455
14.4	双重散列	459
14.5	动态散列表	463
14.6	综述	466
第十五章	基数检索	470
15.1	数字搜索树	471
15.2	线索 (trie)	473
15.3	帕氏线索	480
15.4	多叉线索和 TST	487
15.5	文本字符索引算法	501
第十六章	外部排序	504
16.1	游戏规则	505
16.2	索引顺序存取	506
16.3	B 树	508
16.4	可扩充散列	519
16.5	综述	528
第四部分	参考资料	531

第一部分

基 本 原 理

