



国外经典教材·计算机科学与技术



Algorithms in Java

Parts 1-4, 3e

Java算法 (第3版, 第1卷)

(美) Robert Sedgewick 著
赵文进 译



清华大学出版社

国外经典教材·计算机科学与技术

Java 算法（第3版，第1卷）

（美） Robert Sedgewick 著
赵文进 译

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

《Java 算法》用 Java 语言全面实现了当今最重要的计算机算法,并用大量图表和数学公式对算法进行了详尽的描述和分析。全书共分 3 卷,本书是其中的第 1 卷(第 1 至第 4 部分)。内容包括基本概念(第 1 部分)、数据结构(第 2 部分)、排序算法(第 3 部分)和查找算法(第 4 部分)。

本书概念清楚,内容翔实、新颖,由浅入深地描述了算法。本书可作为高等院校计算机相关专业本科生和研究生的教材和补充读物,也可供 Java 爱好者及相关领域工程技术人员参考。

Simplified Chinese edition copyright © 2004 by **PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS.**

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: Algorithms in Java, Parts 1-4, 3e by Robert Sedgewick, Copyright © 2004.

EISBN: 0-201-36120-5

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Education, Inc..

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macao).

本书中文简体翻译版由 Pearson Education 授权给清华大学出版社在中国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区)出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2003-0548

本书封面贴有 **Pearson Education (培生教育出版集团)** 激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

Java 算法. 第 3 版: 第 1 卷/ (美) 塞奇威克 (Sedgewick, R.) 著; 赵文进译. —北京: 清华大学出版社, 2004

(国外经典教材·计算机科学与技术)

书名原文: Algorithms in Java, Parts 1-4, 3e

ISBN 7-302-08638-9

I. J… II. ①塞… ②赵… III. Java 语言—计算方法—教材 IV. TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 044726 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

文稿编辑: 车立红

封面设计: 久久度文化

印 装 者: 北京鑫霸印务有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185 × 260 印张: 35.75 字数: 840 千字

版 次: 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-08638-9/TP · 6193

印 数: 1 ~ 4000

定 价: 59.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704。

出版说明

近年来,我国的高等教育特别是计算机学科教育,进行了一系列大的调整和改革,急需一批门类齐全、具有国际先进水平的计算机经典教材,以适应当前我国计算机科学的教学需要。通过使用国外先进的经典教材,可以了解并吸收国际先进的教学思想和教学方法,使我国的计算机科学教育能够跟上国际计算机教育发展的步伐,从而培育出更多具有国际水准的计算机专业人才,增强我国计算机产业的核心竞争力。为此,我们从国外知名的出版集团 Pearson 引进这套“国外经典教材·计算机科学与技术”教材。

作为全球最大的图书出版机构, Pearson 在高等教育领域有着不凡的表现,其下属的 Prentice Hall 和 Addison Wesley 出版社是全球计算机高等教育的龙头出版机构。清华大学出版社与 Pearson 出版集团长期保持着紧密友好的合作关系,这次引进的“国外经典教材·计算机科学与技术”教材大部分出自 Prentice Hall 和 Addison Wesley 两家出版社。为了组织该套教材的出版,我们在国内聘请了一批知名的专家和教授,成立了一个专门的教材编审委员会。

教材编审委员会的运作从教材的选题阶段即开始启动,各位委员根据国内外高等院校计算机科学及相关专业的现有课程体系,并结合各个专业的培养方向,从 Pearson 出版的计算机系列教材中精心挑选针对性强的题材,以保证该套教材的优秀性和领先性,避免出现“低质重复引进”或“高质消化不良”的现象。

为了保证出版质量,我们为这套教材配备了一批经验丰富的编辑、排版、校对人员,制定了更加严格的出版流程。本套教材的译者,全部来自于对应专业的高校教师或拥有相关经验的 IT 专家。每本教材的责编在翻译伊始,就定期不间断地与该书的译者进行交流与反馈。为了尽可能地保留与发扬教材原著的精华,在经过翻译、排版和传统的三审三校之后,我们还请编审委员或相关的专家教授对文稿进行审读,以最大程度地弥补和修正在前面一系列加工过程中对教材造成的误差和瑕疵。

由于时间紧迫和受全体制作人员自身能力所限,该套教材在出版过程中很可能还存在一些遗憾,欢迎广大师生来电来信批评指正。同时,也欢迎读者朋友积极向我们推荐各类优秀的国外计算机教材,共同为我国高等院校计算机教育事业贡献力量。

清华大学出版社

2004.03.20

国外经典教材·计算机科学与技术

编 审 委 员 会

主任委员:

孙家广 清华大学教授

副主任委员:

周立柱 清华大学教授

委员 (按姓氏笔画排序):

王成山	天津大学教授
王 珊	中国人民大学教授
冯少荣	厦门大学教授
冯全源	西南交通大学教授
刘乐善	华中科技大学教授
刘腾红	中南财经政法大学教授
吉根林	南京师范大学教授
孙吉贵	吉林大学教授
阮秋琦	北京交通大学教授
何 晨	上海交通大学教授
吴百锋	复旦大学教授
李 彤	云南大学教授
沈钧毅	西安交通大学教授
邵志清	华东理工大学教授
陈 纯	浙江大学教授
陈 钟	北京大学教授
陈道蕃	南京大学教授
周伯生	北京航空航天大学教授
孟祥旭	山东大学教授
姚淑珍	北京航空航天大学教授
徐佩霞	中国科学技术大学教授
徐晓飞	哈尔滨工业大学教授
秦小麟	南京航空航天大学教授
钱培德	苏州大学教授
曹元大	北京理工大学教授
龚声蓉	苏州大学教授
谢希仁	中国人民解放军理工大学教授

译者序

本书是3卷中的第1卷，整个3卷的内容纵览了当今使用的最重要的计算机算法。第1卷（第1~4部分）涵盖了基本概念（第1部分）、数据结构（第2部分）、排序算法（第3部分）和查找算法（第4部分）；第2卷（第5部分）涵盖了图形和图算法；第3卷（第6~8部分）涵盖了字符串（第6部分）、计算几何学（第7部分）以及高级算法和应用（第8部分）。

本书不仅是目前最具广度和深度的介绍计算机经典算法（包括数据结构）的书，而且还是用标准的Java语言描述算法（书中还对每条表达语句进行了精确的描述），而不是用C、C++、Pascal或伪代码来描述算法（这样的书已经很多了）。这些算法程序可以直接用在实际编程中，对编程人员、Java爱好者、学生以及从事计算机教学的教师来说是一本很好的参考书。

本书的作者Robert Sedgwick教授在普林斯顿大学计算机系任教。他在Adobe系统公司担任总监职位，并担任过Xerox PARC、IDA和INRIA等项目的研究人员。他从斯坦福大学获得了博士学位，是算法宗师Donald E.Knuth的门下高徒。

在翻译本书的过程中，译者深刻地体会到了本书的几大特色：

- 由浅入深地介绍数据结构之上的经典算法，先给出基本实现，在此基础上，再进行详细分析，不断改进。
- 对每个具体的议题，都给出很多Java程序的实现，并用性质和图表对分析进行说明和佐证。
- 每一节后面都有大量习题，且这些习题根据目的的不同而分成几类，用不同的注释符进行标记（见书的前言部分）。读者可根据需要做相应的习题。

本书原文中长句非常之多，在翻译的过程中，译者尽可能地在保留原文风格的基础上，把原著的意思准确、浅显地表达出来。整个翻译工作经历了炎热的夏天和严寒的冬天，其中的艰辛只有译者自知，但若本书的出版能为中国的计算机事业贡献一点力量，译者就深感付出的努力是值得的。

感谢罗卫星、吴志勇、徐强、张勉、王康、任彪、钟高贤、朱鸿、赵亭、张敬业等参与了翻译工作。还要特别感谢车立红编辑对本书进行了细致的审稿工作，我们之间的合作非常愉快，对书中的每个疑点用E-mail传讯推敲，直到有一个满意的译文为止。同时，深深感谢我的家人对我工作的大力支持。

赵文进

2004年4月5日于合肥

前 言

本书是3卷中的第1卷，整个3卷的内容涵盖了当今使用的最重要的计算机算法。第1卷（第1~4部分）介绍了基本概念（第1部分）、数据结构（第2部分）、排序算法（第3部分）、查找算法（第4部分）；第2卷（第5部分）介绍了图和图算法；第3卷（第6~8部分）（尚未出版）介绍了字符串（第6部分）、计算几何学（第7部分）、高级算法和应用（第8部分）。

在学生已经具备了基本的编程技能并熟悉计算机系统之后，且在他们上计算机科学或计算机应用高级领域的专业课程之前，可将这3卷书作为计算机科学早期课程的教材。由于这3卷书包括了有用算法的实现和这些算法性能的详细信息，所以它们也适用于自学，或作为从事计算机系统开发和应用程序开发人员的参考书。这套书的作者的视野广阔，因此很适合把这些书作为该领域的入门书籍。

这3卷书的前期版本多年来一直被世界各地的学生和编程人员广泛使用，第3版由这3卷书构成。我完全重写了这一版的内容，并增加了数千个新习题、上百幅新图、许多新程序以及对所有图和程序的详细注释。新版书不仅涵盖了一些新议题，而且对一些经典算法提供了更详细的解释。贯彻全书的对抽象数据类型新的强调使程序使用范围更广，并且更适用于现代面向对象的编程环境。读过以前版本的读者将会在这一版书中发现许多新信息；所有的读者都将发现新版书中提供了许多有利于理解基本概念的教学资料。

这套书不仅适用于编程人员和计算机科学专业的学生，也适用于想让计算机运行得快一些或想解决一些较大问题的计算机使用者。我们所考虑的算法代表着近50年发展起来的一种知识体系，这种知识体系对各种应用来说是有效使用计算机的基础。从物理中的 N 体模拟问题到分子生物学中的基因序列问题，这里所描述的基本方法已成为科学研究要素；从数据库系统到因特网搜索引擎，它们已成为现代软件系统的基本部分。随着计算机应用的范围越来越广，基本算法的影响也随之增大。本书的目的是作为一种资源来使用，无论学生和专业人员从事什么样的计算机应用，当有需要时，他们都可以了解并明智地使用这些基本算法。

本书范围

本书（第1卷）包含16章，分为4大部分：基本概念、数据结构、排序和查找。本书对算法的描述是为了让读者理解范围尽可能广的基础算法的基本特性。这些算法已广泛使用多年，对编程人员和计算机科学专业的学生来说，它代表的是一种基本的知识体系。第2卷的内容是关于图算法的，第3卷由3个附加部分构成，包括字符串、几何学和一些高级主题。编写这套书的目的是把来自这些领域的基本方法汇集在一起，以提供用计算机

解决问题的已知的最佳方法。

如果你已经上过计算机科学的一两门课程或已有相当的编程经验，就会对本书非常感兴趣：一门课是用高级语言编程，如 Java，C 和 C++；可能还有一门课是讲授编程系统的基本概念。因此，本书的读者对象是熟悉现代编程语言和现代计算机系统基本特性的任何人。书中会给出一些补充背景知识的参考书。

支持分析结果的大多数数学材料是自包含的（或标注为超过本书范围）。尽管精通数学知识肯定是有用的，但阅读这套书并不需要具备专门的数学知识。

教学使用

如何教授本书有很大的灵活性，这取决于教师的喜好和学生的准备情况。书中有足够的基础材料可用来给初学者教授数据结构，也有足够多的高级材料用来给高层次的学生作教学资料。有的教师会侧重于算法的实现和实际问题；而有的教师则可能希望侧重于分析和理论概念。

数据结构和算法的基本课程会强调第 2 部分的基本数据结构，以及在第 3 部分和第 4 部分的实现中的使用。算法设计和分析的课程会强调第 1 部分和第 5 章的基础内容，然后研究第 3 部分和第 4 部分中的算法获得好的渐近性能的方法。软件工程课程会略掉数学内容和高级算法内容，而强调如何把本书中算法的实现集合成大的程序或系统。算法课程会采取纵览的方法，并介绍所有这些领域的概念。

这本书的早期版本是基于其他编程语言的，已被很多学院或大学作为计算机科学专业的第二门或第三门课的教材，并用作其他课程的补充读物。在普林斯顿大学，我们的经验是：由于本书的覆盖范围广泛，因此可作为计算机科学专业学生的专业入门书，在后期课程中再进行拓展，这些后期课程有算法分析、系统编程和理论计算机科学；同时也为其他学科越来越多的学生提供了大量的技术，他们能很快地利用好这些技术。

第 3 版中几乎所有的习题都是新增加的，它们分为几种类型。一些习题用来检验对书中内容的理解，只要求读者根据例子来做习题或应用书中描述的概念；一些习题是有关算法的实现和整理的，或通过使用经验研究方法来比较算法的变体以了解其特性；还有一些习题虽然不太适合本书，但可作为重要信息储存起来。阅读并思考这些习题对每位读者都是有益的。

实用算法

如果想更有效地使用计算机，可以把本书作为参考书或自学用书。有编程经验的人可在书中找到所需要的相关主题的信息。虽然在某些情况下，一个章节中的算法会使用前一章中的算法，但在很大程度上可以单独阅读书中的章节。

本书研究的算法是有可能用在实践中的算法。书中提供了商业工具的有关信息，以便于读者放心地实现、调试、运行算法，从而解决问题或为应用程序提供相应的功能。书中

包括所讨论的方法的全部实现，并且还给出了一套统一的例子以及对例子中程序的操作描述，因为我们是使用真正的代码而非伪代码编写算法，所以可以直接使用这些程序。本书的主页上提供了程序列表。可以用很多方法使用这些能运行的程序来帮助学习算法。可以阅读程序代码，检查一下自己对算法细节了解多少，或看看它是如何解决初始化问题、边界条件和其他一些棘手的情况的。运行程序，看看算法运行时的实验性能，并把结果与书中相应的表格做比较，或尝试自己所做的修改。

书中详细讨论了算法的特性和适用的情况所具有的特点，以及它与算法分析和理论计算机科学的联系。在合适的时候，会给出实验和分析结果来证明为什么某些算法比别的算法更好；在比较有趣时，会描述所讨论的实际算法与纯理论结果之间的联系。全书综合讨论了算法性能和实现的具体信息。

编程语言

本书实现所有算法的编程语言都是 Java 语言。程序中使用了大量标准的 Java 语句，书中还对每个表达语句进行了精确的描述。

我和 Mike Schidlowsky 开发了用 Java 编程的风格，它基于抽象数据类型，因为我们都认为这是把算法和数据结构表示为实际程序的一种有效方法。我们尽量让程序更加优美、紧凑、有效、便于移植。在全书中尽可能保持风格的一致，这样一来，类似的程序看起来也是相似的。

对于本书的一些算法，相似性与语言无关：举一个最突出的例子，无论是用 Ada, Algol-60, Basic, C, C++, Fortran, Java, Mesa, Modula-3, Pascal, PostScript, Smalltalk 还是用其他编程语言来描述快速排序算法，或在已证明它是一种有效的排序方法的环境中运行，快速排序就是快速排序。一方面，我们的代码吸取了用这些和许多其他语言实现算法的经验（本书的 C 和 C++ 版也有）；另一方面，这些语言的一些特性也吸取了本书所考虑的算法和数据结构的设计者的经验。

第 1 章就是用 Java 有效实现算法所用方法的具体例子。第 2 章描述了分析算法的方法。第 3 章和第 4 章描述了我们所使用的有关数据类型和 ADT 实现的基本机制并证明了其正确性。这 4 章为书中的其余部分奠定了基础。

致 谢

对于本书以前的版本，很多人都提供了有益的反馈。特别要指出的是，普林斯顿大学和布朗大学的数百名学生多年以来都在阅读本书粗糙的初稿。特别要感谢 Trina Avery 和 Tom Freeman 对于第 1 版的出版所提供的帮助；还要感谢 Janet Incerpi，她创造性地劝说我们使用早期原始的数字计算机化的排版硬件和软件来制作第 1 版；感谢 Marc Brown，他参与了算法可视化研究，而本书中很多的图表正来源于此；感谢 Dave Hanson 和 Andrew Appel，对于我的有关编程语言的问题，他们总是乐于作答；我还要感谢许多读者，他们

为各个版本提供了详尽的评论，这其中包括：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。

为了完成第3版，我很荣幸地与Addison-Wesley 的Peter Gordon和Helen Goldstein共事，他们耐心地指导了整个项目的进行。我也很有幸能与Addison-Wesley的许多专业人员一起工作。这个项目的性质使得这本书对于其中许多人来说都是不同寻常的挑战，对于他们的忍耐力我致以诚挚的谢意。特别要感谢Marilyn Rash，他在很紧迫的日程内出色地安排了本书的出版。

在编写本书的过程中，我得到了3位良师益友的指导，在此要特别向他们表示感谢。首先，Steve Summit从技术上仔细检查了初稿的早期版本，并提出了数千条详细的意见，特别是在程序方面。Steve很清楚我的目标是要提供优雅、高效而有用的实现，他的意见不仅有助于我对实现的一致性提供度量，而且还帮助我对其中一部分算法做了重大改进。其次，Lyn Dupré也对初稿提出了数千条的详细意见，对我来说它们真是无价之宝，它们不仅帮助我纠正和避免了许多语法错误，而且更重要的是，使我发现了一种一致而连贯的编写风格，由此才使我能够将如此繁多的技术资料合理地整理在一起。第三，Chris Van Wyk和我通过电子邮件进行了很多交流，这使我备受鼓舞。他耐心地告诉我遵守面向对象编程的基本规则的重要性，并帮助我养成了一种编码的风格，这种风格展示了清晰准确的算法，并利用了面向对象编程语言的优势。在本书的C++版本中所开发的方法极大地影响了此处的Java编码，并且肯定会对用这两种语言（以及C）编写的待出版的书产生影响。能够有机会向Steve, Lyn和Chris学习，我确实无比感激，他们的建议对于本书的完成至关重要。

我在这里所写的许多内容都受益于Don Knuth的授课和著作，他是我在斯坦福大学的导师。虽然Don对于这本书没有直接的影响，但在本书中仍然可以感受到他的存在，因为正是他为算法研究奠定了坚实的科学基础，从而才有可能完成本书。我的朋友兼同事Philippe Flajolet对于这本书也起到了类似的影响，算法分析得以发展为一个成熟的研究领域，他在其中也堪称主力。

非常感谢普林斯顿大学、布朗大学以及法国国立计算机与自动化研究所（Institut National de Recherche en Informatique et Automatique, INRIA）提供的支持，在这些地方我完成了本书的大部分工作；还要感谢美国国防部防御分析研究所（Institute for Defense Analyses）以及施乐的帕洛阿尔托研究中心（Xerox Palo Alto Research Center），在对它们进行访问期间，我也做了本书的一些工作。这本书的某些部分离不开国家自然科学基金（National Science Foundation）和海军研究中心（Office of Naval Research）的慷慨支持。最后，还要感谢Bill Bowen, Aaron Lemonick和Neil Rudenstine，他们为普林斯顿大学建立一个良好的学术环境做了许多工作，正是在此环境下，我才能够承担众多其他事务的同时完成本书的编写。

Robert Sedgewick

Marly-le-Roi, 法国, 1983

普林斯顿, 新泽西州, 1990, 1992

詹姆斯镇, 罗得岛, 1997

普林斯顿, 新泽西州, 1998, 2002

Java 顾问撰写的前言

在过去的十几年中，Java已成为各种应用所选择的语言。但Java开发者发现在解决普通的编程问题时，要不断地参考如Sedgewick的*Algorithms in C*这样的书。很长时间以来都没有能与之匹敌的书；本书满足了这一要求。

我们把样本程序写为能在各种情况下使用的实用方法。为此，我们没有使用Java的包机制。为了把重点放在手边的算法上（并且为了揭示出很多基本库类的算法基础），我们没有使用标准的Java库，以支持更基本的类型。合适的错误检测和其他防御性的措施不仅极大地提高了代码量，而且把读者的注意力从核心算法上转移开了。开发者若在较大的应用中使用这些程序，应当引入这样的代码。

尽管我们展现的算法是独立于语言的，但还是密切关注了特定于Java的性能问题。整本书中的时间是作为比较算法的一个环境提供的，并根据虚拟机的不同而不同。随着Java环境的变化，程序执行的速度将与编译过的代码一样快，但这样的优化并不会改变算法相对的性能。我们提供的时间是这种比较的有用的参考。

感谢Mike Zamansky，感谢他所提供的指导以及为计算机科学教学所做的贡献；感谢Daniel Chaskes，Jason Sanders和James Percy，感谢他们所给予的坚定的支持；还要感谢我的家人，他们不仅给予我支持，而且还让我使用他们的计算机产生了第一批程序。非常高兴能够把计算机科学的经典算法与Java结合在一起。感谢Bob为我提供了编写本书的机会。

Michael Schidlowsky
Oakland Gardens, 纽约, 2002

关于习题的说明

将习题分类是一件相当困难的工作，因为读者（比如说读这本书的人）所具有的知识水平和经验往往各不相同。不过，提供一些指导还是有益的。因此许多习题带有如下4个标记中的一种，以此帮助读者确定如何对其进行处理。

用于检查对内容的理解的习题标记一个空心三角形，如下所示：

- △ 9.57 给出把关键字EASYQUESTION插入到初始为空的二项式队列中所产生的二项式队列。

更常见的情况是，这些习题与文中的例子直接相关。它们的难度不大，但完成它们能教会你一个性质或一个概念，而在阅读正文时可能理解不了它们。

能够给正文增加新信息并且启迪思想的习题标记一个空心圆，如下所示：

- 14.19 写一个程序使用单独链把 N 个随机整数插入到大小为 $N/100$ 的表中，然后找到最短和最长链表的长度， $N=10^3, 10^4, 10^5, 10^6$ 。

这样的习题能促使你思考与正文内容相关的重要概念，或者解答在阅读正文时可能会出现的问题。即便是没有时间来完成，你也会发现看一下这些习题是大有裨益的。

有一定难度的习题则标记了一个黑点，如下所示：

- **8.45** 假设实现的归并排序是把文件在随机位置处分开，而不是恰好在中间，用这种方法对 N 个元素进行排序，平均情况下使用了多少次比较？

这样的习题需要花大量的时间来完成，这取决于你的经验。一般来说，效率最高的方法是分多次来完成。

一些极难的习题（与大多数其他的习题比较）标记了两个黑点，如下所示：

- **15.30** 证明由 N 个随机位串构成的trie的高度大约是 $2\lg N$ 。

这些习题类似于可能在研究文献中解决的问题，不过本书的内容可以使你做好准备，并愿意尝试解决这些问题（而且很可能会成功）。

这些标记力图做到与你的编程能力和数学能力无关。对于需要在编程和数学分析方面有一定基础的习题，则是不言而喻的。建议所有读者都通过实现算法来检验自己对这些算法的理解。对于一个实际工作的程序员或正在上编程课的学生来说，完成以下习题可能很简单，但对于近期没有编过程序的人来说则可能需要做大量的工作。

1.22 修改程序 1.4，让它生成随机整数对（整数范围在 $0 \sim N-1$ 之间）而不是从标准输入读入整数对，重复此生成过程直到完成了 $N-1$ 次合并操作。取 $N=10^3, 10^4, 10^5, 10^6$ 来执行程序，并打印出 N 取每个值时所生成的边的总数。

同样的道理，鼓励所有的读者都尽量理解有关算法特性分析的基础知识。如下的习题对于一位科学家或正在上离散数学课的学生来说可能很简单，但对于最近没有做过数学分析的人来说，则可能需要做大量的工作：

1.12 在使用加权快速合并算法所构建的一棵具有 2^n 个结点的最坏情况树中，计算从结点到树根的平均距离。

这里的习题确实太多，你不可能全部阅读并消化它们；我希望的是，通过做足够的习题，可以促使你对感兴趣的主题有更宽泛的理解，而不仅仅是掌握通过阅读正文所得到的知识。

目 录

第1部分 基础部分

第1章 介绍	1
1.1 算法	1
1.2 事例: 连通性	3
1.3 合并-查找算法	6
1.4 展望	16
1.5 主题总结	17
第2章 算法分析准则	20
2.1 实现和实验分析	20
2.2 算法分析	23
2.3 函数的增长	25
2.4 大O表示法	30
2.5 基本递归	34
2.6 算法分析示例	37
2.7 保证、预测和限制	42
第1部分的参考文献	44

第2部分 数据结构

第3章 基本数据结构	47
3.1 构建块	48
3.2 数组	56
3.3 链表	63
3.4 基本链表处理	68
3.5 链表的内存分配	76
3.6 串	79
3.7 复合数据结构	83
第4章 抽象数据类型	90
4.1 数据项集	96
4.2 堆栈ADT	97
4.3 使用ADT栈的客户程序的例子	99
4.4 栈的ADT实现	104
4.5 一般实现	108

4.6	创建新ADT	111
4.7	FIFO队列和广义队列	116
4.8	重复和索引项	122
4.9	一流的ADT	126
4.10	基于应用的ADT的例子	134
4.11	展望	138
第5章	递归和树	139
5.1	递归算法	139
5.2	分治法	145
5.3	动态编程	158
5.4	树	164
5.5	二叉树的数学性质	171
5.6	树遍历	174
5.7	递归二叉树算法	178
5.8	图遍历	183
5.9	展望	188
	第2部分的参考文献	189

第3部分 排 序

第6章	基本的排序方法	191
6.1	游戏的规则	192
6.2	一般排序实现	196
6.3	选择排序	204
6.4	插入排序	206
6.5	冒泡排序	208
6.6	基本排序的性能比较	210
6.7	算法可视化	215
6.8	希尔排序	219
6.9	链表排序	226
6.10	关键字索引计数	229
第7章	快速排序	232
7.1	基本算法	232
7.2	快速排序的性能特性	236
7.3	栈大小	239
7.4	小的子文件	242
7.5	三者取中法划分	244
7.6	重复关键字	248
7.7	串和向量	251

7.8 选择	252
第8章 归并和归并排序	256
8.1 两路归并	257
8.2 抽象原地归并	258
8.3 自顶向下的归并排序	260
8.4 基础算法的改进	263
8.5 自底向上的归并排序	264
8.6 归并排序的性能特性	268
8.7 归并排序的链表实现	270
8.8 递归重访	273
第9章 优先队列和堆排序	274
9.1 基本实现	276
9.2 堆数据结构	279
9.3 堆上的算法	281
9.4 堆排序	287
9.5 优先队列ADT	294
9.6 客户数组的优先队列	298
9.7 二项式队列	301
第10章 基数排序	310
10.1 位、字节和字	311
10.2 折半快速排序	314
10.3 MSD基数排序法	318
10.4 三路基数快速排序	325
10.5 LSD基数排序	330
10.6 基数排序的性能特性	334
10.7 次线性-时间排序	337
第11章 特殊用途的排序方法	341
11.1 Batcher的奇偶归并排序	342
11.2 排序网	346
11.3 原地排序	354
11.4 外部排序	359
11.5 排序-归并实现	363
11.6 并行排序-归并	368
第3部分的参考文献	371
第4部分 查 找	
第12章 符号表和二叉查找树	373
12.1 符号表抽象数据类型	374

12.2	关键字索引查找	380
12.3	顺序查找	383
12.4	折半查找	389
12.5	符号表的索引实现	393
12.6	折半查找树	397
12.7	BST的性能特性	403
12.8	在BST上根的插入	408
12.9	其他ADT操作的BST实现	413
第13章	平衡树	421
13.1	随机化的BST	423
13.2	八字形BST	429
13.3	自顶向下的2-3-4树	435
13.4	红-黑树	439
13.5	跳表	448
13.6	性能特点	455
第14章	哈希法	458
14.1	哈希函数	458
14.2	单独链	466
14.3	线性探测	470
14.4	双哈希法	474
14.5	动态哈希表	479
14.6	展望	482
第15章	基数查找	485
15.1	数字查找树	486
15.2	trie	491
15.3	patricia trie	498
15.4	多路trie和TST	506
15.5	文本串索引算法	521
第16章	外部查找	524
16.1	游戏的规则	525
16.2	索引顺序访问	526
16.3	B树	529
16.4	可扩展的哈希法	539
16.5	展望	547
	第4部分的参考文献	549
附录	551

第1部分 基础部分

第1章 介绍

本书研究了大量有用的重要算法——适合计算机实现的解决问题的方法。我们会在各种不同的应用领域中集中研究一些基本算法，对我们来说，了解这些基本算法很重要，对它们的研究也饶有趣味。对每一个算法我们都会花足够的时间，让读者了解它的基本特性并观察它的细节。我们的目标是让读者学好本书，能使用并意识到当今在计算机上使用的大量最重要的算法。

用来理解书中所提供程序的策略是：实现它们并对其进行测试，用程序的变量进行实验，讨论程序在小例子上是如何工作的，用一些类似于实际情况中可能遇到的大型例子来对它们进行测试。我们将使用 Java 编程语言来描述算法，同时，又提供了有用的算法实现。我们的程序风格一致，容易被翻译成其他现代编程语言。

本书也注意到算法的执行性能，目的是帮助我们改进算法、比较同一任务的不同算法、预测或保证大规模问题的性能。理解算法是如何执行的可能需要进行实验或数学分析，或者两者都需要。本书将详细分析许多重要的算法，可行的话，直接得出分析结果；或必要的话，从研究文献中得到结果。

为了说明用算法解决问题的一般方法，本章将分析一个详细的例子，这个例子中包括了解决某一特定问题的多个算法。我们所考虑的问题可不是闹着玩的，它是计算机的一项基本任务，我们所开发的解决方案在各种应用中都会用到。让我们先从一个简单的解决方案入手，试着去理解这种解决方案的执行性能，这有助于研究如何改进算法。在反复进行此过程后，我们会得到解决问题的有效且有用的算法。这一典型的例子为本书通篇使用的方法奠定了基础。

本章最后简单讨论了本书的内容，包括对本书主要部分的简短描述以及它们之间是如何联系起来的。

1.1 算 法

编写计算机程序时，通常是实现一个以前设计用于解决某个问题的方法。该方法常常独立于要使用的特定计算机——它很可能同样适用于很多计算机和很多计算机语言。我们必须研究的是解决问题的方法，而不是计算机程序本身，以了解如何解决问题。“算法”