

计算机系列教材

数据结构与算法 (第2版)

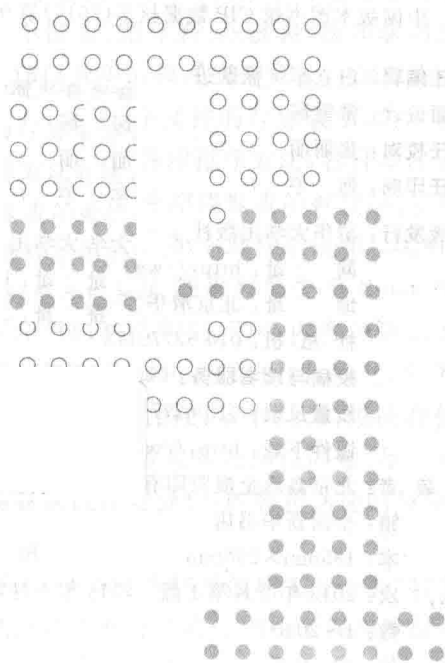
熊岳山 编著

清华大学出版社

计算机系列教材

熊岳山 编著

数据结构与算法 (第2版)



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

“数据结构与算法”是计算机专业的重要基础课,是该专业的核心课程之一,是一门集技术性、理论性和实践性于一体的课程。本书内容包括基本数据类型、抽象数据类型、顺序表、链表、串、树和二叉树、图、递归与分治算法、贪心算法、分支限界和动态规划等内容;重点介绍抽象数据类型、基本数据结构、C语言数据结构描述、数据结构的应用、算法设计与分析以及算法性能评价等内容,目的是让读者理解数据抽象与编程实现的关系,提高用计算机解决实际问题的能力。

本书结构合理,内容丰富,算法描述清晰,用C语言编写的算法代码都已调试通过,便于自学,可作为高等院校计算机专业、军事院校的基础合训专业和其他相关专业的教材和参考书,也可供从事计算机软件开发的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

数据结构与算法/熊岳山编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2016

计算机系列教材

ISBN 978-7-302-42958-6

I. ①数… II. ①熊… III. ①数据结构—高等学校—教材 ②算法分析—高等学校—教材
IV. ①TP311.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 030550 号

责任编辑:白立军 徐跃进

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:17

字 数:392千字

版 次:2013年2月第1版 2016年4月第2版

印 次:2016年4月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:34.50元

产品编号:067681-01

“数据结构与算法”是计算机科学与技术一级学科相关专业的重要基础课程之一,是软件开发和维护的基础。计算机的数据处理能力是计算机解决各种实际问题的关键。现实世界中的实际问题经过抽象,得出反映实际事物本质的数据表示后,才有可能被计算机处理。从实际问题抽象出数学模型,得出它的数据表示后,如何用计算机所能接受的形式来描述这些数据(包括数据本身与数据之间的关系)?如何将这些数据以及它们之间的关系存储在计算机中?如何用有效的方法去处理这些数据?如何在构建的数据结构上设计高效的算法?这些问题皆是数据结构与算法研究的主要问题。

本书是在深入研究国内外同类教材的基础上,结合多年“数据结构”、“算法设计与分析”课程教学经验编写而成的,书中将重点围绕抽象数据类型的C语言实现进行介绍。

第1章为数据结构概述,主要介绍数据结构概念,内容包括逻辑结构、存储方法、算法复杂度分析、基本数据类型、抽象数据类型与结构描述。第2章介绍向量、栈和队列及其应用,内容有向量、栈和队列的逻辑结构,抽象数据类型向量、栈和队列的描述;Josephus问题求解、栈与后缀表达式求值、栈与递归、递归效率分析、队列与离散事件模拟等应用实例。第3章介绍链表及其应用,内容有动态存储、单链表、循环表、双链表、栈和队列的链接存储。第4章介绍串,内容有串的定义、串的存储以及串的模式匹配算法(BMP算法)。第5章介绍各种排序方法,内容包括排序的基本概念,被排序文件的存储表示,折半插入排序、Shell排序、起泡排序、快速排序、归并排序和外排序等各种排序方法,各种排序方法的时空效率,算法的实现细节和算法的时空效率等。第6章介绍线性表的查找,内容包括有关查找的概念,顺序查找、折半查找、分块查找和散列查找。第7章介绍树和二叉树,内容包括树(树林)和二叉树的概念、树(树林)和二叉树的遍历、抽象数据类型 BinaryTree 与 BinaryTree 结构、二叉树的遍历算法。第8章介绍树状结构的应用,内容包括二叉排序树、平衡的二叉排序树、B-树和 B⁺-树、键树和 2-3 树、Huffman 最优树、堆排序、判定树、等价类和并查集、红黑树。第9章介绍图结构,内容包括图的基本概念、图的存储表示、Graph 结构的构造与实现、图的遍历、最小代价生成树、单源最短路径问题、每一对顶点间的最短路径问题、有向无回路图。第10章为算法设计与分析,内容包括递归与分治、回溯法、分支限界法、贪心法和动态规划法等。

本书是作为计算机专业本科生、军事院校的基础合训专业和其他相关专业的“数据结构与算法”课程教材编写的,也可供从事计算机软件开发和计算机应用的工程与科技人员

参考。具备了 C 语言基础的读者便可学习本书。

书中不加注*的章节可用60学时的时间讲授,全部内容的讲授可在70~80学小时内完成。此外,为配合课堂教学,便于学生理解和掌握所学知识,提高程序设计编程能力,应另外配有20~30小时的上机时间。

本书的出版得到清华大学出版社、国防科技大学计算机学院、计算机系、603 教研室的大力支持,在此深表谢意。特别感谢陈怀义教授和姚丹霖教授在《数据结构——C++描述》一书中的辛勤工作与许多富有创新的思想,感谢殷建平、肖晓强、刘越等老师为本书提出的宝贵意见,正是因为这些同志的热情帮助,才使得本书能顺利出版。由于时间仓促,加之作者水平有限,书中错误在所难免,敬请广大读者和专家批评指正。

作者

2015 年 9 月

F O R E W O R D

第1章 数据结构概述 /1

1.1 基本概念 /1

1.1.1 数据、数据元素、数据对象 /1

1.1.2 数据结构 /2

1.2 数据结构的分类 /3

1.3 数据类型 /5

1.3.1 基本类型、组合类型 /5

1.3.2 抽象数据类型 /5

1.4 算法和算法分析 /8

1.4.1 算法概念 /8

1.4.2 算法分析 /9

习题 /11

第2章 向量、栈和队列 /13

2.1 线性表 /13

2.1.1 线性表的抽象数据类型 /13

2.1.2 线性表的结构表示 /15

2.2 向量 /18

2.2.1 向量的抽象数据类型 /18

2.2.2 向量的插入和删除 /20

2.2.3 向量的应用 /23

2.3 栈 /26

2.3.1 栈的抽象数据类型及其实现 /26

2.3.2 栈的应用 /29

2.4 递归效率分析 /36

2.4.1 递归方程求解 /36

2.4.2 生成函数求解递归方程 /37

2.4.3 特征方程求解递归方程 /38

2.4.4 递归树方法 /39

2.5 队列 /40

目录 《数据结构与算法(第2版)》

2.5.1 队列的抽象数据类型及其实现 /40

* 2.5.2 队列的应用——模拟银行活动 /46

习题 /54

第3章 链表 /56

3.1 单链表 /56

3.1.1 基本概念 /56

3.1.2 单链表结点结构 /57

3.1.3 单链表结构 /59

3.1.4 栈的单链表实现 /70

3.1.5 队列的单链表实现 /71

3.1.6 单链表的应用举例 /75

3.2 循环链表 /80

3.3 双链表 /82

习题 /84

第4章 串 /87

4.1 基本概念 /87

4.2 串的存储 /88

4.3 串结构和串的运算 /89

4.4 模式匹配 /91

4.4.1 朴素的模式匹配算法 /91

4.4.2 KMP 匹配算法 /92

* 4.4.3 BM 匹配算法 /95

习题 /98

第5章 排序 /99

5.1 基本概念 /99

5.2 插入排序 /100

5.2.1 直接插入排序 /100

5.2.2	折半插入排序	/102
5.2.3	Shell 排序	/104
5.3	选择排序	/105
5.3.1	直接选择排序	/105
5.3.2	树形选择排序	/107
5.4	交换排序	/108
5.4.1	起泡排序	/108
5.4.2	快速排序	/109
5.5	分配排序	/113
5.5.1	基本思想	/113
5.5.2	基数排序	/114
5.6	归并排序	/117
5.7	外部排序	/120
5.7.1	二路合并排序	/120
5.7.2	多路替代选择合并排序	/121
5.7.3	最佳合并排序	/122
	习题	/123

第6章 查找 /125

6.1	基本概念	/125
6.2	顺序查找	/125
6.3	折半查找	/127
6.4	分块查找	/129
6.5	散列查找	/131
6.5.1	概述	/131
6.5.2	散列函数	/132
6.5.3	冲突的处理	/134
6.5.4	散列查找的效率	/137
	习题	/138

第7章 树和二叉树 /140

7.1	树的概念	/140
7.2	二叉树	/141
7.2.1	二叉树的概念	/141
7.2.2	二叉树的性质	/141
7.2.3	二叉树的存储方式	/144
7.2.4	树(树林)与二叉树的相互转换	/146
7.3	树(树林)、二叉树的遍历	/147
7.3.1	树(树林)的遍历	/147
7.3.2	二叉树的遍历	/147
7.4	抽象数据类型 BinaryTree 以及 BinaryTree 结构	/148
7.4.1	抽象数据类型 BinaryTree	/148
7.4.2	一个完整的包含构建二叉树与遍历实现的例子	/150
7.5	二叉树的遍历算法	/151
7.5.1	非递归(使用栈)的遍历算法	/151
7.5.2	线索化二叉树的遍历	/153
	习题	/157

第8章 树状结构的应用 /159

8.1	二叉排序树	/159
8.1.1	二叉排序树与 BinarySTree 结构	/159
8.1.2	二叉排序树的检索、插入、删除运算	/160
8.1.3	等概率查找对应的最佳二叉排序树	/164
8.2	平衡的二叉排序树	/166
8.2.1	平衡二叉排序树的定义	/166
* 8.2.2	平衡二叉排序树的插入、删除	/167
* 8.2.3	AVL 树高度	/170
* 8.3	B-树、B ⁺ -树	/171

* 8.4	键树和 2-3 树	/175
8.4.1	键树	/175
8.4.2	2-3 树	/176
8.5	Huffman 最优树与树编码	/178
8.5.1	Huffman 最优树	/178
8.5.2	树编码	/181
8.6	堆排序	/183
* 8.7	判定树	/189
* 8.8	等价类和并查集	/190
8.8.1	等价类	/190
8.8.2	并查集	/190
* 8.9	红黑树	/193
	习题	/197

第 9 章 图 /199

9.1	基本概念	/199
9.2	图的存储表示	/201
9.2.1	相邻矩阵表示图	/201
9.2.2	图的邻接表表示	/202
9.2.3	邻接多重表	/203
9.3	基于邻接表表示的 Graph 结构	/205
9.4	图的遍历	/206
9.4.1	深度优先遍历	/206
9.4.2	广度优先遍历	/208
9.5	最小代价生成树	/209
9.6	单源最短路径问题	/213
9.7	每一对顶点间的最短路径问题	/216
9.8	有向无回路图	/218
9.8.1	DAG 图和 AOV、AOE 网	/218
9.8.2	AOV 网的拓扑排序	/220

9.8.3 AOE网的关键路径 /222

习题 /224

第10章 算法设计与分析 /226

10.1 递归与分治 /226

10.1.1 递归方法设计 /226

10.1.2 分治法 /227

10.2 回溯法 /229

10.3 分支限界法 /234

10.4 贪心算法 /241

10.5 动态规划法 /242

习题 /245

关键词索引 /247

参考文献 /250

图 目 录

图 1.1 基本的逻辑结构	3
图 1.2 基本存储方法	4
图 1.3 游泳池及环形过道	8
图 2.1 向量的顺序存储	19
图 2.2 顺序存储的栈	26
图 2.3 中缀表达式的计值过程	30
图 2.4 后缀表达式的计值	30
图 2.5 中缀表达式转换成后缀表达式的过程	31
图 2.6 汉诺塔问题的递归求解过程	33
图 2.7 活动记录的进栈情况	35
图 2.8 活动记录的退栈情况	36
图 2.9 式(2.1)的递归树	39
图 2.10 式(2.2)的递归树	40
图 2.11 顺序存储的队列	40
图 2.12 队列的操作	41
图 2.13 循环队列的队空和队满	41
图 3.1 单链表	56
图 3.2 从链表中删除一个结点	56
图 3.3 往链表中插入一个结点	56
图 3.4 附加头结点的单链表	57
图 3.5 一个实际的单链表结构	65
图 3.6 空的循环链表	80
图 3.7 双链表结点	82
图 3.8 双链表	82
图 3.9 往双链表中插入一个结点	82
图 3.10 从双链表中删除一个结点	82
图 3.11 题 3.2 用图	85
图 4.1 串的顺序存储	88

图 4.2	串的紧缩顺序存储	88
图 4.3	串的链接存储	89
图 4.4	第 1 趟比较	91
图 4.5	第 2 趟比较	92
图 4.6	朴素的模式匹配算法执行过程	92
图 4.7	模式 $P = \text{"abcbcd"}$ 的 next 数组的计算过程	95
图 4.8	基于 KMP 匹配算法的模式匹配过程	96
图 5.1	直接插入排序的过程	100
图 5.2	折半查找过程	102
图 5.3	Shell 排序过程	104
图 5.4	直接选择排序	106
图 5.5	第一次树形选择排序选出最小排序码 13	107
图 5.6	第二次树形选择排序选出最小排序码 14	107
图 5.7	起泡排序过程	108
图 5.8	第 1 趟快速排序的比较过程	110
图 5.9	基数排序的分配和收集过程	115
图 5.10	二路归并过程	118
图 5.11	二路归并排序示意	121
图 5.12	实现五路合并败者树	122
图 5.13	实现五路合并一次替代选择后的败者树	122
图 5.14	顺序合并的三路合并树	122
图 5.15	三路最佳合并树	123
图 6.1	折半查找过程	128
图 6.2	分块查找过程	130
图 6.3	用分离的同义词子表解决冲突	137
图 6.4	用结合的同义词子表解决冲突	137
图 6.5	几种不同的解决碰撞方法时的平均检索长度(横坐标为负载因子的取值)	138
图 6.6	题 6.8 用图	139
图 7.1	家族树	140
图 7.2	二叉树的五种基本形态	141
图 7.3	表达式二叉树	142

图 7.4 深度为 3 的满二叉树	142
图 7.5 特殊的二叉树	143
图 7.6 i 与 $i+1$ 在同一层的完全二叉树	143
图 7.7 i 与 $i+1$ 不在同一层的完全二叉树	143
图 7.8 完全二叉树的顺序存储	144
图 7.9 非完全二叉树的顺序存储	144
图 7.10 二叉树的 LeftChild-RightChild 表示	145
图 7.11 树(树林)与二叉树之间相互转换	146
图 7.12 树林的例子	147
图 7.13 图 7.12 对应的二叉树	148
图 7.14 二叉树遍历实例	150
图 7.15 对称序线索树	153
图 7.16 在对称序线索化二叉树中插入新结点	156
图 7.17 题 7.5 用图	157
图 7.18 题 7.7 用图	157
图 7.19 题 7.14 用图	158
图 7.20 题 7.15 用图	158
图 8.1 二叉排序树	159
图 8.2 构造二叉排序树	162
图 8.3 二叉排序树中删除一个结点	164
图 8.4 删除结点 11 后的另一种形式	164
图 8.5 两种不同的二叉排序树	164
图 8.6 两棵扩充二叉树	164
图 8.7 最佳二叉排序树的构造	165
图 8.8 二叉树与结点的平衡因子	167
图 8.9 平衡的二叉排序的生成过程(带★的点为插入后引起不平衡的点)	168
图 8.10 二叉排序树的平衡旋转	169
图 8.11 AVL 二叉排序树结点的删除(结点中右边数字代表平衡因子)	170
图 8.12 一棵 7 阶的 B-树	171
图 8.13 B-树的插入	173
图 8.14 图 8.13 中删除元素 80	173
图 8.15 图 8.13 中删除元素 4	173

图 8.16	在图 8.15 中删除元素 60	174
图 8.17	在图 8.16 中删除元素 70	174
图 8.18	一棵 3 阶的 B^+ -树	174
图 8.19	键树示例	175
图 8.20	由图 8.19 压缩后的键树	176
图 8.21	键树中插入记录	176
图 8.22	两棵不同形式的 2-3 树	177
图 8.23	2-3 树的插入	177
图 8.24	在图 8.22(b)中插入 8 后 2-3 树的变化图	178
图 8.25	2-3 树的删除	178
图 8.26	一棵扩充的二叉树	178
图 8.27	赫夫曼最优树的构造过程	179
图 8.28	Huffman 编码树	182
图 8.29	堆对应的完全二叉树	183
图 8.30	堆中插入新结点	183
图 8.31	堆中根结点的删除	184
图 8.32	筛法建堆过程	184
图 8.33	堆排序过程	185
图 8.34	三个元素排序的判定树	189
图 8.35	鉴别伪币的判定树	189
图 8.36	用父指针表示的树状结构存储的并查集	191
图 8.37	并查集的查找、合并过程	191
图 8.38	Union 加权规则示意图	192
图 8.39	路径压缩的例子	193
图 8.40	一棵阶为 2 的红黑树	194
图 8.41	红黑树的生长过程	194
图 8.42	一棵 2 阶红黑树	195
图 8.43	红黑树中删除元素 88	195
图 8.44	图 8.43 调整后的红黑树	196
图 8.45	图 8.44 中删除元素 71	196
图 8.46	图 8.45 调整后的红黑树	196
图 8.47	图 8.46 中删除元素 63	196

图 8.48 调整图 8.47 后的红黑树	197
图 8.49 题 8.15 用图	198
图 9.1 无向图和有向图	199
图 9.2 图 $G_4=(V,E)$	200
图 9.3 图 G_3 的强连通分量	201
图 9.4 G_1 的生成树	201
图 9.5 G_3 的生成树林	201
图 9.6 图 G_5 (网络)	201
图 9.7 图的邻接表表示	203
图 9.8 G_5 的邻接表表示	204
图 9.9 图 9.7(a)的邻接多重表表示	204
图 9.10 图 9.7(c)的多重链表表示	205
图 9.11 有向图深度优先搜索过程	206
图 9.12 无向图深度方向优先遍历	207
图 9.13 广度优先生成树(树林)	209
图 9.14 T 的变化图	210
图 9.15 Prim 算法构造最小生成树的过程	211
图 9.16 Kruskal 构造最小生成树的过程	213
图 9.17 有向图 G	213
图 9.18 含三个顶点的有向网络	217
图 9.19 表达式树	218
图 9.20 共享结点后的表达式树	219
图 9.21 表示各课程优先关系的 AOV 网	219
图 9.22 一个 AOV 网的例子	220
图 9.23 图 9.22 的关键路径为 (a_1, a_4, a_8, a_{11}) 或 (a_1, a_4, a_7, a_{10})	222
图 9.24 题 9.1 用图	224
图 9.25 题 9.2 用图	224
图 9.26 题 9.3 用图	224
图 9.27 题 9.5 用图	224
图 9.28 题 9.6 用图	225
图 9.29 题 9.7 用图	225
图 9.30 题 9.10 用图	225

图 9.31	题 9.12 用图	225
图 10.1	用 0-1 矩阵表示的迷宫	230
图 10.2	0-1 背包问题的解空间树	235
图 10.3	树 T	241
图 10.4	树 T_0	241
图 10.5	树 T_1	242
图 10.6	内部结点构造图	242
图 10.7	题 10.5 用图	245