



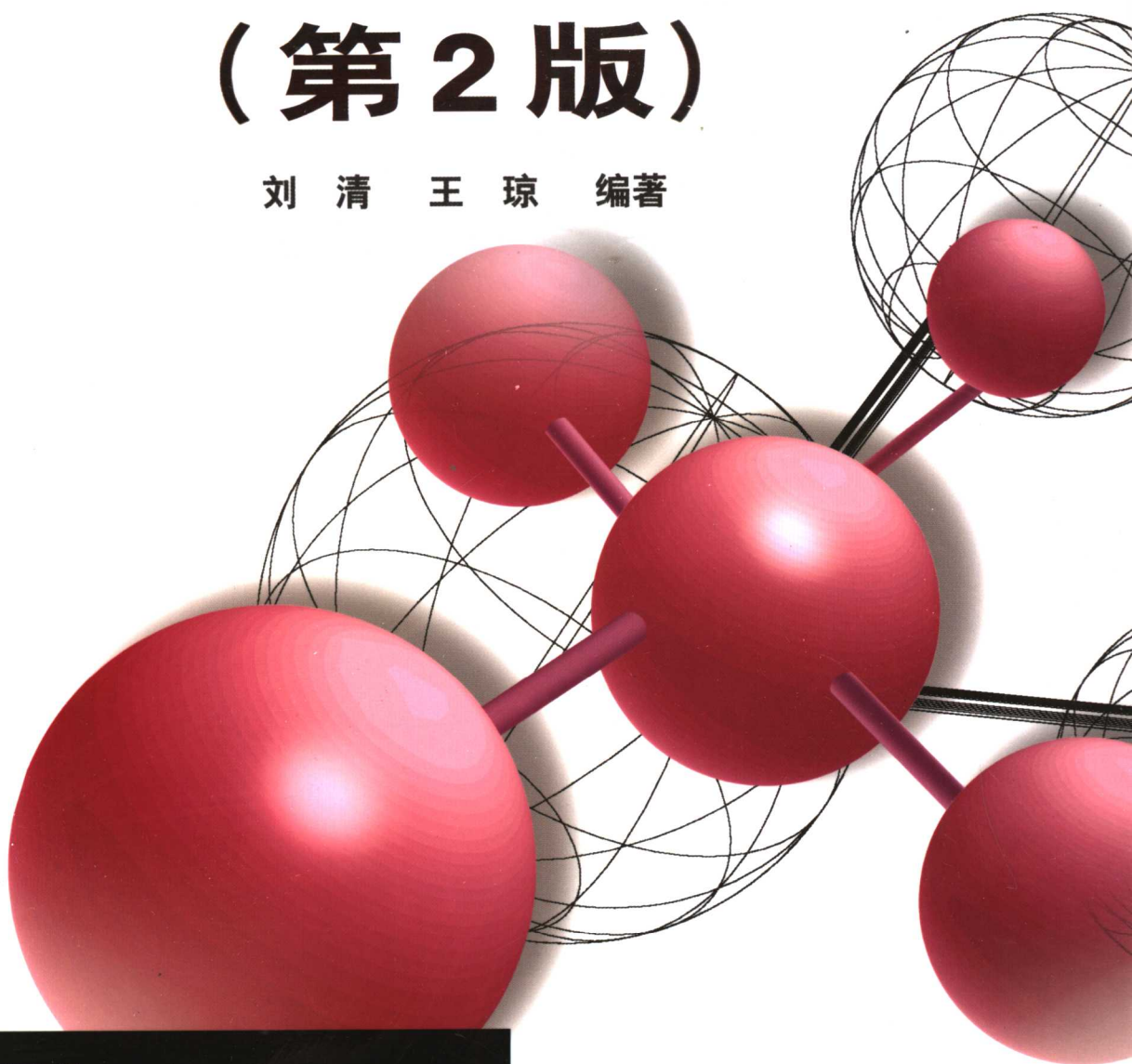
教育部高职高专规划教材  
Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuān Guihua Jiaocai

高职高专计算机系列规划教材

# 数据结构

## (第2版)

刘清 王琼 编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

教育部高职高专规划教材

高职高专计算机系列规划教材

# 数据结构

(第2版)

刘清  
王琼 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书由中国计算机学会教育委员会高职高专教育学组、高职高专计算机教材编委会组织编写、审定后推荐出版,是专为大专和高职院校计算机及电子类专业编写的“数据结构”课程教材。全书共分9章,分别为绪论、线性表、栈与队列、串、数组和广义表、树、图、查找以及排序。全书用C语言作为算法描述语言,详细介绍了各种数据结构的特性、存储格式和有关运算的算法。

本书概念清楚,内容丰富;特点是通过具体实例,将数据结构中复杂的算法简单化,更加便于将来从事工程技术工作的学生学习。为便于巩固教学内容,各章之后都配有习题。所以,本书是一本适合高等职业技术学院学生使用的教材,也可作为大专院校其他专业学生学习数据结构的教材和从事计算机工作的工程技术人员自学或参加相关计算机等级考试的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

数据结构/刘清,王琼编著.—2版.—北京:电子工业出版社,2005.8

(高职高专计算机系列规划教材)

ISBN 7-121-01343-6

I. 数… II. ①刘… ②王… III. 数据结构—高等学校;技术学校—教材 IV. TP311.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第056796号

责任编辑:王沈平

印 刷:北京市海淀区四季青印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:9.5 字数:243千字

印 次:2005年8月第1次印刷

印 数:6000册 定价:15.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

## 出版说明

高职高专的计算机专业面临着两方面的巨大变化，一方面是计算机技术的飞速发展，另一方面是高职高专教育本身的改革和重组。

当前，计算机技术正经历着高速度、多媒体及网络化的发展。计算机教育，特别是计算机专业的教材建设必须适应这种日新月异的形势，才能培养出不同层次的、合格的计算机技术专业人才。

自 20 世纪 70 年代末高等专科学校计算机专业相继成立以来，高等专科学校积极探索具有自己特色的教学计划和配套教材。1985 年，在原电子工业部的支持下，由全国数十所高等专科学校参加成立了“中国计算机学会教育委员会大专教育学组”，之后又成立了“大专计算机教材编委会”。从 1986 年到 1999 年，在各校老师的共同努力下，相继完成了 3 轮高等专科学校计算机教材的规划与出版工作，出版了 78 种必修课、选修课、实验课教材，较好地解决了高专层次计算机专业的教材需求。

为了适应计算机技术的飞速发展以及高职高专计算机教育发展的需要，“中国计算机学会教育委员会高职高专教育学组”和“高职高专计算机教材编委会”从 2000 年 7 月开始，又组织了本科高校、高等专科学校、高等职业技术学院和成人教育高等院校的有教学经验的老师，学习、研究、参考了“全国高校计算机专业教学指导委员会”和“中国计算机学会教育委员会”制定的高等院校《计算机学科教学计划 2000》，制定了《高职高专计算机教育 2002》，规划了高专、高职、成人高等教育三教统筹的第 4 轮教材。

第 4 轮教材的编写工作以招标的方式征求每门课程的编写大纲和主编，要求投标老师详细说明课程改革的思路、本课程和相关课程的联系、重点和难点的处理等。在第 4 轮教材的编写过程中，编委会强调加强实践环节、强调三教统筹、强调理论够用为度的原则，特别要求教学内容要适应高职高专教育发展的新形势。经过编委会、编者和出版社的共同努力，第 4 轮教材比前 3 轮教材得到了更广泛的使用，已经出版 60 多种。

在第 4 轮教材的出版过程中，得到了教育部高教司高职高专处的支持、指导和帮助，经过专家的评审，已有 8 种被列为“国家十五规划教材”，14 种被列为“教育部规划教材”。

第 4 轮教材具有以下特点：

1. 在编写上突出高等职业教育的特点，强调淡化理论，加强实训，突出职业技能训练。
2. 内容反映新知识、新技术和新方法，使学生能更快地适应就业岗位的需要。
3. 对实践性较强的课程，本系列设计了主教程、上机指导教程（初级实践指导与练习）和实训教程（高级实践指导与练习）。
4. 为了满足课堂教学和教师备课的需要，教材配有电子教案或电子课件。
5. 为了配合计算机等级考试和认证考试，部分教材的习题中安排了相应的题型。

本系列教材已于 2004 年 7 月至 9 月陆续推出 32 个新品种，使得第 4 轮教材达到近 100 种，基本覆盖了高职高专计算机专业的主要课程。

“中国计算机学会教育委员会高职高专教育学组”和“高职高专计算机教材编委会”恳切希望学生、教师和专家对本套教材提出宝贵的批评和建议。

中国计算机学会教育委员会高职高专教育学组  
2004 年 9 月

## 部分学组成员单位名称单

安徽淮南联合大学  
安徽职业技术学院  
保定职业技术学院  
北方工业大学  
北京船舶工业管理干部学院  
北京电子信息职业技术学院  
北京科技大学职业技术学院  
北京师范大学信息科学学院  
北京市机械局职工大学  
北京信息工程学院  
常州工学院  
成都电子机械高等专科学校  
成都航空职业技术学院  
成都师范高等专科学校  
成都信息工程学院  
承德石油高等专科学校  
重庆电子职业技术学院  
重庆工业职业技术学院  
滁州职业技术学院  
电子科技大学  
佛山科技学院  
福建信息职业技术学院  
福州大学职业技术学院  
广东女子职业技术学院  
广东轻工职业技术学院  
广西水利电力职业技术学院  
广西职业技术学院  
广州大学科技贸易技术学院  
广州航海高等专科学校  
广州市财贸管理干部学院  
桂林电子工业学院  
哈尔滨师范大学  
哈尔滨学院  
海淀走读大学信息学院  
海口经济职业技术学院  
海南职业技术学院  
杭州经贸职业技术学院  
杭州商学院  
河北沧州职业技术学院  
河北大学  
河北工业职业技术学院  
河北师范大学  
河南大学  
河南机电高等专科学校  
河南新乡平原大学  
河南职业技术学院  
黑龙江大学职业技术学院  
湖北沙市大学  
湖南财经高等专科学校  
湖南城市学院  
湖南大学  
湖南环境生物职业技术学院  
湖南计算机高等专科学校  
湖南民政职业技术学院  
湖南税务高等专科学校  
湖南铁道职业技术学院  
湖州职业技术学院  
淮安信息职业技术学院  
淮海工学院  
黄石高等专科学校  
吉林大学  
吉林交通职业技术学院  
吉林职业师范学院工程学院  
济源职业技术学院  
江汉大学  
江苏常州机电职业技术学院  
金陵职业大学  
军械工程学院  
空军后勤学院  
兰州师范专科学校  
兰州石化职业技术学院  
连云港化工高等专科学校  
辽东学院  
辽宁交通高等专科学校

辽阳高等职业技术学院  
柳州职业技术学院  
洛阳大学  
漯河职业技术学院  
南京工程学院  
南京建筑工程学院  
南京农业专科学校  
南京师范大学  
南京钟山学院  
南宁职业技术学院  
宁波高等专科学校  
青岛化工学院  
青岛科技大学  
青岛职业技术学院  
山西大同职业技术学院  
山西工业职业技术学院  
山西师范大学  
山西水利职业技术学院  
陕西工业职业技术学院  
上海第二工业大学  
上海电机技术高等专科学校  
上海交通大学应用技术学院  
上海理工大学  
上海旅游高等专科学校  
上海商业职业技术学院  
上海托普职业技术学院  
上海应用技术学院  
韶关学院  
邵阳高等专科学校  
深圳信息职业技术学院  
深圳职业技术学院  
沈阳电力高等专科学校  
四川师范学院  
四川托普信息职业技术学院  
苏州市职工大学  
苏州铁路机械学校  
苏州职业大学  
台州职业技术学院  
泰州职业技术学院  
天津滨海职业学院

天津渤海职业技术学院  
天津大学高职学院  
天津电子信息职业技术学院  
天津轻工业学院  
天津师范大学计算机与信息学院  
潍坊高等专科学校  
温州大学  
无锡职业技术学院  
武汉职业技术学院  
西安电子科技大学  
新疆农业职业技术学院  
兖州矿区职业大学  
云南财贸学院  
云南民族大学职业技术学院  
浙江大学  
浙江工贸职业技术学院  
浙江育英学院  
郑州工业高等专科学校  
郑州经济管理干部学院  
郑州经济管理学院  
中国保险管理干部学院  
中国地质大学  
中国人民大学成人教育学院  
中州大学

# 前 言

随着计算机软件和硬件的发展,计算机应用已经深入到社会的各个领域,各行各业都需要对大量的非数值数据进行存储,加工和管理。如何根据实际应用的要求,对数据进行有效地组织、存储和处理,进而编制出相应的高效率算法,这是“数据结构”这门课程所要研究并加以解决的问题。通过对“数据结构”这门课程的学习,应使学生能应用数据结构的知识和技巧更好地进行算法和程序的设计,并为学习操作系统、编译技术和数据库等后续课程打下良好的基础。

本书共分9章。第1章绪论,主要介绍了数据结构的基本概念,并对算法的度量做了举例说明;在第2章至第7章分别讨论了线性表、栈与队列、串、数组和广义表、树以及图等几种基本类型的数据结构,内容包括它们的逻辑结构和存储结构,以及在各种存储结构下相应运算的算法,并在讨论基本运算的基础上给出一些应用例子;第8章和第9章讨论查找和排序,介绍了常用的几种查找和排序的方法。在本书中,大多数算法都给出了采用C语言描述的算法,这些算法加上主函数后,都可以上机执行。

本书是计算机专业专科学学生和高职学生使用的教材,讲授学时为60~70。本书也可作为大专院校其他专业学生学习数据结构的教材,还可以作为从事计算机工作的工程技术人员自学或参加计算机相关等级考试的参考用书。

本书是在2001年编写的《数据结构》的基础上修订的。在本次修订中,对原教材的大部分数据的逻辑结构采用了更加规范的方法进行了重新定义,并对应这些数据结构的各类算法进行重新编写,而且增加了一部分算法和应用实例。

本书第1章、第2章、第7章、第8章和第9章由刘清编写;第3章、第4章、第5章、第6章由王琼编写。刘清统编全稿。由于作者水平有限,书中难免出现错误,敬请读者批评指正。

作 者

2005年6月于南京

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	(1)
1.1 什么是数据结构.....	(1)
1.2 数据结构术语.....	(2)
1.3 算法的描述及分析.....	(3)
1.3.1 算法的描述方法.....	(3)
1.3.2 时间复杂度.....	(4)
1.3.3 空间复杂度.....	(4)
1.3.4 算法分析实例.....	(4)
习题 1.....	(6)
<b>第 2 章 线性表</b> .....	(7)
2.1 逻辑结构.....	(7)
2.2 顺序存储结构.....	(8)
2.2.1 顺序存储结构的概念.....	(8)
2.2.2 顺序存储结构下的操作.....	(9)
2.2.3 效率分析.....	(10)
2.3 链式存储结构.....	(11)
2.3.1 链式存储结构的概念.....	(11)
2.3.2 链式存储结构下的操作.....	(11)
2.4 单向循环链表.....	(16)
2.5 双向循环链表.....	(18)
2.6 一元多项式的存储与运算.....	(19)
习题 2.....	(21)
<b>第 3 章 栈与队列</b> .....	(23)
3.1 栈与队列的应用背景.....	(23)
3.1.1 栈的应用背景.....	(23)
3.1.2 队列的应用背景.....	(23)
3.2 堆栈.....	(23)
3.2.1 栈的定义和基本运算.....	(23)
3.2.2 栈的表示和实现.....	(24)
3.2.3 栈的应用.....	(28)
3.3 队列.....	(34)
3.3.1 队列的定义和运算.....	(34)
3.3.2 队列的存储结构.....	(34)
3.3.3 队列的应用.....	(38)



习题 3 .....	(39)
<b>第 4 章 串 .....</b>	<b>(40)</b>
4.1 串及其操作 .....	(40)
4.1.1 串的逻辑结构 .....	(40)
4.1.2 串的基本运算 .....	(40)
4.2 串的存储结构 .....	(41)
4.2.1 顺序存储结构 .....	(41)
4.2.2 链式存储结构 .....	(43)
4.2.3 堆存储结构 .....	(43)
4.3 串的基本运算实现 .....	(44)
4.4 串的模式匹配运算 .....	(45)
4.4.1 BF 算法 .....	(45)
4.4.2 无回溯的模式匹配算法 .....	(49)
习题 4 .....	(52)
<b>第 5 章 数组和广义表 .....</b>	<b>(53)</b>
5.1 数组的定义与运算 .....	(53)
5.2 数组的顺序存储结构 .....	(54)
5.3 矩阵的压缩存储 .....	(54)
5.3.1 特殊矩阵 .....	(55)
5.3.2 稀疏矩阵 .....	(57)
5.4 广义表 .....	(62)
5.4.1 广义表的定义 .....	(62)
5.4.2 广义表的存储结构 .....	(63)
5.4.3 广义表的基本操作 .....	(64)
习题 5 .....	(66)
<b>第 6 章 树 .....</b>	<b>(67)</b>
6.1 树结构的定义和基本操作 .....	(67)
6.1.1 树的定义 .....	(67)
6.1.2 树的基本术语 .....	(67)
6.1.3 树的基本操作 .....	(68)
6.2 二叉树 .....	(69)
6.2.1 定义及其操作 .....	(69)
6.2.2 二叉树的性质 .....	(69)
6.2.3 二叉树的存储结构 .....	(70)
6.3 遍历二叉树 .....	(72)
6.3.1 二叉树遍历的递归算法 .....	(72)
6.3.2 二叉树遍历的非递归算法 .....	(74)
6.3.3 二叉树的层次遍历算法 .....	(76)
6.3.4 遍历算法的应用 .....	(76)
6.4 树和森林 .....	(80)

6.4.1	树的存储结构	(80)
6.4.2	树与二叉树的转换	(82)
6.4.3	森林与二叉树的转换	(83)
6.5	树的应用	(84)
6.5.1	二叉排序树	(84)
6.5.2	哈夫曼树以及应用	(88)
	习题 6	(91)
<b>第 7 章</b>	<b>图</b>	(93)
7.1	图的定义和术语	(93)
7.2	图的存储结构	(95)
7.2.1	邻接矩阵	(95)
7.2.2	邻接表	(96)
7.3	图的遍历	(98)
7.3.1	深度优先搜索 DFS	(99)
7.3.2	广度优先搜索 BFS	(100)
7.4	生成树	(102)
7.4.1	概念	(102)
7.4.2	最小生成树(最小支撑树)	(102)
7.5	最短路径	(106)
7.5.1	求某源点到其余各顶点的最短路径	(106)
7.5.2	每对顶点之间的最短路径	(108)
7.6	拓扑排序	(109)
7.6.1	顶点活动网	(110)
7.6.2	拓扑排序	(110)
	习题 7	(112)
<b>第 8 章</b>	<b>查找</b>	(114)
8.1	线性表的查找	(114)
8.1.1	顺序查找	(114)
8.1.2	折半查找	(114)
8.1.3	分块查找	(116)
8.2	树表的查找	(117)
8.2.1	二叉查找树	(117)
8.2.2	二叉平衡树	(118)
8.2.3	B-树	(121)
8.3	哈希表	(124)
8.3.1	哈希表的定义	(124)
8.3.2	哈希函数的构造	(124)
8.3.3	冲突处理方法	(127)
8.3.4	查找及分析	(128)
	习题 8	(129)

<b>第 9 章 排序</b> .....	(130)
9.1 插入排序 .....	(130)
9.1.1 直接插入排序 .....	(130)
9.1.2 希尔排序 .....	(131)
9.2 交换排序 .....	(132)
9.2.1 冒泡(简单交换排序) .....	(132)
9.2.2 快速排序 .....	(133)
9.3 选择排序 .....	(135)
9.3.1 直接选择排序 .....	(135)
9.3.2 树形选择排序 .....	(135)
9.4 归并排序 .....	(139)
习题 9 .....	(139)
<b>参考文献</b> .....	(141)

# 第1章 绪 论

## 1.1 什么是数据结构

计算机的迅猛发展早已使其摆脱了单纯的科学计算。而今各个行业都有大量的计算机在从事着行政事务管理、生产作业调度和实时控制以及通信、教育等方面的工作。近年来,人工智能领域的研究成果更加提高了计算机的“智力”,使其在很多方面已能辅助人们或代替人们做出决策、诊断等具有专家性质的工作。

计算机的普及和发展,使人们要求计算机能处理的问题愈来愈多,愈来愈复杂,问题的规模愈来愈大。要使计算机发挥更大的作用,人们就必须设计出更好的程序。要做到这一点,就应该掌握一系列程序设计知识,而其中的数据结构知识是不可少的。因为人们着手处理问题时,必须分析该问题涉及哪些数据,这些数据具有什么性质,数据之间有什么关系,采用什么方式存储数据并体现出它们之间的关系,所涉及的问题又包含哪些运算,可采用什么算法。这些正是数据结构这门学科所研究的内容。

一般来说,用计算机解决一个具体问题时,大致需要经过下列几个步骤:首先要从具体问题中抽象出一个适当的数学模型,然后设计一个解此数学模型的算法,最后编写程序、进行测试、调整直至得到最终解答。寻求数学模型的实质是对问题的分析,即从问题中提取出操作对象并找出这些操作对象之间含有的关系,加以简化、抽象后,用数学语言加以描述。例如,求解梁架结构应力的数学模型为线性方程组;预报人口增长情况的数学模型为微分方程。然而,更多的非数值计算问题无法用数学方程加以描述,下面是三个例子。

例 1.1 表 1.1 中列出的是某班级学生的基本情况,表中每一行包含的信息有:学号、姓名、性别、出生日期、所在院系、政治面貌等。对于这类文档管理的数学模型,在计算机处理的对象之间通常存在一种最简单的线性关系,这类数学模型可称为线性模型。

表 1.1 某班级学生基本情况表

学号	姓名	性别	出生日期	所在院系	政治面貌
9906201	钱钢	男	81/06/01	生科院	团员
9906202	张俊强	男	80/12/21	数科院	团员
9906203	李梅	女	81/04/18	地科院	团员
...	...	...	...	...	...

例 1.2 在迷宫问题中,计算机之所以能找到迷宫的出口,是因为人们已将搜索出口的策略事先存入计算机中。在迷宫中,每走到一处,接下来可走的通路有三条,如图 1.1 所示。在计算机处理的这类对象之间通常存在的关系不是线性关系。例如,若将从迷宫入口到出口过程的所有可能的通路都画出,则可得到一棵倒长的“树”。“树根”是迷宫入口,“树叶”是出口或死路。所以,“树”可以是某些非数值计算问题的数学模型。

例 1.3 在一个由若干城市组成的交通网中,要将一些原有的公路修建成高速公路,使所

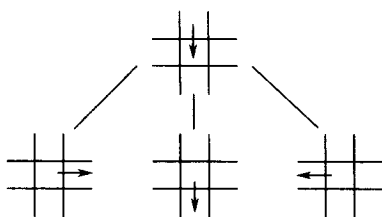


图 1.1 迷宫下一步的通路

有城市之间都有高速通道存在。这时,有多种方案可选择,但若考虑投入和效益,最佳的方案是在交通网中构造最小生成树,即确定  $n-1$  条线路连通这  $n$  个城市,并且代价最小。这类交通、道路问题的数学模型是一种被称为“图”的数据结构。

综合上述三个例子可见,描述这类非数值计算问题的数学模型不再是数学方程,而是诸如表、树和图之类的数据结构。因此,数据结构是一门研究非数值计算程序中数据对象及其关系和操作的学科。

## 1.2 数据结构术语

下面介绍数据结构中的基本术语及其定义,这些术语在以后的内容中将会多次使用。

### 1. 数据

数据是对客观事物的符号表示,在计算机科学中是指所有能输入到计算机中并被计算机程序处理的符号的总称。它是计算机程序处理的对象。在计算机科学中,数据的含义极为广泛,如图像、声音、哲学概念、各种感觉都可以通过编码而归于数据的范畴。例如,对于面包质量管理(针对软硬程度),可以设编码:软=1,硬=2,比较软=1.2。

### 2. 数据元素

数据元素是数据的基本单位,相当于“记录”。在计算机程序中通常作为一个整体进行考虑和处理。一个数据元素由若干数据项组成。数据项是数据的不可分割的最小单位,也是数据集合的最小可命单位,相当于记录的“域”。例如,在学生档案管理系统中,可以把学生的有关信息作为一个数据元素,它由学号、姓名、年龄等数据项组成。

### 3. 数据对象

数据对象是指性质相同的数据元素的集合,是数据集合的一个子集。较数据概念具体得多。例如,整型数据的对象是集合  $\{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ ,字母的数据对象是集合  $\{'A', 'B', 'C', \dots, 'Z', 'a', 'b', 'c', \dots, 'z'\}$ 。

### 4. 数据结构

数据结构是指相互之间存在一种或多种特定关系的数据元素的集合。在建筑上,结构是连接所有建筑材料的主干;而在程序中,数据结构将数据和程序组成有机的整体。

数据通常有下列四种基本结构。

(1) 集合。集合结构中的数据元素之间除了存在一个“属于同一集合”的关系外,没有其

他关系存在。

(2) 线性结构。线性结构中的数据元素之间存在一个一对一的关系。

(3) 树形结构。树形结构中的数据元素之间存在一个一对多的关系。

(4) 图(网)状结构。图(网)状结构中的数据元素之间存在多个多对多的关系。

从集合论的观点出发,可以对数据结构做出如下形式定义:数据结构是一个二元组:

$$\text{Structure}=(D,S),$$

其中:D是数据元素的有限集合(数据对象);而S是D上的关系有限集。

例如,一个班级中有一个辅导员和若干学生,那么,班级是一个数据结构。而 $D=\{i,a_1,a_2,\dots,a_n\}$ 是数据元素的集合,其中i是辅导员, $a_1,a_2,\dots,a_n$ 为n个学生。 $S=\{\langle i,a_1\rangle,\langle i,a_2\rangle,\dots,\langle i,a_n\rangle\}$ 是辅导员与学生之间的关系,这是一个一对多的关系,即一个辅导员与多个学生相关。

关系S描述的是数据元素之间的逻辑关系,称为逻辑结构。为了在计算机中处理这种类型数据,就需要将逻辑结构映象在存储器中。在这里不仅仅是将数据元素存放在存储器中,而且这种存放数据元素的方法要能表现关系S,数据结构在计算机中的表示称为存储结构(物理结构)。

在存储结构中,数据元素之间关系的表示方法有以下几种。

(1) 顺序映象。采用连续的一段存储器空间存储数据元素并体现出其逻辑关系。

(2) 非顺序映象。将数据元素所占的存储单元分成两部分,一部分存其值,另一部分存放表示数据元素之间关系的指针。

上述称为顺序结构和链式结构。

(3) 索引存储。顺序存储和链式存储的组合。

(4) 哈希存储。由元素的值决定存储位置的方法。

## 5. 算法

算法是对特定问题求解步骤的一种描述,它是指令的有限序列,其中每一条指令表示一个或多个操作,此外,一个算法还具有下列性质:

(1) 有穷性。有限步骤必须结束。

(2) 确定性。无多义性和歧义性。

(3) 可行性。每条指令必须可以执行并有正确的结果。

(4) 输入。一个算法可以有零个或多个输入,它们是在算法开始前对应算法给定的量。

这些输入取自于特定的对象的集合。

(5) 输出。一个算法至少要有有一个输出,它们与输入有某种特定关系。

算法的设计可以避免具体的语言进行,但实现时必须借助某种形式的语言进行描述。

## 1.3 算法的描述及分析

### 1.3.1 算法的描述方法

数据结构的表示和操作都要涉及算法,而描述数据的结构和讨论有关的算法,又要涉及程序设计语言。C语言不仅具有丰富的数据类型,也是一种能较好体现结构化程序设计原则的语言。在计算机的各个应用领域中,C语言被作为系统开发和应用的首选语言。本书采用C语言描述数据的结构及相应的算法,其中算法可以直接应用于实际,下面介绍本书描述算法的

书写规则。

(1) 所有的算法均以函数形式给出,算法的输入数据一般来自参数表。每个算法都是功能相对独立的模块,且具有较强的使用价值。

(2) 参数表中的参数均在算法之前进行类型说明。

(3) 有关结点结构的类型定义以及全局变量的说明等均在算法之前进行说明。

程序设计的实质是对确定的问题选择一种“好结构和好算法”,对一个算法的评价主要有下面几点。

(1) 正确性。正确性有这样4层含义:不含语法错误;对几组数据运行正确;对典型、苛刻的数据运行正确;对所有数据运行正确。

(2) 可读性。一个好的算法应易于人们阅读和理解。

(3) 健壮性。当输入非法数据时,算法应能做出适当反应,而不会出现莫名其妙的输出结果。

(4) 高效,低存储需求。算法的执行时间短,同时所占用的存储空间小。

### 1.3.2 时间复杂度

算法的时间复杂度涉及多个方面,一般讨论是指在给定的问题规模  $n$  下(所要处理的问题中数据元素的数量),算法中语句重复执行次数的数量级就是时间复杂度。时间复杂度用  $T(n) = O(f(n))$  表示,其中  $f(n)$  表示基本操作重复执行的次数,是  $n$  的某个函数,随问题规模  $n$  的增大,算法执行时间的增长率和  $f(n)$  的增长率属于同一数量级;而  $O$  表示  $f(n)$  和  $T(n)$  只相差一个常数倍。经常出现的时间复杂度有  $O(n^2)$ 、 $O(n)$ 、 $O(\log_2 n)$ 、 $O(N \log_2 n)$ 。同样一个算法也可能因为数据情况的变化,出现不同的复杂度。因此,考虑时间复杂度时可分为最坏情况时间复杂度和平均时间复杂度。

$T(n)$  称为渐进时间复杂度,简称时间复杂度。

例 1.4 两个  $N \times N$  矩阵  $A$  和  $B$  的乘法,结果为矩阵  $C$ 。

```
for(i=0;i<=N-1;i++)
  for(j=0;j<=N-1;j++)
  { c[i][j]=0;
    for(k=0;k<=N-1;k++) c[i][j]+=a[i][k]*b[k][j]
  }
```

此算法的问题规模为  $N$ ,基本操作的执行次数  $f(N) \approx N \times N \times N$ ,相应的时间复杂度为  $O(N^3)$ 。

### 1.3.3 空间复杂度

类似于算法的时间复杂度,空间复杂度反映实现算法所需要的辅助存储空间的大小,记为  $S(n) = O(f(n))$ ,其中  $n$  为问题规模, $S(n)$  按最坏情况分析。例如,链表的排序,如果重新建立一个链表,则空间复杂度为  $O(n)$ 。此问题在本书中不进行详细讨论。

### 1.3.4 算法分析实例

例 1.5 有人用 100 元买 100 支笔,其中铅笔 0.5 元/枝,圆珠笔 2 元/枝,钢笔 3 元/枝,写出输出各种组合方案的算法。

解法一 穷举法。

```
#define N 100
void scheme()
{ int i,j,k,count,money;
  for(i=0;i<=N;i++)
    for(j=0;j<=N;j++)
      for(k=0;k<=N;k++)
        { count=i+j+k; money=3*i+2*j+0.5*k;
          if(count==N && money==N)
            printf("%d,%d,%d\n",i,j,k);
        }
}
```

此算法的问题规模为  $N$ , 基本操作的执行次数  $f(N) \approx N \times N \times N$ , 相应的时间复杂度为  $O(N^3)$ 。

解法二 经分析钢笔最多  $100/3$  枝, 圆珠笔最多  $100/2$  枝。

```
#define N 100
void scheme()
{ int i,j;
  for(i=0;i<=N/3;i++) /* i 是钢笔的个数 */
    for(j=0;j<=(N-3*i)/2;j++) /* j 是圆珠笔的个数 */
      { if(3*i+2*j+0.5*(N-i-j)==N) /* N-i-j 是铅笔的个数 */
        printf("%d,%d,%d\n",i,j,N-i-j);
      }
}
```

此算法的问题规模为  $N$ , 基本操作的执行次数  $f(N) \approx N \times N/12$ , 相应的时间复杂度为  $O(N^2)$ 。

例 1.6 计算  $f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$ 。

解法一 先计算  $x$  的幂, 存于  $\text{power}[]$  中, 再分别乘以相应系数。

```
#define N 100
float evaluate(float coef[], float x, int n)
{ float power[N], f; int i;
  for(power[0]=1, i=1; i<=n; i++) power[i]=x*power[i-1];
  for(f=0, i=0; i<=n; i++) f=f+coef[i]*power[i];
  return(f);
}
```

此算法的问题规模为  $n$ , 基本操作的执行次数  $f(n) \approx n + n + 1$ , 相应的时间复杂度为  $O(n)$ , 空间复杂度为  $O(N)$ ,  $N > n$ 。

解法二  $f(x) = a_0 + (a_1 + (a_2 + \dots + (a_{n-1} + a_n x)x) \dots x)x$ 。

```
#define N 100
float evaluate(float coef[], float x, int n)
{ float f; int i;
  for(f=coef[n], i=n-1; i>=0; i--) f=f*x+coef[i];
}
```



```

return(f);
}

```

此算法的问题规模为  $n$ , 基本操作的执行次数  $f(n) \approx n$ , 相应的时间复杂度为  $O(n)$ , 空间复杂度为  $O(1)$ 。

## 习 题 1

1.1 简述下列术语的含义: 数据、数据元素、数据结构、存储结构。

1.2 已知数据结构  $B = (D, R)$ , 其中:

$$D = \{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}; R = \{R_1, R_2\}$$

$$R_1 = \{\langle a_1, a_2 \rangle, \langle a_1, a_8 \rangle, \langle a_2, a_3 \rangle, \langle a_2, a_7 \rangle, \langle a_3, a_4 \rangle, \langle a_3, a_5 \rangle, \\ \langle a_3, a_6 \rangle, \langle a_8, a_9 \rangle, \langle a_8, a_{10} \rangle\}$$

$$R_2 = \{\langle a_{10}, a_4 \rangle, \langle a_4, a_2 \rangle, \langle a_2, a_3 \rangle\}$$

要求按图论中图的画法惯例, 画出  $B$  的逻辑结构图。

1.3 计算下列程序段中  $x++$  的执行次数。

(1) for( $i=1; j \leq n; i++$ )

for( $j=1; j \leq n; j++$ )

for( $k=1; k \leq n; k++$ )

$x++$ ;

(2)  $i=1$ ;

while( $i \leq n$ ) {  $x++$ ;  $i++$  }

(3) for( $i=1; i \leq n; i++$ )

for( $j=1; j \leq i; j++$ )

for( $k=j+1; k \leq n; k++$ )

$x++$ ;  $x++$ ;

(4) for( $i=1; i \leq n; i++$ )

for( $j=i, k=1; k \leq j; k++$ )  $x++$ ;

(5) for( $i=1; i \leq n; i++$ )

if( $5 * i < n$ )

for( $j=5 * i; j \leq n; j++$ )

$s = s + i * j$ ;