



普通高等教育“十二五”重点规划教材·计算机系列
中国科学院教材建设专家委员会“十二五”规划教材

江家宝 程 勇 主编

数据结构

DATA STRUCTURE



科学出版社

普通高等教育“十二五”重点规划教材·计算机系列
中国科学院教材建设专家委员会“十二五”规划教材

数 据 结 构

江家宝 程 勇 主 编

史春联 王廷蔚 副主编

杨 勃 蔡 敏
汪 世 陈 伟 参 编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书由浅入深,以浅显易懂的文字与图表对各种数据结构和算法的设计进行分析,对问题的解决方法做了详尽的剖析,并且辅之以相应的C程序代码,从而增进读者对数据结构的理解与掌握。全书共分9章,内容包括绪论、线性表、栈和队列、串、数组与广义表、树、图、查找、内部排序。

本书以“基础理论-上机实训-应试加油站”为主线进行编写,每一章都设置了实训模块和考研真题解析及大量的习题。本书结构清晰、易教易学、实例丰富、可操作性强、学以致用、注重能力,对在学习过程中常见的重点和难点进行立体、详细的讲解,以帮助读者更好地掌握数据结构的基本知识。

本书可以作为高等院校计算机专业及相关专业的教材,也适合数据结构的初学者研读,还适合考研复习之用。

图书在版编目(CIP)数据

数据结构/江家宝,程勇主编. —北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-030660-9

I. ①数… II. ①江… ②程… III. ①数据结构-高等学校-教材
IV. ①TP311.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第052480号

责任编辑:赵丽欣 郭丽娜/责任校对:王万红

责任印制:吕春珉/封面设计:子时文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

百善印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年5月第一版 开本:787×1092 1/16

2011年5月第一次印刷 印张:22 1/2

印数:1—3 000 字数:515 000

定价:38.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈百善〉)

销售部电话 010-62142126 编辑部电话 010-62134021

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

普通高等教育“十二五”重点规划教材·计算机系列
学术编审委员会

主任：杨静宇 许 勇

副主任：严云洋 朱贵喜 韩忠愿 谢圣献

戴仕明 方厚加 杨国为 舒 坚

编委成员：(排名不分先后，按姓氏笔画为序)

卜红宝	丁为民	丁永红	尹 静	毛红梅	王维民
韦相和	占德胜	史国川	史春联	乔正洪	刘旭东
刘志高	刘家琪	朱胜强	江家宝	严 峥	吴 婷
吴克力	宋正虹	张 宏	张华明	张希伟	张居晓
李 焕	李 胜	李 海	李 寒	李千目	李元振
李俊青	杨 勃	邵 杰	陈 伟	陈汉兵	陈海燕
周 勇	周卫民	姚昌顺	姜 华	胡虚怀	赵 明
赵传申	凌海云	徐卫军	郭龙源	钱 进	陶保壮
梁 明	程 勇	童爱红	葛武滇		

前 言

“数据结构”是高等学校计算机科学与技术专业及其他相关专业的一门核心专业基础课程，也是非计算机专业的学生学习和掌握计算机应用技术的一门专业基础课程。2009年起，这门课程成为计算机类专业研究生入学考试全国统考课程。本书正是为了满足人才培养和研究生入学考试发展的需要而编写的。

1. 关于数据结构

在信息科学的领域中，数据结构是一门基础学科，有关人工智能、图像处理、语音识别、并行处理等相关应用的研究都需要这门基础学科辅助。本书以浅显易懂的文字与各种图表对数据结构和算法的设计进行分析，并用 C 语言编写了算法的实例，以加深读者的理解。

2. 本书阅读指南

本书共分为 9 章，各章主要内容如下。

第 1 章介绍数据与结构、数据结构与算法等概念。

第 2 章介绍线性表的顺序存储方式和链式存储方式以及它们的各种应用。

第 3 章介绍堆栈与队列的两种存储形式和基本操作、递归算法、循环队列的使用、表达式的应用、后缀表达式的计算、迷宫问题等。

第 4 章介绍串的基本操作，串的两种存储结构（块链和堆存储），以及如何进行串的匹配（BF 方法和 KMP 方法）；简述了串操作在文本编辑中的应用，包括输入文本、插入文本和删除文本。

第 5 章介绍数组的基本操作，各种特殊矩阵的压缩方法，以及稀疏矩阵三元表的构造、基本运算的实现。广义表部分主要介绍了广义表的存储结构和应用。

第 6 章介绍树的基本概念，二叉树的各种操作、树的两种遍历方法，详细说明了线索二叉树的构造方法和运算二叉树的原理及使用方法，介绍了树和森林与二叉树是如何转换和遍历的，最后介绍了哈夫曼树及哈夫曼编码。

第 7 章介绍图的存储形式，重点介绍了图的两种遍历方法、最小生成树以及 Dijkstra 算法和 Floyd 算法，最后简单地介绍了拓扑排序和关键路径的基本原理。

第 8 章介绍静态查找表和动态查找表以及哈希表的构造和冲突解决办法。

第 9 章介绍各种排序算法的原理，并比较了它们之间的时间复杂度、空间复杂度、稳定性、待排序记录数 n 的大小和记录本身信息量的大小。

3. 本书特色

(1) 结构清晰，知识完整，内容翔实、系统性强，依据高校教学大纲组织内容，并

将实际经验融入基本理论之中。

(2) 入门快速，易教易学，突出“上手快、易教学”之特点，以教与学的实际需要取材谋篇。

(3) 学以致用，注重能力，以基础理论-上机实训-应试加油站为主线编写，每一章都设置了实训和考研真题解析，以便于读者掌握其重点，提高分析问题和解决问题的能力。

(4) 示例丰富，步骤明确，讲解细致，突出了可操作性。

4. 本书读者定位

本书可以作为高等院校计算机专业及相关专业的教材，也适合数据结构的初学者研读，还适合考研复习之用。

本书由江家宝、程勇任主编，史春联、王廷蔚为副主编。参加编写的还有杨勃、蔡敏、汪世、陈伟。全书框架结构由何光明拟定。另外，感谢张悦、王珊珊、王程凌、云邈、姚昌顺、许勇、赵传申等同志的关心和帮助。

限于作者水平，书中难免存在不当之处，恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 数据结构的研究内容.....	1
1.2 数据结构的基本概念和相关术语.....	2
1.3 抽象数据类型及其实现.....	3
1.3.1 数据类型.....	3
1.3.2 抽象数据类型.....	4
1.4 算法与算法分析.....	5
1.4.1 算法的描述.....	5
1.4.2 算法的时间复杂度分析.....	6
1.4.3 算法的空间复杂度分析.....	7
1.5 小结.....	8
1.6 应试加油站.....	8
1.6.1 重点提示.....	8
1.6.2 考研真题解析.....	8
1.7 习题.....	10
第 2 章 线性表	12
2.1 线性表的定义及其运算.....	12
2.1.1 什么是线性表.....	12
2.1.2 线性表的抽象数据类型.....	13
2.2 线性表顺序存储结构的定义.....	14
2.2.1 线性表顺序存储结构的定义.....	14
2.2.2 顺序表的基本操作及实现.....	15
2.2.3 顺序表的应用.....	18
2.3 线性表的链式存储结构与实现.....	20
2.3.1 线性表的链式存储结构.....	20
2.3.2 单链表及其基本操作.....	21
2.3.3 循环链表的基本操作及实现.....	29
2.3.4 双链表的基本操作及实现.....	34
2.3.5 循环双链表.....	38
2.4 上机实训.....	39
实训一：顺序表的操作.....	39
实训二：单链表链接.....	41

	实训三：循环链表链接	44
	实训四：循环双链表操作	48
2.5	小结	52
2.6	应试加油站	53
	2.6.1 重点提示	53
	2.6.2 考研真题解析	53
2.7	习题	60
第 3 章	栈和队列	65
3.1	栈	65
	3.1.1 什么是栈	65
	3.1.2 栈的抽象数据类型	66
	3.1.3 栈的顺序存储结构及实现	66
	3.1.4 栈的链式存储结构与实现	70
3.2	栈的应用	74
	3.2.1 表达式求值	74
	3.2.2 数制转换	76
	3.2.3 括号匹配检验	77
	3.2.4 栈与递归的实现	79
3.3	队列	80
	3.3.1 什么是队列	80
	3.3.2 队列的抽象数据类型	81
	3.3.3 队列的顺序存储结构与实现	81
	3.3.4 队列的链式存储结构与实现	88
3.4	队列的应用	91
3.5	上机实训	95
	实训一：利用栈寻找迷宫路径	95
	实训二：利用队列模拟病人看病	98
3.6	小结	103
3.7	应试加油站	103
	3.7.1 重点提示	103
	3.7.2 考研真题解析	103
3.8	习题	109
第 4 章	串	113
4.1	串的定义	113
	4.1.1 什么是串	113
	4.1.2 串的抽象数据类型	113
4.2	串的存储结构与实现	114
	4.2.1 串的顺序存储结构与实现	114

4.2.2	串的堆存储结构与实现	119
4.2.3	串的块链存储结构与实现	119
4.3	串的模式匹配算法	120
4.3.1	简单的模式匹配算法——BF 算法	120
4.3.2	改进的模式匹配算法——KMP 算法	122
4.4	串的应用	124
4.5	上机实训	125
	实训一：显示多位数数字字符	125
	实训二：块链的基本操作	127
	实训三：统计串中最长的重复子串	133
4.6	小结	135
4.7	应试加油站	136
4.7.1	重点提示	136
4.7.2	考研真题解析	136
4.8	习题	138
第 5 章	数组与广义表	140
5.1	数组的定义	140
5.1.1	什么是数组	140
5.1.2	数组的抽象数据类型	141
5.2	数组的顺序存储结构与实现	141
5.2.1	数组的顺序存储结构	141
5.2.2	基本操作的实现	142
5.3	矩阵的压缩存储	145
5.3.1	特殊矩阵	145
5.3.2	稀疏矩阵	148
5.4	广义表抽象数据类型	152
5.4.1	广义表的定义	152
5.4.2	广义表的抽象数据类型	152
5.4.3	广义表的存储结构	153
5.4.4	广义表的应用	154
5.5	上机实训	156
	实训一：两个矩阵的相乘操作	156
	实训二：用三元组实现两个矩阵的乘法	158
	实训三：广义表的基本运算	161
5.6	小结	167
5.7	应试加油站	167
5.7.1	重点提示	167
5.7.2	考研真题解析	168

5.8	习题	171
第6章	树	173
6.1	树的基本概念和相关术语	173
6.1.1	树的定义	173
6.1.2	基本术语	174
6.2	二叉树	175
6.2.1	二叉树的定义	175
6.2.2	二叉树的性质	176
6.2.3	二叉树的抽象数据类型	177
6.2.4	二叉树的存储结构	179
6.3	遍历二叉树	183
6.3.1	遍历的定义	183
6.3.2	遍历算法	184
6.4	线索二叉树	187
6.5	树和森林	190
6.5.1	树的存储结构	190
6.5.2	森林与二叉树的转换	191
6.5.3	树和森林的遍历	193
6.6	哈夫曼树及其应用	193
6.6.1	哈夫曼树的概念	193
6.6.2	哈夫曼树的构造算法	194
6.6.3	哈夫曼编码	196
6.7	上机实训	198
	实训一：运算二叉树	198
	实训二：统计二叉树结点的个数	201
	实训三：统计二叉树的宽度	202
	实训四：按层遍历二叉树	204
6.8	小结	208
6.9	应试加油站	208
6.9.1	重点提示	208
6.9.2	考研真题解析	208
6.10	习题	216
第7章	图	219
7.1	图的定义和相关术语	219
7.1.1	图的定义	219
7.1.2	图的基本术语	220
7.1.3	图的抽象数据类型	222
7.2	图的存储结构	223

7.2.1	邻接矩阵表示法	223
7.2.2	邻接表表示法	225
7.2.3	十字链表表示法	227
7.2.4	多重邻接表表示法	227
7.3	图的遍历	228
7.3.1	深度优先遍历	229
7.3.2	广度优先遍历	230
7.4	最小生成树	231
7.4.1	生成树的概念	231
7.4.2	最小生成树	231
7.4.3	Prim 算法	235
7.5	最短路径	238
7.5.1	单源点最短路径问题	238
7.5.2	所有顶点对最短路径问题	240
7.6	拓扑排序	241
7.7	关键路径	244
7.8	上机实训	244
	实训一: 遍历算法	244
	实训二: Prim 算法	249
7.9	小结	253
7.10	应试加油站	253
7.10.1	重点提示	253
7.10.2	考研真题解析	254
7.11	习题	265
第 8 章	查找	270
8.1	查找的基本概念	270
8.2	静态查找表	271
8.2.1	顺序表的查找	271
8.2.2	有序表的查找	271
8.2.3	索引顺序表的查找	272
8.2.4	静态树表的查找	274
8.3	动态查找表	275
8.3.1	二叉排序树	275
8.3.2	平衡二叉树	277
8.3.3	B-和 B+树	282
8.3.4	键树	290
8.4	哈希表	291
8.4.1	哈希表的概念	291

8.4.2	哈希表的构造方法	291
8.4.3	处理冲突的方法	292
8.4.4	哈希表的查找及分析	295
8.5	上机实训	296
	实训一：二叉排序树的查找	296
	实训二：哈希查找	300
8.6	小结	302
8.7	应试加油站	303
	8.7.1 重点提示	303
	8.7.2 考研真题解析	303
8.8	习题	309
第9章	内部排序	312
9.1	插入排序	312
	9.1.1 直接插入排序	312
	9.1.2 希尔排序	314
9.2	交换排序	315
	9.2.1 冒泡排序	315
	9.2.2 快速排序	317
9.3	选择排序	319
	9.3.1 简单选择排序	319
	9.3.2 堆排序	320
9.4	归并排序	322
9.5	基数排序	324
9.6	各种内排序方法的比较	327
9.7	上机实训	328
	实训一：双向冒泡排序	328
	实训二：数组归并排序	330
	实训三：计数排序	333
	实训四：字符串排序	335
	实训五：最高位关键字排序 MSD	338
9.8	小结	341
9.9	应试加油站	342
	9.9.1 重点提示	342
	9.9.2 考研真题解析	342
9.10	习题	346
	参考文献	348

第 1 章 绪 论

自计算机问世以来，计算机产业的发展就远远超出了人们对它的预期。人们的日常生活和工作越来越离不开计算机，它的应用越来越广泛，已不再是仅仅用于科学计算这样的高深领域，而是更多地用于控制、管理以及日常的休闲娱乐等领域。与此相对应的是，计算机所处理的数据也从纯粹的数值发展到字符、表格、图像、多媒体等具有一定结构的数据，这就为程序设计带来了新的问题：人们必须对要处理的对象特性以及各个对象之间的关系进行分析，才有可能编写出理想的程序。

1.1 数据结构的研究内容

数学模型是程序设计中十分必要的一步，它可以解决由需求产生的实际问题。但是程序设计并不是纯粹的数值计算问题，它还要涉及诸如数据的存储、检索、遍历等问题。

表 1-1 为一份学生成绩单。

表 1-1 学生成绩单

姓名	网络安全	Visual Basic	计算机理论基础	数据库
张三	80	90	70	75
李四	85	75	80	60
王五	62	86	95	100
赵六	70	74	85	80

可以把这张表看成由记录组成，表中的每个记录由 5 个数据项组成。记录之间是一种前后有序的线性关系。此外还有诸如账目管理、图书馆书籍管理等也与成绩单具有类似的数学模型。这类数学模型可称为线性的数据结构。

在体育比赛中，一般都是通过逐层选拔，产生最后的冠军。因此可以把最初的参赛者看成树叶，冠军看成一个树根，其他各级看成是树的枝干，这样就构成一个树形结构，如图 1-1 所示。树中的结点之间不再是顺序的关系，而是分层、分叉的非线性结构。

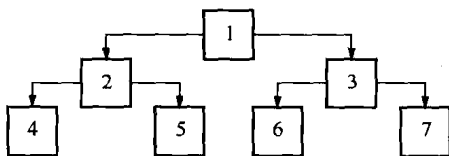


图 1-1 树状图

还有一类问题可以用通信网络来模拟，如图 1-2 所示。在通信网络中，如果把路由器看成若干顶点，把路由器之间的链路看成边，它们可以构成一个网状图。

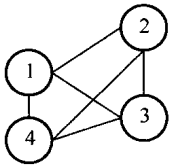


图 1-2 网状图

图 1-2 中顶点之间的关系纵横交错、错综复杂，这种关系称为网状结构。在实际应用中，如果一个数据包要在图中传递，则需要仔细考虑它的传送路径，以使传送时间最短。网络图的存储、管理以及结点的插入、删除等已不再是一个单纯的数值计算问题，而是一个非数值的信息处理问题。

综上所述，描述这类非数值问题的数学模型是诸如树、线性表、图之类的结构。而数据结构则是研究这些结构的一门学科。因此，它的重要性是不言自明的。

1968 年，D.E.Knuth 教授开创了数据结构的最初体系。数据结构是一门研究怎样合理地组织数据、建立合适的数据结构、提高计算机执行程序所用的时间和空间效率的学科。在计算机科学中，“数据结构”是一门综合性的专业基础课，不仅涉及计算机硬件，而且和计算机软件的研究也有着密切的关系，无论是编译程序还是操作系统，都涉及数据元素在存储器中的分配问题。另外，在研究信息检索时必须考虑如何组织数据，以便查找和存取数据元素更为方便。因此，可以认为“数据结构”是介于数学、计算机硬件和软件三者之间的一门核心课程。数据结构不仅是一般程序设计的基础，而且是设计和实现编译程序、操作系统、数据库系统及其他系统程序和大型应用程序的重要基础。

1.2 数据结构的基本概念和相关术语

本节介绍一些数据结构中常用的术语，这些术语将在以后的章节中经常出现。

数据 (Data) 是对客观事物的符号表示。在计算机学科中，数据是指所有能输入到计算机中，并能被计算机程序所处理的符号的总称。因此，除了数字构成的实数和字母构成的串之外，还有标点符号、键盘符号，甚至于图形、图像、声音等都是数据的表示形式。

数据元素 (Data Element) 是描述数据的基本单位。**数据项 (Data Item)** 是描述数据的最小单位。在计算机中表示数据时，都是以数据元素为单位的，如一个整数表示的一个数据元素、一条记录表示的一个数据元素等。用一条记录表示一个数据元素时，该记录中一般还会有多个描述记录属性的项，称为数据项，如图 1-3 所示。图中的这一行是数据元素，而其中的每一项都是数据项，比如“张三”、“80”等。

张三	80	90	70	75
----	----	----	----	----

图 1-3 数据元素和数据项

数据对象 (Data Object) 是性质相同的一类数据元素的集合，是数据的一个子集。例如：整数数据对象， $N=\{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ ；字符型数据对象， $C=\{'a', 'b', \dots, 'z'\}$ 。

数据逻辑结构是指数据元素之间的相互关系，即数据的组织形式。它并不涉及数据元素在计算机存储设备中的具体存储方式，是独立于计算机的。在任何问题中，数据元素都不是孤立存在的，它们之间存在着某种联系，这种元素之间的关系称为**结构**。根据关系的不同特性，通常有 4 种结构，如图 1-4 所示。

- (1) 集合：数据元素之间除了“同属于一个集合”的关系之外，没有其他任何关系。
- (2) 线性结构：元素之间存在着一对一的关系。
- (3) 树形结构：元素之间存在着一对多的关系。

(4) 网状结构：也叫图状结构，元素之间存在着多对多的关系。其中，集合、树形结构和网状结构也称作非线性结构。

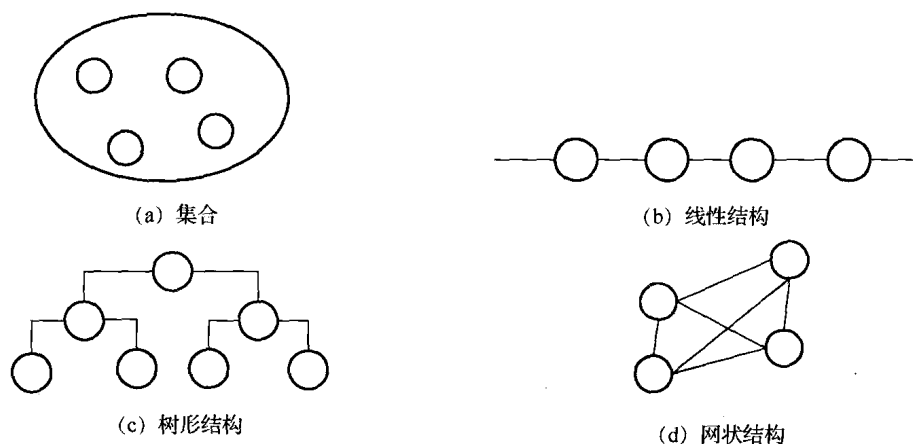


图 1-4 数据逻辑结构

讨论数据结构的最终目的是在计算机中实现它，因此，必须要知道数据在计算机内的存储表示。所以有必要了解计算机的实际存储结构，也称作物理结构（Physical Structure）。

计算机的内部存储是以二进制 0、1 为基础，也称为比特（bit）。8 比特组成一个字节（Byte），而字节是程序通常使用的计量单位。计算机一般分为三级存储结构，最快的是 CPU 里的寄存器，其次是一级缓存和二级缓存，然后是内存储器，最后是外存储器（如硬盘、光驱）等。数据的存储结构可以说是逻辑结构在计算机存储设备中的映像。

数据结构一直没有一个明确的定义，本书认为“数据结构”是研究包括数据的逻辑结构、存储结构以及定义在它们之上的一组运算。

一个存储在内存中的数据元素又称结点（Node），数据元素中的每个数据项又称为域（Field）。因此，结点可以看成是数据元素在计算机中的映像。数据元素可以存放在内存某个单元，数据元素之间的关系在计算机中可以有两种不同的存储结构：顺序存储结构和链式存储结构。

顺序存储结构的特点是用物理地址相邻来表示数据元素在逻辑上的相邻关系；链式存储结构的特点是逻辑上相邻的数据元素在存储地址上不一定相邻，元素之间逻辑上的相邻关系通过指针来描述，常用它来描述树形结构和网状结构在计算机内的存储。

逻辑结构和物理结构是描述数据结构的两个方面。任何一个算法的设计取决于选定的逻辑结构，而算法的实现取决于其所依托的存储结构。

1.3 抽象数据类型及其实现

1.3.1 数据类型

数据类型（Data Type）是和数据结构密切相关的一个概念，用来刻画操作对象的属性。从软件的角度讲，在高级语言中，每一个变量或常量都拥有确定的数据类型，如 int、

float、char 等，熟悉 C、C++的人应该不会对这些类型感到陌生。不同的数据类型拥有不同的取值范围和允许的操作。从硬件的角度来看，数据类型涉及具体存储单位，比如 int 型占用两个字节的存储空间，float 型占用 4 个字节的存储空间，可以帮助程序开发人员了解内存的使用情况。

按“值”的不同特性，高级程序语言将数据类型分为两类：原子类型和结构类型。原子类型是指不可再分的类型，比如 C 语言中的 int、float、char 等。而结构类型的值可由若干原子类型的值按照某种结构组成，因此是可分的，最典型的例子是 C 语言中的结构体。

1.3.2 抽象数据类型

抽象数据类型（Abstract Data Type，简称 ADT）指一个数学模型以及定义在该模型上的一组操作。抽象数据类型的定义仅取决于它的一组逻辑特性，而与其在计算机内部的表示和实现方式无关。对一个抽象数据类型进行定义时，必须给出它的名字及各运算的运算符名，即函数名，并且规定这些函数的参数性质。一旦定义了一个抽象数据类型及具体实现，程序设计中就可以像使用基本数据类型那样，十分方便地使用抽象数据类型。由此可见，抽象数据类型和数据类型实质上是一个概念。但是它的范畴更加广泛，它不再局限于已有的数据类型，还包括用户在设计软件时自己定义的数据类型。

抽象数据类型的描述包括抽象数据类型的名称、数据的集合、数据之间的关系和操作的集合等。抽象数据类型的设计者根据这些描述给出操作的具体实现，抽象数据类型的使用者依据这些描述使用抽象数据类型。

抽象数据类型可以分为以下 3 种类型。

(1) **原子类型**（Atomic Data Type）：其值是不可分的。

(2) **固定聚合类型**（Fixed-aggregate Data Type）：其值由确定数目的成分按某种结构组成。

(3) **可变聚合类型**（Variable-aggregate Data Type）：其值由不确定数目的成分构成。后两种都是结构类型。

抽象数据类型一般用三元组（DSP）表示，其中 D 表示数据对象，S 是 D 上的数据关系，P 表示 D 的基本操作。定义抽象数据类型的格式如下。

```
ADT 数据抽象类型名
{
    数据对象：数据对象的定义
    数据关系：数据关系的定义
    基本操作：基本操作的定义
}ADT 数据抽象类型名
```

抽象数据类型的三元组定义的一个例子如下：

```
ADT Structure
{
    数据对象：D={e1,e2,e3}
    数据关系：R1={<e1,e2>,<e2,e3>}
    基本操作：
```



```
Init Structure (&S, v1, v2, v3)
    操作结果: 构造三元数组 S, 元素 e1,e2,e3 分别被赋予参数 v1,v2,v3 的值。
DestroyList(&S)
    操作结果: 销毁三元组 S。
Get(S, i, , &e)
    初始条件: 三元组 S 已存在。
    操作结果: 用 e 返回 S 的第 i 元的值。
Put(&S, i, e)
    初始条件: 三元组 S 已存在。。
    操作结果: 改变 S 的第 i 元的值为 e。
IsAscending(S)
    初始条件: 三元组 S 已存在
    操作结果: 如果 S 的元素按升序排列, 返回 1, 否则返回 0。
IsDescending(S)
    初始条件: 线性表 S 存在。
    操作结果: 如果 S 的元素按降序排列, 返回 1, 否则返回 0。
Max(S, &e)
    初始条件: 三元组 S 已存在。
    操作结果: 用 e 返回 S 中最大的数值。
Min(S, &e)
    初始条件: 三元组 S 已存在。
    操作结果: 用 e 返回 S 中最小的数值。
} ADT Structure
```

多型数据类型 (Polymorphic Data Type) 是指其值的成分不确定的数据类型。如例 1-1 中的 e_1 、 e_2 、 e_3 可以是 `int` 型、`float` 型、`char` 型甚至由多种成分构成。但是, 不论其元素具有何种特性, 元素之间的关系和基本操作都相同。从抽象数据类型的角度看, 具有相同的数学抽象特性, 称之为多型数据类型。

1.4 算法与算法分析

解决实际问题要找出解决问题的方法。要用计算机解决实际问题, 就要先给出解决问题的算法, 再依据算法编制程序完成要求。描述算法的工具具有许多, 可以是自然语言 (日常交流所用的)、数学语言或者是某种计算机的高级语言。本书采用 C 语言描述算法。

1.4.1 算法的描述

算法 (Algorithm) 是对特定问题求解步骤的一种描述, 它是指令的有限序列, 其中每条指令表示一个或多个操作。算法具有 5 个特性。

(1) **有穷性:** 一个算法必须总是在执行有限步骤之后结束, 其每一步都在可接受的时间内完成。

(2) **确定性:** 算法中的每一条指令都必须有明确的含义, 并且在任何条件下, 算法都只有唯一的一条执行路径, 即对于相同的输入只能得到相同的输出。