



普通高等教育“十五”国家级规划教材

数据结构

• 朱战立 编著

Data Structures

Data Structures

Data Structures

西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

普通高等教育“十五”国家级规划教材

数 据 结 构

朱战立 编著

西安电子科技大学出版社

2003

内 容 简 介

数据结构是计算机等专业必修的核心课程。本书是为高等院校开设该课程精心编著的教材。本书讨论的典型数据结构包括表、堆栈、队列、数组、串、树、二叉树、图、递归程序设计、排序和查找方法,典型存储结构包括顺序存储结构、链式存储结构以及这两种典型存储结构的结合。本书的特点是概念叙述简洁,深入浅出,概念讨论和实际设计相结合,实际设计例子典型且完整,均采用C语言设计实现。

本教材是普通高等教育“十五”国家级规划教材。本书既可作为高等院校计算机等专业的教材,也可作为其他相关专业学生以及自考生的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数据结构/朱成立编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2003.5

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-5606-1227-X

I. 数… II. 朱… III. 数据结构—高等学校—教材 IV. TP311.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 021808 号

策 划 陈宇光

责任编辑 龙 晖

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8242885 8201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2003年5月第1版 2003年5月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 16.625

字 数 391千字

印 数 1~4000册

定 价 18.00元

ISBN 7-5606-1227-X/TP·0641

XDUP 1498001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

前 言

数据结构是计算机学科的一门核心课程，也是其他一些和计算机学科关系密切的学科或专业的一门必修或选修课程。数据结构课程的任务是讨论现实世界中数据的各种逻辑结构、在计算机中的存储结构以及实现各种操作的算法等问题。开设数据结构课程的目的是使学生掌握如何组织数据、如何存储数据和如何处理数据的基本方法，从而为以后进行软件开发和应用以及进一步学习后续专业课程打下坚实的基础。

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。作者十几年来一直讲授数据结构课程，编写过两本数据结构教材以及一本数据结构学习辅导书，其中一本数据结构教材曾获部级三等奖。本书是作者多年教学经验和教材编著经验的结晶。

本书共分 10 章。书中讨论的典型数据结构包括表、堆栈、队列、数组、串、树、二叉树、图、递归程序设计、排序和查找方法，介绍的典型存储结构包括顺序存储结构、链式存储结构以及这两种典型存储结构的结合。本书采用 C 语言作为算法描述语言，所有算法和设计例子均在计算机上测试通过。本书的特点是概念叙述简洁，深入浅出，概念讨论和实际例子相结合，实际设计例子典型且完整。

习题的选择和设计是教材编写的一个重要方面。作者在习题选择和设计上考虑了习题的广泛性和典型性，并把所有习题按类型分成基本概念题、复杂概念题、算法设计题和上机实习题 4 大类。习题分类设计既方便了学生学习和复习，也方便了教师布置作业。标有“*”号的习题难度较大，可供学生选做。完成上机实习作业是学生普遍感觉困难的一个问题，为此，附录给出了上机实习内容规范和两个上机实习范例。

根据作者的经验，使用本教材授课约需 60~70 课时，其中包括 10~20 课时的课内上机实践。根据课时数和学生的理解程度，目录中标有“*”号的各节可酌情考虑。对于有条件上机的学生来说，除课内上机实践外，应尽可能多地增加课外上机实践，以加深理解课程中的概念和提高实际动手进行程序设计的能力。

尽管作者在写作过程中非常认真和努力，但错误和不足之处仍在所难免，敬请读者批评指正。

朱战立

2002 年 10 月

欢迎选购西安电子科技大学出版社各类图书

—— 工程应用丛书 ——			
FPGA 设计及应用(含光盘)	30.00	微型计算机原理及接口技术	17.00
USB 接口技术	25.00	工程制图	22.00
Verlog HDL 数字系统设计及其应用	25.00	计算机制图——CAXA 电子图版 V2 版	11.00
VHDL 与复杂数字系统设计	29.00	机械制图(含习题集)	30.00
PC 计算机测控技术及应用	21.00	图形制作与处理	13.00
PCI 局部总线及其应用	29.00	电子技术基本技能实训教程	12.00
DSP 实用技术	30.00	信息系统分析与设计	14.00
IC 设计基础	32.00	计算机网络	20.00
Windows 声音应用程序开发指南	14.00	计算机网络技术	20.00
实用单片机数据通信技术	27.00	互联网实用技术与网页制作	14.00
智能建筑设备自动化技术	20.00	局域网组建、管理与维护	20.00
流行单片机实用子程序及应用实例	18.00	Internet/Intranet 应用与网页制作实训教材	15.00
组态软件设计与开发	28.00	计算机操作系统	14.00
—— MATLAB 应用丛书 ——		操作系统	16.00
MATLAB 辅助模糊系统设计	22.00	计算机应用基础	18.00
Simulink 建模与仿真	25.00	计算机文化基础	18.00
MATLAB 辅助现代工程数学信号处理	24.00	PowerBuilder 技术教程	17.00
MATLAB6.X 图形编程与图像处理	19.00	图形处理与 3D 动画制作	16.00
基于 MATLAB6.X 的系统分析与设计		SYBASE 数据库实例教程	22.00
—— 虚拟实现	22.00	Visual Basic 程序设计	21.00
—— 神经网络(第二版)	20.00	《Visual Basic 程序设计》习题解答	16.00
—— 时频分	20.00	Visual Basic 程序设计	16.00
基于 MATLAB 的系统分析与设计		Visual FoxPro——程序设计教程	16.00
—— 小波分析	27.00	汇编语言程序设计	16.00
—— 信号处理	24.00	汇编语言程序设计	17.00
—— 控制系统	18.50	单片机应用技术	22.00
—— 神经网络	17.50	数据结构	21.00
—— 图像处理	16.00	数据结构(C 语言)	15.00
—— 模糊系统	14.00	电子工程制图(含习题集)	25.00
现代通信系统分析与仿真		数字电子技术	17.00
—— MATLAB 通信工具箱	28.00	信号与线性系统	20.00
—— 部级重点教材 ——		高频电子线路	16.00
高级操作系统(统编)	16.00	应用电路分析	14.00
数据库原理与应用(修订版)(统编)	15.00	模拟电子技术	18.00
微型计算机原理(统编)	24.50	办公自动化设备的使用和维护	23.00
并行处理技术(统编)	14.00	电脑组装与维护	16.00
模拟电子线路基础	16.00	计算机组装与维护	17.00
移动通信(修订版)(统编)	23.00	计算机网络——集成、管理与维护	26.00
智能控制理论和方法	18.00	Internet 基础与使用	14.00
计算机绘图(统编)	24.50	电视技术	25.00
—— 国家级重点教材 ——		应用数学基础(上、下)	28.00
计算机系统结构(第二版)(统编)	19.00	工程制图(含习题集)	13.00
计算机系统结构(第三版)(统编)	22.00	数字电子技术	12.00
离散数学(大专)(第二版)(统编)	13.00	C++ 程序设计	17.00
雷达对抗原理(统编)	15.00	C 语言程序设计	17.00
雷达原理(第三版)	23.00	C 语言程序设计实例教程	18.00
通信网的安全——理论与技术	42.00	多媒体技术实用教程	16.00
—— 高职教材(配送电子教案) ——		电工基础	18.00
单片机及应用	20.00	电子技术基础	22.00

电工与工业电子学	18.00	计算机应用技术考试要点与训练	18.00
电路分析	22.00	现代办公自动化设备(全国自考教材)	20.00
—— 考研辅导丛书 ——		管理信息系统考试要点与训练	18.00
数据结构辅导(第二版)	28.00	—— 操作系统类 ——	
C语言程序设计辅导	22.00	中文版 Windows 2000/XP 注册表	
数据库系统原理辅导	21.00	从入门到精通	25.00
自动控制原理辅导	24.00	中文版 Windows XP 实用教程	24.00
电路、信号与系统辅导	27.00	Windows 9X/XP/ME 注册表实例详解	22.00
高频电子线路辅导	14.00	Windows 98/ME/2000/XP.NET	
微型计算机原理及应用辅导	17.00	注册表修改实例精粹	27.00
微机原理程序设计辅导	10.00	全新演绎 Windows XP 注册表——高手秘笈	28.00
高等数学辅导	35.00	注册表玩家快手教程	18.00
通信原理辅导	17.00	Windows.net Sever 组网与维护实用教程	18.00
理论力学辅导	23.00	操作系统教程(第二版)	16.00
材料力学辅导	23.00	操作系统实践教程(新世纪)	12.00
电子线路辅导	24.00	计算机操作系统教程(新世纪)	18.00
操作系统辅导	13.00	计算机操作系统(第三版)(统编)	27.00
各类考研数学实考试题与解答	25.00	计算机操作系统(修订版)(汤)	24.00
《微型计算机原理及应用》		《计算机操作系统》学习指导与题解	16.00
习题十试题分析与解答	22.00	Linux系统结构分析	40.00
材料力学全真试题与解答	12.00	Linux下的WEB服务器技术	20.00
机械原理考试全真试题与解答	12.00	中文WindowXP实用教程	24.00
数据结构习题+试题分析与解答	20.00	—— 计算机提高普及类 ——	
—— 计算机网络丛书 ——		五笔字型快手教程	10.00
新手上网快手教程	17.00	电脑应用快手教程	18.00
网络安全实践	22.00	电脑组装与维护高手教程	24.00
Internet操作实用教程	16.00	电脑常见故障急救手册	28.00
Internet技术及其应用教程	15.00	电脑故障排除快手教程	20.00
中文版Flash MX网页动画制作教程	20.00	计算机组装维护实用教程	20.00
中文版Flash MX动画玩家快手教程	20.00	微机应用环境实用教程	26.00
Flash MX网页动画设计基础与进阶教程	18.00	计算机基础培训教程(XP版)	22.00
个性化网页·设计与鉴赏	22.00	新编电脑应用综合培训教程	18.00
局域网实践DIY	20.00	公务员电脑培训经典教程	20.00
网页设计与制作(中专)	13.00	学用电脑一册通(第二版)	23.00
计算机网络(本科)	15.00	计算机应用与五笔快速入门	16.00
计算机网络	18.00	计算机基础培训教程(XP版)	22.00
计算机网络——集成、管理与维护(中专)	22.00	中英文输入及排版技术实用教程	16.00
计算机网络与办公自动化	15.00	计算机软件技术基础教程(21世纪)	21.00
现代网络技术	22.00	计算机文化基础(21世纪)	18.00
深入体验 ASP.NET	34.00	新编计算机应用基础	
Inernet 操作实用教程	20.00	(Windows 98& Office 2000)	23.00
计算机网络实用培训教程	20.00	《新编计算机应用基础》上机实习与指导	8.00
信息网络理论基础(21世纪)	16.00	计算机结构组成与外部设备(中专)	13.00
—— 自学考试辅导 ——		公务员电脑培训经典教程	20.00
数字电路(自考教材)	18.00	五笔字型双解学查练词典	15.00
《数字电子技术》学习指导与题解	14.00	电脑应用零点起步	20.00
线性电子电路	18.00	电脑打字与桌面办公培训新教程	20.00
高级语言程序设计考试要点与训练(C语言)	18.00	电脑应用三合一快捷教程	18.00
操作系统原理考试要点与训练	19.00	电脑办公全面培训教程	20.00
计算机网络考试要点与训练	19.00	Office办公实用教程(XP版)	20.00
微型计算机及接口技术考试要点训练	18.00	—— 全国计算机等级考试类 ——	
计算机组成原理考试要点与训练	15.00	全国计算机等级考试一级教程	23.00

数据结构——使用 C++ 语言 (新世纪)	22.00	低频电子线路 (中专)	18.00
编译原理实践教程 (新世纪本科)	12.00	高频电路	14.00
编译原理基础	13.00	高频电子线路 (中专)	16.00
《编译原理基础》习题与上机题解答	10.00	电子测量技术基础	17.30
离散数学 (修订版) (统编)	17.80	信号与系统 (第二版)	29.00
《离散数学》习题解答	16.00	《信号与系统》学习指导与题解	12.00
软件工程	20.00	数字信号处理 (第二版)	21.00
软件工程与数据库概论	14.00	自适应信号处理 (研究生系列)	16.00
管理信息系统原理	29.00	视景仿真技术及应用	30.00
人工智能技术导论 (第二版)	18.00	随机信号处理	13.00
弱电系统综合布线	18.00	数字信号处理——时域离散随机信号处理	19.00
—— 计算机辅助技术类 ——			
AutoCAD 实用教程	28.00	微波电路 CAA 与 CAD	21.00
AutoCAD 2002 简明二维绘图教程	17.00	非线性光学	40.00
Pro/ENGINEER 2001 从入门到精通	26.00	电子电路故障诊断技术	13.00
AutoCAD 基础 (中专)	12.00	开关稳压电源——原理、设计与实用电路	25.00
中文版 Auto CAD 2002 从入门到精通	20.00	新型集成电路使用指南与典型应用	43.50
Auto CAD 2002 快易通	18.00	集成电路速查大全	24.00
AutoCAD 2002 辅助设计精彩实例创作通	24.00	电磁波时域与有限差分方法	20.00
电子电路 CAD 程序及其应用	16.00	电磁场与波理论基础	35.00
电子线路 CAD 实用教程	22.00	—— 通信与自动控制类 ——	
EDA 技术及应用	23.00	通信基础电源 (第二版) (21 世纪)	20.00
CAXA 电子图板实用绘图及二次开发	22.00	通信电子线路	22.00
—— 电子技术类 ——			
用 I S P 器件设计电路与解答	26.00	光纤通信	15.00
计算机基础电路 (中专)	24.00	移动通信	16.00
计算机电子电路技术——电路与模拟电子部	22.00	蜂窝通信	23.00
计算机电子电路技术——数字电子部分	12.80	蜂窝移动通信技术	23.00
传感器原理及工程应用	13.00	CDMA 数字蜂窝网	12.00
智能传感器系统	27.00	数字通信原理与技术	17.00
音响技术 (统编)	11.80	多媒体通信技术	16.00
模拟电子技术	16.00	通信系统原理	26.00
模拟电子电路基础	23.00	现代通信系统	24.00
模拟电子技术基础 (21 世纪)	22.00	军事通信技术及应用	18.00
《模拟电子技术基础》教学指导书 (21 世纪)	9.00	现代通信新技术	20.00
数字电子技术	14.90	通信工程专业英语	12.00
《数字电子技术》学习指导与题解	14.00	通信光缆线路工程与维护	30.00
数字电路基础 (中专)	17.00	微波技术与天线	17.00
数字系统设计基础 (21 世纪)	19.00	卫星通信 (新版) (统编)	12.00
数字电子技术	14.00	扩频通信 (统编)	9.80
数字电子技术基础 (21 世纪)	18.00	锁相技术 (新版) (统编)	14.80
《数字电子技术基础》学习指导 (21 世纪)	8.00	纠错码——原理与方法	35.00
电路基础 (修订版) (21 世纪)	21.00	自动控制原理 (大专)	13.00
电路基础学习指导 (21 世纪)	15.00	现代通信原理与技术	26.00
电路基础 (中专)	12.00	信息与通信工程学科综合水平考试学习指导	35.00
电子线路基础 (21 世纪)	19.00	System View 动态系统分析及通信系统仿真设计	20.00
电磁场与电磁波学习指导 (21 世纪)	21.00	防空指挥自动化系统原理	27.00

欢迎来函索取本社最新书目和教材介绍, 欢迎投稿!

从邮局或银行汇款邮购者, 款到后五天内我社将挂号发书, 加收 15% 的包装邮寄费。

通信地址: 西安市太白南路 2 号 西安电子科技大学出版社读者服务部 邮编: 710071

电 话: (029) 8202948

传 真: (029) 8213675

主 页: <http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数据结构的基本概念	1
1.2 抽象数据类型和软件构造方法	4
1.3 算法和算法的时间复杂度	5
1.3.1 算法	5
1.3.2 算法设计的目标	7
1.3.3 算法时间效率的度量	7
1.4 算法设计	11
1.5 算法书写规范	14
1.6 本课程内容概述	14
习题一	15
第 2 章 线性表	17
2.1 线性表的抽象数据类型	17
2.2 线性表的顺序表示和实现	18
2.2.1 顺序表的存储结构	18
2.2.2 顺序表的操作实现	19
2.2.3 顺序表操作的效率分析	22
2.2.4 顺序表的应用举例	22
2.3 线性表的链式表示和实现	26
2.3.1 单链表的存储结构	26
2.3.2 单链表的操作实现	29
2.3.3 单链表操作的效率分析	34
2.3.4 单链表应用举例	35
2.3.5 循环单链表	36
2.3.6 双向链表	37
2.4 设计举例	40
2.5 本章小结	46
习题二	47
第 3 章 堆栈和队列	49
3.1 堆栈	49
3.1.1 堆栈和堆栈的抽象数据类型	49
3.1.2 堆栈的顺序表示和实现	50
3.1.3 堆栈的链式表示和实现	53
* 3.2 堆栈应用——表达式计算	58
3.3 队列	61
3.3.1 队列和队列抽象数据类型	61

3.3.2	顺序队列	62
3.3.3	顺序循环队列的表示和实现	63
3.3.4	链式队列	66
3.3.5	队列的应用	69
* 3.4	优先级队列	71
3.4.1	顺序优先级队列的设计和实现	71
3.4.2	优先级队列的应用	74
3.5	本章小结	75
	习题三	76
第 4 章	串	79
4.1	串	79
4.1.1	串及其基本概念	79
4.1.2	串的抽象数据类型	80
4.1.3	C 语言的串函数	81
4.2	串的存储结构	83
4.2.1	串的顺序存储结构	83
4.2.2	串的链式存储结构	84
4.3	串基本操作的实现算法	85
4.4	串的模式匹配算法	90
4.4.1	Brute-Force 算法	90
4.4.2	KMP 算法	92
4.4.3	Brute-Force 算法和 KMP 算法的比较	96
4.5	本章小结	98
	习题四	99
第 5 章	数组	101
5.1	数组的实现机制	101
5.2	动态数组的设计方法	102
5.3	特殊矩阵的压缩存储	105
5.4	稀疏矩阵的压缩存储	106
5.4.1	稀疏矩阵的三元组顺序表	106
5.4.2	稀疏矩阵的三元组链表	110
5.5	本章小结	111
	习题五	112
第 6 章	递归	114
6.1	递归的概念	114
6.2	递归算法的执行过程	115
6.3	递归算法的设计方法	118
6.4	递归过程和运行时栈	120
6.5	递归算法的效率分析	122
* 6.6	递归算法到非递归算法的转换	123
6.7	设计举例	126
6.7.1	一般递归算法设计举例	126

* 6.7.2 回溯法及设计举例	129
6.8 本章小结	133
习题六	134
第7章 树和二叉树	137
7.1 树	137
7.1.1 树的定义	137
7.1.2 树的表示方法	138
7.1.3 树的抽象数据类型	139
7.2 二叉树	140
7.2.1 二叉树的定义	140
7.2.2 二叉树抽象数据类型	141
7.2.3 二叉树的性质	141
7.3 二叉树的设计和实现	143
7.3.1 二叉树的存储结构	143
7.3.2 二叉链存储结构下二叉树的操作实现	145
7.3.3 二叉树的遍历及其实现	147
7.4 线索二叉树	151
7.5 哈夫曼树	153
7.5.1 哈夫曼树的基本概念	153
7.5.2 哈夫曼编码问题	155
* 7.5.3 哈夫曼编码问题设计和实现	156
7.6 树的存储结构、转换和遍历	160
7.6.1 树的存储结构	160
7.6.2 树与二叉树的转换	162
7.6.3 树的遍历	163
7.7 本章小结	164
习题七	165
第8章 图	168
8.1 图的基本概念	168
8.1.1 图的基本概念	168
8.1.2 图的抽象数据类型	170
8.2 图的设计和实现	171
8.2.1 图的邻接矩阵存储结构	171
8.2.2 图的邻接表存储结构	172
8.2.3 邻接矩阵存储结构下图的操作实现	173
8.3 图的遍历	177
8.3.1 图的深度和广度优先遍历算法	177
8.3.2 图的深度和广度优先遍历算法设计和实现	178
8.4 最小生成树	181
8.4.1 最小生成树的基本概念	181
8.4.2 普里姆算法	182
* 8.4.3 普里姆函数设计和实现	183
8.4.4 克鲁斯卡尔算法	186

8.5 最短路径	187
8.5.1 最短路径的基本概念	187
8.5.2 从一个顶点到其余各顶点的最短路径	188
* 8.5.3 狄克斯特拉算法设计和实现	189
8.6 本章小结	192
习题八	192
第9章 排序	195
9.1 排序的基本概念	195
9.2 插入排序	197
9.2.1 直接插入排序	197
9.2.2 希尔排序	199
9.3 选择排序	201
9.3.1 直接选择排序	201
9.3.2 堆排序	202
9.4 交换排序	207
9.4.1 冒泡排序	207
9.4.2 快速排序	209
* 9.5 归并排序	211
9.6 综合应用举例	214
9.7 本章小结	215
习题九	216
第10章 查找	218
10.1 查找的基本概念	218
10.2 静态查找表	219
10.2.1 顺序表	219
10.2.2 有序顺序表	220
10.2.3 索引顺序表	222
10.3 动态查找表	224
10.3.1 二叉排序树	224
10.3.2 B-树	231
10.4 哈希表	235
10.4.1 哈希表的基本概念	235
10.4.2 哈希函数构造方法	237
10.4.3 哈希冲突解决方法	238
10.4.4 哈希表设计举例	239
10.5 本章小结	243
习题十	244
附录A 上机实习内容规范	245
附录B 上机实习范例	246
参考文献	257

第 1 章 绪 论

计算机是对各种各样的数据进行处理机器。要对数据进行处理，首先就要对数据进行组织。因此，在计算机中如何有效地组织数据和处理数据就是计算机科学的基本研究内容，也是继续深入学习后续课程的基础。

本章主要对数据结构课程学习中将遇到的基本概念做概括性的叙述，这些内容将贯穿于数据结构课程的整个学习过程中。其中，1.1节概述了数据结构的基本概念；1.2节讨论了抽象数据类型和软件构造方法；1.3节给出了算法的定义和算法效率的数学定义；算法设计一直是初学者最感头痛的内容，1.4节通过实际例子讨论了算法设计要考虑的问题；数据结构课程的任务之一是训练学生的软件设计能力，并要求软件设计按规范进行，1.5节给出的算法书写规范有助于培养学生这方面的能力。

1.1 数据结构的基本概念

数据是人们利用文字符号、数字符号以及其他规定的符号对现实世界的事物及其活动所做的抽象描述。

例如，今天天气最高温度为 4°C ，最低温度为 -4°C ，就是关于今天天气情况的描述数据。又例如，班上甲同学姓名叫张三，乙同学姓名叫李四，就是关于班上同学姓名的描述数据。

表示一个事物的一组数据称作一个数据元素；构成数据元素的数据称作该数据元素的数据项。

例如，描述学生情况的数据可包括学生的学号、姓名、性别、年龄等。学生的学号、姓名、性别、年龄等数据就构成学生情况描述的数据项；学号、姓名、性别、年龄等数据项的一组数据就构成学生情况描述的一个数据元素。表1-1是一个有三个数据元素数值的学生情况表。

表 1-1 学 生 情 况 表

学号	姓名	性别	年龄
2000001	张三	男	20
2000002	李四	男	21
2000003	王五	女	22

在数据结构课程中，关于数据元素、数据项的描述都使用某种高级程序设计语言语法格式，高级程序设计语言要求在定义数据元素时必须指定每个数据项所属的数据类型。本书采用C语言语法格式。学生情况数据元素的数据类型的C语言格式定义为：

```

struct Student
{
    char number[8];
    char name[10];
    char sex[3];
    int age;
};

```

由于汉字“男”、“女”需占两个字符，一个以上的字符序列称为字符串，在 C 语言中，字符串还有一个结束标记，所以 sex 域应定义为长度为 3 的字符数组。关于字符串的定义见 4.1 节。

通过 C 语言程序设计课程的学习我们知道，可以利用已定义的基本数据类型定义新的数据类型。通过上述定义，struct Student 就可像 C 语言中已定义的数据类型 char、int、float 等一样，用于定义新的描述学生情况的数据类型。

为使用简便起见，我们还可以把上述定义改写为：

```

typedef struct Student
{
    char number[8];
    char name[10];
    char sex[3];
    int age;
} StudentType;

```

typedef 是关键字，上述定义表示 StudentType 和 struct Student 同名。定义后，我们可以用 StudentType 定义新的描述学生情况的数据类型。

例如，像下面这样定义后就表示变量 a 和 b 所属的数据类型为 StudentType：

```
StudentType a, b;
```

此时，表示变量 a 的 name 数据项的语法是 a.name，表示变量 b 的 age 数据项的语法是 b.age。

没有定义具体数据类型的数据元素称作抽象数据元素。

上述学生情况数据元素的数据类型定义为 StudentType，即给出了具体的数据类型定义。但是，像数学一样，数据结构课程讨论的数据元素也可以是抽象数据元素，我们把没有具体数据类型定义的数据元素称作抽象数据元素。

当讨论抽象数据元素时，我们用符号 DataType 表示该抽象数据元素的数据类型。当软件设计问题具体确定时，抽象数据元素的数据类型将被具体的数据类型取代。例如，当该抽象线性表的数据元素类型具体确定为表 1-1 的数据元素类型时，可通过重新定义抽象数据元素类型为 StudentType，来具体确定该抽象数据元素的数据类型。具体的定义语句格式为：

```
typedef StudentType DataType;
```

数据元素之间的相互联系方式称为数据的逻辑结构。

按照数据元素之间的相互联系方式，数据的逻辑结构可分为线性结构、树结构和图结

构。线性结构是指除第一个和最后一个数据元素外每个数据元素只有一个前驱数据元素和一个后继数据元素。表 1-1 中的数据元素就是一个线性结构的数据元素。线性结构也可表示为图 1-1(a)。由于线性结构的数据元素呈现为线性序列, 所以有些教科书把线性结构称为线性序列, 或简称序列。树结构是指除根结点外每个数据元素只有一个前驱数据元素和若干个后继数据元素, 其典型例子如图 1-1(b) 所示, 其中, 数据元素 A 有两个后继数据元素, 分别为 B 和 C。图结构是指每个数据元素可有若干个前驱数据元素和若干个后继数据元素, 其典型例子如图 1-1(c) 所示, 其中, 数据元素 E 有两个前驱数据元素, 分别为 B 和 C。

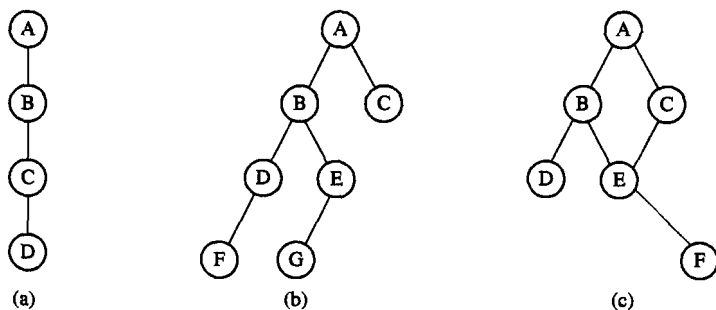


图 1-1 基本的数据逻辑结构形式

(a) 线性结构; (b) 树结构; (c) 图结构

任何需要计算机进行管理和处理的数据元素都必须首先按某种方式存储在计算机中。数据元素在计算机中的存储方式称为数据的存储结构, 也称为数据的物理结构。数据的存储结构应能正确地表示出数据元素间的逻辑关系。

数据存储结构的基本形式有两种: 一种是顺序存储结构, 另一种是链式存储结构。顺序存储结构是把数据元素存储在一块连续地址空间的内存中, 其特点是逻辑上相邻的数据元素在物理上也相邻, 数据间的逻辑关系表现在数据元素的存储位置关系上。当采用高级程序设计语言表示时, 实现顺序存储结构的方法是使用数组。图 1-2(a) 是线性结构数据元素 $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$ 顺序存储结构的基本形式。

指针是指向物理存储单元地址的变量。我们把由数据元素域和指针域组成的一个结构体称为一个结点。链式存储结构是指使用指针把相互直接关联的结点(即直接前驱结点或直接后继结点)链接起来, 其特点是逻辑上相邻的数据元素在物理上不一定相邻, 数据间的逻辑关系表现在结点的链接关系上。图 1-2(b) 是线性结构数据元素 $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$ 链式存储结构的基本形式。

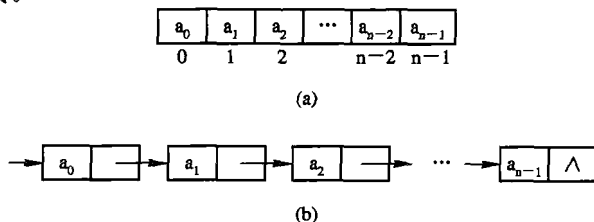


图 1-2 基本存储结构形式

(a) 顺序存储结构; (b) 链式存储结构

顺序存储结构和链式存储结构是两种最基本、最常用的存储结构。除此之外，还有仿真指针(也称作静态数组)和间接地址存储结构。仿真指针和间接地址存储结构实际上分别是顺序存储结构和链式存储结构的某种形式的结合。

对一种数据类型的数据进行的某种处理称作数据的操作，对一种数据类型的数据的所有操作称作数据的操作集合。

数据的操作有两个方面的含义：在逻辑结构意义下，数据的操作主要讨论该种数据类型数据应实现的操作功能；在存储结构意义下，数据的操作主要讨论操作的具体实现算法。例如，若某软件要对表 1-1 所示的学生情况表进行处理，在逻辑结构意义下，对学生情况表可能进行的操作有：插入一条数据元素，删除一条数据元素，列出所有数据元素的值，等等。若采用图 1-2(a)所示的顺序存储结构存储数据元素，就要考虑在这种存储结构下插入、删除一条数据元素，以及列出所有数据元素的值等操作的具体实现算法；若采用图 1-2(b)所示的链式存储结构存储数据元素，就要考虑在这种存储结构下插入、删除一条数据元素，以及列出所有数据元素的值等操作的具体实现算法。显然，对于逻辑结构意义下的插入一条数据元素操作，其存储结构不同，操作的具体实现算法将不同。

数据结构课程主要讨论表、堆栈、队列、串、数组、树、二叉树、图等典型的常用数据结构，在讨论这些典型的常用数据结构时，主要从它们的逻辑结构、存储结构和数据操作三个方面进行分析讨论。例如，我们在第 2 章讨论线性表时，2.1 节将讨论线性表的抽象数据类型(即线性表的逻辑结构和逻辑结构意义下的操作功能)，2.2 节将讨论线性表的顺序存储结构和顺序存储结构下各基本操作的具体实现算法，2.3 节将讨论线性表的链式存储结构和链式存储结构下各基本操作的具体实现算法。其他各章中对堆栈、队列、串、数组、树、二叉树、图等讨论的章节安排次序和第 2 章类同。

1.2 抽象数据类型和软件构造方法

类型是一组值的集合。

例如，整数类型就是具体计算机所允许表示的整数数值的集合，通常整数类型的范围是 $-32\,767 \sim 32\,768$ 。又例如，布尔类型就是数值 true 和 false 组成的集合。

数据类型是指一个类型和定义在这个类型上的操作的集合。

例如，当我们说计算机中的整数数据类型时，它就不仅指计算机所允许表示的整数数值的集合，而且指能对这个整数类型进行的加(+)、减(-)、乘(*)、除(/)和求模(%)操作。

在本课程中，通常把在已有的数据类型基础上设计新的数据类型的过程称作数据结构设计，在这里，数据结构和数据类型含义相同。

抽象数据类型(Abstract Data Type, 缩写为 ADT)是指一个逻辑概念上的类型和这个类型上的操作集合。

数据结构课程主要讨论的表、堆栈、队列、串、数组、树、二叉树、图等典型的常用数据结构，就是一个个不同的抽象数据类型。

在盖楼时，如果我们用砖、水泥、沙子来盖，则不仅建造周期长，而且楼不可能盖得很高(否则将不安全)；如果我们用水泥预制板，则不仅建造周期短(因水泥预制板有专门的

公司按规范的规格提供), 楼能盖很高, 而且所建造的高楼能保证安全。从数学的观点看, 水泥预制板使高楼的接缝数量大大减少, 从而大大降低了高楼建造的复杂度。

抽象数据类型是大型软件构造的模块化方法。和安全、快速、方便地建造高楼方法类同, 大型软件的设计也采用模块化方法。典型的常用抽象数据类型, 如表、堆栈、队列、串、数组、树、二叉树、图等就是我们设计大型软件时要使用的水泥预制板, 我们用这些已由专门公司设计好的抽象数据类型, 就可以安全、快速、方便地设计功能复杂的大型软件。

抽象数据类型定义是软件设计的中间环节。一方面, 根据给出的抽象数据类型定义, 负责设计这些抽象数据类型的专门公司(或专门设计人员)设计该抽象数据类型的具体存储结构以及在具体存储结构下各操作的具体实现算法; 另一方面, 利用已设计实现的抽象数据类型模块, 负责设计大型软件的专门公司(或专门设计人员)可以安全、快速、方便地完成该大型软件系统设计, 方法和建造高楼的方法类同。水泥预制板规格的设计是高楼建造的中间环节。一方面, 根据给出的水泥预制板规格, 负责提供水泥预制板的专门公司制造水泥预制板; 另一方面, 根据给出的水泥预制板规格, 高楼的设计人员和建造人员可以安全、快速、方便地完成高楼的设计和建造。

1.3 算法和算法的时间复杂度

1.3.1 算法

算法是描述求解问题方法的操作步骤集合。

算法要用某种语言来描述。描述算法的语言主要有三种形式: 文字形式、伪码形式、程序设计语言形式。文字形式是用中文或英文这样的文字来描述算法。伪码形式是用一种仿程序设计语言的语言(因这样的语言不是真正的程序设计语言, 所以称为伪码)来描述算法。程序设计语言形式是用某种程序设计语言来描述算法。用程序设计语言描述算法的优点是, 这样的算法不需修改, 直接作为程序语句键入计算机后, 计算机能调用和运行。(本书采用 C 语言描述算法。)

【例 1-1】 设计一个把存储在数组中的 n 个抽象数据元素 $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$ 逆置的算法, 即要求逆置后的数组中的数据元素序列为 $a_{n-1}, \dots, a_1, a_0$, 并要求原数组中的数据元素值不能被改变。

设计 这是一个算法设计问题。该算法要求一个表示元素个数的输入参数 n , 一个表示原数组的输入参数 a 和一个表示逆置后的数组的输出参数 b (关于输入参数和输出参数的详细讨论见 1.4 节)。

算法设计如下:

```
void Reverse(int n, DataType a[], DataType b[])
{
    int i;
    for(i = 0; i < n; i++)                /* 为数组 b 的 n 个元素赋值 */
        b[i] = a[n - 1 - i];
}
```

该算法的实现方法图示见图 1-3。

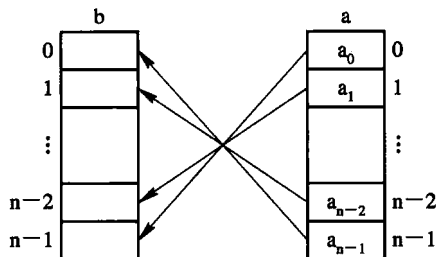


图 1-3 例 1-1 算法实现方法图示

【例 1-2】 设计一个把存储在数组中的 n 个抽象数据元素 $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$ 就地逆置的算法，即要求逆置后数组中数据元素序列为 $a_{n-1}, \dots, a_1, a_0$ ，并要求原数组中的数据元素值被改变。

设计 这是一个不同于例 1-1 的算法设计问题。该算法要求一个表示元素个数的输入参数 n ，一个表示原数组的输入参数 a 和一个表示逆置后的数组的输出参数 b 。由于要求原数组中的数据元素值被改变，所以输出参数 b 必须和输入参数 a 相同，因此这两个参数应设计为一个参数，其参数类型设计为输入输出混合型参数。

算法设计如下：

```
void Reverse(int n, DataType a[])
{
    int i, m = n/2;
    DataType temp;

    for(i = 0; i < m; i++)
    {
        temp = a[i];
        a[i] = a[n - 1 - i];
        a[n - 1 - i] = temp;
    }
}
```

该算法的实现方法图示见图 1-4。

算法应满足以下性质：

- (1) 输入性：具有零个或若干个输入量；
- (2) 输出性：至少产生一个输出或执行一个有意义的操作；
- (3) 有限性：执行语句的序列是有限的；
- (4) 确定性：每一条语句的含义明确，无二义性；
- (5) 可执行性：每一条语句都应在有限的时间内完成。

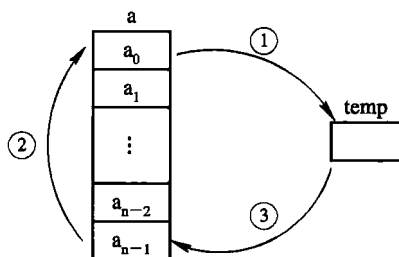


图 1-4 例 1-2 算法实现方法图示