

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
计算机科学与技术

数据结构

—— C++语言描述

朱振元 朱承 编著

清华大学出版社



高等学校教材
计算机科学与技术

数据结构 —— C++语言描述

朱振元 朱承 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书采用面向对象的观点来讨论数据结构技术,对每一种抽象的数据类型先定义成抽象类,然后再结合各种具体的存储结构加以实现,并以各实现类为线索对抽象类中各种操作的实现方法加以说明。内容包括线性表、栈、队列、串、数组、集合、广义表、树、图等数据结构及查找和排序的方法。

本书突出实用性,在书中除列举算法设计实例外,还使用面向对象的开发工具对典型的应用问题加以实现。

本书语言通俗、条理清晰、可操作性强,既可作为本科高等学校计算机专业的教材,也可作为应用程序开发人员及电脑爱好者的技术参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

数据结构: C++ 语言描述/朱振元,朱承编著. —北京:清华大学出版社,2007.4

(高等学校教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-14215-7

I. 数… II. ①朱… ②朱… III. ①数据结构—高等学校—教材 ②C语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP311.12 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 147494 号

责任编辑:闫红梅 林都佳

责任校对:李建庄

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

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

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:21.5

字 数:530 千字

版 次:2007 年 4 月第 1 版

印 次:2007 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:28.00 元

本书如存在文字不清、漏印、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:010-62770177 转 3103

产品编号:023282-01

编审委员会成员

高等学校教材·计算机科学与技术

清华大学

周立柱 教授

章 征 教授

王建民 教授

刘 强 副教授

冯建华 副教授

北京大学

杨冬青 教授

陈 钟 教授

陈立军 副教授

北京航空航天大学

马殿富 教授

吴超英 副教授

姚淑珍 教授

中国人民大学

王 珊 教授

孟小峰 教授

陈 红 教授

北京师范大学

周明全 教授

北京交通大学

阮秋琦 教授

北京信息工程学院

孟庆昌 教授

北京科技大学

杨炳儒 教授

石油大学

陈 明 教授

天津大学

艾德才 教授

复旦大学

吴立德 教授

吴百锋 教授

杨卫东 副教授

华东理工大学

邵志清 教授

华东师范大学

杨宗源 教授

应吉康 教授

东华大学

乐嘉锦 教授

上海第二工业大学

蒋川群 教授

浙江大学

吴朝晖 教授

李善平 教授

南京大学

骆 斌 教授

南京航空航天大学

秦小麟 教授

南京理工大学

张功萱 教授

南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	龚声蓉	教授
江苏大学	宋余庆	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	王林平	副教授
	魏开平	副教授
	叶俊民	教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	肖 依	副教授
中南大学	陈松乔	教授
	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
	邹北骥	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永峰	教授
西安石油学院	方 明	教授
西安邮电学院	陈莉君	副教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
长春工程学院	沙胜贤	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
山东科技大学	郑永果	教授
中山大学	潘小轰	教授
厦门大学	冯少荣	教授
福州大学	林世平	副教授
云南大学	刘惟一	教授
重庆邮电学院	王国胤	教授
西南交通大学	杨 燕	副教授

改改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过 20 多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会
E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

数据结构课程是我国计算机教学中较早形成和完善的一门专业基础课程,也是计算机课程体系中的核心课程之一。在该课程中所介绍的各类数据的逻辑结构、存储方式及相关的算法既是程序设计,特别是非数值性程序设计的基础,又是设计和实现系统软件及大型应用软件的重要基础。

多年来,在数据结构方面出版了许多很好的教材,这些教材一般都各有特色并在各高校的计算机教学中发挥了重要的作用。随着计算机技术的飞速发展,程序设计方法及软件开发技术也出现了重大的发展及变革,这对各专业课程的教材更新提出了新的要求。为了适应程序设计方法的变革,我们编写了这本教材。

本教材以培养与提高学生的基本专业素质及综合应用能力为目标,注重体现教材的以下特色:

1. 先进性。采用面向对象的观点讨论数据结构技术,对每一种抽象的数据类型先定义成抽象类,然后再结合各种具体的存储结构加以实现,并以各实现类为线索对抽象类中各种操作的实现方法加以说明。与传统的实现方法相比,采用这种方案可使程序具有更好的可靠性、可维护性和可复用性。

2. 实用性。在本教材中设置了大量的应用实例,这些实例分为“算法设计”与“综合应用”两个层次。“算法设计”实例一般是作为类的成员函数在相关的类中介绍,而“综合应用”实例则在每一章的最后一节介绍,内容包括各章所介绍的类的功能演示及典型的应用问题。我们使用面向对象的开发工具 C++ Builder 来实现这些综合应用程序。

3. 适应性。在本教材中对每一种数据类型都有比较规范的表述过程,对每一种算法都有比较规范统一的说明步骤,对算法的含义、参数与功能、工作变量说明、处理过程都进行明确的说明,并通过图示、文字注释、实例的执行过程等多种方式来帮助学生理解算法,提高学生的计算机思维能力。

本书是在《数据结构(面向对象语言描述)》(清华大学出版社,2004年)的基础上改版而成的。在保持原书中的特色及叙述风格不变的前提下,在总体策划、目录结构、程序代码的优化及格式规范、进一步突出实用性等方面,对原书做了一系列更合理的改进。

本书主要由朱振元和朱承编著,何文德、刘钢钦、欧阳实三位老师对教材的内容提出了许多宝贵的意见,并参与了部分编写工作。本书的改编还得到了许多人的帮助,在此一并表示诚挚的谢意。

由于本教材在总体策划及实现方法都做了一些新的尝试,加之作者水平有限,书中难免存在缺点与疏漏,敬请读者及同行们予以批评指正。

朱振元

2007年1月

第 1 章 课程概论	1
1.1 课程的初步认识	1
1.2 数据结构的基本概念	3
1.2.1 基本术语	3
1.2.2 数据结构的概念	3
1.2.3 逻辑结构和物理结构	4
1.2.4 数据结构形式定义	4
1.3 数据类型及面向对象概念	5
1.3.1 数据类型概述	5
1.3.2 抽象数据类型	6
1.3.3 实现方法	7
1.3.4 面向对象的概念	8
1.4 算法及算法分析	10
1.4.1 算法特性	10
1.4.2 算法描述	10
1.4.3 算法设计的要求	11
1.4.4 算法分析	12
实习题 1	14
第 2 章 线性表	15
2.1 线性表的相关概念及抽象数据类型	15
2.1.1 线性表的相关概念	15
2.1.2 线性表抽象数据类型描述	16
2.1.3 线性表的抽象类定义	17
2.2 顺序表类	18
2.2.1 顺序表的存储结构	18
2.2.2 顺序表的类定义	19
2.2.3 顺序表类的实现	20

2.2.4	顺序表算法设计举例	23
2.3	单链表类	25
2.3.1	单链表的存储结构	25
2.3.2	单链表的类定义	26
2.3.3	单链表类的实现	28
2.3.4	单链表算法设计举例	32
2.4	静态链表类	33
2.4.1	静态链表的存储结构	33
2.4.2	静态链表的类定义	34
2.4.3	静态链表类的实现	35
2.5	双向循环链表类	38
2.5.1	双向循环链表的存储结构	38
2.5.2	双向循环链表的类定义	39
2.5.3	双向循环链表类的实现	40
2.6	线性表应用举例	43
2.6.1	线性表功能演示程序	43
2.6.2	进程调度模拟程序	46
习题 2		51
第 3 章	栈	52
3.1	栈的相关概念及抽象数据类型	52
3.1.1	栈的相关概念	52
3.1.2	栈抽象数据类型描述	53
3.1.3	栈的抽象类定义	54
3.2	顺序栈类	54
3.2.1	顺序栈的存储结构	55
3.2.2	顺序栈的类定义及实现	56
3.2.3	顺序栈算法设计举例	58
3.3	链栈类	58
3.3.1	链栈的存储结构	59
3.3.2	链栈的类定义及实现	59
3.3.3	链栈算法设计举例	62
3.4	栈的应用举例	63
3.4.1	括号配对问题	63
3.4.2	表达式求值	65
3.4.3	栈功能演示程序	70
习题 3		73

第 4 章 队列	74
4.1 队列的相关概念及抽象数据类型	74
4.1.1 队列的相关概念	74
4.1.2 队列抽象数据类型描述	75
4.1.3 队列的抽象类定义	75
4.2 链队列类	76
4.2.1 链队列的存储结构	76
4.2.2 链队列的类定义及实现	78
4.2.3 链队列算法设计举例	81
4.3 循环队列类	82
4.3.1 队列的顺序存储结构	82
4.3.2 循环队列类的定义及实现	84
4.3.3 循环队列算法设计举例	87
4.4 队列的应用举例	88
4.4.1 显示杨辉三角形	88
4.4.2 循环队列功能演示程序	91
实习题 4	94
第 5 章 串	96
5.1 串的相关概念及抽象数据类型	96
5.1.1 串的相关概念	96
5.1.2 串抽象数据类型描述	97
5.1.3 串的抽象类定义	98
5.2 串的存储结构	99
5.2.1 顺序存储结构	99
5.2.2 链式存储结构	100
5.2.3 堆存储结构	101
5.3 设置长度的顺序串类 Str1	101
5.3.1 Str1 的类定义	101
5.3.2 求子串、定位操作的实现	102
5.3.3 删除、插入及替换操作的实现	105
5.3.4 Str1 类算法设计举例	108
5.4 设置结束符的顺序串类 Str2	109
5.4.1 Str2 类的定义	109
5.4.2 Str2 类的实现	110
5.4.3 Str2 类算法设计举例	111
5.5 串的应用举例	113
5.5.1 字符串类功能演示程序	113

5.5.2 文本文件单词统计程序	115
实习题 5	117
第 6 章 数组、矩阵和集合	118
6.1 数组	118
6.1.1 数组的相关概念及抽象数据类型	118
6.1.2 数组类的定义及实现	119
6.2 矩阵概述	121
6.2.1 矩阵的相关概念	121
6.2.2 矩阵的存储方式	122
6.3 矩阵类	123
6.3.1 矩阵类的定义	123
6.3.2 矩阵类的实现	123
6.3.3 矩阵类算法设计举例	126
6.4 矩阵的压缩存储	128
6.4.1 对称矩阵的压缩存储	128
6.4.2 对角矩阵的压缩存储	128
6.4.3 稀疏矩阵的压缩存储	129
6.5 稀疏矩阵类	132
6.5.1 稀疏矩阵类的定义	132
6.5.2 稀疏矩阵类的实现	133
6.6 集合	136
6.6.1 集合的相关概念及抽象数据类型	136
6.6.2 整数集合类	138
6.7 应用举例	140
6.7.1 整数集合类应用程序	140
6.7.2 八皇后演示程序	141
实习题 6	146
第 7 章 广义表	147
7.1 广义表的相关概念及抽象数据类型	147
7.1.1 广义表的相关概念	147
7.1.2 广义表抽象数据类型描述	149
7.2 广义表的存储方式	149
7.2.1 头尾表示法	150
7.2.2 儿子兄弟表示法	151
7.3 广义表类的定义及实现	152
7.3.1 广义表类的定义	152
7.3.2 建立广义表的存储结构	153

7.3.3	取头、取尾操作的实现	157
7.3.4	插入、删除操作的实现	157
7.4	广义表的递归算法	158
7.4.1	广义表的相等比较	158
7.4.2	广义表的成员判别	159
7.4.3	求广义表的深度	160
7.4.4	广义表递归算法设计举例	161
7.5	广义表应用举例	164
7.5.1	广义表演示程序	164
7.5.2	LISP 表达式求值	166
实习题 7		168
第 8 章	树与二叉树	169
8.1	树的相关概念及抽象数据类型	169
8.1.1	树的定义	169
8.1.2	树的逻辑表示	170
8.1.3	基本术语	171
8.1.4	树抽象数据类型描述	172
8.2	二叉树	173
8.2.1	二叉树的定义及抽象数据类型	173
8.2.2	二叉树的基本性质	174
8.2.3	二叉树的存储结构	176
8.2.4	二叉树类的定义	178
8.2.5	二叉树类的实现	179
8.2.6	二叉树的遍历	184
8.2.7	二叉树算法设计举例	187
8.3	排序二叉树	189
8.3.1	排序二叉树的定义	189
8.3.2	排序二叉树类的定义	189
8.3.3	排序二叉树类的实现	190
8.4	树与森林	191
8.4.1	树的存储结构	191
8.4.2	森林与二叉树的转换	193
8.4.3	树的遍历	194
8.5	哈夫曼树	194
8.5.1	哈夫曼树的定义	194
8.5.2	哈夫曼树的构造	195
8.5.3	哈夫曼编码	196
8.6	树的应用举例	198

8.6.1 哈夫曼编码生成程序	198
8.6.2 二叉树遍历演示程序	201
实习题 8	205
第 9 章 图	206
9.1 图的相关概念及抽象数据类型	206
9.1.1 图的定义	206
9.1.2 基本术语	208
9.1.3 图抽象数据类型描述	210
9.2 图的存储方式	210
9.2.1 邻接矩阵	210
9.2.2 邻接链表	212
9.2.3 邻接多重表	214
9.3 图的遍历	215
9.3.1 邻接链表图类	215
9.3.2 深度优先搜索遍历	217
9.3.3 广度优先搜索遍历	219
9.3.4 算法设计举例	221
9.4 图的应用	222
9.4.1 拓扑排序	222
9.4.2 最短路径	227
9.5 图的应用程序设计举例	229
9.5.1 图的遍历演示程序	229
9.5.2 最短路径应用程序	233
实习题 9	235
第 10 章 查找	236
10.1 查找的相关概念	236
10.2 静态查找表	237
10.2.1 顺序表的查找	237
10.2.2 有序表的查找	240
10.2.3 静态树表的查找	243
10.2.4 索引顺序表的查找	246
10.3 动态查找表	247
10.3.1 排序二叉树的查找	247
10.3.2 B-树与 B+树	252
10.4 哈希表	257
10.4.1 哈希表的概念	257
10.4.2 常用哈希函数	259

10.4.3	冲突的处理方法	261
10.4.4	哈希表的查找	263
10.5	查找应用程序举例	264
10.5.1	排序二叉树演示程序	264
10.5.2	图书信息查询程序	265
实习题 10		269
第 11 章	排序	270
11.1	排序的相关概念	270
11.2	几种简单的排序算法	272
11.2.1	直接插入排序	272
11.2.2	冒泡排序	274
11.2.3	直接选择排序	276
11.3	几种快速的排序方法	279
11.3.1	快速排序	279
11.3.2	树形选择排序	282
11.3.3	堆排序	283
11.3.4	归并排序	288
11.4	基数排序	290
11.5	排序应用程序举例——排序算法演示程序	293
实习题 11		297
第 12 章	外部排序	298
12.1	外部排序概述	298
12.2	多路归并排序	299
12.2.1	多路归并与败者树	299
12.2.2	败者树相关的数据结构	300
12.2.3	调整算法	301
12.2.4	初建树算法	302
12.2.5	k 路归并算法	303
12.3	置换选择排序	305
附录 A	C++ 语言概要	308
附录 B	C++ Builder 开发环境及操作步骤	313
附录 C	部分实习题参考答案	316
参考文献		323

课程概论

当今人类社会已进入了一个以信息化为标志的飞速发展时代。数据是信息的载体,随着信息化社会的发展,由计算机进行处理的数据的数量随之增大,数据类型随之增多,数据结构随之复杂化。由于数据的组织方式直接关系到程序结构的优劣及程序处理的效率,这就给程序设计带来了一些新的问题。为了编出一个结构好、效率高的处理程序就必须分析待处理对象的特性以及各处理对象之间存在的关系。这就是“数据结构”这门学科形成和发展的背景。

1.1 课程的初步认识

在计算机的使用初期,它的主要应用领域是科学计算。使用计算机来解决一个具体问题时,一般需要经过下列几个步骤:首先要从该具体问题抽象出一个适当的数学模型,然后设计或选择一个解此数学模型的算法,最后编出程序进行测试、调试,直至得到最终的解答。例如求解梁架结构中应力的数学模型为线性方程组,可以使用迭代算法来求解线性方程组。

然而,随着计算机应用领域的不断扩大,出现更多的具体问题无法用数值及数学方程来描述。这是一类非数值计算问题,下面所列举的就是属于这一类的具体问题。

【例 1.1】 人事信息检索问题。当我们要查找某公司员工的信息时,一般是给出该员工的编号或姓名,通过信息目录卡片和信息卡片来查得该员工的有关信息。但也有可能要查找某一类别的员工信息,例如,我们要查找该公司的员工中具有“高级程序员”技术职称的人员信息,或者是属于某一行政分组的人员信息等。若利用计算机来实现人事信息检索,则计算机所处理的对象便是这些信息目录卡片及员工信息卡片中的信息。为此,在计算机中必须建立和存储与此相关的三张表,一张是按员工编号排列的员工信息表,其余两张分别是按技术职称与按行政分组顺序排列的索引表。员工信息表中存放编号、姓名、职称、职务及爱好等信息,在职称索引表中存放职称与员工编号的对应信息,在组别索引表中存放行政分组与员工编号的对应信息,如图 1.1 所示。

系统分析员	1
高级程序员	2,5,6
程序员	3,4,7,8,9,10

(a) 职称索引表

第一组	5,2,3,4
第二组	6,7,8,9,10

(b) 组别索引表

图 1.1 人事信息检索系统中的数据结构