

程序员成长课堂

数据结构 标准教程

胡超 闫玉宝 等编著



13.5小时多媒体语音教学视频

- ◎ 结合数据结构教学大纲，既重视理论分析，又重视实践应用
- ◎ 揣摩读者的学习难点，以通俗易懂的方式讲解每一个知识点
- ◎ 结合丰富的实例，并提供了大量的代码注释，很容易理解
- ◎ 提供大量的练习题，帮助读者巩固和提高所学的知识



化学工业出版社

呈序员成长课堂

数据结构

标准教程

胡超 闫玉宝 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了各种常用的数据结构以及它们在计算机中的存储表示,讨论了基于这些数据结构的基本操作和实际的执行算法,并阐述了各种常用数据结构内涵的逻辑关系。全书共 11 章,具体为数据结构概述、线性表的顺序存储、线性表的链式存储、栈和队列、串、数组和广义表、二叉树、树、图、排序和查找。书中既体现了抽象数据类型的观点,又对每个算法的具体实现给出了完整的 C 语言源代码描述。本书以算法设计实例的教学方式来组织内容,其重点明确、结构合理,具有一定的理论性和较强的实用性。

本书适用于高等院校计算机专业及相关专业学生或具有一定编程基础的程序设计人员,也可供从事计算机工程与应用的广大读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

数据结构标准教程 / 胡超, 闫玉宝等编著. —北京: 化学工业出版社, 2011. 1

(程序员成长课堂)

ISBN 978-7-122-09499-5

ISBN 978-7-89472-341-3 (光盘)

I. 数… II. ①胡… ②闫… III. 数据结构-教材
IV. TP311.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 179571 号

责任编辑: 陈 静

装帧设计: 蓝色印象

责任校对: 王素芹

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京彩桥印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 23 字数 543 千字 2011 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 45.00 元 (含 1CD-ROM)

版权所有 违者必究

国内各大中专院校的计算机程序设计课程开设得已经非常普遍,所以学习计算机程序设计的人员数量非常庞大。传统的计算机程序设计图书因为比较注重理论,体系严谨,所以深受一些大学本科以上级别院校的欢迎。而很多高职、中职或者专科院校的计算机程序设计教育却有其自身的特点,对程序设计理论要求低,但对学生的实际动手能力要求高,而且学习的课时相对少一些。所以很多学生在课堂时间学到的知识还不能满足要求,往往需要自学,以弥补课堂内容的不足。这就要求有这样的图书——既能满足一般的课堂教学,还能满足学生课后拓展学习。

基于这样的一个市场特点,我们出版了“程序员成长课堂”系列图书。该系列图书选择了当前计算机程序设计教学中最普遍的一些方向,可以满足大多数学校的教学需求。另外,这套图书从内容上特别注意了老师课堂讲解和学生课后自学的有效结合,而且内容上强调实用性,让读者学完本书后可以开发出简单的应用。

丛书特色

1. 注重基础知识的讲解

本丛书的每一本书都非常注重基本概念的讲解和基本语法的讲解,以便于打好基础,透彻理解程序设计的基本理念,为后续学习做好准备。

2. 重点突出, 有的放矢

限于篇幅,不可能在一本书中对一门编程语言的所有语法都进行系统的讲解。所以本丛书中的每本书针对这个特点,讲解时都选择读者学习过程中最必要和最需要的概念和语法讲解,让读者学有所用,有的放矢。

3. 示例丰富, 实用性强

书中列举大量示例,最后提供综合实例,每章后都提供习题,非常实用,读者可以通过这些例子很快掌握所学内容,学习效果好。

4. 给出了关键代码, 并对代码进行了丰富的注释

书中对所有示例都给出了关键代码,而且对这些代码都进行了必要的讲解和丰富的注释,读者阅读起来很容易理解。

5. 提供配套的多媒体语音教学视频和源代码, 方便读者课后自学

丛书的每本书都配备了多媒体语音教学视频,以方便读者在课后进一步学习,另外也提供了书中所涉及的源代码,以方便读者使用。

6. 提供完善的售后服务

本丛书提供技术论坛(<http://www.rzchina.net>)和QQ群(QQ群号:21948169)答疑,读者可以在上面提问和交流。

丛书书目

《Java 标准教程》

《C 语言标准教程》

《C++标准教程》

《C#标准教程》

《ASP.NET 标准教程》

《PHP 标准教程》

《SQL Server 标准教程》

《Excel VBA 标准教程》

《数据结构标准教程》

《Access 2010 标准教程》

读者对象

- 没有编程基础的入门人员
- 大中专院校或电脑培训学校的学生
- 各类程序设计爱好者
- 需要迅速掌握一门编程语言的人员

使用建议

由于本丛书中的每本书编写时都遵循了课堂教学和课后拓展学习相结合的理念,所以建议老师对于没有完全讲解的内容做一些必要的引导,让学生自己完成。另外,书中设置的练习题是对书中内容的有效回顾和提高,便于读者巩固所学知识,建议读者在课后要很好地完成。

对于自学人员,建议从前至后地阅读,然后再结合多媒体教学视频学习。每章后面的习题也需要很好地完成。

丛书编委会

作为信息科学领域内程序设计的一门重要理论技术基础,数据结构不仅仅是计算机学科的核心课程,而且它已渗透到信息管理与信息系统、电子商务等与计算机相关的各学科领域。数据结构旨在使读者学会分析研究数据对象的特性,学会数据的组织方法,以便选择合适的数据逻辑结构和存储结构,以及相应的操作,进而把现实世界中的问题转化为计算机内部的表示和处理。数据结构内容抽象,知识丰富,隐藏在各章节内容中的方法和技术比较多。编者长期从事数据结构课程的教学,对该课程的教学特点和知识难点有比较深切的体会,通过引入算法设计实训,在深入阐述数据结构的原理和方法的基础上,又特别注重其实践性与实用性。

本书特点

本书依据数据结构课程教学大纲要求,同时又不同于具体的教科书,既重视实践应用,又重视理论分析,本书的主要特点如下。

(1) 讲解通俗,易于理解

使用通俗易懂的语言去分析每一个知识点。尽量揣摩读者在哪些知识点的理解掌握上有困难,然后以明确而又通俗的语言去阐述。读者在阅读的过程中看到的讲解,可能正是自己对某个概念不是太理解的所在。相信读者在学习过程中会有一个很好的体验。

(2) 示例翔实,便于自学

在讲述完一个关键的知识点后,会在这个知识点的后面精心布置一个具有代表性的示例。读者通过思考并完成这个示例,既可以对该知识点有深刻的理解,又可以通过改造这个示例去掌握数据结构算法在具体实例中的应用。为了便于读者阅读程序代码,书中的代码几乎都有注释,力求让读者快速理解代码含义。

(3) 边学边练,收效显著

为了提高学生分析问题、解决问题的能力,本书对项目的设计思路清晰流畅,值得参考。本书每章都把本章重要的知识点,以练习题的形式附在该章的结尾处。读者可以在理解这些知识点之后,通过习题和编写程序去深入掌握并灵活运用知识点。

(4) 附有光盘,方便学习

本书把每章例子的源文件,按章节添加到本书附带的光盘中。在学习的过程中读者可以通过模仿并修改光盘中的代码,去快速有效地掌握各章介绍的算法。所有示例项目的源程序代码都在 Turbo C 和 Visual C++ 6.0 环境下运行通过。

本书内容

第 1 章为数据结构概述;第 2~6 章分别介绍了线性表、栈、队列、串、数组和广义表等几种基本的数据结构,它们都属于线性结构;第 7~9 章分别介绍了二叉树、树和图等非线性

结构；第 10 章和第 11 章分别介绍了排序和查找，它们都是数据运算、处理时需要广泛使用的技术。

本书读者

本书主要面向以下几类人员。

- 计算机专业自学读者。
- 编程爱好者。
- 大中专院校学生。
- 培训机构学员。
- 程序设计人员。

本书编者

本书主要由胡超、闫玉宝编写，其他参与编写、资料整理、程序开发工作的人员还有张莹、洪小洋、胡刚、闫红振、刘成、马臣云、潘娜、阮履学、陶则熙、王大强、王磊、徐琦、许少峰、颜盟盟、杨娟、杨瑞萍、于海波、俞菲、曾苗苗、赵莹、朱存等。

信息反馈

本书在教学研究之余勉力写成，由于时间仓促，水平有限，书中难免有疏漏之处，欢迎广大读者提出宝贵的意见，请发邮件到 hckobe@163.com，我们非常感谢您的反馈信息。

编 者

2010 年 8 月

第 1 章 数据结构概述.....	1
1.1 数据结构.....	1
1.1.1 基本概念.....	1
1.1.2 数据结构的概念.....	2
1.1.3 数据结构的逻辑结构和物理结构.....	3
1.1.4 数据的逻辑结构.....	4
1.1.5 数据的操作.....	5
1.1.6 数据结构讨论的内容及作用.....	7
1.2 算法.....	8
1.2.1 算法的概念.....	8
1.2.2 算法的描述.....	9
1.2.3 算法设计的目标.....	10
1.2.4 算法效率分析.....	10
1.2.5 算法存储空间分析.....	12
1.2.6 算法设计的基本方法.....	12
1.3 数据结构、算法和程序.....	14
1.3.1 数据结构与算法.....	14
1.3.2 数据结构与算法的关系.....	15
1.4 算法效率的典型例题.....	16
1.5 本章小结.....	19
1.6 习题.....	19
第 2 章 线性表的顺序存储.....	21
2.1 线性表的逻辑结构.....	21
2.1.1 线性表的定义.....	21
2.1.2 线性表的数学定义和逻辑图.....	22
2.1.3 线性表的基本操作.....	22
2.2 线性表的顺序存储结构.....	23
2.2.1 顺序表定义.....	23
2.2.2 顺序存储结构类型.....	24
2.2.3 顺序表的基本运算.....	25
2.3 顺序表的建立.....	27

2.4	顺序表的查找	27
2.4.1	按位置查找元素	28
2.4.2	按值查找元素	28
2.4.3	顺序表的查找操作的效率分析	30
2.5	顺序表的插入与删除	30
2.5.1	在顺序表的第 i 个位置插入一个元素	30
2.5.2	删除顺序表的第 i 个位置元素	31
2.5.3	顺序表的插入与删除操作的效率分析	32
2.6	顺序表的典型例题	33
2.7	算法设计实训	36
2.7.1	学生成绩管理需求分析	36
2.7.2	学生成绩管理数据结构	36
2.7.3	学生成绩管理的实现	37
2.8	本章小结	38
2.9	习题	39
第3章	线性表的链式存储	41
3.1	线性表的链式存储结构	41
3.1.1	单链表	41
3.1.2	循环链表	43
3.1.3	双向链表	43
3.1.4	静态链表	44
3.2	单链表创建算法的实现	45
3.2.1	头插法单链表的创建实现	45
3.2.2	尾插法单链表的创建实现	47
3.3	单链表运算的实现	49
3.3.1	单链表辅助运算的实现	49
3.3.2	单链表求表长的实现	50
3.3.3	单链表插入操作的实现	51
3.3.4	单链表删除操作的实现	53
3.3.4	单链表查找操作的实现	54
3.4	双向链表基本运算的实现	55
3.4.1	双向链表插入操作的实现	55
3.4.2	双向链表删除操作的实现	57
3.5	顺序表与链表的比较	58
3.6	链表的典型例题	59

3.7 算法设计实训	67
3.7.1 需求分析	67
3.7.2 约瑟夫问题的数据结构	68
3.7.3 约瑟夫问题的算法实现	68
3.8 本章小结	70
3.9 习题	70
第4章 栈和队列	73
4.1 栈	73
4.1.1 栈的定义与基本运算	73
4.1.2 栈的顺序存储	74
4.1.3 栈的链式存储	77
4.2 队列	79
4.2.1 队列的定义与基本运算	80
4.2.2 非循环队列的顺序存储	80
4.2.3 循环队列的顺序存储	83
4.2.4 队列的链式存储	85
4.3 栈和队列的典型例题	88
4.4 算法设计举例	91
4.4.1 括号匹配问题	91
4.4.2 表达式求值问题	92
4.4.3 迷宫问题	95
4.4.4 农夫过河问题	98
4.5 本章小结	100
4.6 习题	100
第5章 串	103
5.1 串的定义、表示和实现	103
5.1.1 串的基本概念	103
5.1.2 串的基本操作	104
5.2 串的顺序存储结构	107
5.2.1 串的初始化	107
5.2.2 求串的长度	108
5.2.3 串的赋值	108
5.2.4 串的复制	109
5.2.5 串的连接	110
5.2.6 求串的子串	110

5.2.7	串的比较	111
5.2.8	求子串在主串中的位置	112
5.2.9	串的插入	113
5.2.10	串的删除	115
5.2.11	串的替换	115
5.3	串的堆存储结构	117
5.3.1	串的初始化	117
5.3.2	串的赋值	117
5.3.3	串的复制	118
5.3.4	串的连接	119
5.3.5	串的比较	119
5.3.6	取子串	120
5.3.7	求子串在主串中的位置	120
5.3.8	串的插入	121
5.3.9	串的删除	121
5.3.10	串的替换	122
5.4	串的链式存储结构	122
5.4.1	串的初始化	123
5.4.2	串的赋值	123
5.4.3	串的连接	124
5.4.4	串的输出	125
5.4.5	串的比较	125
5.4.6	求字符串的长度	126
5.4.7	取子串	126
5.4.8	求子串在主串中的位置	127
5.4.9	串的插入	128
5.4.10	串的删除	128
5.5	串的模式匹配	129
5.5.1	简单的模式匹配算法	130
5.5.2	KMP 字符串模式匹配算法	132
5.6	串的典型例题	135
5.7	算法设计举例——行编辑程序	137
5.8	本章小结	143
5.9	习题	144
第 6 章	数组和广义表	145
6.1	数组	145

6.1.1	数组的定义	145
6.1.2	数组的顺序存储结构	146
6.1.3	结构体描述	148
6.1.4	数组的初始化	148
6.1.5	数组中数据的存储	149
6.1.6	数组中数据的读取	149
6.1.7	数组中数据的修改	149
6.1.8	用堆存储方式存储数组	150
6.2	特殊矩阵的压缩存储	151
6.2.1	对称矩阵	151
6.2.2	对称矩阵的基本操作	153
6.3	三角矩阵	155
6.3.1	三角矩阵相关概念	155
6.3.2	三角矩阵存储操作	157
6.3.3	三角矩阵转置操作	158
6.3.4	三角矩阵输出操作	159
6.4	对角矩阵	160
6.4.1	按对角线存储	161
6.4.2	按行存储	162
6.4.3	对角矩阵操作实现	164
6.5	稀疏矩阵压缩存储	165
6.5.1	稀疏矩阵定义	165
6.5.2	三元组表存储方法	166
6.5.3	十字链表存储方法	169
6.6	广义表	170
6.6.1	广义表的概念和基本操作	170
6.6.2	广义表的存储结构	171
6.6.3	广义表的基本操作实现	174
6.7	本章小结	176
6.8	习题	176
第7章	二叉树	179
7.1	二叉树的定义、性质和操作	179
7.1.1	二叉树的定义	179
7.1.2	二叉树的5种基本形态	180
7.1.3	二叉树的两种特殊形态	180

7.1.4 二叉树的几个特性	181
7.1.5 二叉树的基本操作	182
7.2 二叉树的存储	182
7.2.1 二叉树的顺序存储结构	182
7.2.2 二叉链表存储结构	183
7.2.3 三叉链表存储结构	184
7.2.4 双亲链表存储结构	185
7.2.5 二叉树基本操作的链式实现	186
7.3 二叉树的遍历	188
7.3.1 二叉树遍历的方法和结构	188
7.3.2 二叉链存储结构下二叉树遍历算法的实现	189
7.3.3 非递归的二叉树遍历算法	191
7.3.4 二叉树遍历的应用	194
7.4 线索二叉树	197
7.4.1 线索二叉树的定义	197
7.4.2 线索二叉树的结构	198
7.4.3 线索二叉树的操作	199
7.5 算法设计举例	202
7.5.1 问题描述	203
7.5.2 算法设计	203
7.5.3 算法实现	203
7.6 本章小结	205
7.7 习题	206
第8章 树	211
8.1 树的定义与术语	211
8.2 树的存储结构	212
8.2.1 双亲表示法	212
8.2.2 孩子表示法	213
8.2.3 孩子兄弟表示法	214
8.3 树、森林与二叉树的转换	216
8.3.1 树与二叉树的相互转换	216
8.3.2 森林与二叉树的相互转换	217
8.3.3 树、森林的遍历	218
8.4 哈夫曼树及其应用	219
8.4.1 哈夫曼树的定义	219

8.4.2 哈夫曼树的定义	220
8.4.3 最优前缀编码	221
8.4.4 哈夫曼编码算法的实现	223
8.5 树的典型例题	224
8.6 算法设计举例	227
8.6.1 哈夫曼编码、译码	227
8.6.2 完全二叉树的判断	229
8.7 本章小结	230
8.8 习题	230
第9章 图	233
9.1 图的定义和术语	233
9.1.1 无向图和有向图	234
9.1.2 子图	234
9.1.3 顶点的度	235
9.1.4 无向网和有向网	235
9.1.5 连通	236
9.1.6 图的基本操作	237
9.2 图的存储结构	237
9.2.1 邻接矩阵	238
9.2.2 邻接表	240
9.3 图的遍历	242
9.3.1 深度优先遍历	242
9.3.2 广度优先遍历	244
9.4 最小生成树	245
9.4.1 最小生成树的基本概念	246
9.4.2 普里姆算法	246
9.4.3 克鲁斯卡尔算法	249
9.5 最短路径	249
9.5.1 求某一顶点到其余各顶点的最短路径	250
9.5.2 求任意一对顶点之间的最短路径	252
9.6 关键路径	254
9.6.1 AOV 网与拓扑排序	254
9.6.2 AOE 网与关键路径	258
9.7 图的典型例题	263
9.8 算法设计举例	268
9.8.1 图的遍历	268

9.8.2 最小生成树	270
9.9 本章小结	271
9.10 习题	272
第 10 章 排序	277
10.1 基本概念	277
10.2 简单排序方法	278
10.2.1 插入排序——直接插入排序	278
10.2.2 折半插入排序	280
10.2.3 表插入排序	281
10.2.4 冒泡排序	283
10.2.5 选择排序	284
10.3 希尔排序	287
10.4 快速排序	288
10.5 堆排序	291
10.6 二路归并排序	293
10.7 基数排序	295
10.7.1 多关键码排序	296
10.7.2 链式基数排序	296
10.8 排序的典型例题	299
10.9 算法设计举例	302
10.9.1 简单插入排序	302
10.9.2 快速排序	303
10.10 本章小结	304
10.11 习题	304
第 11 章 查找	309
11.1 查找表	309
11.2 静态查找表	309
11.2.1 顺序查找	310
11.2.2 有序表的折半查找	311
11.2.3 分块查找	313
11.3 动态查找表——二叉排序树	314
11.3.1 二叉排序树查找过程	315
11.3.2 二叉排序树插入操作	315
11.3.3 二叉排序树删除操作	317
11.3.4 二叉排序树的查找分析	319

11.4	动态查找表——平衡二叉树	319
11.4.1	左单旋转	320
11.4.2	右单旋转	321
11.4.3	先左后右双向旋转	321
11.4.4	先右后左双向旋转	322
11.5	动态查找表——B-树和 B+树	326
11.5.1	B-树的定义	326
11.5.2	B-树的查找	326
11.5.3	B-树上插入结点	328
11.5.4	B-树上删除结点	330
11.5.5	B+树	330
11.6	哈希表	331
11.6.1	哈希表与哈希方法	331
11.6.2	常用的哈希函数	332
11.6.3	处理冲突的方法	334
11.6.4	哈希表的查找分析	336
11.7	查找的典型例题	337
11.8	算法设计举例	338
11.8.1	构造二叉排序树	339
11.8.2	设计哈希表	342
11.9	本章小结	347
11.10	习题	347

第 1 章 数据结构概述

早在上世纪 60 年代，人类就提出了数字社会的梦想。实际上，现实世界中的任何事物都可以实现数字化，它们在计算机中的表现均为数据。这些数据来源于现实，表征着具体的意义，而且在计算机中有着统一的表示方法。研究数据在计算机中的表示方法、存储方法以及在其上的操作，就构成了数据结构的主要内容。计算机科学各个领域都要用到各种数据结构。操作系统中用队列、存储管理表及目录树等；数据库系统运用线性表、索引树等进行数据管理；而在人工智能领域涉及各种不同的数据结构，如广义表、集合、搜索树及有向图等。本章主要介绍数据结构和算法的基本概念及相关内容。

1.1 数据结构

计算机科学是一门研究数据表示和数据处理的科学。在利用计算机进行数据处理时，实际需要处理的数据元素一般有很多。要提高数据处理效率，节省存储空间，如何组织数据就成了关键问题。而数据结构用来反映一个数据的内部构成，即数据由哪些成分构成，以什么方式和结构构成。为了更好地回答这个问题，下面先对一些基本概念和术语进行介绍，然后给出数据结构的具体定义。

1.1.1 基本概念

在系统地学习数据结构知识之前，先来了解一些基本概念和术语。

1. 数据

数据(Data)是外部世界信息的载体。它能够被计算机识别、存储和加工处理，是计算机程序加工的原料。计算机程序处理各种各样的数据，可以是数值数据，如整数、实数或复数，主要用于工程计算、科学计算和商务处理等；也可以是非数值数据，如字符、文字、图形、图像、声音等。

2. 数据元素和数据项

数据元素(Data Element)是数据的基本单位，在计算机程序中通常被作为一个整体进行考虑和处理。数据元素有时也被称为元素、结点、顶点、记录等。

一个数据元素可由若干个数据项(Data Item)组成。数据项是不可分割的、含有独立意义的最小数据单位。数据项有时也称为字段(Field)或域(Domain)。例如，在数据库信息处理系统中，数据表中的一条记录就是一个数据元素。这条记录中的学生学号、姓名、性别、籍