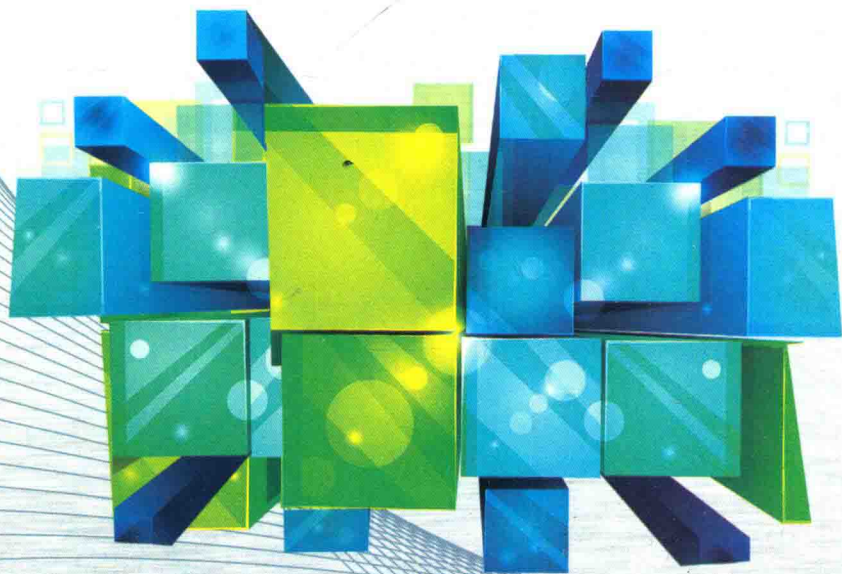




高等学校电子信息类“十三五”规划教材
CDIO工程教育计算机专业实战系列教材

数据结构与算法实战

主 编 李莉丽
副主编 黄 敏



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



高等学校电子信息类“十三五”规划教材

CDIO 工程教育计算机专业实战系列教材

数据结构与算法实战

主 编 李莉丽
副主编 黄 敏
参 编 徐 虹 卿 静
余贞侠 叶 斌



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书共三篇,按数据结构与算法的初级、中级、高级三个层次编排,其中:初级(即上篇)部分是C语言程序设计基本知识要点提炼;中级(即中篇)部分描述的是简单数据结构,如线性表、栈、队列;高级(即下篇)部分描述的是复杂数据结构,如二叉树、图。每一部分又各包括基础与实战两部分,其中基础是基本内容的提炼讲解,包括数据结构的逻辑特性、顺序与链式存储方式和基本操作算法,并给出对应的用C语言实现的参考代码,实战则是对此结构的具体应用,以题目描述和具体要求的方式给出。

本书从基础编程语言开始介绍,过渡到让读者从数据结构角度设计算法,以逐渐掌握解决编程问题的合理方法与思路,并进一步与具体应用相结合达到实战训练的目的。各篇基础部分用浅显易懂的语言描述数据结构基础知识,并在基本操作的实现上提供了大量源代码;各篇实战部分则与应用相结合给出了启发式的题目及要求。按本书各题目进行训练,可以帮助读者有效地理解数据结构课程的内涵,并进一步提高工程实践能力。

本书可作为普通高等院校计算机类专业C语言程序设计、数据结构等课程的实践训练教材,特别是可以作为清华大学出版社严蔚敏版《数据结构》(C语言版)的辅助实验教材与学习指导书。

图书在版编目(CIP)数据

数据结构与算法实战/李莉丽主编. — 西安:西安电子科技大学出版社,2018.2

ISBN 978-7-5606-4837-8

I. ① 数… II. ① 李… III. ① 数据结构 ② 算法分析 IV. ① TP311.12 ② TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 015559 号

策 划 李惠萍

责任编辑 雷鸿俊

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)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2018年2月第1版 2018年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 12

字 数 277千字

印 数 1~3000册

定 价 28.00元

ISBN 978-7-5606-4837-8 / TP

XDUP 5139001-1

如有印装问题可调换

中国电子教育学会高教分会推荐

高等学校电子信息类“十三五”规划教材

CDIO 工程教育计算机专业实战系列教材

编审专家委员会名单

主 任 何 嘉

副 主 任 魏 维

编审人员（排名不分先后）

方 睿 吴 锡 王铁军 邹茂扬

李莉丽 廖德钦 鄢田云 黄 敏

杨 昊 陈海宁 张 欢 徐 虹

李 庆 余贞侠 叶 斌 卿 静

文 武

前 言

数据结构是计算机及相关专业的核心必修课程，也是计算机类专业考研的必考课程。许多学校指定清华大学出版社严蔚敏版的《数据结构》(C 语言版)为课程教材，考研大纲及考试内容均以此书为准。该书内容编排合理，讲述清楚，算法简练，确实是一本经典的数据结构教材。但在教学实践过程中笔者发现学生使用这本教材时存在诸多问题，例如：伪代码不能直接运行而需做改动，初学者由于不知道如何做而放弃学习；一些算法直接给出了结果而并没有描述为何如此做的原因，导致读者理解困难；一些算法没有给出具体的存储结构描述，因此学习起来比较困难；等等。

针对上述问题，编者在多年教学过程中尝试了多种手段加以解决，取得了较好的效果。本书内容是编者从算法实战的角度结合对数据结构教学的思考，将相关教学经验及手段进行整理归纳而成的，希望能让更多受困于此的读者受益。本书由三部分(三篇)组成，内容涵盖 C 语言、简单数据结构与复杂数据结构的基础与实战。书中基础知识讲解通俗易懂，并提供大量源代码供参考(源代码可通过扫封面或扉页上的二维码获取，也可登录西安电子科技大学出版社网站下载)；实践训练部分题目层次丰富。在阅读本书之前，要求读者具有最基本的 C 语言编程基础和数据结构基础知识。

本书具有如下特点：

- 实战教学：本书在介绍基础知识的同时给出了部分源代码作参考，并提供了丰富的实战案例，方便读者在“做”中学习掌握。
- 通俗易懂：本书在编写过程中，结合教学过程中学生经常遇到的问题，用通俗的语言讲解数据结构的相关知识，适合各层次学生和专业人士选用。
- 循序渐进：本书从三个方面由浅入深地介绍数据结构编程，读者既可以从第 1 章开始阅读，也可根据实际情况从不同篇章入手开始阅读。本书还可以作为学习数据结构的参考书进行查阅。

本书由李莉丽、黄敏、徐虹、卿静、余贞侠和叶斌编写，其中：李莉丽

负责编写第 4、5 章，并负责全书的组织和统稿；黄敏负责编写第 1、2 章，并负责全书的审稿工作；徐虹和卿静负责编写第 6 章；余贞侠和叶斌负责编写第 3 章。特别感谢西安电子科技大学出版社李惠萍和雷鸿俊编辑对本书编写所提出的宝贵意见，从而使得本书得以改进和完善。

按照编写目标，编者进行了许多思考和努力，但由于编者水平有限，书中可能仍存在疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正，以便不断改进。

作者联系邮箱 lilili_cd@cuit.edu.cn。

编 者

2017 年 11 月

目 录

导读	1
一、学生在学习数据结构课程中表现出的普遍问题	1
二、本书的适用对象与使用方式	3
三、本书的具体内容编排	4
四、关于本书需特别关注的几个要点	4

上篇 数据结构与算法初级基础与实战

第 1 章 C 语言的简单程序设计	8
1.1 三大程序结构	8
1.1.1 顺序结构程序设计	8
1.1.2 选择结构程序设计	10
1.1.3 循环结构程序设计	11
1.2 数组的使用	14
1.2.1 一维数组程序设计	14
1.2.2 二维数组程序设计	15
1.2.3 字符数组程序设计	17
第 2 章 C 语言的复杂程序设计	20
2.1 函数的使用	20
2.1.1 普通函数的使用	21
2.1.2 数组名做参数	22
2.1.3 函数的递归调用	25
2.2 指针的使用	26
2.2.1 指针的基本使用	26
2.2.2 指针的复杂使用	31
2.3 结构体程序设计	35
2.3.1 结构体数组	35
2.3.2 链表	38
2.4 文件使用	43

第3章 C语言程序设计的应用	46
3.1 C语言程序设计的简单应用	46
3.1.1 求两个集合的合并运算	46
3.1.2 求两个有序表的合并	51
3.1.3 总结	52
3.2 C语言程序设计基本知识的综合应用	52
3.2.1 实现管理系统	52
3.2.2 实现游戏	55
3.2.3 其它	56
3.3 C语言程序设计知识拓展的综合应用	57
3.3.1 实现管理系统	57
3.3.2 实现游戏	59
3.3.3 其它	60

中篇 数据结构与算法中级基础与实战

第4章 数据结构课程概述及简单的数据结构	62
4.1 数据结构课程总结	62
4.1.1 数据结构课程综述	62
4.1.2 数据结构基本知识难点讲解	64
4.2 线性表	67
4.2.1 线性表的逻辑结构	67
4.2.2 线性表的常见操作	68
4.2.3 线性表的顺序存储及基本操作	69
4.2.4 线性表的链式存储及基本操作	77
4.2.5 线性表的两个简单应用	85
4.3 栈	90
4.3.1 栈的定义	90
4.3.2 栈的常见操作	90
4.3.3 栈的顺序存储及基本操作	91
4.3.4 栈的链式存储及基本操作	95
4.3.5 栈的简单应用	97
4.4 队列	100
4.4.1 队列的逻辑结构	100
4.4.2 队列的常见操作	100
4.4.3 队列的顺序存储及基本操作	101

4.4.4	队列的链式存储及基本操作	106
4.4.5	队列的简单应用	110
4.5	简单数据结构的应用	110
4.5.1	线性表的简单应用	110
4.5.2	栈的简单应用	111
4.5.3	队列的简单应用	111

下篇 数据结构与算法高级基础与实战

第 5 章	复杂数据结构的存储及基本操作	114
5.1	树及二叉树	114
5.1.1	二叉树的定义	114
5.1.2	二叉树的常见操作	114
5.1.3	二叉树的顺序存储及常见操作	116
5.1.4	二叉树的链式存储及基本操作	125
5.1.5	二叉树的简单应用	133
5.2	图	134
5.2.1	图的定义	134
5.2.2	图的常见操作	134
5.2.3	图的顺序存储及基本操作	135
5.2.4	图的链式存储及基本操作	145
5.2.5	图的简单应用	155
第 6 章	数据结构的高级应用	156
6.1	线性表的高级应用	156
6.1.1	排序方法的实现与比较	156
6.1.2	静态查找法的实现与比较	156
6.1.3	哈希函数构造及处理冲突的方法	157
6.2	栈的高级应用	158
6.2.1	迷宫找路的实现	158
6.2.2	简易备忘录的实现	158
6.2.3	计算器的实现	159
6.3	二叉树的高级应用	159
6.3.1	二叉树的构造及遍历算法的实现	159
6.3.2	线索二叉树的构造及遍历算法的实现	159
6.3.3	哈夫曼编码、解码算法的实现	160

6.3.4	树的遍历与计数算法的实现.....	160
6.3.5	二叉排序树动态查找算法的实现.....	161
6.3.6	二叉平衡树动态查找算法的实现.....	161
6.3.7	B+ 树动态查找算法的实现.....	162
6.3.8	B- 树动态查找算法的实现.....	162
6.3.9	键树动态查找算法的实现.....	163
6.4	图的高级应用	163
6.4.1	图的连通性判断	163
6.4.2	用普理姆算法求最小生成树.....	164
6.4.3	用克鲁斯卡尔算法求最小生成树.....	164
6.4.4	拓扑排序	165
6.4.5	求关键路径	165
6.4.6	求最短路径	166
附录	真题训练	167
参考文献		182

导 读

数据结构课程是计算机及相关专业的一门核心必修课，也是计算机类专业考研的必考课程。许多学校指定清华大学出版社严蔚敏版的《数据结构》(C 语言版)为课程教材，课程考研大纲及考试内容均以该书为准。此书内容编排合理，讲述清楚，算法简练，确实是一本经典的数据结构教材。但在教学过程中笔者发现学生使用这本教材时存在诸多问题，针对这些问题编者在教学过程中提出并采用多种手段加以解决，取得了较好的效果。本书内容是编者从算法实战的角度结合对数据结构多年教学的思考，将相关教学经验及手段进行整理归纳而成的，希望能让更多受困于此的读者受益。

本书可配套严蔚敏版《数据结构》(C 语言版)使用：对于严老师书中的思想及例子不甚理解时，可参考本书；对于严老师书中的伪码不知道如何修改才能调试成功时，也可以参考本书。此外，本书针对每种数据结构由浅到深、解决的问题从简单到复杂，依次给出了相关实际问题及解决方法，读者可针对性地选择完成，以达到实战锻炼的目的。

下面从学生在学习数据结构课程中表现出的普遍问题、本书的适用对象与使用方法及本书的内容编排方式三个方面总体介绍本书。

一、学生在学习数据结构课程中表现出的普遍问题

1. 学生对数据结构与计算机语言课程间的关系没有搞清楚

数据结构课程一般安排在一门计算机语言课程之后，两者都与计算机编程密切相关，但关注的重点并不相同。对于学生的第一门计算机语言课程来讲，教学的重点放在了对计算机语言的初步认识上，所以会详细讲解语法，并通过简单的例子熟悉、掌握语言的使用。为了培养学生的学习兴趣及建立编程信心，对给出的简单问题学生只要能得到基本正确的答案即可，没有从健壮性、时空效率等方面进行严格要求与训练，总体是放在了对计算机语言的初步认识上。

数据结构课程则是培养学生对任何一个编程问题以什么样的方式思考，并能快速提出一个可行的解决方案，具体来讲是对一个编程问题能给出一个合理的结构并在此结构上设计出解决问题的算法。数据结构教材为了更为清楚、严谨地说明各种数据结构及算法，往往采用一种语言描述。这就是一般数据结构教材都标明“*** 语言版”的原因。

可以看出数据结构课程与计算机语言课程的关系：它们都与编程相关，但数据结构是讲编程解决问题的思想，具体实现时可以采用合适的(任何)计算机语言来实现；数据结构教材提出的“*** 语言版”仅是此教材为了讲解编程思想时方便而采用一种指定语言描述。

2. 学生不适应严蔚敏版《数据结构》的内容描述及编程风格

一般计算机语言教材的内容编排是先讲语法规则，然后给出相关例子程序，这些代码

均可调试通过。严蔚敏版《数据结构》则不同,其每一章的内容一般按如下顺序编排:

逻辑结构描述→抽象数据类型描述→分别采用顺序与链式两种存储结构

形式描述→在两种存储结构上分别设计与实现算法并采用伪码描述

但部分章节则在抽象数据类型描述后即在逻辑结构上而非存储结构上设计算法,典型的是严老师版教材中第2章的算法2.1与算法2.2(这两个算法是此教材的头两个例子)。其实,结合线性表的逻辑结构分析伪代码学生基本上可以理解算法思想,从这一点印证了在逻辑结构的基础上可以设计算法这一结论。学生也可能认为这是一个很简单的算法(程序),但当他们调试的时候又发现千头万绪无法下手,而他们自己完全不清楚该怎么想、怎么做。严老师版教材作者在本章后面的内容中给出了顺序存储与链式存储两种存储结构下逻辑结构的一些基础操作(算法)细节,学生陷入细节后觉得跟学习C语言时的数组与链表操作没有什么区别。因此教材一开始便给学生一种凌乱、看似简单但又无法成功调试程序的感觉。学生前期不能认识到严老师版教材的编程风格,导致不能认真仔细阅读教材中的内容,这会直接影响学生后期的学习态度与信心。

3. 学生对于以伪码形式的算法描述思想为主的数据结构教材的学习感到困难

严蔚敏版《数据结构》是数据结构课程的经典教材,其提供的思想描述以伪码形式给出,因此不论采用什么语言调试均需要做一定的补充与修改,这需要彻底搞清楚采用的数据结构及算法思想。这对学生掌握知识是有利的,但对初次接触该书代码的同学来讲则对如何补充修改代码毫无头绪。一部分同学初步搞清楚了思想但对补充与修改书中代码没有信心,于是按自己的理解编出凌乱的程序,不能掌握该教材的精华;另一部分同学因为前期简单的程序都没有能力调试通过而放弃了本课程的学习。

4. 学生因函数、链表等相关知识基础薄弱而影响了对本教材的学习

数据结构会大量使用链表;所涉及的解决问题的规模相比前面单纯学习一门计算机语言时庞大许多,程序必然采用函数实现,因此涉及大量的参数传递问题;几乎每个算法都需要通过参数修改主调函数某些参数的值,此时需采用指针作为函数的参数;还有部分问题采用指针数组、指针函数等复杂指针。上述知识均是学生学习C语言过程中的薄弱环节。又比如,在部分数据结构教材中顺序存储采用的是动态分配方式,使用的时候几乎按普通数组处理,但细节又有很大差别,学生在学习C语言时完全没有学习这些知识。但严蔚敏版《数据结构》从第2章即开始大量使用这些学生在学习第一门计算机语言时掌握较为薄弱的知识。实践教学过程中我们发现,面对简单的结构与算法学生不能调试出相关程序时,会严重影响这门课程的学习积极性与学习兴趣,并产生该课程非常难的偏见。

5. 学生对数据结构的知识在应用上产生较为固定的印象而非灵活性的思维过程

严蔚敏版的《数据结构》罗列了各种(逻辑)数据结构上常见的存储结构及常见算法,并给出了这些结构的简单应用,但对于为什么要采用某结构及为何这样设计算法则很少提及,即使提及也往往用简单的文字一带而过。其实严老师版教材中的这些例子采用的结构与算法可能是合理的,但大多数情况下没有应用背景,只是描述算法本身,因而无法确定其合理性,学生往往会产生一种固定印象:这样的问题采用这种结构与算法就行。

这样会造成一种危害,即学生重点关注数据结构知识本身,而忘了数据结构学到的是

思想本身,是思维方式。学生在今后的学习与工作中遇到的问题是多种多样的,如果教材中没有正好匹配的例子情形,他该怎么办?他可能直接采用了教材中的类似情形给出的一种方式,但这种方式是最好的吗?对于教材中没有类似情形的例子,他该如何思考,按什么方式能设计出合理的结构与算法?这里核心的问题是:对于教材中的应用,为什么就是这样的结构与算法是合理的?该教材怎么一下子就确定了这个方法?合理的过程应当是:算法提出者是验证了各种逻辑结构多种存储结构的合理算法后,思考、分析、比较得出的结论。严老师版教材缺少这方面的描述,它是直接给出一个较合理的结论,而使学生在思维方式、超越知识在更高层次抽象方面缺少锻炼。

6. 学生认为学习数据结构是枯燥的

严蔚敏版《数据结构》在讲解完每一种数据结构后均给出了经典的应用,其中结构与算法思想描述较为详尽,但学生往往只看到代码,觉得是枯燥的、与实际应用距离极遥远的。他们无法从这些代码看出自己学习的意义以及究竟能解决什么样的问题,觉得跟自己目前使用的各种软件工具都没有什么关系。因此,他们不能很好地产生兴趣,不能充分意识到这门课程对一个程序员而言在学习与工作中的重大意义。

以上这六个问题中前四个问题属于教材的使用问题(学生涉及的前期知识薄弱也属于此类问题),后两个问题属于数据结构的知识应用问题。

二、本书的适用对象与使用方式

本书作者在长年的数据结构教学过程中观察、分析并发现学生的上述问题后,采用了一系列的方法、手段来解决这些问题。这些方法与手段中一部分是在具体内容教学过程中通过多样的讲解方式引导来实现的,一部分则是通过实验验证算法过程中限定一些要求让学生认真体会的,还有一部分则是通过让学生完成综合性的小项目以适当扩展内容的方式促其思考、感悟的。在实践过程中发现,这些方法与手段的采用有效地解决了学生在学习遇到的上述问题,进而对学生提升编程兴趣及了解数据结构课程的本质起到了非常显著的作用。基于此,我们想到将这些教学与引导学生实践过程的内容、方法与手段等编写成书,让更多的读者受益。

本书即是将数据结构知识结合上述方法整理而得的。对于学习数据结构受困于上述(或部分)问题的学习者,可以参考本书。但本书重点在于实战,因此关于数据结构的术语及基本知识没有详细讲解,只是简单提及,读者可以将本书配合严蔚敏版《数据结构》教材一起使用。相比严老师的教材,本书针对不易理解的知识点用通俗的语言或换一种角度讲解,便于快速准确地理解。严老师的教材中对每种逻辑结构一般只提供了顺序存储或链式存储基本操作部分的伪代码,本书则对三大逻辑结构提供了顺序存储和链式存储基本操作的全部可调试代码,对于有此需要的学习者可以参考相关部分。严老师的教材对于每种逻辑结构给出了基本操作和简单应用,读者一般不清楚每一种结构该做怎样的题目进行实战锻炼,本书对此进行了提炼,给出了独立的题目和详细的描述,有此需要的读者可以参考此部分。

此外,针对C语言有编程需要的读者,本书按语言的知识点提供了简单讲解,并给出

了大量的练习题目。

三、本书的具体内容编排

本书根据数据结构课内容的深浅分为初级、中级和高级(分别对应上篇、中篇和下篇)三个部分。其中,初级是针对C语言知识点的实战题目,C语言编程无障碍的读者可以略过此部分。中级与高级按数据结构复杂程度划分,中级部分对应于简单结构,主要指线性表(包括特殊的线性表——线与队列),高级部分对应于复杂的结构,即树与图。这两部分均包括两块内容:基础知识与实战应用。其中基础知识部分包括逻辑结构描述和其上的两种存储结构特点以及在此基础上的常见操作(算法),实战应用部分指逻辑结构对应的应用。

在实际使用本书的过程中,中级的全部内容与高级的基础部分会在数据结构课程上课期间以上机实验验证的形式完成,这些基础知识并不复杂,学生应该可以全面完成,实现打牢算法基础的目的。高级中的实战应用部分是具有一定难度的项目实现,每类题目内部规模与难度接近,而每类题目之间按规模与难度递增。读者可以根据自己的实际情况选择一个或几个题目完成(完成这类题目需使用基础知识部分已实现的基本操作)。

四、关于本书需特别关注的几个要点

前面描述了使用严蔚敏版《数据结构》教材教学过程中出现的六个主要问题,这六个问题中前四个问题属于教材的使用问题,后两个问题属于数据结构的知识应用问题。本书编排的重点是解决这些问题,具体实现如下:

1. 针对严老师版教材使用上的问题的解决办法

本书采用对严老师版教材讲述的第一种结构即“第2章 线性表”的知识进行重新解构,学生如果能很好地掌握相关全部知识,则很容易进行后续章节的学习。具体方法如下:

(1) 为了让学生在学习初期即能很好地了解严蔚敏版《数据结构》的编排风格,本书重点将严老师版教材的“第2章 线性表”的内容进行全新梳理,特别是抽象数据类型中基本操作和应用算法的关系,抽象数据类型的操作实现与顺序存储和链式存储的关系(在本书中篇“数据结构与算法中级基础与实战”中第4章的线性表部分)。内容还是严老师版教材中的内容,从知识间的相互关系讲解更为清楚。通过讲解学习严老师版教材的第2章,帮助理解严老师版教材的编排风格后,后续章节学生均能顺利理解掌握。

(2) 为了让学生理解数据结构与计算机语言的关系,对于原教材中第1、2个算法(即算法2.1与2.2)关于线性表的基本操作(即调用的函数)要求采用C与C++两种方式实现,使学生关注到语言只是解决问题的形式,可能有所不同,但解决问题的核心是算法的思想,语言只是算法思想的描述。

(3) 为了让学生加强对C语言指针、函数传地址、指针函数、链表、静态数组等知识的掌握,本书以图解的形式给出严老师版教材中例子程序运行时内存变量变化过程示意,让学生理解这些知识背后的本质逻辑,而非死记代码;严老师版教材中只有部分核心代码,想要完成任何一个简单程序必须补充其他代码及测试代码。要求学生补充的代码严格限定

为严老师版教材中给出的抽象数据类型定义。用这些手段强制学生掌握相关知识。

(4) 为了让学生掌握将严老师版教材中的伪码转为可调试程序的方法, 结合严老师版教材中给出的几个经典操作(以伪码形式给出), 本书描述原伪码与转化成可调试程序的思考过程, 让学生掌握具体实现方法。

2. 针对学生在数据结构知识学习及应用中的问题的解决办法

(1) 为了让学生能用数据结构的思维解决问题, 本书针对每一个问题(主要是在高级实战部分), 均会从三种逻辑结构的两种存储结构上至少这六个角度引导学生思考并设计算法, 让学生体会选择最合理的一种逻辑结构与存储结构的过程。借此过程也可加深对各种逻辑结构及在此结构上的存储特点的理解与掌握。

(2) 为了让学生真正了解数据结构与实际应用的关系, 在高级实战中的各个问题中, 相比原教材均增加了背景要求, 特别增加了可操作界面。比如, 关于“表达式求值”问题, 这里给出的题目为实现 Windows 计算器。再比如, 最短路径问题中, 要求给出一个实际地图, 当输入起始城市与终点城市时, 会在地图上标出两城市间的最短路径。这样可以让学生体会到数据结构与当下使用的软件密切相关, 增加学习的趣味性, 激发学生学习的兴趣与动力。

上 篇

数据结构与算法初级基础与实战