

新世纪高职高专课程与实训系列教材

# 数据结构(C语言版)

杨小劲 主 编  
王慧珍 杨百灵 王宇川 副主编

课程

与

实训



清华大学出版社

清华大学出版社“十二五”规划教材

# 数据结构(C语言版)

主 编 李 强  
副主编 王 岩 王 岩  
参 审 王 岩 王 岩

数  
据  
结  
构

与

实  
训



清华大学出版社

新世纪高职高专课程与实训系列教材

# 数据结构(C 语言版)

杨小劲 主 编

王慧珍 杨百灵 王宇川 副主编

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是为“数据结构”课程编写的教材,对常用的数据结构做了系统的介绍,主要包括:数据结构的基本概念;算法描述和算法分析初步;线性表、栈、队列、串、数组、广义表、树和图等结构;查找和排序的各种算法。

作者在多年教学经验的基础上,根据学生的认知规律精心组织了本教材内容,并通过大量有现实意义的例题,循序渐进地介绍了数据结构的有关概念、各种基本的数据结构和算法。书中例题都经过了仔细的调试,另外还配有一定数量的上机实训题和课后习题。

本书概念清晰、内容丰富、深入浅出、知识结构及深度合理,可作为高等职业和高等专科学校的教材,也可作为计算机培训班的教材及自学者的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

### 图书在版编目(CIP)数据

数据结构(C语言版)/杨小劲主编;王慧珍,杨百灵,王宇川副主编. —北京:清华大学出版社,2006.8  
(新世纪高职高专课程与实训系列教材)

ISBN 7-302-13518-5

I.数… II.①杨…②王…③杨…④王… III.①数据结构—高等学校:技术学校—教材②C语言—程序设计—高等学校:技术学校—教材 IV.①TP311.12②TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第085008号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

责任编辑:张 瑜

封面设计:陈刘源

排版人员:房书萍

印 装 者:北京国马印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:13.75 字数:316千字

版 次:2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-13518-5/TP·8483

印 数:1~4000

定 价:21.00元

# 丛 书 序

21 世纪人类已迈入“信息社会”的新时代,科学技术正发生着深刻的变革,整个社会对德才兼备高素质应用型人才的需求更加迫切。如何培养出符合时代要求的优秀人才,是全社会尤其是高等院校面临的一项急迫而现实的任务。

社会对学生的职业能力要求催化出新型的课程结构和教学模式。新型教学模式必须是以工作为基础的模仿式学习。教材作为知识的载体,是人才培养过程中传授知识、训练技能和发展智力的重要工具,同时也是学校教学和科研水平的重要反映。教材在教学中起到稳定教学秩序、保证教学质量、创新教学内容以及主导教学方向的作用。同时,教材内容的革新也是课程建设的重要组成部分。而新型教材模式必须以新型的教材内容为依托,是原有教材的有益补充。

为了适应高职高专院校应用型人才培养迅速发展的需要,本着厚基础、重能力、求创新的总体思想,培养以就业市场为导向的具备“职业化”特征的高级应用型人才,着眼于国家发展和培养复合型人才的需要,着力提高学生的学习能力、实践能力和创新能力。我们联合全国著名的职业院校计算机专业的有关专家组成了《高职高专课程与实训系列教材》编审委员会,全面研讨了新形势下计算机和信息技术专业的课程建设及人才培养方案,组织了本系列面向应用的、切合新一轮教学改革和高校教材建设目标的《高职高专课程与实训系列教材》——计算机系列。

本套丛书以“理论与应用并重,基础与实践兼顾”为原则,理论知识做到三用一新,即“实用、适用、够用和创新”,并在讲解理论知识的同时充分融合了丰富的案例与上机实训,真正做到了理论知识与实训内容二合为一。

本丛书是教材改革的创新之作,它的出版定将真正切合当前教育改革的需要。

## 本套教材的主要特色

### 1. 双师型的教材编写模式

本丛书针对高职院校以及部分应用型本科院校计算机相关专业学生编写,以实用性为基础,以问题驱动为导向,以培养高级专门人才为目标,突出实践教学环节。为保证教学案例的实践性,每本教材均能做到如下几点:

- 至少有一名本学科的知名专家或学科带头人提出指导意见。
- 至少有一名高等院校教学一线的资深教师参与组织编写。
- 至少有一名计算机行业专家负责整理教学案例及配套资源。

### 2. 就业导向型的教材定位

面向高职院校人才培养模式的新需求,面向教育部颁布的新的学科专业调整方案和高校教材建设目标。根据行业需求,构建以能力为本的课程创新体系,把以能力为本的课程设置与我国劳动和社会保障部推行职业资格证书制度的培训互相接轨。

努力使系列教材的理论背景充分体现“以行业为导向、以能力为本位、以学生为中

心”的发展趋势,培养“学术型”与“应用型”相结合的人才。使教材建设具有实用性和前瞻性,与就业市场结合得更加紧密。

### 3. 基础理论与应用实践二合为一的内容体系

本套教材打破了一本主教材配套一本实训教材的传统课程分配方式,使得学生在学习完基础理论知识后能通过案例课及实训课尽快加深对知识点的理解与掌握,不需要再单独开设实训课程,也消除了因不同的教师教授实训课程而存在的与讲课内容相脱节的问题,使得知识点的讲解与实训课程能充分融合。

本套教材在内容安排上遵循适用性原则,使教材在结构纵横的布局、内容重点的选取、示例习题的设计等方面均符合教改目标和教学大纲的要求,把教师的备课、试讲、授课、辅导答疑等教学环节有机地结合起来。

### 4. 立体化的教材服务

为了在内容、体例上更适应教学需求,本套丛书跳出以往单一的纸介质的图书模式,推出了一套多元化的教学服务产品,每本书均包括以下几个部分:

- 图书正本。
- 每章课后的上机实训题(含题目、指导步骤及参考源文件)。
- 图书中的示例源文件。
- 图书配套的电子教案。

### 5. 读者定位

本系列教材定位于职业教育,主要面向高职高专院校,同时也适用于同等学历的职业教育和继续教育。本丛书以三年制高职为主,也适用于两年制高职学生使用。

### 6. 网上资源的下载及服务

为方便教师教学和学生自主学习,本系列教材配有电子课件与上机实训操作答案,需要时可以直接免费上网所取。读者可以直接访问我们的网站:<http://www.wenyuan.com.cn>, 下载相关的信息资源。如有其他的问题,也可以在网上留言或发邮件,提出您的宝贵意见和建议,以便于我们随时与您沟通。

## 丛 书 编 委 会

主 任：吴文虎

委 员(排名不分先后)：

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 白延丽 | 占跃华 | 王熔熔 | 吴建平 | 曹建春 |
| 曹然彬 | 吴文庆 | 万朝阳 | 陈承欢 | 陈培植 |
| 杨清学 | 程远东 | 周朋红 | 范国渠 | 冯静哲 |
| 徐洪祥 | 王泽生 | 何慧荣 | 胡美香 | 黄玉春 |
| 姜 丹 | 吕凤顺 | 李胜军 | 李 越 | 杨小劲 |
| 刘志成 | 穆红涛 | 史宝慧 | 陶树平 | 武传宝 |
| 张邦文 | 赵雪林 | 姜 锐 | 赵克林 | 王宇川 |

# 前 言

计算机技术的飞速发展,促进了计算机基础教育的发展。根据我国当前教学改革和建设的需要,教育部提出了“计算机文化基础”、“计算机技术基础”和“计算机应用基础”三个层次的教学体系。数据结构是高等院校计算机类各专业的一门专业基础课程和核心课程,属于计算机技术基础教育。它不仅是计算机软件专业课程的先导,而且也逐渐为其他工科类专业所重视。

教材内容结构力求体现以应用为主体,着重强调知识的理解和运用,实现高职高专教学以实践体系及技术应用能力培养为主的培养目标。做到内容丰富、深入浅出、循序渐进,具有可读性、实用性和先进性。通过一定数量的例题使读者能迅速掌握数据结构的有关概念、存储结构、基本操作和有关算法实现,书中的例题都经过仔细的调试;书中每章都配有一定的上机实训题,通过上机实践,使读者掌握数据结构、算法设计和调试方法,提高动手能力,掌握所学内容;书中每章还配有大量的课后习题,供读者课外巩固所学的内容。

全书共分9章:

第1章介绍了数据结构的基本概念、算法描述和算法分析。

第2章介绍了线性表的基本概念、存储结构、基本操作和算法实现。

第3章介绍了栈和队列的基本概念、存储结构、基本操作和算法实现。

第4章介绍了串的基本概念、存储结构、基本操作和算法实现。

第5章介绍了数组和广义表的基本概念、特殊矩阵和稀疏矩阵的压缩存储、基本操作和算法实现。

第6章介绍了树和二叉树的概念、存储结构和基本操作、二叉树的性质、二叉树的遍历、树、森林和二叉树的相互转换、哈夫曼树的基本概念和哈夫曼编码的实现。

第7章介绍了图的基本概念、存储结构和基本操作、图的遍历、最小生成树、最短路径和拓扑排序。

第8章介绍了查找的基本概念,静态查找、动态查找和哈希查找等算法。

第9章介绍了排序的基本概念,插入排序、交换排序、选择排序、归并排序等内部排序算法。

本教材适合于高职高专院校学生、成人继续教育和自学人员使用。

建议本教材的授课时数为50~64学时,另外还需要安排大量的上机练习,以巩固所学知识。

本教材由杨小劲主编,杨百灵、王慧珍、刘建华、尚宏、赵源、刘敏、邓维、王宇川参加编写。本书的第1章~第3章由杨小劲、刘建华编写;第4章由刘敏编写;第5章和第6章由王慧珍、邓维编写;第7章由杨百灵编写;第8章由尚宏编写;第9章由赵源编写,王宇川对本书进行了审稿的工作。

由于计算机技术发展迅速,加上作者水平有限,书中难免存在缺点和错误,请读者不吝指正。

编 者

# 目 录

|                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| 第1章 绪论.....1             | 3.1.2 栈的存储结构和运算实现.....40  |
| 1.1 数据结构的概念.....1        | 3.2 栈的应用举例.....44         |
| 1.1.1 为什么要学习数据结构.....1   | 3.3 队列.....48             |
| 1.1.2 有关概念和术语.....4      | 3.3.1 队列的定义及基本运算.....48   |
| 1.1.3 数据结构课程的内容.....6    | 3.3.2 队列的存储结构及运算实现.....49 |
| 1.2 抽象数据类型.....7         | 3.4 队列应用举例.....56         |
| 1.2.1 数据类型.....7         | 3.5 上机实训.....58           |
| 1.2.2 抽象数据类型.....7       | 3.6 本章习题.....60           |
| 1.3 算法和算法分析.....8        | 第4章 串.....63              |
| 1.3.1 算法特性.....8         | 4.1 串类型的定义.....63         |
| 1.3.2 算法描述.....9         | 4.2 串的存储结构.....65         |
| 1.3.3 算法性能分析与度量.....9    | 4.2.1 定长顺序存储结构.....66     |
| 第2章 线性表.....11           | 4.2.2 堆分配存储表示.....67      |
| 2.1 线性表的逻辑结构.....11      | 4.2.3 串的块链存储表示.....70     |
| 2.1.1 线性表的定义.....11      | 4.3 串操作应用举例.....71        |
| 2.1.2 线性表的基本操作.....11    | 4.4 上机实训.....71           |
| 2.2 线性表的顺序存储及运算实现.....12 | 4.5 本章习题.....72           |
| 2.2.1 顺序表.....12         | 第5章 数组和广义表.....73         |
| 2.2.2 顺序表上基本运算的实现.....14 | 5.1 数组的定义及其基本操作.....73    |
| 2.2.3 顺序表应用举例.....18     | 5.1.1 数组的定义.....73        |
| 2.3 线性表的链式存储和运算实现.....20 | 5.1.2 数组的基本操作.....74      |
| 2.3.1 单链表.....20         | 5.2 数组的顺序存储结构.....74      |
| 2.3.2 单链表上基本运算的实现.....22 | 5.3 矩阵的压缩存储.....76        |
| 2.3.3 循环链表.....28        | 5.3.1 特殊矩阵的压缩存储.....76    |
| 2.3.4 双向链表.....29        | 5.3.2 稀疏矩阵的压缩存储.....78    |
| 2.3.5 静态链表.....30        | 5.4 广义表的概念.....87         |
| 2.3.6 单链表应用举例.....32     | 5.5 上机实训.....88           |
| 2.4 顺序表和链表的比较.....34     | 5.6 本章习题.....89           |
| 2.5 上机实训.....35          | 第6章 树和二叉树.....90          |
| 2.6 本章习题.....36          | 6.1 树的定义.....90           |
| 第3章 栈和队列.....39          | 6.1.1 树的定义.....90         |
| 3.1 栈.....39             | 6.1.2 树的表示形式.....91       |
| 3.1.1 栈的定义及基本运算.....39   |                           |

|                                |     |                               |     |
|--------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 6.1.3 树的常用术语.....              | 92  | 7.6 拓扑排序.....                 | 138 |
| 6.1.4 树的基本操作.....              | 92  | 7.6.1 顶点活动网(AOV 网).....       | 138 |
| 6.2 二叉树.....                   | 93  | 7.6.2 拓扑排序 .....              | 139 |
| 6.2.1 二叉树的定义.....              | 93  | 7.7 上机实训.....                 | 142 |
| 6.2.2 二叉树的性质.....              | 95  | 7.8 本章习题.....                 | 143 |
| 6.2.3 二叉树的存储结构.....            | 97  | <b>第 8 章 查找</b> .....         | 145 |
| 6.3 遍历二叉树和线索二叉树.....           | 100 | 8.1 查找的基本概念.....              | 145 |
| 6.3.1 遍历二叉树.....               | 100 | 8.2 静态查找表.....                | 147 |
| 6.3.2 线索二叉树.....               | 102 | 8.2.1 顺序查找法 .....             | 147 |
| 6.4 树、森林和二叉树的关系.....           | 105 | 8.2.2 折半查找法 .....             | 148 |
| 6.4.1 树的存储结构.....              | 105 | 8.2.3 分块查找法 .....             | 150 |
| 6.4.2 森林与二叉树的转换.....           | 109 | 8.3 动态查找表.....                | 152 |
| 6.4.3 树和森林的遍历.....             | 112 | 8.3.1 二叉排序树 .....             | 152 |
| 6.5 哈夫曼树及其应用.....              | 113 | 8.3.2 平衡二叉树 .....             | 158 |
| 6.5.1 哈夫曼树的定义.....             | 113 | 8.4 哈希查找.....                 | 162 |
| 6.5.2 哈夫曼编码.....               | 115 | 8.4.1 哈希函数的概念 .....           | 162 |
| 6.6 上机实训.....                  | 116 | 8.4.2 哈希函数的构造方法 .....         | 162 |
| 6.7 本章习题.....                  | 117 | 8.4.3 处理冲突的方法 .....           | 164 |
| <b>第 7 章 图</b> .....           | 119 | 8.4.4 哈希表的查找过程<br>及性能分析 ..... | 168 |
| 7.1 图的基本概念.....                | 119 | 8.5 上机实训.....                 | 170 |
| 7.1.1 图的定义.....                | 119 | 8.6 本章习题.....                 | 171 |
| 7.1.2 图的基本术语.....              | 120 | <b>第 9 章 排序</b> .....         | 174 |
| 7.2 图的存储结构.....                | 122 | 9.1 基本概念.....                 | 174 |
| 7.2.1 邻接矩阵.....                | 122 | 9.1.1 排序的定义 .....             | 174 |
| 7.2.2 邻接表.....                 | 124 | 9.1.2 排序方法的稳定性 .....          | 175 |
| 7.2.3 边集数组.....                | 126 | 9.1.3 内部排序和外部排序 .....         | 175 |
| 7.3 图的遍历.....                  | 127 | 9.1.4 排序方法的性能 .....           | 175 |
| 7.3.1 深度优先搜索.....              | 127 | 9.2 插入排序.....                 | 176 |
| 7.3.2 广度优先搜索.....              | 128 | 9.2.1 直接插入排序 .....            | 176 |
| 7.4 图的生成树和最小生成树.....           | 130 | 9.2.2 希尔排序 .....              | 177 |
| 7.4.1 概念.....                  | 130 | 9.3 交换排序.....                 | 179 |
| 7.4.2 普里姆算法.....               | 130 | 9.3.1 冒泡排序 .....              | 179 |
| 7.4.3 克鲁斯卡尔算法.....             | 133 | 9.3.2 快速排序 .....              | 180 |
| 7.5 最短路径.....                  | 135 | 9.4 选择排序法.....                | 183 |
| 7.5.1 求某个源点到其他顶点<br>的最短路径..... | 135 | 9.4.1 直接选择排序 .....            | 183 |
| 7.5.2 求每对顶点之间<br>的最短路径.....    | 137 | 9.4.2 树型选择排序 .....            | 184 |

---

|                      |     |               |     |
|----------------------|-----|---------------|-----|
| 9.4.3 堆排序.....       | 187 | 9.7 上机实训..... | 196 |
| 9.5 归并排序法.....       | 193 | 9.8 本章习题..... | 197 |
| 9.5.1 两个有序序列的归并..... | 193 | 附录 参考答案.....  | 199 |
| 9.5.2 一趟归并排序.....    | 193 | 参考文献.....     | 203 |
| 9.6 各种内部排序法的比较.....  | 195 |               |     |

# 第 1 章 绪 论

计算机科学是一门研究数据表示和数据处理的科学。数据是计算机化的信息，它是计算机可以直接处理的最基本和最重要的对象。无论是进行科学计算、数据处理或过程控制，还是对文件的存储和检索以及在数据库技术等计算机应用领域中，都是对数据进行加工处理的过程。因此，要设计出一个结构好、效率高的程序，必须研究数据的特性、数据间的相互关系及其对应的存储表示，并利用这些特性和关系设计出相应的算法和程序。

## 1.1 数据结构的概念

数据结构是计算机应用技术和计算机网络技术等计算机类专业的专业基础课，是十分重要的核心课程。所有的计算机系统软件和应用软件都要用到各种类型的数据结构。因此，要想更好地运用计算机来解决实际问题，仅掌握几种计算机程序设计语言是难以应对众多复杂课题的。要想有效地使用计算机、充分发挥计算机的性能，还必须学习和掌握好数据结构的有关知识。打好“数据结构”这门课程的扎实基础，对于学习计算机专业的其他课程，如操作系统、编译原理、数据库管理系统、软件工程、人工智能等都是十分有益的。

### 1.1.1 为什么要学习数据结构

在计算机发展的初期，人们使用计算机的目的主要是处理数值计算问题。当我们使用计算机来解决一个具体问题时，一般需要经过这样几个步骤：①从该具体问题抽象出一个适当的数学模型；②设计或选择一个解此数学模型的算法；③编出程序进行调试、测试，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的线性方程组可以使用迭代算法来求解。

由于当时所涉及的运算对象是简单的整型、实型或布尔类型数据，所以程序设计者的主要精力是集中在程序设计的技巧上，而无须重视数据结构。随着计算机应用领域的扩大和软硬件的发展，非数值计算问题显得越来越重要。据统计，当今处理非数值计算性问题占用了 90% 以上的机器时间。这类问题涉及到的数据结构更为复杂，数据元素之间的相互关系一般无法用数学方程式加以描述。因此，解决这类问题的关键不再是数学分析和计算方法，而是要设计出合适的数据结构，才能有效地解决问题。下面所列举的就是属于这一类的具体问题。

【例 1.1】学生信息检索系统。当我们需要查找某个学生的有关情况的时候，或者查询某个专业或年级的学生的有关情况的时候，只要建立了相关的数据结构，按照某种算法编写了相关程序，就可以实现计算机自动检索。由此，可以在学生信息检索系统中建立一张按学号顺序排列的学生信息表和分别按姓名、专业、年级顺序排列的索引表，如图 1.1 所示。由这四张表构成的文件便是学生信息检索的数学模型，计算机的主要操作便是按照某

个特定要求(如给定姓名)对学生信息文件进行查询。

诸如此类的还有电话自动查号系统、考试查分系统及仓库库存管理系统等。在这类文档管理的数学模型中,计算机处理的对象之间通常存在着一种简单的线性关系,这类数学模型称为线性的数据结构。

| 学号     | 姓名  | 性别 | 专业       | 年 级    |
|--------|-----|----|----------|--------|
| 980001 | 吴承志 | 男  | 计算机科学与技术 | 98 级   |
| 980002 | 李淑芳 | 女  | 信息与计算科学  | 98 级   |
| 990301 | 刘 丽 | 女  | 数学与应用数学  | 98 级   |
| 990302 | 张会友 | 男  | 信息与计算科学  | 99 级   |
| 990303 | 石宝国 | 男  | 计算机科学与技术 | 99 级   |
| 000801 | 何文颖 | 女  | 计算机科学与技术 | 2000 级 |
| 000802 | 赵胜利 | 男  | 数学与应用数学  | 2000 级 |
| 000803 | 崔文靖 | 男  | 信息与计算科学  | 2000 级 |
| 010601 | 刘 丽 | 女  | 计算机科学与技术 | 2001 级 |
| 010602 | 魏永鸣 | 男  | 数学与应用数学  | 2001 级 |

(a)学生信息表

|     |      |
|-----|------|
| 崔文靖 | 8    |
| 何文颖 | 6    |
| 李淑芳 | 2    |
| 刘 丽 | 3, 9 |
| 石宝国 | 5    |
| 魏永鸣 | 10   |
| 吴承志 | 1    |
| 赵胜利 | 7    |
| 张会友 | 4    |

(b)姓名索引表

|          |            |
|----------|------------|
| 计算机科学与技术 | 1, 5, 6, 9 |
| 信息与计算科学  | 2, 4, 8    |
| 数学与应用数学  | 3, 7, 10   |

(c)专业索引表

|        |         |
|--------|---------|
| 2000 级 | 6, 7, 8 |
| 2001 级 | 9, 10   |
| 98 级   | 1, 2, 3 |
| 99 级   | 4, 5    |

(d)年级索引表

图 1.1 学生信息查询系统中的数据结构

**【例 1.2】**八皇后问题。在八皇后问题中,处理过程不是根据某种确定的计算法则,而是利用试探和回溯的探索技术求解。为了求得合理布局,在计算机中要存储布局的当前状态。从最初的布局状态开始,一步步地进行试探,每试探一步就形成一个新的状态,整个试探过程形成了一棵隐含的状态树,如图 1.2 所示(为了描述方便,将八皇后问题简化为四皇后问题)。回溯法求解过程实质上就是一个遍历状态树的过程。在这个问题中所出现的树也是一种数据结构,它可以应用在许多非数值计算的问题中。

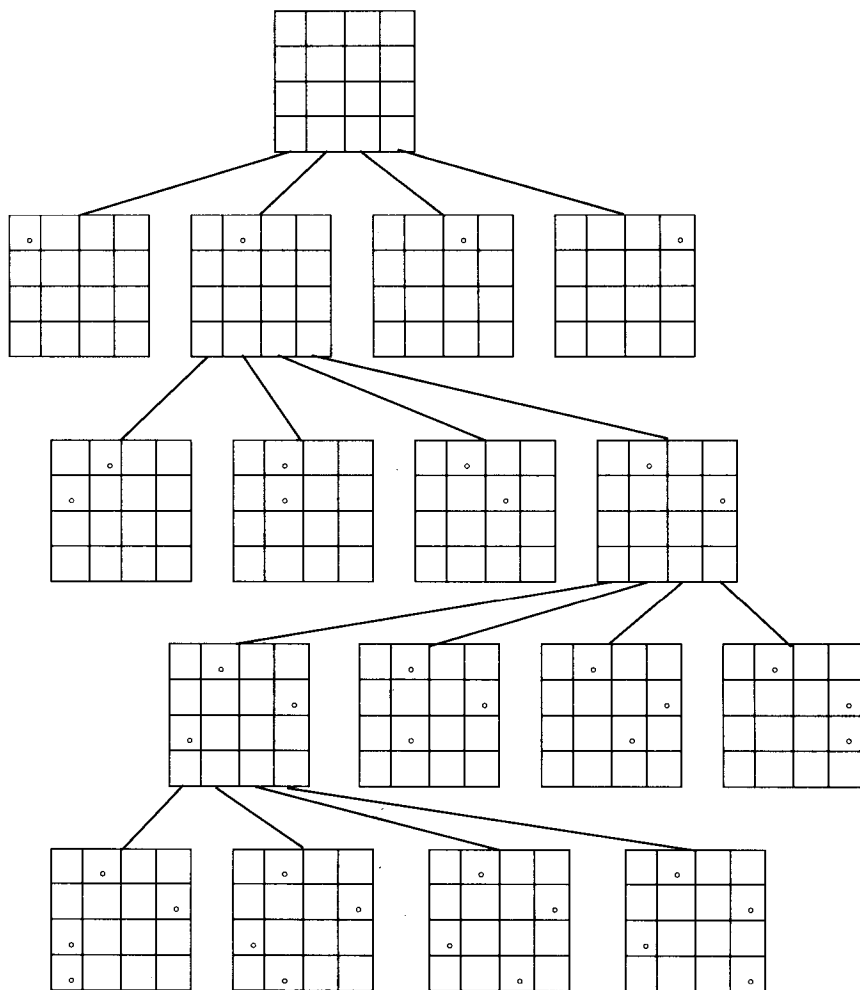


图 1.2 四皇后问题中隐含的状态树

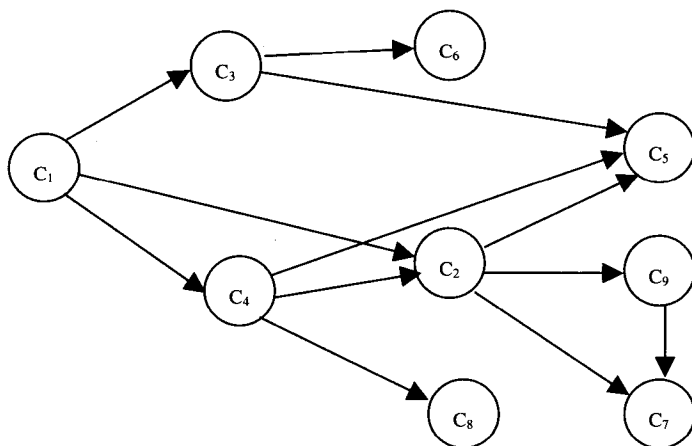
**【例 1.3】**教学计划编排问题。一个教学计划包含许多课程，在教学计划包含的课程之间，有些必须按规定的先后次序进行，有些则没有次序要求，即有些课程之间有先修和后续的关系，有些课程可以任意安排次序。这种各个课程之间的次序关系可用一个称作图的数据结构来表示，如图 1.3 所示。有向图中的每个顶点表示一门课程，如果从顶点  $v_i$  到顶点  $v_j$  之间存在有向边  $\langle v_i, v_j \rangle$ ，则表示课程  $i$  必须先于课程  $j$  进行。

由以上三个例子可见，描述这类非数值计算问题的数学模型不再是数学方程，而是诸如表、树、图之类的数据结构。因此，可以说数据结构课程主要是研究非数值计算的程序设计问题中所出现的计算机操作对象以及它们之间的关系和操作的学科。

学习数据结构的目的是为了了解计算机处理对象的特性，将实际问题中所涉及的处理对象在计算机中表示出来并对它们进行处理。与此同时，通过算法训练来提高学生的思维能力，通过程序设计的技能训练来促进学生的综合应用能力和专业素质的提高。

| 课程编号           | 课程名称     | 先修课程                                             |
|----------------|----------|--------------------------------------------------|
| C <sub>1</sub> | 计算机导论    | 无                                                |
| C <sub>2</sub> | 数据结构     | C <sub>1</sub> , C <sub>4</sub>                  |
| C <sub>3</sub> | 汇编语言     | C <sub>1</sub>                                   |
| C <sub>4</sub> | C 程序设计语言 | C <sub>1</sub>                                   |
| C <sub>5</sub> | 计算机图形学   | C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> |
| C <sub>6</sub> | 接口技术     | C <sub>3</sub>                                   |
| C <sub>7</sub> | 数据库原理    | C <sub>2</sub> , C <sub>9</sub>                  |
| C <sub>8</sub> | 编译原理     | C <sub>4</sub>                                   |
| C <sub>9</sub> | 操作系统     | C <sub>2</sub>                                   |

(a)计算机专业的课程设置



(b)表示课程之间优先关系的有向图

图 1.3 教学计划编排问题的数据结构

### 1.1.2 有关概念和术语

在系统地学习数据结构知识之前，要先了解一些基本概念和术语的含义。

**数据(Data)**是信息的载体，它能够被计算机识别、存储和加工处理。它是计算机程序加工的原料，应用程序处理各种各样的数据。计算机科学中，所谓数据就是计算机加工处理的对象，它可以是数值数据，也可以是非数值数据。数值数据是一些整数、实数或复数，主要用于工程计算、科学计算和商务处理等；非数值数据包括字符、文字、图形、图像、动画和语音等。

**数据元素(Data Element)**是数据的基本单位。在不同的情况下，数据元素又可称为元素、结点、顶点、记录等。例如，学生信息检索系统中学生信息表中的一个记录、八皇后问题中状态树的一个状态、教学计划编排问题中的一个顶点等，都被称为一个数据元素。

有时，一个数据元素可由若干个数据项(Data Item)组成。例如，学籍管理系统中学生信息表的每一个数据元素就是一个学生记录，它包括学生的学号、姓名、性别、籍贯、出生年月、成绩等数据项。这些数据项可以分为两种：一种叫做初等项，如学生的性别、籍贯

等, 这些数据项是在数据处理时不能再分割的最小单位; 另一种叫做组合项, 如学生的成绩, 它可以再划分为语文、数学、英语、物理、化学等更小的项。通常, 在解决实际问题时是把每个学生记录当作一个基本单位进行访问和处理的。

**数据对象(Data Object)或数据元素类(Data Element Class)**是具有相同性质的数据元素的集合。在某个具体问题中, 数据元素都具有相同的性质(元素值不一定相等), 属于同一数据对象(数据元素类), 数据元素是数据元素类的一个实例。例如, 在交通咨询系统的交通网中, 所有的顶点是一个数据元素类, 顶点 A 和顶点 B 各自代表一个城市, 是该数据元素类中的两个实例, 其数据元素的值分别为 A 和 B。

**数据结构(Data Structure)**是指互相之间存在着一种或多种关系的数据元素的集合。在任何问题中, 数据元素之间都不会是孤立的, 在它们之间都存在着这样或那样的关系, 这种数据元素之间的关系称为结构。根据数据元素之间关系的不同特性, 通常有下列四类基本结构:

(1) 集合结构。在集合结构中, 数据元素之间的关系是“属于同一个集合”。集合是元素关系极为松散的一种结构。

(2) 线性结构。线性结构的数据元素之间存在着一对一的关系。

(3) 树型结构。树型结构的数据元素之间存在着一对多的关系。

(4) 图形结构。图形结构的数据元素之间存在着多对多的关系, 图形结构也被称作网状结构。图 1.4 为表示上述四类基本结构的示意图。

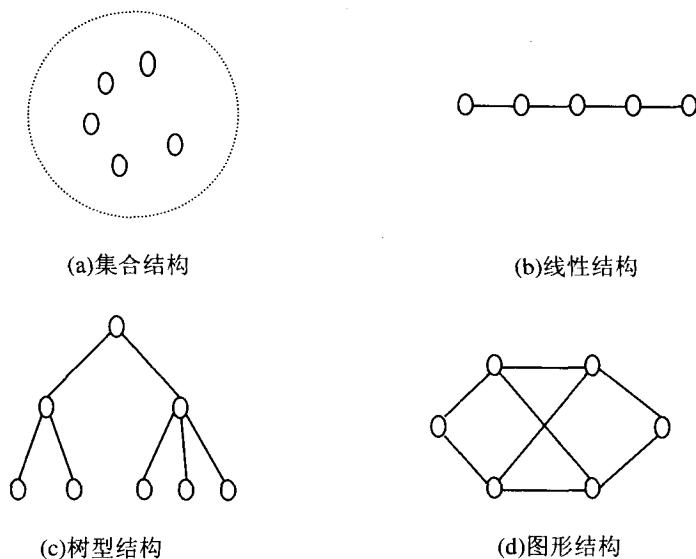


图 1.4 四类基本结构的示意图

由于集合是数据元素之间关系极为松散的一种结构, 因此也可用其他结构来表示集合。

从上面介绍的数据结构的概念中可以知道, 一个数据结构有两个要素: 一个是数据元素的集合, 另一个是关系的集合。在形式上, 数据结构通常可以采用一个二元组来表示。

数据结构的形式定义为: 数据结构是一个二元组

$$\text{Data\_Structure} = (D, R)$$

其中,  $D$  是数据元素的有限集,  $R$  是  $D$  上关系的有限集。

数据结构包括数据的逻辑结构和数据的物理结构。数据的逻辑结构可以看作是从具体问题中抽象出来的数学模型, 它与数据的存储无关。我们研究数据结构的目的是为了在计算机中实现对它的操作, 为此还需要研究如何在计算机中表示一个数据结构。数据结构在计算机中的标识(又称映像)称为数据的物理结构, 或者称为存储结构。它所研究的是数据结构在计算机中的实现方法, 包括数据结构中元素的表示及元素间关系的表示。

数据的存储结构可采用顺序存储或链式存储的方法。

顺序存储方法是把逻辑上相邻的数据元素存储在物理位置相邻的存储单元中, 由此得到的存储表示称为顺序存储结构。顺序存储结构是一种最基本的存储表示方法, 通常借助于程序设计语言中的数组来实现。

链式存储方法对逻辑上相邻的元素不要求其物理位置相邻, 元素间的逻辑关系通过附设的指针字段来表示, 由此得到的存储表示称为链式存储结构。链式存储结构通常借助于程序设计语言中的指针类型来实现。

除了通常采用的顺序存储方法和链式存储方法外, 有时为了查找的方便还采用索引存储方法和散列存储方法。

### 1.1.3 数据结构课程的内容

数据结构与数学、计算机硬件和计算机软件有着十分密切的关系。数据结构是介于数学、计算机硬件和计算机软件之间的一门计算机应用技术和计算机网络技术。它是计算机类专业的核心课程, 是高级程序设计语言、编译原理、操作系统、数据库管理系统、软件工程和人工智能等课程的基础。同时, 数据结构技术也广泛应用于信息科学、系统工程、应用数学以及各种工程技术领域。

数据结构课程集中讨论软件开发过程中的设计阶段、设计编码和分析阶段的若干基本问题。此外, 为了构造出好的数据结构及其实现, 还需考虑数据结构及其实现的评价与选择。因此, 数据结构的内容包括三个层次的五个“要素”, 如表 1.1 所示。

表 1.1 数据结构课程内容体系

| 方 面<br>层 次 | 数据表示           | 数据处理 |
|------------|----------------|------|
| 抽象         | 逻辑结构           | 基本运算 |
| 实现         | 存储结构           | 算法   |
| 评价         | 不同数据结构的比较及算法分析 |      |

数据结构的核心技术是分解与抽象。通过分解可以划分出数据的三个层次, 再通过抽象舍弃数据元素的具体内容, 就得到数据的逻辑结构。类似地, 通过分解将处理要求划分成各种功能, 再通过抽象舍弃实现细节, 就得到运算的定义。上述两个方面的结合就将问题变换为数据结构。这是一个从具体(即具体问题)到抽象(即数据结构)的过程。然后, 通过增加对实现细节的考虑进一步得到存储结构和实现运算, 从而完成设计任务。这是一个从抽象(即数据结构)到具体(即具体实现)的过程。熟练地掌握这两个过程是数据结构课程在专