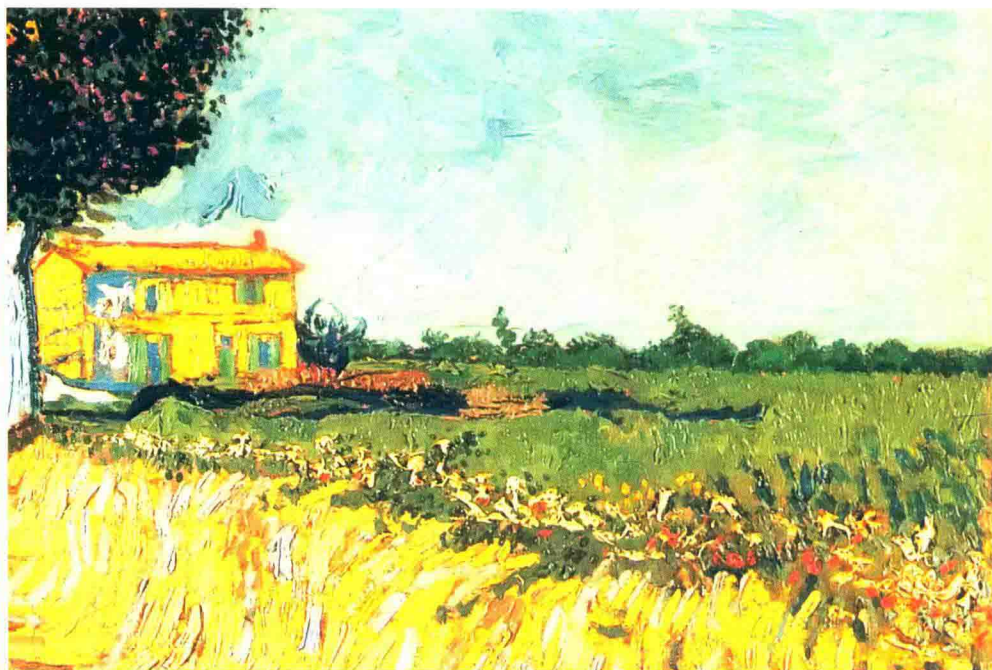




21世纪高等学校计算机
基础实用规划教材

数据结构 (Python版)

◎ 吕云翔 郭颖美 孟爻 编著



清华大学出版社

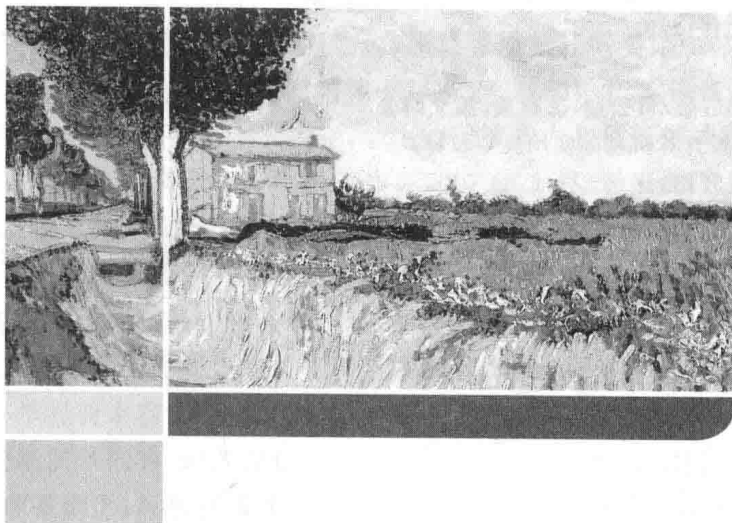




21世纪高等学校计算机
基础实用规划教材

数据结构 (Python版)

◎ 吕云翔 郭颖美 孟爻 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书在选材与编排上,贴近当前普通高等院校“数据结构”课程的现状和发展趋势,内容难易适度,突出实用性和应用性。本书并未面面俱到地介绍各种数据结构,而是通过分类和讲解典型结构,使读者对数据结构形成宏观认识。根据内容侧重,本书共分为8章,分别为绪论、线性表、栈和队列、串和数组、树结构、图、内排序和查找。

本书可以作为普通高校计算机相关专业“数据结构”课程的教材,也可以供学习数据结构的读者单独使用(包括参加计算机等级考试或相关专业自学考试)参考。

本书是高等院校计算机科学、软件工程及相关专业“数据结构”课程的理想教材,也可以供程序员、系统工程师等相关人员阅读参考。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数据结构:Python版/吕云翔,郭颖美,孟爻编著. —北京:清华大学出版社,2019
(21世纪高等学校计算机基础实用规划教材)
ISBN 978-7-302-52186-0

I. ①数… II. ①吕… ②郭… ③孟… III. ①软件工具—程序设计—数据结构—高等学校—教材
IV. ①TP311.561 ②TP311.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第013064号

责任编辑:黄芝
封面设计:刘健
责任校对:胡伟民
责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14

字 数:356千字

版 次:2019年4月第1版

印 次:2019年4月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:39.50元

产品编号:080777-01

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

本系列教材立足于计算机公共课程领域,以公共基础课为主、专业基础课为辅,横向满足高校多层次教学的需要。在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点。

(1) 面向多层次、多学科专业,强调计算机在各专业中的应用。教材内容坚持基本理论适度,反映各层次对基本理论和原理的需求,同时加强实践和应用环节。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生的知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点,保证质量。规划教材把重点放在公共基础课和专业基础课的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现教学质量和教学改革成果的教材。

(4) 主张一纲多本,合理配套。基础课和专业基础课教材配套,同一门课程可以有针对不同层次、面向不同专业的多本具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源配套。

(5) 依靠专家,择优选用。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主题。书稿完成后要真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平教材编写梯队才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校计算机基础实用规划教材
联系人:魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

随着近年来计算概念的快速拓展,计算科学已经发展成为一个内涵繁杂的综合性学科,其至少可以划分为计算机工程(CE)、计算机科学(CS)、信息系统(IS)、信息技术(IT)和软件工程(SE)5个领域,而且不同领域的人才所应具备的知识结构与能力侧重也不尽相同。尽管如此,数据结构在各领域的知识体系中仍然占据着重要的位置。“数据结构”是普通高等院校计算机专业和信息管理专业的一门必修课程,主要讨论数据的逻辑结构、在计算机中的储存结构以及对其进行的各种处理运算的方法和算法。

N. Wirth早在20世纪70年代就指出“程序=数据结构+算法”。数据结构主要研究数据在计算机中储存、组织、传递和转换的过程及方法,这些也是构成与支撑算法的基础。近年来,随着面向对象技术的广泛应用,从数据结构的定义、分类、组成到设计、实现与分析的模式和方法都有了长足的发展,现代数据结构更加注重和强调数据结构的整体性、通用性、复用性、间接性和安全性。

基于上述情况,本书选择Python作为描述语言。Python语言语法简洁优美,功能强大,有着广泛的应用领域,如互联网、大数据、人工智能等领域。因此,学习Python语言,在未来的学习和工作中,都有用武之地。同时,Python语言相对于大多数高级语言,更加适合初学者学习,Python的语法与伪代码描述很相似,逻辑清晰;此外,Python语言也同样具有大部分高级语言的特性,对计算机相关专业的学生未来学习其他编程语言有所帮助。

在内容的选取与结构安排上,本书通过分类和讲解典型结构使读者对数据结构形成宏观认识。根据内容的侧重,本书分8章,分别为绪论、线性表、栈和队列、串和数组、树结构、图、排序和查找。

第1章介绍数据结构的基本概念、算法描述、算法的时间复杂度和空间复杂度等内容。本章是全书的基础。

第2章主要介绍线性表的基本概念和抽象数据类型的定义,线性表的顺序和链式两种存储方式的标识,以及线性表的基本操作实现和相应应用。

第3章简要介绍栈和队列的基本概念和抽象数据类型定义,栈和队列在顺序存储和链式存储结构下的基本操作和应用。

第4章主要介绍串的基本概念和数据类型定义,串的存储结构、基本操作实现和应用等内容。

第5章主要介绍树和二叉树的基本概念,详细介绍二叉树的性质和存储结构、便利方法的实现及应用、哈夫曼树的概念和构造方法。

第6章主要介绍图的基本概念、抽象数据类型定义、存储结构和遍历方法,还介绍最小生成树的基本概念和方法、最短路径的相关算法、拓扑排序的概念和实现方法。

第7章介绍排序的基本概念,插入排序、交换排序、选择排序、归并排序等多种排序的原理、实现方法及性能分析。

第8章主要介绍查找的基本概念,顺序查找、二分查找等查找的原理、实现方法和性能分析,平衡二叉树、哈希表的概念、结构定义和实现方法。

本书的理论知识的教学安排建议如下表所示。

章节	内容	学时数
第1章	绪论	2
第2章	线性表	4~6
第3章	栈和队列	6~8
第4章	串和数组	2~4
第5章	树结构	6~8
第6章	图	4~8
第7章	排序	4~6
第8章	查找	4~6

建议先修课程: Python 语言。

建议理论教学时数: 32~48 学时。

建议实验(实践)教学时数: 16~32 学时。

本书中的所有算法都已经通过上机调试,尽量保证算法的正确性。在每章内容后都有小结,便于读者复习总结,并配有丰富的习题,包括选择题、填空题、算法设计题等,给读者更多的思考空间。

本书在以下几个方面具有突出特色。

(1) 内容精炼,强化基础,合理安排内容结构,做到深入浅出、循序渐进。

本书各章节都从基本概念入手,逐步介绍其特点和基本操作的实现,把重点放在基础知识介绍上,缩减难度较大的内容,使理论叙述简洁明了、重点突出、详略得当。

(2) 应用实例丰富、完整。

本书通过丰富的应用实例和源代码使理论和应用紧密结合,增强学生的理解能力,锻炼程序设计思维。代码有详细明了的注释,易于阅读。

(3) 每章后面附有小结和习题,便于学习、总结和提高。

本书结合学生的学习实际选择难度适中、逻辑合理、适于初学者和进阶者开拓思路、深入了解数据结构使用方法和技巧的习题,并附有详细的解答过程和注意要点,达到通俗易懂、深入浅出的效果,培养读者迁移知识的能力。

(4) 采用 Python 抽象类体现方法的通用性。

本书采用面向对象的观点讨论数据结构技术,先将抽象数据类型定义成接口,再结合具体的存储结构加以实现,并以各实现类为线索对类中各种操作的实现方法加以说明。

(5) 图文并茂,便于学生直观地理解数据结构与算法。

本书通过图表的方式对数据结构及相应操作进行简单直接的描述,使内容更加浅显易懂。

教师可以按照自己对数据结构的理解适当地跳过一些章节,也可以根据教学目标灵活

地调整章节的顺序,增减各章的学时数。

本书的作者为吕云翔、郭颖美、孟爻,曾洪立、吕彼佳、姜彦华参与了部分内容的编写并进行了素材整理及配套资源制作等。

由于数据结构本身还在探索之中,加上我们的水平和能力有限,本书难免有疏漏之处,恳请各位同仁和广大读者给予批评指正,也希望各位能将实践过程中的经验和心得与我们交流(yunxianglu@hotmail.com)。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 学习目的	1
1.1.2 课程内容	1
1.2 基本概念	2
1.2.1 数据与数据结构	2
1.2.2 数据类型与抽象数据类型	5
1.3 算法	7
1.3.1 算法的概念	7
1.3.2 算法描述	8
1.3.3 算法分析	9
小结	12
习题 1	12
第 2 章 线性表	15
2.1 线性表及其基本操作	15
2.1.1 线性表的基本概念	15
2.1.2 抽象数据类型描述	15
2.1.3 线性表的存储和实现	16
2.2 线性表的顺序存储	17
2.2.1 顺序表	17
2.2.2 顺序表的基本操作实现	18
2.3 线性表的链式存储和实现	22
2.3.1 单链表	22
2.3.2 单链表的基本操作实现	24
2.3.3 其他链表	27
2.4 顺序表与链表的比较	28
小结	28
习题 2	29

第 3 章 栈和队列	31
3.1 栈	31
3.1.1 栈的基本概念	31
3.1.2 栈的抽象数据类型描述	31
3.1.3 顺序栈	32
3.1.4 链栈	34
3.2 队列	37
3.2.1 队列的基本概念	37
3.2.2 队列的抽象数据类型描述	38
3.2.3 顺序队列	38
3.2.4 链队列	42
3.2.5 优先级队列	44
3.3 栈和队列的比较	46
小结	46
习题 3	47
第 4 章 串和数组	50
4.1 串	50
4.1.1 串的基本概念	50
4.1.2 串的抽象数据类型描述	50
4.1.3 顺序串	51
4.1.4 链串	55
4.2 串的模式匹配	56
4.2.1 Brute Force 算法	56
4.2.2 KMP 算法	56
4.3 数组	60
4.3.1 数组的基本概念	60
4.3.2 数组的特性	60
4.3.3 数组的遍历	61
4.4 特殊矩阵的压缩存储	61
4.4.1 三角矩阵的压缩存储	62
4.4.2 对称矩阵的压缩存储	62
4.4.3 对角矩阵的压缩存储	63
4.4.4 稀疏矩阵的压缩存储	63
小结	65
习题 4	65

第 5 章 树结构	68
5.1 树	68
5.1.1 树的基本概念	68
5.1.2 树的术语	68
5.2 二叉树	69
5.2.1 二叉树的基本概念	69
5.2.2 二叉树的性质	70
5.2.3 二叉树的存储结构	71
5.2.4 二叉树的遍历	72
5.2.5 二叉树遍历算法的应用	76
5.2.6 二叉树的建立	77
5.3 哈夫曼树及哈夫曼编码	79
5.3.1 哈夫曼树的基本概念	80
5.3.2 哈夫曼树的构造	80
5.3.3 哈夫曼编码	80
5.3.4 构造哈夫曼树和哈夫曼编码的类的描述	81
5.4 树和森林	83
5.4.1 树的存储结构	83
5.4.2 树的遍历规则	84
小结	84
习题 5	84
第 6 章 图	87
6.1 图概述	87
6.1.1 图的基本概念	87
6.1.2 图的抽象数据类型描述	89
6.2 图的存储结构	89
6.2.1 邻接矩阵	90
6.2.2 邻接表	93
6.3 图的遍历	97
6.4 最小生成树	102
6.4.1 最小生成树的基本概念	102
6.4.2 Kruskal 算法	102
6.4.3 Prim 算法	102
6.5 最短路径	104
6.5.1 单源最短路径	104
6.5.2 求任意两个顶点间的最短路径	106
6.6 拓扑排序和关键路径	107

6.6.1	拓扑排序	107
6.6.2	关键路径	108
	小结	110
	习题 6	111
第 7 章	排序	113
7.1	排序概述	113
7.1.1	排序的基本概念	113
7.1.2	排序算法的性能评价	113
7.1.3	待排序的记录和顺序表的类描述	113
7.2	插入排序	114
7.2.1	直接插入排序	114
7.2.2	希尔排序	115
7.3	交换排序	116
7.3.1	冒泡排序	116
7.3.2	快速排序	117
7.4	选择排序	120
7.4.1	直接选择排序	120
7.4.2	堆排序	121
7.5	归并排序	123
	小结	127
	习题 7	128
第 8 章	查找	130
8.1	查找的基本概念	130
8.1.1	什么是查找	130
8.1.2	查找表	130
8.1.3	平均查找长度	130
8.2	静态表查找	131
8.2.1	顺序查找	131
8.2.2	二分查找	131
8.2.3	分块查找	132
8.3	动态表查找	133
8.3.1	二叉排序树查找	133
8.3.2	平衡二叉树	136
8.3.3	B ⁻ 树和 B ⁺ 树	138
8.4	哈希表查找	139
8.4.1	哈希表的概念	139
8.4.2	哈希函数	139

8.4.3 解决冲突的方法·····	140
8.4.4 哈希表查找性能分析·····	142
小结·····	144
习题 8·····	145
附录 A 数据结构试卷 ·····	147
数据结构试卷(一)·····	147
数据结构试卷(二)·····	150
数据结构试卷(三)·····	152
数据结构试卷(四)·····	155
数据结构试卷(五)·····	157
附录 B 实践题 ·····	160
第 2 章 线性表·····	160
第 3 章 栈和队列·····	169
第 4 章 串和数组·····	174
第 5 章 树结构·····	181
第 6 章 图·····	188
第 7 章 排序·····	201
第 8 章 查找·····	205
参考文献 ·····	210

1.1 引 言

1.1.1 学习目的

软件设计是计算机学科的核心内容之一,如何有效地组织数据和处理数据是软件设计的基本内容,直接关系软件的运行效率和工程化程度。

数据结构是计算机科学中的一门综合性的专业基础课,和数学、计算机硬件、软件等课程有着十分密切的关系,是软件设计的重要理论和实践基础。数据结构是一门理论与实践并重的课程,学生既要掌握数据结构的基础理论知识,又要掌握运行和调试程序的基本技能,因此,数据结构课程是培养学生的程序设计能力的必不可少的重要环节。

在计算机发展的初期,计算机处理的对象多为简单的数值数据。由于早期所涉及的运算对象是简单的整型、实型或布尔类型数据,数据量小且结构简单,所以程序设计者的主要精力集中在程序设计的技巧上。而现在,随着计算机和信息技术的飞速发展,计算机应用远远超出了单纯进行数值计算的范畴,从早期的科学计算扩大到过程控制、管理和数据处理等领域。处理非数值计算性问题占用了 90% 以上的机器时间,涉及了更为复杂的数据结构和数据元素间的相互关系。因此,数学分析和算法不再是解决这类问题的关键,只有设计出合适的数据结构才能有效地解决问题。

使用计算机解决实际的应用问题一般需要经过以下 3 个步骤。

(1) 从具体问题中抽象出适当的数学模型:分析问题,提取操作的对象,找出操作对象之间的逻辑关系,给出相应的数学模型。

(2) 设计解决此数学模型的算法。

(3) 编程、运行、调试,得出结果。

1.1.2 课程内容

数据结构课程主要讨论软件开发过程中的设计阶段,也涉及分析和编码阶段的若干问题。主要通过以下 3 个步骤用计算机解决问题。

(1) 抽象求解问题中需处理的数据对象的逻辑结构。

(2) 根据求解问题需要完成的功能特性实现存储结构表述。

(3) 确定为求解问题而需要进行的操作或运算。

为了构造和实现出好的数据结构,必须将以上三者结合,充分考虑与各种典型的逻辑结构、存储结构、数据结构相关的操作和实现及实现方法的性能,因此课程内容可归纳为如

表 1.1 所示。

表 1.1 “数据结构”课程

过程	方面	
	数据表示	数据处理
抽象	逻辑结构	基本运算
实现	储存结构	算法
评价	不同数据结构比较和算法性能分析	

1.2 基本概念

1.2.1 数据与数据结构

1. 数据

数据(Data)是能够被计算机程序识别、存储、加工和处理的描述客观事物的数字等符号集合的总称。数据是信息的载体,是计算机程序处理对象的集合,也是计算机处理信息的某种特定的符号化表示形式,除了整数、实数等数值数据外,还包括字符串等非数值数据及图形、图像、音频、视频等多媒体数据。如表 1.2 所示,书籍信息表中所含的数据就是表中所有书籍记录的集合。

表 1.2 书籍信息表

书名	作者	出版社	价格
软件工程实用教程	吕云翔	清华大学出版社	49.00

2. 数据项

数据项(Data Item)是具有独立含义的、数据不可分割的最小标识单位,是数据元素的组成部分,也可称为字段和域。如表 1.2 所示,“书名”“作者”“出版社”“价格”都是数据项,数据项可分为两种:一种为简单数据项,是进行数据处理时不能分割的最小单位,如“书名”“价格”;另一种为组合数据项,可以划分为更小的项,如“作者”可以划分为“第一作者”“第二作者”。在一个数据元素中能够识别该元素的一个或者多个数据项称为关键字。

3. 数据元素

数据元素(Data Element)是数据的基本单位,又可称为元素、节点、顶点和记录,是一个数据整体中可以标识和访问的数据单元。如表 1.2 中的一行数据称为一个数据元素或一条记录。在图或树中数据元素用圆圈表示,如图 1.1 所示,每个圆圈都代表一个数据元素,称为一个顶点。

一个数据元素可以是不可分割的原子项,也可由若干数据项组成。如表 1.2 所示,书籍信息表中的每一条书籍记录就是一个数据元素,它由书名、作者、出版社、价格等数据项构成。

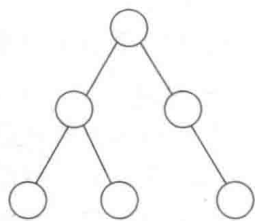


图 1.1 结构图

4. 数据对象

数据对象(Data Object)是性质相同的数据元素的集合,也叫数据元素类,是数据的一个子集,数据元素是数据对象的一个实例。如表 1.2 中所有出版社为清华大学出版社的书籍记录可组成一个数据对象,第一行的书籍记录则为该数据对象的一个实例。

5. 数据结构

数据结构(Data Structure)是相互之间存在着一种或者多种关系的数据元素的集合,数据结构概念包含 3 个方面的内容,即数据的逻辑结构、数据的存储结构和数据操作,只有 3 个方面的内容相同才能称为完全相同的数据结构。

1) 逻辑结构

数据的逻辑结构是指数据元素之间存在的逻辑关系,由数据元素的集合和定义在此集合上的关系组成。数据的逻辑结构与数据的存储无关,独立于计算机,是从具体问题抽象出来的数学模型。数据的逻辑结构由两个要素构成:一个是数据元素的集合;另一个是关系的集合。

根据数据元素间逻辑关系的不同特性,数据的逻辑结构可分为以下 4 类。

(1) 集合:集合中元素的关系极为松散,关系为“属于同一个集合”。集合的逻辑结构如图 1.2(a)所示。

(2) 线性结构:线性结构是数据元素中具有线性关系的数据结构,线性结构中的节点存在“一对一”的关系。开始节点和终端节点都是唯一的,除开始节点和终端节点外,每个节点有且仅有一个前驱节点和一个后继节点,开始节点仅有一个后继节点,终端节点仅有一个前驱节点。整数序列、字母表都是线性结构。线性结构的逻辑结构如图 1.2(b)所示。

(3) 树结构:树结构是数据元素之间具有层次关系的一种非线性结构,树结构中的节点存在“一对多”的关系。除根节点外,每个节点有且仅有一个前驱节点,所有节点可以有零个或者多个后继节点,家谱、Windows 文件系统的组织方式、淘汰赛的比赛结果都是树结构。树结构的逻辑结构如图 1.2(c)所示。

(4) 图形结构:图形结构也是一种非线性结构,图形结构中的节点存在“多对多”的关系。所有节点都可以有多个前驱节点和后继节点。交通图、飞机航班路线图都是图形结构。图形结构的逻辑结构如图 1.2(d)所示。

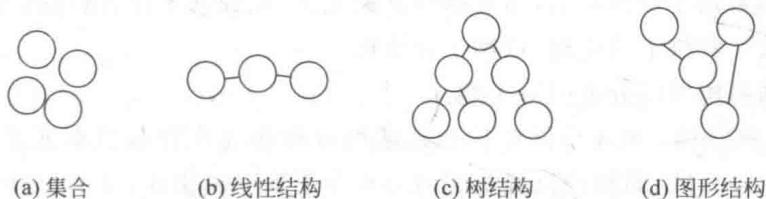


图 1.2 逻辑结构图

数据的逻辑结构涉及两个方面的内容,一是数据元素,二是数据元素间的逻辑关系,所以可以采用一个二元组来定义数据的逻辑结构:

$$\text{Logica_Structures}=(D,R)$$

其中, D 是数据元素的集合, R 是数据元素间逻辑关系的集合。若 a_1 和 a_2 都属于 D ,并且 $\langle a_1,a_2 \rangle \in R$,则称 a_1 是 a_2 的前驱元素, a_2 是 a_1 的后继元素。一般情况下,若 $R_1 \in R$,

则 R_1 是 $D \times D$ 的关系子集。

【例 1.1】 根据给出的数据对象和数据关系求解相应的逻辑结构。

(1) 设数据对象 $D = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 数据关系 $R = \{\langle 1, 2 \rangle, \langle 1, 3 \rangle, \langle 1, 4 \rangle, \langle 3, 5 \rangle, \langle 3, 6 \rangle\}$, 试画出它们对应的逻辑图形表示, 并指出它们属于何种逻辑结构。

解: 该题中数据元素间的关系是一种一对多的关系, 其中只有一个元素没有直接前驱, 其余元素有且仅有一个直接前驱, 而元素的直接后继可以有一个或多个, 也可以没有。

其逻辑图形表示如图 1.3 所示, 属树结构。

(2) 设数据对象 $D = \{1, 2, 3, 4, 5\}$, 数据关系 $R = \{\langle 1, 2 \rangle, \langle 2, 3 \rangle, \langle 5, 1 \rangle, \langle 2, 5 \rangle, \langle 4, 1 \rangle, \langle 4, 5 \rangle, \langle 4, 3 \rangle\}$, 试画出它们对应的逻辑图形表示, 并指出它们属于何种逻辑结构。

解: 该题中数据元素间的关系是多对多的关系, 元素有多个直接前驱和直接后继, 也可以没有。

其逻辑图形表示如图 1.4 所示, 属图形结构。

(3) 设数据对象 $D = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 数据关系 $R = \{\langle 1, 2 \rangle, \langle 1, 3 \rangle, \langle 3, 4 \rangle, \langle 3, 6 \rangle, \langle 4, 5 \rangle\}$, 试画出它们对应的逻辑图形表示, 并指出它们属于何种逻辑结构。

解: 该题中数据元素间的关系是一种一对多的关系, 其中只有一个元素没有直接前驱, 其余元素有且仅有一个直接前驱, 而元素的直接后继可以有一个或多个, 也可以没有。

其逻辑图形表示如图 1.5 所示, 属树结构。

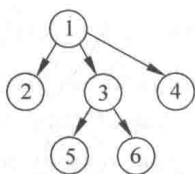


图 1.3 树结构

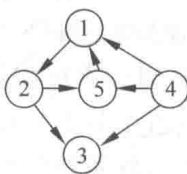


图 1.4 图形结构

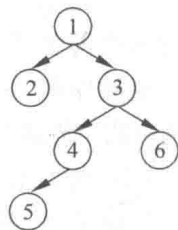


图 1.5 树结构

2) 存储结构

逻辑结构在计算机中的存储表示或实现叫数据的存储结构, 也叫物理结构。数据的逻辑结构从逻辑关系角度观察数据, 与数据的存储无关, 是独立于计算机的; 而数据的存储结构是逻辑结构在计算机中的实现, 依赖于计算机。

数据的存储结构可以分为以下 4 类。

(1) 顺序存储结构: 顺序存储结构在连续的存储单元中存放数据元素, 元素的物理存储次序和逻辑次序一致, 即物理位置相邻的元素在逻辑上也相邻, 每个元素与其前驱元素和后继元素的存储位置相邻, 数据元素的物理存储结构体现它们之间的逻辑关系。顺序存储结构可通过程序设计语言的数组实现。

(2) 链式存储结构: 链式存储结构使用地址分散的存储单元存放数据元素, 逻辑上相邻的数据元素的物理位置不一定相邻, 数据元素间的逻辑关系通常由附加的指针表示, 指针记录前驱元素和后继元素的存储地址。数据元素由数据元素值和存放逻辑关系的指针共同构成, 通过指针将相互直接关联的节点链接起来, 节点间的链接关系体现数据元素之间的逻辑关系。