



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

徐孝凯 主编

数据结构教程

(Java语言描述)

21世纪
计算机
科学与
技术
实践
型
教
程

丛书主编
陈明

清华大学出版社



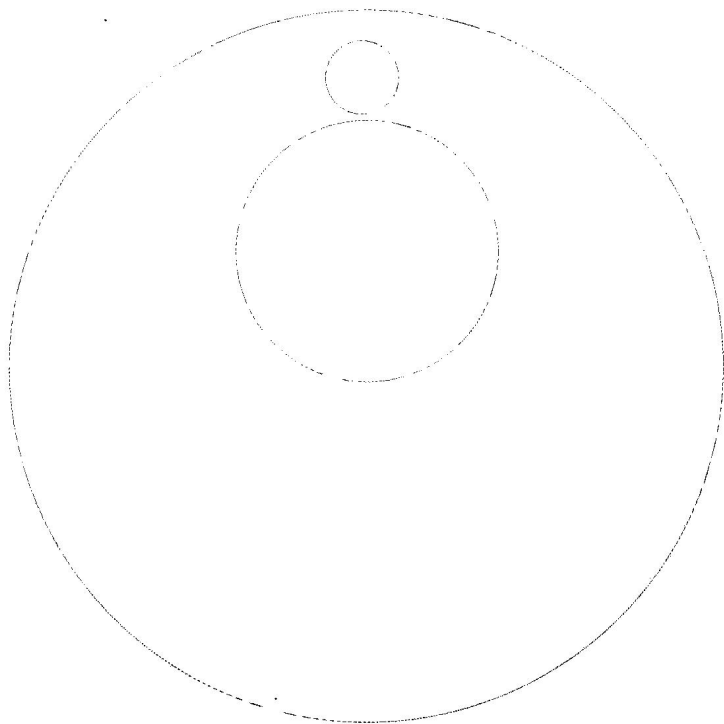


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

徐孝凯 主编

数据结构教程

(Java语言描述)



21世纪
计算机
科学
与
技术
实
践
型
教
程
丛
书
主
编
陈
明

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是根据普通高等院校培养计算机应用型人才对数据结构课程的教学要求而编写的一本利用最先进的 Java 语言进行算法描述的教材。本书把全部内容组织成 8 章,前后连贯有序并相互呼应,成为一个有机的整体。作者力求做到:内容丰富实用,结构清晰完整,章节安排自然,叙述简明流畅,方法分析透彻,算法描述精细,举例典型规范,练习题型多样,便于教学和读者自学。对于选做教材的班级,将无偿提供全部习题的参考解答和教材中的部分算法代码。本书还可作为利用 Java 语言进行软件开发人员的参考书。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数据结构教程(Java 语言描述)/徐孝凯主编. —北京:清华大学出版社,2010.8

(21 世纪计算机科学与技术实践型教程)

ISBN 978-7-302-22659-8

I. ①数… II. ①徐… III. ①数据结构—高等学校—教材 ②JAVA 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(2010)第 083691 号

责任编辑:谢 琛 薛 阳

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:20.25

字 数:501 千字

版 次:2010 年 8 月第 1 版

印 次:2010 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:29.50 元

《21 世纪计算机科学与技术实践型教程》

编辑委员会

主 任：陈 明

委 员：毛国君 白中英 叶新铭 刘淑芬 刘书家
汤 庸 何炎祥 陈永义 罗四维 段友祥
高维东 郭 禾 姚 琳 崔武子 曹元大
谢树煜 焦金生 韩江洪

策划编辑：谢 琛

《21 世纪计算机科学与技术实践型教程》

序

21 世纪影响世界的三大关键技术：以计算机和网络为代表的信息技术；以基因工程为代表的生命科学和生物技术；以纳米技术为代表的新型材料技术。信息技术居三大关键技术之首。国民经济的发展采取信息化带动现代化的方针，要求在所有领域中迅速推广信息技术，导致需要大量的计算机科学与技术领域的优秀人才。

计算机科学与技术的广泛应用是计算机学科发展的原动力，计算机科学是一门应用科学。因此，计算机学科的优秀人才不仅应具有坚实的科学理论基础，而且更重要的是能将理论与实践相结合，并具有解决实际问题的能力。培养计算机科学与技术的优秀人才是社会的需要、国民经济发展的需要。

制定科学的教学计划对于培养计算机科学与技术人才十分重要，而教材的选择是实施教学计划的一个重要组成部分，《21 世纪计算机科学与技术实践型教程》主要考虑了下述两方面。

一方面，高等学校的计算机科学与技术专业的学生，在学习了基本的必修课和部分选修课程之后，立刻进行计算机应用系统的软件和硬件开发与应用尚存在一些困难，而《21 世纪计算机科学与技术实践型教程》就是为了填补这部分空白。将理论与实际联系起来，使学生不仅学会了计算机科学理论，而且也学会应用这些理论解决实际问题。

另一方面，计算机科学与技术专业的课程内容需要经过实践练习，才能深刻理解和掌握。因此，本套教材增强了实践性、应用性和可理解性，并在体例上做了改进——使用案例说明。

实践型教学占有重要的位置，不仅体现了理论和实践紧密结合的学科特征，而且对于提高学生的综合素质，培养学生的创新精神与实践能力有特殊的作用。因此，研究和撰写实践型教材是必需的，也是十分重要的任务。优秀的教材是保证高水平教学的重要因素，选择水平高、内容新、实践性强的教材可以促进课堂教学质量的快速提升。在教学中，应用实践型教材可以增强学生的认知能力、创新能力、实践能力以及团队协作和交流表达能力。

实践型教材应由教学经验丰富、实际应用经验丰富的教师撰写。此系列教材的作者不但从事多年的计算机教学，而且参加并完成了多项计算机类的科研项目，他们把积累的经验、知识、智慧、素质融合于教材中，奉献给计算机科学与技术的教学。

我们在组织本系列教材过程中，虽然经过了详细的思考和讨论，但毕竟是初步的尝试，不完善甚至缺陷不可避免，敬请读者指正。

本系列教材主编 陈明

2005 年 1 月于北京

前 言

数据结构是普通高等院校计算机和信息管理等专业的一门必修核心课程。它的主要任务是讨论从现实世界中抽象出来的数据的逻辑组织结构,在计算机中的存储结构,以及对其进行的各种处理运算的方法和算法。目的是使读者掌握如何利用计算机和程序设计语言对数据进行有效的组织、存储、转换和运算处理,为进一步学习后续数据库等课程和进行软件开发打下必要的知识基础。

数据的逻辑组织结构大致分为集合结构、线性结构、树(层次)结构和图(网格)结构 4 种。数据在计算机中的存储结构大致分为顺序结构、链接结构、索引结构和散列结构 4 种。对数据进行的各种运算主要有插入运算、删除运算、查找运算、排序运算、更新(修改)运算等。

介绍数据结构内容需要借助于一种计算机程序设计语言,在目前使用众多的程序设计语言中,Java 程序设计语言是应用最广泛、面向对象程度化最高的语言,利用 Java 语言中的抽象类和接口能够准确地描述任一种数据结构的逻辑定义和运算,利用一种存储结构所定义的派生类能够有效地实现对数据的各种运算。总之,利用 Java 语言和面向对象的程序设计方法讲授数据结构知识既是目前的首要选择,也是最明智的选择。

本书共分为 8 章,分别为绪论、集合、线性表、栈和队列、树和二叉树、图、查找、排序。在绪论中介绍了数据结构的基本概念,算法的描述和评价等内容;在集合一章中介绍了集合的抽象数据类型,以及在顺序和链接存储结构下的操作实现;在线性表一章中,介绍了一般线性表和有序线性表的抽象数据类型,在顺序和链接存储结构下的操作实现,以及在多项式和稀疏矩阵计算中的应用;在栈和队列一章中,分别介绍了它们各自的特点、运算和实现方法,还介绍了栈与递归算法的关系,以及栈在算术表达式计算中的应用;在树和二叉树一章中,介绍了树和二叉数的定义和性质,二叉树的存储结构和遍历方法,以及二叉搜索树和堆的定义和运算;在图一章中,介绍了图的基本概念,图的 3 种存储结构,图的深度和广度优先遍历,图的生成树和最小生成树等内容;在查找一章中,主要介绍了顺序表查找、索引查找、散列查找、B 树查找等内容;最后一章为排序,主要介绍了插入排序、选择排序、交换排序、归并排序和外排序等内容。

书中的所有算法都已通过上机调试和运行,尽量确保算法的正确性。每章内容后都配有丰富的练习题,包括选择题、填空题、算法分析题、算法设计题等,并且在书后的附录中还给出了部分算法设计题的参考解答,以便读者编程后参考。

学习本教材应具有 Java 语言程序设计的基础,教学时数应安排在 80 学时左右,其中

讲授与上机实习的时数之比应为 2 : 1, 有条件的学生要尽量多安排上机时间。

全书主要由本人编写, 部分章节内容由袁薇和朱嵬编写, 但由于作者水平有限, 疏漏和不足之处在所难免, 敬请授课教师和广大读者批评指正。

电子邮件地址: xuxk@crtvu.edu.cn

联系电话: 010-64910302

徐孝凯

2010年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 基本概念	1
1.2 算法描述.....	11
1.3 算法评价.....	13
本章小结	19
习题 1	20
第 2 章 集合	24
2.1 集合的定义和运算.....	24
2.1.1 集合的定义	24
2.1.2 集合的抽象数据类型	25
2.1.3 集合运算举例	26
2.2 集合的顺序存储结构和操作实现.....	27
2.3 集合的链接存储结构和操作实现.....	34
2.3.1 链接存储的概念	34
2.3.2 链接集合类的定义和实现	36
2.4 集合应用举例.....	42
本章小结	49
习题 2	49
第 3 章 线性表	52
3.1 线性表的定义和运算.....	52
3.1.1 线性表的定义	52
3.1.2 线性表的抽象数据类型	53
3.1.3 线性表运算举例	55
3.2 线性表的顺序存储和操作实现.....	56
3.3 有序线性表的定义和实现.....	65
3.4 链接存储的一般概念和方法.....	70

3.5	线性表的链接存储和操作实现	74
3.6	有序线性表的链接存储和操作实现	81
3.7	多项式计算	84
3.7.1	多项式表示与求值	84
3.7.2	两个多项式相加	87
3.8	稀疏矩阵	90
3.8.1	稀疏矩阵的定义	90
3.8.2	稀疏矩阵的转置运算	93
3.8.3	稀疏矩阵的加法运算	95
	本章小结	99
	习题3	100
第4章	栈和队列	108
4.1	栈的定义和运算	108
4.1.1	栈的定义	108
4.1.2	栈的抽象数据类型	109
4.1.3	栈的运算举例	109
4.2	栈的顺序存储结构和操作实现	110
4.3	栈的链接存储结构和操作实现	113
4.4	栈的简单应用举例	115
4.5	栈与递归	119
4.6	算术表达式的计算	127
4.6.1	算术表达式的两种表示	127
4.6.2	后缀表达式求值的算法	128
4.6.3	把中缀表达式转换为后缀表达式的算法	131
4.7	队列	134
4.7.1	队列的定义	134
4.7.2	队列的抽象数据类型	135
4.7.3	队列的顺序存储结构和操作实现	136
4.7.4	队列的链接存储结构和操作实现	141
	本章小结	142
	习题4	143
第5章	树和二叉树	147
5.1	树的概念	147
5.1.1	树的定义	147
5.1.2	树的表示	148
5.1.3	树的基本术语	148

5.1.4	树的性质	149
5.2	二叉树	151
5.2.1	二叉树的定义	151
5.2.2	二叉树的性质	151
5.2.3	二叉树的抽象数据类型	153
5.2.4	二叉树的存储结构	154
5.3	二叉树遍历	159
5.4	二叉树其他运算	162
5.5	二叉搜索树	167
5.5.1	二叉搜索树的定义	167
5.5.2	二叉搜索树的抽象数据类型和链接存储类	167
5.5.3	二叉搜索树的运算方法	168
5.6	堆	175
5.6.1	堆的定义	175
5.6.2	堆的抽象数据类型和接口类	176
5.6.3	堆的存储结构和顺序存储类	177
5.6.4	堆的运算	178
	本章小结	182
	习题 5	183
第 6 章	图	188
6.1	图的概念	188
6.1.1	图的定义	188
6.1.2	图的基本术语	189
6.2	图的存储结构	192
6.2.1	邻接矩阵	192
6.2.2	邻接表	193
6.2.3	边集数组	195
6.3	图的抽象数据类型和接口类	196
6.4	图的邻接矩阵和邻接表存储类	197
6.5	图的遍历	199
6.5.1	深度优先搜索遍历	200
6.5.2	广度优先搜索遍历	202
6.5.3	非连通图的遍历	204
6.6	对图的其他运算的算法	205
6.7	图的生成树和最小生成树	215
6.7.1	生成树的概念	215
6.7.2	普里姆算法	217

6.7.3 克鲁斯卡尔算法	221
本章小结	225
习题 6	225
第 7 章 查找	229
7.1 查找的基本概念	229
7.2 顺序表查找	230
7.2.1 顺序查找	231
7.2.2 二分查找	232
7.3 索引查找	235
7.3.1 索引的概念	235
7.3.2 索引查找算法	238
7.4 散列查找	240
7.4.1 散列的概念	240
7.4.2 散列函数	241
7.4.3 处理冲突的方法	243
7.4.4 散列表的运算	247
7.5 B 树查找	256
7.5.1 B_树的定义	256
7.5.2 B_树查找	257
7.5.3 B_树的插入	259
7.5.4 B_树的删除	263
7.5.5 定义 B_树的类	264
本章小结	267
习题 7	268
第 8 章 排序	272
8.1 排序的基本概念	272
8.2 插入排序	274
8.3 选择排序	275
8.3.1 直接选择排序	275
8.3.2 堆排序	276
8.4 交换排序	280
8.4.1 气泡排序	280
8.4.2 快速排序	282
8.5 归并排序	285
8.6 外排序	289
8.6.1 外排序概念	289

8.6.2 外排序算法.....	290
本章小结.....	298
习题 8	299
附录 A 习题中部分算法设计题参考解答.....	302
参考文献.....	310

第 1 章 绪 论

学习目标

本章主要介绍数据结构课程中一些常用的概念,算法的描述方法,算法的评价标准等内容。通过本章的学习,要求达到:

- 掌握集合结构、线性结构、树结构、图结构等基本数据结构的特点;
- 掌握抽象数据类型的定义方法,以及所对应的 Java 语言类的定义格式;
- 掌握评价算法的一般标准,特别是算法的时间复杂度的数量级表示和空间复杂度的数量级表示;
- 了解算法的一般特性和算法的不同描述方法的特点;
- 了解时间复杂度的各种不同数量级随着解决问题规模 n 的增大而变化的趋势。

1.1 基本概念

数据结构是计算机学科体系中的一门核心课程。它研究的对象是如何把反映现实世界中的数据有效地存储到计算机系统中,并能够进行快速的访问和运算。

利用计算机存储数据,不仅要存储数据值本身,而且要存储数据之间的逻辑关系,由此构成数据在计算机系统中的存储结构。数据的存储结构可以概括为顺序结构、链接结构、散列结构和索引结构 4 种,它们之间的组合和嵌套可以形成更加复杂的存储结构。

对数据进行运算的方法简称算法。它是根据人们对数据进行处理的实际需要而逐渐产生、发展和丰富起来的。现在人们已经针对数据的不同处理需要探索出了各种相应和有效的算法,掌握这些算法是进行各种软件开发和设计的基础。要让计算机执行一种算法,必须把它由一般的文字或流程图描述,转换成由一种计算机语言的描述。所以在学习数据结构这门课程之前,必须学会一种计算机语言,这样才能够利用它来编写算法,而上机调试和运行算法,实现对数据的计算机化的自动处理功能。

现在,可供学习的计算机语言有很多,如 VB、C、C++、Delphi、Java 等。但目前最流行的计算机语言应当是 Java 语言,它是一种真正的面向对象的程序设计语言,本书将采用 Java 语言来描述算法,使得数据结构课程的教学能够跟上学科发展和实际软件开发的需要。

下面对在这门课程中经常用到的一些概念进行必要的说明,为以后学习具体内容做

准备。

1. 数据

数据(data)是人们利用文字符号、数字符号以及其他规定的符号对现实世界的事物及其活动所做的抽象描述。例如,一个人的名字可以用一个字符串数据来描述,一条曲线可以用一个数组数据来描述,数组中的每一个元素用来存储曲线中对应点的坐标值和颜色编号。因此,一个文档、记录、数组、句子、单词、算式、符号等都统称为数据:在计算机领域中,人们把能够被计算机加工的对象,或者说能够被计算机输入、存储、处理和输出的一切信息都叫做数据。

2. 数据元素

数据元素(data element)简称**元素**,它是一个数据整体中可以标识和访问的数据单元。如对于一个文件数据来说,每个记录就是它的数据元素;对于一个字符串数据来说,每个字符就是它的数据元素;对于一个数组数据来说,每个下标位置上的表示值就是它的数据元素。数据和数据元素是相对而言的。如对于一个记录数据来说,它是所属文件的一个数据元素,而它相对于所含的每个数据项而言又是整体数据,数据项是它的一个成分(域、元素)。因此,在本书中,对数据和数据元素这两个术语的使用不加以严格区别,应根据上下文含义理解。

3. 数据记录

数据记录(data record)简称**记录**,它是数据处理领域组织数据的基本单位,数据中的每个数据元素在许多应用场合被组织成记录的结构。一个数据记录由一个或多个**数据项**(item)组成,每个数据项可以是简单数据项(即不可再分,如一个数值、一个字符等),也可以是组合数据项(即数组或记录)。以图书目录管理为例,每个记录表示一本图书的有关信息,如表 1-1 所示。

表 1-1 图书目录表

登录号	书号	书名	作者	出版社	定价
00001	ISBN 978-7-302-18161-3	Java 语言程序设计	陈明	清华大学	26.00
00002	ISBN 978-7-302-15579-9	Java 程序设计教程(第 2 版)	雍俊海	清华大学	49.00
00003	ISBN 978-7-302-15761-8	C++ 语言基础教程(第 2 版)	徐孝凯	清华大学	32.00
00004	ISBN 978-7-304-04066-6	C 语言程序设计	任爱华	中央电大	21.00
00005	ISBN 7-304-02494-1	数据库基础与应用	刘世峰	中央电大	28.00
00006	ISBN 7-04-014601-0	大学计算机基础教程	王移芝	高等教育	27.50
00007	ISBN 7-04-007494-X	数据库系统概论	王珊	高等教育	25.10
...

在表 1-1 中,第一行为表目行,又称为目录行,它给出了该表中每条记录的结构。从表目行向下的每一行为一条包含具体值的记录,它给出了一本图书的有关信息;每一列为一个数据项,它描述了图书中的一种属性。每条记录由 6 个数据项组成,其名称分别为登录号、书号、书名、作者、出版社和定价,前 5 个数据项均为字符串,后一个数据项为实数。

在一个表中,若所有记录的某个数据项(属性)的值均不同,也就是说,每个值能够唯

一地标识一个记录时,则称这个数据项为记录的关键数据项,简称为**关键项**(key item),关键项中的每个值被称为所在记录的**关键字**(key)。在表 1-1 中,登录号数据项的值均不同,所以可把登录号作为记录的关键项,其中的每一个值就是所在记录的关键字。如“00002”为第 2 条记录的关键字,“00005”为第 5 条记录的关键字。表 1-1 中的书号数据项的值也各不相同,所以,每个记录的书号也是关键字,根据每个具体的书号也能够唯一地标识一本图书。

对于一个通常使用的表格数据(文件),能作为关键项的数据项可能没有,可能只有一个,也可能多于一个。当没有时,可把多个有关的数据项联合起来,构成一个组合关键项,用组合关键项中的每一个组合值来唯一地标识一个记录,该组合值就是所在记录的关键字。

引入了记录的关键项和关键字后,为以后叙述简便起见,经常利用一个关键项中的所有关键字的集合来代替整个数据表,利用一个关键字来代替所在的记录,而把记录中的其他数据项忽略掉。

4. 数据结构

数据结构(data structure)是指数据及其相互之间的联系(逻辑关系)。数据是对现实世界中的事物及其活动的抽象描述,而任何事物及其活动都不是孤立存在的,都是在一定意义上相互联系、相互影响的,所以数据之间必然存在着客观或主观上的联系。数据之间的相互联系,被称为数据的**逻辑结构**。在计算机中存储数据时,不仅要存储数据的值,而且要存储数据之间的联系(逻辑结构)。数据的逻辑结构被存储到计算机的存储器中,就形成了数据的存储结构。数据的逻辑结构概括为**集合结构、线性结构、树型结构、图型结构** 4 种,由它们的组合和嵌套可以构造更为复杂的逻辑结构。通常所说的数据结构是指逻辑结构,但有时也包括存储结构在内,读者应结合上下文理解其含义。

为了更确切地描述数据的逻辑结构,通常采用二元组表示:

$$B=(K, R)$$

B 是一种数据结构(逻辑结构),它由数据元素的集合 K 和 K 上二元关系的集合 R 所组成。其中:

$$K=\{k_i | 1 \leq i \leq n, n \geq 0\}$$

$$R=\{R_j | 1 \leq j \leq m, m \geq 0\}$$

其中: k_i 表示集合 K 中的第 i 个数据元素; n 为 K 中数据元素的个数,特别地,若 $n=0$,则 K 是一个空集,此时 B 也就无结构而言,也可以认为它具有任一结构; R_j 表示集合 R 中的第 j 个二元关系(可直接简称为关系); m 为 R 中关系(二元关系)的个数,特别地,若 $m=0$,则 R 是一个空集,表明不考虑集合 K 中的元素之间存在着任何关系,元素之间是彼此独立的,通常把这种 R 为空集的数据结构称为集合结构。

在本书所讨论的各种数据结构中,一般只讨论 $m=1$ 的情况,即 R 中只包含有一个关系,此时 $R=\{R_1\}$,并且为了简化起见,直接把这个关系 R_1 用标识符 R 来表示。对于包含有多个关系的数据结构,可以首先对每一个关系的情况分别进行讨论,然后再整体讨论。

K 上的一个二元关系 R 是序偶的集合。对于 R 中的任一序偶 $\langle x, y \rangle (x, y \in K)$, 我们把 x 叫做序偶的第一元素, 把 y 叫做序偶的第二元素, 又称序偶的第一元素为第二元素的前驱, 称第二元素为第一元素的后继。如在 $\langle x, y \rangle$ 的序偶中, x 为 y 的前驱, 而 y 为 x 的后继。

一种数据结构还能够利用图形直观地表示出来, 图形(示意图)中的每个结点(顶点)对应着一个数据元素, 两结点之间带箭头的连线(又称为有向边或弧)对应着关系中的一个序偶, 其中序偶的第一元素为有向边的起始结点, 第二元素为有向边的终止结点, 即箭头所指向的结点。

作为例子, 下面根据表 1-2 构造出一些典型的数据结构。

表 1-2 教务处人事简表

职工号	姓名	性别	出生日期	职务	部门
01	万明华	男	1965.03.20	处长	教务处
02	赵宁	男	1973.06.14	科长	教材科
03	张利	女	1969.12.07	科长	考务科
04	赵书芳	女	1977.08.05	主任	办公室
05	刘永年	男	1964.08.15	科员	教材科
06	王明理	女	1980.04.01	科员	教材科
07	王敏	女	1977.06.28	科员	考务科
08	张才	男	1972.03.17	科员	考务科
09	马立仁	男	1980.10.12	科员	考务科
10	邢怀常	男	1981.07.05	科员	办公室

表 1-2 中共有 10 条记录, 每条记录都由 6 个数据项组成, 由于每条记录的职工号各不相同, 所以可把每条记录的职工号作为该记录的关键字。在下面的例子中, 将用记录的关键字来代表整个记录。

例 1-1 一种数据结构 $set = (K, R)$, 其中:

$$K = \{01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10\}$$

$$R = \{\}$$

在数据结构 set 中, 只存在着元素的集合, 不存在有关系的集合, 或者说关系的集合为空, 表明只考虑表 1-2 中的每条记录, 并不考虑它们之间的任何关系。通常称具有这种特点的数据结构为集合结构。对于集合结构, 元素之间按任何次序排列都是允许的, 例如, 可以按关键字的升序排列, 也可以按关键字的降序排列, 还可以按其他任意次序排列, 这应根据处理问题的需要而人为决定。

例 1-2 一种数据结构 $linearity = (K, R)$, 其中:

$$K = \{01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10\}$$

$$R = \{\langle 05, 01 \rangle, \langle 01, 03 \rangle, \langle 03, 08 \rangle, \langle 08, 02 \rangle, \langle 02, 07 \rangle, \langle 07, 04 \rangle, \langle 04, 06 \rangle, \langle 06, 09 \rangle, \langle 09, 10 \rangle\}$$

对应的图形如图 1-1 所示。

结合表 1-2, 细心的读者不难看出 R 是按照职工年龄从大到小排列的线性关系。

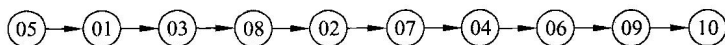


图 1-1 数据的线性结构示意图

在 linearity 数据结构中,每个数据元素有且仅有一个直接前驱元素(除结构中第一个元素 05 外),有且仅有一个直接后继元素(除结构中最后一个元素 10 外)。这种数据结构的特点是数据元素之间是 1 对 1(1:1)联系,称这种联系为线性关系,把具有这种特点的数据结构称为线性结构。

例 1-3 一种数据结构 $tree=(K,R)$,其中:

$$K=\{01,02,03,04,05,06,07,08,09,10\}$$

$$R=\{\langle 01,02\rangle,\langle 01,03\rangle,\langle 01,04\rangle,\langle 02,05\rangle,\langle 02,06\rangle,\langle 03,07\rangle,\langle 03,08\rangle,\langle 03,09\rangle,\langle 04,10\rangle\}$$

对应的示意图如图 1-2 所示。

结合表 1-2,细心的读者不难看出 R 是人员之间领导与被领导的关系。

图 1-2 像倒着画的一棵树,在这棵树中,最上面一层的一个没有前驱只有后继的结点叫做树根结点,最下面一层的只有前驱没有后继的结点叫做树叶结点,除树叶之外的结点都叫做树枝结点,树根结点是一个特殊的树枝结点。在一棵树中,每个结点有且只有一个前驱结点(除树根结点外),但可以有任意多个后继结点(树叶结点可看做具有 0 个后继结点)。这种数据结构的特点是数据元素之间是 1 对 N(1:N)的联系($N\geq 0$),即一对多的联系。通常把这种联系称为层次关系,把具有这种特点的数据结构叫做树型结构,简称为树结构或树。

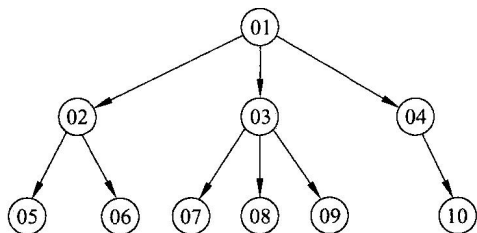


图 1-2 数据的树型结构示意图

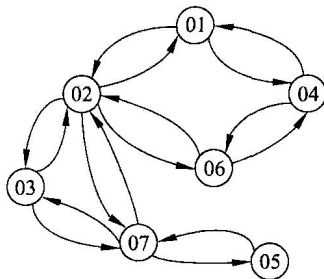


图 1-3 数据的图型结构示意图

例 1-4 一种数据结构 $graph=(K,R)$,其中:

$$K=\{01,02,03,04,05,06,07\}$$

$$R=\{\langle 01,02\rangle,\langle 02,01\rangle,\langle 01,04\rangle,\langle 04,01\rangle,\langle 02,03\rangle,\langle 03,02\rangle,\langle 02,06\rangle,\langle 06,02\rangle,\langle 02,07\rangle,\langle 07,02\rangle,\langle 03,07\rangle,\langle 07,03\rangle,\langle 04,06\rangle,\langle 06,04\rangle,\langle 05,07\rangle,\langle 07,05\rangle\}$$

对应的图形如图 1-3 所示。

从图 1-3 可以看出,R 是 K 上的对称关系,即对于任何序偶 $\langle x,y\rangle$,则必然存在序偶 $\langle y,x\rangle$ 。为了简化起见,通常把 $\langle x,y\rangle$ 和 $\langle y,x\rangle$ 这两个对称序偶用一个无序对 (x,y)