



# 奥赛经典

高级教程系列

信息学奥林匹克教程

· 数据结构篇

◇向期中/编著

◆湖南师范大学出版社

# 奥赛经典

## 高级教程系列

- ◎ 数学奥林匹克教程
- ◎ 物理奥林匹克教程
- ◎ 物理奥林匹克实验教程
- ◎ 化学奥林匹克教程
- ◎ 化学奥林匹克实验教程
- ◎ 生物奥林匹克教程
- ◎ 生物奥林匹克实验教程
- ◎ 信息学奥林匹克教程·基础篇
- ◎ 信息学奥林匹克教程·提高篇
- ◎ 信息学奥林匹克教程·语言篇
- ◎ 信息学奥林匹克教程·数据结构篇

## 初中教程系列

- ◎ 初中数学奥林匹克实用教程 第一册
- ◎ 初中数学奥林匹克实用教程 第二册
- ◎ 初中数学奥林匹克实用教程 第三册
- ◎ 初中数学奥林匹克实用教程 第四册

## 解题金钥匙系列

- ◎ 初中数学      ◎ 高中数学
- ◎ 初中物理      ◎ 高中物理
- ◎ 初中化学      ◎ 高中化学
- ◎ 高中生物      ◎ 高中信息学

## 专题研究系列

- ◎ 奥林匹克数学中的代数问题
- ◎ 奥林匹克数学中的几何问题
- ◎ 奥林匹克数学中的组合问题
- ◎ 奥林匹克数学中的真题问题

## 热点专题系列

- ◎ 初中数学竞赛热点专题
- ◎ 初中物理竞赛热点专题
- ◎ 初中化学竞赛热点专题
- ◎ 初中生物竞赛热点专题
- ◎ 高中数学竞赛热点专题
- ◎ 高中物理竞赛热点专题
- ◎ 高中化学竞赛热点专题
- ◎ 高中生物竞赛热点专题

## 典型试题系列

- ◎ 数学奥林匹克典型试题剖析
- ◎ 物理奥林匹克典型试题剖析
- ◎ 化学奥林匹克典型试题剖析
- ◎ 信息学奥林匹克典型试题剖析

## 分级精讲与测试系列

- ◎ 初一数学      ◎ 初二数学
- ◎ 初三数学      ◎ 初二物理
- ◎ 初三物理      ◎ 初三化学
- ◎ 高一数学      ◎ 高二数学
- ◎ 高一物理      ◎ 高二物理
- ◎ 高一生物      ◎ 高二生物
- ◎ 高一化学      ◎ 高二化学

- ◎ 丛书策划—陈宏平+周玉波+何海龙
- ◎ 组稿编辑—何海龙
- ◎ 责任编辑—何海龙
- ◎ 装帧版式—周基东+李夫振

ISBN 7-81081-575-X/G · 302

定价：24.00元

ISBN 7-81081-575-X



9 787810 815758 >



**奥赛经典**

高级教程系列

# 信息学奥林匹克教程

## · 数据结构篇

◇向期中/编著

◆湖南师范大学出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

信息学奥林匹克教程·数据结构篇 / 向期中编著. —长沙: 湖南师范大学出版社, 2006. 6

(奥赛经典丛书·高级教程系列)

ISBN 7-81081-575-X

I. 信... II. 向... III. 计算机课—中学—教学参考资料 IV. C634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 032499 号

### 信息学奥林匹克教程·数据结构篇

◇编 著: 向期中

◇丛书策划: 陈宏平 周玉波 何海龙

◇组稿编辑: 何海龙

◇责任编辑: 何海龙

◇责任校对: 蒋旭东

◇出版发行: 湖南师范大学出版社

地址/长沙市岳麓山 邮编/410081

电话/0731. 8853867 8872751 传真/0731. 8872636

◇经销: 湖南省新华书店

◇印刷: 国防科技大学印刷厂

◇开本: 730 × 960 1/16 开

◇印张: 22.75

◇字数: 600 千字

◇版次: 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

◇印数: 1—6000 册

◇书号: ISBN 7-81081-575-X/G·302

◇定价: 24.00 元



# 您身边的金牌教练

沈文选	教授	金牌教练	湖南师范大学
唐立华	特级教师	金牌教练	华东师范大学附中
冯志刚	特级教师	金牌教练	上海中学
冯跃峰	特级教师	金牌教练	深圳高级中学
王树国	高级教师	金牌教练	湖南师范大学附中
黄生训	教授	金牌教练	湖南师范大学
武建谋	特级教师	金牌教练	长沙市一中
刘旭华	高级教师	金牌教练	湖南师范大学附中
黄洪才	高级教师	金牌教练	长沙市一中
彭大斌	特级教师	金牌教练	长沙市一中
邓立新	特级教师	金牌教练	长沙市一中
陈云莎	特级教师	金牌教练	湖南师范大学附中
肖鹏飞	特级教师	金牌教练	湖南师范大学附中
高建军	特级教师	金牌教练	长沙市一中
黄国强	特级教师	金牌教练	湖南师范大学附中
汪训贤	特级教师	金牌教练	湖南师范大学附中
吴耀斌	副教授	金牌教练	中南大学
向期中	高级教师	金牌教练	长郡中学
曹利国	高级教师	金牌教练	长沙市一中



#### ◆ 向期中

长郡中学特级教师，湖南省计算机学会理事，国际金牌教练，国家教育部计算机课程咨询委员会委员。对中小学计算机教育事业有一种执着的追求，参加工作20年来，一直以“当一流教师，办一流教育，出一流人才”为自己的工作目标，对中小学计算机教学和青少年信息学奥林匹克竞赛的辅导倾注了全部热情和心血。在信息学奥林匹克竞赛培训中把“先做人，后成才”的育人理念贯穿到整个奥赛培训的始终，学生在愉快的学习中取得了一个个辉煌的成绩：在近几年的信息学奥林匹克竞赛中，辅导的学生有100多人获湖南省一等奖，11人次进入国家集训队，3人进入国家代表队，3人获国际金牌。撰写了《信息学（计算机）国际奥林匹克Turbo Pascal 6.0》等十多部信息学专著。多次荣获园丁奖和全国优秀辅导员称号，还先后获得全国中小学计算机教育先进工作者、湖南省优秀教师和全国信息学奥林匹克竞赛高级指导教师等荣誉称号。

普及信息技术  
提高青少年  
科学素质

祝《奥赛经典丛书》出版

陈火旺

## 前 言

国际信息学奥林匹克竞赛（IOI）是计算机知识在世界范围青少年中普及的产物。它始于1989年，是继数学、物理和化学之后的又一门国际（中学生）学科奥林匹克竞赛。在国际学科奥林匹克竞赛中，我国只有信息学是在1989年首次IOI中就具有参赛资格的，而且首届竞赛的试题原型是由我国提供的。

20世纪80年代，邓小平同志在视察青少年校外计算机活动时指出：“计算机的普及要从娃娃抓起。”从此，全国性的青少年计算机竞赛活动每年都吸引着数以万计的青少年投身到这一活动中，也成为我国校外计算机活动中最有代表性的形式。竞赛是青少年喜闻乐见的课外活动形式，但竞赛不是目的，只是推广、普及的一种手段，而普及计算机知识则是我国的国策，也是世界发展的趋势。培养高素质的信息技术人才，才是竞赛的最终目的。

为了进一步推广、普及计算机技术，提高竞赛水平，在原来编写的一套《信息学奥林匹克教程》（基础篇·提高篇·语言篇）的基础上，我们又编写了这本《数据结构篇》。

《数据结构篇》主要帮助学生全面地掌握数据结构知识与应用技巧，相对于其他数据结构书不同之处就在于增加了一些针对性的例题和习题，着眼点是提高数据结构的应用方法与技巧，是一本具有实战意义的教材。

从逻辑角度看，数据可归结为三种基本结构：线性结构、树结构和图结构；从存储角度看，数据可归结为四种基本结构：顺序结构、链接结构、索引结构和散列结构。每一种逻辑结构可根据不同需要采用不同的存储结构，或者不同的存储结构的组合。数据的逻辑结构和存储结构确定后，再结合指定运算的算法，就容易利用一种程序设计语言编写出程序。通过数据结构的学习，能够大大提高程序设计能力和水平。

《数据结构篇》是为广大信息学爱好者学习数据结构而精心编著的一本教材。本书内容比较全面，着重于实用与实战，在算法分析上简明扼要，细致清晰，便于自学。全书共分十章：第一章为概论，它为学习以后的各章做准备；第二章至第五章为线性结构；第六章和第七章分别为树结构和图结构，分别讨论了每一种逻辑结构所对应的存储结构和相应的算法；第八章和第九章分别为查找与排序，它包含了数据处理中主要使用的几种查找和内排序方法；最后一章为读者提供了





检测知识的模拟试题及解答。本书讲授时数为 80 学时左右。

本书的算法主要是以 PASCAL 或类 PASCAL 为基础编写实现的。

本书同时也适合作大学生及研究生的参考资料。

参加编写本书的有李明威、谢秋锋、石东妮、刘涛、曾文武、胡伟栋、王俊、任恺等，特别感谢周戈林、郭华阳、杨浩、周玉姣等同学对本书提供的帮助。

本书所引用的试题凝聚了国内外多年来积极参与青少年信息学奥林匹克竞赛命题工作的专家、教授的心血和劳动，许多参赛选手的解题思想、方法和技巧给予了我们极大的启发和借鉴。本书得到了湖南师范大学出版社的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

由于水平和时间有限，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2006 年 7 月



## 目 录

1 概论 .....	(1)
1.1 基本术语 .....	(1)
1.2 算法描述 .....	(6)
1.3 算法评价 .....	(9)
1.4 Pascal 语言中的数据类型 .....	(14)
1.5 小结 .....	(17)
习题一 .....	(18)
2 线性表 .....	(21)
2.1 线性表的定义和顺序存储 .....	(21)
2.2 线性表的运算 .....	(22)
2.3 线性链表及链接存储 .....	(26)
2.4 线性表的应用举例 .....	(32)
2.5 小结 .....	(35)
习题二 .....	(36)
3 栈和队列 .....	(41)
3.1 栈 .....	(41)
3.2 栈的应用举例 .....	(45)
3.3 队列 .....	(53)
3.4 队列的应用举例 .....	(56)
3.5 链接的栈和队列 .....	(58)
3.6 小结 .....	(61)
习题三 .....	(61)
4 串 .....	(65)
4.1 串的基本概念 .....	(65)
4.2 串的定义 .....	(65)
4.3 串的实现及基本运算 .....	(66)
4.4 串的应用 .....	(69)
4.5 小结 .....	(81)
习题四 .....	(82)
5 数组、特殊矩阵和广义表 .....	(87)
5.1 多维数组 .....	(87)
5.2 稀疏矩阵 .....	(88)
5.3 特殊矩阵的压缩存储 .....	(91)

5.4	广义表	(92)
5.5	小结	(94)
	习题五	(94)
6	树	(96)
6.1	树的概念	(96)
6.2	二叉树	(100)
6.3	二叉树的运算	(106)
6.4	二叉搜索树	(108)
6.5	哈夫曼树	(113)
6.6	树的存储结构和运算	(116)
6.7	树、森林和二叉树的转换	(119)
6.8	最近公共祖先	(119)
6.9	树状数组	(122)
6.10	并查集	(125)
6.11	树的应用举例	(129)
6.12	小结	(156)
	习题六	(156)
7	图	(162)
7.1	图的概念	(162)
7.2	图的基本术语	(163)
7.3	图的存储结构	(165)
7.4	图的遍历	(168)
7.5	图的生成树与最小生成树	(171)
7.6	最短路径	(178)
7.7	拓扑排序	(188)
7.8	关键路径	(193)
7.9	图的应用举例	(199)
7.10	小结	(211)
	习题七	(211)
8	查找	(216)
8.1	查找的基本概念	(216)
8.2	顺序表查找	(217)
8.3	索引查找	(221)
8.4	散列查找	(223)
8.5	树表查找	(229)
8.6	查找的应用举例	(239)
8.7	小结	(254)
	习题八	(254)
9	排序	(258)

9. 1	排序的基本概念 .....	(258)
9. 2	简单排序算法 .....	(259)
9. 3	快速排序 .....	(263)
9. 4	堆排序 .....	(266)
9. 5	归并排序 .....	(270)
9. 6	各种排序方法比较 .....	(272)
9. 7	线性时间排序 .....	(273)
9. 8	排序的应用举例 .....	(278)
9. 9	小结 .....	(282)
	习题九 .....	(282)
10	模拟试题 .....	(285)
10. 1	数据结构综合测试一 .....	(285)
10. 2	数据结构综合测试二 .....	(291)
10. 3	数据结构综合测试三 .....	(297)
10. 4	数据结构综合测试四 .....	(299)
10. 5	数据结构综合测试一参考答案 .....	(302)
10. 6	数据结构综合测试二参考答案 .....	(303)
10. 7	数据结构综合测试三参考答案 .....	(305)
10. 8	数据结构综合测试四参考答案 .....	(313)
	习题参考答案 .....	(319)

# 1 概 论

自 1946 年美国第一台电子计算机问世以来, 计算机科学和软硬件得到了飞速的发展, 与此同时, 计算机应用领域也从最初的科学计算逐步发展到人类活动的各个领域。现在, 计算机处理的对象不仅是简单的数值或字符, 而且是带有不同结构的各种数据: 图像、声音等。因此, 要设计出一个较好的程序, 除了掌握所用的计算机语言外, 还要研究各种数据结构的特性和数据之间存在的关系, 这就是“数据结构”这门学科形成和发展的背景。

要搞好信息学竞赛, 最基本的就是要掌握好程序设计, 而程序设计是一门综合学科, 与程序设计最密切的课程有数据结构、算法分析与设计和程序设计方法学等。著名的计算机科学家沃斯 (N. Wirth) 甚至提出了“算法 + 数据结构 = 程序”的著名论点, 简明地概括了程序的组成。

数据是程序加工的原材料, 它可能是数字、字符或由它们组成的字符串; 它也可能是采样后的物理量, 例如电压、电流等电信号通过模 - 数转换器 (A/D) 输出变成计算机可以接受的数字信息; 或是从磁带、磁盘和光盘上读出的一串二进制数表示的数字、字符或图形的信息; 或是调制解调器 (Modem) 上将电话声音信号转换成计算机可以接受的格式; 或是通过键盘、磁盘文件输入到计算机的信息……简言之, 数据是描述客观事物的数字、字符以及所有能输入到计算机、能被计算机进行处理的信息集合。也就是说, 数据是符号的集合, 是计算机要处理的信息集合。从本质上来说, 数据是客观事物表示的一种抽象结果, 而数据结构课程就是研究如何把客观世界要处理的信息逐层抽象成计算机可以接受的某种形式。

算法是解题的方法和步骤的精确描述, 它是有穷处理的序列。

数据结构和算法有着密切的联系, 数据结构是建立在算法的基础上, 而选择什么样的数据结构对于程序设计来说, 是至关重要的决策, 它直接影响到程序的效率。选择一个合适的数据结构便很容易形成一个简洁有效的算法; 否则, 如果数据结构选择不好, 除了影响程序开发速度之外, 更重要的是影响设计出来的程序的运行效率。

## 1.1 基本术语

这一节将对全书中常用的名字和术语赋予确定的含义, 便于对书本的阅读理解。

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描述。因此, 大到一本书, 一篇文章, 一张图表等数据, 小到一个句子, 一个单词, 一个算式, 一个数字和一个字符等, 总之, 数据是信息的载体。人们把能够被计算机识别、输入、存储、处理和输出的一切信息都叫数据。

数据元素 (Data Element) 是一个数据整体中相对独立的单位。如对于一个文件, 每个记录就是它的数据元素; 对于一个字符串, 每个字符就是它的数据元素; 对于一个数组, 每一个分量就是它的数据元素。数据和数据元素是相对而言的, 如对于一个记录, 它相对于所在的文件被认为

是数据元素，而相对于它所含的数据项（域）又被认为是数据。因此，本书中对数据和数据元素这两个术语的使用并不加以严格的区分。

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。它又由更小的单位——数据项（Item，或称为域）所组成，一个记录一般包括一个或若干个固定的数据项（当然每一个数据项还可以是记录形式）。如下表 1-1 就是一个班的学生期中考试的成绩表，每个记录表示一个学生的考试基本情况。

表 1-1 0301 班学生成绩表

学号	姓名	语文	数学	外语	物理	化学	总分
0301001	陈天宇	86	92	88	81	89	436
0301002	刘思佳	85	92	84	86	96	443
0301003	夏俊伟	82	93	86	88	93	442
0301004	黄艺海	80	95	81	89	90	435
0301005	何 轩	88	90	90	90	87	445
0301006	邓亦龙	84	98	87	93	86	448
0301007	袁浩翰	83	94	90	93	88	448
0301008	肖湘宁	88	88	96	82	88	442
.....							

数据处理（Data Processing）是指对数据进行查找、插入、删除、合并、排序、统计、简单计算、输入、输出等的操作过程。在早期，计算机主要用于科学和工程计算，进入 20 世纪 80 年代以后，计算机主要用于数据处理。据有关统计资料表明，现代计算机用于数据处理的时间比例平均高达 80% 以上。随着时间的推移和计算机的进一步普及，计算机用于数据处理的时间比例必将进一步增大，像计算机情报检索系统、经济管理信息系统、图书管理系统、银行核算系统、财务管理系统、招生及成绩管理系统等都是计算机在数据处理领域的具体应用。数据结构是数据处理软件的基础，因此数据结构课程是计算机所有专业的最重要的主干课程之一。

数据结构（Data Structure），简单地说是指数据以及数据之间的联系。上面提到数据的描述对象是现实世界的事物及其活动，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联系。由于这种联系是内在的，或根据需要人为定义的，所以被认为是“逻辑”上的联系，并把数据结构作为数据的逻辑结构。数据结构在计算机存储器上的存储表示称作为数据的物理结构或存储结构。由于存储表示方法有顺序、链接、索引、散列等多种，所以一种数据结构可表示成一种或多种物理结构。确切地说，数据结构就是研究数据和数据之间的逻辑结构和物理结构，而重点研究它们的逻辑结构。

为了更准确地描述数据结构，我们采用二元组表示：

$$B = (K, R)$$

B 是一种数据结构，它由数据元素集合 K 和 K 上二元关系的集合 R 所组成。

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

$$R = \{r_j \mid 1 \leq j \leq m, m \geq 0\}$$

$k_i$  表示第  $i$  个数据元素,  $n$  为  $B$  中数据元素的个数, 特别地, 若  $n=0$ , 则  $K$  是一个空集, 因而  $B$  也无结构可言, 或者说它具有任何结构;  $r_j$  表示第  $j$  个二元关系 (以后简称关系),  $m$  为  $K$  上关系的个数。

本书讨论的数据结构, 一般只讨论  $m=1$  的情况, 即  $R$  中只包含一个关系  $R = \{r\}$  的情况, 对于包含多个关系的数据结构, 可分别对每一个关系进行讨论。

$K$  上的一个关系  $r$  是序偶集合。对于  $r$  中的任一序偶  $\langle x, y \rangle$  ( $x, y \in K$ ), 把  $x$  叫做序偶的第一个元素,  $y$  叫做序偶的第二个元素, 又称序偶的第一个元素为第二个元素的直接前驱, 简称前驱, 称第二个元素为第一个元素的直接后继, 简称后继。如在序偶  $\langle x, y \rangle$  中,  $x$  为  $y$  的前驱, 而  $y$  为  $x$  的后继。

为了更好地理解, 数据结构我们习惯用图形形象地表示出来, 图形中的每个结点 (或叫顶点, 或叫节点) 对应着一个数据元素, 两结点之间带箭头的连线 (称作有向边或弧) 对应着关系中的一个序偶, 其中序偶的第一个元素为有向边的起始结点, 第二个元素为有向边的终止结点。

下面通过一个具体实例, 根据表 1-2 构造一些典型的数据结构。

表 1-2 信息学竞赛培训名单

编号	姓名	性别	出生年月日	职务	单位
01	向期中	男	1965 年 10 月	教练	
02	金 恺	男	1986 年 9 月 25 日	组长	高三
03	栗 师	男	1986 年 9 月 11 日	学员	高三
04	柳明海	男	1986 年 8 月 11 日	学员	高三
05	任 恺	男	1987 年 4 月 17 日	组长	高二
06	王 俊	男	1986 年 8 月 1 日	学员	高二
07	胡伟栋	男	1986 年 8 月 5 日	学员	高二
08	易 伟	男	1986 年 12 月 19 日	学员	高二
09	康亮环	男	1986 年 12 月 14 日	学员	高二
10	周戈林	男	1987 年 12 月 30 日	组长	高一
11	肖湘宁	女	1988 年 10 月 16 日	学员	高一
12	谭 欣	女	1988 年 12 月 28 日	学员	高一
13	邓亦龙	男	1988 年 9 月 30 日	学员	高一

表中共有 13 条记录, 每条记录都由六个数据项所组成, 由于每条记录的编号各不相同, 所以可把每条记录的编号作为该记录的关键字。在下面的例子中, 我们用记录的关键字代表整个记录。

例题 1-1 一种数据结构  $\text{linearity} = (K, R)$ , 其中

$$K = \{01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13\}$$

$R = \{r\}$

$r = \{ \langle 01, 06 \rangle, \langle 06, 07 \rangle, \langle 07, 04 \rangle, \langle 04, 03 \rangle, \langle 03, 02 \rangle, \langle 02, 09 \rangle, \langle 09, 08 \rangle, \langle 08, 05 \rangle, \langle 05, 10 \rangle, \langle 10, 13 \rangle, \langle 13, 11 \rangle, \langle 11, 12 \rangle \}$

对应的图形如图 1-1 所示:

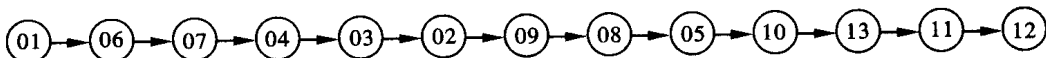


图 1-1 线性结构示意图

结合表 1-2, 不难发现,  $r$  是按年龄从大到小的排列关系。

在 linearity 中, 每个数据元素有且只有一个直接前驱元素 (除结构中第一个元素 01 外), 有且只有一个直接后继元素 (除结构中最后一个元素 12 外)。这种数据结构的特点是数据元素之间的 1:1 关系, 即线性关系, 把具有这种特点的数据结构叫线性结构。

例题 1-2 一种数据结构  $tree = (K, R)$ , 其中

$K = \{01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13\}$

$R = \{r\}$

$r = \{ \langle 01, 02 \rangle, \langle 01, 05 \rangle, \langle 01, 10 \rangle, \langle 02, 03 \rangle, \langle 02, 04 \rangle, \langle 05, 06 \rangle, \langle 05, 07 \rangle, \langle 05, 08 \rangle, \langle 05, 09 \rangle, \langle 10, 11 \rangle, \langle 10, 12 \rangle, \langle 10, 13 \rangle \}$

对应的图形如图 1-2 所示:

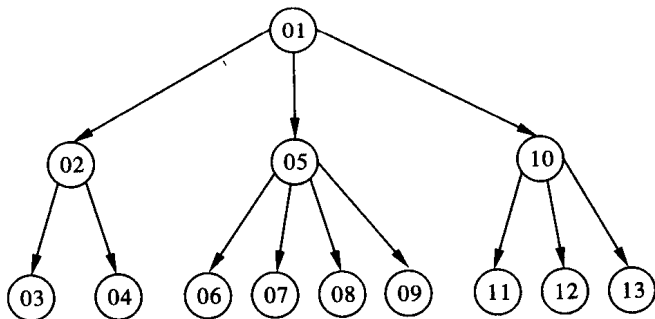


图 1-2 树结构示意图

结合表 1-2, 不难发现,  $r$  是教练、学员之间管理与被管理之间的关系。

图 1-2 像倒着的一棵树, 在这棵树中, 最上面的一个没有前驱只有后继的结点叫作根结点, 最下面一层的只有前驱没有后继的结点叫作树叶结点, 除树根结点和树叶结点之外的结点叫做树枝结点。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 (树叶结点可看作具有 0 个后继结点)。这种数据结构的特点是数据元素之间的 1: N 关系 ( $N \geq 0$ ), 把具有这种特点的数据结构叫作树型结构或树结构。

例题 1-3 一种数据结构  $graph = (K, R)$ , 其中

$K = \{01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13\}$

$R = \{r\}$

$r = \{ \langle 01, 02 \rangle, \langle 01, 03 \rangle, \langle 01, 04 \rangle, \langle 01, 05 \rangle, \langle 01, 13 \rangle, \langle 01, 10 \rangle, \langle 05, 06 \rangle, \langle 05, 07 \rangle, \langle 05, 08 \rangle, \langle 05, 09 \rangle, \langle 10, 11 \rangle, \langle 10, 12 \rangle, \langle 10, 13 \rangle \}$



06 >, <05, 07 >, <06, 08 >, <08, 09 >, <05, 13 >, <10, 11 >, <11, 10 >, <11, 12 > }

对应的图形如图 1-3 所示:

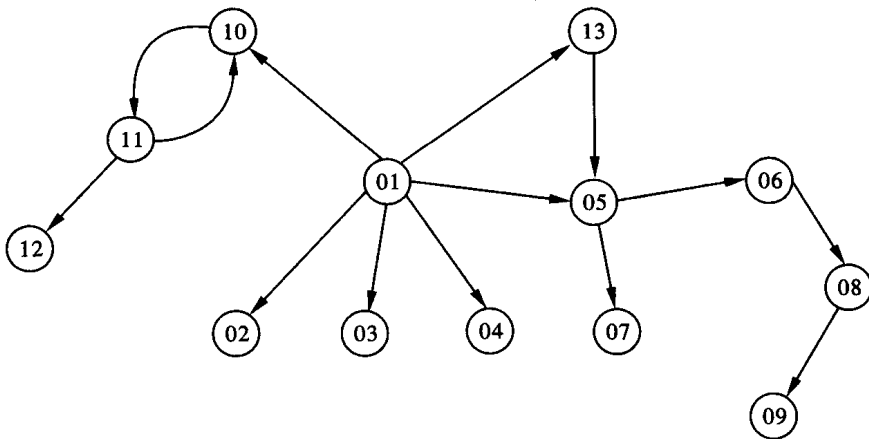


图 1-3 图型结构示意图

从图 1-3 可以看出,  $r$  是  $K$  上一个关系, 不妨叫教练与学员以及学员之间的熟知关系, 得到的是一个有向图。若再定义一个关系  $r$ , 为每个序偶元素的友好关系, 那么得到图 1-4, 由于友好关系是相互的, 显然是一个无向图。

$r = \{ \langle 01, 02 \rangle, \langle 01, 05 \rangle, \langle 01, 13 \rangle, \langle 02, 03 \rangle, \langle 02, 04 \rangle, \langle 02, 05 \rangle, \langle 03, 04 \rangle, \langle 03, 07 \rangle, \langle 03, 13 \rangle, \langle 04, 05 \rangle, \langle 04, 06 \rangle, \langle 04, 07 \rangle, \langle 05, 06 \rangle, \langle 05, 11 \rangle, \langle 06, 07 \rangle, \langle 06, 08 \rangle, \langle 06, 10 \rangle, \langle 06, 11 \rangle, \langle 08, 09 \rangle, \langle 08, 12 \rangle, \langle 09, 10 \rangle, \langle 10, 12 \rangle \}$

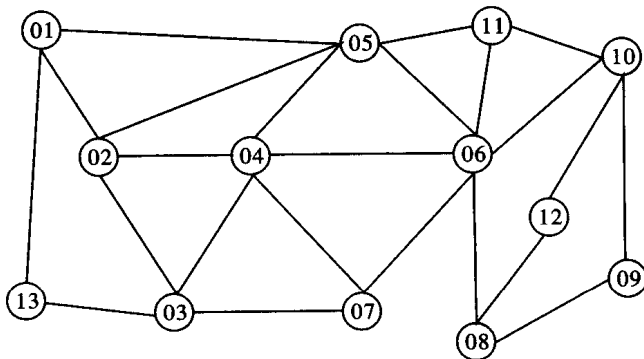


图 1-4 图型结构示意图

从图 1-3 和 1-4 可以看出, 结点之间的联系是  $M:N$  的 ( $M \geq 0, N \geq 0$ ), 也就是说每个结点可以有任意多个前驱结点和任意多个后继结点。我们把具有这种特点的数据结构叫做图型结构。

从图型结构、树型结构和线性结构的定义可知, 树型结构是图型结构的特殊情况 (即  $M=1$  的情况), 线性结构是树型结构的特殊情况 (即  $N=1$  的情况)。为了区别于线性结构, 人们把树