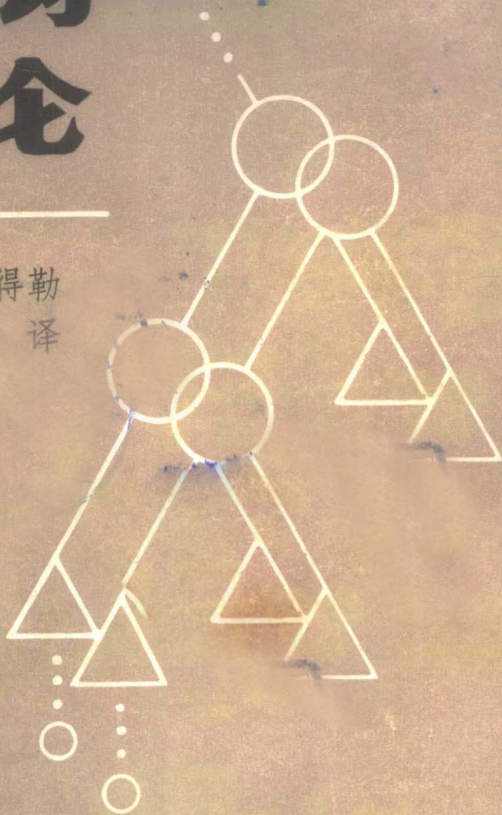


# 数据 结构 导论

---

[美] 约翰·贝得勒  
李建国 张小真 译



西南师范大学出版社

第1版 (2013年)

# 数据结构 导论

王健、王健、王健  
王健、王健、王健



清华大学出版社

# 数据结构导论

[美] 约翰·贝得勒

李建国 译  
张小真

西南师范大学出版社

一九八七年·重庆

## 数据结构导论

[美] 约翰·贝得勒

李建国 张小真 译

---

西南师范大学出版社出版  
(重庆北碚)。

新华书店重庆发行所发行  
重庆印制一厂印刷

\*

开本: 787×1092 1/32 印张: 7.75 字数: 176千

1988年4月第一版 1988年4月第一次印刷

印数: 1—2,000

## 译 者 的 话

数据结构是计算机科学核心课程之一，凡从事计算机专业教学、科研工作的人员都需要系统地学习这门课程。

目前国内正式出版的数据结构教材不多，有的教材由于难易不好取舍，或是起点过高，或是采用的描述方法和名词术语不通用，因而给教学、自学带来一定的困难。《数据结构导论》一书内容新颖，循序渐进，理论联系实际，资料丰富，图文并茂，深入浅出，易于阅读。更为可取的是该书各章多数分为必须掌握的必学部份和供提高用的选学部份，并附有程度不同的习题，因此可以满足不同层次的计算机科学，计算机软、硬件专业的教学要求，是一本适用的教材和参考书。为了适应计算机科学技术的发展，满足广大读者的需要，我们特地将这本书翻译出来，推荐给我国的计算机同行。

本书序言及一至七章由李建国同志翻译，八至十四章由张小真同志翻译。

原文中较为明显的错误已根据译者的理解予以改正。

限于译者水平，一定有不少错误，恳切希望读者指正。

译 者

1986年元月

## 序 言

应当强调有一门大学课程以专门讨论数据结构，而不在乎它究竟是称为计算机科学，还是计算机工程，以及信息系统，或者是其它名称。我们在制定计算机科学课程计划时，把数据结构放在第二学年的第二学期，这样做有两个原因：

1. 我们想确保学生在进入第三个学年时能知道什么是计算机科学；
2. 为后继的大学专业课程打下坚实的基础。

这本教科书要求使用它的学生具备下列起码的知识：

1. 粗通PASCAL；
2. 具有一年的使用结构程序设计技术的程序设计经验，最好是使用PASCAL的经验；
3. 除有足够的有关计算机是如何工作的知识之外，最好学过一学期汇编程序设计课程；
4. 需要有关计算和基本统计概念（中值、平均）方面的知识。这些知识可从为专修商业或社会科学的学生正式提供的典型教程中获得。总之，我们鼓励学生尽其所能去获得坚实的数学基础。

本教材早期的编写受到下述推荐专业课程的强烈影响：

1. 1968年专业课程，CACM11,3(1968年3月)，151—197页；
2. 由Austing和Engel推荐的大学计算机科学小型课程(CACM16,3(1973年3月)，139—147页)；
3. 由Cougar编辑的信息系统大学课程的课程报告

(CACM16, 12(1973年12月), 727—749页;

在编制教材的后期, 我们高兴地看到我们的数据结构课程与下述推荐的课程相一致:

4. 1978年专业课程-CACM22,3 (1979年3月) 147—165页;
5. IEEE-计算机学会委员会关于计算机科学和计算机工程专业课程的报告(1977年1月)。

我们认为, 这本教科书与1978年专业课程中的CS2和CS7, 信息系统专业课程报告中的UC-1和UC-8, IEEE专业课程软件工程部份的SE-2和SE-3以及小型大学课程推荐中的课程4是相适应的。它是作为一学期的数据结构课而编写的, 包括了我们在二年级数据结构课中所教过的内容, 和许多教科书的情况一样, 它拥有丰富的资料。

但是, 就本教科书的目的而言, 下述核心内容是必不可少的。当然, 教师还可以选择他认为合适的其它材料。每章的核心内容如下:

**第一章** 本章的每一节都必须掌握, 同时注意练习4或5、6和7。解第6和第7题要依赖后面一些章所讲的内容;

**第二章** 这是困难而又重要的一章, 它确定了本教科书的基调。确切地说, 学习数据结构技术是重要的, 因为它们影响到时间效率和空间利用率。本章建立的结构是建筑在教科书中介绍的测量技术之上的。对于具有起码基础知识的学生来说, 即使他们不理解本章的细节, 至少也应当了解所建立结构的功能;

**第三章** 这一章介绍了描述抽象结构的基本术语, 本书为这些抽象结构建立了多种表示方法。本章仅提出了逻辑概念, 这是因为我们认为必须理解逻辑概念, 而不能

把它与某个具体表示相混淆。某结构有多种表示，究竟采用那种表示做为问题的答案，应当取决于具体的应用；

**第四章** 第一节和第二节必须掌握。同样，第3节中两个栈的表示也应该掌握。在第3节里有关碰撞和使用指针的内容可以浏览一下或者忽略。对程序设计练习要求学生至少计算出循环重复次数并在循环次数适合时使用几种数据集合。最低限度应该给学生布置象练习6的简单队列或者象练习4和5的简单栈那样的习题；

**第五章** 本章包括PASCAL有关动态分配的基本内容，应该完全掌握；

**第六章** 第1节和第2节要求掌握。至少应将第3节提一下，这要由讲述前面内容化费时间的多少而定。本章备有许多好的程序设计练习。我们最喜爱布置的习题之一是第一章中的字检索练习，然后再用表检索做一次。大部份学生会看到用表检索解该题即刻就能得到显著的改进；

**第七章** 第1节非常重要。二叉树是一个重要的结构。莫尔斯码程序（练习习题1）是很适于布置给学生的，即使是感到困难的学生也能获得一点收益。第2节和第3节是完全独立的。 $n$ 维数组树的两个指针表示必须阅读。为了了解哪些学生确实掌握了这些内容，最好布置类似习题9的字典树习题。重要的不是树的三个指针表示，而是第4节中的树的检索；

**第八章** 在这一章里，郑重强调有向图的向量表示，并且简要说明它和动态分配链接记录表示的关系。要求掌握第1节到第3节。第4节的意图也必须理解，它讲述如



何提高速度。我们有意缩减了第5节的内容，并且给出了与一个典型图论习题有关的程序设计习题。第6节全然是一个选用材料，对许多学生来说，它是相当困难的。建议把它做为选学内容布置给学习较好的学生。该内容是VSAM或B\*树文件结构的基础；

第九章 前四节包含有关分类的一般性内容，应该完全掌握。该部份也包括了使用多路归并分类的磁带分类的内容。第5节全是选用材料；

第十章 前两节是基本内容。第3节和第4节研究了由地址计算提出的杂凑结构。第5节可以做为选学内容供一些教师斟酌处理。此节介绍了块顺序检索的两个重要特点：

- a. 它基本上是顺序检索和二分法检索中的检索计时与更新计时的中间物；
- b. 它是ISAM文件发展的基础；

第十一章 第十一章至第十四章从某种程度上说来都可作为选用部份，如何选择取决于教师所强调的内容。许多人可能赞同早一点提出递归概念。在这里提出它或许会使我们有机会回顾一些领域的知识，特别是树和图。在回顾中让学生从另一观点采用递归这个工具，将使他们对这些知识获得新的理解；

第十二章 这一章对用于执行动态存贮分配的某些技术做了一般性综述。本章并不是很容易理解的；

第十三章 本章任凭读者选择。第1节和第2节完全是典型材料。我们建议学习第3节时从一个CAD/CAM问题入手。第4节是为游戏爱好者编写的。第5节讨论我本人所喜爱的、著名的海明纠错码，它是集合论的妙用；

第十四章 对数据结构的真正挑战是用适当的数据结构配以可采用的硬件来解决实际问题。数据库就是这样的领域之一。

总的说来，这本教科书的核心是第四章至第十章。其它各章都用来支持这一核心内容。一些人可能发现本书的结构很奇特。我们关心的是在这个学期里尽早地介绍动态分配，以便在本学期能够早一点提出合适的程序设计任务并使学生们有足够的时间去解题。我们同样认为内容难度的螺旋式上升是重要的。这就是在我们进入一个较深的课题之前，本教材中几次提出同一课题并给学生时间来消化所学内容的缘故。

全部程序都采用同一模式构成。对程序不加注释有一些理由。其中主要的理由是，这样做可使每个程序要么在单页上呈现，要么在面对面的两页上呈现。我们认为，让学生不翻页就可看到整个程序，以便让他们直观地观察一个程序的控制结构这一作法，从教育的观点来看是比较合理的。所有占两页的程序都在逻辑点上断开，特别是在一个过程定义前断开，这样做有利于学生阅读程序。

我要明确地宣布，有许多人直接或间接地对本书做出了贡献。我有幸遇到许多给我以积极影响的人，其中有我在宾夕法尼亚州的我的博士研究生，Neil Jones, Raymond Yeh, Preston Hammer, Gene Singletary, Bruce Barnes 和 Ben Honkanen，这里列出的仅仅是一部份人的名字。对本书同样有影响的是 Dick Austing（他在1972年对我们的大学计算机科学大纲作出了评价）和 Jerry Wagener。Jerry 向我介绍了莫尔斯码问题，这是一个可以用来向学生引进二叉树概念的最好课题。

本教科书使用了麻萨诸塞的GTE 实验室中 IBM3033 的

Wateloo SCRIPT 和与系统6相连接的激光打印机进行排版。GTE 实验室的 Paul Ritt 博士和外设技术部主任 John Ambrose 博士为我提供了许多机会使用他们实验室的设备，给我以很大帮助。还应称赞的是他们通过最近建立的学术顾问委员会不断地关注大学——政府——工业之间的相互配合。

Scranton 大学的许多同事也给予我不少鼓励和支持。特别要感谢院长 Bill Parente 和我们数学系的一些同事，如 Ed Bartley, Gary Eichelsdorfer, Bernie Johns 和 Ron Sinzdak, 尽管他们并不确切了解我所做的工作，但在道义上给了我很大支持。

John Meike, Andrew Plonsky 和 Chip Taylor 对我提出了极有价值的批评意见和建议。Andy 为我提供了本书索引的程序。在这里还要感谢我的学生，他们试用了本书的初稿，他们之中的许多人还直接提供了各种类型的帮助。其中有 Peggy Wagner, Linda Stercula, Greg Bohn, Mark Wisniewski 和 Laura Antinori。

Allyn-Bacon 的 Mike Meehan 在考虑编排，图表的技术性细节方面为我提供了支持。他还对本书作了三次关键性的审查。我冒昧地把这些审查中的许多建议纳入了书中。我只希望我对他们的许多建议的解释是妥当的。

但还不仅止于此，最后我要感谢两个人，他们对本书的完成作了最后的工作。Deborah Schneck 在图表方面作了极好的工作。她出色地整理了我的草图。我的朋友 Anne Lavelle 校对了本书并且排除了许多明显的排印错误和语法错误。如果还有什么要说的话，那就是我应对本书中的错误负最后责任，因为为本书作出贡献的人，他们都是值得依赖的。

约翰·贝得勒

# 目 录

译者的话  
序 言

<b>第一章</b>	<b>数据结构介绍</b> .....	<b>1</b>
1:1	逻辑结构与物理结构之比较.....	1
1:2	几种数据结构.....	3
1:3	权衡.....	6
1:4	指针.....	7
1:5	练习.....	11
<b>第二章</b>	<b>程序量度</b> .....	<b>17</b>
2:1	空间和时间量度.....	17
2:2	计时基础.....	25
2:3	计时技术——图形法.....	28
2:4	计时技术——级数求和及计算.....	30
2:5	计时控制.....	33
2:6	识别某些计时.....	34
2:7	练习.....	39
<b>第三章</b>	<b>几种逻辑结构</b> .....	<b>40</b>
3:1	顺序结构.....	40
3:2	具有特殊限制访问的顺序结构.....	42

3:3.	图.....	45
3:4.	有向图.....	47
3:5.	树.....	48
3:6.	练习.....	52
<b>第四章</b>	<b>队列和栈.....</b>	<b>53</b>
4:1.	队列.....	53
4:2.	下推栈.....	55
4:3.	多重结构.....	64
4:4.	评论.....	67
4:5.	练习.....	68
<b>第五章</b>	<b>指针和动态分配.....</b>	<b>71</b>
5:1.	内存访问.....	71
5:2.	记录.....	72
5:3.	指针变量和动态记录.....	74
5:4.	动态分配举例.....	76
<b>第六章</b>	<b>表.....</b>	<b>79</b>
6:1.	基础单向表.....	79
6:2.	循环表.....	85
6:3.	双向链接表.....	89
6:4.	练习.....	90
<b>第七章</b>	<b>树.....</b>	<b>92</b>
7:1.	二叉树——数组表示法.....	92
7:2.	二叉树——记录表示法.....	96

7:3.	一般树表示	98
7:4.	树检索	106
7:5.	练习	112
<b>第八章</b>	<b>图、有向图和其它的树</b>	<b>114</b>
8:1.	有向图和图的基本表示法	114
8:2.	其它的图表示法	119
8:3.	链接表示法	121
8:4.	加速	123
8:5.	一些图论问题	125
8:6.	AVL 树的重新构造	131
8:7.	练习	136
<b>第九章</b>	<b>分类</b>	<b>141</b>
9:1.	选择和交换法	141
9:2.	希尔分类	145
9:3.	快速分类和树分类	148
9:4.	归并	149
9:5.	两种特殊情况的分类法	159
9:6.	练习	160
<b>第十章</b>	<b>检索和更新</b>	<b>161</b>
10:1.	顺序检索和更新	161
10:2.	二分法检索	165
10:3.	直接地址检索和更新	167
10:4.	杂凑法	170
10:5.	块顺序检索和更新	171

10:6.	短评 .....	174
10:7.	练习 .....	175
<b>第十一章</b>	<b>递归</b> .....	<b>176</b>
11:1.	直觉与数学 .....	176
11:2.	递归程序设计基础 .....	177
11:3.	实现递归 .....	181
11:4.	练习 .....	181
<b>第十二章</b>	<b>存贮分配</b> .....	<b>182</b>
12:1.	动态分配概念 .....	182
12:2.	可用空间表 .....	183
12:3.	标记/释放 .....	189
12:4.	废料收集 .....	190
12:5.	动态分配 .....	192
12:6.	练习 .....	193
<b>第十三章</b>	<b>一些有趣的问题</b> .....	<b>195</b>
13:1.	稀疏矩阵 .....	195
13:2.	多项式计算 .....	198
13:3.	多边形面积 .....	200
13:4.	加密字母表 .....	201
13:5.	纠错码 .....	203
13:6.	练习 .....	207
<b>第十四章</b>	<b>数据结构和数据库系统</b> .....	<b>209</b>
14:1.	数据库管理 .....	210

14:2.	层次数据模型 .....	212
14:3.	图模型 .....	215
14:4.	关系模型 .....	218
14:5.	短评 .....	220
14:6.	练习 .....	221
<b>参考书目</b>	.....	<b>221</b>



## 第一章 数据结构介绍

“结构”一词的含义无需加以说明。然而，当要求说明一个建筑物，一个大学或者一个公司的结构时，不同的人根据他们的观点会给出不同的回答。这是许多程序设计问题的根本所在，换句话说，需要有一个正确的观点以便恰当地找到某个问题的结构以及导致问题有效解决的结构。就程序结构或数据结构而言，我们指的既是它怎样存贮在计算机中的真实结构，又指的是如何使用的隐含结构。

数据结构 这个标题不应被误解。数据结构强调的是用许多不同方法表示信息的形式。然而，如果不能测定结构在与其它技术有关的空间和时间方面的代价，那么组织数据的这些方法也就几乎无用。熟悉“结构”一词的衍生词极其重要。此外，“终极数据结构”并非是我们的目标，我们要学会进行“权衡”。即面临表示或访问信息的几种方法时，特别是在用一种方法获得某些利益的情况下，存在着某个合适的代价，我们应该做必要的选择。

### 1:1. 逻辑结构与物理结构之比较

在一个物体内部可能有多种不同的结构。一个建筑物可能被建筑师看作多维空间的特殊构造，对于同一个建筑物，结构工程师却可能把它看作是一个横梁和其它建筑部件受力的集合，而建筑物的主人则又可能根据使用的观点来看待这