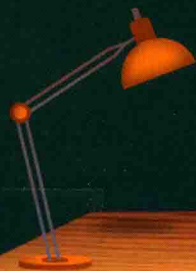


趣学数据结构

陈小玉 著

- 完美图解 + 丰富实例，复杂问题简单化
为基本操作配以图解，用数据结构解决生活中的实际问题，学习过程更加轻松有趣。
- 原理分析 + 实战演练，真正地学以致用
通俗化讲解基础知识，在实战中体会数据结构的设计和操作，锻炼独立思考的能力。
- 配套代码 + 在线答疑，为学习保驾护航
提供书中的范例程序源代码、练习题以及答案解析，并在博客和 QQ 群中答疑解惑。



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



趣学数据结构

陈小玉 著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

趣学数据结构 / 陈小玉著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2019. 9

ISBN 978-7-115-51383-0

I. ①趣… II. ①陈… III. ①C++语言—数据结构
IV. ①TP311.12②TP312.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第107620号

内 容 提 要

本书从趣味故事引入算法复杂性计算及数据结构基础内容, 涵盖线性结构、树形结构和图形结构, 包括链表、栈和队列、树和图的应用等。本书内容还涉及数据结构的基本应用(包括各种查找、排序等)和高级应用(包括优先队列、并查集、B-树、B+树和红黑树等)。通过大量图解将抽象数据模型简单通俗化, 语言表述浅显易懂, 并结合有趣的实例帮助读者轻松掌握数据结构。

本书可作为程序员的学习用书, 也适合没有太多编程经验但又对数据结构有强烈兴趣的初学者使用, 同时也可作为高等院校计算机、数学及相关专业的师生用书, 或学科竞赛的辅导用书和培训学校的教材。

-
- ◆ 著 陈小玉
责任编辑 张 爽
责任印制 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市君旺印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 31
字数: 697千字 2019年9月第1版
印数: 1-2400册 2019年9月河北第1次印刷
-

定价: 99.00元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字20170147号

前言

数据结构+算法 = 程序

——Niklaus Wirth

如果你问我，计算机科学的本质是什么，我会告诉你，它是一门关于如何组织数据和如何操作这些数据的科学。在计算机科学中，我们不仅要处理数据，还要处理数据之间的关系。这就是为什么我们说“数据结构+算法=程序”的原因。数据是程序的基石，而算法则是程序的灵魂。没有数据，程序就像是一座没有地基的房子；没有算法，程序就像是一堆没有灵魂的碎片。

在计算机科学中，我们经常会遇到一些复杂的问题，比如如何高效地查找数据，如何高效地排序数据，如何高效地处理大量的数据。这些问题看似简单，但实际上却非常复杂。这就是为什么我们需要学习数据结构和算法的原因。通过学习数据结构和算法，我们可以掌握解决这些问题的方法，从而提高我们的编程效率和解决问题的能力。

希望这本书能帮助你理解数据结构和算法的重要性，并让你在学习的过程中受益匪浅。

一、引言：看清数据结构

当我们遇到一个复杂的问题时，首先应该做的是看清问题的本质。在计算机科学中，我们经常会遇到一些复杂的问题，比如如何高效地查找数据，如何高效地排序数据，如何高效地处理大量的数据。这些问题看似简单，但实际上却非常复杂。这就是为什么我们需要学习数据结构和算法的原因。通过学习数据结构和算法，我们可以掌握解决这些问题的方法，从而提高我们的编程效率和解决问题的能力。

前言

2017年8月，本着让更多的人轻松学习算法的初心，我写作了第一本书《趣学算法》，该书在出版后受到广大读者一致好评，在一年内重印了10次，并输出了繁体版的版权。一位读者对我说，读这本书读到“停不下来”，我又何尝不是呢？写书写到“停不下来”，这是作者和读者的巨大共鸣！在交流学习算法的同时，越来越多的学生反映数据结构晦涩难懂，问我能不能写一本《趣学数据结构》。说实在的，写书是一项极其繁重的工作，每一句话，每一个图，都需要精心琢磨。正在我犹豫不决之际，一件事情坚定了我写作本书的信心。

招聘趣事

如果你关注计算机专业招聘试题，会发现越是大型公司，问的问题越基础，有的甚至问你什么是栈和队列，反而一些小公司会关心你做过什么系统。从关注点的不同可以看出，大公司更注重基础扎实和发展潜力，而小公司希望你立刻能够为其干活。可以这样比喻：小公司喜欢细而长的竹子，大公司更喜欢碗口粗的竹笋。

我曾经推荐一个学生到某知名公司，没多久，学生向我说了应聘的事情：“我介绍我开发了企业管理系统、在线商城系统等，没想到他问我使用了什么数据结构和算法，我懂很多技术，那么多功能我都实现了，他不问，却问我使用了什么数据结构和算法，你说搞笑不？数据结构和算法我早就忘了，我会开发软件还不行吗？”人力资源总监也反馈过来意见：“很搞笑，这个学生做了不少系统，却说根本没用到数据结构和算法。”

既然双方都觉得这是一件搞笑的事情，那么我们就摊开来看，数据结构到底是什么。

拨云见日，看清数据结构

当我们遇到一个实际问题时，首先需要解决两件事：

- (1) 如何将数据存储在计算机中；
- (2) 用什么方法和策略解决问题。

前者是数据结构，后者是算法。只有数据结构没有算法，相当于只把数据存储在计算机中，而没有有效的方法去处理，就像一幢只有框架的烂尾楼；若只有算法，没有数据结构，就像沙漠里的海市蜃楼，只不过是空中楼阁罢了。

数据是一切能输入计算机中的信息的总和，结构是指数据之间的关系。数据结构就是数据及其之间的关系有效地存储在计算机中并进行基本操作。算法是对特定问题求解步骤的一种描述，通俗讲就是解决问题的方法和策略。

在遇到一个实际问题时，要充分利用自己所学的数据结构，将数据及其之间的关系有效地存储在计算机中，然后选择合适的算法策略，并用程序高效地实现。这就是 Niklaus Wirth 教授所说的：“数据结构+算法=程序”。

为什么要学习数据结构

高校的计算机专业为本科生都开设了数据结构课程，它是计算机学科知识结构的核心理念和技术体系的基石，在研究生考试中也是必考科目。随着科学技术的飞速发展，数据结构的基础性地位不仅没有动摇，反而因近年来算法工程师的高薪形势，而得到了业内空前的重视。很多人认为基本的数据结构及操作已经在高级语言（如 C++、Java 语言）中封装，栈、队列、排序、优先队列等都可以直接调用库函数，学会怎么调用就好了，为什么要重复“造轮子”？那么到底有没有必要好好学习数据结构呢？

先看学习数据结构有什么用处。

(1) 学习有效存储数据的方法。很多学生在学习数据结构时，问我要不要把单链表插入、删除背下来？要不合上书就不会写了。我非常诧异，为什么要背？理工科技术知识很少需要记忆的，是用的，用的！学习知识不能只靠死记硬背，更重要的是学习处理问题的方法。如何有效地存储数据，不同的数据结构产生什么样的算法复杂性，有没有更好的存储方法提高算法的效率？

(2) 处理具有复杂关系的数据。现实中很多具有复杂关系的数据无法通过简单的库函数调用实现。如同现在很多芯片高度集成，完全不需要知道芯片内部如何，直接使用就行了。但是，如果在现实中遇到一个复杂问题，现有的芯片根本无法解决，或者一个芯片只能完成其中一个功能，而我们需要的是完成该复杂问题的一个集成芯片，这时就需要运用所学的数据结构知识来高效处理具有复杂关系的数据。

(3) 提高算法效率。很多问题的基础数据结构运行效率较低，需要借助高级数据结构或通过改进数据结构来提高算法效率。

通过学习数据结构，更加准确和深刻地理解不同数据结构之间的共性和联系，学会选择和改进数据结构，高效地设计并实现各种算法，这才是数据结构的精髓。

数据结构为什么那么难

网络上太多的同学吐槽被“虐”，如“滔滔江水连绵不绝”，数据结构太难了！真的很难

吗？其实数据结构只是讲了3部分内容：**线性结构、树和图**。到底难在哪里呢？我通过调查，了解到数据结构难学大概有以下4个原因。

(1) 无法接受它的描述方式。数据结构的描述大多是抽象的形式，我们习惯了使用自然语言表达，难以接受数据结构的抽象表达。不止一个学生问我，书上的“ElemType”到底是什么类型？运行时怎么经常提示错误。它的意思就是“元素类型”，只是这样来描述，你需要什么类型就写什么类型，例如 int。这样的表达方式会让不少人感到崩溃。

(2) 不知道它有什么用处。尽管很多人学习数据结构，但目的各不相同。有的人是应付考试，有的人是参加算法竞赛需要，而很多人不太清楚学习数据结构有什么用处，迷迷糊糊看书、做题、考试。

(3) 体会不到其中的妙处。由于教材、教师等各种因素影响，很多学生没有体会到数据结构处理数据的妙处，经常为学不会而焦头烂额，学习重在体会其中的乐趣，有乐趣才有兴趣，兴趣是最好的驱动力。

(4) 语言基础不好。我一直强调先看图解，理清思路，再上机。可还是有很多同学已经理解了思路后，因为缺少 main 函数，输入/输出格式不对，缺少括号等各种语言问题卡壳，而这一切都被戴上了“数据结构太难了”的大帽子。

数据结构学习秘籍

在讲学习秘籍之前，我们首先了解一下数据结构学习的3种境界。

(1) 会数据结构的基本操作。学会各种数据结构的基本操作，即取值、查找、插入、删除等，是最基础的要求。先看图解，理解各种数据结构的定义，操作方法，然后看代码，尝试自己动手上机运行，逐渐掌握基本操作。在初学时，要想理解数据结构，一定要学会画图。通过画图形象表达，能更好地体会其中的数据结构关系。因此，初学阶段学习利器是：画图、理解、画图。

(2) 会利用数据结构解决实际问题。在掌握了书中的基本操作之后，就可以尝试利用数据结构解决一些实际问题了。先学经典应用问题的解决方法，体会数据结构的使用方法，再做题，独立设计数据结构解决问题。要想熟练应用就必须做大量的题，在做题的过程中体会其中的方法。最好进行专项练习，比如线性表问题、二叉树问题、图问题。这一阶段的学习利器是：做题、反思、做题。

(3) 熟练使用和改进数据结构，优化算法。这是最高境界了，也是学习数据结构的精髓所在，单独学习数据结构是无法达到这种境界的。数据结构与算法相辅相成，需要在学习算法的过程中慢慢修炼。在学习算法的同时，逐步熟练应用、改进数据结构，慢慢体会不同数据结构和算法策略的算法复杂性，最终学会利用数据结构改进和优化算法。这一阶段已经在数据结构之上，可以通过在 ACM 测试系统上刷各种算法题，体会数据结构在算法设计中的

4 | 前言

应用。这一阶段的学习利器是：刷题、总结、刷题。

本书特色

本书具有五大特色。

(1) 完美图解，通俗易懂。学习数据结构最好的办法就是画图、画图、画图。本书中的每一个基本操作和演示都有图解，有了图解，一切就都变得简单，迎刃而解。

(2) 实例丰富，简单有趣。本书结合大量实例，讲述如何利用数据结构解决实际问题，使复杂难懂的问题变得简单有趣，给读者带来巨大的阅读乐趣，使读者在阅读中不知不觉地学会数据结构知识，体会数据结构的妙处。

(3) 深入浅出，透析本质。本书采用简洁易懂的代码描述，抓住本质，通俗描述及注释使代码更加易懂。本书不仅对数据结构设计和操作描述全面细致，而且有复杂性分析过程。

(4) 实战演练，循序渐进。本书在每一个数据结构讲解清楚后，进行实战演练，使读者在实战中体会数据结构的设计和操作，增强自信，从而提高了读者独立思考、自己动手实践的能力。丰富的练习题和思考题及时检验对所学知识的掌握情况，为读者从小问题出发，逐步解决大型复杂性问题奠定基础。

(5) 网络资源，技术支持。本书为读者提供本书所有范例程序的源代码、练习题以及答案解析，这些源代码可以自由修改编译，以符合自己的需要。本书提供源代码执行、调试说明书，提供博客、QQ群技术支持，为读者答疑解惑。

本书内容

本书包括10章。

- 第1章是基础知识，介绍数据结构基础和算法复杂性的计算方法。
- 第2~5章是线性结构，讲解线性表、栈和队列、字符串、数组等的基本操作和应用。
- 第6章是树形结构，讲解树、二叉树、线索二叉树、树和森林以及树的经典应用。
- 第7章是图形结构，讲解图的存储、遍历以及图的经典应用。
- 第8~9章是数据结构的基本应用，讲解查找、排序的方法和算法复杂性比较。
- 第10章是高级数据结构及其应用，讲解优先队列、并查集、B-树、B+树、红黑树等。

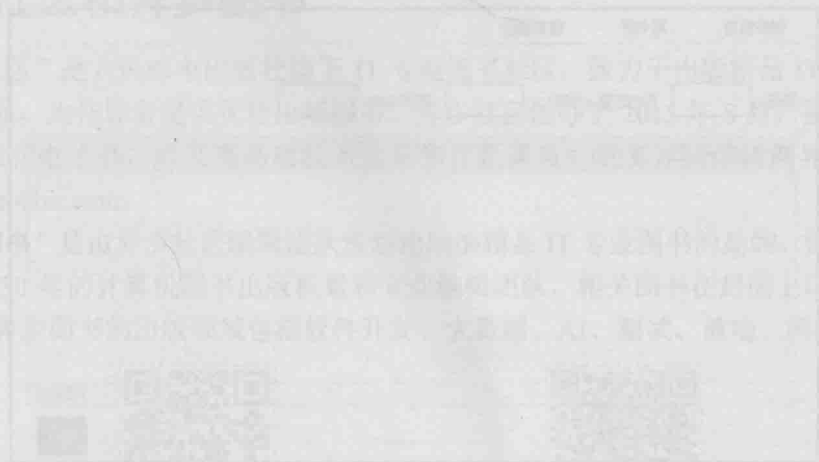
本书的每一章中都有大量图解，并给出数据结构的基本操作，最后结合实例帮助读者巩固相关知识点，力求学以致用、举一反三。

建议和反馈

写一本书是一项极其琐碎、繁重的工作，尽管我已经竭力使本书和网络支持接近完美，但仍然可能存在很多漏洞和瑕疵。欢迎读者提供关于本书的反馈意见，因为对本书的意见和建议有利于我们改进和提高，以帮助更多的读者。如果对本书有什么意见和建议，或者有问题需要帮助，可以加入 QQ 群 887694770，也可以致信 rainchxy@126.com，我将不胜感激。

感恩与致谢

感谢我的家人和朋友在本书编写过程中提供的大力支持。感谢人民邮电出版社的张爽编辑认真负责促成本书的早日出版，感谢提供宝贵意见的同事们，感谢提供技术支持的同学们。感恩遇到这么多良师益友！



资源与支持

本书由异步社区出品，社区 (<https://www.epubit.com/>) 为您提供相关资源和后续服务。

配套资源

本书提供范例程序源代码，请在异步社区本书页面中点击 **配套资源**，跳转到下载界面，按提示进行操作即可。注意：为保证购书读者的权益，该操作会给出相关提示，要求输入提取码进行验证。

提交勘误

作者和编辑尽最大努力来确保书中内容的准确性，但难免会存在疏漏。欢迎您将发现的问题反馈给我们，帮助我们提升图书的质量。

当您发现错误时，请登录异步社区，按书名搜索，进入本书页面，点击“提交勘误”，输入勘误信息，点击“提交”按钮即可。本书的作者和编辑会对您提交的勘误进行审核，确认并接受后，您将获赠异步社区的 100 积分。积分可用于在异步社区兑换优惠券、样书或奖品。

详细信息 写书评 提交勘误

页码: 页内位置 (行数): 勘误次数:

B I U

字数统计

提交

扫码关注本书

扫描下方二维码，您将会在异步社区微信服务号中看到本书信息及相关的服务提示。



与我们联系

我们的联系邮箱是 contact@epubit.com.cn。

如果您对本书有任何疑问或建议，请您发邮件给我们，请在邮件标题中注明本书书名，以便我们更高效地做出反馈。

如果您有兴趣出版图书、录制教学视频，或者参与图书翻译、技术审校等工作，可以发邮件给我们；有意出版图书的作者也可以到异步社区在线提交投稿（直接访问 www.epubit.com/selfpublish/submission 即可）。

如果您是学校、培训机构或企业，想批量购买本书或异步社区出版的其他图书，也可以发邮件给我们。

如果您在网上发现有针对异步社区出品图书的各种形式的盗版行为，包括对图书全部或部分内容的非授权传播，请您将怀疑有侵权行为的链接发邮件给我们。您的这一举动是对作者权益的保护，也是我们持续为您提供有价值的内容的动力之源。

关于异步社区和异步图书

“异步社区”是人民邮电出版社旗下 IT 专业图书社区，致力于出版精品 IT 技术图书和相关学习产品，为作译者提供优质出版服务。异步社区创办于 2015 年 8 月，提供大量精品 IT 技术图书和电子书，以及高品质技术文章和视频课程。更多详情请访问异步社区官网 <https://www.epubit.com>。

“异步图书”是由异步社区编辑团队策划出版的精品 IT 专业图书的品牌，依托于人民邮电出版社近 30 年的计算机图书出版积累和专业编辑团队，相关图书在封面上印有异步图书的 LOGO。异步图书的出版领域包括软件开发、大数据、AI、测试、前端、网络技术等。



异步社区



微信服务号

目 录

第 1 章 数据结构入门	1
1.1 数据结构基础知识	2
1.2 算法复杂度	10
1.3 一棋盘麦子	17
1.4 神奇魔鬼序列	18
1.5 本章要点	23
第 2 章 线性表	24
2.1 顺序表	25
2.1.1 静态分配	25
2.1.2 动态分配	26
2.1.3 顺序表的基本操作	28
2.2 单链表	35
2.2.1 单链表的存储方式	35
2.2.2 单链表的基本操作	37
2.3 双向链表	48
2.3.1 双向链表的存储方式	48
2.3.2 双向链表的基本操作	48
2.4 循环链表	54
2.5 线性表的应用	55
2.5.1 合并有序顺序表	55
2.5.2 合并有序链表	60
2.5.3 就地逆置单链表	64
2.5.4 查找链表的中间节点	68
2.5.5 删除链表中的重复元素	71
2.6 线性表学习秘籍	75
第 3 章 栈和队列	78
3.1 顺序栈	79

2 | 目录

3.2	链栈	83
3.3	顺序队列	87
3.3.1	顺序队列的定义	88
3.3.2	循环队列的定义	92
3.3.3	循环队列的基本操作	96
3.4	链队列	98
3.5	栈和队列的应用	102
3.5.1	数制的转换	102
3.5.2	回文判定	104
3.5.3	双端队列	106
3.6	栈和队列学习秘籍	116
第 4 章	字符串	121
4.1	字符串	122
4.2	模式匹配 BF 算法	124
4.3	模式匹配 KMP 算法	128
4.4	改进的 KMP 算法	133
4.5	字符串的应用——病毒检测	135
4.6	字符串学习秘籍	137
第 5 章	数组与广义表	139
5.1	数组的顺序存储	140
5.2	特殊矩阵的压缩存储	143
5.2.1	对称矩阵	143
5.2.2	三角矩阵	145
5.2.3	对角矩阵	146
5.2.4	稀疏矩阵	150
5.3	广义表	151
5.4	好玩贪吃蛇——数字矩阵	151
5.5	数组与广义表学习秘籍	156
第 6 章	树	158
6.1	树	159
6.1.1	树的定义	159

6.1.2	树的存储结构	162
6.1.3	树、森林与二叉树的转换	165
6.2	二叉树	167
6.2.1	二叉树的性质	168
6.2.2	二叉树的存储结构	173
6.2.3	二叉树的创建	175
6.3	二叉树的遍历	183
6.3.1	先序遍历	183
6.3.2	中序遍历	186
6.3.3	后序遍历	188
6.3.4	层次遍历	192
6.4	线索二叉树	196
6.4.1	线索二叉树存储结构	196
6.4.2	构造线索二叉树	197
6.4.3	遍历线索二叉树	201
6.5	树和森林的遍历	204
6.5.1	树的遍历	204
6.5.2	森林的遍历	209
6.6	树的应用	212
6.6.1	二叉树的深度	212
6.6.2	二叉树的叶子数	213
6.6.3	三元组创建二叉树	214
6.6.4	遍历序列还原树	218
6.6.5	哈夫曼树	223
6.7	树学习秘籍	239
第7章	图	241
7.1	图的基本术语	242
7.2	图的存储结构	249
7.2.1	邻接矩阵	250
7.2.2	邻接表	256
7.2.3	十字链表	266
7.2.4	邻接多重表	268
7.3	图的遍历	270

7.3.1	广度优先搜索	270
7.3.2	深度优先搜索	275
7.4	图的应用	279
7.4.1	单源最短路径——Dijkstra	279
7.4.2	各顶点之间最短路径——Floyd	287
7.4.3	最小生成树——prim	293
7.4.4	最小生成树——kruskal	305
7.4.5	拓扑排序	308
7.4.6	关键路径	316
7.5	图学习秘籍	324
第8章	查找	327
8.1	线性表查找	328
8.1.1	顺序查找	328
8.1.2	折半查找	330
8.2	树表查找	335
8.2.1	二叉查找树	335
8.2.2	平衡二叉查找树	346
8.3	散列表的查找	361
8.3.1	散列函数	361
8.3.2	处理冲突的方法	364
8.3.3	散列查找及性能分析	376
8.4	查找学习秘籍	378
第9章	排序	379
9.1	插入排序	381
9.1.1	直接插入排序	381
9.1.2	希尔排序	387
9.2	交换排序	389
9.2.1	冒泡排序	389
9.2.2	快速排序	392
9.3	选择排序	401
9.3.1	简单选择排序	401
9.3.2	堆排序	403

9.4	合并排序	412
9.5	分配排序	417
9.5.1	桶排序	417
9.5.2	基数排序	418
9.6	排序学习秘籍	421
第 10 章	高级数据结构	425
10.1	并查集	426
10.2	优先队列	430
10.2.1	出队	431
10.2.2	入队	433
10.2.3	构建初始堆	435
10.3	B-树	437
10.3.1	树高与性能	439
10.3.2	查找	440
10.3.3	插入	441
10.3.4	删除	444
10.4	B+树	449
10.4.1	查找	450
10.4.2	插入	451
10.4.3	删除	454
10.5	红黑树	457
10.5.1	红黑树的定义	457
10.5.2	树高与性能	458
10.5.3	红黑树与 4 阶 B 树	459
10.5.4	查找	460
10.5.5	插入	460
10.5.6	删除	466
10.6	高级数据结构学习秘籍	476

Chapter

1

数据结构入门

- 1.1 数据结构基础知识
- 1.2 算法复杂度
- 1.3 一棋盘麦子
- 1.4 神奇魔鬼序列
- 1.5 本章要点