全国高等院校“十二五”规划教材

数据结构
—C语言描述

曹丽君　崔　勇　蔡黔鹰　主编

中国农业科学技术出版社

全国高等院校“十二五”规划教材

数据结构
—C语言描述

曹丽君 崔 勇 蔡黔鹰 主编

常州大学图书馆
藏书章

中国农业科学技术出版社

图书在版编目（CIP）数据

数据结构：C 语言描述 / 曹丽君，崔勇，蔡黔鹰主编. —北京：中国农业科学技术出版社，2012. 8
ISBN 978 - 7 - 5116 - 0940 - 3

Ⅰ. ①数… Ⅱ. ①曹… ②崔… ③蔡… Ⅲ. ①数据结构②C 语言 - 程序设计 Ⅳ. ①TP311. 12②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 121749 号

责任编辑 闫庆健 胡晓蕾
责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编：100081
电 话 (010)82106632(编辑室)(010)82109704(发行部)
(010)82109709(读者服务部)
传 真 (010) 82106632
网 址 http://www. castp. cn
经 销 者 各地新华书店
印 刷 者 秦皇岛市昌黎文苑印刷有限公司
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 16. 375
字 数 404 千字
版 次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷
定 价 25. 00 元

版权所有 · 翻印必究

《数据结构——C 语言描述》编委会

主　　编　曹丽君　崔　勇　蔡黔鹰

副 主 编　周艳红　陈　鸿　肖　娟　于张红

编　　委　李玉香　康　燕　王　纲

刘西印　刘　闪　周铁军

内容提要

本书共分为10章，包括绪论、线性表、栈与队列、串、数组与广义表、树和二叉树、图、查找、内部排序、外部排序等内容。书中详细叙述了线性结构、树结构和图结构中的数据表示及数据处理的方法，对查找和排序两种重要数据处理的技术进行了详细探讨。每章均附有小结与典型例题，便于学习者总结提高。每章后面都有习题，并且在附录中给出了2套考研测试题，便于学习者模拟练习和考研时参考。

根据本书作者多年的教学经验，在书中给出了许多经典算法，并且书中所有算法都用C语言进行了描述，可读性好，应用性强，便于学者理解和掌握数据结构中的数据表示方法和数据处理方法。

本书可作为高等院校计算机及相关专业数据结构课程教材，也可供从事计算机应用开发的工程技术人员参考使用。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

前　言

早在20世纪80年代初，数据结构课程就已成为国内计算机专业教学计划中的核心课程。数据结构课程是计算机或信息等相关专业的一门重要专业基础课程，对专业的学习起着举足轻重的作用，同时也是各高等院校研究生的入学考试科目之一。

用计算机来解决现实世界中的问题，已进入了全方位、多层次应用新阶段，使用计算机进行信息处理，需要将现实的事物信息数字化。数字化后的信息，我们通常称其为数据，数据在计算机中有着统一的表示方法，并成为被计算机程序处理的符号集合。所有研究数据在计算机中的表示方法、关联方法、存储方法及在其延伸的典型处理方法，是数据结构课程的主要内容。

数据结构作为专业基础课程，通常在大学二年级开设，为前序性计算机语言课程进行总结，同时也将为后续专业课程学习打下基础，它承上启下，对计算机技术和信息技术人才的能力培养至关重要。通过本课程的学习，学生能够以问题的求解方法、程序设计方法及一些典型的数据结构算法作为研究对象，学会分析数据对象的特征，掌握数据组织方法和在计算机中的表示方法，为数据选择出适当的逻辑结构，存储结构及相应的处理算法，能初步掌握算法的时间、空间复杂度分析的基础，培养良好的程序设计风格，并有了进行复杂程序设计的技能。

本书“语言叙述通俗易懂，讲解由浅入深，算法可读性好，应用性强，易教易学”。使用标准C作为算法描述语言为指导，使数据结构的表示简化，突出了算法的实质。并且书中所有算法均在TURBO C2.0环境下经调试通过。

课程教学资源丰富是本书的特色，编者建设了与教材配套的多媒体科技和课程教学网站，可提供给师长、学生及同行之间作为课程教学资源与交流的平台。

本书由曹丽君副教授统稿，并负责全书的总体设计。崔勇教授编写内容提要和前言，曹丽君副教授编写第三章、第四章、第五章，肖娟老师编写第七章、第八章，周艳红老师编写第二章、第六章，陈鸿老师编写第九章、第十章，蔡黔鹰老师编写第一章，康燕老师编写附录，于张红、李玉香、刘西印、刘闪、王纲、周铁军等老师参与算法调试与格式校对工作。

在本书编写过程中，得到马国光教授、王海明教授、李密生教授大力支持，在此表示衷心感谢！

在本书中，笔者是将多年从事数据结构教学的经验与体会写了出来，虽然力求精益求精，但难免存在一些差错和不足，敬请广大读者批评指正。

编者
2012.5

目　录

第一章

1 绪论

教学目的

◎ 掌握数据类型、数据结构等基本概念
◎ 了解数据结构中的逻辑结构及常用的几种存储结构
◎ 掌握算法的概念、算法的时间性能和空间性能评价方法

1.1 引 言

从20世纪60年代末到70年代初，出现了大型程序，其软件也相对独立，而结构程序设计成为程序设计方法学中的主要内容，人们越来越重视数据结构。从70年代中期到80年代，各种版本的数据结构著作相继出现。目前，数据结构的发展并未终结，一方面，面向各专门领域中的特殊问题数据结构得到研究和发展，如多维图形数据结构等；另一方面，从抽象数据类型和面向对象的观点来讨论数据结构，已成为一种新的趋势，利用面向对象技术讨论数据结构也越来越被人们所重视。

1.1.1 为什么要学习数据结构

计算机科学是关于信息结构转换的科学，信息结构（数据结构）是计算机科学研究的基本课题。计算机科学的重要基石是关于算法的学问，数据结构是算法研究的基础。随着计算机科学的飞速发展，数据结构的基础研究也逐渐走向成熟。

数据结构是计算机各专业的专业基础课程，也是一门十分重要的核心课程。数据结构的知识为后续专业课程的学习，提供必要的知识和技能准备。数据结构与数学、计算机硬件和软件有十分密切的关系。它是介于数学、计算机硬件和软件之间的一门供计算机各专业学习的核心课程。数据结构是高级程序设计语言、编译原理、操作系统、数据库、人工智能等课程的基础，同时，也广泛应用于信息科学、系统工程、应用数学以及各种工程技术领域。

1.1.2 数据结构课程的内容

数据结构课程主要讨论软件开发过程中设计阶段的问题，同时涉及编码和分析阶段的若干基本问题。此外，为了构造出优化的数据结构及其实现，还需要考虑该数据结构及其实现的评价与选择。

数据结构的核心技术是分解与抽象。通过分解可将处理要求划分成各种功能，再通过抽象舍弃，舍弃实现细节，得到运算的定义。通过分解与抽象的结合，将问题变换为数据结构。然后通过增加对实现细节的考虑，进一步得到存储结构和实行运算，从而完成设计任务。即从抽象（数据结构）到具体（具体实现）的过程。熟练地掌握这两个过程，是数据结构课程在专业技能培养方面的基本目标。

1.2 数据结构的概念

1.2.1 基础概念和术语

为了更好地系统学习数据结构知识，首先介绍数据结构的基本概念和术语。

1. 数据（Data）

数据是所有能够被计算机识别、存贮和加工处理符号的总称，是信息的载体，是计算机

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

加工处理的对象，它可以是数值数据，也可以是非数值型数据，数值型数据包括整型数、实型数等；非数值型数据包括字符、文字、图形、图像、语音等。

2. *数据元素*（Data Element）

数据元素是组成数据的基本单位。在不同的条件下，数据元素又可称为元素、结点、顶点、记录等。在计算机中数据元素通常作为一个整体进行考虑和处理。一个数据元素可由一个或多个数据项组成，数据项是有独立含义的最小单位，此时的数据元素通常称为记录。例如：学生表是数据，每一个学生的记录就是一个数据元素。

3. *数据对象*（Data OB ject）

数据对象是具有相同性质的数据元素的集合。在某个具体问题中，数据元素都具有相同的性质，属于同一个数据对象。例如：整数数据对象是集合 N = {0，±1，±2，…}，字母字符数据对象是集合 C = {′A′，′B′，…，′Z′}，不论数据元素集合是无限集（如整数集），是有限集（如字符集），还是由多个数据项组成的复合数据元（如学籍表），只要性质相同，都是同一个数据对象。

4. *数据结构*（DATA Structure）

数据结构是指相互之间存在一种或多种特定关系的数据元素的集合。数据结构包含数据元素之间的逻辑关系，数据在计算机中的存储方式和有关数据定义的一组运算。人们通常将这三个方面称为：数据的逻辑结构、数据的存储结构和数据的运算。

（1）逻辑结构　数据的逻辑结构是指数据元素之间逻辑关系的描述。数据的逻辑结构包含两个要素：一个是数据元素的集合；一个是关系的集合。

数据的逻辑结构是一个二元组，其形式定义为：

Data_ Structure = （D，R）

其中：D 是数据元素的有限集，R 是 D 上关系的有限集。

根据数据元素之间关系的不同特性，通常有下列 4 类基本的逻辑结构。

①集合。集合中的数据元素之间除了同属于一个集合的关系外，无任何其他关系。

②线性结构。该结构中的数据元素之间存在着一对一的线性关系。

③树型结构。该结构中的数据元素之间存在着一对多的层次关系。

④图状结构（网状结构）。该结构中的数据元素之间存在着多对多的任意关系。

集合是数据元素之间关系极为松散的一种结构，所以，可用其他结构来表示。

数据的逻辑结构通常被看作是从具体问题抽象出来的数学模型，它并不表示数据的存储，而研究数据结构的目的是为了在计算机中实现对它的操作，所以除了研究数据的逻辑结构，还需要研究数据其逻辑结构在计算机中的实现方法，即数据结构中元素的表示及元素间关系的表示。

（2）存储结构　存储结构（又称物理结构）是逻辑结构在计算机中的存储映象，是逻辑结构在计算机中的实现，它包括数据元素的表示和关系的表示。

逻辑结构与存储结构的关系为：存储结构就是逻辑关系的存储与元素本身存储。逻辑结构是抽象的，存储结构是现实的，两者综合起来就建立了数据元素之间的结构关系。

数据元素之间关系，其在计算机中有两种不同的表示方法：顺序存储方法、非顺序存储方法。

顺序存储方法是把逻辑上相邻的元素存储在物理位置相邻的存储单元中，结点间的逻辑

关系由存储单元的邻接关系来体现，从而得到的存储表示被称为顺序存储结构。顺序存储结构是一种最基本的存储表示方法，通常借助于程序设计语言中的数组来实现。

非顺序存储方法包括：链式存储方法、索引存储方法和散列存储方法。链式存储方法是一种比较常用的存储方法，指对逻辑上相邻的元素不要求其物理位置相邻，元素间的逻辑关系通过附设的指针字段来表示，链式存储结构通常借助于程序设计语言的指针来实现。索引存储主要是针对数据内容的存储，而不是强调关系的存储，索引存储方法主要是面向查找操作。散列存储方法是以数据元素的关键字的值为自变量，通过某个函数计算出该元素的存储位置。

数据在计算机中可用顺序存储结构或非顺序存储结构，两种不同表示方式来存放。逻辑结构在计算机存储器中实现时，可采用不同的存储方法，选用哪种存储结构来表示相应的逻辑结构要视具体情况而定，主要考虑运算的实现及算法的时空要求。

（3）运算集合　讨论数据结构的目的是为了在计算机中实现操作，因此在结构上的运算集合是很重要的部分。数据结构就是研究一类数据的表示及其相关的运算操作。根据操作的结果，可将运算分为两种类型，引用型运算和加工型运算。引用型运算不改变数据结构中原有的数据元素的状态，只根据需要来读取某些信息。加工型运算的结果会改变数据结构中原有的数据元素的状态，只是根据需要读取某些信息。

综上所述，数据结构的内容可归纳为三个部分：逻辑结构、存储结构、运算集合。按某种逻辑关系组织起来的一批数据，按一定的方式把它存放在计算机存储器中，并在这些数据上定义了一个运算的集合，就叫做数据结构。

数据结构是一门学科主要研究怎样合理地组织数据、建立合适的数据结构、提高计算机执行程序所用的时空效率。数据结构课程不仅讲授数据信息在计算机中的组织和表示方法，同时也训练高效地解决复杂问题的能力。

1.2.2　抽象数据类型

1. 数据类型（Data Type）

数据类型是和数据结构密切相关的一个概念，是一组性质相同的值集合，以及定义在这个值集合上的一组操作的总称。数据类型中定义了两个集合，一是该类型的取值范围；二是该类型中可允许使用的一组运算。例如高级语言中的数据类型，就是已经实现的数据结构的实例。从这个意义上讲，数据类型是高级语言中允许的变量种类，是程序语言中已经实现的数据结构（即程序中允许出现的数据形式）在高级语言中的整型类型，则它可能的取值范围是 -32 768到 +32 767，可用运算符集合为加、减、乘、除、乘方、取模（如 C 语言中 +，-，*，/，%）。

按“值”的不同特性，高级程序语言中的数据类型可分为两大类：一类是非结构的原子类型。原子类型的值是不可分解的，如 C 语言中的标准类型（整型、实型、字符型）及指针；另一类是结构类型，结构类型的值是由若干成分按某种结构组成的，因此是可以分解的，并且它的成分可以是非结构的，也可以是结构的。例如数组的值由若干分量组成，每个分量可以是整数，也可以是数组等。在某种意义上，数据结构可以看成是“一组数据具有相同的值”，则结构类型可以看成由一种数据构成和定义在其上的一组数据的操作组成。从此意义上看，数据类型指由系统定义、用户可直接使用、可构造的数据类型。

2. 抽象数据类型（AB stract Data Type）

抽象数据类型（简称 ADT）是指基于一种逻辑关系的数据类型以及定义在这个类型之上的一组操作。抽象数据类型的定义取决于客观存在的一组逻辑特性，而与其在计算机内的如何表示和实现无关。即不论其内部结构如何变化，只要数学特性不变，都不影响其外部使用。

抽象数据类型的特征是使用与实现分离，实现封装和信息隐蔽，也就是说，在抽象数据类型设计时，类型的定义与其实现分离。

在某种意义上讲，抽象数据类型和数据类型实质上是一个概念。整数类型就是一个简单的抽象数据类型实例。“抽象”的意义在于教学特性的抽象。一个 ADT 定义了一个数据对象、数据对象中各元素间的结构关系以及一组处理数据的操作。ADT 通常是指由用户定义、用以表示应用问题的数据模型，通常由基本的数据类型组成，并包括一组相关服务操作。

ADT 包括定义和实现两方面，其中定义是独立于实现的。定义仅给出一个 ADT 的逻辑特性，不必考虑如何在计算机中实现。

抽象数据类型的含义不仅限于各种不同的计算机处理器中已定义并实现的数据类型，还包括设计软件系统时用户自己定义的复杂数据类型。所定义的数据类型的抽象层次越高，含有该抽象数据类型的软件复用程度就越高。ADT 定义该抽象数据类型需要包含那些信息，并根据功能确定公共界面的服务，使用者可以使用公共界面中的服务对该抽象数据类型进行操作。从使用者的角度看，只要了解该抽象数据类型的规格说明，就可以利用其公用界面中的服务来使用这个类型，不必关心其物理实现，只需集中考虑如何解决实际问题。

无论从计算机理论和计算机工程的角度来看，抽象数据类型的概念都是十分重要的。一方面，它抽象和推广了高级程序设计语言（例如：C 语言）中的类型概念；另一方面，也为软件工程提供了一个自顶向下的实现图式。

1.3　算　法

数据结构与算法之间存在本质联系，在某一类型数据结构上，总要涉及其上施加的运算，而只有通过对定义运算的研究，才能清楚地理解数据结构的定义和作用；在涉及运算时，总要联系到该算法处理的对象和结果的数据。算法是研究数据结构的重要途径。

1.3.1　算法及其特征

1. 算法（Algorithm）定义

算法是规则的有限集合，是为解决特定问题而规定的一系列操作。

2. 算法的特性

①有限性。有限步骤之内正常结束，不能形成无穷循环。

②确定性。算法中的每一个步骤必须有确定含义，无二义性得以实现。

③输入。有多个或 0 个输入。

④输出。至少有一个或多个输出。

⑤可行性。原则上能精确进行，操作可通过已实现基本运算执行有限次而完成。

在算法的5大特性中，最基本的是有限性、确定性、可行性。

3. 算法设计的要求

当人们用算法来解决某问题时，算法设计要达到的目标是：正确、可读、健壮、高效低耗。通常作为一个好的算法，一般应该具有以下几个基本特征。

①算法的正确性。算法正确性是指算法应该满足具体问题的需求。

②可读性。一个好的算法首先应该便于人们理解和相互交流，其次才是机器可执行。可读性好的算法有助于人们对算法的理解，并且难懂的算法易于隐藏错误且难于调试和修改。

③健壮性。作为一个好的算法，当输入的数据非法时，也能适当地作出正确反应或进行相应的处理，而不会产生一些莫名其妙的输出结果。

④高效率和低存储量。算法的效率通常是指算法的执行时间。对于一个具体问题的解决通常可以有多个算法，对于执行时间短的算法其效率就高。所谓存储量需求，是算法在执行过程中所需要的最大存储空间，这两者都与问题的规模有关。

1.3.2 算法描述工具

算法描述了数据对象的元素之间的关系（包括数据逻辑关系、存贮关系描述）。算法的设计通常包含5个步骤，即：找出与求解有关的数据元素之间的关系、确定在某一数据对象上所施加运算、考虑数据元素的存储表示、选择描述算法的语言、设计实现求解的算法并用程序语言加以描述。

算法可以使用各种不同的方法来描述，最简单的方法是使用自然语言，还可以使用程序流程图、N－S图等算法描述工具。自然语言简单便于阅读，但不够严谨；流程图及N－S图描述过程简洁、明了，但框图不擅长表达数据组织结构。

近年来在计算机科学研究、系统开发、教学以及应用开发中，C语言的使用越来越广，成为计算机专业与非专业必修的高级程序设计语言。C语言类型丰富，执行效率高，学习数据结构课程之前，都已具备了熟悉C语言的基础条件，因此，本教材采用了标准C语言作为算法描述的工具。为了便于学习者掌握算法的本质，尽量压低语言描述的细节，在每一部分所使用的结构类型，都统一在相应部分的首部统一定义，类型定义不重复。目的是能够简明扼要地描述算法，突出算法的思路，而不拘泥于语言语法的细节。

本书中所采用的是C语言，个别处使用了对标准C语言的一种简单化表示。

1.3.3 算法性能评价

一种数据结构的优劣是由实现其各种运算的算法具体体现，对数据结构的分析实质上就是对实现运算算法的分析，除了要验证算法是否正确解决该问题之外，需要对算法的效率作性能评价。在计算机程序设计中，对算法分析是十分重要的。通常对于一个实际问题的解决，可以提出若干个算法，那么如何从这些可行的算法中找出最有效的算法呢？在计算机科学中，一般从算法的计算时间与所需存储空间来评价一个算法的优劣。

1. 算法的时间复杂度

将一个算法转换成程序并在计算机上执行时，其运行所需要的时间取决于硬件的速度、书写程序的语言、编译程序所生成目标代码的质量、问题的规模等几方面的因素。显然，如

果通过从以上几个方面算出执行算法的绝对时间，从而衡量算法的效率是不合适的，为了突出算法本身的性能，而是从分析算法中语句总的执行次数 Tn 关于问题规模 n 的函数入手，进而分析 Tn 随 n 的变化情况，并确定 Tn 的数量级（Order of Magnitude）。用“O”来表示数量级，这样可以得到算法的时间复杂度概念，所谓算法的时间复杂度，即是算法的时间耗费，记为：

T（n）=O（f（n））

在算法的分析中，往往放弃用复杂的函数来表示确切的时间复杂度，而采用一些简单的函数来近似表示时间性能，这就是渐进时间复杂度，简称为时间复杂度。一般情况下，随着 n 值的增大，Tn 的增长较慢的算法为最优的算法。

例如：在下列 4 段程序段中，原操作 x：=x+1 的时间复杂度分析。

①x=x+1；其时间复杂度为 O（1），称为常量阶；

②for（i=1；i<=n；i++）x=x+1；其时间复杂度为 O（n），称为线性阶；

③for（i=1；i<=n；i++）

for（j=1；j<=n；j++）x=x+1；

其时间复杂度为 $O(n^2)$，称为平方阶；

④for（i=1；i<=n；i++）

for（j=1；j<=n；j++）

for（mj=1；m<=n；m++）x=x+1；

其时间复杂度为 $O(n^3)$，称为立方阶。

其他情况下算法的时间复杂度还有：对数阶 O（logn）、指数阶 $O(2^n)$ 等。数据结构中常用的时间复杂度频率计数有 7 个：

O（1）常数型　　O（n）线性型　　$O(n^{2})$平方型　　$O(n^3)$ 立方型

$O(2^n)$ 指数型　　$O(\log_2 n)$ 对数型　　$O(n\log_2 n)$ 二维型

按时间复杂度由小到大递增排列为：

$O(1)<O(\log_2 n)<O(n)<O(n\log_2 n)<O(n^2)<O(n^3)<O(2^n)$

人们可以讨论算法在最坏情况下的时间复杂度，即分析最坏情况下以估计出算法执行时间的上界。例如冒泡排序在最坏情况下的时间复杂度为：$T(n)=O(n^2)$。在本书中，如不作特殊说明，所讨论的各算法的时间复杂度均指最坏情况下的时间复杂度。

2. 算法的空间复杂度

与算法的时间复杂度类似，算法空间复杂度是指算法运行从开始到结束所需的存储空间，记为：S（n）=O（f（n））。

其中 n 为问题的规模。一般情况下，一个程序在机器上执行时，除了需要寄存本身所用的指令、常数、变量和输入数据以外，还需要一些对数据进行操作的辅助存储空间。其中对于输入数据所占的具体存储空间只取决于问题本身，与算法无关，算法在实现时所需要的辅助空间主要包括程序代码、常量、简单变量、定长成分的结构变量所占的空间。若算法执行时所需要的辅助空间相对于输入数据量而言是个常数，则称这个算法为原地工作，辅助空间为：O（1）。

算法的执行时间的耗费和所序的存储空间的耗费两者是矛盾的，难以兼得。即算法执行时间上的节省一定是以增加空间存储为代价的，反之亦然。不过，就一般情况而言，常常以

算法执行时间作为算法优劣的主要衡量指标。

1.4 总结与提高

主要知识点

①数据类型、数据结构等基本概念。
②几种基本数据结构的逻辑结构及常用的几种存储结构。
③算法的概念、算法的表示、算法的时间性能和空间性能评价方法。

练习题目

一、选择题

1. 从逻辑上可以把数据结构分为（　　）两大类。

A. 线性结构、非线性结构　　B．初等结构、构造型结构

C. 顺结构、链式结构　　D. 动态结构、静态结构

2. 采用顺序存储结构表示数据时，相邻的数据元素的存储地址（　　）。

A. 一定不连续　　B．一定连续

C. 不一定连续　　D. 部分连续，部分不连续

3. 在发生非法操作时，算法能够做出适当处理的特性称为（　　）。

A. 健壮性　　B．可读性　　C. 正确性　　D. 可移植性

4. 执行下面程序段的时间复杂度为（　　）。

```
For (int i=0; i<m; i++)
For (int j=0; j<n; j++)    A [i] [j] =i*j;
```

A. O（m^2）　　B．O（n^2）　　C. O（m*n）　　D. O（m+n）

5. 执行下面程序段时，语句 S 的执行次数为（　　）。

```
For (int i=0i< =n; i++)
For (int j=0; j< =i; j++) S;
```

A. n^2　　B．$n^2/2$　　C. n（n+1）　　D. n（n+1）/2

二、判断题

1. 算法就是程序。（　　）
2. 算法必须有输入，但可以没有输出。（　　）
3. 线性结构只能用顺序结构存储，非线性结构只能用非顺序结构存储。（　　）
4. 顺序存储结构的特点是对于插入和删除操作的效率非常高。（　　）
5. 算法的优劣与所用计算机的性能有关，与描述算法的语言无关。（　　）

三、简答题

1. 简述数据结构的含义。
2. 简述算法的时间复杂度。
3. 简述数据类型的概念。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com