

21 世纪大学本科计算机专业系列教材编委会

名誉主任：陈火旺

主摇摇任：李晓明

副 主 任：钱德沛摇焦金生

委摇摇员：(按姓氏笔画为序)

马殿富摇王志英摇王晓东摇宁摇洪摇刘摇辰
孙茂松摇李大友摇李仲麟摇吴朝晖摇何炎祥
宋方敏摇张大方摇张长海摇周兴社摇侯文永
袁开榜摇钱乐秋摇黄国兴摇蒋宗礼摇曾摇明
廖明宏摇樊孝忠

秘摇摇书：张瑞庆

本书责任编辑委：张长海

PREFACE

21世纪是知识经济的时代,是人才竞争的时代。随着21世纪的到来,人类已步入信息社会,信息产业正成为全球经济的主导产业。计算机科学与技术信息产业中占据了最重要的地位,这就对培养21世纪高素质创新型计算机专业人才提出了迫切的要求。

为了培养高素质创新型人才,必须建立高水平的教学计划和课程体系。在10多年跟踪分析粤港和珠江三角洲计算机课程体系的基础上,紧跟计算机科学与技术的发展潮流,及时制定并修正教学计划和课程体系是尤其重要的。计算机科学与技术的发展对高水平人才的要求,需要我们从总体上优化课程结构,精炼教学内容,拓宽专业基础,加强教学实践,特别注重综合素质的培养,形成“基础课程精深,专业课程宽新”的格局。

为了适应计算机科学与技术学科发展和计算机教学计划的需要,要采取多种措施鼓励长期从事计算机教学和科技前沿研究的专家教授积极参与计算机专业教材的编著和更新,在教材中及时反映学科前沿的研究成果与发展趋势,以高水平的科研促进教材建设。同时适当引进国外先进的原版教材。

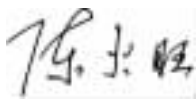
为了提高教学质量,需要不断改革教学方法与手段,倡导因材施教,强调知识的总结、梳理、推演和挖掘,通过加快教案的不断更新,使学生掌握教材中未及时反映的学科发展新动向,进一步拓广视野。教学与科研相结合是培养学生实践能力的有效途径。高水平的科研可以为教学提供最先进的高新技术平台和创造性的工作环境,使学生得以接触最先进的计算机理论、技术和环境。高水平的科研还可以为高水平人才的素质教育提供良好的物质基础。学生在课题研究中不但能了解科学研究的艰辛和科研工作者的奉献精神,而且能熏陶和培养良好的科研作风,锻炼和培养攻关能力和协作精神。

进入21世纪,我国高等教育进入了前所未有的大发展时期,时代的进步与发展对高等教育质量提出了更高、更新的要求。1998年12月,教育部颁发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》。文件指出,本科教育是高等教育的主体

和基础,抓好本科教学是提高整个高等教育质量的重点和关键。随着高等教育的普及和高等学校的扩招,在校大学本科计算机专业学生的人数将大量上升,对适合21世纪大学本科计算机科学与技术学科课程体系要求的,并且适合中国学生学习的计算机专业教材的需求量也将急剧增加。为此,中国计算机学会和清华大学出版社共同规划了面向全国高等院校计算机专业本科生的“21世纪大学本科计算机专业系列教材”。本系列教材借鉴美国粤海和 陈永祥最新制定的《计算机专业系列教材》(简称《计算机专业系列教材》)课程体系,反映当代计算机科学与技术学科水平和计算机科学技术的新发展、新技术,并且结合中国计算机教育改革成果和中国国情。

中国计算机学会教育专业委员会和全国高等学校计算机教育研究会,在清华大学出版社的大力支持下,跟踪分析《计算机专业系列教材》,并结合中国计算机科学与技术学科的发展现状和计算机教育的改革成果,研究出了《中国计算机科学与技术学科教程》(简称《中国计算机科学与技术学科教程》),该项研究成果对中国高等学校计算机科学与技术学科教育的改革和发展具有重要的参考价值和积极的推动作用。

“21世纪大学本科计算机专业系列教材”正是借鉴美国粤海和 陈永祥《计算机专业系列教材》课程体系,依据《计算机专业系列教材》基本要求组织编写的计算机专业教材。相信通过这套教材的编写和出版,能够在内容和形式上显著地提高我国计算机专业教材的整体水平,继而提高我国大学本科计算机专业的教学质量,培养出符合时代发展要求的具有较强国际竞争力的高素质创新型计算机人才。



中国工程院院士
国防科学技术大学教授
21世纪大学本科计算机专业系列教材编委会名誉主任
2000年 苑月

FOREWORD

坐在计算机前,挥洒自如地驰骋于电脑世界,一行行程序在自己手下源源不断地流出,这是一些初学编程者的美好憧憬。然而,在学习了程序设计语言的具体语法后,真正动起手来编写程序时,往往会觉得一筹莫展、无所适从,在遇到一种新型编程语言时,即便是已经掌握了某些编程语言,学起来也常常会感到举步维艰,没有体会到已有的知识积累给学习新语言带来的便利。为什么会这样?原因在于没有掌握程序设计的一般过程,没有深入了解通用程序设计语言的本质规律。

通用程序设计语言是与人类自然语言具有一定程度相似性的人造语言,使用通用程序设计语言进行程序设计,并不能简单地等价于人们所常说的“编程”。程序设计是一个过程,通常分为三个阶段:算法分析与设计、程序编写与调试、程序测试。正像人们利用自然语言书写文章一样,与此三个阶段相对应的是构思、起草与修改、审阅。不同阶段的任务是相对独立的,如果对此没有深入的了解,就很容易将它们混为一谈。在缺乏对问题深入、全面分析的情况下,就匆匆动手编写程序,自然就会像没有经过构思而书写出来的文章一样。我们编写本书的目的,就在于使读者通过本课程的学习,从刻意地按照程序设计的准则编写程序,到自然而然地遵从程序设计准则从事程序设计。为实现这个目的,算法分析和设计自然成为本课程的主要学习任务之一。

程序设计归根到底是要使用程序设计语言将问题的解题过程描述出来,因此学习程序设计语言是本课程的另一个重要任务。本书虽然以悦垣语言为背景介绍命令式程序设计语言的相关知识,但是读者应该注意到,现有的通用程序设计语言的语法和风格可能迥异,但无论哪一种语言,都是以数据(类型)、操作(运算)、(操作)顺序控制和数据控制为基本内容,不同的语言都以不同的格式对这源个方面提供不同的支持,因此读者在学习本书的具体内容时,可以不管语言的具体表述格式,而是深入学习和理解这源个方面的实质,这会为学习其他程序设计语言带来便利。

与许多其他同类教材不同的是,本书强调软件开发过程的重要性,为读者介绍了有

关软件开发模型与软件测试的基本原理和技术。现代软件开发多为集体合作,在合作过程中每一个编程者所编写程序的规范性、正确性和可靠性非常重要,在学习程序设计之初就了解程序设计的规范过程,对于培养将来参与大型软件开发所需要的分工合作精神十分重要。

全书分为猿个部分:第一部分包括第员章和第圆章,讲述程序设计的基本概念和思想,读者在学习过程中应该以了解和掌握结构化算法设计为重点;第二部分包括第猿章至第愿章,以悦坦垣语言中的非面向对象语法为例,讲述一般程序设计语言所具有的基本内容:数据(类型)、操作、(操作)顺序控制、数据控制,同时重点介绍了如何进行结构化程序设计及软件开发的一般过程,对于这部分内容的学习,读者应该抛却具体的语言,从最一般的观点(通过程序)理解算法结构与解题过程描述;第三部分由第怨章至第愿章组成,重点介绍面向对象程序开发技术的基本方法,包括面向对象分析与设计的基本思想和主要步骤,以及悦坦垣中的面向对象特征的语法,使读者了解和掌握人类认知的一般规律,以及如何通过适当的步骤,采用面向对象技术和面向对象语言的基本语法,将自身对客观事物的认识描述出来。

本教材的内容从简到难,覆盖面广,有些内容涉及比较深入的知识(标题中带有*号),教师在使用本教材时,应该根据学生及教学的具体情况对内容进行适当裁剪。总之,学习的重点应该放在算法和程序结构的设计,注重以程序设计语言的习惯和方式表述问题的解决方案,而不在于具体语言的语法细节。

本书所有例题和习题中的程序都已在宰蚤拙增拜浮环境灾器器悦坦垣元无编译系统下运行通过,读者在学习时选择灾器器悦坦垣缘以上的版本即可。

本书是在多年教学基础上编写的,适合作为计算机及其相关专业本科教学用书,也可用作其他专业的计算机教学参考书。对于有志深入学习程序设计的广大电脑爱好者,本书也是一个好的选择。书中所用到的部分素材来源于教学过程中的积累和其他中外文教材、资料,由于无法在此一一列举,现谨对这些教材和资料的作者表示衷心的感谢。在教材编写过程中,对于吉林大学张长海教授及编委会成员给予的关心和指导以及清华大学出版社所给予的大力支持,作者在此表示最衷心的感谢!恳请各位专家不吝赐教。

作摇者

圆园园年 员月

CONTENTS

第 1 章 程序设计概论	1
1.1 问题求解	1
1.1.1 思维与语言	1
1.1.2 算法	1
1.1.3 数据结构	1
1.1.4 程序	1
1.1.5 程序设计的一般过程	1
1.2 程序设计语言	1
1.2.1 发展历史	1
1.2.2 程序设计语言的实现	1
1.2.3 高级语言程序的基本结构	1
1.2.4 高级语言的语法规则	1
1.2.5 程序的编辑、编译和运行	1
1.3 程序设计范式的演化	1
1.3.1 结构化程序设计	1
1.3.2 函数式程序设计	1
1.3.3 面向对象程序设计	1
1.3.4 事件驱动的程序设计	1
1.3.5 逻辑式程序设计	1
1.4 习题	1
第 2 章 算法设计基础	2
2.1 算法的描述	2
2.1.1 自然语言方式	2

猿猿猿猿猿 伪代码方式	猿猿
猿猿猿猿猿 程序流程图方式	猿猿
猿猿猿猿猿 晕晕盒图方式	猿猿
猿猿猿猿猿 孕孕阅图方式	猿猿
猿猿猿猿猿 结构化算法设计初步	猿猿
猿猿猿猿猿 算法描述	猿猿
猿猿猿猿猿 算法设计	猿猿
猿猿猿猿猿 算法的计算复杂性	猿猿
猿猿猿猿猿 常用算法设计策略	猿猿
猿猿猿猿猿 分治法	猿猿
猿猿猿猿猿 递归技术	猿猿
猿猿猿猿猿 贪心法*	猿猿
猿猿猿猿猿 回溯法*	猿猿
猿猿猿猿猿 习题	猿猿
第猿猿章猿猿基本数据类型	猿猿
猿猿猿猿猿 数据对象	猿猿
猿猿猿猿猿 数据的存储	猿猿
猿猿猿猿猿 生存期与值	猿猿
猿猿猿猿猿 基本数据类型	猿猿
猿猿猿猿猿 整型与浮点型	猿猿
猿猿猿猿猿 字符类型	猿猿
猿猿猿猿猿 逻辑型	猿猿
猿猿猿猿猿 空值型	猿猿
猿猿猿猿猿 变量与常量	猿猿
猿猿猿猿猿 常量	猿猿
猿猿猿猿猿 变量	猿猿
猿猿猿猿猿 指针类型	猿猿
猿猿猿猿猿 指针定义	猿猿
猿猿猿猿猿 指针的初始化	猿猿
猿猿猿猿猿 指针运算	猿猿
猿猿猿猿猿 指针与常量	猿猿
猿猿猿猿猿 引用类型	猿猿
猿猿猿猿猿 类型的意义	猿猿

习题	猿
第 章 操作及其控制	猿
基本操作与运算符	猿
赋值操作	猿
算术操作	远
增员和减员操作	远
关系、逻辑操作	苑
条件运算符	苑
表达式	苑
隐含类型转换	愿
强制类型转换	愿
表达式内的顺序控制	怨
运算符的优先级	怨
运算符的结合性	怨
语句	怨
表达式语句	怨
语句间顺序控制	怨
复合语句	怨
选择语句	猿
循环语句	苑
直接顺序控制	猿
预处理指令	猿
文件包含指令	猿
宏定义指令	猿
条件编译指令*	猿
习题	猿
第 章 函数与数据控制	猿
函数定义与说明	猿
函数定义	猿
函数说明	猿
函数的简单调用	猿
函数的重载	猿

缘缘缘缘数据控制	员愿
缘缘缘缘参数传递机制	员愿
缘缘缘缘数据对象的引用 *	员愿
缘缘缘缘作用域	员缘
缘缘缘缘函数的顺序控制	员愿
缘缘缘缘函数执行模型 *	员愿
缘缘缘缘基于栈的实现 *	员源
缘缘缘缘函数的自嵌套调用	员缘
缘缘缘缘相关的其他语法	员远
缘缘缘缘数组作函数参数	员远
缘缘缘缘函数指针	员怨
缘缘缘缘常用系统函数	员猿
缘缘缘缘终止程序运行	员猿
缘缘缘缘数学函数	员源
缘缘缘缘字符串处理函数	员源
缘缘缘缘面向对象的数据结构	员源
缘缘缘缘习题	员缘
第 远章 缘缘缘缘	员源
缘缘缘缘数组类型	员源
缘缘缘缘数组定义	员源
缘缘缘缘数组的赋值与使用	员缘
缘缘缘缘数组的存储	员缘
缘缘缘缘数组的初始化	员远
缘缘缘缘字符数组	员苑
缘缘缘缘指针与数组	员愿
缘缘缘缘枚举类型	员怨
缘缘缘缘枚举类型定义	员园
缘缘缘缘枚举变量定义	员园
缘缘缘缘类型转换	员员
缘缘缘缘结构类型	员圆
缘缘缘缘结构的定义	员圆
缘缘缘缘结构的使用	员猿
缘缘缘缘结构的实现	员缘

结构化数据	1
单链表	2
栈	3
存储的动态分配	4
抽象数据类型	5
结构的扩展	6
堆的抽象数据类型	7
堆数据类型的层次	8
自定义类型	9
习题	10
第 4 章 结构化算法的实现	11
基本控制结构的实现	12
顺序结构的实现	13
分支结构的实现	14
循环结构的实现	15
复杂结构的实现示例	16
子算法设计与实现	17
参数为普通类型的子算法	18
参数为指针的子算法	19
参数为引用的子算法	20
子算法设计与实现示例	21
递归与迭代	22
递归	23
迭代	24
应用示例	25
习题	26
第 5 章 程序开发过程	27
软件开发方法概述	28
软件生存周期	29
软件开发方法	30
软件设计	31
概要设计	32

摇摇习题	猿缘
第 猿章 摇摇类与对象的实现	猿远
摇摇悦垣中的类	猿远
摇摇摇摇类的说明	猿远
摇摇摇摇类的定义	猿愿
摇摇摇摇对象及其成员的使用	猿员
摇摇摇摇对象实例	猿员
摇摇摇摇对象成员的引用	猿圆
摇摇摇摇生命周期	猿缘
摇摇摇摇类型转换*	猿远
摇摇摇摇其他应用	猿缘
摇摇摇摇类的特殊成员	猿缘
摇摇摇摇静态成员	猿缘
摇摇摇摇翻译成员	猿怨
摇摇摇摇内联函数	猿员
摇摇摇摇友元	猿圆
摇摇习题	猿源
第 肆章 摇摇类间关系的实现	猿源
摇摇一般—特殊关系的实现	猿源
摇摇摇摇类的继承与派生	猿源
摇摇摇摇赋值兼容规则	猿源
摇摇摇摇两义性与作用域分辨	猿远
摇摇摇摇多态性与虚函数	猿猿
摇摇摇摇编译时刻的多态性	猿源
摇摇摇摇运行时刻的多态性	猿缘
摇摇摇摇虚函数	猿远
摇摇摇摇纯虚函数与抽象类	猿远
摇摇摇摇整体—部分关系的实现	猿圆
摇摇摇摇关联关系的实现	猿猿
摇摇摇摇关于类层次的总结	猿源

第 1 章

程序设计概论

程序设计以算法设计和数据结构为基础,涉及编码(程序编制)、调试和测试等多方面的理论和技术。本章介绍程序设计的发展历史,程序设计与算法和数据结构之间的关系以及高级语言的基本语法特征。作为全书的导引,本章提前使用了某些概念,读者对此只需作一般性了解,待深入学习后续章节后将会深刻理解这些概念。

利用计算机解决问题求解

利用计算机解决问题需要使用程序设计语言对问题的求解进行描述,按照程序设计语言的规则将问题的求解过程描述成计算机能够接受的方式——程序,这个过程就是编写程序的过程,处于运行状态的程序将控制计算机按照程序所规定的顺序对相关数据进行操作,最终给出问题的解。由于到目前为止,使用计算机解决问题的过程基本上是在模拟人类大脑的解题过程,因此在介绍如何利用计算机解决问题之前,有必要分析人类是如何解决问题的,以及在解决问题过程中人类是如何进行思维活动的。

人类解决问题的思维与语言

人类的思维从本质上说分为两类:形象思维和逻辑思维。利用形象思维,人类可以从一个公理体系出发,使用从特殊到一般的归纳以及从一般到特殊的演绎进行推理,从而解决给定的问题,这是一种以推理方式为主的思维方式,深刻体现了形象思维的特点,代表了西方数学思想方法的主要方面。这种推理思维方式现在已经为人们所习惯,例如,常见的数学定理的证明过程。利用逻辑思维,人类可以从一系列具有共性的解决问题的过程中,发现解决这类问题的通用方法,这种构造解决问题算法的思维方式,深刻体现了逻辑思维的特点,代表了东方数学思想方法的主要方面。长期以来,由于西方

数学公理体系在教育中所占的比重过大,人们对这种构造算法的思维方法逐渐变得陌生,然而随着计算机技术及人工智能技术的发展,人们越来越认识到这种思维方式的重要性。

推理思维方式建立在已有公理体系基础上,人们只能根据原有公理体系证明命题的真伪,因此无法突破原有理论框架,从本质上讲这种思维方式无法使人类产生对客观世界的新认识,只是利用传统的方法理解事物。而构造算法的思维方式是一种构造发现命题的思维方式,显然构造命题与证明命题相比更具重要性,它给出了一种创新思维方式。实际上,逻辑思维往往以形象思维为基础,在解决问题过程中经常需要把形象思维放在解决问题的首位,所以上述推理思维方式和构造算法思维方式之间是相互联系的,共同构成了人类的完整思维方式和方法。

为了直观地了解人类的思维和解题过程,先看一个实例:

将正整数数列 怨远苑猿源按照从小到大的顺序排列。

显然,只要是稍有一点数学经验的人就可以完成这个任务,即便是换另外一组正整数,人们凭借已有的数学知识做这种工作也游刃有余。然而,如果要人们说出是如何解决这个问题,进一步说出如何解决这类问题(有限个正整数的排序),则不是一件轻松的事。为了回答这种关于规律性的问题,按照下面的步骤,换一个角度来分析上面的问题。

首先给出上述排序问题的抽象形式:将任意一组正整数 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ 按照从小到大的顺序排列。这是一个较上面的排序问题复杂得多的另一个问题,它给出了正整数排序问题的抽象描述,它的解决将给出一种正整数排序的规律,任何一组具体正整数的排序都是它的一个特例,因此都可以使用这种规律加以解决。上述两个问题之间的关系是一种抽象与具体的关系,这两个问题的解题过程深刻体现了什么是形象思维,什么是逻辑思维,以及二者的关系如何。下面以上述排序问题为例,根据人脑的思维过程探讨如何从一个具体问题的解题过程得到一般性问题的解。

对 怨远苑猿源而言,这些“符号”代表了具体的数值,这种具有不同值的特性使人们在排序时可以很容易地通过形象思维,根据各个不同数值之间的关系,利用简单的逻辑思维解决一个具体的排序问题。但是对于 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ 而言,虽然它们代表的也是数字,但这些数字是不确定的,使用这些代表不确定数字的符号解决排序问题将给出排序问题的通用解。由于符号所代表数据的不确定性使得各符号之间的关系很难把握,因此给这类问题的解决带来了难度,解决这种问题需要有较强的逻辑思维能力,需要研究者充分发挥自己的想象力,借鉴解决具体排序问题时的形象思维过程,归纳、总结并构造出解决问题的通用方法。考虑具体的排序过程,有人可能进行如下步骤:

第一步摇交换 怨和 猿,结果形成:猿远苑怨源

第二步摇交换 远和 源, 结果形成 :猿源苑怨远

第三步摇交换 苑和 远, 结果形成 :猿源远苑怨

第四步摇交换 怨和 苑, 完成排序 :猿源远苑怨

从形式上看不出这种排序过程具有普遍性,但是分析上述过程的细节会使人们从中抽象出具有普遍性的排序方法:为什么第一步要交换 怨和 猿呢?为什么第二步交换 远和 源呢?……为什么完成第四步后就结束了呢?

用 怨和 猿交换是因为 猿是最初数据中最小的数,应该排在所有数据的前面,远和 源的交换是由于在第一步形成的结果中,源是数字 猿后面 源个未排序数字中的最小数,应该排在这些未排序数字前面。以此类推,当最后只剩一个未排序数字时,排序过程结束。这种讨论虽然使用了具体的数字,然而交换数字发生在第一个未排序数字与未排序数字中最小数之间,这种做法具有普遍性。按照这种交换方式的排序会给出一种排序的通用方法,体现了普遍性寓于特殊性之中的哲学原理。

上面分析过程实际上是寻找通用算法的思维过程,这种过程在人脑中是借助语言、表象和动作进行的,语言是思维的工具之一,人类解决问题的过程是人脑利用人类会话语言和文字语言进行思维的过程,因此人类的解题过程或思维方法可以使用人类的自然语言加以描述,上述正整数排序的解题方法可以使用自然语言描述如下:

将数列分成两个部分,左侧为已经排序部分,右侧为尚未排序部分。将未经排序数据中的最小一个挑出来,然后与未排序部分最左侧的第一个未排序元素位置互换,于是已排序部分增加了一个数据,而未排序部分则减少了一个数据。反复执行这个过程直到所有数据都进行了排序。

员源园 冒泡算法

上述文本描述了人在解决排序问题时采用的一种方法和过程,称之为算法。从本质上讲,算法体现了人类解决某一类问题时的思维方法和过程,描述了人类解决某类问题所依据的规则和操作,指明了如何从输入数据经过有限个操作后得到输出信息。发现了解决某类问题的算法,人类在解决这类问题的一个具体实例时就可以根据算法对所给定的数据进行相应的处理,最终得到问题的解答。

员源员 算法的特征

算法是一个集合,由一组明确定义的规则组成,这些规则定义了有限步骤内解决某种特定类型问题的操作序列。这里的操作往往是指完成一个相对独立的功能,这个操作序列指明了从给定的输入信息经过有限步骤产生所要求的输出信息的具体过程。由于算法的输入、输出信息等经常被编码成数字,算法对信息的操作实际上表现为对数