

普通高等教育“十三五”规划教材

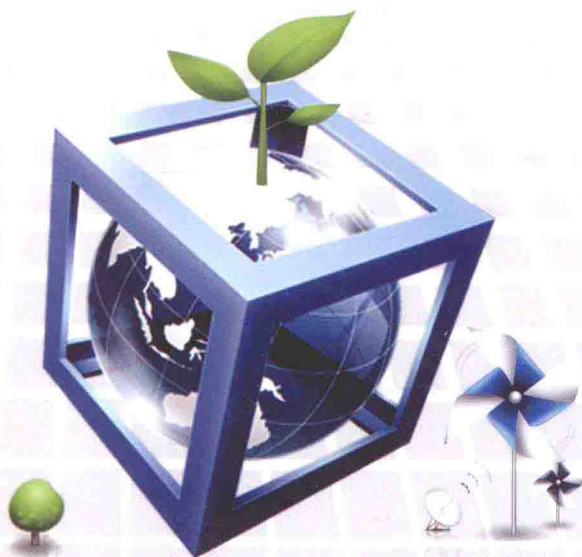
计算概论

J I S U A N G A I L U N

康桂花 主 编

赵海燕 秦海玉 宫玉娇 副主编

宁多彪 主 审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等教育“十三五”规划教材

计 算 概 论

康桂花 主 编

赵海燕 秦海玉 宫玉娇 副主编

宁多彪 主 审

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书以计算思维为导向,突出“应用”目标,强调“技能”训练,以实践性和实用性作为编写原则,注重操作应用与实际工作之间的联系。将实际应用案例嵌入到任务之中,循序渐进,由浅入深,既使内容通俗易懂,又着力关注学生应用能力的提升和学习兴趣的培养。

本书由9章组成,主要介绍了计算与计算思维、计算机的基本原理、计算机体系结构、计算机操作系统、软件开发、算法基础、数据与数据分析、计算机网络和信息素养等内容,其中还包括常用工具软件的使用,如Word 2010、Excel 2010、PowerPoint 2010、Photoshop 图像处理和思维导图的简单应用等。

本书适合作为高等院校理工专业本、专科生的“计算概论”“计算机基础”等计算机入门课程的教学用书,也可作为非理工专业学生计算机公共课的教材或参考书,亦可供各类培训班以及自学的读者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算概论 / 康桂花主编. —北京:中国铁道出版社, 2016. 8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-113-22074-7

I. ①计… II. ①康… III. ①电子计算机—高等学校—教材
IV. ①TP3

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第203700号

书 名: 计算概论
作 者: 康桂花 主编

策 划: 唐 旭 祝和谊
责任编辑: 周 欣 包 宁
封面设计: 付 巍
封面制作: 白 雪
责任校对: 汤淑梅
责任印制: 郭向伟

读者热线: (010) 63550836

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 三河市华业印务有限公司

版 次: 2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 17.5 字数: 424 千

印 数: 1~3 500 册

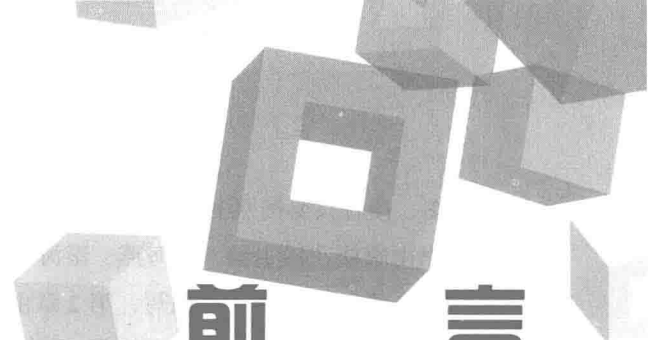
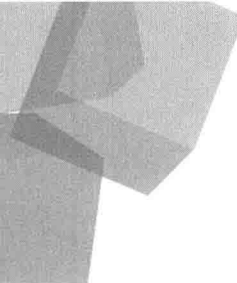
书 号: ISBN 978-7-113-22074-7

定 价: 39.80 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010) 63550836

打击盗版举报电话:(010) 51873659



前

言

FOREWORD

随着信息化的全面深入,计算机技术在社会各行各业中的应用越来越普及,社会信息化程度不断向纵深发展,深刻地改变了人们的生活、工作与思维方式。计算机技术已经成为现在人们学习、工作和生活中不可或缺的工具和当今社会大学生就业必备的基本技能。

在当今信息化的社会,以计算机科学为基础的计算思维是人们必须具备的基础性思维,一个人如果不具备计算思维的能力,在激烈竞争的环境中将处于劣势,因此计算思维已经不仅仅是计算机专业人员应该具备的能力,而应该是所有受教育者应该具备的能力,它蕴含着一整套解决一般问题的方法与技术。计算思维对我国计算机基础教育产生了广泛影响,正如周以真教授所说,应当为大学新生开设一门“怎么像计算机科学家一样思维”的课程,面向所有专业的学生,而不仅仅是计算机专业的学生;应当传播计算机科学的快乐、崇高和力量,致力于使计算思维成为常识。

本书以计算思维为切入点来实施计算机基础教学,以基础知识和计算思维的培养目标来组织内容,是一本知识丰富而全面的计算机入门教材。本书既阐述了计算及计算思维的概念与方法,又讲解了实施应用计算技术解决问题必备的计算机基础知识,培养学生利用计算工具解决问题的能力。最后还包含了必备的工具软件的使用方法,培养学生的信息素养和实际动手能力。

全书分为9章,第1章介绍了计算与计算思维的基本知识和基本概念以及计算机的发展简史;第2章介绍了计算机中0和1蕴含的计算思维,包括计算机的基本运算、信息的表示等;第3章介绍了计算机的体系结构,包括硬件和软件的基本知识以及计算机的基本原理;第4章介绍了计算机操作系统的发展情况、基本功能和一些典型的操作系统;第5章介绍了软件开发的基础知识,包括软件的生命周期、软件开发的流程、面向对象的相关内容;第6章介绍了算法的基本知识,包括算法设计的基本思路、经典的算法,以及算法的典型应用;第7章介绍了数据与数据分析,包括数据库的基本知识、数据分析的常用方法和工具、大数据和云计算的基本内容等;第8章介绍了计算机网络的基本知识、Internet的基本应用,以及计算机网络中的计算思维;第9章介绍了信息素养的相关概念、信息检索的基本方法、思维与创意,以及常用工具的使用,包括 Word 2010、Excel 2010、PowerPoint 2010、Photoshop 图像处理 and 思维导图。

参加本书编写的作者都是多年从事一线教学的教师,具有丰富的教学经验。在编写时注重原理与实践相结合,注重实用性和可操作性相结合;各种软件的操作方法都通过案例和操作练习来进行,这些案例都是经过作者精心设计的,书中操作练习过程中的图例都是实际操作过程

中的截图，读者只要按照书中的步骤操作即可得到最终效果。

本书由康桂花任主编，赵海燕、秦海玉、宫玉娇任副主编。全书由宁多彪主审。各章编写分工如下：第1章由康桂花编写，第2章由宁多彪编写，第3章、第5章由赵海燕编写，第4章由马俊编写，第6章由秦海玉编写，第7章由杨瑞良编写，第8章由赵荷编写，第9章由宫玉娇编写。全书由赵海燕进行总体规划并负责组稿、统稿及定稿工作。参与部分章节的编写和校对工作的还有陈文飞、童浩、王源源、王会和施刚等。

本书的出版得到了中国铁道出版社和编者所在学校的大力支持和帮助，在此向相关人员表示衷心的感谢。本书在编写过程中，参考了知名学者的教材和大量互联网资料，在此向这些文献资料和互联网资料的作者深表谢意。

由于编者水平有限，书中不足和疏漏之处在所难免，恳请各位专家和读者不吝指正、赐教。
编者邮箱：zhaohaiyan@nsu.edu.cn。

编 者

2016年5月

目录

CONTENTS

第1章 计算与计算思维.....1

1.1 什么是计算.....1

1.1.1 计算.....1

1.1.2 计算机运算.....2

1.2 计算(机)科学.....2

1.2.1 计算科学.....2

1.2.2 计算机科学.....3

1.2.3 难题及其可计算性.....4

1.3 计算思维概述.....5

1.3.1 计算思维的定义.....5

1.3.2 计算思维的本质.....6

1.3.3 计算思维的特性.....7

1.4 计算机发展简史.....8

1.4.1 计算工具的演化.....8

1.4.2 计算机的诞生.....12

1.4.3 计算机的发展阶段.....13

1.4.4 计算机的发展趋势.....14

第2章 计算机中的0和1.....21

2.1 0和1的神奇之处.....21

2.1.1 问题的引出.....21

2.1.2 完美的二进制.....23

2.1.3 八进制和十六进制.....25

2.1.4 不同进制之间的转换.....25

2.2 计算机中的基本运算.....30

2.2.1 算术运算.....30

2.2.2 逻辑运算.....31

2.3 数值信息的编码.....33

2.3.1 浮点数的表示.....33

2.3.2 定点小数和定点整数.....34

2.3.3 原码、反码和补码.....34

2.4 字符和汉字的编码.....36

2.4.1 字符的编码.....36

2.4.2 汉字的编码.....39

2.5 媒体的数据表示.....40

2.5.1 多媒体类型及特点.....41

2.5.2 多媒体数据压缩标准.....42

第3章 计算机体系结构.....45

3.1 图灵机和冯·诺依曼计算机.....45

3.1.1 图灵机.....45

3.1.2 冯·诺依曼计算机.....46

3.2 计算机的系统构成.....48

3.3 计算机的硬件系统.....49

3.3.1 系统结构.....49

3.3.2 主机箱和主板.....52

3.3.3 处理器.....53

3.3.4 存储器.....56

3.3.5 输入/输出设备.....63

3.4 计算机的软件系统.....64

3.4.1 系统软件.....65

3.4.2 应用软件.....66

3.4.3 软件的安装与卸载.....67

3.5 计算机的基本工作原理.....68

3.5.1 指令的格式.....68

3.5.2 指令的类型.....70

3.5.3 寻址方式.....71

3.5.4 计算机的工作原理.....71

第4章 计算机操作系统.....	73	4.5.8 Chrome OS.....	87
4.1 操作系统的基本概念.....	73	第5章 软件开发基础.....	88
4.1.1 操作系统的定义.....	73	5.1 软件生命周期.....	88
4.1.2 操作系统的作用.....	74	5.1.1 软件生命周期的阶段.....	89
4.2 操作系统的发展.....	74	5.1.2 软件生命周期模型概述.....	89
4.2.1 20世纪80年代前.....	74	5.2 深入软件开发——以瀑布之名.....	95
4.2.2 20世纪80年代.....	75	5.2.1 制订计划.....	96
4.2.3 20世纪90年代.....	76	5.2.2 需求分析.....	97
4.2.4 今天.....	77	5.2.3 软件设计.....	97
4.3 操作系统的分类.....	78	5.2.4 编码实现.....	101
4.3.1 批处理操作系统.....	78	5.2.5 软件测试.....	103
4.3.2 分时操作系统.....	78	5.2.6 运行维护.....	105
4.3.3 实时操作系统.....	79	5.3 面向对象.....	106
4.3.4 网络操作系统.....	79	5.3.1 类与对象.....	106
4.3.5 分布式操作系统.....	80	5.3.2 面向对象的特性.....	107
4.3.6 嵌入式操作系统.....	80	5.3.3 面向对象程序设计原则.....	110
4.3.7 桌面操作系统.....	80	5.3.4 设计模式分类.....	111
4.3.8 服务器.....	80	5.4 流程图与流程设计.....	115
4.4 操作系统的主要功能.....	81	5.4.1 常见的流程图符号.....	115
4.4.1 资源管理.....	81	5.4.2 流程图的绘制步骤.....	116
4.4.2 程序控制.....	82	5.4.3 流程图的绘制要点.....	117
4.4.3 人机交互.....	82	第6章 算法基础.....	119
4.4.4 进程管理.....	82	6.1 算法概述.....	119
4.4.5 内存管理.....	83	6.2 递归.....	119
4.4.6 虚拟内存.....	83	6.2.1 斐波那契数列.....	120
4.4.7 用户接口.....	84	6.2.2 汉诺塔问题.....	120
4.4.8 用户界面.....	84	6.2.3 树和二叉树.....	122
4.5 典型操作系统.....	84	6.3 算法设计的基本思路.....	122
4.5.1 UNIX.....	84	6.3.1 贪心算法.....	123
4.5.2 Linux.....	85	6.3.2 分治法.....	124
4.5.3 Mac OS.....	85	6.3.3 动态规划.....	124
4.5.4 Windows.....	86	6.3.4 回溯法.....	126
4.5.5 iOS.....	86	6.3.5 分支限界法.....	126
4.5.6 Android.....	86	6.4 排序算法.....	127
4.5.7 WP.....	86		

6.4.1 常见排序算法.....	128	7.3.1 数据分析的基本概念.....	148
6.4.2 快速排序.....	128	7.3.2 数据分析的分类.....	148
6.5 经典算法.....	129	7.3.3 数据分析的基本步骤.....	148
6.5.1 傅里叶变换与快速傅里叶 变换.....	129	7.4 理解数据.....	150
6.5.2 最短路径算法.....	130	7.4.1 字段与记录.....	150
6.5.3 安全哈希算法.....	131	7.4.2 二维表和一维表.....	151
6.5.4 整数因式分解.....	131	7.4.3 把二维表转换成一维表.....	151
6.5.5 链接分析.....	132	7.4.4 把一维表转换为二维表.....	154
6.5.6 随机数生成算法.....	133	7.5 数据分析的常用方法.....	156
6.5.7 数据压缩算法.....	134	7.5.1 对比分析法.....	156
6.6 算法的典型应用.....	136	7.5.2 分组分析法.....	157
6.6.1 RSA 算法.....	136	7.5.3 平均分析法.....	159
6.6.2 Google Search 谷歌搜索 算法.....	137	7.5.4 交叉分析法.....	159
6.6.3 Facebook 的 News Feed (新闻提要) 算法.....	138	7.5.5 综合评价分析法.....	160
6.6.4 OKCupid 的情侣匹配 算法.....	138	7.6 数据分析的常用工具.....	161
6.6.5 NSA 的数据采集、解读和 加密算法.....	138	7.7 大数据.....	162
6.6.6 推荐算法.....	138	7.7.1 数据的价值.....	162
6.7 算法与 NP 问题.....	139	7.7.2 数据与大数据.....	162
6.7.1 算法与算法复杂性.....	139	7.7.3 大数据的精髓.....	163
6.7.2 NP 问题.....	139	7.7.4 大数据与数据挖掘.....	163
6.7.3 NPC 问题.....	140	7.7.5 大数据与云计算.....	164
第 7 章 数据与数据分析.....	141	第 8 章 计算机网络.....	165
7.1 数据.....	141	8.1 计算机网络概述.....	165
7.1.1 数据与信息.....	141	8.1.1 计算机网络的定义.....	165
7.1.2 数据处理的基本概念.....	141	8.1.2 介质将设备互连.....	166
7.2 数据库系统.....	142	8.1.3 局域网、城域网和 广域网.....	168
7.2.1 数据模型.....	143	8.1.4 计算机网络拓扑结构.....	169
7.2.2 关系型数据库.....	145	8.2 Internet 和资源.....	171
7.2.3 非关系型数据库.....	147	8.2.1 Internet 的概念.....	171
7.3 数据分析.....	148	8.2.2 Internet 的前世今生.....	171
		8.2.3 网络改变生活.....	171
		8.3 云计算和物联网.....	175
		8.3.1 一切都是云.....	175
		8.3.2 万物互连.....	178

8.4 计算机网络中的计算思维	188	9.2.2 检索工具——搜索引擎	203
8.4.1 网络协议	189	9.3 信息技术应用	206
8.4.2 抽象化与模块化	189	9.3.1 文字处理软件	
8.4.3 计算机网络中的 0 和 1	192	Word 2010	206
8.4.4 通信	194	9.3.2 表格处理软件	
8.4.5 排队论	196	Excel 2010	227
8.4.6 计算机网络中的路由		9.3.3 演示文稿制作软件	
算法	196	PowerPoint 2010	239
第 9 章 信息素养	201	9.3.4 图像处理软件 Photoshop	250
9.1 信息素养概述	201	9.4 思维与创意	257
9.1.1 信息素养的定义	201	9.4.1 思维与创意的关系	257
9.1.2 信息素养的构成与特点	201	9.4.2 创新学习与思维导图	259
9.1.3 计算思维与信息素养	202	9.4.3 应用文写作与创意文案	
9.2 信息资源检索	202	写作	266
9.2.1 检索原则	203	参考文献	272

第 1 章

计算与计算思维

计算是整个自然科学的工具，也是人类基本的生存技能之一，从远古时代到我们目前的信息化社会，计算的需求每时每刻都存在着。古代打猎的人每天需要计算自己的收获；商人需要计算交易的货物数量；在战争年代，各国都在费尽心思计算能够帮助他们赢得战争的某些数据和信息……而现代学科门类繁多，涉及面广，各行各业都需要大量的计算。正如尼葛洛庞帝（N.Negroponte）说：计算不再只与计算机有关，它决定着我们的生存。由于计算机的普及与发展，人类社会的生存方式已经发生了根本性的改变，计算（机）科学又在怎样影响我们的生活？而随着信息化的全面深入，计算思维已经成为人们认识 and 解决问题的重要基本能力之一。在当今信息化的社会，一个人如果不具备计算思维的能力，在激烈竞争的环境中将处于劣势，因此计算思维已经不仅仅是计算机专业人员应该具备的能力，而应该是所有受教育者应具备的能力，它蕴含着一整套解决一般问题的方法与技术。

1.1 什么是计算

在漫长的人类进化和文明发展的过程中，人类的大脑逐渐能把直观的形象变成抽象的数字，进行抽象思维活动，从而具备了认识世界的能力。在数的概念出现之后，就开始有了数的计算。人类最原始的指算、结绳计数和算筹等工具，都是为了进行计算。那么计算到底是什么？英文单词“Calculation”和“Computation”在汉语中都被翻译为计算，但它们是一样的吗？

1.1.1 计算

计算（Calculation）来自古希腊语，意为碎石，是一种计数用的小石头。

计算是认知科学的基本概念之一。在人们的认识和实践活动中，计算通常是指一个系统在规则支配下的态的迁移过程，可以理解为一个由态、规则（或规律）和过程所构成的集合体。对于一个系统来说，态表征在某一时刻完全描述它的所有信息，包括输入态、内态和输出态；规则是实现态迁移的映射，实际上是决定信息流动的因果关系网络的体现，而过程则是态的系列。由此可见，在更深的层次上，计算就是信息加工或流动的过程。

简单的四则运算，如 $5+3$ 、 7×4 就是一种简单的计算。稍微复杂一些的计算，如二元一次方程组：

$$\begin{cases} 5x+300=4y \\ 4x+40=3(y-10) \end{cases}$$

再复杂一些的计算包含对数与指数、微分与积分等：

$$\lim_{a \rightarrow \infty} e^x \left[a + \int_0^x e^{-t^2} dt \right] = b$$

通过上述实例,我们可以明白:计算(Calculation)就是一种将“单一或多个输入值”转换为“单一或多个结果”的一种思考过程。计算大大增强了人们从事科学研究的能力,加速了把科技转化为生产力的进程,深刻地改变着人类认识世界和改造世界的方法和途径。

1.1.2 计算机运算

计算机运算(Computation)的本质也是一种计算,与计算的不同之处在于,计算机运算是严格遵循一个或多个良好的设计模型的计算,这种计算最终被理解和表现为一个算法。计算机运算常见的载体有电子计算机、量子计算机、DNA计算机、分子计算机等。对计算机运算的研究和学习是计算机科学中极为重要的一门学科。

例如,就排序算法来说,常见的算法就有:冒泡排序、选择排序、插入排序、堆排序、归并排序、快速排序、二叉树排序等。

在排序算法中,最简单的当属冒泡排序,它重复地走访要排序的数列,一次比较两个元素,如果它们的顺序错误就把它们交换过来。走访数列的工作是重复地进行直到没有再需要交换的元素时,也就是说该数列已经排序完成。这个算法的名称由来是因为越小的元素会经由交换慢慢“浮”到数列的顶端。

冒泡排序对 n 个项目需要 $O(n^2)$ 的比较次数,且可以原地排序。尽管这个算法简单且容易实现,但是通常情况下排序的效率较低。冒泡排序与插入排序拥有相等的运行时间,但是两种算法在需要的交换次数上却有很大不同。在最好的情况下,冒泡排序需要 $O(n^2)$ 次交换,而插入排序只要最多 $O(n)$ 次交换。因此很多现代的算法教科书避免使用冒泡排序,而用插入排序替换。冒泡排序如果能在内部循环第一次运行时,使用一个旗标来表示有无需要交换的必要,也可以把最好情况下的复杂度降低到 $O(n)$ 。在这个情况下,已经排序好的数列就没有交换的必要。若在每次走访数列时,把走访顺序反过来,也可以稍微改进效率。有时候称为鸡尾酒排序,因为算法会从数列的一端到另一端之间穿梭往返。

冒泡排序算法的运作步骤如下:

① 比较相邻的元素。如果第一个比第二个大,就交换它们两个。

② 对每一对相邻元素作同样的工作,从开始第一对到结尾的最后一对。这步做完后,最后的元素会是最大的数。

③ 针对所有的元素重复以上步骤,除了最后一个。

④ 持续每次对越来越少的元素重复上面的步骤,直到没有任何一对数字需要比较。

在后续章节中我们会详细讨论各种不同的算法。

1.2 计算(机)科学

1.2.1 计算科学

计算科学又称科学计算、数值计算,这一领域不同于计算机科学,同时也异于科学和工程

学的传统形式——理论与实践。计算科学是指应用计算机处理科学研究和工程技术中所遇到的数学计算。在现代科学和工程技术中，经常会遇到大量复杂的数学计算问题，这些问题用一般的计算工具来解决非常困难，而用计算机来处理却非常容易。

自然科学规律通常用各种类型的数学方程式表达，计算科学的目的就是寻找这些方程式的数值解。这种计算涉及庞大的运算量，简单的计算工具难以胜任。在计算机出现之前，科学研究和工程设计主要依靠实验或试验提供数据，计算仅处于辅助地位。计算机的迅速发展，使越来越多的复杂计算成为可能。利用计算机进行科学计算带来了巨大的经济效益，同时也使科学技术本身发生了根本变化：传统的科学技术只包括理论和试验两个组成部分，使用计算机后，计算已成为同等重要的第三个组成部分。

计算科学将计算划分为三个阶段：

1. 建立数学模型

首先需要对一个复杂的科学技术问题进行分析，进行约简和抽象，依据有关学科理论对所研究的对象确立一系列数量关系，即一套数学公式或方程式，从而建立数学模型。复杂模型的合理简化是避免运算量过大的重要措施。

2. 建立计算方法

在第一阶段建立的数学模型是无法直接在计算机上处理的。为此，需要先将模型离散化，把数学模型拆分为包含有限个未知数的离散形式，然后寻找求解方法。同一类问题的求解方法有很多种，需要根据实际问题对计算精度和计算效率的要求来选择合适的计算方法。

3. 计算机实现

计算机实现需要运用程序设计方法学所阐明的原则、原理和技术来进行编制程序、调试程序、运算以及分析报告等一系列操作，并且要综合考虑程序执行的时间、空间等问题。

综上所述，利用计算科学解决问题的一般方法与过程可以用图 1-1 来表示。



图 1-1 利用计算科学解决问题的过程

计算科学目前已广泛应用于社会各行各业中，例如在气象领域，通过建模和对卫星云图的计算、分析，能够产生中短期天气预报；例如在卫生领域，通过对卫生数据的建模和指标分析，能够对特定地区的疾病高发情况做有效预报，对区域诊疗管理水平的提升也会带来极大的帮助。

1.2.2 计算机科学

计算机科学是研究计算机及其周围各种现象和规律的科学，亦即研究计算机系统结构、程序系统、人工智能以及计算本身的性质和问题的学科。计算机科学是一门包含各种各样与计算和信息处理相关主题的系统学科，从抽象的算法分析、形式化语法等，到更具体的主题，如编程语言、程序设计、软件和硬件等。

简单地说，计算机科学就是对计算、计算机及信息处理的研究，作为一门学科，它与数学、电子学、机械学和管理学等学科之间存在不同程度的交叉和覆盖。20 世纪七八十年代计算技术得到了迅猛的发展并开始渗透到大多数学科领域，但人们关于计算机科学的身份问题一直争论不休。计算机科学能否作为一门学科，计算机科学属于工程学和数学吗？针对这些问题，1985

年国际计算机协会 (Association for Computing Machinery, ACM) 和电气电子工程师学会计算机分会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers/Computer Society, IEEE/CS) 联手组成攻关组开始了对计算作为一门学科的存在性证明。1989 年, 他们提交了著名的《计算作为一门学科》(Computing as a Discipline) 的报告。报告认为, 全部计算科学的基本问题是“什么能够(有效地)自动进行”, 不但覆盖了计算机科学与技术的研究范畴, 而且包含更多的内涵。他们确立了计算机科学学科的四个主要领域: 计算理论、算法与数据结构、编程方法与编程语言, 以及计算机元素与架构。除了四个主要领域之外, 还包括其他一些重要领域, 如软件工程、人工智能、计算机网络与通信、数据库系统、并行计算、分布式计算、人机交互、机器翻译、计算机图形学、操作系统以及数值和符号计算。

1.2.3 难题及其可计算性

大多数机器只能做某一类事情, 例如, 电视机只能看电视, 冰箱只能存储食物等。为什么计算机能做多种不同的事呢? 是不是计算机什么事都能做? 其实, 计算机的根本问题是“可计算”问题, 可计算性是指一个实际问题是否能够使用计算机来解决。在实际工作中, 不可计算的问题有二义性、复杂性、可行性、组合爆炸等诸多问题。

(1) 二义性问题

利用计算机解决问题时, 必须有充分的已知条件, 而且对结果有明确的要求。简单地说, 就是问题没有二义性。例如, “为我做一个西红柿炒鸡蛋”这样的问题, 计算机是无法解决的。因为这个问题存在太多的二义性, 如: 西红柿要多大? 成熟到什么程度? 是否要全红色的? 用什么品种? “一个”的含义是多少(1 个西红柿还是 1 kg 西红柿)? “炒”的含义又是什么, 需要火炒吗? 用什么火(柴火、煤火、液化气火、电磁炉等)? 炒多长时间? 等等。

二义性是一种语法的不完善说明, 在计算机应用中应当避免这种情况出现。有两个解决二义性的基本方法。一种方法是设置一些规则, 该规则可在出现二义性的情况下指出哪一个是正确的; 另一种方法是将问题改变成一个强制正确的格式, 这样就可以进行计算机编程处理了。

(2) 复杂性问题

克拉默 (Friedrich Cranner, 1923—2003, 德国) 在经典著作《混沌与秩序——生物系统的复杂结构》中, 给出了几个简单例子, 用于分析程序的复杂性。

【例 1-1】序列 aaaaaa...

这是一个简单系统, 相应的程序为: 在每个 a 后续写 a。这个短程序使这个序列得以随意复制, 不管多长都可以办到。

【例 1-2】序列 aabaabaabaab...

与例 1-1 相比, 该例要复杂一些, 是一个准复杂系统, 但仍可以很容易地写出程序: 在两个 a 后续写 b 并重复这一操作。

【例 1-3】aabaababbaabaababb...

与例 1-2 相似, 也可以用很短的程序来描述: 在两个 a 后续写 b 并重复。每当第三次重写 b 时, 将第二个 a 替换为 b。这样的序列具有可定义的结构, 有对应的程序来表示。

【例 1-4】aababbababbbabaaababbab...

这个例子中信息的排列毫无规律, 如果希望编程解决, 就必须将字符串全部列出。这就可得出一个结论: 一旦程序的大小与试图描述的系统大小相提并论时, 便无法编程。或者说, 当系统的结构不能被描述, 或描述它的最小算法与系统本身具有相同的信息比特数时, 则称该

系统为根本复杂系统。在达到根本复杂之前，人们仍可以编写出能够执行的程序，否则计算机不能进行处理。

(3) 组合爆炸问题

根据笛卡儿积规则，当2个元素和2种状态具有相互作用时，会有4种不同的组合。例如，二进制有2个元素（0和1），如果采用2位二进制数，则有 $2^2=4$ 种不同的组合。例如，分析计算机日常使用的密码问题，如果规定密码只能采用0~9这十个数字，而且只用6位密码，则有： $10^6=1\,000\,000$ 种密码组合；如果密码允许采用0~9这十个数字和26个英文字母的任意组合，还是采用6位密码，则有： $(10+26)^6=2\,176\,782\,336$ 种密码组合；如果在以上组合中不断增加密码的位数，并将所有可能的密码组合计算出来，计算机必将遇到“组合爆炸”问题。对于“组合爆炸”问题，利用计算机来破解密码是无法处理的。

(4) 汉诺塔问题

求解汉诺塔问题是一个典型的递归算法（详见6.2节递归），要移动 n 个圆盘，需要移动 2^n-1 次。如果有64个圆盘，需要移动的次数为 $2^{64}-1=18\,446\,744\,073\,709\,551\,615$ 。假如每次移动花费1s，一年按 $31\,536\,000\text{ s}$ （ $365 \times 24 \times 60 \times 60$ ）计算，也需要花费5849亿年的时间。如果用计算机来求解这样的问题，假定计算机每秒可以移动1000万个圆盘，也需要花费约58490年的时间。这才仅仅64个圆盘，如果圆盘数量成千上万呢？那将是一个不可想象的庞大数字。

通过这些例子，我们了解到，并不是所有问题都是可计算的，即使是理论上可计算的问题，也要考虑在实际中是否可行。

1.3 计算思维概述

长期以来，计算机被社会看作一种高科技工具，计算机学科也被视为一门专业性很强的工具学科。专业性意味着认知门槛高，工具意味着它是一种辅助性学科，这种狭隘的认知是计算机向各行各业渗透的最大障碍。计算机大师迪科斯彻（Edsger Wybe Dijkstra, 1930—2002，荷兰）说过：“我们使用的工具影响着我们的思维方式和思维习惯，从而也将深刻地影响着我们的思维能力。”

计算思维建立在计算过程的能力和限制之上，由人和机器执行。计算方法和模型使我们敢于去处理那些原本无法由任何人独自完成的问题求解和系统设计。计算思维直面机器智能的不解之谜：什么工作由人类来做比计算机完成得更好？什么工作计算机来做会比人类做得更好？

1.3.1 计算思维的定义

计算思维（Computational Thinking）是当前一个颇受关注的涉及计算机科学本质问题和未来走向的基础性概念。这一概念最早是由麻省理工学院（MIT）的西摩尔·派普特教授（Seymour Papert）在1980年提出的，但是把这一概念提到台前，成为现在受到广泛关注的代表人物则是美国卡内基梅隆大学（CMU）计算机科学系主任周以真教授（Jeannette M. Wing）。

周教授认为计算思维是建立在计算过程的能力和限制之上的，需要考虑哪些事情人类比计算机做得好？哪些事情计算机比人类做得好？最根本的问题是：什么是可计算的？当人们求解一个特定的问题时，首先会问：解决这个问题有多么困难？什么是最佳的解决方法？表述问题的难度取决于人们对计算机理解的深度。为了有效求解一个问题，可能要进一步提问：一个近似解就够了吗？是否允许漏报和误报？

2006年3月,周以真教授在美国计算机权威期刊 *Communications of the ACM* 杂志上给出“计算思维”的定义:运用计算机科学的基础概念进行问题求解、系统设计,以及人类行为理解等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动。这也是目前计算机领域对“计算思维”这一概念较为主流的解释。

为了让人们更易于理解,周教授又对计算思维作了进一步的详细阐释:

① 通过约简、嵌入、转化和仿真等方法,把一个看来困难的问题重新阐释成一个我们 know 问题怎样解决的思维方法;

② 是一种递归思维,是一种并行处理,是一种把代码译成数据又能把数据译成代码,是一种多维分析推广的类型检查方法;

③ 是一种采用抽象和分解来控制庞杂的任务或进行巨大复杂系统设计的方法,是基于关注分离的方法(SOC方法);

④ 是一种选择合适的方式去陈述一个问题,或对一个问题的相关方面建模使其易于处理的思维方法;

⑤ 是按照预防、保护及通过冗余、容错、纠错的方式,并从最坏情况进行系统恢复的一种思维方法;

⑥ 是利用启发式推理寻求解答,也即在不确定情况下的规划、学习和调度的思维方法;

⑦ 是利用海量数据来加快计算,在时间和空间之间,在处理能力和存储容量之间进行折衷的思维方法。

周以真教授的主要观点是指导人们利用计算机来解决问题的思维方式。周教授还提出,计算思维代表着一种普遍的认识和一类普适的技能,每个人,而不仅仅是计算机科学家,都应热心于它的学习和应用。

正如中国科学院计算所李国杰院士说:“计算思维是每个人的基本技能,不仅仅属于计算机科学家。”计算思维是一种本质的、所有人都必须具备的思维方式,就像阅读、写字一样,成为人们最基础、最普遍、最适用和不可缺少的基础思维方式。

1.3.2 计算思维的本质

计算思维是一个综合概念,其中包含的各种思维要素界定了计算思维的外延,并形成了计算思维的表达体系。计算思维最根本的内容和本质就是抽象(Abstraction)和自动化(Automation)。

1. 抽象

计算思维中的抽象完全超越物理的时空观,并完全用符号来表示,其中,数字抽象只是一类特例。与数学和物理科学相比,计算思维中的抽象显得更为丰富,也更为复杂。数学抽象的最大特点是抛开现实事物的物理、化学和生物学等特性,而仅保留其量的关系和空间的形式,而计算思维中的抽象却不仅仅如此。首先,抽象产生分层,计算思维在多个抽象层次上同时进行。层次之间定义完好的界面使建立更大、更为复杂的系统成为可能。其次,计算思维定义不同抽象层次之间的关系。

计算思维中的抽象化与数学(逻辑思维)的抽象化有不同的含义。计算思维的抽象化不仅表现为研究对象的形式化表示,也隐含这种表示应具备有限性、程序性和机械性。因此,计算思维表达结论的方式必须是一种有限的形式,而且语义必须是确定的,在理解上不会出现因人而异、因环境而异的歧义性;同时又必须是一种机械的方式,可以通过机械的步骤来实现。因此,计算思维的结论应该是构造性的、可操作性的、可行的。

2. 自动化

计算思维的思考方式是：使抽象层次及其关系机械化。机械化的可行性是由精确和严格的符号和模型所保证的。自动化意味着用一些形式的计算机去解释抽象化的需要。最显而易见的一种类型的计算机就是“机器”，换言之，一种具备数据处理、存储和传递的物理设备。它既可以是人，可以是计算机，也可以是人机结合体。当我们把这种“机器”当作是人和计算机的结合体的话，我们可以进一步探究当人拥有计算机时的那种合为一体的数据处理能力。例如，人类在语法分析和图像阐释方面更胜于计算机；从另一方面来说，计算机在执行特定类型的指令方面要比人类快得多，处理的数据量也要比人类能够处理的大得多。

1.3.3 计算思维的特性

或许我们可以这样理解，计算思维实际上是一个思维的过程，它能够将一个问题清晰、抽象地描述出来，并将问题的解决方案表示为一个信息处理的流程。它是一种解决问题切入的角度。现实中针对某一问题你会发现有很多解决方案的切入角度，而计算性思维角度就是其中之一。周以真教授总结了计算思维的六个特性：

（1）计算思维是概念化，不是程序化

计算机科学不是计算机编程。像计算机科学家那样去思维意味着远远不止能为计算机编程。它要求能够在抽象的多个层次上思维。

（2）计算思维是基础的，不是机械的技能

基础的技能是每个人为了在现代社会中发挥职能所必须掌握的。生搬硬套机械的技能意味着机械地重复。具有讽刺意味的是，只有当计算机科学解决了人工智能的宏伟挑战——使计算机像人类一样思考之后，思维才会变成机械的生搬硬套。

（3）计算思维是人的思维方式，不是计算机的思维方式

计算思维是人类求解问题的一条途径，但决非试图使人类像计算机那样地思考。与枯燥且沉闷的计算机相比，人类聪颖且富有想象力。使用计算思维控制计算设备，我们就能用自己的智慧去解决那些计算时代之前不敢尝试的问题，实现一种“只有想不到，没有做不到”的境界。

（4）计算思维是数学和工程思维的互补与融合

计算机科学在本质上源自数学思维，因为像所有的科学一样，它的形式化解析基础筑于数学之上。计算机科学又从本质上源自工程思维，因为我们建造的是能够与实际世界互动的系统。基本计算设备的限制迫使计算机学家必须计算性地思考，不能只是数学性地思考。构建虚拟世界的自由使我们能够超越物理世界去打造各种系统。

（5）计算思维是思想，不是人造品

计算思维不只是我们生产的软件、硬件等人造品以物理形式到处呈现，并时时刻刻触及我们的生活，更重要的是还有我们用以接近和求解问题、管理日常生活、与他人交流和互动的计算性的概念。

（6）计算思维是面向所有的人、所有的领域

当计算思维真正融入人类活动的整体以致不再是一种显式哲学的时候，它就将成为现实。计算思维作为一个解决问题的有效工具，应当在所有地方。而计算机科学家应该传授计算机科学的快乐、崇高和力量，并致力于使计算思维成为人们处理问题的常识。

1.4 计算机发展简史

计算技术的发展历史是人类文明史的一个缩影。计算机的产生和发展经历了漫长的历史过程,在这个过程中,科学家们经过艰难的探索,发明了各种各样的计算机,推动了计算机技术的发展。

1.4.1 计算工具的演化

计算工具是指从事计算所使用的器具或辅助计算的器具。人们从数学产生之日起,就在不断地摸索与寻求,希望能够找到或发明一种能够方便使用及快速计算的工具。因此,计算和计算工具是息息相关的。

1. 手工计算时代

(1) 指算

指算可以说是最原始和最方便的计算工具。儿童学习数字和算术,总是先掰指头,成年人也常常用手指来标识数目。中国古代就有“掐指一算”之说,欧洲在15世纪都还盛行指算,时间到了现代,还有许多地区用手指进行简单的计算。可见,手指长期以来被用作计算工具。指算除了用于计数,还可用于计算干支、计算加减乘除等。但是指算只能实现计数,不能进行存储,而且局限于0~20以内的计算。

(2) 算筹

在古代世界的计数体系中,除了巴比伦文明的楔形数字为六十进制,玛雅文明为二十进制外,几乎全部为十进制。公元前3400年左右,古埃及已有基于十进制的计数法,只不过这些十进制计数体系并没有“位值”(数的位置不同,表示的值也不同)的概念。中国在商朝(前1600—前1046)时已经有了比较完备的文字计数系统,在商代甲骨文中,已经有了一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、百、千、万这13个计数单字,可以记录和计算十万以内的任何自然数。商代的一片甲骨文上可以看到将“547天”记为“五百四句又七日”的写法,这是最早表明中国人使用十进制计数法的典型例子。

中国周代(前1100—前256)的十进制已经有了明显的位值概念。例如,西周金文“伐鬼方……俘万三千八十一人”“武王遂征四方,俘人三亿万有二百三十”“俘牛三百五十五”等,这里的“三”和“五”等数字都具有位值计数的功能。春秋战国时期,出现了严格的十进制制算筹计数。

在中国数学历史上,算筹占有很重要的地位,是采用十进制的一种计数方法。成语“运筹帷幄”中的“筹”就是指算筹。南北朝科学家祖冲之(429—500)借助算筹作为计算工具,成功地将圆周率计算到了小数点后第7位。根据史书的记载和考古材料的发现,古代的算筹实际上是一根根同样长短和粗细的小棍子,一般长为13~14 cm,粗0.2~0.3 cm,多用竹子制成,也有用木头、兽骨、象牙、金属等材料制成的,大约二百七十几枚为一束,放在一个布袋里,系在腰部随身携带。在算筹计数法中,以纵横两种排列方式来表示单位数目的,如图1-2所示。表示多位数时,个位用纵式,十位用横式,百位用纵式,千位用横式,依此类推,遇零则置空。

(3) 算盘

相对于前面的计算工具,算盘确实是一个进步极大的发明。算盘以排列成串的算珠作为计