



大学本科计算机专业教材系列

计算科学导论

SUAN KE XUE DAO LUN

第二版



赵致琢 著

DA XUE BEN KE JI SUAN JI
ZHUAN YE JIAO CAI XI LIE



科学出版社

大学本科计算机专业教材系列

计 算 科 学 导 论

(第二版)

赵致琢 著

教育部高等理科教育教学改革资助项目

科 学 出 版 社

2001

内 容 简 介

本书是我社出版的《计算科学导论》一书的第二版。

本书以计算机科学学科的特点、形态、历史渊源、发展变化、典型方法、学科知识结构和分类体系,以及大学计算机类专业各年级课程重点等内容组织结构,阐述如何认识计算机科学与技术。本书内容全面,概念清楚,文字流畅,系统性较强。

本书可作为大学计算机科学与技术专业计算机科学导论课程的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算科学导论/赵致琢著. -2版. -北京:科学出版社,2000
ISBN 7-03-008642-2

I. 计… II. 赵… III. 计算机科学 IV. TP3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 64134 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1998年2月第 一 版 开本:720×1000 1/16
2000年8月第 二 版 印张:12 1/2
2001年8月第七次印刷 字数:225 000

印数:21 001—24 000

定价:17.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

第 二 版 前 言

—— 秋 日 的 笔 记

1997 年,《计算科学导论》由科学出版社正式公开出版前,曾在内部印刷了几百册作为试用讲义。其中,有几十本赠送给了一些学校和好友。那一年,全国有若干所高等学校计算机科学系(专业)采用这本讲义作教材、教学参考书或供教师讨论。1998 年初,《计算科学导论》由科学出版社正式出版,公开发行人。

承上海交通大学侯文永教授的推荐,该校姚天昉副教授采用本书承担了讲课任务。姚老师是一个认真、严谨的学者,他花了很多时间备课,增加了一些本书没有的内容,一共讲了 18 个学时,完成了预定的教学任务。课程结束前,每一个学生就此写出一篇读书报告,内容包括对学习课程的心得和对教材的批评意见。从姚老师的来信和寄来的八个同学的文章看,内容反映了来自不同中学、地区、家庭背景的学生对本课程和教材的真实感受。这些来自教学第一线的真实的试验反馈信息,无论是热情赞赏的还是中肯的批评意见,都极大地鼓舞了我,并使自己坚信正在进行的教学改革方向的正确性。我由衷地感谢侯老师、姚老师和他们的学生们为《计算科学导论》再版提供的重要修改意见。

湖南大学副教授张大方博士,中国地质大学(武汉)孟永良教授,汕头大学于津老师,河北石家庄经济学院刘坤起讲师对我十分信任,他们在没有看到样书的情况下,毅然决定从 1997 年起使用本书作为教材。湖南大学甚至在暑期的计算机短训班和专科学生中也使用了本教材。而且,据我所知,他们至今仍在沿用这本教材。同样对我十分信任的还有哈尔滨工业大学的蒋宗礼教授,华侨大学的张全伙教授和陈永红讲师,贵州大学的陈笑蓉副教授,石家庄铁道学院的梁新来教授,他们也都是没有看到样书而仅仅得知教材概要的情况下,就决定购买《计算科学导论》作为教学参考书或教材的。同行的信任使我深受感动,一些带着他们对教材诚恳批评意见的来信更令我由衷感谢,中国计算机科学教育事业和科学研究事业尤其需要一大批热心的参与者和勇于实践、探索的先锋!

本书出版后,我曾应邀回到母校贵州大学,为计算机科学系 1998 年入学的新生讲授了 8 个学时,不包括布尔代数部分。这次试讲使我有机会深刻反省教材中的不足之处,为今天的修改和再版写下了许多笔记,其中包括不少第一次提出的观点和第一版因拿不定主意而未写入教材的内容。复旦大学计算机科学系的朱洪教授

在看到本书后,利用自己的“学术联系网络”向复旦大学、郑州大学、兰州大学、武汉大学、华东师范大学等学校的计算机科学系推荐《计算科学导论》,同时对本书提出了一些中肯的意见。他的好意使我觉得更要认真听取各方面的意见,把教材修改好。向所在学校计算机科学系推荐《计算科学导论》的还有中国科学技术大学的陈国良教授和岳丽华副教授,南京大学教授许满武博士,北京工业大学教授刘椿年博士,中山大学李师贤教授,山东大学马绍汉教授,浙江大学何钦铭副教授,天津民航学院王锦彪副教授,北京邮电大学白中英教授,桂林电子工业学院董荣胜副教授,云南大学李彤教授,厦门大学叶仰明副教授、王一为、黄俊清老师,以及可能有的但我尚不知道的学者。我愿借此机会,向他们表示衷心的感谢。

这次再版改正了一些文字错误和叙述不当之处,使论述更加严谨。此外,主要是根据第一版中有些内容太少而增加了这些内容稍稍详细一点的论述,如计算机系统结构、并行与分布式计算、计算机网络、程序理论和形式语义学、非单调逻辑等内容。当然,这些内容在叙述时采用了自然语言且尽可能通俗的形式。但正如以前我们一直有所担心的,读者可能理解起来有困难。不过,即使一些比较深入的内容理解起来有困难,也不会影响学生获得大概的意思和对有关内容的初步了解。

原武汉大学计算机科学系的陈溧老师通过朱洪教授从国外来信,指出本书介绍的由洪加威教授讲的那个童话不是他最先提出的“三个中国人算法”这一错误,并在后来我们通越洋长途电话的时候建议将这个童话取名为“证比求易算法”。实际上,在此之前,我一直不知道“三个中国人算法”并非指称这个童话,而是指洪加威教授提出的一个在无向图中回路检测问题的算法。这个回路检测算法实际上后来在洪加威教授写的一本《计算:可计算性,相似性与对偶性》(英文)的专著中被简化成“两个中国人算法”。尽管我本人1982年秋天在中国数学会第四次全国代表大会(武汉)上亲耳聆听了洪加威教授的报告,包括本书中引用的那个童话,也曾读过他在国际会议论文集上发表的文章,但因岁月流失,十几年过去,加上洪加威教授当年(指1980年)的论文发表在一本今天不易找到的由美国出版的计算理论学术年会的论文集上,以至我“张冠李戴”,把“三个中国人算法”的语义弄错了。陈溧在信中还建议在适当增加内容后,将本书作为研究生的教材。我认真地思考了几天,觉得有三个因素不宜这样做。一是本书主要供本科生入学时对学科有一个全面的初步了解和更好地完成学业作为参考,许多内容对研究生似乎迟了一些;二是对研究生来说,许多学科前沿的研究内容从更高起点的基础而言,主要集中在本书中提到的四个方面的核心基础知识,他们应该努力掌握这些内容,而不是面面俱到地了解所有各个方向的进展情况。而且,有的内容介绍时,由于大多数学校的离散数学和理论计算机科学基础知识的教学在深度上不够,因此,在理解上就比较容易产生误解;三是在增加内容时,究竟应该增加哪些方面的内容我难于把握。有些内容很重要,但是必须要引入大量篇幅的预备知识才能讲清楚,这显然不合写作的初衷。

在此,我向远在美国的陈凜老师表示深深的感谢。

不时收到一些从书店里购买了《计算科学导论》的在校学生和教师的来信,对自己从第三章里获得了未来努力的方向而感到有所收获。其中,有一些学校的若干名学生在读了本书后,基本上按照书中提出的培养模式和方式方法学习数学基础课程。这些同学非常辛苦但意志坚定,他们不仅要完成所在学校开设的课程的学习任务,而且,还得腾出时间来学习更深入的数学基础课程,弥补正常教学中基础知识的不足。更难能可贵的是,他们基本上是在没有人辅导的情况下艰难地探索前进。于是,这些学生只能牺牲大量的休息时间和寒暑假,以比常人付出更多的努力来获取知识。他们的做法使我深受感动,也令我为他们这样做是否会产生消极影响担忧,因为,这对他们来说意味着“冒险”或某种“风险投资”。令人高兴的是,他们相继来信谈到经过一段时间的努力探索,自己的思维方式正在变得比以前更为严谨,在学习专业(基础)课程时比较易于掌握,学习效率出现“加速”的喜人现象。师生们的来信无疑为《计算科学导论》中的许多观点和思想作了最好的注记。我在从心底里感谢这些信任并自愿充当教学改革“先锋”者的同时,为国内极少有学校能够迅速地在正常的教学中对至今提出的若干系统的教学改革方案进行全面试验感到遗憾。这使我意识到在目前国内对计算机科学与技术专业教育的办学指导思想、办学模式存在比较大的认识上的差异的情况下,继续保留第三章中计算机科学与技术专业参考办学模式,仍有其积极的意义。

也有一些来信的同学和老师谈到了他们学校目前执行的教学计划与课程体系同《计算科学导论》中给出的参考模式之间存在较大差别,学校里同学之间的热门话题也主要是 Windows 和 Internet 网络,大多数家庭条件好的学生都在积极购买计算机,放在学生宿舍里以便随时上机。他们对大学生究竟应该将主要精力放在基础课程、专业(基础)课程的学习上,还是应该放在熟练掌握计算机操作和软硬件一般开发技术上感到彷徨和困惑。特别是一些高年级的学生,在接触一些有一定深度的专业知识后,开始觉得自己的基础比较薄弱,学习往往事倍功半,而要根据《计算科学导论》的观点,重新复习或加深基础课程,特别是数理基础课程的知识,又感到很难静下心来认真学习。面对数理基础课程的教材,一片茫然,无从下手。这实际上是国内大多数学校计算机科学系学生日常学习、生活、业余活动热点问题的真实写照。在我所了解的不少学校中,目前能够沉下心来认真听课、看书、思考、体会,完成大量作业的同学已属少数,中国计算机科学事业的发展前途令人堪忧。经验告诉我们,作为计算机科学与技术专业的学生,第一、二年基础课程的学习十分重要。如果一个学生能够在教学中认真听课,反复读书,大量完成课外作业,仔细思考和体会,那么,随着时间的推移,就会逐步入门,就像“入道”一样。反之,尽管有可能学习成绩不错,但事实上并没有真正“入道”。可惜,这个问题在大多数学校一直没有引起重视。

今天,由于经济的快速发展和受外来生活方式、文化的影响,大学里浮躁的情绪不免有所抬头,计算机科学与技术专业教育在不少学校出现“文科化”的现象和趋势,这无论对国家和求学的学生来说都不是一个好的现象。现在,国内已经有几家计算机产品制造商制定了向世界经济五百强企业进军的计划,但它们能否实现多年的梦想,真正成为具有世界级竞争实力的企业,关键取决于国内高等学校能否培养出融中西文化于一体,掌握现代高级计算机科学与技术的世界一流人才。因为,若干年之后,我国计算机科学包括产业发展能否赶上国外先进水平,最终要靠今天和未来培养的一代又一代新人去实现。他们能否肩负重任,取决于大学本科学历学习时基础是否厚实。而教学计划与课程体系是否科学,最终要由实践来检验。

对于许多读者提出的有关对计算机科学的认识问题,我经常对来信者和本系的学生说:“每一个计算机科学系的学生都应经常想到自己五十岁之后干什么?二十几年之后,当你的手脚不再像年轻人那样麻利时,你会不会成为高科技行业下岗职工中的一员?同样都是高科技产品,为什么一个办公自动化软件与一个三维动画软件之间在价格上差别那么大?”我以为,目前用这样一种提问的方式回答同学们提出的类似问题比较合适,因为,从正面直接回答同学的这类提问,本书中的信息已经足够了。

有一些专家对《计算科学导论》和 A 类教改模式是否能行得通表示担忧,这也是我和许多人共同关心的问题。带着这些问题,在贵州大学和国内部分高等学校专家的支持下,1999 年夏天起我们在贵州大学举办了“计算机科学与技术高级研讨班”,向研究生和青年教师陆续开设“高等计算机体系结构”、“并行与分布式算法设计基础”、“高等逻辑基础”和“形式语义学基础”课程。期间,一些教师放弃了暑期的度假,放弃了单位组织的游昆明“世界园艺博览会”的活动,一些教师每天往返三十几公里,风雨无阻,坚持听课,其情其景令人感慨。尽管这四门课程,因受制于目前本科教学层次和听课者的基础,受制于各种因素,尚无法达到真正意义上的 72 学时的教学内容和理想的目标,但是,人们从这一尝试得到国内外一批高水平专家学者的肯定、鼓励而令参加者深受鼓舞。许多听完暑期两门课程的教师和学生,深感收益匪浅。

历史是一面镜子。从贵州大学计算机软件专业 20 世纪 70 年代末、80 年代初实际执行的本科生教学计划与课程体系同 A 类模式除实验课程外比较接近且效果良好这一情况总结、分析,从暑期研讨班课程讲授和听课者的反映,从学科教学计划的科学性,国内外学科发展前沿正在进行的重要课题的研究内容以及若干学校计算机科学与技术类专业本科生学习《计算科学导论》的反映等几方面初步综合分析,A、B 两类教学模式的科学性和先进性基本上不应再成为有争议的问题。事实上,国内不少大学,包括贵州大学计算机科学系的大部分教师已经在认识上逐渐趋于一致。

尽管认识上日渐明朗,然而,由于国内目前教育界面临诸多困难,各校情况差异较大,在计算机科学教学改革方面处于无所适从的状态。实际情况是:B类模式面向经济建设主战场开展教学,人才培养着眼于学生将来成为专业技术熟练的、优秀的软硬件生产、开发、经营、维护工程师,以及专业技术管理工程师为具体目标,不把学生未来深造攻读硕士学位作为主要培养目标,所以国内几百所学校努一把力就不难做到,也与目前国内各校正在进行的学分制管理和人才培养的办学风格基本一致。可是,由于有A类模式这一“更高层次”的培养模式的存在,其以培养学科优秀人才,着眼于他们未来成为主任工程师、总工程师、教授和学者为具体培养目标,人才培养层次按传统的、世俗的价值取向较B类模式要高。若单纯执行B类模式,许多学校不甘心,而实行A类模式,改革的风险较大,从而出现了既回避B类模式,又不愿意正视A类模式的两难境地。确实,要执行A类模式,因为涉及到师资队伍普遍进修提高,涉及到执行单位和教师既得利益的重新调整,涉及到学校管理层面上许多重大改革,不确定性、不稳定性等风险性因素增加,没有极大的勇气、科学精神、压力或动力,各校普遍将采取观望态度。所以,我们常说,如果A、B类模式是科学的模式,那么,执行A类模式将是对各校学风、校风、科学精神和人文精神面貌的一次严峻考验。

正因为如此,在部分高等学校一些专家的支持下,贵州大学从自身发展的角度出发,率先对计算机科学进行从研究生到本科生教学的系统改革就显得十分难能可贵。作为西部地区贫困省份的一所最高学府,在办学条件远比国内大多数同类学校差得多的情况下,能够排除各种干扰和困难,迅速组织师资队伍进行实际操作,没有良好的校风和传统是不可能的。

中华民族是一个富于想象力的民族,高等学校是这个民族发挥想象力的思想乐园,而青年是乐园中最具活力的人群。他们辛勤耕耘去探索,创作春天里科学的故事;他们坚韧不拔而持久,编织秋日下金色的童话。只问耕耘,不计收获,在迈向新知识的海洋中,在攀登自由王国的天梯上,即使没有鲜花与掌声,献身科学事业的志向始终与孤独的行路人时刻相伴。纵使成功与他们永远无缘,但校园的科学精神将是永恒的、宝贵的民族财富。

艺术源于生活。我一直觉得就像某些电影和小说中关于艺术是一种宗教的说法极富哲理性一样,科学技术,对所有为之献身的人来说何尝不是一种宗教。我们一直希望,大学能够培养出更多的献身科学技术这类“宗教”的人才。

感谢贵州大学、理工学院及其计算机科学系有关领导的信任和坚定不移的支持,使该校1998年秋入学的学生已经采用接近于A类模式的教学计划进行试验,并在1999年进一步加大教学改革力度,朝全面实施A类模式的方向又迈进了一步。

啰里啰嗦地写了这么多。本来是准备用来为再版修改《计算科学导论》书稿的,

没想到把“有用的”和“没用的”都记在了脑子里。现在要动手修改了,才想到要把这些东西按照先后顺序预先系统地写下来,重新记在笔记里。这些内容看似与专业知识无关,但是,它对读者了解国内目前各高等学校的现状提供了有益的补充说明,有助于读者在学习中的决策。因为是今年秋天整理的,内容也还算同前言之类的短文大抵一致,不妨就叫做“秋日的笔记”,当成再版前言。

赵致琢

1999年10月20日

第 一 版 前 言

长期以来,计算机科学与技术(专业)教学计划中是否需要开设“计算科学导论”课程,如果开设这门课程,学时数安排多少,重点讲授什么内容等一系列问题在计算机科学教育界存在不同认识。根据计算机科学面向 21 世纪教学内容与课程体系改革课题研究工作的进展和体会,我们认为,还是有必要在计算机科学与技术专业教学中于第一学期开设“计算科学导论”这一课程。考虑到目前不少学校新生入学时安排几周军训,课程的学时数以安排 15—20 学时为宜。

在过去的二十几年里,已有不少学校的计算机科学系或计算机科学与技术专业开设了计算科学导论课程,并相继编写、编译和陆续出版了若干种《计算科学导论》的教材,广泛地应用于高等学校的教学中。然而,随着教育界对计算机科学教育认识的不断深化,原有教材的不足之处日渐呈现出来,主要表现在以下两个方面:

1. 大多数《计算科学导论》教材在内容上写成了计算机科学本科专业(基础)课程教学内容的简洁的压缩版,没有从一年级学生学习中普遍关心的问题出发,就学科特点、学科形态、历史渊源、发展变化、典型方法、学科知识组织结构和分类体系、各年级课程的重点,以及如何认识计算机科学,学好计算机科学等问题从科学哲学和高级科普的角度去回答大家的疑问,因而难以起到后续课程导引的作用;

2. 导论的内容与后续课程的衔接缺乏科学的论证,也由于一年级学生尚缺乏学习后续课程必要的基础知识,而该课程以往在学时数的安排上又偏大,从而导致在内容上增加了不少本来应该由其它课程(包括实验课程)承担的教学内容,如计算机操作命令与汉字编码等,也增加了一些不应该进入教学计划与课程体系中的内容,如某些高级语言和某些数据库系统语言及其应用等。其中有一部分是学生进入高年级后如果有必要,能够很自然、很容易地自学掌握的知识。

由此可见,编写一本能够真正起到计算科学导论作用的新教材,已是一项紧迫的任务。这项看似简单的工作之所以一直做得不尽圆满,除了认识上的原因之外,很重要的一条是对作者的要求较高。如果没有对计算机科学学科历史渊源、学科特点、学科知识组织结构、学科发展规律和趋势等内容的整体把握,没有长期在第一线从事计算机科学研究工作的体会、经验和教训,要写好这本书是不容易的。我们创作的这本教材便是在这样一种背景下面向计算机科学与技术专业一年级学生所作的一次探索与尝试,是否合适,还有待实践检验。

本书的写作是建立在科学研究基础之上的。对内容的取舍,我们着重引用计算机科学面向 21 世纪教学内容与课程体系改革课题的一些研究结果来设计各个章节,具体内容系参考国内外一大批科学技术文献后,综合作者多年来从事计算机科学研究的心得与体会写成。本书可作为计算机科学与技术(专业)一年级计算机科学导论的试用教材,参考学时数为 15—20 学时。第一章至第三章的内容是课程的重点,建议各系应选派在第一线从事计算机科学研究,学有所成的科学家担任本课程的教学并使用投影仪进行教学。我们希望授课教师能在一种轻松的气氛中以类似于讲故事或聊天的形式,将前三章的主要内容介绍给学生。第四章的内容是由其在学科整个教学计划与课程体系中的地位以及受教学计划进度表的时空限制等因素确定的,约占 10—12 个学时。其中,打“*”的小节也可以不学。前三章的内容虽然重要,但却应以学生自学为主,教师辅导为辅,原因是这些内容对学生只是起一个导论的作用,要真正弄明白其内涵,只能在今后的学习中逐步完成。采用课堂讨论的方式初步解决学生在学习前三章的内容时存留的问题也许值得一试。

与本书相呼应的教学课程可以是第一学期的计算机实验。在实验课的教学中,学生应该在实验课教师的指导下具体动手操作计算机,掌握一些简单的操作技术,提高感性认识。由于近年来入学的学生在熟悉使用计算机方面差别较大,计算机实验课尤其应注意因材施教。各系应积极针对一年级学生编写《计算科学实验》。我们在附录中开列了一些实验单元的参考目录。对一些已经有了程序设计经历的学生,可以考虑安排熟悉各种流行的、重要的计算机软件的使用,特别是网络软件。而对那些从未接触过计算机的学生,则一切应从头开始。要注意的是,教师不必强调学生在计算机科学导论课程中对主要内容掌握的熟练程度,也不必强调学生在计算机实验课程中对操作的熟练程度,这些不是一年级学生学习的重点内容。我们建议计算机科学导论和计算机实验课程期末考核方式定为考查。

本书的内容重在引导学生怎么从科学哲学的角度去认识和学习计算机科学,也包括为学习后续课程准备的布尔代数的基础知识。这些内容对学生学好计算机科学,顺利完成学业是有益的。在学习中,学生可能会对前三章的一些内容理解不准确、不深刻、不全面,这是正常的,无须大惊小怪。但是,本书中带有结论性的观点、方法和认识,学生应注意牢记在心。这不仅因为它们是计算机科学(教育)界多年来经验的积累,而且,随着同学们学习的不断深入,知识的不断积累,会进一步加深对这些观点、方法的认识,有助于大家学好计算机科学,顺利完成学业。教学中,有条件的学校可以配发一些计算机科学的课外读物,诸如科学人物评传,与计算机科学有关的一些经典的综述性论文、报告文献等。

我国计算机专业已有几十年的办学历史,在实践中积累了一些经验。从最近十年内的办学情况来看,许多学校,特别是 1985 年以后建立计算机科学系的学校,由于师资队伍水平、办学经费投入等许多方面的因素,对计算机科学的认识存

在偏差,主要体现在教师和学生支撑计算机科学发展所需要的基础估计不足,对计算机科学类专业学习的艰巨性估计不足。这两种估计不足导致专业教学计划对基础课程和专业基础课程的重视程度不够,对计算机科学实验课程的重视程度不够,其结果是大多数学校的教师和学生把这一技术科学当成一般工科专业来对待,基础课程和专业基础课程在全部课程中所占的比重下降,基础课程和专业基础课程的教学深度普遍下降。师生过多地将教学精力投入到简单的上机实践中而倾向于知识扩展的外延发展,忽视了课堂教学和实验教学本来应该走内涵发展的道路这一学科的客观要求,淡化了对基础理论知识的学习,忽视了从理论联系实际的角度出发,在教学中加强对计算机基本实验技术的掌握,从而使人才培养偏向职业技术教育。从根本上说,计算机科学这样一种人才培养倾向直接威胁到我国计算机科学学科(科学研究和高等教育)的发展和计算机产业参与国际竞争。

计算机科学类专业的学习是一项十分艰巨的劳动,不少近年来成长起来的青年科学家和工程师有同感。经验告诉我们,学习计算机科学甚至比学习基础数学还要困难,因为其不少理论课程在深度上不比数学课程更简单,同时学生又要面对大量实践内容的学习,知识更新周期很短。理论与实践相结合,理论与实践的统一是计算机科学的一大特点,它决定了在学习中学生要经常不断地在严密的逻辑思维与形象的实验操作之间转换学习方式,这对大多数人不是一件轻松的事。何况计算机科学学科发展极快,在工作中对知识组织结构的补充与更新任务犹如泰山压顶,让人喘不过气来。难怪一些计算机科学大师们感叹:“计算机科学是年轻人的科学。”这就是说,一旦你选择了计算机科学作为你终生为之奋斗的专业领域,就等于你选择了一条布满荆棘的道路,一条充满艰辛的人生之路。一个有志于从事计算机科学研究与开发的学生,必须在大学的几年学习中打下坚实的基础,才有可能在将来学科的高速发展中,或在计算机产品的开发和快速更新换代中有所作为。当然,这样形容不一定能让读者信服,还是应该从学科本身的发展和内在规律方面去找出根据,让学生从根本上认清学好基础课程的重要性。

教材的写法理应贯彻让不同水平的读者都有收获的文学创作原则,此正所谓“深者得其深,浅者得其浅”的作品境界。当然,要做到这一点,不是一件容易的事情,何况书中的内容作这样的安排仅反映了作者的认识,至多也只是一家之说,难免出现谬误或不足之处,这是需要说明的。作者真诚希望使用本书的教师和学生能够将心得体会告诉我们,欢迎读者批评指正。倘若这本教材能够成为有志于计算机科学事业的学生和读者在各个不同的学习时期的一本有用的导引,真正起到一些“导引”的作用,作者将感到由衷的欣慰。

作者在写作时,参考了不少国内外的学术著作和文献资料,但未列出参考文献的目录。这并非作者有悖于科学道德,而是对所有一年级的大学生,我们确实不希望他们将学习的重点放在这门课程之上,更不希望他们在对科学的热情和好奇心

的驱使下花费大量的时间去阅读许多专业参考文献,因为本书的内容不是大学一年级的学习重点,仅仅是一个导论而已。这一点,尤其需要向读者作一个简单的说明和交代。

作者通信地址:

361005 福建省厦门市厦门大学计算机科学系

E-mail: zzzhao@xmu.edu.cn

作 者

1997年7月于厦门大学海滨寓所

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 计算科学的基本概念和基本知识 (1)

1.1 计算模型与二进制 (1)

1.1.1 计算模型与图灵机 (2)

1.1.2 二进制 (5)

1.2 存储程序式计算机的基本结构与工作原理 (8)

1.3 数字逻辑与集成电路 (10)

1.4 机器指令与汇编语言 (12)

1.5 算法、过程与程序 (14)

1.6 高级语言与程序设计技术和方法 (22)

1.7 系统软件与应用软件 (24)

1.8 计算机组织与体系结构 (25)

1.9 并行计算机、通道与并行计算 (27)

1.10 计算机网络与通信 (29)

第二章 计算科学的意义、内容和方法 (35)

2.1 什么是计算科学 (35)

2.2 计算科学发展主线 (39)

2.2.1 计算模型与计算机 (40)

2.2.2 计算模型、语言与软件开发方法学 (56)

2.2.3 应用数学与计算机应用 (68)

2.3 学科的基本问题 (86)

2.4 计算科学的分类与分支学科简介 (88)

2.4.1 构造性数学基础(数理逻辑、代数系统、图论、集合论等) (88)

2.4.2 计算的数学理论(计算理论、高等逻辑、形式语言与自动机、 形式语义学等) (94)

2.4.3 计算机组成原理、器件与体系结构(计算机原理与设计、体系结构等) (96)

2.4.4 计算机应用基础(算法基础、程序设计、数据结构、数据库基础、 微机原理接口技术等) (97)

2.4.5 计算机基本应用技术(数值计算、图形学与图像处理、网络、多媒体、

计算可视化与虚拟现实、人工智能等)	(98)
2.4.6 软件基础(高级语言、数据结构、程序设计、编译原理、数据库原理、 操作系统原理、软件工程等)	(99)
2.4.7 新一代计算机体系结构与软件开发方法学(并行与分布式计算机系统、 智能计算机系统、软件开发方法学等)	(100)
2.5 计算科学与数学和其他相关学科的关系	(101)
2.5.1 为什么说数理逻辑和代数是计算科学的主要基础	(101)
2.5.2 计算科学与其他相关学科的关系	(103)
2.6 计算科学的学科形态与核心概念	(104)
2.7 计算科学的典型方法与典型实例	(107)
2.8 计算科学学科特点、发展规律和趋势	(114)
2.9 计算机产业发展前景	(118)
2.10 计算科学知识组织结构及其演变	(121)
第三章 计算科学教学计划与课程体系	(126)
3.1 计算科学(专业)的培养规格和目标	(126)
3.2 一个计算科学(专业)参考教学计划与课程体系	(129)
3.2.1 计算科学专业本科生 A 类教学计划与课程设置进度表	(129)
3.2.2 计算科学专业本科生 B 类教学计划与课程设置进度表	(135)
3.3 如何学好计算科学	(137)
3.3.1 如何实现思维方式的数学化	(137)
3.3.2 计算科学专业各学期重点课程	(149)
3.3.3 实验课程在计算科学教学计划中的作用和地位	(150)
3.3.4 如何提高专业能力	(153)
3.4 理解科学与科学素养	(154)
第四章 布尔代数基础	(157)
4.1 集合的基本概念与基本运算	(157)
4.1.1 从属与包含关系	(157)
4.1.2 集合的基本运算和基本关系	(158)
4.2 自对偶的公理系统	(164)
4.2.1 布尔代数公理系统	(164)
4.2.2* 标准形式和公理系统的完备性	(173)
习 题	(178)
附录 计算机科学系一年级计算科学实验参考目录	(180)
后记	(182)

第一章 计算科学的基本概念和基本知识

本章主要介绍一些计算科学的基本概念和基本知识,以便帮助读者较为顺利而又自然地学习后面章节的内容。

1.1 计算模型与二进制

数学不等于计算,但数学确实起源于对计算的研究。在数学发展的初期,针对实际问题研究计算方法和技術是当时的一大特点。之后,从古希腊数学家开始,出现了对计算的根木问题,即可计算性的研究。不过,那时的可计算性研究与 20 世纪不同,其成果只是关于某些问题类的不可计算性。例如,直角三角形的直角边与斜边之长是不可通约的;一元五次以上方程式不存在通解公式等。这是中学时读者就已经知道的两个基本事实。随着许多计算问题逐步得到解决和不可计算问题类的不断积累,由于问题的种类繁多,各不相同,不仅从认识上难于统一已有的成果,而且也使几百年来几代数学家渴望制造出计算机器的梦想因缺乏科学理论而未能成功。无数次的失败使科学家认识到发展计算模型,研究最一般的问题类的可计算性的重要性。

说到计算模型和数学,总免不了要涉及到形式化与形式化方法的概念。我们说,形式是事物的内容存在的外在方式、形状和结构的总和。所谓形式化是将事物的内容与形式相分离,用事物的某种形式来表示事物。形式化方法是在对事物描述形式化的基础上,通过研究事物的形式变化规律来研究事物变化规律的全体方法的总称。下面的例子可以帮助读者理解。

有两个幼儿园的小朋友,他们天天在一起。开学的第一天,下午放学前,老师给他们每人发了两个梨。两人没有舍得吃,将梨放在一起,数了数一共是四个。第二天,老师给每人发了两个桔子。他们还是舍不得吃,又将桔子放在一起,数了数,也是四个。两人感到奇怪,梨和桔子明明白白是不一样的,怎么放在一起都是四。于是,他们去问老师,得到回答:你们的问题涉及到数学的加法运算。

在数学家看来,两个梨与两个梨合在一起和两个桔子与两个桔子合在一起形式上是一样的,可以抽象地将其看成是 $2+2=4$ 。一旦不考虑梨、桔子或其他东西的内在区别,而只考虑其外在的某种形式,譬如数量,那么,每个小朋友分到的梨就是 2,分到的桔子也是 2,合起来都是 4。由此,可以抽象出加法中的一条形式化的运算规则: $2+2=4$ 。

1.1.1 计算模型与图灵机

20 世纪 30 年代是计算模型研究取得突破性进展的时期。由于受到数理逻辑发展中判定问题引起的计算模型研究和构造性数学学派的影响,哥德尔(K. Gödel)、丘奇(A. Church)、图灵(A. M. Turing)、波斯特(E. L. Post)等人在研究中陆续提出了一批计算模型,如递归函数、 λ 演算、图灵机、波斯特系统等,并称这些模型是用算法方法解决问题的极限。即凡是能用算法方法解决的问题,也一定能用这些计算模型解决;同样,这些计算模型解决不了的问题,任何算法也解决不了。进一步的研究发现,这些计算模型之间在计算能力上是等价的。其中,以图灵机的特点和性质更接近普通人计算的思想方法,又因其好用而被现代计算机的研究、开发者所采纳。

所谓计算模型是刻画计算这一概念的一种抽象的形式系统或数学系统,而算法是对计算过程步骤(或状态)的一种刻画,是计算方法的一种能行实现方式。在计算科学中,我们通常所说的计算模型,并不是指在其静态或动态数学描述基础上建立求解某一(类)问题计算方法的数学模型,而是指具有状态转换特征,能够对所处理的对象的数据或信息进行表示、加工、变换、输出的数学机器。由于观察计算的角度不同,产生了各种不同的计算模型。例如,递归函数是将可以计算的问题用函数来表示,从考察可以计算的函数应具有怎样的构造入手研究计算,而图灵机则是从计算的一般化过程来研究计算。

在递归函数的研究中,从少数几个初始函数出发,通过有穷次地使用函数的代入运算、复合运算、以及原始递归等运算,就可以构造出大量复杂的函数。初始函数可以是:

- (1) $s(x) = x + 1$ (后继函数);
- (2) $o(x) = 0$ (零函数);
- (3) $U_j^{(n)}(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_j$ (射影函数)。

由于初始函数十分简单,它们显然都是可以计算的。因此,如果能够保证今后使用的函数的代入运算、复合运算、以及原始递归等运算都是能行可以计算(如图灵机可计算)的,那么,我们就可以构造出大量可以计算的函数。换言之,我们希望一个函数是否可以计算的判定问题,能够化归为对函数的构造的研究。早期,关于递归函数理论的研究是先于图灵机建立的,但后来,在图灵机出现之后,关于可计算性理论的研究更多地转向对以图灵机为基础的研究。至 50 年代,后人比较完整地建立了图灵机与递归函数之间的关系。

下面,我们介绍图灵机的基本概念。

图灵机由一条两端可无限延长的带子、一个读写头和一组控制读写头工作的命令(控制器)组成,如图 1.1 所示。这条带子上划分了无穷多个可写、可擦的小格