

# 计算思维与计算机导论

董荣胜

(桂林电子科技大学计算机与控制学院 桂林 541004)

**摘要** 计算思维是目前国际计算机界广为关注的一个重要概念。2008年6月,ACM提交的《CS2001中期审查》报告(草案)将“计算思维”与“计算机导论”课程绑定在一起,明确要求“计算机导论”课程讲授计算思维的本质。根据ACM的要求,分别介绍了以“计算思维”和“学科思想与方法”为基础的两类“计算机导论”课程,给出了两类“计算机导论”课程的讲授提纲,指出了它们的不同点以及课程讲授本质上的一致性。最后认为,两类课程各有所长,值得相互吸收和借鉴,同时,也有助于以“计算思维能力”培养为核心的“计算机导论”课程的教学改革,并为计算学科其他课程的教学提供一种可以借鉴的改革模式。

**关键词** 计算学科,计算思维,计算机导论,计算机科学与技术方法论

**中图分类号** G642

## Computational Thinking and Introduction to Computer Science

DONG Rong-sheng

(School of Computer and Control, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract** Computational thinking is becoming an important concept widely concerned over the field of computer science today. CS 2001 Interim Review(draft), submitted by ACM in June 2008, proposed that the introductory course should capture the essence of computational thinking. According to the report, this paper respectively described two kinds of introductory courses; one is based on computational thinking, and the other based on discipline principles and methodologies; it also provided their syllabuses and pointed out their differences and consistency in essence. Finally we thought the strengths of the two kinds of introductory courses are different but complementary, and the complementarity can also contribute to the teaching reform of the course “Introduction to computer science” with a core of competency training of computational thinking, which will provide a good example for the teaching of other courses of computer science.

**Keywords** Computer science, Computational thinking, Introduction to computer science, Methodology of computer science and technology

## 1 引言

计算学科的认知问题是学术界长期以来一直探讨的问题,反映在教学上就是“计算机导论”课程的构建问题,这个问题引起了国际计算机权威组织 ACM 和 IEEE-CS 的关注。

1989年,ACM 攻关组提交了著名的“计算作为一门学科”(Computing as a discipline)报告,报告将“计算机导论”课程的构建问题与计算学科的“存在性”证明问题,以及计算学科核心课程的设置问题一起并列为计算学科教育面临的三个必须解决的重大问题<sup>[1]</sup>。

“计算作为一门学科”报告认为,“计算机导论”课程的构建问题是计算教育面临的一个重大问题。该课程要培养学生面向学科思维能力,使学生领会学科的力量,以及从事本学科工作的价值所在。报告希望该课程能用类似于数学那样严密的方式将学生引入到计算学科各个富有挑战性的领域之中。

CC2001 报告介绍了“计算机导论”课程的构建问题,并认为这是一个引起类似宗教战争那样激烈争论的问题。报告认为不管未来“计算机导论”课程如何进行设计,它都应该讲授学科中那些富有智慧的核心思想<sup>[2]</sup>。

CC2005 则进一步指出,该课程的关键是课程的结构设计问题,现有的浓缩版结构显然不是一种好的课程结构,报告期待人们在该课程的结构设计上有所突破<sup>[3]</sup>。

2008年6月,ACM 在网上公布的对 CS2001(CC2001)进行中中期审查的报告(CS2001 Interim Review)(草案),开始将美国卡内基·梅隆大学计算机科学系教授周以真(Jeanette M. Wing)倡导的“计算思维”与“计算机导论”课程绑定在一起,并明确要求该课程讲授计算思维的本质<sup>[4-6]</sup>。

综上所述,根据 ACM 和 IEEE-CS 的要求,“计算机导论”课程应该以面向计算学科的思维能力,也即计算思维能力的培养为核心,为学生将来的大学课程打好基础。

根据 ACM 和 IEEE-CS 的要求,本文主要对以周教授倡

到稿日期:2008-04-30

董荣胜(1965—),教授,CCF 高级会员,研究方向为形式化技术、协议工程、计算学科认知理论。本文为作者在 2008 年全国“计算思维与计算机导论”专题学术研讨会上所作的主题报告。

导的以计算思维为基础的“计算机导论”(也称“怎么像计算机科学家一样思维”)课程<sup>[5]</sup>,以及笔者倡导的以学科思想与方法为基础的“计算机导论”(也称“计算机科学与技术方法论”)课程进行比较<sup>[7-8]</sup>,希望能够进一步促进计算学科核心课程——“计算机导论”课程的建设。

## 2 以计算思维为基础的“计算机导论”课程的讲授

本文所讨论的以计算思维为基础的“计算机导论”课程,特指周以真教授在其受到广泛关注的《计算思维》一文中所倡导的:计算机科学的教授应当为大学新生(含所有非计算机专业的学生)开设一门称之为“怎么像计算机科学家一样思维”的课程<sup>[4]</sup>。

周教授认为,计算思维不仅仅属于计算机科学家,它应当是每个人的基本技能。在培养孩子们的解析能力时,我们不仅要求他们掌握基本的阅读、写作和算术(Reading, writing, and arithmetic,简称3R),并且还要求他们学会基本的计算思维。

周教授认为:一个人可以主修英语或者数学,接着从事各种各样的职业。计算机科学也一样。一个人可以主修计算机科学,接着从事医学、法律、商业、政治以及任何类型的科学和工程,甚至艺术工作。

周教授认为:计算思维是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的涵盖了计算机科学之广度的一系列思维活动。

计算思维建立在计算过程的能力和限制之上,由人由机器执行。计算方法和模型使我们敢于去处理那些原本无法由个人独立完成的问题求解和系统设计。

为便于理解,周教授在给出计算思维总的定义的基础上,又对计算思维作了更详细的表述,如表1所列。

表1 计算思维的更详细描述(或定义)

- (1)计算思维是通过约简、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知道问题怎样解决的思维方法;
- (2)计算思维是一种递归思维,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)计算思维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,是一种基于关注点分离的方法(Separation of Concerns,简称SoC方法);
- (4)计算思维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)计算思维是按照预防、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)计算思维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)计算思维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。

为了传播计算思维,周教授撰写了针对大学所有新生的“计算思维”讲义,并以此作为“怎么像计算机科学家一样思维”课程的主要教材,为便于讨论,我们将这种课程称之为以计算思维为基础的“计算机导论”课程。下面列出周教授的讲授提纲,如表2所列。

表2 以计算思维为基础的“计算机导论”课程讲授提纲

1. 计算领域的宏大视野  
主要内容:计算思维将是21世纪中叶所有人的一种基本技能,这种技能就像今天人们普遍掌握的3R技能一样;到那时,我们每个人都像计算机科学家一样思考问题。

### 2. 计算思维中的两个“A”

主要内容:介绍计算思维中最根本的两个概念:一个是抽象(Abstraction),另一个是自动化(Automation)。周教授将它们称之为计算思维中的两个“A”,这两个A代表了计算思维的本质,反映了计算的最根本问题:什么能被有效的自动进行?

### 3. 计算思维的表述

主要内容:如表1所列。

### 4. 计算思维的影响

主要内容:介绍计算思维对其他学科的影响,包括对统计学、生命科学、经济学、化学和物理科学等学科领域的影响。

### 5. 计算思维的特征

主要内容:计算思维的6大特征:概念化,不是程序化;根本的,不是刻板的技术;是人的,不是计算机的思维方式;数学和工程思维的互补和融合;是思想,不是人造物;面向所有的人,所有地方。

### 6. 计算思维在卡内基·梅隆大学

主要内容:介绍计算思维在卡内基·梅隆大学各学科领域的应用,包含在科学、工程、艺术、社会科学、商业、公共政策、计算机科学、软件工程等学科领域的应用;卡内基·梅隆大学计算机科学学院拥有的教员、学生人数等基本情况的介绍;该校计算机科学学院的特色,包括研究的类型、地位,计算机科学中的女性,支持的文化,组织结构,CSD协作网,以及算法与复杂性、人工智能、计算机体系结构、数据库、大规模分布式系统、机器学习等计算机科学的研究领域与应用领域(含大型项目);学位的设置;课程的设置等。

### 7. 计算机科学中的深层次问题

主要内容:P=NP? 什么是可计算的? 什么是智力? 系统的复杂性指的是什么?

### 8. 结束语

主要内容:重复第一部分关于计算思维的观点,建议将向全世界所有的人传播计算思维!

## 3 以学科思想与方法为基础的“计算机导论”课程的讲授

本文所讨论的以学科思想与方法为基础的“计算机导论”课程,特指笔者在其撰写《计算机导论——思想与方法》以及《计算机科学与技术方法论》两本书中所倡导的,以学科认知模型为基础,从学科思想与方法这个较高层面讲授的“计算机导论”课程。

笔者所倡导的“计算机导论”课程来自ACM教育委员会对“计算机导论”课程构建的要求,即用严密的方式将学生引入计算学科各个富有挑战性的领域之中,同时,还为学生正确认知计算学科提供方法,为学生今后深入学习计算机的课程作铺垫。下面列出讲授提纲,如表3所列。

表3 以学科思想与方法为基础的“计算机导论”课程讲授提纲

1. 绪论  
主要内容:计算学科的定义;计算学科的根本问题;计算学科专业名称的演变;分支学科及其培养侧重点;计算机科学、计算机工程、软件工程和信息技术等4个主要分支学科的知识体和核心课程;最后,“计算机导论”课程的构建问题;计算学科认知模型——计算学科二维定义矩阵;计算学科若干问题的介绍。
2. 计算学科的基本问题  
主要内容:计算的历史;对问题进行抽象的典型实例——哥尼斯堡七桥问题;“梵天塔”问题;“停机问题”;算法复杂性中的难解性问题、P类问题和NP类问题;证比求易算法;P=NP是否成立的问题;旅行商问题与组合爆炸问题;找零问题、背包问题与贪婪算法;“GOTO语句”与程序设计中的结构问题;“哲学家就餐”问题与计算机系统中的软硬件资源的管理;“两军问题”与计算机网络;“图灵测试”;“中文屋子”;计算机中的博弈问题。
3. 计算学科中的3个学科形态  
主要内容:一个关于“学生选课”的例子;抽象形态;理论形态;设计形态;3个学科形态的内在联系;计算机语言的发展及其3个学科形态的内在联系。
4. 计算学科中的核心概念  
主要内容:算法;数据结构;程序;软件;硬件;计算机中的数据(含进制制数及其相互转换,原码、反码和补码及其转换,字符、字符串和汉字,图像数据的表示,声音数据的表示等);CC1991报告提取的核心概念。
5. 计算学科中的数学方法  
主要内容:数学的基本特征;数学方法的作用;集合,函数和关系,代数系统(含群、环、格、布尔代数,布尔代数与数字逻辑电路);定义、定理和证明,必要条件和充分条件;证明方法;递归和迭代;公理化方法;形式化方法。

#### 6. 计算学科中的系统科学方法

主要内容:系统科学的基本思想;软件开发中为什么要引入系统科学方法;结构化方法;面向对象方法。

#### 7. 社会和职业的问题

主要内容:计算的社会背景;道德分析的方法;职业和道德责任;基于计算机系统的风脸和责任;团队工作;知识产权;隐私和公民自由;计算机犯罪。

#### 8. 探讨与展望

主要内容:包括计算本质的认识历史、第三次数学危机与希尔伯特纲领、困对计算本质的揭示等问题的探讨,以及从“计算机导论”课程的构建、教程的继续完善、《计算机专业规范》的实施等问题入手,对计算教育的发展所作的简单展望。

## 4 两类“计算机导论”课程的比较

综上所述,尽管两类“计算机导论”课程的侧重点不同,但本质上是一致的,都是关于学科本质特征的基础概念或思想与方法的讲授。

为便于理解,我们用“思想与方法”替代计算思维定义中的“基础概念”。于是计算思维又可定义为:是运用计算机科学的思想与方法进行问题求解、系统设计以及人类行为理解的涵盖了计算机科学之广度的一系列思维活动。

两类课程都严格的将“计算机操作”的内容置于课程之外。周教授认为,在“计算机导论”课程的教学中,最悲哀莫过于不经过“脑子”而是以“计算机操作”来理解计算学科的概念;笔者则认为,“计算机导论”课程与那些以“计算机操作”为内容进行设置的所谓“计算机导论”根本就是两码事,并以电子学科作类比,认为即使某人已相当熟练地操作电子产品(如家用电器),也不能说明他已相当了解电子学科一样来阐述这个道理。

以计算思维为基础的“计算机导论”强调的是抽象与自动化,而以学科思想与方法为基础的“计算机导论”强调的是抽象、理论和设计,它们都反映了计算的本质:什么能有效地自动进行?相对而言,后者更易于学科各分支领域概念的划分,也更易于教学。另外,作为第一类课程主要内容的“学科深层次问题”,显然已包含在第二类课程关于学科的基本问题之中。

课程最大的不同在于,以计算思维为基础的“计算机导论”大篇幅的介绍了计算思维对其他学科的影响,以及作者所在学校的特色。而以学科思想与方法为基础的“计算机导论”在强调学科抽象、理论和设计3个最基本的概念以及学科的基本问题后,大篇幅的介绍了学科的核心概念、学科采用的数学方法和系统科学方法、社会与职业问题、学科中有争议的问题以及未来的计算教育等。

显然,两类“计算机导论”课程各有所长,可以相互吸收和借鉴。这种相互的吸收和借鉴,有助于以“计算思维能力”培养为核心的“计算机导论”课程的教学改革,也有助于计算学科其他课程的教学改革。

**结束语** 本文所讨论的两类“计算机导论”课程都涉及到面向学科思维能力的培养,这种思维能力的强大被周以真教授清晰而又系统地描述了出来,并得到学术界的广泛关注和

支持。

周教授描述的计算思维其实一直隐藏在我们的教学之中,可以说,计算学科的教学其实也就是关于计算思维的教学,只不过以往的教学没有将这种思维的特征明显地表示出来。这样,就引出了下面两个富有挑战性的问题:

1. 什么样的教学更有助于计算思维能力的培养?

2. 什么样的策略适用于计算思维能力培养的评估?

本文所讨论的两类“计算机导论”课程都引起了计算机界广泛关注,相对而言,以学科思想与方法为基础的“计算机导论”被更多的高校采用;而以计算思维为基础的“计算机导论”讲授的对象是大学所有学科一年级的新生,更需注意的是,这种以“计算思维”为核心的内容,相继被美国和欧洲列为保持国家科技与教育世界领先地位的关键之所在<sup>[9-10]</sup>,并得到大量经费的资助,如2008年启动的总经费为75000万美元的美国国家科学基金会(NSF)重大基金资助计划CDI(Cyber-Enabled Discovery and Innovation, Cyber能够实现的科学发现与技术创新)的支持<sup>[9]</sup>。

相对于英美等西方发达国家,目前,我国大学的计算机基础教学理念的侧重点有所不同,前者强调的是学科思维能力的培养,后者强调的是应用能力的培养。希望国内的计算机教育工作者暂时放下手上的工作,静下心来认真地思考一下这种不同。

## 参考文献

- [1] Denning P J, et al. Computing as a discipline. Communications of the ACM, 1989, 32(1)
- [2] ACM/IEEE-Curriculum 2001 Task Force. Computing Curricula 2001, Computer Science. IEEE Computer Society Press and ACM Press, 2001
- [3] The Joint Task Force for Computing Curricula 2005. The Overview Report. A cooperative project of ACM, AIS, and IEEE-CS. Sept 2005
- [4] CS2001 Interim Review(draft). 2008. [http://wiki.acm.org/cs2001/index.php?title=Main\\_Page](http://wiki.acm.org/cs2001/index.php?title=Main_Page)
- [5] Wing J M. Computational Thinking. Communications of the ACM, 2006, 49(3)
- [6] Wing J M. Computational Thinking and Thinking about Computing[EB/OL]. 2008. <http://www.cs.cmu.edu/~wing/publications/Wing08a.pdf>
- [7] 董荣胜, 古天龙. 计算机科学与技术方法论[M]. 北京:人民邮电出版社, 2002
- [8] 董荣胜. 计算机科学导论——思想与方法[M]. 北京:高等教育出版社, 2007
- [9] <http://www.nsf.gov/crssprgm/cdi/>
- [10] BCS. The science of thinking: Europe's next policy challenge [EB/OL]. 2008. <http://www.sciencebusiness.net/documents/thinking.pdf>

(上接第24页)

- [23] Wagner D, Soto P. Mimicry Attacks on Host-based Intrusion Detection Systems[C]//Proceedings of the 9th ACM Conference on Computer and Communications Security. Washington, DC, USA, 2002: 255-264

- [24] Fogla P, Lee W. Evading Network Anomaly Detection Systems: Formal Reasoning and Practical Techniques[C]//Proceedings of the 13th ACM Conference on Computer and Communications Security. Alexandria, Virginia, USA, 2006: 59-68