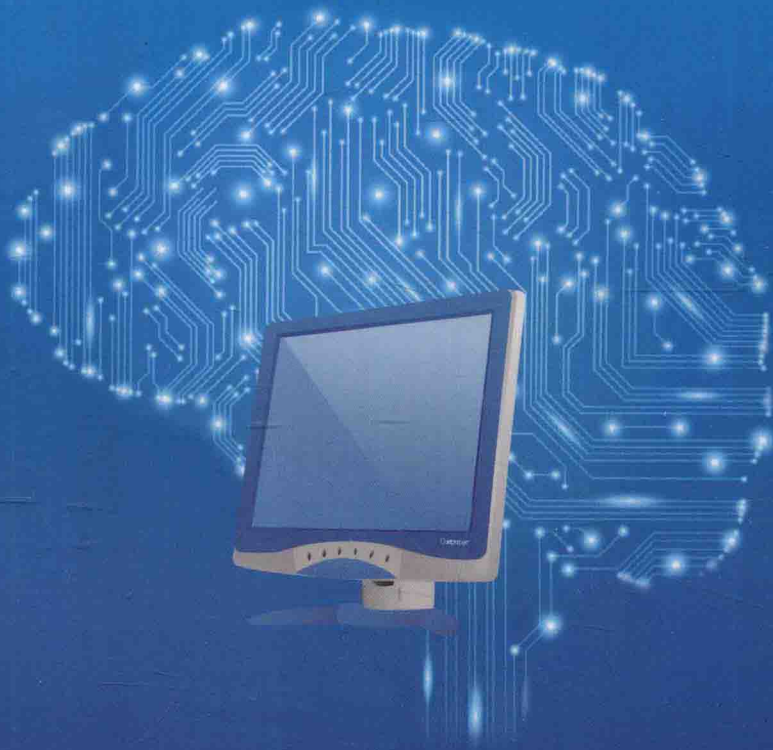


论计算思维及其教育

唐培和 秦福利 唐新来 著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

论计算思维及其教育

唐培和 秦福利 唐新来 著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

论计算思维及其教育 / 唐培和, 秦福利, 唐新来著. —北京: 科学技术文献出版社, 2018. 4

ISBN 978-7-5189-4032-5

I. ①论… II. ①唐… ②秦… ③唐… III. ①电子计算机—教学研究—高等学校 IV. ①TP3-42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 044222 号

论计算思维及其教育

策划编辑: 孙江莉 责任编辑: 赵 斌 李 鑫 责任校对: 文 浩 责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社

地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038

编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)

发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)

邮 购 部 (010) 58882873

官 方 网 址 www.stdp.com.cn

发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销

印 刷 者 北京虎彩文化传播有限公司

版 次 2018年4月第1版 2018年4月第1次印刷

开 本 710×1000 1/16

字 数 209千

印 张 13

书 号 ISBN 978-7-5189-4032-5

定 价 58.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

内容摘要

2006年,美国华裔学者提出“计算思维”这一概念,引起了国内外计算机界的广泛关注,教育界对计算思维及其教育给予了高度重视。梳理十年来计算思维及其教育的研究、改革与实践,发现在计算思维概念认知及教学实践方面存在很大偏差。结合多年的研究与实践,笔者对什么是计算思维给出深入的理解与解读,并从狭义与广义两方面探讨了计算思维方法学,在总结多年大学计算机基础教育“功过是非”的基础上,提出了自己的认知与见解,并在实践的基础上,给出了计算思维教育的理念、方法和途径。本书可供计算思维研究者及高校从事大学计算机基础教育的教师参考、学习。

前 言

记得第一次在全国性大会上聆听“计算思维”方面的学术报告是在2010年11月，那是在济南，报告人是陈国良院士。虽然时值隆冬，但却如沐春风。自此，笔者与同事们开始关注、研究计算思维及其教育，不敢说成效如何，但却是孜孜不倦、倍加努力。

7年多来，计算思维这根“弦”日日在拨弄着我的神经，让我痴狂，让我迷恋。何以如此？一是计算思维本身散发着令人惊叹、引人入胜的灵感和智慧，二是计算思维教育意义重大。身为计算机领域的教师，深感计算思维教育能改变“大学计算机基础”教育“乱象”，给大学通识教育带来“新风”，值得为此付出时间和精力。

我们知道，大学计算机基础教育属于通识类教育，涵盖了多门课程，自诞生之日算起，已经走过好几十年了。回顾历史，尽管各界给予了大力支持，但其道路还是“蜿蜒曲折、磕磕碰碰”。特别是入门课程，从“BASIC语言”到“计算机基础”“计算机文化基础”“大学计算机基础”，几经演变，仍然危机重重（以下谈及大学计算机基础教育，特指入门课程“大学计算机基础”）。这样说，有些人可能不以为然，甚至认为言过其实，但仔细想想以下事实，也就不难明白“大学计算机基础”面临怎么样的危机了：一是“大学计算机基础”的教学内容多半都是一些基本概念的堆砌和基本软件的使用技能，职业培训的“功利化”色彩相当浓厚；二是不少学校直接取消了“大学计算机基础”这样的课程，即便没有取消该课程，也都在大幅地压缩学时，以至于从业教师深感前景暗淡、饭碗难保；三是很多学校（以一般地方普通本科



院校为主)从事该课程教学的教师来源和背景复杂,学什么专业的都有,各种岗位上的人都有,说白了只要教师数量不够,什么人都可以顶替;四是几乎每一所学校都在出版相关教材,很多学校远不止一个版本(反观“高等数学”“大学外语”等,谁敢这般造次?);五是教育都在引导中小学开设信息技术课程,电脑、智能手机等越来越普及,以至于很多大学生入学之前就已经熟练地掌握了“大学计算机基础”课程里面的大部分内容。物之所以贵,在于稀缺,什么人都可以顶替、什么阶段都可以顶替的课程或教学内容,不面临危机才怪!

就在这个关头,周以真教授提出的计算思维送来了春风,带来了希望,人们借此解除大学计算机基础教育的危机。为此,教育部教指委振臂高呼、制定纲领,各地各校积极呼应,业界教师也都准备“撸起袖子加油干”,大有一番“山雨欲来风满楼”的景象。一时间,学术报告、论文、教材等“满天飞”,让人目不暇接、眼花缭乱。

如此这般,几年过去了,我们确有必要冷静地反思:计算思维到底是什么?计算思维教育到底该怎么做?

纵观各种学术报告、论文和教材,深入理解周以真、Peter J. Denning等“大家”的原著,细细品味计算思维的本质,不得不说国内目前对计算思维的理解及计算思维教育的做法存在较大的偏差和谬误。非常典型的是,把“计算思维”当成了“计算机思维”;所谓的计算思维教育,简直就是“新瓶装旧酒”,几乎看不出与原来的“大学计算机基础”有什么本质的区别,更有甚者,打着计算思维的旗号,干着“唯工具论”教育的实际。如此这般,不一而足。

笔者如此道来,恐遭人不屑,也罢。好在学术问题可以“百花齐放,百家争鸣”,好在时间终究会公正地评判一切!

.....

经过多年的研究和实践,笔者和同事撰写了本书。不敢说我



们的观点和看法完全正确，但至少是经过深思熟虑的，能经受住时间的考验，我们有这个自信！

全书分为3章。第1章深入分析并探讨什么是计算思维，从多个角度、多个层面研讨了计算思维到底是什么，说的是否有道理，读者可慢慢品味；第2章试图从狭义到广义的角度，梳理出计算思维方法论，但计算思维博大精深，难免挂一漏万，我们也尽力了；第3章主要论述计算思维教育，这不是一件容易的事，要不然业界就不会这么“乱象丛生”了。

需要说明的是，在探讨一些问题时，书中引用了一些文献，仅仅局限在学术研讨范围，绝无私人恩怨和过节，希望大家理解。观点不对之处，真诚欢迎批评指正。

本书第1章、第2章由唐培和教授撰写，第3章由唐培和教授、秦福利研究员、唐新来教授共同撰写，全书由唐培和教授负责统稿，由秦福利研究员和唐新来教授统一审核。本书的出版得到了广西科技大学“计算思维教学团队”专项经费的资助，也得到了科学技术文献出版社的关心和支持，在此深表谢意！

一家之言，水平有限，时间仓促，错漏难免，理解万岁。但愿拙著对大家有所启发，有所帮助，若如此，深感安慰，且“善莫大焉”！

恭候您的指教！

唐培和

2018年2月25日于柳州

目 录

第1章 论计算思维.....	1
第1节 概 述.....	3
第2节 什么是计算思维?	7
第3节 抽象与自动化	19
第4节 质疑、商榷与辨析	45
第5节 不同认知观察尺度下的“计算思维”	56
第6节 理论思维、实证思维与计算思维	64
第2章 从狭义到广义——计算思维方法学	73
第1节 问题求解过程	75
第2节 数学模型——问题的抽象表示	84
第3节 数据存储结构	89
第4节 客观世界到计算机世界的映射方法	96
第5节 时间与空间及其相互转换.....	113
第6节 存储器及其多级存储体系.....	117
第7节 串行与并行.....	123
第8节 局部化与信息隐藏.....	127
第9节 精确、近似与模糊.....	129
第10节 折中与中庸之道	131
第3章 论计算思维教育.....	135
第1节 计算思维教育现状及其反思.....	137



第2节 计算思维教育研究与实践	153
第3节 计算思维教育案例选	179
附录1 计算思维课程教学设计方案	196
附录2 计算思维课程翻转课堂实施办法	197

第 1 章

论计算思维

计算思维不是计算机思维，它们有着本质的区别！

——题记



计算思维到底是什么？看起来这似乎已经不是一个问题，但事实好像又不是这样。正如教育部高等学校大学计算机课程教学指导委员会主任李廉教授指出的：“……计算思维的内涵究竟是什么，它与我们熟悉的实证思维和逻辑思维之间有什么不同，它的内容和形式有什么特点，仍然是一个需要继续探讨的问题”^①。本章根据我们的研究和理解，深入探讨计算思维的本质内涵。

第1节 概述

2006年，美国华裔学者周以真教授正式阐述了“计算思维”这一概念，引起了国内外学者的高度关注，并在计算机教育界产生了巨大的影响。

“计算思维”这一概念最早到底由谁提出，不必详细，也不必深入考证。粗略来看，国外“计算思维”的提法最早见于麻省理工学院（MIT）的教授 Seymour Papert 发表在《The International Journal of Computers for Mathematical Learning》（1996，1（1）：95-123）的文章《An exploration in the space of mathematics educations》。国内学者黄崇福于1992年出版的专著中提到了“计算思维”^②；本书作者之一的唐培和教授于2003年出版的《计算学科导论》中也用一个专门的小节“逻辑——计算思维基础”来论述“计算思维”^③。国内张晓如等人专门撰文谈到了“计算机思维”^④，粗看起来，似乎与“计算思维”很相近，实则不是一回事。

一个客观事实是，自从2006年美国卡内基梅隆大学（CMU）的周以真教授（Jeannette M. Wing）在《Communications of the ACM》发表论文《Computational thinking》，并对其做了较为系统的阐述后，“计算思维”这一概念受到了广泛的关注，并逐步形成“计算思维”热潮。因此，大家都认同“计算思维”是周以真教授提出来的！

周以真教授认为，计算思维是21世纪中叶每一个人都要用的基本工具，

① 李廉. 方法论视野下的计算思维 [J]. 中国大学教学, 2016 (7): 16-21, 31.

② 黄崇福. 信息扩散原理与计算思维及其在地震工程中的应用 [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1992: 168-178.

③ 唐培和, 聂永红, 原庆能, 等. 计算学科导论 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003: 137-141.

④ 张晓如, 张再跃, 陈凌. 谈谈计算机思维 [J]. 计算机科学, 2000, 27 (增刊1): 107-109.



它将会像数学和物理那样,成为人类学习知识和应用知识的基本素质和基本技能^①。陈国良教授认为,当计算思维真正融入人类活动的整体时,它作为一个问题解决的有效工具,人人都应当掌握,处处都会被使用^②。中科院徐志伟教授认为,计算思维是无处不在的,提供了理解世界的智力工具,在人类社会中具有永久的价值^③。

Computational thinking builds on the power and limits of computing processes, whether they are executed by a human or by a machine. Computational methods and models give us the courage to solve problems and design systems that no one of us would be capable of tackling alone.

计算思维是建立在计算过程的能力和限制之上的,不管这些过程是由人还是由机器执行。计算方法和模型给了我们勇气去处理那些原本无法由任何个人独自完成的问题求解和系统设计。

Computational thinking is a fundamental skill for everyone, not just for computer scientists. To reading, writing, and arithmetic, we should add computational thinking to every child's analytical ability.

计算思维是每个人的基本技能,不仅仅属于计算机科学家。在阅读、写作和算术(英文简称3R)之外,我们应当将计算思维加到每个孩子的解析能力之中。

美国国家科学基金会(NSF)建议全面改革美国的计算机教育,确保美国的国际竞争力,并在2008年启动了一个涉及所有学科的以计算思维为核心的国家重大科学研究计划CDI(Cyber-Enable Discovery and Innovation)。主要包括:一是强调在计算机导论课程中融入计算思维教育,以便普及学生的计算思维素质;二是强调计算思维是一个工具,解决所有课程问题的工具,并不只针对计算机基础课程;三是强调将计算思维相关理论拓展应用到美国各个研究领域,即开展一项以计算思维为核心的涉及所有学科的教学改革计划;四是强调各阶段学校应注重培养教师和学生的计算思维能力,以期借助计算思维的思想和方法促进美国自然科学、工程技术领域的发展。

① Jeannette M W. Computational thinking [J]. Communications of the ACM, 2006, 49 (3): 33 - 35.

② 陈国良,董荣胜. 计算思维与大学计算机基础教育 [J]. 中国大学教学, 2011 (1): 7 - 11.

③ Xu Z W, Tu D D. Three new concepts of future computer science [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2011, 26 (4): 616 - 624.



2008年,美国计算机协会在《CS2001 Interim Review(草案)》中,就明确将计算思维与计算机导论课程绑定在一起,并要求该课程讲授计算思维的本质。同年,美国计算机科学技术教师协会在《计算思维:一个所有课堂问题的解决工具》报告中提出,对计算思维的学习应如同对数学、英语的学习一样,它们都是基础学科,可应用于各行各业。

英国计算机学会(British Computer Society, BCS)也组织了欧洲的专家学者对计算思维进行研讨,提出了欧洲的行动纲领。另外,欧美不少大学,如美国卡内基梅隆大学、英国爱丁堡大学等,率先开展了关于计算思维的课程,以期培养学生的计算思维能力。同时,不少大学还在各学科学术会上,认真地探讨了将计算思维应用到物理、生物、医学、教育等不同领域的学术和技术问题。正是欧美国家对计算思维相关理论积极推广,才使得计算思维的发展得到了国际大多数教育家们的普遍关注。

2011年,美国计算机科学教师协会发布《K-12 计算机科学标准》(K-12 Computer Science Standards)。这份文件提供了一个贯穿幼儿园至高中的计算机教育标准,该标准将计算思维培养作为计算机科学课程的主要课程目标。

2012年,英国CAS(Computing at School Working Group, 中小学计算工作组)提出将计算思维作为“学校计算机和信息技术课程”的一项关键内容,并于2014年在深入分析计算思维的定义、核心概念、教学方法和评估框架的基础上,研制出计算思维培养框架,为英国中小学计算思维教育的开展提供指导。

2012年,澳大利亚课程、评估与报告管理局(Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority)发布《中小学技术学科课程框架》,将数字素养纳入学生基本能力要求,框架明确指出数字技术课程的核心内容是应用数字系统、信息和计算思维创造特定需求的解决方案^①,并在2015年发布的《数字化技术课程标准》中提出“在数字化社会中,人们需要具备利用逻辑、算法、递归和抽象等计算方法认识事物的能力,计算思维教育就是要发展学生利用‘具有程序特征的技术工具’创造、交流和分享信息,

^① 任友群. 数字土著何以可能?——也谈计算思维进入中小学信息技术教育的必要性和可能性[J]. 中国电化教育, 2016(1): 2-8.



合理管理项目,更好地生存于数字化世界中”^①。2014年3月,新加坡政府公布“CODE@SG”计划,就以小学至高中生为对象,希望鼓励他们学习编程和计算思维,高年级的小学生和低年级的中学生,将通过有趣的方式接触程序设计和计算,借此启发学生的兴趣,并提高他们这方面的知识,以此培养和发展科技专才。

国内的情况如何呢?

2007年,中科院自动化所的王飞跃先生对周以真教授的文章进行了翻译,并及时在有关会议和刊物上介绍了周以真教授的文章和理念。

曾任教育部计算机基础教育教学指导委员会主任的中国科学院陈国良院士等人敏锐地意识到计算思维及其教育的重要性,牵头组织若干高校及其教指委成员进行研究,并相继组织了多次学术推广活动。

2008年10月,中国高等学校计算机教育委员会在桂林召开了一次关于“计算思维与计算机导论”的专题研讨会,探讨了科学思维与科学方法在计算机学科教学创新中的作用。

2010年5月,在合肥会议上讨论了如何将“计算思维”融入计算机基础课程之中。

2010年7月,在西安会议上发表了《九校联盟(C9)计算机基础教学发展战略联合声明》,确定了以计算思维为核心的计算机基础课程教学改革。

2010年11月,在济南会议上,在全国性的“大学计算机课程报告论坛”大会上,陈国良院士做了专题报告,推介、研讨以计算思维为核心的基础课教学改革,会将相关材料上报教育部,建议立项研究。

此后的每一届“大学计算机课程报告论坛”、全国性的计算机基础教育大会,甚至计算机专业教学会议、各省市召开的计算机基础教育年会等各类会议,几乎都有“计算思维”方面的专题报告。热度不可谓不高!

经过教育部教指委及其有识之士的大力推广,计算思维教育似乎已经深入人心,每一个从业者都意识到了计算思维教育的重要性,也都希望在自己的教学岗位上推行计算思维教育改革,但到真正要落实改革方案及其教学内容乃至教学方法和手段时,却又感觉困难重重、不知所措。综合来看,根源

^① ACARA. The Australian Curriculum technologies-digital technologies [EB/OL]. [2015-07-05]. <http://www.australiancurriculum.edu.au/technologies/rationale>.



还是在对于计算思维到底是什么存在不同程度的认知问题。

那么，计算思维到底是什么呢？

第2节 什么是计算思维？

这些年，大家都认识到了计算思维及其教育的重要性，也都做了不少工作，取得了很多成果，但不可否认的是，认知方面的偏差还是不同程度地存在的，甚至还比较大。之所以如此，应该还是没有真正理解计算思维到底是什么。

一、计算思维是什么？

要真正深入地理解计算思维，还得从周以真教授及其对计算思维的定义说起。

周以真何许人也？她为什么具有如此大的影响力？百度上不难查到如下信息^{①②}：

周以真（英文名 Jeannette M. Wing）教授，美国华裔计算机科学家（图 1-1）。周以真从小热爱数学与科学，本科在美国麻省理工学院（MIT）主修电子工程。在学习过程中，她感受到计算机科学的无穷魅力，于是又在 MIT 攻读计算机科学系的硕士和博士学位。这位师从图灵奖得主罗纳德·李维斯特（Ronald Rivest）的年轻人，在博士毕业之后，首先去了南加州大学，任助理教授。但最终，以跨学科合作研究闻名的卡内基梅隆大学（CMU）吸引了周以真。自 1985 年起，她开始在 CMU 任教，2004—2007 年，曾担任该校计算机系主任。2007—2010 年，她负责掌管美国国家科学基金会（NSF）计算机与信息科学工程局，制定学术研究和教育资助计划。周以真在 NSF 工作前后，领导了 CMU 的计算机科学系，担任了 5 年 CMU 学术事务副校长，督导大学计算机科学学院提供的教育课程。2013 年她加入微软，担任微软研究院的副总裁。2017 年哥伦比亚大学校长 Lee C. Bollinger 宣布，周以真任哥伦比亚大学数据科学研究院主任及计算机科学

① <http://news.columbia.edu/content/President-Bollinger-Names-Microsoft-Research-Head-Jeannette-Wing-to-Lead-Columbias-Data-Science-Institute>。

② <https://www.guokr.com/article/439742/?page=2>。



图 1-1 周以真教授

教授。“周以真是计算机科学研究和教育领域的开创性人物。” Bollinger 说：“我们的数据科学研究院，对于这所将几乎每一个学术研究都指向于解决社会问题的大学来说，是不可或缺的。周以真的到来将会产生巨大的益处。”哥伦比亚大学数据科学研究院创建于 2012 年，如今已发展成为包括 200 多名研究人员在内的研究单位。

周以真曾任加州大学洛杉矶分校（UCLA）的理论和应用数学研究所委员会委员、美国国防高级研究计划局（DARPA）信息科学与技术委员会成员。她曾担任数十个学术、行业、政府、国际咨询和学术期刊委员会的主席或会员。她在 NSF 的工作，在提升计算思维的价值方面，得到了计算机研究协会和计算机协会（ACM）的杰出服务奖。她是美国艺术与科学学院、美国科学促进会、ACM 和 IEEE 的研究员。

周以真的工作深得同事、专家的赞赏。CMU 校长杰瑞德·科恩（Jared Cohon）表示：“周以真是当今最具独创性、最有创造力的计算机科学家之一。”计算机科学系的兰德尔·布莱恩特（Randy Bryant）教授则说：“她能燃起每个人的热情，所有人都很信任她。”

另外，才华横溢的周以真更像是“龙女”——她曾在中国研习舞剑，也学习武术，是空手道黑带四段。此外，周以真还有扎实的芭蕾舞功底，也跳过探戈、现代舞、爵士舞乃至踢踏舞。她所掌握的才艺如此之多，人们不禁要问她是怎么挤出时间学这么多东西的。“日程表啊。”她说。周以真的青春活力数十年不减，究其原因，她说那不过是因为“天性乐观，过着简单的生活”。