

◆ 思维碰撞

编者按：近年来，国内人工智能等很多计算机科研领域在国际学术界的研究成果能与美国平分秋色。但是，为什么计算机教育领域罕见来自中国的优秀论文？国内的计算机教育研究人员很难获得与国家自然科学基金科研项目同等资助力度的独立研究资助，是重要的原因之一。在以科研项目考核为导向的国内高校，如果继续“重科研轻教学”，我们将在信息领域的国际竞争中面临人才缺失的困境。为此，国家基金委全面启动支持教育科学基础研究的相关工作，目前已经确立了 F0701 教育信息科学与技术二级代码。

《计算机教育》杂志社于 2017 年 10 月 21 日在北京举办了“计算机教育的科学研究”主题沙龙，邀请了国家自然科学基金政策局郑永和副局长以及 11 名高校教师参加。本刊将陆续发布与会老师的观点，希望能够促进计算机教育领域教育科学基础研究的发展。

文章编号：1672-5913(2017)12-0005-06

中图分类号：G642

计算机教育的科学研究和展望

张 铭

(北京大学 信息科学技术学院, 北京 100871)

摘 要：介绍美国国家科学基金中的计算机教育项目、国际同行们关心的教育科研问题，分析我国计算机教育面临的问题。针对中国国家基金委增设的教育信息科学与技术二级代码 F0701，就中国的计算机教育科学研究作出展望。

关键词：计算机教育；科学研究；教育信息科学与技术



张 铭

0 引 言

随着信息产业的蓬勃发展，劳动力市场对计算机人才的需求越来越大。美国白宫的报告预测 2020 年计算机科学人才的缺口将达到 140 万名，而相应的计算机专业毕业生只有 40 万人。2016 年 1 月，美国政府推出“全民计算机科学行动计划”（Computer Science for All

Initiative），斥资 40 亿美元普及计算机科学教育，尤其重视推动青少年编程教育，包括培训教师、研发教材和教学资源、举办竞赛等。

在美国的刺激下，英国、法国、芬兰等国家相继出台政策，推动计算机教育。英国就业和技能委员会（UKCES）发布的最新报告显示，未来十年，计算机人才将成为英国经济增长的重要推动力。

2017 年初，国家教育部、人力资源社会保障部、工业和信息化部联合印发《制造业人才发展规划指南》，预测到 2025 年，新一代信息技术产业领域和电力装备领域的人才缺口将超过 900 万人。

2016 年印发的《国家信息化发展战略纲要》

基金项目：国家自然科学基金资助项目（61472006）。

作者简介：张铭，女，教授，博士生导师，ACM SIGCSE China 主席，CCF 计算机教育工委副主任，研究方向为机器学习、大数据分析、计算机教育，mzhang@net.pku.edu.cn。

指出,以信息化驱动现代化,建设网络强国,是落实“四个全面”战略布局的重要举措,是实现“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴中国梦的必然选择。没有信息化就没有现代化,信息化的核心要素是信息技术人才,特别是创新和拔尖人才。

计算机教育关系到国家未来科技竞争力的问题,关于计算机教育的科学研究迫在眉睫。国家自然科学基金委经过广泛调研,确立了支持教育创新的基本设想,即通过自然科学基金项目资助部署,广泛吸引不同领域的科学家开展多学科交叉的基础研究,来解决教育创新发展中亟待解决的科学问题,更好地运用自然科学研究成果来重构教与学的体系,更好地促进教育科学研究领域人文社会科学与自然科学的交叉融合,显著推动我国教育改革发展和创新人才培养,为办好中国特色、世界水平、人民满意的现代教育提供科学支撑。基金委已经开始全面启动支持教育科学基础研究的相关工作,目前已经确立了 F0701 教育信息科学与技术二级代码。

1 NSF计算机教育项目简介

美国国家科学基金会(NSF)是美国独立的联邦机构,任务是通过基础研究的资助改进科学教育,用发展科学信息、增进国际科学合作等办法促进美国科学的发展。NSF在主页上凸显3个目标“推进科学、资金和支持、激励和教育(Advancing the Science, Funding & Support, Inspiring & Education)”。NSF资助项目包括生物学,计算机及信息科学,工程科学,地质科学,数理科学,社会、行为及经济科学,教育及人力资源科学等方面。NSF以基金项目合同和合作协议等形式对美国的2000多所大学、学院及12年制中小学、非正规科学教育机构等进行资助,在联邦政府对基础研究的投入份额中约占1/4。美国国家科学基金会每年受理约4万项申请,其中约1万项被批准。机构成立50年以来,受其资助的科学家中有100多位诺贝尔奖获得者。

1.1 美国 NSF 支持的计算机教育项目群

NSF的计算机教育研究项目资助主要针对教育及人力资源科学(EHR)和计算机及信息科学(CISE)。计算机教育研究项目大部分来自于

EHR,面向本科、研究生、职业教育以及教育科学研究,每年大约有10多个金额大于一百万美元的大项目以及若干中小项目。另外一部分来自CISE,资助了一些著名的专题项目,例如振兴本科计算机教育计划(CPATH)、面向21世纪的计算教育项目(STEM-CP:CE21),还有科学、技术、工程和数学与计算结合项目(STEM+C)。

CPATH计划启动于2007年,当年投入600万美元,2008年投入500万美元,2009年投1000万美元,其目标是以建设高校计算机教育为主,通过计算机核心课程的学习,提高学生的计算思维能力,使其在劳动力市场上具备更强的竞争力,并寻找相关的计算思维教学模式。CPATH项目鼓励将计算机技术的核心概念、方法、技术和工具集成到新模式本科教育中,同时鼓励探索从高等教育机构扩展到K-12环境的新模式,特别鼓励K-12教师和学生通过项目无缝过渡到以计算机技术为重点的本科课程。经过2007年、2008年的资助和项目实践,CPATH认识到“计算思维”在计划中所起的独特的重要作用,因此,对2009年以后申报的项目提出了更为具体的以“计算思维”为核心的要求。

美国政府STEM计划是一项鼓励学生主修科学、技术、工程和数学(STEM)领域的计划,并不断加大对科学、技术、工程和数学教育的投入,培养学生的科技理工素养。在STEM基础上,STEM-CP项目希望将计算思维/计算机科学概念引入教育中,以实现计算机教育的普及,建设计算学科的教育资源,如计算机老师、高校课程体系等。STEM+C则主要关注两个方面:在其他STEM的学科中结合计算思维进行教育以及研究计算机教育如何在中小学中普及。

1.2 计算机教育研究专家案例

来自佐治亚理工学院的Mark Guzdial教授从2002年至今申请了20余项总计超过一千万美元的计算机教育基金,是知名的计算机教育权威人士,表1列举了他主持的几个代表性项目。

美国NSF也充分调动了一些教学型高校教师的科研潜力。来自加州州立大学圣马可斯分校的欧阳幼文教授致力于计算机教育研究,涉及大学本科教育和中小学计算思维教育领域,先后获得7个美国自然科学基金会项目资助,总额超过六百万美元。欧阳教授目前主持表2所示的计

表 1 Mark Guzdial 教授计算机教育基金项目示例

项目编号	基金名称	在研时间	项目经费
1500083	拓宽计算教育中的网络安全教育——教育每个人护卫我们的在线活动 (Broadening Cyber Security Education Beyond Computing – Educating Everyone to Safeguard Our Online Lives)	2015.07–2018.06	\$300,000
1432300	建立基于教育心理学原理的在线计算机学习方法 (Creating High-Completion CS Online Learning Using Educational Psychology Principles)	2014.10–2018.09	\$738,873
1228352	扩展计算教育途径联盟 (Expanding Computing Education Pathways (ECEP) Alliance)	2012.10–2018.09	\$3,153,758
1138378	通过教学设计技术创建支持在职教师的远程计算机教育 (Using Instructional Design Techniques to Create Distance CS Education to Support In-Service Teachers)	2011.10–2017.09	\$1,038,211
0940394	扩展通过创新、邀请和相关计算教育促进交流的“佐治亚计算”联盟 (Extending “Georgia Computes!” : A Statewide Vertical Alliance to Broaden Participation through Innovative, Inviting, and Relevant Computing Education)	2009.09–2013.08	\$1,509,624
0829601	通过发展区域计算教育者社区改进计算机教育 (Improving Computing Education by Developing Regional Communities of Computing Educators)	2008.09–2013.08	\$439,827
0634629	通过创新、邀请和相关计算教育促进交流的全州范围联盟 (Statewide Vertical Alliance to Broaden Participation through Innovative, Inviting, and Relevant Computing Education)	2006.09–2010.08	\$2,056,007
0618674	在计算领域通过媒体计算吸引和留住学生 (Using Media Computation to Attract and Retain Students in Computing)	2006.08–2010.07	\$413,758
0613738	为非计算学科的专业人士进行情境设计教育 (Contextualized Design Education for Professionals from Non-Computing Disciplines)	2006.08–2009.07	\$137,114
0512213	评估学生对计算机导论课程的知识掌握和态度 (Assessing Concept Knowledge and Attitudes in Introductory Computer Science Courses)	2005.09–2008.08	\$140,257
0306050	媒体计算：一种新的针对非专业人士和少数族群的计算机教学方法 (Introduction to Media Computation: A New CS1 Approach Aimed at Non-Majors and Under-Represented Populations)	2003.08–2007.07	\$256,623
0231176	“数据优先”计算：以媒体计算为动机和结构的非计算机专业导论课 (Media Computation as a Motivation and Structure for a Non-Majors CS1 Class: “Data-First” Computing)	2002.11–2003.10	\$73,430

表 2 欧阳幼文教授主持的计算机教育方面 NSF 在研课题

项目编号	基金名称	在研时间	项目经费
1742618	为计算机学者建立社会资本和职业效能 (Building Social Capital and Professional Efficacy for Computer Science Scholars)	2017.10–2022.09	\$999,998
1615255	通过女性黑客马拉松鼓励女生选择 STEM 职业道路 (Inspiring Commitment for STEM Career Paths through Extended Women’s Hackathons)	2016.09–2019.08	\$1,199,971
1543258	学生和教师对计算思维的理解和参与 (Quality Understanding and Engagement for Students and Teachers on Computational Thinking (QUEST CT))	2016.01–2018.12	\$1,249,249

计算机教育方面的 3 项 NSF 在研课题。

1.3 近两年美国 NSF 资助的计算机教育项目

2016 年初，响应奥巴马政府的“全民计算机科学行动计划”，美国 NSF 教育研究部门增加计算机教育研究项目经费，设立了 12 亿美元的专项基金。

在 CPATH、STEM-CP 以及 STEM+C 这些著名项目的基础上，NSF 教育项目资助类型也变得更加多样，概括起来，主要包括以下几类。

(1) 面向中学生的计算机科学原理。例如，为全美最大的学校系统提供严谨的计算机科学原理课程 (Bringing a Rigorous Computer

Science Principles Course to the Largest School System in the United States), 项目主持人 E. Paul Goldenberg, 美国教育发展中心 (Education Development Center), 在研时间 2015.01-2018.12, 项目经费 \$7,874,876, 获得纽约市政府一千多万美元的配套支持。

(2) 培养其他行业学生和教师的计算思维。例如, 物理学与计算机编程协同学习的计算模型和问题求解研究与评估 (Research and Assessment on Synergistic Learning of Physics and Programming through Computational Modeling and Problem Solving), 项目主持人 Gautam Biswas, 范德堡大学, 在研时间 2016.09—2019.08, 项目经费 \$2,499,682。

(3) 改变计算机教学方式 (和企业合作, 配对学习)。例如, 加强计算机教育的批判推理 (Enhancing Critical Reasoning in Computer Education), 项目主持人 John Etienne, 佛罗里达州帕拉特卡的学院, 在研时间 2016.07—2019.06, 项目经费 \$196,367。

(4) 改变计算机教学环境 (游戏中学习, 远程虚拟环境授课, 虚拟现实环境)。其中两个典型的项目有: 采用基于游戏的课程策略将计算思维引入中学 (ENGAGE: A Game-based Curricular Strategy for Infusing Computational Thinking into Middle School Science), 主持人 James Lester, 北卡罗来纳州立大学, 在研时间 2016.08—2019.07, 项目经费 \$2,498,862; 虚拟现实系统中的网络安全教育研究 (Exploring cybersecurity and forensics of Virtual Reality systems and their impact on cybersecurity education), 主持人 Ibrahim Baggili, 纽黑文大学, 在研时间 2017.09—2019.08, 项目经费 \$179,409.00。

(5) 大数据背景下的教育数据挖掘分析。例如, 数据驱动背景下教育的巨大挑战 (Grand Challenges for Data-Driven Education), 主持人 Ivon Arroyo, 伍斯特理工学院, 在研时间 2016.09—2019.08, 项目经费 \$ 514,931。

(6) 青少年、女性和弱势群体的计算机教育。两个典型的项目如下: 通过故事引导农村和印第安学生学习计算机 (Improving the

Pipeline for Rural and American Indian Students Entering Computer Science Via Storytelling), 主持人 Brittany Fasy, 蒙大拿州立大学, 在研时间 2017.08—2020.07, 项目经费 \$363,238; 利用多媒体教学让女孩参与计算机学习 (Code: SciGirls! Media to Engage Girls in Computing Pathways), 主持人 Rita Karl, Twin Cities PBS, 在研时间 2017.09—2020.08, 项目经费 \$2,630,535。

2 我国计算机教育研究面临的问题

20 世纪 90 年代开始, 电子信息产业增速就超前于国民经济发展, 拉动国民经济发展, 成为国民经济基础性、先导性、战略性、支柱性产业, 是中国抢占国际经济制高点的重要引擎。中国电子信息产业规模由 1989 年的全球第九位上升至 2011 年的全球第二位, 仅次于美国, 已进入电子信息产品制造大国行列。

习近平主席最近指出, 人才是创新的根基, 是创新的核心要素。培养人才, 根本是要依靠教育。教育就是要培养中国特色社会主义事业的建设者和接班人, 而不是旁观者和反对派。当前, 中国作出了加快建设世界一流大学和一流学科的战略决策, 提高高等教育发展水平, 增强国家核心竞争力。

相比于发达国家, 我国计算机教育起步较晚, 而且对教育科学研究的项目和资金投入严重不足。发现中国计算机教育中存在的问题, 采用有效的科学方法来研究和解决这些问题, 值得广大教育科研人员关注。

2.1 中小学计算机教育基础薄弱, 缺乏顶层设计

我国信息技术教育的发展存在明显的短板, 基础教育阶段信息技术课程的地位远远不能与语、数、外等基础学科相比, 无法形成与高等教育阶段的有效衔接。

虽然我国大部分地区的中小学将信息技术课程设立为必修课程, 但是目前国内计算机基础教育的水平与“利用信息科技知识与技能解决问题”的课标要求还存在较大的差距。中小学信息技术课本中大多以教学生使用计算机为目的, 教

材内容滞后，没有锻炼学生的计算思维。因为信息技术不是高考科目，不受学校和家长的重视，信息技术课程的上课时间被严重侵占，不少信息学教师沦为维修电脑和网络的“勤杂工”。同时，对于中小学生的计算机教育，教师以灌输知识为主，习题为辅，学生缺乏对知识的深入理解和应用，课程与课程之间缺乏衔接并且存在大量重复的知识。随着知识的不断堆砌，由缺乏系统知识体系产生的混乱，往往使学生仅仅为了应付考试而停留于知识记忆阶段。

爱沙尼亚、英国、芬兰都把编程作为小学必修课，江苏省最近也把编程纳入了小学必修课程。目前，浙江省 2017 年高考的 7 门选考中的技术考卷分为信息技术和通用技术，各占 50 分，信息技术的内容主要为多媒体应用和算法与程序设计。这些先进省份的教育部门前瞻性的政策行为，为培养未来的信息技术人才奠定了基础。为了更多、更快、更好地培养适应时代要求的信息技术人才，在高等教育与基础教育阶段协同推进领域，有很多值得深入研究的课题。

2.2 大学计算机课程体系和人才培养模式需要研究和改进

在高等教育方面，较之国外的教学观念、教学内容和教学方式，国内一些高校的计算机教育仍然处于滞后、呆板的状态。与大多数学科一样，国内不少高校计算机教育理念主要以基础教育为主，让学生掌握基本的知识概念和应用技能，而一些前沿的应用技术则是一笔带过。虽然基础教育能够帮助学生在未来更好更快地理解这些高级应用技术，但这也不可避免地产生了与业界前沿技术脱节的问题。另外，信息时代的技术更新非常快，其包含的内容越来越广泛，而高校的课程体系相对滞后，这使得学生学习的是一些陈旧甚至过时的内容，对学生未来的职业发展产生了不必要的转换代价。

《华盛顿协议》倡导以学生为中心、产出导向、持续改进三大教育理念，强调培养本科学生解决复杂工程问题（Complex Problem）的能力。ACM/IEEE 的 CS2013 以知识体框架来描述课程体系的方式，CE2016 使用学习成效（Learning Outcome）来描述每个知识单元，IT2017 采用胜任力模型（Competency）强调对能力的培养。中

国的计算机教育专家也需要持续地研究计算机学科的知识框架和能力培养模型，包括前沿理论技术基础、工程实践能力、学科交叉能力、创新能力、沟通协调能力等，使我们培养的学生在未来具备足够的国际竞争力。

由于互联网在线教育的兴起，学生获取知识的途径越来越多，在传统课堂上参与度有所下降。利用计算机技术，例如 SPOC 翻转课堂教学模式，运用提高学生的课程参与度和学习效果的多媒体教育辅助软件，提升学生学习的自主性和自信心的协同学习，学习过程的自动评测和干预，个性化学习推荐和指导等，可以帮助教师重构教学体系和教学模式，提升学生的学习兴趣和学习效果。

3 基金委资助教育信息科学与技术解读

改革开放以来，随着中国经济的迅猛发展，国家在基础研究、高科技领域有非常强的政策和经费支持。中国基础研究近年来取得了显著进步，例如美国白宫发布的报告显示，从 2014 年开始，在深度学习领域，从论文发表数量和被引用次数两个标准看，中国均已超过美国。2017 年美国人工智能协会（AAAI）年会上，中美两国论文在数量上旗鼓相当。

但是，计算机教育的顶级会议 SIGCSE 每年参会的代表以及论文成果以美国本土的计算机教育工作者为主体，这是因为美国高度重视计算机教育研究和人才培养。相比于计算机专业其他方向的 SIG 系列会议（多数 SIG 系列都被列为 CCF A 类论文），SIGCSE 上罕见来自中国大陆的论文，这反映了我国在计算机教育研究项目和经费投入的严重不足。

经过基金委与教育部共同研究，就推进教育科学基础研究进行了深入讨论，国家自然科学基金“十三五”发展规划提出“鼓励自然科学与人文社会科学交叉，探索支持教育科学研究”，增设了 F07 交叉学科中的信息科学目录，初步确立了 F0701 教育信息科学与技术二级代码。F0701 目前设置了 10 个三级目录：

- F070101 教育信息科学基础理论与方法
- F070102 在线与移动交互学习环境构建
- F070103 虚拟与增强现实学习环境

- F070104 教学知识可视化
- F070105 教育认知工具
- F070106 教育机器人
- F070107 教育智能体
- F070108 教育大数据分析与应用
- F070109 学习分析与评测
- F070110 自适应个性化辅助学习

从 F07 目录中可以看出，与信息科学交叉结合后的教育将从教学环境、教育理念、教育方式上发生巨大的变化。未来的教育期望从规模化教育向规模化个性教育转变，教育规律研究也随之从经验主义向科学主义转变，而教育本身将从知识位中心向学习者位中心转变。F07 目录的设立，对计算机和信息类人才的培养具有重要的意义，能广泛激发计算机教育一线教师的科研潜力，对于信息学人才培养具有重要的意义。

4 计算机教育研究展望

信息科技的迅猛发展产生了教育变革的根本性动力。通过自然科学基金项目资助部署，可以广泛吸引不同领域的科学家开展多学科交叉的基础研究来解决教育创新发展中亟待解决的科学问题，更好地运用自然科学研究成果来重构教与学体系，更好地促进教育科学研究领域人文社会科学与自然科学的交叉融合，显著推动我国教育改革发展和创新人才培养。

新增设的 F070101 教育信息科学基础理论与方法、F070105 教育认知工具、F070108 教育大数据分析与应用、F070109 学习分析与评测和 F070110 自适应个性化辅助学这 5 个三级目录较

好地凝炼出了教育信息科学学科的基础问题。其他几个目录则偏重教育技术的相关问题，或者说其他领域的理论和技术在教育方面的应用。从计算机教育科学研究的角度来看，主要涉及计算机教育自身的规律和方法研究、计算机科学思想的普及教育以及计算机辅助教育的原理与技术研究 3 个方面，表 3 是笔者建议的计算机教育研究相关内容。

表 3 计算机教育研究方法

类别	内容
计算机教育自身的规律和方法研究	计算学科的课程体系和人才培养模式 计算学科的知识体系和课程衔接 面向未来的计算机教育 计算机学科前沿课程设计 计算机游戏化学习 计算机素养的培养 教学与评价方法的教育研究 教学科研共生和教师发展
计算机科学思想的普及教育	计算思维和交叉学科 计算机与 STEM 基础教育 计算机通识课教育 计算机教育的多样性 中小学生编程计划
计算机辅助教育的原理与技术研究	教育知识图谱构建与导航学习 教育资源的融合 大规模在线教育 基于大数据的精准化教育评价技术 个性化智慧教育 学习社区支持 虚实融合教学场景构建 智慧教育关键技术与示范应用

科学技术已然成为教育变革的内生动力。科技已经极大改变了教育，也必将持续冲击未来教育。作为新工科背景下的重要科技力量，计算机教育任重而道远。

(编辑：孙怡铭)