

# 中国计算机学会通讯



COMMUNICATIONS OF THE CCF

第15卷 第4期

总第158期

2019年4月



**李建中任CCCF新主编 P64**

**计算机教育的研究 P8**

**如何以计算的视角来思考 P62**



# 2019 CCF CCD

## 计算机课程改革导教班

(8月10~17日，北京)



**学术主任：李晓明**

北京大学教授  
CCF会士，CCF王选奖  
杰出教育奖获得者



**臧斌宇**

上海交通大学教授  
CCF杰出会员、监事

**课程：计算机系统基础**



**徐志伟**

中国科学院大学教授  
CCF会士、理事

**课程：计算机科学导论**



**杜小勇**

中国人民大学教授  
CCF会士、常务理事  
CCF卓越服务奖获得者

**课程：数据库与大数据**

联系：[adl@ccf.org.cn](mailto:adl@ccf.org.cn) 18810669757



# 中国计算机学会通讯 COMMUNICATIONS OF THE CCF



主办 中国计算机学会  
China Computer Federation  
  
刊名题字 张效祥  
  
编辑 《中国计算机学会通讯》编辑部  
编辑部主任：李梅  
地址：北京市海淀区科学院南路6号  
通信：北京 2704 信箱 100190  
电话：(010) 6267 0365  
传真：(010) 6252 7485  
http://www.ccf.org.cn  
E-mail: cccf@ccf.org.cn  
封面设计：SEEKLAB

## 声明

《中国计算机学会通讯》(CCCF)刊登的文章，除 CCF 或 CCCF 特别署名外，仅代表作者的学术观点。CCCF 鼓励与支持学术争鸣。

## 版权声明

中国计算机学会 (CCF) 拥有《中国计算机学会通讯》所刊登内容的所有版权，未经 CCF 允许，转载本刊文字及照片会被视为侵权，CCF 将追究其法律责任。

编辑单位：中国计算机学会  
印刷单位：北京华联印刷有限公司  
发送对象：中国计算机学会会员  
印刷日期：2019 年 4 月

## 主编

李建中

CCF 会士、常务理事，哈尔滨工业大学教授

## 专题

主编  
编委

陈宝权 CCF 会士、常务理事，北京大学教授  
黄惠 CCF 杰出会员，深圳大学特聘教授  
贾珈 CCF 高级会员，清华大学副教授  
李涛 CCF 高级会员，南开大学教授  
谭晓生 CCF 副秘书长，北京赛博英杰科技有限公司董事长  
王长波 CCF 理事，华东师范大学教授  
杨珉 CCF 专业会员，复旦大学教授  
张兴军 CCF 高级会员，西安交通大学教授

## 专栏

主编  
编委

包云岗 CCF 理事，中国科学院计算技术研究所研究员  
崔勇 CCF 杰出会员，清华大学教授  
郭得科 CCF 杰出会员，国防科技大学教授  
刘謙哲 CCF 专业会员，北京大学副教授  
陆品燕 CCF 杰出会员，上海财经大学教授  
张敏灵 CCF 高级会员，东南大学教授

## 动态

主编  
编委

王涛 CCF 理事，爱奇艺资深科学家  
陈云霁 CCF 杰出会员，中国科学院计算技术研究所研究员  
王斌 CCF 专业会员，清华大学副教授  
王井东 CCF 专业会员，微软亚洲研究院资深研究员  
俞扬 CCF 专业会员，南京大学副教授  
张民 CCF 专业会员，苏州大学教授  
周庆国 CCF 高级会员，兰州大学教授

## 译文

主编  
编委

胡春明 CCF 专业会员，北京航空航天大学教授  
姜波 CCF 高级会员，浙江工商大学教授  
李超 CCF 高级会员，上海交通大学特别研究员  
苗启广 CCF 理事，西安电子科技大学教授

## 学会论坛

主编

杜子德 CCF 秘书长

# CONTENTS 目录

2019年4月 第15卷 第4期 总第158期



## CCCF 新主编上任

2019年4月9日，CCF召开了《中国计算机学会通讯》(CCCF)编委会换届会议，从创刊到现在任职14年的主编李国杰教授(CCF名誉理事长)卸任，CCF会士、常务理事、哈尔滨工业大学教授李建中接棒担任CCCF主编。为感谢李国杰主编的卓越贡献，CCF前任理事长郑纬民代表CCF理事长高文向李国杰颁发感谢证书和感谢牌(左图)。CCF名誉理事长李国杰、前任理事长郑纬民向李建中颁发聘书(右图)。详见本刊第64页。

## 卷首语

- 7 非“首创”研究等于低价值吗?  
包云岗

## 专题

- 8 计算机教育的研究  
特邀编辑：张铭
- 10 面向可持续竞争力的未来高等工程教育态势及服务型教育  
徐晓飞
- 16 计算机教育研究浅析——从ACM计算机科学教育大会看国内外计算机教育科研  
张科 张铭 陈娟等
- 26 信息技术领域新工科建设与工程教育改革  
张龙 刘华
- 30 加强文科生计算机教育，培养跨学科综合型创新人才  
卢湘鸿



阅读整本



CCCF微博

## 敬告读者

欢迎读者提出意见或建议。

编辑部联系方式：

电话：(010)6267 0365

E-mail: cccf@ccf.org.cn

查阅电子版：

<http://dl.ccf.org.cn/cccf/list>



《所有事情都会有新的开始……》的  
作者韩玉琦采访王传英（左）

## 34 中小学计算机基础教育与创新能力培养 陈斌 李冬梅 毛华均

### 专栏

- 40 所有事情都会有新的开始……  
记我国第一个计算机三人小组之王传英  
韩玉琦 徐祖哲 包云岗 等
- 44 面向健康的智能感知与计算研究进展和趋势——  
记CNCC2018技术论坛“智能健康感知与计算”  
周兴社 王柱
- 48 数据中心的流量调度方法  
白巍 胡水海 曾高雄 陈凯
- 53 面向新型智能设备的交互技术  
伍楷舜 邹永攀
- 57 智能网卡：云计算时代的高新网络技术  
陈果 李肯立 罗腊咏 谭焜
- 62 The CS David 专栏  
如何以计算的视角来思考  
作者：戴维·阿兰·格里尔 (David Alan Grier)  
特邀译者：孙晓明

### 视点

- 66 关于数据结构教材中一种常见说法的商榷  
李晓明

### 动态

- 68 AAAI 2019——在变革中创造历史  
胡毅奇 庞振家
- 71 WSDM 2019——互联网搜索与数据挖掘领域的学术盛会  
张俊祺 吴之璟 陈冲等
- 74 新技术 & 新应用

### 译文

- 76 计算机体系结构将迎来黄金时代  
作者：约翰·轩尼诗 (John Hennessy)  
戴维·帕特森 (David Patterson)  
译者：新智元

### 学会论坛

- 88 CCF 关于 NOI 若干问题的公告
- 90 关于 CCF 不再承担工程教育认证工作的公告
- 94 读编往来

### 信息索引

• CCF CCD	封二
• CCF ADL 工作组及年度计划	6
• CCCF 专题选题暨特邀编辑征集	15
• CCF 代表团出席日本 IPSJ 大会	29
• 2019 CCF 高性能计算专委会征文	38
• 记录中国计算机发展历史采访征集	39
• CCF ADL 工作组召开会议	43
• CCF 专委活动计划 (2019.5)	52
• CCCF 编委会换届	64
• CCF 上海交通大学学生分会成立	67
• CCF 会员活动中心动态	73
• CCF YEF2019	91
• CCCF 征稿启事	91
• CCF 专委活动计划 (2019.5~8)	92
• CNCC2019 启动会在京召开	93
• CCF 协办清华三亚人工智能高峰论坛	93
• CCCF 评刊员征集	95
• CSP 认证：评测大学生编程能力的重要手段	96
• CCF 会员续费	封三
• CNCC 2019	封底

# Contents

Vol.15 No.4 2019/4

## Preface

### 7 Is Non-Innovative Research Equal to Low Value?

*Bao Yungang*

## Features

### 8 Research in Computer Education

*Guest Editor: Zhang Ming*

### 10 The Future Higher Engineering Education and Service-Oriented Education for Sustainable Competencies

*Xu Xiaofei*

Several typical forms of higher engineering education in the future are identified in this article. In order to enhance the ability of life-time study and sustainable competencies of students, the service-oriented education, as well as its concept, characteristics, models and key factors, are presented. These new educational forms would be the development directions or referenced models of higher engineering education in the future.

### 16 A Brief Overview of Computer Education Research in China and Abroad in Light of 50-Year ACM SIGCSE Technical Symposia

*Zhang Ke, Zhang Ming, Chen Juan and et al*

This article gives an overview of four important CSE-related conferences organized by ACM SIGCSE, especially the recently held 2019 SIGCSE Technical Symposium that just celebrated its 50th anniversary. Several milestones as well as the latest trends and developments in international CSE are reviewed and presented. Moreover, crucial achievements in Chinese CSE and CSE research fields since the establishment of P. R. China 70 years ago are exhibited, manifesting the remarkable contributions made by Chinese computer science educators and researchers to the worldwide development of CSE.

### 26 New Discipline Construction and Engineering Education Reform in the Field of Information Technology

*Zhang Long and Liu Hua*

This article discusses the importance and necessity of new discipline construction and engineering education reform in the field of information technology, and expounds the work that universities have already carried out and their future tasks.

### 30 Strengthening the Computer Education of Liberal Arts Students, Cultivating Interdisciplinary and Comprehensive Innovative Talents

*Lu Xianghong*

This article introduces the goal of computer education for liberal arts students and discusses the computer application needs in different liberal arts majors, e.g. cultivating scientific thinking and computational thinking in the teaching process, dealing with the information needs of liberal arts majors with new non-liberal arts thinking modes. On the basis of forming a multi-disciplinary, multifaceted knowledge structure and in the process of cultivating scientific thinking and computational thinking, the creative consciousness of liberal arts students and cultivate innovative ability of liberal arts talents will be inspired.

### 34 Computer Basic Education and Training of Innovative Ability in Primary and Secondary School

*Chen Bin, Li Dongmei and Mao Huajun*

In recent years, information technology education has been strengthened in all types of education and training institutions for k-12 students. This article intends to analyze the opportunities and challenges of basic computer education in primary and secondary schools, as well as its important role in the development of students' innovative capabilities.

## Columns

### 40 Everything will have a New Beginning...

#### Wang Chuanying, the First Three-Person Computer Group in China

Han Yuqi, Xu Zuzhe, Bao Yungang and et al

This article is an interview with Wang Chuanying, who with Min Naida and Xia Peisu formed the first computer science research group in Chinese history and mainly studied the principle and design of computer.

### 44 Research Progress and Trend of Health-Oriented Intelligent Perception and Computing

Zhou Xingshe and Wang Zhu

This article introduces the new models of health intelligent perception and the new methods of health intelligent computing discussed at the “Intelligent Health Perception and Computing” technology forum organized and chaired by Northwestern Polytechnical University during the CNCC 2018.

### 48 Data Center Flow Scheduling

Bai Wei, Hu Shuihai, Zeng Gaoxiong and Chen Kai  
Data centers host many real-time applications, which impose the stringent requirement to completion times of small flows. To this end, there are many data center flow scheduling proposals in recent years. In this article, we review existing data center flow scheduling solutions, including information-aware clean-slate solutions, information-aware dirty-slate solutions, and information-agnostic dirty-slate solutions. We also briefly discuss the future opportunities of data center flow scheduling.

### 53 Interactive Technology for New Intelligent Devices

Wu Kaishun and Zou Yongpan

As the era of the Internet of Things arrives, novel smart devices are springing up. Compared with the conventional smart devices (e.g. smartphones and tablets), these devices are distinctive in appearance, size, function and hardware architecture. As an important entrance of IoT, how to interact well with novel smart devices becomes a pressing issue. Starting from describing the features of novel smart devices, this article introduces the characteristics of smart device interaction, and finally summarizes the latest research results of human-device interaction.

### 57 Smart NIC: High-tech Network Technology in Cloud Computing Era

Chen Guo, Li Kenli, Luo Layong and Tan Kun

In recent years, smart NIC has been widely deployed in cloud data center. Different from traditional NIC, smart NIC not only has high networking processing speed, but also can be dynamically programmed. In this article, we discuss the origins of smart NIC, its successful applications, and its new challenges and opportunities.

62

### The CS David

#### How Do We Think When We Think Computationally?

David Alan Grier(*translated by Sun Xiaoming*)

This article concerns the subject of computational thinking, which was pioneered by Jeannette Wing. Although I support that computational thinking should teach people to think more clearly about the world that is created by digital computation, I am skeptical about the idea that computational thinking should be about ideas not artifacts, the universal not the specific.

## Points

### 66 Discussion on a Common Saying in Data Structure Textbooks

*Li Xiaoming*

## Advances

### 68 AAAI 2019: Creating History in Change

*Hu Yiqi and Pang Zhenjia*

### 71 WSDM 2019

*Zhang Junqi, Wu Zhijing, Chen Chong and et al*

### 74 New Technologies & New Applications

## Translations

### 76 A New Golden Age for Computer Architecture

*John L. Hennessy and David A. Patterson  
(translated by AI Era)*

This article highlights current challenges and identifies future opportunities, projecting another golden age for the field of computer architecture in the next decade. Innovations like domain-specific hardware, enhanced security, open instruction sets, and agile chip development will lead the way to the golden age.



**ADL**



**文继荣** (ADL工作组组长)

CCF杰出会员

中国人民大学信息学院教授、院长

**廖小飞**

CCF高级会员

CCF-IEEE CS青年科学家奖获得者  
华中科技大学计算机学院教授



**王泉**

CCF理事

嵌入式系统专委会副主任  
抗恶劣环境专委常委

西安电子科技大学教授、校长助理



**谢幸**

CCF杰出会员

微软亚洲研究院首席研究员  
微软-中国科大联合实验室主任



**章毅**

CCF高级会员

CCF专委工委、学术工委委员  
IEEE Fellow

四川大学计算机学院教授、学术院长



**高水平** (资深专家讲授)

**立前沿** (最新和热点技术)

**大剂量** (三整天)

## CCF ADL 2019年度计划

序号	主题	学术主任	时间	地点
1	空间大数据与人工智能	丁治明	6月 15~17日	北京
2	智能人机对话与问答技术	严睿	6月	北京
3	量子计算	孙晓明	7月	北京
4	信息安全	沈玉龙	7月	青岛
5	高性能计算	彭绍亮	8月 7~9日	长沙
6	新一代计算机视觉	刘光灿	8月	南京
7	面向下一代大数据系统的新型硬件	陈海波	8月底	北京
8	群体智能计算	童咏昕	9月	北京
9	边缘计算	施巍松	10月 10~12日	北京
10	知识图谱	肖仰华	11月上旬	北京



联系 : adl@ccf.org.cn

188 1066 9757



## 非“首创”研究等于低价值吗？

**最**近一周内连续两位博士生找我倾诉，告知我他们决定放弃博士学位了。其中一位在国外，已经合作发表了顶级会议论文；另一位在国内，他的研究工作其实已经得到了组里老师和同学的好评，并开始撰写顶级会议论文。交谈中，我发现除了生活因素，他们都对自己的研究状态不满意，尤其是对工作的价值、科研的意义感到困惑。其实不只是博士生，甚至工作多年的科研人员，都会产生这种困惑。

一项研究工作的价值和意义该如何定位？这不仅仅是关于研究的一个形而上问题，更是一个深刻地影响到研究人员的心态，进而影响整个科研生态的问题。我们经常被教导要做开创性、颠覆性的研究，这样的研究才有价值、有意义。“谋其上，得其中”，高标准对于一些人确实是很好的激励，但无形中也提高了人们对研究的预期，甚至造成科研界浮夸之风。很多学者在申请项目或发表论文时，往往觉得如果不写上“首次提出”或“世界首创”等字眼，评审专家就会认为某项研究创新性不足、价值一般。

不是“首次提出”并开创一个新方向的研究工作能产生重大价值吗？我也曾为这个问题困惑过。直到 2016 年我看到加州大学洛杉矶分校丛京生教授的一段采访，才解此困惑。丛教授在 FPGA 高层次综合 (HLS) 领域做出了杰出贡献，直接推动了几十年来一直处于纸上谈兵的 HLS 技术走向了市场。他的学术成就无疑是卓越的，也具有颠覆性，因此获得了 IEEE Computer Society 技术成就奖 (Technical Achievement Award)，并于 2017 年当选美国工程院院士。然而，他在采访中却如此说道：“I don't take the credit for being the first doing HLS.” 看到这段话时，我对丛教授的学术品格肃然起敬，同时心中也豁然开朗——即使一个技术已被他人“首次提出”甚至已被研究很久，也仍可以做出有重大价值的研究成果。

2017 年度的图灵奖得主进一步强化了我对这个问题的认识。约翰·轩尼诗 (John Hennessy) 教授与戴维·帕特森 (David Patterson) 教授因为在 20 世纪 80 年代发展出一套计算机体系结构，尤其是精简指令集架构处理器 (RISC) 量化分析与设计方法而获得当年图灵奖。事实上，RISC 思想不是他们首次提出的。70 年代中期，约翰·科克 (John Cocke) 在 IBM 领导 801 小型机项目时首次提出并实现了 RISC 架构，他也因此获得了 1987 年图灵奖。纵观 RISC 发展历程，可以说科克做出了开创性工作，而轩尼诗与帕特森则做出了奠基性工作。他们三位对推动 RISC 技术的发展都做出了不可替代的贡献，也均获得了图灵奖，实至名归。

研究人员要追求颠覆性的开创性研究，但首创新概念、开辟新方向并不是唯一的科研成功之路。HLS 与 RISC 的例子给我们另一种启示：深耕已有领域，瞄准核心“硬骨头”问题，同样有机会做出具有重大价值的研究成果，也同样能得到各界的积极认可，甚至是至高的学术荣誉。■

包云岗 CCF 理事、CCCF 专栏主编、CCF 普及工委主任。中科院计算所研究员，先进计算机系统研究中心主任。主要研究方向为计算机系统结构。[baoyg@ict.ac.cn](mailto:baoyg@ict.ac.cn)

# 计算机教育的研究

关键词：计算机教育

特邀编辑：张 铭  
北京大学

随着当代信息产业的蓬勃发展，以计算机、互联网为代表的新一代信息技术，与智能制造、生物医学工程、新材料、新能源、纳米技术、量子物理等新技术结合，拉动当今世界从传统工业化社会向信息化社会进行快速转变。计算机人才成为社会经济增长的重要推动力，劳动力市场对计算机人才的需求越来越大。当前的计算机教育面临以下五个重大的问题：(1) 计算机教育关系到国家未来科技竞争力，面向可持续竞争力的计算机人才培养目标和人才培养体系，支持我国长期的创新能力和社会经济的可持续发展，这是国内计算机教育界关注的首要问题；(2) 如何更好地开展计算机教育，需要用科学的方法来进行系统的研究，了解国际上计算机教育的最新动态，有利于更好地促进国内计算机教育的研究和实践；(3) 计算机科学渗透到各个学科领域，特别是教育部推出的“新工科”建设，可以看到信息技术在新工科建设中的重要支撑地位；(4) 在现代信息社会，文科大类对计算机应用的需求也越来越迫切，文科毕业生社会竞争能力的升华需要计算机应用能力的支撑，对文科专业的学生进行有效的计算机教育，是培养具有创新能力的复合型人才的重要环节；(5) 计算机教育在全球已经逐渐发展为基础教育学科，计算思维能力也被视为与数学和语文一样重要的基本能力，推动我国中小学计算机基础教育发展，实现计算机高等教育与基础教育协调推进，也迫在眉睫。本期“计算机教育”专题的5篇文章，将分别阐述以上研究问题和研究进展。

当前计算机科学飞速更新的特性意味着计算机

专业教育必须紧跟业界的发展节奏，如何培养面对未来信息技术发展与信息化社会变革的具有可持续竞争力的创新人才是计算机教育的重要主题之一。面对技术创新驱动的社会，学生单纯依靠获取知识的方式将不再能够胜任计算机行业工作。未来的计算机教育更加需要面向学生能力的培养，在调研国内外高等工程教育发展动态与趋势的基础上，哈尔滨工业大学副校长徐晓飞教授的文章《面向可持续竞争力的未来高等工程教育态势及服务型教育》着重探讨了几种面向可持续竞争力的未来高等工程教育形态，提出面向可持续竞争力的服务型教育新概念。通过将计算机教育从“学制型知识传授”向“持续型终身能力发展”方向转变，学校将提供多轮敏捷教学与教育服务，着力培养学生自主学习和终生可持续发展能力，以适应社会发展的各种挑战和竞争。

近几年，世界主要发达国家都相继出台政策重视计算机教育。国际计算机教育研究会中国分会(ACM SIGCSE China)张科、张铭、陈娟、张昱和常轶松的文章《计算机教育研究浅析》通过介绍ACM的几个重要学术会议，回顾国际计算机教育研究领域的重要里程碑事件，介绍近年来计算机教育研究领域国际最新动态和重要成果。与发达国家相比，我国计算机教育虽然起步较晚，随着中国经济的快速崛起，中国在计算机教育领域取得显著进步。

计算机科学渗透到人们生活的方方面面。其中一个影响就是，计算机教育的受众群体并不局限于大学中的计算机专业学生。学科自身和现代社会的

发展都要求开展面向非专业人士的计算机教育。如何针对其他人文学科以及中小学生这些庞多元群体进行通俗有效的计算机教育显得尤为重要。2006年，美国提出知识经济时代教育目标之一是培养具有 STEM（即科学、技术、工程和数学）素养的人才，并称其为全球竞争力的关键。

目前，国内迫切需求大量具有创新能力的复合型计算机专业人才，一批以计算机学科为基础的新工科专业也不断被设立和发展壮大，如：软件工程、网络工程、数字媒体技术、电子商务、信息安全、人工智能等专业。2017年以来，我国开始全面推进新工科建设，主动调整相关学科专业结构，“更好地实施人才强国战略，努力建设一支能够站在世界科技前沿、勇于开拓创新的高素质人才队伍”，先后形成了“复旦共识”、“天大行动”和“北京指南”<sup>1</sup>，探索引领全球工程教育的中国模式、中国经验。**信息技术新工科产学研联盟执行秘书长、高等教育出版社编审张龙和中国软件行业协会刘华的文章《信息技术领域新工科建设与工程教育改革》，通过总结信息技术领域新工科近两年建设情况，以培养面向未来5~10年的工程教育人才为目的，探索信息技术领域符合中国特色的计算机教育模式。**

**北京语言大学教授卢湘鸿的文章《加强文科生计算机教育，培养跨学科综合型创新人才》**指出大学新生计算机使用能力总体处于低水平状态，而目前高校文科生计算机学时远远不够，基本停留在使用计算机作为工具的能力培训，没有进入到信息素养培养与计算机应用能力提升的阶段。文章提出应适当增加计算机课程学时，针对不同文科大类的计算机应用需求进行分类分层次教学，允许学生跨学科自由选课，在形成跨学科多元知识结构的基础上，在教学过程中潜移默化地培养科学思维、计算思维，激发文科人才的创新意识，培养出文科人才的创新能力。

人才是创新的根基，是创新的核心要素。培养

人才，根本要依靠教育，大学计算机教育依赖于中学计算机教育的基础。相应奥巴马政府的“全民计算机科学行动计划”，美国国家科学基金会(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。中小学校是教育的主体机构，承担了普及教育的任务，美国的中小学计算机教育在全球遥遥领先。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，但其地位远远不能与语文、数学、英语等基础学科相比，无法与高等教育阶段形成有效衔接。**北京大学副教授陈斌与北京大学附属中学教师李冬梅、毛华均合作的文章《中小学计算机基础教育与创新能力培养》从计算思维培养为核心的中小学信息技术教学体系入手，提出从科技创新教育的高度，以信息技术为基础，培养学生的计算思维，实施跨学科的创新能力培养，探索中小学计算机基础教育的新格局。**

总之，本期专题所选择的文章都涉及计算机教育领域亟待解决的关键问题。通过对比、学习国际计算机教育的先进思想，更好地运用自然科学研究成果来重构计算机教与学体系，探索中国特色的新工科培养模式。以计算机教育为基础，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，推动中小学计算机教育发展，培养具有可持续竞争力的创新人才。面向中国未来的计算机教育，是站在信息技术未来发展深刻洞察基础上的探索，也是集中了众多计算机教育工作者才智和努力的探索，它将决定国家未来在信息技术领域和产业的竞争力。中国计算机教育任重而道远，吾辈当砥砺前行。 ■



张 铭

CCF 高级会员，CCF 计算机教育工委副主任。北京大学教授。教育部计算机课程教指委委员，ACM SIGCSE China 主席。主要研究方向为机器学习、大数据分析、计算机教育。mzhang@net.pku.edu.cn

<sup>1</sup> 2017年2月和4月，教育部在复旦大学和天津大学分别举行研讨会，形成了新工科建设的“复旦共识”和“天大行动”；6月9日教育部在北京形成新工科建设“北京指南”。

# 面向可持续竞争力的未来高等工程教育态势及服务型教育

徐晓飞

哈尔滨工业大学

关键词：高等工程教育 服务型教育 敏捷教学 新工科 可持续竞争力

## 引言

以新一代信息技术为代表的技术革命浪潮正在席卷全球。技术革命引发产业变革与结构调整的速度不断加快，新技术引领的新产业与新业态不断涌现，推动着技术与产业的跨界融合。“互联网+教育”、“智能+教育”、在线教育与慕课、智慧学习等“教与学”新形式引导了高等工程教育不断改革与创新。“工程科技改变世界，工程教育领跑创新。”<sup>[1]</sup>

新技术革命与信息化社会对人才的需求也在变化。新技术与新经济发展的跨界性与快速变化特征要求工程人才具备更高的创新创业与跨界整合能力，要求具有适应未来技术与社会变化的可持续竞争力。“可持续竞争力”是指面对未来社会变化和竞争的适应能力、基于使命和技术的创新能力、推动社会发展与科技进步的行动能力<sup>[2,3]</sup>。如何培养具有可持续竞争力的人才成为高等工程教育面临的新挑战。未来的高校使命既要通过教育快速提升学生的知识、能力和素质，培养合格的毕业生，更要努力保持和提升学生在其终生职业生涯中的可持续竞争力与胜任力。这要求高校应该从传统的固定学制式教育向为学生提供终生可持续竞争力的教育服务转型。这一新使命将引发高等工程教育形态与模式的大革命。

## 高等工程教育的发展变化

近年来，受到新科技革命的深刻影响，全球高等工程教育的发展态势呈现多种转变：

**学科交叉** 从基于独立专业培养方案与核心课的教育，向多学科交叉融合培养的教育转变，为学生提供更加丰富的教育内涵与学习选择。

**注重能力** 从传统的以知识为核心的教育向面向能力培养的教育转变，为学生提供更加多样的能力训练、教育环节及训练方式。

**项目实践** 从注重课堂的教学方式向基于项目实践的学习方式转变，使学生通过各种创新项目的实践来提高综合素质与创新能力。

**信息技术** 从基于黑板与书本的传统教育方式，向信息技术与工程教育相融合的现代教育方式转变，通过互联网与智能化信息技术手段提高教学水平和学习效率。

**校企联合** 从学校内部教育向产学研合作与跨界融合转变，学校与企业协同培养人才，为学生提供更加贴近产业的师资与场所。

**面向未来** 从关注产业界当前发展向面向产业未来发展转变，注重面向未来的新机器与新工程体系办教育，提高学生探索未来的创新能力与可持续竞争力。

**国际合作** 从立足本校教育向跨校乃至国际合

作教育转变，通过多种形式的跨国联合人才培养提高学生的国际竞争力。

**终生教育** 从培养高质量毕业生向支撑学生终生职业能力的转变，通过全新的服务型教育为学生提供多阶段与持续的终生教育服务。

## 未来高等工程教育典型形态

随着新技术、新产业和新经济的迅猛发展，工程技术及产业呈现出高度的交叉融合性、复杂系统性、跨界连通性以及可持续发展等特点。相应地，面向可持续竞争力的未来高等工程教育发展也随之而变。

### 目标导向的多学科交叉式工程教育

“基于成效的教育”(Outcome Based Education, OBE)已成为当今工程教育认证的核心标准内涵。OBE是一种培养目标导向的教育模式，强调以学生为中心、以学习成效为导向、不断持续改进。新兴的技术产业不断跨界融合且日益复杂化，使得工程教育越来越关注面向未来产业的学科交叉和综合能力培养。2017年8月，麻省理工学院(MIT)启动了“新工程教育转型(New Engineering Education Transformation, NEET)”计划<sup>[4, 5]</sup>，代表着美国工程教育的最新发展方向。NEET计划强调工程教育以学生为中心，变革学生的学习方式与学习内容，以培养能够引领未来产业界和社会发展的工程领军人才为目标，构建面向未来的新机器与新工程体系；以工程人才培养为本，而非以学科为本，强调学生的工程思维、科学思维与人本思维，整合机械、信息、分子、生物、建筑、能源等跨学科资源，激发学生的主动探究与自学能力；组建跨学科工作组、执行组等多个任务组，采取项目学习、小组学习、团队合作、智慧学习等手段，培养未来工程领军人才<sup>[4, 5]</sup>。

### 新工科教育

为了应对新技术、新产业、新经济对工程人才

的新需求，教育部于2017年提出并实施了新工科建设战略<sup>[1, 6, 7]</sup>。实际上，我国在新工科建设之前，就开展过战略性新兴产业相关专业建设、卓越工程师教育培养计划、示范性软件学院和微电子学院建设、CDIO<sup>1</sup>工程教育改革等探索<sup>[7]</sup>。新工科教育涉及新的工科专业建设与传统工科专业的升级改造。新工科建设强调树立工程教育改革创新的“新理念”，构建新兴工科和传统工科相结合的学科专业“新结构”，探索实施工程教育人才培养的“新模式”，打造具有国际竞争力的工程教育“新质量”，建立完善中国特色工程教育“新体系”<sup>[6, 7]</sup>。新工科在跨学科交叉融合构建新专业、建设未来技术学院与现代产业学院、深化产教融合与校企合作协同培养人才、促进科学教育/人文教育/工程教育的有机融合等方面进行了许多有益探索，成为我国高等教育改革和引领未来发展的热点。

### 产学研合作协同创新教育

在工程教育发展进程中，始终都伴随着高校与工业界的密切合作，并通过校企技术与人才合作相互影响。21世纪以来，作为工程教育的发源地，欧洲各国为了维持其国际竞争优势，一直在大力推进工程教育改革，强调产学研的密切合作，共建产学研联合实验室，共建课程体系，联合培养人才。我国近年来也在积极推动产学合作共同发展工程教育。国务院推动深化产教融合和创新创业教育<sup>[8]</sup>，教育部组织了一大批产学合作协同育人项目。2018年设立2万多项，数百家企业投入82亿元，参与高校600多家。可以预见，高等工程教育未来发展将包含产学合作协同育人的形态，高校与工业界将在新兴工科专业建设、工程教育教学内容与课程体系改革、基于项目的学习、创新创业教育、校企联合实验室、实践条件与实践基地、学生企业实习实训、人才交流与师资培训、联合创新创业基金等方面不断深入合作，从而推动高等工程教育更加适应新技术与新产业的持续发展变化。

<sup>1</sup> CDIO代表构思(Conceive)、设计(Design)、实现(Implement)和运作(Operate)。

## “互联网 + 教育”与慕课教学

随着信息技术与教育的深度融合，“互联网 + 教育”对于高等教育产生着巨大的影响，其中，影响最大的当属“慕课 (Massive Open Online Courses, MOOC)”。2012 年，慕课兴起于美国，通过大规模在线开放课程在互联网上广泛传播与教学，拓展了教学时空，改变了传统教育与学习方式，激发了学习者的学习积极性和自主性，受到世界各国的高度重视。我国以开放姿态迎接慕课浪潮的到来，并迅速行动起来。教育部发布《关于加强高等学校在线开放课程建设应用与管理的意见》<sup>[9]</sup>，高校主动作为，社会各方与师生踊跃参与，慕课在我国蓬勃发展，成效显著。我国提出并实施了具有中国特色的慕课跨校协同教学模式和各种线上线下混合教学方法，构建了全国的慕课联盟。近年来，中国慕课建设数量超过 1.25 万门，在线学习者注册数超过 2 亿，成为了世界慕课大国。慕课带来的不仅是“以学生为中心”的现代教育理念，还引发了基于信息技术的教学模式与教学方法革命。基于 MOOC/SPOC<sup>2</sup> 的跨校“1+M+N”协同教学模式<sup>[10]</sup>、基于“MOOC/SPOC+ 翻转课堂”的混合式教学方法、多元化多渠道学习、交互式学习、主动式学习、线上线下群研讨式学习等都是未来高等工程教育可以借鉴和采纳的教育新模式与教学新方法。

## 基于人工智能的“智能 + 教育”

当前，人工智能浪潮又一次席卷全球，并促进了“智能 + 教育”革命。人工智能技术不仅引发各相关专业教学内容的变革，而且支撑着人才培养模式创新、教学方法改革、高校治理能力的提升。人工智能专业学科及其与其他专业学科教学内容的交叉融合、智能教育教学平台与智能辅助教学工具、网络化智慧课堂、仿真虚拟实验、基于大数据的教学质量精准评估、智能化教学管理系统等都是“智能 + 教育”的结晶。2018 年，教育部发布了《高等

学校人工智能创新行动计划》，对我国“智能 + 教育”进行了全面部署<sup>[11]</sup>。“人工智能 + X”的人才培养模式与教学改革、基于智能技术的现代教育、智能化高校管理体系将成为工程教育的重要发展方向，构建智能化、网络化、个性化、终身化教育体系也将是高等工程教育的未来发展目标。

## 开环大学教育

2013 年，美国斯坦福大学发布了“斯坦福 2025 计划 (Stanford 2025)”，大胆地提出了具有颠覆性的“开环大学 (Open Loop University)”的概念<sup>[12]</sup>。开环大学计划采取了新型的教育教学模式、校园消费制度、教学方法和灵活学制，打破了固定式四年制本科教育模式，采用面向终生教育的自定节奏式六年制。开环大学将六年制分为“CEA：Calibrate (调整)、Elevate (提升) 和 Activate (激活)”三阶段，学生可以在一生中随时离开或随时回到大学学习 6 年。学生可以在课堂以及职业实践中汲取知识、提高能力，并在具有较丰富经验的基础上重回学校学习，再将知识转化到后续的实际项目服务、高水平研究和创业应用活动中。这种将“先知识后能力”翻转为“先能力后知识”的“轴翻转 (axis flip)”教学方式和“目标性学习 (purpose learning)”将成为斯坦福大学本科生学习的基本模式。开环大学将建立若干学科交叉教学中心，通过“轴翻转”强化能力培养，实现目标导向学习。该计划贯彻社会化终生教育理念，关注人的自我发展和完善，健全人在发展过程中的社会性功能，对未来高等工程教育极具参考价值。

## 敏捷教学体系

为应对迅速变化的信息化社会对于具有可持续竞争力人才的需求，中国“计算机教育 20 人论坛”一直在研讨面向可持续竞争力的计算机人才培养与未来 10~15 年的教育新模式，并提出了全新的“敏捷教学 (Agile Education)”概念<sup>[2, 3]</sup>。“敏捷教学”的提出是受到了 20 世纪 90 年代制造领域“敏捷制造 (Agile

<sup>2</sup> SPOC：Small Private Online Courses，小规模专属在线课程。

Manufacturing)”和软件工程领域“敏捷软件开发 (Agile Software Development)”等的启发。“敏捷教学”是应对新时代教学目标多元化和人才需求个性化的特征，以学生发展为中心，通过理论、技术、实践教学的交叉并行与快速重构，以及跨校跨界教育资源的高效协同，实现知识学习与能力提升的多轮迭代，具有高度灵活性和动态适应性的一种教学形态。“敏捷教学”面向可持续竞争力的大规模个性化学生培养目标，实施针对培养目标与要求的精准教学，充分利用网络化平台和智能教育等先进信息技术，汇聚各类跨域跨界跨校的优质教学资源，动态分解教学内容、课程与能力训练环节，对教学内容与能力训练实行非线性组合及混合式并行编排与多轮迭代，实施精准优化的协同教学与培养进程，实现学生探究式、主动式、渐进式学习过程和能力的逐步增强。敏捷教学包括多元化培养目标与按需培养方式、面向学生需求的分类化与可灵活重构的模块化课程体系、支持理论与实践相结合的学做交叉并行的迭代教学过程及基于项目的学习方式、跨校跨院的协同教学模式及网络平台支持等方面。敏捷教学最大限度地允许学生根据自身能力和兴趣安排个人学习计划、自定学习节奏、选修课程，实现个性化教育与学习，并面对各种新兴技术，结合能力的“多轮迭代”培养进行课程重构，对教学内容与方法进行优化设计，易于学生学习、理解与掌握。敏捷教学体系还需要与之相适应的大学管理体系变革、敏捷教学资源与信息化平台支撑、基于大数据的教学质量精准评价与改进、开放教育生态环境等等。这是一种面向未来的高等工程教育形态。

## 服务型教育

面对不断变化的信息化社会与经济的人才培养需求，高校办学目的将从“学制型知识传授”向“持续型终身能力”方向转变，着力培养学生自主学习能力和终生可持续发展能力。可以预见，面向可持续竞争力的“服务型教育 (Service Oriented Education)”将应运而生。服务型教育将引发高校体制机制的变革，建立跨界交叉融合的持续型智能教育服务机构，以全新的形态为学生提供多阶段敏捷教学与

持续的终生教育服务，不断保持学生的职业发展能力和持续应变的竞争力。

未来的高等工程教育可能会采用上述某一种或几种形态相融合，培养具有可持续竞争力的人才。

## 面向可持续竞争力的服务型教育体系及要素

### 背景与特点

在“互联网+”和“智能+”时代，新一轮科技革命不仅引发了社会与经济变革，也促使各种新业态、新模式不断涌现，服务化是一种重要趋势。以服务产品为主的传统服务业迅速转向以用户服务为中心的新兴现代服务业，以产品销售为主导的传统制造业也转向以服务为主导的服务型制造业<sup>[13]</sup>。在高等教育领域也存在或将出现类似的趋势。以学位教育项目为主导的传统教育模式将转向以学生终生持续发展能力为目的的服务型教育模式。

服务型教育是指通过对传统的学制学位型教育体系重构而形成的一种“以学生终生可持续发展能力为中心”的多阶段、交叉型、持续性、应变式的教育服务新形态，它能够为学生提供多阶段敏捷教学与持续的终生教育服务，以保持和提升学生终生职业发展可持续竞争力。服务型教育是一种对传统高校教育体系具有颠覆性的新型教育模式，也是10~15年后未来高等工程教育的主流形态。服务型教育将颠覆人们关于传统高等教育的观念，重构高校的办学体系、组织架构与运行机制，建立更多的新型教育模式与服务提供机制，并根据学生的志向和职业发展需要提供多学科、多阶段、多领域的增值教育服务，保持学生的职业发展能力和持续应变的竞争力。

服务型教育的主要特点为定制服务化、应变持续化、迭代敏捷化、跨界协同化和智能网络化，涉及面向未来产业发展与可持续竞争力、面向学生终生职业能力需求导向的教育、以学生发展为中心的大规模个性化教育定制服务提供、多阶段迭代式与

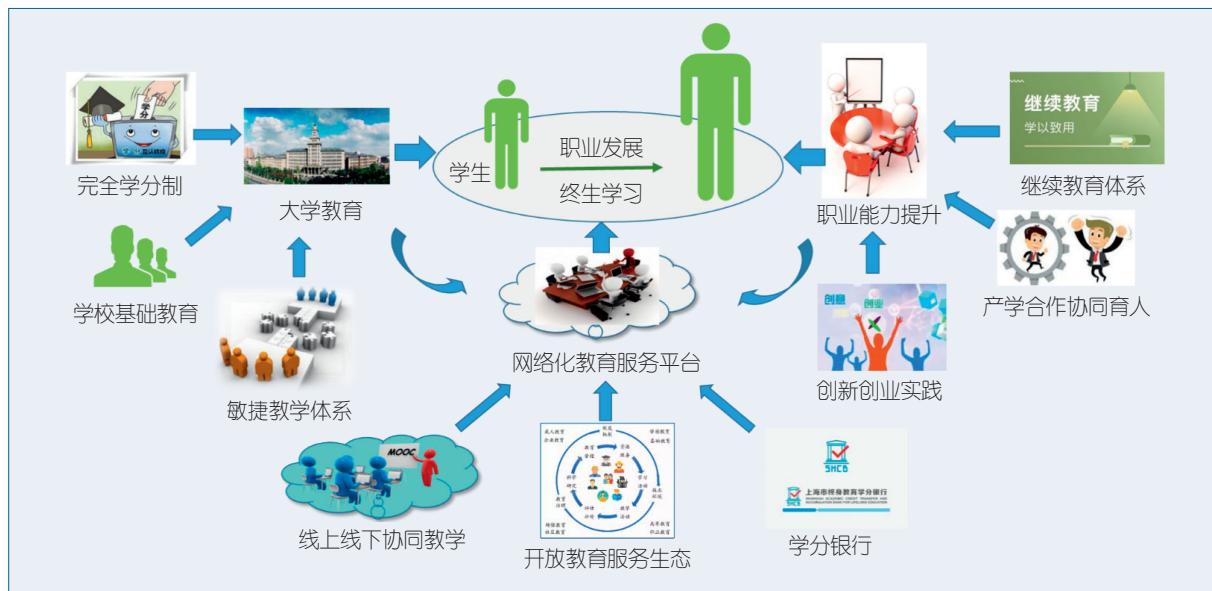


图 1 面向可持续竞争力的服务型教育体系

累加式敏捷教育服务、跨学科交叉融合与产学研跨界合作协同育人、在校与离校相结合的持续教育、网络化智能教育服务支撑、学习者价值提升及行业能力评估与认证，等等。

## 模式与形态

服务型教育的实现可以有多种教育模式与服务提供方式。典型的服务型教育模式与形态包括：基本型“基础+技术+能力”教育、升级型赋能教育服务、自定义学制的多阶段终生教育模式、基于慕课的跨校“1+M+N”线上线下协同教学、不脱产的业余教育与全脱产的在校赋能教育模式、基于第三方网络化服务平台的教育服务提供、产学研合作协同教育模式等。

在服务型教育体系中，学历教育与职业教育的界限将越来越模糊，传统的继续教育学院经过改造将发挥重要的教育服务支撑作用。

## 关键要素与高校改革

为了实现服务型教育，高校需要组织和改造好教育教学相关要素，包括个性化定制人才培养模式、多阶段自定学制与累加式教育教学、灵活的模块化

课程体系与微课程、项目学习实践与创新创业教育体系、跨专业学习与跨校联合连续培养、产学研合作协同育人与企业实习基地、多元化教师与导师制、完全学分制与累加学分制、学分银行、按需教育服务与服务计费方式、敏捷教学体系、教育质量评价与改进机制、信息化教学支撑系统、开放教育生态等。

服务型教育将引发高校组织与教学管理的改革，涉及学校组织管理体制、学制与教学体系改革、教学管理体系与机制改革、分级学历与学位改革、教师队伍结构改革、质量保障体系改革、面向行业或领域的交叉教学服务中心与网络化平台等等。

## 开放教育生态环境

服务型教育还需要开放教育生态环境的支撑，涉及学科交叉与跨专业学习、多阶段跨时空学习、基于慕课的线上线下跨校协同教学、产学研用融合、在校集中教育与离校业余教育、国际交流与学分互认机制、第三方行业资质与能力认证、教育服务提供机构与服务平台、社会实践与培训服务机构等方面，构建一个整合多方资源的教育服务生态。图1是一个开放式服务型教育的示意图。

## 结语

信息技术革命改变着世界，改变着教育，也改变着工程教育。可持续竞争力人才需要适应不断变化的技术与社会，并具有国际竞争力。未来高等工程教育具有信息化、网络化、智能化、交叉化、跨界协同化等新特点。“互联网+智能+敏捷教学+服务型教育”将是10~15年后高等工程教育发展的高级阶段与形态。

面向可持续竞争力的服务型教育将给高校提出巨大挑战，引发高等工程教育的革命，也将是我国高等教育实现跨越发展的重要途径。提供和保持学生的终生可持续竞争力是大学未来的使命，也是高等工程教育的目标，并将成为高校发展的持续驱动力。 ■



徐晓飞

CCF会士、理事、服务计算专委会主任。哈尔滨工业大学副校长、教授。主要研究方向为服务计算、服务科学与工程、软件工程、企业计算等。  
xiaofei@hit.edu.cn

## 参考文献

- [1] 吴岩. 新工科：高等工程教育的未来——对高等教育未来战略思考 [J]. 高等工程教育研究, 2018(6):1-3.
- [2] 计算机教育 20 人论坛报告编写组. 计算机教育与可持续竞争力 [M]. 高等教育出版社, 2019.
- [3] 徐晓飞, 李廉, 战德臣, 等. 新工科的新视角：面向可持续竞争力的敏捷教学体系 [J]. 中国大学教学, 2018(10):44-49.
- [4] Ruth Graham. The Global State of Art in Engineering Education[R]. Massachusetts Institute of Technology (MIT), March 2018.
- [5] 肖凤翔, 覃丽君. 麻省理工学院新工程教育改革的形成、内容及内在逻辑 [J]. 高等工程教育研究, 2018(2): 45-51.
- [6] 教育部高等教育司. 教育部高等教育司关于开展新工科研究与实践的通知 : 教高司函 [2017]6 号 [A/OL]. (2017.2.20). [http://www.moe.edu.cn/s78/A08/A08\\_gggs/A08\\_sjhj/201702/t20170223\\_297158.html](http://www.moe.edu.cn/s78/A08/A08_gggs/A08_sjhj/201702/t20170223_297158.html).
- [7] 吴爱华, 侯永峰, 杨秋波, 等. 加快发展和建设新工科, 主动适应和引领新经济 [J]. 高等工程教育研究, 2017(01):7-15.
- [8] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于深化产教融合的若干意见 : 国办发〔2017〕95号 [A/OL]. (2017.12.05). [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-12/19/content\\_5248564.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-12/19/content_5248564.htm).
- [9] 教育部. 教育部关于加强高等学校在线开放课程建设应用与管理的意见 : 教高 [2015]3 号 [A/OL]. (2015.04.13). <http://old.moe.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/moe/s7056/201504/186490.html>.

更多参考文献: <http://dl.ccf.org.cn/ccccf/list>

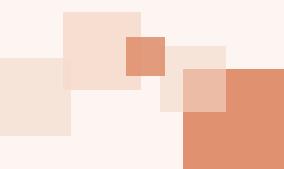
## CCCF专题选题 暨特邀编辑 征集

专题是《中国计算机学会通讯》(CCCF)最主要、最受读者欢迎的特色栏目，通过业界顶级专家撰稿，对前沿技术论题全面而深入的阐释，使读者了解计算机领域前沿动态。

专题采取邀稿、投稿相结合的组稿方式。CCCF 编辑部持续向业内专业人士广泛征集专题选题暨特邀编辑。如果您是计算机及相关领域的专家，对本领域的科学技术有深入的研究和实践积累，并能组织本领域专家撰写一组高水平的专题稿件，希望您能应征提出选题计划，担当起此选题特邀编辑的职责，为计算机科学技术的传播和发展尽一份力量。

读者也可提出您感兴趣的选题建议。

联系 : [cccf@ccf.org.cn](mailto:cccf@ccf.org.cn)



# 计算机教育研究浅析

## ——从 ACM 计算机科学教育大会看国内外计算机教育科研

张 科<sup>1,4</sup> 张 铭<sup>2</sup> 陈 娟<sup>3</sup> 等

<sup>1</sup> 中国科学院计算技术研究所

<sup>2</sup> 北京大学

<sup>3</sup> 国防科技大学

<sup>4</sup> 中国科学院大学

关键词：计算机教育 计算学科 课程体系 计算思维

随着信息产业的蓬勃发展，各国劳动力市场对计算机人才的需求越来越大，未来计算机人才将成为经济增长的重要推动力。计算机教育乃至更广泛意义上的计算教育，关系到国家未来科技竞争力，已成为全民的基础教育学科，被世界各国广泛重视。如同先进的计算机理论和技术大多首先发表于相关学术会议一样，计算机教育领域的会议对教学也起到了非常重要的引领作用。本文通过概要介绍 ACM SIGCSE 组织的几个重要的计算机教育会议，回顾国际计算机教育与计算机教育研究领域的若干里程碑事件，展示近年来相关领域的国际最新动态和重要成果，梳理自 1956 年以来我国计算机教育及计算机教育科研领域的发展脉络，展现我国计算机教育工作者的贡献。

### SIGCSE 及相关学术会议

美国计算机学会计算机科学教育特殊兴趣组 (ACM SIGCSE) 成立于 1968 年，注册会员近 3000 人，遍及 70 多个国家，规模及影响力位居 ACM 全部 36 个特殊兴趣小组的第三位，对全球各阶段、各层次计算机科学教育产生着重要影响。目前 SIGCSE 每年举办三个颇具影响力的年度国际旗舰学术会议：

SIGCSE 年度技术大会 (SIGCSE Technical Symposium)、创新技术大会 (ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, IT-iCSE)、计算教育研究会议 (International Computing Education Research Conference, ICER)；并将于 2019 年 5 月在中国成都首次举办全球计算教育大会 (ACM Global Computing Education Conference, CompEd)。

**SIGCSE 年度技术大会** 是 SIGCSE 组织主办的历史最为悠久、规模最为盛大的旗舰会议。自 1970 年至今，已成功举办了 50 届。该会议通常于每年 2 月或 3 月在美国举行，为计算机教育研究人员提供了展示创新教学计划、课程体系和授课成果的平台，也为全球教师提供了各抒己见的机会。会议投稿涉及计算机教学及多样性、K-12 与初学者教学、教学法改进扩展、教学活动创新和计算机教学科研等诸多领域，涵盖从幼儿教育至高等教育各阶段的计算机教学相关方向。

回顾第一届 SIGCSE 年度技术大会，可以看到 50 年前计算机科学教育工作者关心的领域及本源问题，时下仍然被广泛关注<sup>[1]</sup>：

- 什么是计算？我们是否兼容并蓄地将计算视为一个跨学科领域的广泛主题？
- 计算机课程应该教授什么内容？汇编语言适

用于哪些教学场景？如何教授人工智能<sup>[2, 3]</sup>、大规模信息处理（即当前的“大数据”）等学科<sup>[3, 4]</sup>？

- 如何设计并实施第一门计算机课程？

**创新技术大会 (ITiCSE)** 创办于 1996 年，通常安排在每年 6 月或 7 月于欧洲举行，旨在关注教学方法和教学技术的实际应用。工作组机制 (Working Group) 是 ITiCSE 的一大亮点。工作组成员共同开展和推进计算机教育相关课题，并在会议结束几个月后发布经同行评议后的研究报告。截至 2018 年，ITiCSE 已先后成立了百余个全球性工作组，涉及数百名计算机教育研究人员，所产生的开创性报告对指明计算机教育研究方向具有深远的影响，并为构建计算机教育研究知识体系作出了贡献。

**计算教育研究会议 (ICER)** 创办于 2005 年，通常于在每年 8 月或 9 月在北美、欧洲和大洋洲轮流举办，吸引了全世界从事计算机教育研究并采用跨学科（如心理学、教育学、人类学和统计学等）研究方法的大量研究人员参会。

**全球计算教育大会 (CompEd)** 是 SIGCSE 最新发起并主办的高水平计算机教育国际会议，将在北美和欧洲以外的国家或地区每两年举办一次，通过会议名称可以看出，CompEd 强调意义概念更为广泛的计算教育 (Computing Education)，而非传统的计算机科学教育 (Computer Science Education)。会议力图通过关注计算和学习科学的交叉领域，促进全球计算教育的发展。首届 CompEd 将于 2019 年 5 月 17~19 日在中国成都召开。我国计算机教育工作者和从事计算机教育科研的相关学者将充分利用这次机会，向国际专家学者全方位展示近年来中国在相关领域取得的成果。CompEd 2019 借鉴了 ITiCSE 的成功模式，将组织 3 个工作组，分别就在线判题系统 (Online Judge)、结对教学法 (Peer Instruction) 及计算伦理 (Computing Ethics) 教学等内容展开研讨和跨国协同工作。

## 从 SIGCSE 2019 会议看计算机教育热点趋势

### 工业界深度参与

有 51 家公司及机构在 SIGCSE 2019 会议上展示了自己的产品。如谷歌、微软和亚马逊的数字化教学平台，可为学生提供基于虚拟机的云基础设施，支撑云计算、机器学习、并行编程等实践课程内容；GitHub 的 GitHub Classroom，为教师和学生提供便利且安全稳定的课程作业发布和代码托管平台；zyBooks 的系列线上交互式电子教材，等等。

### 新课程体系与学生胜任力

制定符合 21 世纪下一个十年发展趋势的崭新课程体系是 SIGCSE 2019 的重要议程之一。由北京大学张铭教授担任指导委员会成员的“计算课程 2020” (Computing Curricula 2020, CC2020) 项目 ([www.cc2020.net](http://www.cc2020.net))，在本次大会中成功举办了兴趣小组讨论。该项目由 ACM 和 IEEE-CS 联合组织全球 36 位相关领域专家，计划通过对著名的 CC2005 课程体系进行版本更新，来应对计算机教育的未来挑战。CC2020 项目采用“计算” (computing) 一词作为计算机工程、计算机科学和信息技术等所有计算机领域的统一术语；采用“胜任力” (competency) 一词来代表所有计算机教育项目的基本主导思想。其目标是从知识、技能和性情三部分，使学生未来能胜任计算相关工作。讨论会重点介绍了项目的最新进展，听取会议现场计算机教育专家学者的建议和新观点，丰富相应的计算学科课程体系内涵，进一步完善学生胜任力培养模型。这也延续了 SIGCSE 2017 会议关于 CC2020 项目的深入讨论<sup>[5, 6]</sup>。ACM 教育委员会推动的数据科学工作小组 (ACM Data Science Task Force) 在其组织的专题讨论中，也表达了构建数据科学中计算机学科课程体系、着力培养学生在数据科学领域胜任力的设计愿景。

### 计算思维

如何培养学生的计算思维 (Computing Thinking and Computational Thinking) 是全世界计算机教育工作者共同关心的话题。密歇根大学的马克·古兹迪

奥 (Mark Guzdial) 教授在题为 “Computing Education as a Foundation for 21st Century Literacy” 的主旨报告中认为, 编程教学的重要目标是为了让每一个人具备运用程序语言来表达思想并与他人交流的能力, 最终正确理解和认知世界。古兹迪奥指出计算是各种思维方式的重要中间媒介, 学习者通过计算思维所独有的自动化和模型化方法, 可更为有效地掌握其他科学的本质和内在特征。

正是因为美国十多年来持续关注计算机教育与计算思维的全民培养, 一项最新的美国、中国、印度、俄罗斯四国联合调查结果表明, 美国计算机专业大四学生的计算机科学技能超过其他三国的同龄人<sup>[7]</sup>。即便如此, 调查报告的作者还认为美国不应该安于现状, 否则由于其他国家的持续投入, 美国的优势将逐渐消失。可见, 各国计算机教育工作者都应加大对计算思维的培养加以重视, 以避免未来国家竞争力落后。

我国的计算机教育界也开始广泛认同计算思维这一重要理念。中科院计算所的徐志伟研究员根据多年为中国科学院大学 (简称“国科大”) 计算机专业本科生开设并讲授“计算机导论”课程的实际教学经验出发, 编写出版了《计算机科学导论》<sup>[8]</sup>, 指出应在学生的入门学习期间着重培养学生的计算逻辑思维、算法思维、网络思维和计算系统思维, 进而形成完整的计算思维。

## 新型硬件平台及计算机系统能力培养

如何为学生提供高性能的新型硬件计算平台, 供学生开展实用的软硬件编程设计实验, 也是 SIGCSE 2019 大会关注的重点内容。Intel 公司展示其发布的面向下一代并行计算的多核处理器平台和硬件现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate Arrays, FPGA) 教学平台及课程案例, 支持并行计算、数据科学和人工智能等课程。美国高校 (如加利福尼亚大学圣地亚哥分校团队和范德比尔特大学团队) 也推出自研的新型硬件平台及软件开发环境, 支持学生开展无人机、机器人、网络安全等实践课程。

中科院计算所张科、常轶松、陈明宇、包云岗

及徐志伟在会上发表了题为 “Computer Organization and Design Course with FPGA Cloud (使用 FPGA 云平台开展计算机组成原理课程教学活动)” 的长文论文。这五位作者均是担任计算所科研与国科大本科一线教学工作的教师。论文介绍了教学团队在国科大本科生“计算机组成原理”理论和实验课程中的教学思路和教学方法, 并围绕计算所自研的新型 FPGA 云平台在相关教学活动中起到的独特作用和教学效果展开论述。作为一种硬件可编程芯片, FPGA 可以用于硬件逻辑模块 (如组成原理实验课中的单周期处理器) 开发与调试。为提升实验项目开发的敏捷性、降低学生在硬件环境搭建和调试的复杂度, 教学团队结合学术及工业界主流技术发展趋势, 采用了基于面向计算机系统能力培养需求定制的 FPGA 云平台。相比传统教学模式, FPGA 云平台可以更好地达到预期教学活动目标, 不仅方便学生随时随地开展实验项目, 教师亦可对学生代码进行快速审阅和线上辅导。更为重要的是, 云平台的可伸缩性及可扩展性可以更好地适应不断攀升的计算机专业课程选课人数, 也能避免硬件资源的过度浪费与闲置。经过授课教师与学生在云平台使用过程中的闭环反馈与调试优化, 基于 FPGA 云平台的敏捷开发流程得到了学生的广泛认可, 部分优秀学生已在此 FPGA 云平台上开展基于 RISC-V 指令集的开源芯片原型设计与验证: 不仅提升了计算机系统能力和软硬件编程能力, 还极大增加了对于计算机系统知识及相关科研方向的浓厚兴趣。

值得一提的是, 这篇论文是 ACM SIGCSE 年度技术大会 50 年以来, 国内高校和科研机构作为第一作者单位发表的第四篇全文论文。在人工智能等多个计算机科研领域, 我国科研学者的学术研究成果已在国际学术界与美国平分秋色。例如, 人工智能领域旗舰会议 AAAI 2019 共录用 1150 篇长文论文, 其中中国大陆一作长文共 382 篇, 排名全球第一, 比排名第二的美国高出 118 篇。然而在计算机教育领域, 中国的相关研究还未能达到这样的成绩,亟待国内高校对计算机教育及计算机教育研究领域给予更多重视并加大投入。

国内计算机教育研究人员很难获得国家自然科学基金等高规格、高额度的国家级独立研究资助，是产生上述问题的重要原因之一。在科研项目考核导向的国内高校，如果继续“重科研、轻教学”，我们在未来信息领域的国际竞争中将面临人才缺失的困境<sup>[9]</sup>。

## 国际计算机教育发展的里程碑事件

在 SIGCSE 过去 50 年的努力推动下，国际计算机教育领域发生了若干里程碑式事件，并通过 SIGCSE 各学术会议的研讨推广，极大促进了相关产业的进步和发展。

### 计算学科的提出

ACM 前主席彼得·丹宁 (Peter J. Denning) 等人在 1989 年《美国计算机学会通讯》(CACM) 杂志上发表了一份著名的报告《计算作为一门学科》(Computing As A Discipline)<sup>[10]</sup>，定义了计算学科的内涵和外延，用“计算学科 (discipline of computing)”一词涵盖计算机科学与工程，使计算科学作为一门学科被广泛承认。2005 年，丹宁在 CACM 上发表题为 “Is Computer Science Science?” 的文章<sup>[11]</sup>，再次激发计算机科学如何持久地作为一门学科的深入讨论。

### 计算思维概念的提出与复兴

计算思维的概念在 20 世纪 70 年代末被提出，并在 80 年代成文，然后开始了一定范围内的探讨（如西蒙·派珀特博士 (Seymour Papert) 在 1980 年的 *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas* 一书和 1996 年的 “An Exploration in the Space of Mathematics Educations” 论文）。然而，直到 2006 年 3 月，卡耐基梅隆大学的周以真 (Jeannette Wing) 教授在 CACM 上发表文章<sup>[12]</sup>，才将计算思维的概念重新带入了大家的视线并引起了各界关注。她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等涵盖计算机科学之广

度的一系列思维活动。她同时提出了计算思维的特征及方法，使计算思维在世界范围内得到推广。周教授的这篇文章以及她后续作为美国国家科学基金会 (NSF) 计算机信息科学与工程学部 (Computer and Information Science and Engineering, CISE) 助理主任客观上推动了计算思维的 NSF 基金立项，并且将计算学科的概念、方法、工具和技术融入到中小学和大学本科教育中。

### 计算机学科规范和课程体系的发展历程

IEEE-CS/ACM 发布的 “Computing Curricular 1991” (CC1991) 是第一个较为系统的学科规范。然而 CC1991 及之后相继发布的 CC2001 和 CC2004，并没有对计算学科进行细致划分。自 CC2005 开始，计算学科规范被划分为计算机科学、计算机工程等 5 个各有侧重的分支，其目的是更好地适应社会发展的需求。ACM/IEEE 于 2008 年发布了信息技术学科规范 “Information Technology 2008” (IT2008)，突出强调集成能力培养，使 IT 应用教育得以松绑，学生可专注学习网络维护、数据库调优等专项技能，避免学习计算机基础、数学等复杂理论，适应了工业界对信息技术领域人才培养的客观需求。

之后发布的 “Computing Science Curricula 2013” (CS2013) 进一步对计算机科学完整知识体系进行了重新定义并新增计算思维、信息安全、并行计算等知识模块，特别强化系统基础 (system fundamentals)。2016 年 12 月发布的 “Computer Engineering Curricula 2016” (CE2016，计算机工程课程体系指南) 为保持教学内容先进性，对计算机工程专业的知识体系和知识领域进行了重新梳理，并期待能引领未来 10 年的计算机工程教育方向。IT2017 引入了胜任力 (competency) 模型，旨在为全世界的教育机构制定未来十年的信息技术课程体系提供指南，对信息技术学科的内涵以及融合知识、技能、性情的信息技术能力进行了定义，其中包括 10 个基本领域、9 个补充领域和其他选修领域组成的信息技术能力域。正在开展的 CC2020 项目采纳了

IT2017 的胜任力模型，强调元学科规范 (Meta Curricula)，融合知识、技能、性情三个方面的综合能力培养，加强了对职业素养、团队精神等方面要求，鼓励各教学机构根据自己的定位而设计具体培养方案。以上这些新的学科规范和课程体系都对实现我国“新工科”建设所强调的“以能力培养促进工程科技创新和产业创新”的目标有着重要的促进作用。

## 大规模在线教育 (MOOC)

伴随着 Udacity、Coursera 和 edX 的正式上线，2012 年成为名副其实的 MOOC 元年。Udacity、Coursera、edX 三大标志性 MOOC 平台容纳的大大学数量、提供的课程规模、注册学生人数早已超过千万。围绕 MOOC 的相关教育技术、教育理念、教学方式等引发的巨大变革也在深刻影响着中国的计算机教育。各种新兴的网络和多媒体技术也极大地推动着 MOOC 的发展。同时一种更加灵活的针对小众人群的 SPOC 教学方式也应运而生。无论是 MOOC 还是 SPOC，中国应用在线教育达到教育资源最大化的前景十分广阔。

## 中国计算机教育及计算机教育科研的历史与现状

我国计算机教育可追溯至 1956 年清华大学和哈尔滨工业大学两所高校率先设立计算机专业<sup>[13]</sup>。其中，哈尔滨工业大学计算机专业在 1956 年筹建本科生班时就同时举办了研究生班。回顾往昔，我国计算机教育事业发展曾有过四次高潮，并正在经历第五次高潮。

### 第一次高潮（1956 – 1960 年）

1956 年，国务院制定了《十二年科学技术发展规划》(即《1956 – 1967 年科技发展规划》)，将建立与发展我国的计算机技术纳入规划并列为五项紧急措施之一。该规划推动了我国计算机专业的创建。到 20 世纪 50 年代末，在教育部的部分重点大学和国防工业院校建立了 14 个以“计算装置与仪器”“计

算数学”为主要分支的计算机专业。

该阶段的计算机教育特点是：(1) 张效祥、杨芙清、夏培肃、金兰等计算机专业创始当年陆续从国外学习归来（前三人 1991 年同时被评为中国科学院院士），带回计算机新技术，成为我国第一批计算机专业教师培训的启蒙老师；(2) 大多采取“以任务带学科，以科研带队伍”的专业发展模式，组织教师和学生在研制计算机的同时学习计算机设计技术，把培养高素质的人才与发展新技术和支持新技术产业结合起来。例如，中国科学技术大学于 1960 年研制成功中国第一台自主设计的通用电子计算机——107(KD-1) 机，哈尔滨军事工程学院于 1965 年研制成功中国第一台晶体管数字计算机——441-B 计算机。这种发展模式一直持续到 20 世纪 70 年代。

### 第二次高潮（1978 – 1986 年）

十年动乱结束，国家将工作重点转移到四个现代化建设上。1978 年 3 月全国科学大会的召开、《1978 – 1985 年全国科学技术发展规划纲要》将电子计算机列为 8 个影响全局的综合性课题之一等事件，大大促进了计算机教育事业的快速发展。这段时期共开办了 74 个以“计算机及应用”和“计算机软件”为主要分支的计算机专业。

该阶段的计算机教育特点是：(1) 改革开放促进了计算机新技术、新课程的引进。例如邀请美国一流计算机专业的教授在北京讲授编译技术、操作系统、系统结构等课程；向西方先进国家大量派出进修教师、访问学者，并在他们回国后组织开设相应课程并编写教材。(2) 软件得到普遍重视，计算机应用技术教育开始普及。到 1982 年，我国的软件专业由原先的几个迅速扩大到三十多个。(3) 高层次人才培养开始起步。1978 年恢复计算机软件和计算机应用两个本科专业招生；同时按 5 个二级学科设点招收培养新一批计算机专业研究生。1981 年经国务院学位委员会审定，首批计算机学科硕士点和博士点在部分重点大学批准建立。之后，在 1987 年我国首次设立重点学科，其中计算机科学与技术包括计算机组织与系统结构、计算机软件、以及计算机

应用等三个二级学科。

## 第三次高潮（1994 – 2003年）

1994年，全国计算机专业统一为“计算机科学与技术”，并在之后受到各项国家科教战略的广泛影响。1995年我国开始实施“科教兴国”的发展战略，启动“211工程”重点建设一批高校和一批学科。在1998年亚洲金融危机之际，教育部出台《面向21世纪教育振兴行动计划》，并于1999年启动以“拉动内需、刺激消费、促进经济增长、缓解就业压力”为目标的高校扩招，同时启动以“建设具有世界先进水平的一流大学”为目标的“985工程”。另一方面，网络技术与应用促使计算机技术发生革命性变革，计算机应用更加普及，也引发了我国计算机专业内在的发展变化。若干相关课程被引入到计算机专业的教学计划中，还有一些学校于2001年开始办起了“网络工程”“软件工程”“电子商务”“信息安全”等新专业。2001至2002年，中国计算机学会教育委员会、全国高等学校计算机教育研究会和清华大学出版社联合组建研究组，成员由清华大学等八所国内高校的计算机教育专家组成，研究组参考IEEE-CS/ACM的CC2001，制订并出版了《中国计算机科学与技术学科教程 2002》(简称 CCC2002)。到2003年末，全国具有计算机专业的学校达505个，在校生近30万。

该阶段的计算机教育特点是：(1) 计算机专业的内涵和外延发生较大变化。计算机专业的教育内容已不再局限于传统的计算机组织与体系结构、计算机理论与软件和计算机应用技术，计算机网络及其应用技术、多媒体及其应用技术、网络与信息安全等教育内容得以强化。(2) 办学单位和在校生人数迅速增加。(3) 教材内容逐步与国际接轨，2000年前后，我国几大出版社从国外著名出版公司引进了成套的计算机专业教材，其中包括不少经典的著名教材。

## 第四次高潮（2003 – 2016年）

在这期间，我国高等教育面临一系列新情况、新问题：(1) 高校继续扩招<sup>[14]</sup>，带来了高校教育质

量问题；(2) 计算技术飞速发展，进入以移动互联、物联网、云计算和大数据计算为主要特征的新型网络时代，对计算机专业人才的知识结构与创新能力提出更高要求；(3) 我国开始实施人才强国战略，引入各类人才计划等，很多高校片面地将论文、专利、资金数量作为人才评价标准，导致潜心将科研融入到教学、开展教学研究的高校教师越来越少。为应对高校扩招带来的教育质量问题，教育部于2001年重组各学科教学指导委员会，将其工作职责由以教材编审为主转向为对学科的教学工作进行全面的研究、咨询和指导；2003年启动“高等学校教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”)，通过建设品牌专业、工程认证、精品课程等来改善高校教育质量。除上述面向各类专业的改革措施外，我国计算机教育工作者也结合本专业情况采取一系列新举措。2006年在教育部指导下启动了具有开创性意义的计算机专业工程教育认证。同年计算机科学与技术专业教学指导分委员会(2013年变更为计算机类专业教学指导委员会，简称“教指委”)先后发布《关于进一步加强高等学校计算机基础教学的意见暨计算机基础课程教学基本要求(试行)》与《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范(试行)》等刊物；2007年和2010年教指委又分别发布了《高等学校计算机科学与技术专业公共核心知识体系与课程》和《高等学校计算机科学与技术专业人才专业能力构成与培养》，进一步规范国内计算机专业教育。2010年11月，陈国良院士在第六届大学计算机课程报告论坛中发表题为《计算思维与大学计算机基础教育》的报告并倡议：以计算思维能力培养为切入点、推动大学计算机基础课程教学改革；随后，2012年首届“计算思维与大学计算机课程教学改革研讨会”召开；2016年《大学计算机基础课程教学基本要求》发布。这些措施在一定程度上有积极作用，但是由于人才评价体制等因素，整体上对教学研究的深度和投入不足。

该阶段的计算机教育特点是：(1) 计算机专业的内涵和外延进一步扩张。2012年计算机专业教育发展为计算机类专业，主要包括计算机科学与技术、

软件工程、网络工程、信息安全、物联网工程、数字媒体技术等 6 个基本专业，逐步增设智能科学与技术、空间信息与数字技术、电子与计算机工程等 3 个特设专业。2013 年全国计算机类专业的招生专业点突破 2000，达到 2082 个。(2) 教指委积极开展计算机专业本科教学的研究、咨询、指导、评估、服务工作，组织研究小组研究高等学校计算机科学与技术专业发展战略并出版一系列专业规范。(3) 在编译原理和操作系统等计算机专业核心课被很多学校取消或减少学时的同时，计算技术与信息产业发展对学生提出系统能力培养的新需求。2013 – 2017 年，教指委启动“计算机类专业系统能力培养研究”项目，分析系统能力的主要内涵及培养需求<sup>[15]</sup>。(4) 引入若干与具体编程语言、应用技术相关的课程，各种细分专业的教学计划区分度不明显。(5) 2006 年周以真教授关于计算思维文章的发表、2012 年美国顶尖大学陆续设立 MOOC 对国内计算机教育界产生影响，掀起国内一系列的相关研究与建设。中国高校计算机教育 MOOC 联盟于 2014 年 12 月在京成立。(6) 虽然出版了很多教材，但是大量为应用技术类，许多核心专业课的教材内容滞后。(7) 大多数高校教师的科研与教学不相匹配，科研有很大发展，但是将科研运用到教学上的教学研究极其缺乏，导致高校教育质量提升内力不足。(8) 虽然国内科研经费显著增长，但是教研经费微薄，甚至轻视教研。

## 第五次高潮（2017 年至今）

2016 年“新工科”概念被提出，其出发点是适应引领新经济发展的战略视角，对国际工程教育改革发展做出中国的本土化回应。2017 年以来，为主动应对新一轮科技革命和产业变革，支撑服务创新驱动发展、“新一代人工智能发展”等一系列国家战略，教育部积极推进“新工科”建设，先后形成复旦共识、天大行动和北京指南，发布关于新工科研究与实践的开展、项目推荐和首批项目公布以及《高等学校人工智能创新行动计划》等通知。2017 年 11 月，在教育部高教司、工信部信息化和软件服务业司及人事教育司共同指导下，信息技术新工科产学研

研联盟在京成立。“新工科”建设旨在针对新兴产业，以互联网和工业智能为核心，建立“存量更新”的新型工科专业以及“增量补充”的新生工科专业和新兴工科专业，全力探索形成领跑全球工程教育的中国模式和中国经验。为顺应“新工科”建设理念在计算机科学领域的发展需要，2016 年新设数据科学与大数据技术、网络空间安全等战略性新兴产业相关专业。教育部也在 2018 年正式发布计算机类专业教学质量国家标准。截至 2018 年，我国计算机类专业涵盖计算机科学技术、软件工程、网络工程、物联网、信息安全、数字媒体技术、智能科学与技术等 14 个专业，专业布点数达 3367 个，占工科门类的 18%，在校生约 150 万人。计算机学科近年来一直是我国各大高校的热门学科，在招聘需求和毕业生专业薪酬上均排名第一。根据目前的发展趋势，预计 2020 年全国计算机类专业招生专业点将突破 4000 个。2019 年 3 月，教育部公布 2018 年度普通高等学校本科专业备案和审批结果，其中 35 家院校新设人工智能专业。这将势必大幅提升国内人工智能领域相关人才储备的数量和质量。

在“新工科”建设背景下，清华大学出版社于 2018 年 7 月整理出版《培养计算机类专业学生解决复杂工程问题的能力》，正式明确计算机类专业本科教育基本定位；同年 12 月，在 2018 – 2022 教育部计算机类专业教指委的第一次工作会议中审议通过计算机类教指委 1 个联盟（计算机教育联盟）、2 个工作组（教学质量、系统能力）、3 个专业组（物联网、大数据、人工智能）的成立；其中系统能力工作组成立智能时代计算机专业教育研究组，启动系统能力培养项目第二阶段的研究。

历数各次高潮，可以看到教学与研究深入融合是提升我国高校教育质量的关键因素之一。国家需要重视对教学研究的投入，改革人才评价制度。从 2018 年开始，国家自然科学基金委 (NSFC) 在科学基金申请代码中增设教育科学研究相关申请代码 F0701，支持用自然科学的手段、范式来研究教育科学问题，推动教育的科学发展，支撑新时代的教育。2018 年度国家自然科学基金 F0701 类共收到项

目申请 737 项，涵盖个性化教学、教育大数据、机器学习、增强现实、教育机器人、学习评测、交互学习、数字资源、协同学习、资源配置等十个主题聚类，充分反映出广大教师对教育研究参与的积极性。其中 60 项申请获得资助，直接经费总额为 2346 万元，批准率为 8.1%。通过对资助项目研究内容的分析可以看出，目前的教育信息科学与技术研究仍处于技术迁移期，主要以信息领域向教育领域渗透的研究工作为主，但对教育领域的重大关键科学问题缺乏深刻凝练，深度交叉融合不足<sup>[16]</sup>。F0701 下设 10 个三级申请代码（见表 1）。在 2018 年度 F0701 的申请和资助中，F070108 的申请占比最高，为 23%，批准率为 8.9%；F070102 批准率最高，为 13.4%，申请占比为 13%；F070105 批准率最低，为 0，申请占比为 5%。F0701 代码的设立，开启了教育跨学科交叉融合研究新元年，标志着教育研究进入了新时代，将极大促进中国教育科学水平的提高。希望我国能在不同层次提供高校教师开展教学研究的资金、政策等的支持。

表 1 F0701 下设三级申请代码

代 码	方 向
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

## 未来发展

2017 年，北京大学教授张铭团队采访了 ACM SIGCSE 主席安布尔·塞特尔 (Amber Settle) 教授<sup>[17]</sup>。塞特尔指出，计算机科学技术飞速更新的特性意味着

计算机专业教育必须紧跟业界发展节奏。这要求计算机教育者不仅能对计算机领域的现状做出准确判断，而且能敏锐地捕捉到计算机技术未来的发展动向。学科自身和现代社会的发展都要求开展面向非计算机专业人士的计算机教育。如何提供令全社会满意的教育服务，并适应编程学习者不断低龄化的趋势，需要多领域专家进行广泛探讨。计算机教育不仅是任课教师的任务，更与整个行业的未来发展息息相关。它需要足够的支持以产出优秀的研究成果并应用于实践，也需要广大计算机爱好者的共同努力。

在 2018 年 12 月的 *ACM Inroads* 中，美国波莫纳学院 (Pomona College) 的金·布鲁斯 (Kim B. Bruce) 教授根据自身教学经验和分析结果，列举了他认为的计算教育领域存在的问题<sup>[18]</sup>。这些问题虽不能完全代表计算教育领域，但也凸显了一线教师对计算教育的关切程度：

- 如何应对持续上升的计算机专业本科生课程选课人数；
- 如何使计算机专业课程更具包容性；
- 如何支持并发展大学预科阶段的计算机教育；
- 如何让学生深刻地理解计算的道德含义；
- 如何缓解计算机导论课程中的高退课率。

此外，计算思维作为热点，引发最近几期 *CACM* 文章的观点讨论。恩里克·纳德力 (Enrico Nardelli) 强调在计算思维中自动化与建模的重要性<sup>[19]</sup>。这与 SIGCSE 2019 技术大会上马克·吉兹迪奥教授在主旨演讲中的部分观点是一致的。伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校与麻省理工学院的学者提出，我们在教学中除了需要培养学生抽象的计算思维，更需要“计算行动” (computational action)，鼓励学生尤其是低龄学生避免机械地完成大量过时的重复习题，更多参与到有现实意义的实践项目之中<sup>[20]</sup>。

随着近年来我国信息产业的飞速发展，全社会对计算机专业人才的需求不断提高。这些需求也激发中国的计算机教育工作者开拓国际视野，不断寻求与世界先进计算机教育前沿接轨并深度融合；同时结合自身国情，提出一些独具特色的观点见解和未来规划纲要，为全球计算机教育及计算机教育科

研事业的未来发展贡献“中国力量”。

2019年1月，高等教育出版社出版了由“中国计算机教育20人论坛”发布的《计算机教育与可持续竞争力》<sup>[21]</sup>一书。相比上述国际最新的计算机教育领域观点，我国的计算机教育专家们站在了更为全面且更加符合中国国情的角度，阐述了可持续竞争力（或称胜任力）的概念<sup>1</sup>，以及如何培养可持续竞争力。中国学者还创新地提出了敏捷教学的概念与内涵，并再次重申了计算思维的重要性和特征。

专家普遍认同要把计算机科学为主导的信息技术作为基础，服务其他学科在新时期的发展需要。随着国内广大教育者的持续投入，“新工科”发展已凸显成效。2018年3月底，教育部公布了首批612项“新工科”研究与实践项目。从项目一年来整体实施的效果来看，不少专业都在基于信息技术重塑本专业的工科教学体系。

可以预期，随着我国对高等教育、尤其是计算机教育重视程度的不断加强，特别是基金委从2018年开始确立了F0701教育信息科学与技术二级代码，全面启动支持教育科学基础研究的相关工作，国内将会有更多的有识之士参与到计算机教育事业，助力发展全民计算教育，推广先进计算机教育理念的全球化传播，携手共建计算领域的人类命运共同体。 ■

### 致谢：

此专题内容得到了北京市科委北京市重点研发计划新一代人工智能技术培育项目(Z181100008918005)的支持。此外，本文作者感谢以下老师及专家对本文提出的宝贵意见与建议：John Impagliazzo、Alison Clear、Jian Zhang、Yanxia Jia、Haiyan Cheng、Meng Han、Liling Li、李晓明、徐晓飞、蒋宗礼、张龙、何炎祥、王志英、陈熙霖、许卓群、李文新、杨晓春、韩飞、杨波、傅育熙、李晓鸿、陈卫卫、贾斌、孙艳春、谢昆青、刘卫东、战德臣、王漫、严勇、毛晓飞等。



张 科

CCF 专业会员，CCF 计算机工程与工艺专委委员。中科院计算所高级工程师，中国科学院大学岗位教师。主要研究方向为计算机系统结构与异构加速计算。

zhangke@ict.ac.cn



张 铭

CCF 高级会员，CCF 计算机教育工委副主任。北京大学教授。教育部计算机课程教指委委员，ACM SIGCSE China 主席。主要研究方向为机器学习、大数据分析、计算机教育。mzhang@net.pku.edu.cn



陈 娟

CCF 高级会员，CCF 高性能计算、理论计算机专委委员。国防科技大学副教授。ACM SIGCSE China 副秘书长。主要研究方向为高性能计算、低功耗软件优化技术、计算机教育。juanchen@nudt.edu.cn

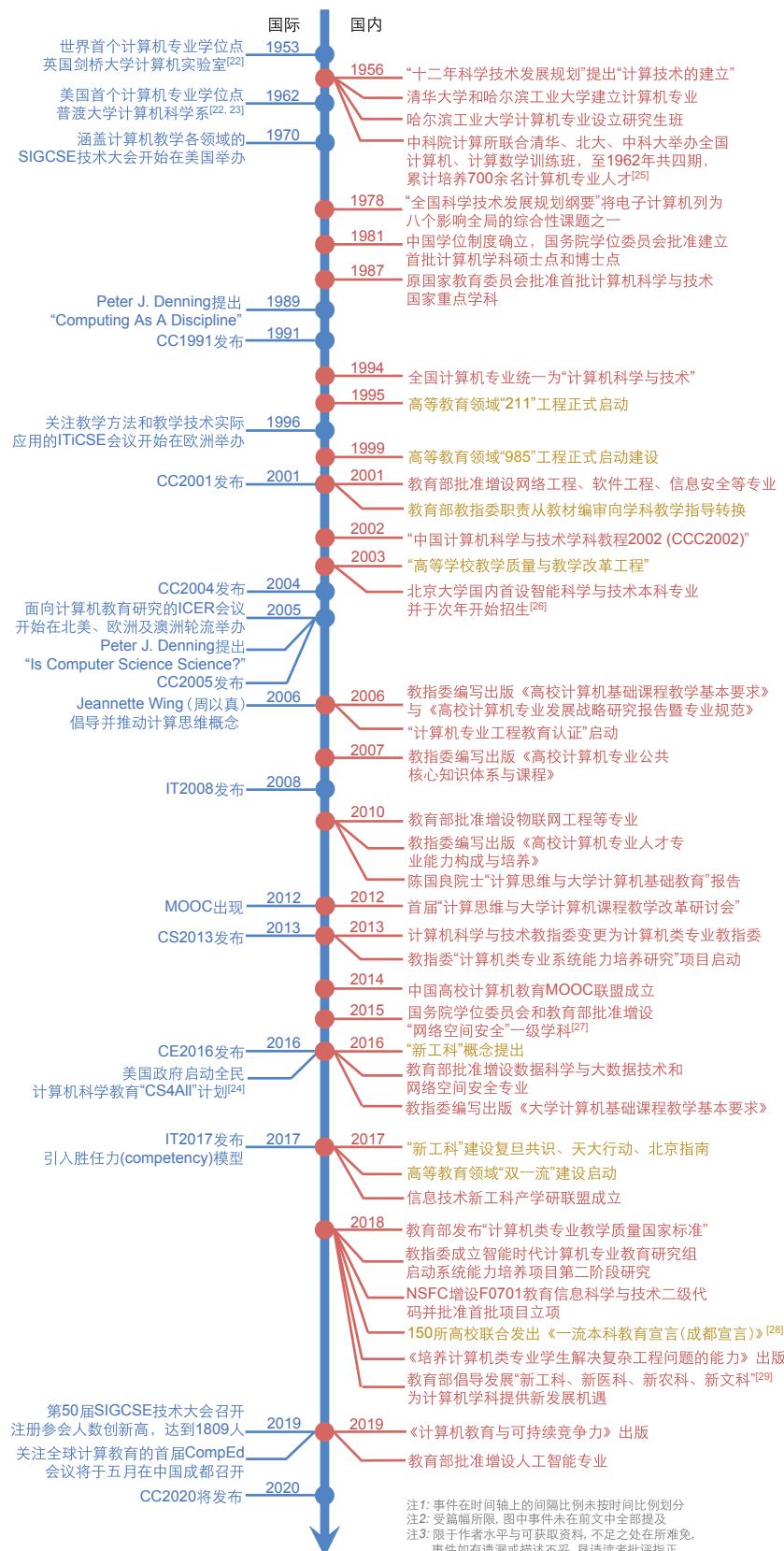
其他作者：张 昱 常轶松

### 参考文献

- [1] Beck R E, Walker H M. The SIGCSE Symposium: A Brief History[J]. ACM Inroads, 2018, 9(4): 31-39.
- [2] Hammer P C. Undergraduate Computer Science Education[C]//Proceedings of the 1st ACM SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE'70). ACM, 1970: 1-5.
- [3] Atchison W F, Conte S D, T E, et al. Curriculum 68: Recommendations for academic programs in computer science: a report of the ACM curriculum committee on computer science[J]. Communication of the ACM, 1968, 11(3): 151-197.
- [4] Guzdial M. What We Care About Now, What We'll Care About in the Future[J]. ACM Inroads, 2018, 9(4): 63-64.
- [5] Clear A, Parrish A, Zhang M, et al. CC2020: A Vision on Computing Curricula[C]//Proceedings of the 2017 ACM SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE'17). ACM, 2017: 647-648.

更多参考文献：<http://dl.ccf.org.cn/cccf/list>

<sup>1</sup> 可持续竞争力指面对未来社会变化和竞争的适应能力、基于使命和技术的创新能力、推动社会发展与科技进步的行动能力。

附  
国内外计算机教育相关领域重要事件

图例： 国际计算机教育领域重要事件（蓝色） 国内计算机教育领域重要事件（红色） 国内高等教育领域重要事件（金色）

# 信息技术领域新工科建设与 工程教育改革

关键词：新工科建设 新行动 中国方案

张 龙<sup>1</sup> 刘 华<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 高等教育出版社

<sup>2</sup> 中国软件行业协会

## 新时代 新工科

以信息技术为核心的新一轮科技革命正在孕育兴起，互联网日益成为创新驱动发展的先导力量。以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展，分享经济、大数据、虚拟现实、人工智能等新兴领域风起云涌，为高等工程教育带来了新机遇、新挑战。

未来5~15年是传统工业化与新型工业化相互交织的转换期，是工业化与信息化深度融合的过渡期。中国近年来为推动我国制造业转型升级和重塑国际竞争新优势，相继实施了“互联网+”、大数据产业发展等若干重大举措。2000年以来，国家颁布了一系列鼓励软件产业发展的政策措施，营造了良好的产业发展环境。2017年我国软件产业业务收入首次突破5万亿元，2018年中国软件产业的规模超过了6.3万亿元（人民币），同比增加14.2%，实现利润总额8079亿，从业人数达到了643万人，重点软件企业研发投入增长达到20.4%，航空航天、机械、汽车、轨道交通等行业数字化装备工具普及率超过了85%<sup>1</sup>。我国信息技

术创新能力显著提升，人机交互、位置服务、区块链、网络支付、移动出行等新技术、新产品、新服务不断涌现；行业应用持续深入，信息技术加速向关系国民经济和社会生活的重点领域行业渗透。但我们也应清醒地认识到，我国软件和信息技术产业大而不强、核心技术亟待突破等问题仍然突出，对制造强国、网络强国战略的支撑保障能力有待进一步提升。

软件和信息技术产业要发展，需要着力培养一批高端领军人才，形成结构合理、满足产业发展需求的高素质人才队伍；亟须推动高等院校、行业企业、研究机构在信息技术新工科人才培养方面的深度合作，为建设制造强国和网络强国提供强有力的人才支撑保障。

工程教育在我国高等教育中占有重要的地位，培养高素质工程科技人才是支撑产业转型升级、实施国家重大发展战略的重要保障。目前，我国已建成了世界上最大规模的工程教育体系，工科本科专业全国布点18000多个，在校生500多万人，形成了4200多万人的工程科技人才队伍。2016年6月，我国成为《华盛顿协议》组织的正式成员<sup>2</sup>，

<sup>1</sup> 来源：工业和信息化部信息化和软件服务业司副司长李冠宇在2019信息技术新工科产学研联盟第二届年会发言，信息技术新工科产学研联盟秘书处提供。

标志着中国工程教育质量认证体系实现了国际实质等效，为进一步深化工程教育改革奠定了坚实基础，提供了良好契机。

为主动应对新一轮科技革命与产业变革，教育部2017年启动了“新工科”建设，从“复旦共识”“天大行动”到“北京指南”，提出了以实施“卓越工程师教育培养计划2.0版”为抓手，把握工科的新要求，加快建设发展新兴工科的号召。新工科建设“三部曲”推动了我国工程教育改革持续走向深入，新工科已经成为高教战线的广泛共识和积极行动。

## 融合资源 打造新生态 引领新发展

新工科建设需要政府部门大力支持，也需要社会力量积极参与。很多高校积极行动起来，响应国家重大战略，立足产业发展对信息技术新工科人才的需要，加快信息技术领域的新工科建设，开展了大量卓有成效的工作。

**一、推动新工科专业建设。**目前，各学校在努力推进新工科建设的探索中，主要是从打通专业之间的隔断，促进各学科的交叉融合开始尝试，以实践和应用为目标，注重全过程的培养。在实践过程中也存在待改进之处：偏于总体方向指引，实施方法不系统、不完整；大部分是依靠改革者和实施者的经验，对于如何落地还需要进行更为深入和细致的研究；缺乏可复制性，因而较难在各地各类高校中得到推广应用<sup>[1]</sup>。因此，探寻科学、系统且可复制的工程人才培养的专业方案建设是当下新工科行动中的紧迫任务。

针对上述问题，也是积极响应教育部启动实施“十百万”计划，信息技术新工科产学研联盟（以

下简称“联盟”）经过2年来的探索和研究，召集相关工委就编写方案达成共识，启动了专业建设方案的研制计划，最终形成了“机器人工程”等4个专业（见表1）的建设方案建议稿，专业建设方案以现有专业教学质量国家标准为蓝本，涵盖了培养目标、培养规格、师资队伍、教学条件、质量保障要求和课程体系等方面内容，对各个高校相关专业建设具有非常好的参考价值。

表1 信息技术新工科产学研联盟组织研制的专业建设方案

专业方案名称	特色	共性
数据科学与 大数据技术	注重数据思维和数据价值发现能力；多元培训体系，形成培养战略高地	厘清内涵、促进交叉。形成可学习、可示范和可复制的专业建设参考方案，深入快速推进新工科专业建设
机器人工程	多学科交叉领域、技术高度集成融合	
能源互联网	互联网和能源深度融合的新形态，国际人才	
服务科学与 工程	跨界融合、新模式、新产业需求；赋能应用	

**二、开发在线课程资源。**有专家认为，大型开放式网络课程(MOOC)对高等教育的颠覆性主要表现在三个方面：一是MOOC可以辐射到那些原本由于种种原因无法接受到高等教育的一大群用户；二是逐渐挺进中高端市场，世界各大名校和教育公司纷纷加入到MOOC中；三是促使课程质量的提升，课程质量得到了重新定义<sup>[2]</sup>。联盟基于“新业态”下的产业需求，以产业和技术发展的最新成果推动工程教育改革，设计了专业新结构与课程体系，实现了从学科导向转向产业需求导向，从专业分割转向跨界交叉融合，从适应服务转向支撑引领。高校与企业紧密互动，开发了一批以产业导向为鲜明特点的在线课程。2019

<sup>2</sup>《华盛顿协议》于1989年由来自美国、英国、加拿大、爱尔兰、澳大利亚、新西兰6个国家的民间工程专业团体发起和签署。该协议主要针对国际上本科工程学历（一般为四年）资格互认，确认由签约成员认证的工程学历基本相同，并建议毕业于任一签约成员认证的课程的人员均应被其他签约国（地区）视为已获得从事初级工程工作的学术资格。2013年，我国加入《华盛顿协议》成为预备成员，2016年成为《华盛顿协议》组织的正式成员。

年预计开放信息技术新工科类课程 50 门。

**三、提升师资水平。**一批高校在产业界的支  
持下，开展了校企联合培养师资的模式，提供实  
习岗位，帮助企业内部工程师去高校授课、高校  
教师去企业合作任职。目前，工程实践能力强的  
高水平专业教师数量逐渐增多。联盟根据其 2018  
年组织的 2000 余人次师资培训的专业方向，绘制  
出新工科方向专业热点（见图 1）。目前来看，大  
数据方向希望获得培训的高校教师最多，其次是  
人工智能、网络工程等。与新工科相匹配的师资  
队伍建设路径逐渐明确，为新工科建设创造了良  
好条件。

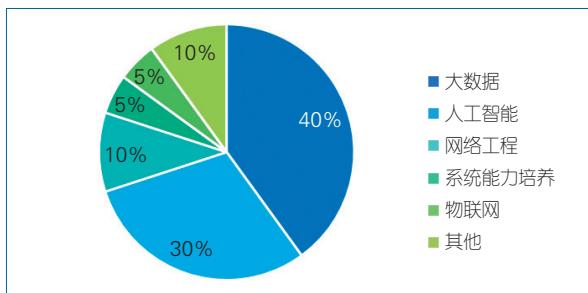


图 1 新工科方向专业热点

**四、创新实践平台模式。**一批集教育、培训及研究于一体的区域共享型人才培养实践平台不断出现（见表 2）；多主体协同育人机制，科教结合、产学融合、校企合作的实践案例逐渐丰富；教育链、人才链与产业链、创新链有机衔接成为共识。

## 探索工程教育的中国方案

信息技术是工程教育中专业数量最多、学生规模最大、涉及高校最广的领域，也是全球研发投入最集中、创新最活跃、应用最广泛、辐射带动作用最大的技术创新领域。信息技术领域新工科建设意义重大、任务紧迫，要求我们深入探索，广泛开展研究与实践，围绕更新理念、优化结构、创新模式、保障质量等关键点持续发力。

最近美国《财富》杂志网站报道《在与中国的科技竞赛中，美国大学或失去关键优势》<sup>[3]</sup>指

出，在 5G 手机网络和 AI 等技术上，中国已经迎头赶上。科研服务公司 GreyB Services 的数据显示，在无线通信领域，中国高校获得的专利数量超过了美国高校。据《财富》杂志网站报道，总部位于日内瓦的世界知识产权组织表示，在 AI 领域排名前 20 的大学和公共研究机构中，有 17 所设在中国，中国科学院位居榜首。

这些数据令人振奋，我们的高校无疑在“中国特色”和“本校特色”上开始了独树一帜的行动。大业欲成，人才为重。信息技术领域新工科建设在未来面临两大任务。

一是聚焦在研究如何培养面向未来 5~15 年的工程教育人才（包括领军人才、复合型人才和应用型人才），积极探索对应的教育模式，推动创新型国家建设的人才供给侧改革。正如 2017 年教育部在天津大学召开新工科建设研讨会上提出的：培养造就一大批多样化、创新型卓越工程科技人才，为我国产业发展和国际竞争提供智力和人才支撑，既是当务之急，也是长远之策。培养学生终身学习发展、适应时代要求的关键能力。

表 2 区域共享型人才培养实践平台

实践基地	功能	模式创新	现状	未来发展
德清人 工智能 基地	注重多 元化培 养，立 足当 地，面 向全 国，辐 射全 世界	大学生竞赛、打造 AI 人才高地、技术创新、创意落地、创新引领人才、品牌论坛	初步成立	竞赛选 拔超万 人规模
东南新 工科产 业学院		当地政府、学界、业界、 联盟共建，突破现机制， 探讨区域现代产业人才 培养模式	招生 500	2000
北理工 大学生 实践 基地		科教、产教深度融合， 面向业界培养人才，赋 能应用，创新教育教学 方法，贯通工程教育链	招生 120	300

二是总结国内外出现的工程教育新探索，尽快树立若干新工科建设的模式，让新工科扎根中国，形成符合实际情况的“中国方案”。2004 年，美国麻省理工学院、瑞典查尔姆斯技术学院、瑞典皇家技术学院、瑞典林克平大学四所大学首创 CDIO（构思 conceive、设计 design、实现 imple-  
ment、运作 operate）工程教育理念。2017 年麻省

## CCF 代表团出席日本 IPSJ 大会

### 陈道蓄应邀作特邀报告

2019年3月14~17日，应日本信息处理学会(IPSJ)邀请，以中国计算机学会(CCF)秘书长杜子德为团长的CCF代表团出席了IP SJ第81届全国学术大会。CCF会士、南京大学教授陈道蓄应邀作特邀报告。

陈道蓄的报告题目为“在计算机科学基础课程中培养学生解决问题的能力”。报告围绕新的工业革命对工程教育提出的要求，以及中国这个世界上最庞大的计算机教育系统，指出计算机教育中存在的问题，并介绍了关于培养学生解决问题能力的实践和建议。

访日期间，中、日、韩(韩国信息科学学会KIISE)三方还举行了CJK联席会议。CCF秘书长杜子德、会士陈道蓄、COO朱征瑜，KIISE副理事长Doo-Hyun Kim，韩国汉阳大学教授Eunok Paek，IP SJ副理事长Kohtaro Asai、Yasuo Okabe，秘书长Kinoshita Taizo等出席会议，三方介绍了各自2019年度的重要学术活动，会议围绕将于2019中国计算机大会(CNCC 2019)上举办的三方联合技术论坛的主题和组织架构进行了重点讨论，并就2019韩国软件大会(KSC 2019)、顶级会议推荐列表、奖项合作、会议合办、会员发展等事宜进行了探讨。



CJK 联席会议参会人员(左起 Kohtaro Asai、Kiyokuni Kawachiya、Yasuo Okabe、杜子德、Doo-Hyun Kim、Eunok Paek、朱征瑜、陈道蓄、Kinoshita Taizo)

理工学院启动的“新工程教育转型”(New Engineering Education Transformation, NEET)计划，强调工程教育以学生为中心，变革学生的学习方式与学习内容，以培养能够引领未来产业界和社会

发展的领导型工程人才为目标。这些思想都对新工科建设有很好的参考价值。我们应从理论上创新、在实践中推进和落实，逐步建立工程教育的中国模式和中国标准。 ■



**张 龙**

CCF专业会员。高等教育出版社编审，信息技术新工科产学研联盟执行秘书长。  
zhanglong@139.com



**刘 华**

管理学博士，中国软件行业协会研究员，主要研究方向为信息资源管理、产学研合作。  
liuhua2011@ruc.edu.cn

## 参考文献

- [1] 叶民, 孔寒冰, 张炜. 新工科: 从理念到行动 [J]. 高等工程教育研究, 2018(01): 24-31.
- [2] MOOC: 一场教育的风暴要来了吗? [OE/OL]. (2013-05-06). [http://www.nerc.edu.cn/FrontEnd/News/news\\_info.aspx?newsid=a9ef6cd0-41fa-45fe-96f4-81426fd75efb](http://www.nerc.edu.cn/FrontEnd/News/news_info.aspx?newsid=a9ef6cd0-41fa-45fe-96f4-81426fd75efb).
- [3] Decker S, Tanzi A, Bloomberg. In Tech Race With China, U.S. Universities May Lose a Vital Edge[OL].(2019-03-02). <http://fortune.com/2019/03/02/us-tech-race-china/>.

# 加强文科生计算机教育， 培养跨学科综合型创新人才

卢湘鸿

北京语言大学

关键词：大文科 计算机教育 信息素养培养 跨学科创新人才

大文科<sup>1</sup>计算机教育的基本内容是计算机应用技术的教育，是“以应用为目的、以实践为重点、着眼信息素养培养，最终为创新创业人才培养的需要服务”的一种教育，在完成《普通高中信息技术课程》教育的基础上，进一步提升学生的信息素养，以满足社会对文科毕业生在基于计算机知识、技能与应用能力方面的信息技术的要求。

文科计算机教育面向文科学生，它既不同于计算机专业的教育，也有别于面向大理科<sup>2</sup>专业学生的教育。文科计算机教育的主要目标是培养文科专业学生掌握一定的计算机知识、技能与应用能力，去解决文科专业领域中的问题，满足文科专业本身的需求。

培养跨学科综合型创新人才的必要条件，是切实加强文科生的计算机教育。目前，大学新生计算机使用水平参差不齐，总体处于低水平状态。现代信息社会的发展要求对文科专业的学生进行有效的计算机教育，这是培养具有创新能力的综合型人才的重要环节，也是必要的条件。文科毕业生社会竞争能力的升华需要计算机应用能力的支撑。文科的某些知识点或学科加上信息技术，往往是新学科的生长点。贴切专业需要进行计算机教育，才可能产

生出创新成果。

计算机科学与技术一般把人才培养归纳为计算机系统结构、计算机软件与理论以及计算机应用技术方向。包括文科各专业在内的非计算机专业的计算机教育从根本上来说隶属于宽泛意义上的计算机应用技术方面的教育，因此，文科计算机教育是为不同类型学校培养不同类型的文科人才服务。

## 大文科计算机教育的三个目标

### 为社会就业的需要服务

大学新生计算机处于低水平状态，不能满足社会就业需要。尽管教育部在中小学开设了以计算机、互联网的使用为基本内容的信息技术课程，但是由于地域经济发展的不平衡，部分普通高中尚不具备开设这门课程的条件，加之这门课程目前尚未纳入高考范围，应该开设的课时得不到保证，因此大学新生并未真正达到信息技术课程标准应有的要求。大学新生的计算机水平，大体上停留在会上网、发邮件、聊天、玩游戏的层面上，不能满足社会对大学毕业生在计算机方面的要求。所以计算机

<sup>1</sup> 大文科包含文学、历史学、哲学、法学、教育学、经济学、管理学、艺术学等8大学科门类。

<sup>2</sup> 大理科包括理学、工学、农学、医学4大学科门类。

教育在包括文科在内的本科各专业培养中还是不可或缺的组成部分。

**社会就业需要文科生掌握使用计算机作为日常工具的能力。**计算机被当作一种特殊的工具来使用。使用计算机能力的获得，在中学阶段目前并没有完全落实，需要在大学阶段来完成。尤其如舞蹈、戏剧、曲艺、声乐、武术、体育竞技等专业的毕业生因各种原因无法从事本行业的工作时，更需要有使用计算机的能力，来帮助他们在社会上找到一份工作。

所以，在大学阶段，特别是在文科专业开设计算机课程，第一个目标，是为社会就业最基本的需要服务，而不是为本专业的需要服务。

## 为专业本身的服务

根据大学毕业生的择业情况<sup>3</sup>，文科生在自身专业的一体之上，若能加上计算机与英语这两个翅膀的支撑，那他在社会上的适应能力会得到腾飞，文科毕业生的社会竞争力会大大得到加强。

文科生若不具备应有的计算机应用能力，将是寸步难行。不过学校对非计算机专业学生的计算机教育并不十分重视。目前文科生受到的计算机教育，投入的学时大体是 72 学时，有些被削减到 36 学时，远没有英语课程学时那么多，基本上是属于将计算机作为工具的使用能力的培训。比如文字处理、表格制作、演示文稿、邮件收发、信息查询、文件下载与上传、电子商务等方面。这些能力，为专业本身存在与发展的需要提供十分有用的服务。这是文科计算机教育的核心目标。

## 为创新创业人才培养的服务

文科生掌握计算机技术的应用能力，是必须的、最基本的，但不是最终目标。大学非计算机专业的计算机教育的最终目标（远景目标）是为跨学科、综合型、创新创业人才培养的服务。

# 大文科计算机的分类分层次教学

跨学科、应用型、综合型、技能型，具有创新意识的文科高级通才的培养，不能单靠传统纯文科的课程设置，而必须设置一些交叉学科的课程，比如在专业分类指导下开设更多与文科专业相融合的计算机课程，进行信息素养的培养，改变原有纯文科的思维模式。

随着社会信息化不断向纵深发展，对大学毕业生在计算机应用技术能力方面的要求也与日俱增，而且呈现多样化趋势。因此，在大学文科各类专业中，既要根据社会对毕业生的就业要求开设相应的计算机应用课程（所有非计算机专业学生都必须开设的计算机大公共课程），还要根据其专业的需要开设一些具有文科专业特色或与文科专业结合的计算机课程（包括计算机背景的专业课程）。

目前各高校文科生计算机能力的培养还没有进入到信息素养培养与计算机应用能力提升的阶段。因此，在使用计算机过程中很少出现微创新，也就更难见到创新能力的崭露。切实提高计算机学时，贴近文科专业，根据文科专业的需要学习计算机，在学习过程中潜移默化培养科学思维，发展计算思维，进一步提升信息素养，增强信息意识，用新的思维方式来处理文科专业问题，才能促成文科专业的发展，逐步培养文科生的创新能力。这对于提升文科生的总体实力，是十分必要的。这关系到几乎所有文科人才综合素质提升的大问题。

创新创业人才的培养是大学人才培养追求的目标，但不是多数院校所能达到的目标。这也是世界上顶级院校长期寻求解决方案的复杂问题。对大文科进行计算机教育，需要采取分类分层次的举措，才有可能实现培养出创新人才的目标。

## 分学科门类进行教学

我国面向非计算机专业（包括文科专业）的计算

<sup>3</sup> 20世纪80年代初期，微机在社会上的使用刚刚起步，多数大学文科专业并未开设计算机应用基础课程。到20世纪80年代中期，毕业生会使用计算机，很受用人单位欢迎，特别在外资企业、中外合资企业，以及涉外单位。

机教育开始于 20 世纪 80 年代初期。初始阶段是面向某些专业，个别学校少数教师根据个人的认识自行教学。到 80 年代中期，开始出现针对不同专业进行不同内容的计算机教学，但在同一学校，大体上是针对不同专业采用同一教学大纲、同一教材、同一试卷。这种情况在中国大陆持续了 15 年左右的时间。

根据《教育部普通高等学校本科专业目录》的 12 个学科门类，大家才逐步形成分类教学的共识，即把所有学科门类分为 6 大系列：文史哲法教类、经管类、艺术类、理工类、农林类、医药类。

至此，非计算机专业的计算机教育才形成针对不同大类专业的不同需求进行不同内容的计算机教学的模式。

国家教委（现教育部前身）在 1994 年 11 月成立了由北京大学、中国人民大学、北京师范大学、北京外国语大学、对外经济贸易大学、北京语言学院等 6 所院校组成的普通高等学校文科计算机基础教学指导小组，并于 1995 年 7 月由高等教育出版社出版了《普通高等学校文科专业计算机基础课程教学大纲》。这对文科计算机教育说来，是里程碑事件。

## 分院校类型进行教学

中国大陆高等学校分为研究型、研究教学型或教学研究型、教学型或应用型等三大类型。根据不同类型的院校不同的办学要求，其计算机教学要求也应该有所不同，按不同院校类型分别进行不同内容的计算机教育，应该有不同类型的精品教材与精品课程。

根据原 985 大学做出来的精品课程，比较适合于原 985 与原 211 大学使用。教学型或应用型大学数量更多，学生数量更大，应该有本系列的精品课程，但目前却还没有人去关注、去组织。

## 分类、分层编好计算机教材

现在写教材的人多了，教材的出版呈现百花齐放的景象，但依旧存在不可忽视的一些问题。

一是不提适用专业对象，潜在是统管所有学科门类。现在教材中，自报门户，说明本教材适合哪

一类学科使用，表明是专门为哪一学科门类编写的，情况不多，好像适用于本科 500 多个专业。这样的教材，即使作者来自名校，也肯定不是统适所有专业的好教材。因为如果对理工类的师生是本好教材，那么对经管类、农林类、医药类来说就不一定是。

二是层次上不提适用院校类型。作者编写教材，离不开自身背景、学校背景以及学生背景。比如清华大学教师编写的教材，往往是根据清华大学学生的情况编写的，对偏远地方院校的师生并不适用。但一些地方性院校，却以本校用的是清华大学国家级名师编写的教材，来表示他们用的教材是高水平的，好像他们的计算机教学水平一下子也就高起来似的。

此外，出于多种原因，作者利用本校学生的规模，教材“自产自销”现象相当普遍。也存在行政干预教材销售的现象。

上述这些问题影响了好教材的出现。一本计算机好教材的编写，首先应该遵循两个原则。

一是以学科分类作指导。一本好的计算机教材，不可能适用所有学科门类。因此，在编写上应按按不同学科门类专业学生群体不同的需要来进行。比如，大学计算机课程，针对大学新生第一门课程，至少应该编写出六种类型的教材，即适用于理工类、农林类、医药类、一般文科类（文史哲法教类）、经管类、艺术类。其中艺术类，又应该分为美术类与音乐类来编写。

即使同一知识模块，针对不同学科门类的不同需要，应该有不同的专业倾向性，使用不同的案例。一本好教材，不但要具有专业倾向性，还应该体现出对专业的特色。

二是教材编写在难易度上要分层次。针对同样的学科门类，不同类型院校的要求是不一样的。同是本科生，学生入学的文化基础有很大的差异。因此，在编写时要分清教材的使用对象，要区分难易程度。同一本教材，既能满足清华大学、北京大学学生的需要，又能适用于边远地区院校学生使用，是很难做到的。

使学生能拥有针对本学科门类、本专业的计算机教材，这是计算机教育中的一件大事。

## 分类、分层建设好精品课程

精品课程要按学科门类、不同类型院校的需要来建设。网上的精品课程，即使经过地方院校教师的翻转，效果也不见得好。恰当的做法是，建设能够满足教学型、应用型院校的精品教材，针对这些类型院校设计相应的精品课程。

## 大文科计算机教学的新格局

针对不同文科大类的计算机应用需求，进行分类分层次的教学，让信息技术渗透到不同的文科专业的领域中，用新的非文科思维方式来处理文科专业信息需求，在形成跨学科多元知识结构的基础上，在培养具有科学思维、计算思维的过程中，激发文科人才创新意识、培养出文科人才的创新能力。

## 跨学科选课，知识多元化，构建不同学科的知识点互相渗透的格局

**信息化社会，单一文科专业，单一学科，没有信息技术的支撑，难出成果。**

我有一位朋友，学数学出身，在原有英语基础上又脱产学了三年半法语，还接受过对外汉语专业的一些教育，1974年开始接触计算机，之后从事计算机方面的教学工作。有了不同学科知识的融合，促使他形成多学科思维，这使得他在大学的教师工作与社会的学术团体活动中，能够较好地认识并处理一些较为复杂的问题。

**在学校规定课程的基础上，让学生选学些喜欢的课程，有利于学生成长。**

某校刚成立的艺术学院有位国画专业的学生，利用本校英语在国内院校比较强的环境优势，轻松地考过了大学英语六级，这在一般艺术类的学生中并不普遍。她还充分利用学校位于北京海淀区学院路可选周边院校课程的优势，到北京大学艺术学院、清华大学美术学院、北京林业大学园林学院、北京电影学院动画学院选修了一些课程，毕业时的收获丰满，感觉充实，顺利地考上了研究生，之后到某

省艺术学院当了专业课教师。

培养人才，只要有条件，应该允许、鼓励学生跨学科选课、跨校选课，让学生学自己喜欢的课程。使学生知识多元化，显然是培养人才的通衢大道。

## 突破旧有文科思维模式，重构新文科思维模式

重视学生主体性、个人兴趣能力与个性化的发展，这是在跨学科人才培养中所必须的。跨学科人才培养是一个过程，本身充满复杂性。人才的培养不是用一种模式压制出来的，更不是通过指令性计划塑造出来的，这也是发达国家顶级大学教育系统所面临的共同问题。尽管有些发达国家在实践中积累了一些成功经验，但对跨学科教育本身的理解依旧是未来人才培养的重要课题。

在目前的社会环境下，还应帮助学生成为更具备自我跨学科意识的学习者，为他们提供相应的条件。效果能否立竿见影，这需要探索，还有个逐步形成的过程。

由于文科专业人员首先把计算机当作工具，过程中也离不开计算机的支撑，在专业中添加了计算机等信息技术，因此也常常引发、催化以计算机软硬件为背景知识的新学科、新专业的产生。可以从跨学科中找寻创新方法，探索创新人才培养的途径。 ■



卢湘鸿

北京语言大学信息科学学院教授。主编中国首本专供文科使用的计算机教材《数据库应用与字词处理初步》《计算机文字处理与数据库应用》《计算机应用教程》等。  
15110290275@126.com

## 参考文献

- [1] 教育部普通高等学校文科计算机基础教学指导委员会编写，《普通高等学校文科类专业大学计算机教学要求（第6版——2011年版）》，北京：高等教育出版社，2011.11.
  - [2] 卢湘鸿，浅议计算思维能力培养与大学计算机课程改革方向（全国高等院校计算机基础教育研究会2012年学术论文集），北京：清华大学出版社，2012.10.
- 更多参考文献：<http://dl.ccf.org.cn/cccf/list>

# 中小学计算机基础教育与创新能力培养

陈斌<sup>1</sup> 李冬梅<sup>2</sup> 毛华均<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北京大学

<sup>2</sup>北京大学附属中学

关键词：计算思维 中小学计算机教育 创新教育

## 计算思维和创新能力

随着人工智能和大数据应用的迅速普及，信息技术正在引领新一轮科技革命，从国家战略到社会公众，对于计算机科学和信息技术都有更深入的认识，计算机基础教育也受到高度重视。教育部颁布的《普通高中信息技术课程标准（2017年版）》（简称“信息技术新课标”）<sup>[1]</sup>提出，“提升中国公民的信息素养，增强个体在信息社会的适应力与创造力，对个人发展、国力增强、社会变革有着十分重大的意义。”教育部在2019年3月公布的《2019年教育信息化和网络安全工作要点》<sup>[2]</sup>上也指出，“将在2019年实施学生信息素养培育行动，完成义务教育阶段学生信息素养评价指标体系，建立评估模型，启动中小学生信息素养测评；并推动在中小学阶段

设置人工智能相关课程，逐步推广编程教育；同时推动大数据、虚拟现实、人工智能等新技术在教育教学中深入应用。”

计算思维（computational thinking）由卡耐基梅隆大学周以真教授于2006年首次提出<sup>[3]</sup>，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等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动。在信息社会中，最为活跃的创新领域都与信息技术联系紧密，计算思维成为数学思维、工程思维的重要补充，是许多重大创新的核心要素。从中小学阶段开始培养青少年的计算思维能力，是创新人才培养中至关重要的环节。

近年来，各类面向青少年的教育机构和培训机构都加强了信息技术类教育教学，本文拟通过中小学校和培训机构的工作现状，结合各类信息技术相关青少年竞赛的发展趋势，分析当前中小学计算机基础教育在青少年计算思维和创新能力培养方面的重要作用，以及所面临的挑战和机遇。

## 课内教学提升计算思维

中小学校是教育的主体机构，承担了普及教育的任务，但受到各地区经济发展水平的制约，教育资源分配并不均衡，经济发达地区的中小学校在信

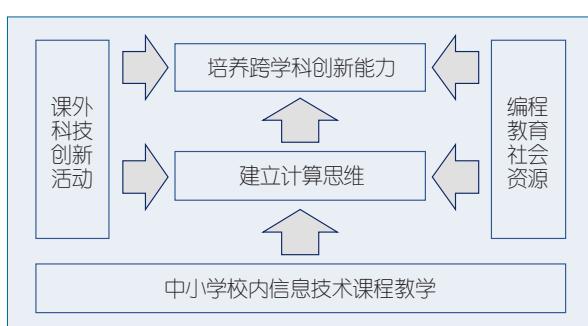


图1 中小学计算机基础教育与创新能力培养

信息技术新课标实施中迅速开展了切实的调整工作，但仍存在教材、师资、教学资源不足的现象，欠发达地区中小学校面临的挑战更加严峻。

北京市海淀区较早开展了信息技术新课标教学，虽然没有新课标的教材，但各个学校2017年已经引入信息技术新课程，区教委组织统一的学业水平考试。海淀教师进修学校通过教师进修和制定考试内容，基本统一了信息技术的基础内容和教学进度。一些师资力量较强的学校，为满足学生的多样性学习需求，会开设更多的信息技术选修课程。如北京大学附属中学、中国人民大学附属中学就有较多样的选修课程供学生选修。

北大附中的信息技术课程分为“Python程序设计”必修模块和其他选修模块（如常规课程和俱乐部课程），每个模块2学分，36学时。其中常规课程每学期通过选课系统选修，适合大多数学生，主要通过信息技术创新活动培养学生的计算思维能力，并能通过信息技术学业水平考试。俱乐部课程则是针对希望发展自己爱好特长的学生，以信息技术相关竞赛和科技创作活动为主。

北大附中的信息技术常规课程中加强了信息技术与多学科的融合，面向学生创新能力培养，在科学、艺术、工程的结合方面都有课程建设，包括：Python程序设计（必修）、音乐编程、Python科学计算、数据结构、算法高级课程、人工智能与信息社会、微动画、网络安全、Java程序设计、C程序设计、数据管理与分析等课程。俱乐部课程分为中心俱乐部和学生自发俱乐部。信息技术类中心俱乐部包括：信息学竞赛俱乐部、动画俱乐部和软件开发俱乐部；而自发俱乐部涵盖范围很广，比如有数字摄影、Office365维护、航模、FTC机器人、Minecraft数字校园等。自发俱乐部的活动相对自由，还可以向学校申请活动资源，比如使用学校场地、计算机、服务器等，学校也会有少量经费支持。

北大附中的信息技术课程体系结合了新课标的普及教育要求、素质教育需求和学生职业生涯规划的需求，同时引入了北京大学等高校和计算机教育培训机构的专家和课程资源，在成功的实践和探索过程中，持续进行改进完善。

由于信息技术的发展日新月异，信息技术教师成为最需要持续学习的教师群体。作为“数字原住民<sup>1</sup>”的新生代中小学生，从小就深度接触和使用各种信息技术产品，对新工具的了解常常先于教师。另外，社会发展、新教育理念的施行、新课标的全面展开，也需要信息技术教师接受相应的培训。

新课标颁布前后，全国各地陆续开展了信息技术教师的培训工作，教师培训管理部门从高校引入了培训师资，将高校计算机基础教育的理念与成果带入中小学信息技术教学，体现了计算机基础教育的全面提升，也建立了从小学到大学的反馈渠道，为高校计算机基础教育的升级和转型提供了重要参考。

## 课外活动培养创新能力

以青少年为主体的各类竞赛体现了普及教育和个性化素质教育的结合，也是激发创新精神的重要途径，教育部从2018年开始对各类青少年竞赛进行了规范和整顿，从首批成功备案的2019年度面向中小学生的全国性竞赛活动名单<sup>[4, 5]</sup>来看，信息技

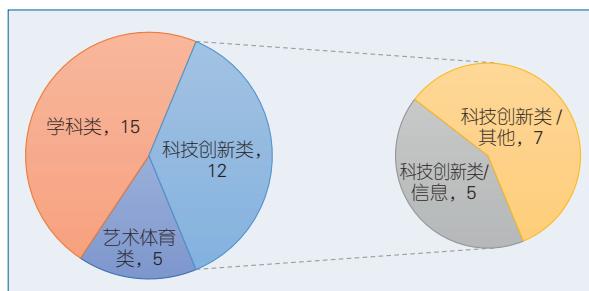


图2 2019年度面向中小学生的全国性竞赛活动分类比例

<sup>1</sup> 数字原住民 (digital natives): 美国哈佛大学的网络社会研究中心和瑞士圣加仑大学的信息法研究中心提出的新概念，意为80后甚至再年轻些的这代人，一出生就面临着一个无所不在的网络世界，对于他们而言，网络就是他们的生活，数字化生存是他们从小就开始的生存方式。

术相关竞赛占了相当高的比例（如图2所示）。其中包括：中国青少年机器人竞赛、全国青少年创意编程与智能设计大赛、“童创未来”全国青少年人工智能创新挑战赛、第六届全国青少年电子信息智能创新大赛、全国中小学信息技术创新与实践大赛、全国青少年信息学奥林匹克竞赛。

许多竞赛结合信息技术新课标，将计算机编程能力提升作为普及性的基本要求，并采用Python语言作为新的竞赛用编程语言，进一步扩大了编程教育的普及面。值得一提的是，由中国科协青少年科技中心主办的全国青少年创意编程与智能设计大赛，在已有的Scratch创意编程和Arduino智能设计基础上，计划在2019年扩展Python语言创意编程和Python语言编程的开源硬件部分，并提升科学探索类创意编程作品的比重，使得创意编程更有计算思维和跨学科创新能力提升的深度。

除了上述以中小学生为主体的科技竞赛之外，许多面向大学生的编程竞赛和创新竞赛也开始尝试设立青少年编程板块。典型的如工业和信息化部人才交流中心主办的“蓝桥杯”全国软件和信息技术专业人才大赛，ACM国际大学生程序设计竞赛(ACM-ICPC)等，都计划从2019年开始设立以Python语言为主要编程工具的青少年编程竞赛板块。这些现象体现了社会各界对中小学计算机基础教育重视程度越来越高。

各类青少年竞赛或多或少与初高中升学和高校自主招生建立了关联，也顺理成章成为各类商业化教育培训机构的教学出口，得到中小学校和广大学生家长的重视。抛开商业化编程教育需要整顿和规范的话题，我们也欣喜地看到中小学计算机基础教育的快速发展，其与科技创新能力培养结合得越来越紧密，这是符合信息时代潮流的好事。

由各级教育主管部门和社会组织主办的青少年创新人才培养计划，为学有余力并有志于科学探索的高中生，提供与科研专家和高校实验室接触的机会，利用周末和寒暑假期间，接受科学思想和科学精神的熏陶，掌握初步的科学实验方法，培养务实求真的科学态度，提高高中生的科学素养、创新思

维和科学实践的能力。

本文作者在参与中国科协“英才计划”<sup>[6]</sup>、北京市教委“翱翔计划”和北京市科协“北京青少年科技后备人才早期培养计划”的导师指导工作中，以信息技术为创新基础，指导高中生利用所学的计算机基础知识，在人工智能、虚拟现实、大数据分析等领域指导了“定向越野路线规划设计”“虚拟现实全景地图”“提升北京首都国际机场T2航站楼运行管理效率的研究”等十余个小课题，有的学员已经进入高校深造，新一代创新型科技人才在计算机基础教育的影响下正茁壮成长。

## 社会资源满足个性需求

各类线上线下培训机构作为中小学教育的商业化补充和延伸，为各层次的升学辅导及素质培养提供了更多选择。近两年来，无论是针对信息学竞赛的培训，还是普及型的编程教育，都得到了快速发展，在教学体系和课程内容上逐步形成一些行业共识。腾讯、网易等IT巨头也从人才储备、业务发展等角度出发，强势介入中小学计算机基础教育。

公益性编程教育机构在中小学计算机基础教育中起了重要的引导和普及作用。公益性组织由于其非营利和开放的特点，得到了社会各界和许多IT企业的支持，再加上有许多志愿者的加入，使公益性教育机构能够提供不亚于商业化教育机构的免费课程。实际上，许多商业化机构反而在依托公益组织所开发的课程资源来提供教育服务。

Scratch是一款由麻省理工学院(MIT)“终身幼儿园团队(Lifelong Kindergarten Group)”设计开发的少儿编程免费工具，并配套了在线编程学习社区<sup>[7]</sup>，孩子们在这里可与世界各地的人们交流编程实现的交互媒体，如故事、游戏和动画等。学习Scratch的同时，他们也间接培养了逻辑推理、协同合作和计算思维的能力。

Code.org是一个非营利性组织，该组织创建了同名的编程教育网站<sup>[8]</sup>，旨在支持美国的学生学习计算机科学。随着网站的发展，有志愿者将网站翻

译成数十种语言，使其变得越来越国际化。Code.org 提供了从 4 岁到 18 岁三个阶段的免费编程课程，并给中小学教师提供了完整的教案和活动组织资料。Code.org 还在全球发起了“编程一小时”活动，让每所中小学校的学生都可以在活动中体验到编程的乐趣和魅力，对吸引青少年学习编程有很大的推进作用。

Code.org 课程主要采用图形化编程模式，并结合各种深受青少年喜爱的流行 IP 元素，如植物大战僵尸、冰雪奇缘、Minecraft 游戏等卡通形象，用不同的主题来表现编程解决问题的不同模式。Code.org 甚至还为没有计算机的学校设计了离线课程，通过精心编排的涂写方格、歌唱舞蹈和多人游戏的线下活动来传达计算机科学的基本概念。在高级课程中，Code.org 还将编程与数学、生物、物理等各种高中课程相结合，体现了跨学科融合的创新能力培养教育理念。

CodeCombat 于 2013 年成立于美国硅谷，是美国大学理事会认证的青少年编程学习平台<sup>[9]</sup>，产品以游戏化功能教学的形式，为全球 8 万多名计算机教师提供 Python、JavaScript、Coffee Script、Java、Lua 等脚本语言和高级语言的教学，吸引了来自全球近 200 个国家 1200 万名编程学习者。2018 年 4 月 CodeCombat 和网易卡搭达成战略合作，以中文品牌“极客战记”进入中国市场，产品本地化取得了较快的进展，目前国内 CodeCombat 学习者累计近百万。北京大学、北大附中、人大附中、华东师大二附中、华中师大一附中等国内著名院校也采用了 CodeCombat 作为编程选修课选定平台。同时，CodeCombat 基于 Python 语言的代码竞技场和游戏开发也成为武汉、重庆、南京等地青少年编程竞赛选用的平台。

腾讯教育创想合作中心以青少年编程体系、全日制智慧校园平台、教育创想空间、联合办学等作为业务方向，为计算机基础教育提供一站式、持续迭代的整体解决方案，与社会各界共同培养引领社会发展的下一代科技人才。腾讯青少年编程课是一个面向 9~18 岁中小学生的“课程+评测+教学支持”

三位一体的体系。目前该课程在深圳明德实验学校碧海校区初一全年级开设，每周 2 课时，16 周共计 32 课时，以 Python 基础与应用作为课程教授内容。“腾讯扣叮”平台包含 Python 实验室、C 实验室、js 实验室等多个在线编程模块，融合北京大学开放的在线程序评测平台，辅之以编程课程教授为核心的教学课程管理系统，为中小学教师开展编程教学及学生进行编程学习提供强有力的支撑，同时也为广大青少年的自由创作提供了编程园地。

随着社会上人工智能技术的热度持续上升，以及教育主管部门对素质教育尤其是编程教育的倡导，越来越多的商业化教育培训机构推出了青少年编程教育产品，大量风险投资也涌进青少年编程教育领域，编程教育呈现出一个发展高潮。不仅传统的大型培训机构在编程教育领域进行扩张，而且出现了众多青少年编程教育初创企业，在“互联网+”和“人工智能+”概念的加强下，得到资本的青睐，进入高速发展的快车道。

目前，商业化编程教育培训在内容上形成了初步的格局。除了传统的信息学奥林匹克竞赛培训之外，在小学和学前阶段，主要采用 Scratch 图形化编程和乐高教育机器人作为教学内容，在初中阶段则采用 Python 语言程序设计教学产品，高中阶段仍采用传统的信息学奥赛培训。但随着信息技术相关的青少年科技竞赛的引导和深入，以及新高考的逐步实施，可以预见 Python 语言将会普及到整个初高中阶段，并成为青少年科技创新的主力编程语言，形成商业化编程教育的新领地。

各种类型的互助教育也是青少年编程教育的补充形式，互助教育作为具有公益性的小区熟人社区的特殊教育方式，使得孩子们能够在一个更加自由、开放、温馨的环境中体验自主学习的乐趣。本文作者在北京大学、北大附中教职工和校友群体中开展了近两年的互助编程教育，以 Code.org、Python 语言和 microbit 开源硬件作为主要教学工具，参加课程的主体为小学三年级到六年级的孩子。实践表明，这种家长功利性较低的互助教育课程，更能够激发孩子们的学习探索兴趣，也为孩子们进一

步参加各级信息学竞赛和中学信息技术课程学习打好基础。

## 探索中小学计算机基础教育的新格局

以教育部信息技术新课标为指导，围绕计算思维和创新能力培养这个核心理念，在信息素养普及的前提下，中小学计算机基础教育正在社会各界的努力实践和探索下，逐渐形成新的格局：

- 中小学课内的信息技术教学通过各门必修、选修课程，全面提升计算思维能力；
- 面向青少年的课外科技创新活动，以计算思维为基础，结合多学科问题求解，加强了跨学科创新能力建养；
- 社会培训机构和IT巨头大力推进青少年编程教育，以更多选项满足个性化需求，形成升学和职业生涯规划的补充教育。

我们期待中小学计算机基础教育在国家高度重视和社会各界的努力之下，得到长足发展，像北京大学教授、全国政协委员李晓明在其2019政协提案中所描绘的那样：中小学信息技术课程应该在中小学的教育计划中，以及在校长、老师、学生和学生家长的心目中，和物理、化学、生物具有同等重要的地位。 ■



陈 斌

北京大学副教授。长期从事计算机基础教育，曾获评北京市高等教育成果二等奖，国家精品在线开放课程。主要研究方向为虚拟地理环境、空间信息分布式计算。  
gischen@pku.edu.cn



李冬梅

北京大学附属中学信息技术特级教师。长期从事中学信息技术基础教育工作，国家基础教育信息技术课程标准研制组核心成员，首都师范大学硕士生导师，北京教育学院外聘教授。  
ldm@pku.edu.cn



毛华均

北京大学附属中学高级教师。长期从事信息技术教学实践和探索，有丰富的中学信息技术教学经验，曾参与国家信息技术教材编写。  
mhj@pku.edu.cn

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部制定. 普通高中信息技术课程标准(2017年版)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2018. 1.
  - [2] 教育部办公厅. 教育部办公厅关于印发《2019年教育信息化和网络安全工作要点》的通知 [EB/OL]. (2019-03-01). [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/201903/t20190312\\_373147.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/201903/t20190312_373147.html).
- 更多参考文献：<http://dl.ccf.org.cn/cccf/list>

## 2019 CCF 高性能计算专委会征文

2019 CCF 全国高性能计算学术年会 (CCF HPC CHINA 2019) 由 CCF 主办，CCF 高性能计算专业委员会、内蒙古和林格尔新区管理委员会、清华大学、内蒙古大学共同承办，北京并行科技股份有限公司协办，将于 2019 年 8 月 22~24 日在内蒙古呼和浩特召开。CCF 全国高性能计算学术年会是中国一年一度高性能计算领域的盛会，为相关领域的学者提供交流合作、发布最前沿科研成果的平台，推动中国高性能计算技术的发展。

征文范围及要求：<http://hpcchina2019.csp.escience.cn/dct/page/1>

论文提交截至：2019 年 5 月 31 日

论文录用通知：2019 年 7 月 1 日

联系方式：李希代 010-6260 0662 [hpcchina@gmail.com](mailto:hpcchina@gmail.com) [lixidai@ict.ac.cn](mailto:lixidai@ict.ac.cn)

记录中国计算机发展历史，是 CCF 的责任



# 记录 计算机 历史

1940 年代，世界第一台电子计算机问世

1950 年代，中国开始研制电子计算机

此后，晶体管计算机、芯片、人工智能、互联网……蓬勃发展，风起云涌

计算机这一“节省人类脑力劳动”的机器，改变了行业业

中国计算机的历史需要记录，需要传播

征集被采访人线索：第一代计算机事业开创者（学者、技术人员、制造者）  
老照片、老文件、老故事

CCF “记录计算机历史”：[history@ccf.org.cn](mailto:history@ccf.org.cn)

记录计算机历史

# 所有事情都会有新的开始…… 记我国第一个计算机三人小组之王传英

韩玉琦<sup>1</sup> 徐祖哲 包云岗<sup>2</sup> 等

<sup>1</sup> 中国计算机学会

<sup>2</sup> 中科院计算所

编者按：“记录计算机历史”是CCF于今年推出的一个项目。记录历史，旨在传承。中国计算机事业于二十世纪五十年代起步，众多科学家、教授、工程技术人员等投入其中，他们从模仿开始，先后研制出103、104、109型等多代计算机，为我国国防事业、经济建设建立不朽的功勋。他们也教书育人，为中国培养了大批计算机人才。“CCF记录计算机历史”，在录像的同时，还会选择部分人物撰写成文。

“我是90后，但是还差半年。”王传英笑盈盈地把我们迎进门，这样介绍着自己。

“是的，我记得您是1929年8月出生，还差半年才是90后呢！”我们也与王老热情地握着手。

这是2019年2月22日上午，CCF“记录计算机历史”一行，来到位于北京三里河一处住宅采访一位90岁老人的一幕。

这位老人，就是王传英。

王传英，1929年8月出生，苏州人，1950年从清华大学电机系电讯专业毕业。1952年夏，他接受华罗庚<sup>1</sup>教授邀请，与闵乃大<sup>2</sup>、夏培肃<sup>3</sup>一起，成为中国第一个计算机三人小组成员。由此，中国计算机事业的大幕徐徐拉开。

“王老，您还记得1952年夏天，华罗庚邀请闵乃大、夏培肃和您到他家做客的情景吗？为什么第一个计算机小组选了你们三个人？”

<sup>1</sup> 华罗庚(1910.11~1985.6)，江苏常州人。数学家，中国科学院院士，美国国家科学院外籍院士，第三世界科学院院士，联邦德国巴伐利亚科学院院士。他是中国解析数论、矩阵几何学、典型群、自守函数论与多元复变函数论等多方面研究的创始人和开拓者，并被列为芝加哥科学技术博物馆中当今世界88位数学伟人之一。国际上以华氏命名的数学科研成果有“华氏定理”“华氏不等式”“华—王方法”等。

<sup>2</sup> 闵乃大(1911.5~2002.5)，江苏如皋人。著名德籍华人科学家。1936年从清华大学电机工程专业毕业后赴德国柏林卡劳腾堡工业大学留学，1944年获得博士学位。1948年回国后任清华大学电机系电讯网络研究室主任、教授。中国第一个电子计算机科研小组组长，中国计算机研制的奠基人之一。

<sup>3</sup> 夏培肃(1923.7~2014.8)，四川省江津市人。1950年获英国爱丁堡大学博士学位后，回国在清华大学任教，1953年后，任中科院数学所、物理所、计算所副研究员、研究员，1991年当选中国科学院院士。1950年代设计试制成功中国第一台通用电子数字计算机。是中国计算机研制的奠基人之一。



闵乃大



夏培肃



王传英

早在 1940 年代，当冯·诺伊曼 (John von Neumann) 等几位先驱开创性地提出并着手设计存储程序通用电子计算机 EDVAC 时，正在美国普林斯顿大学工作的华罗庚就参观过他的实验室，并多次与他讨论有关学术问题。1950 年华罗庚回国后，1951



华罗庚(中)和数学所的年轻人(左1为王传英)

“我 1950 年毕业后分配到一家化工厂负责电话交换机的工作，后来我的老师闵乃大教授又把我调回了清华。”王老娓娓道来。“当时邮电部与清华大学合作，组建了电讯网络研究室，闵先生任主任，我是闵先生的助手。后华罗庚先生请闵先生组建计算机小组，可能我是学习比较好的学生之一吧，就选中了我。”呵呵呵，王老发出了爽朗的笑声。“我们小组还有一位夏培肃，夏先生。她是从英国留学回来的，当时在清华电机系做副研究员。”

提到中国计算机事业早期发展，华罗庚教授居功至伟。华先生是我国计算技术的奠基人和最主要的开拓者之一。许多人都知道华罗庚是世界著名的数学家，但他对中国计算机事业的贡献却鲜为人知。

年 1 月被政务院<sup>4</sup>任命为筹建中的中国科学院数学研究所所长。华罗庚当时提出了数学发展的三大方向：基础数学、应用数学、计算数学。1952 年 7 月 1 日数学所正式成立时，华罗庚在阐述工作的报告中讲到：“计算数学是一门在中国被忽视了的科学，但它在整个科学中的地位是不可少的，它是为其他各部门需要冗长计算的科学尽服务功能的一门学问。”因此，数学所确立了纯粹数学与应用数学协同发展方针和建立计算机研究组的任务。同年夏天，华罗庚邀请闵乃大、夏培肃和王传英三位科研人员组建了中国第一个电子计算机科研小组。

“我和华先生见面不多，第一次到他家做客的细节已记不清了，我主要是跟随闵乃大老师一起工作。”闵乃大与夏培肃都是电机专业出身，具有博士学位。闵乃大留学德国多年，电信专业造诣深厚，时任清华大学电机系电讯网络研究室主任，41 岁；夏培肃善于思考，动手能力强，二战后到英国留学，阅读过计算机方面的资料，知道这是一门非常有希望的学科，1951 年回国后，任清华大学电机系助理研究员、副研究员，29 岁。“那时我 23 岁，是研究实习生。”

“你们是怎样工作的，计算机小组成立后，都做了什么工作？”

“当时的数学所在清华园里，与华先生的住宅

<sup>4</sup> 政务院是 1949 年 10 月 1 日中华人民共和国建立至 1954 年 9 月 15 日第一届全国人民代表大会召开前中国国家政务的最高执行机构，全称为：中央人民政府政务院，后改为国务院。

相邻。”

1953年1月3日，闵乃大、夏培肃、王传英正式调到中科院数学所，计算机研究组的工作全面展开。“计算机工作，我做的时间不长，主要是从1953年1月到1954年年中，后来我转了行。当时，我们对计算机了解的并不多，加上西方的封锁。我印象最深的是看了《国际无线电》杂志上介绍ENIAC（电子数字积分计算机）的文章和IEEE刊登的几篇计算机方面的文章，从那里知道了计算机的基本原理和功能。这时，吴几康<sup>5</sup>从丹麦回国，加入进来，他对我的帮助很大。”

吴几康1953年4月加入计算机研制小组，成为第四人。

“我们的工作是从最原始的做起，主要是研究计算机的原理和设计。分工是这样的，我负责一些元器件的焊接工作，搭建实验设备，吴先生进行计算机示波管存储器的研制，具体是负责用通用的微波管做一个信号源，亮的代表1，不亮的代表0，使之永远循环，夏先生负责软件方面的研制，闵先生负责全面。闵先生还执笔了《电子计算机研究的设计和规划》，这个规划，也是数学所计算机研究的五年工作规划。”

“有人说，（计算机）‘八字还没有一撇，你们敢干？’我们那时也不知‘道行有多深’，反正就做了起来。我学的是电子学，跟闵先生一起，做计算数据工作，这也是我的专业，所以我的兴趣还蛮大的。所有事情都会有新的开始，是不是第一次就

特别（轰轰烈烈）？不是的，只是试试看，能不能钻进去？（计算机）我们就这么干起来了。”

王老讲的很淡然，却让我们肃然起敬。

那时，王传英虽然年轻，但也很忙。除了搭建实验设备，他还担任了“采购员”的工作。榔头、焊枪、万用表等，都是他“进城”<sup>6</sup>到王府井的东安市场买的。此外，还和闵先生一起做电讯网络工作，他还有一个职务是数学所工会筹备小组组长。“那时数学所都是大科学家，华罗庚华先生、吴文俊吴先生，等等，我是年轻‘跑腿’的。”哈哈哈。

1954年1月，计算机小组调整到物理所<sup>7</sup>，工作地点也搬到了中关村。在物理所，计算机专业排序为“五三组”，闵乃大虽然仍留在数学所研究计算数学，但兼任了五三组组长。

1955年11月14日，闵乃大在人民日报上发表文章《一个新的科学部门——自动快速电子计算机》，介绍了计算机。文章指出：历史上的发明，“都是用来减轻人的体力劳动的”，但电子计算机的发明，“却给我们开辟了一个新的时代，人类开始用机器来节省人们的脑力劳动的时代。”这是人民日报发表的第一篇有关计算机的文章。

在王老家里，我们看到了一张合影。这是“党和国家领导人接见为‘两弹一星’作出突出贡献的科技专家代表，于1999年9月18日在人民大会堂的合影”。王老在第二排的位置。这也是王老说的“后来他转了行”做的工作。还有一个有趣的事是，我们在王老家的书柜里，发现了一张赵忠尧<sup>8</sup>的照片。看出我们似

<sup>5</sup> 吴几康(1918.1~2002.7)，出生于上海。同济大学机电系毕业，1949年到丹麦工业大学进修，1951年在哥本哈根任无线电厂发展工程师。1953年初回国，任中科院数学研究所和原子能研究所计算机组副研究员。1956年参与筹建了中科院计算技术研究所。他是研制中国第一台104型大型通用电子管计算机的负责人之一，他参与研制的119型大型通用电子管计算机，获得国家科技成果一等奖。1979年任中科院计算所副所长。

<sup>6</sup> 当时的“城里”是指现在位于二环以内的地区，清华园在郊区。

<sup>7</sup> 这里所说的物理所，前身是1950年成立的中科院近代物理所。所长吴有训（第二任所长钱三强）。近代物理所是五层大楼，高规格建设，1954年建成投入使用，是中关村第一座大楼。近代物理所于1953年10月更名为中科院物理所，1958年更名为中科院原子能研究所。

<sup>8</sup> 赵忠尧(1902~1998)，浙江诸暨人，原子物理学家。1925年毕业于东南大学，1927年赴美国加州理工学院学习，获得博士学位。曾在清华大学、云南大学、西南联大、中央大学等校任教。解放后任中科院物理所副所长、原子能所副所长、高能物理所副所长等职。

有疑惑，王老笑呵呵地说，“他是我的岳父。”“哦？世家啊！”我们除惊喜外，又觉得很有意思。赵忠尧是我国著名原子物理专家。1950年8月29日，赵忠尧与罗时钧、沈善炯从美国乘“威尔逊总统号”轮船启程回国，9月12日停靠日本横滨时被美军扣留，经国内多方声援营救，11月15日三人才获自由。赵忠尧等人抵达香港后，由广东省人民政府安排，经由广州、上海等地，1951年1月17日到达北京。郭沫若、李四光曾主持集会，欢迎宴请赵忠尧等人回国，人民日报还专门发表过专访文章……

1954年中，王传英根据国家安排准备到苏联学习电子计算机，先到“北京俄文专修学校”（后为北京俄语学院，现为北京外国语大学）脱产学习了一年俄语，毕业那天，他突然接到通知，要他到“西苑大旅社<sup>9</sup>”报到，原来，国家安排他转行学习核物理。1955年他到苏联莫斯科理论与实验物理研究所实习了一年，1956年回国后，被安排到中科院原子能研究所工作，历任助理研究员、原子能研究所研究室主任、副所长。后来，他又任核工业部科技核电局局长，中国常驻国际原子能机构代表团副团长等职。

现在，王老身体康健，身板硬朗，思维敏捷，精神矍铄，还常常一个人乘坐公共汽车到颐和园散步。

夏培肃此后一直坚守在计算机领域。夏先生说，加入电子计算机小组，是改变她一生的重要转折点，并让计算机成为她坚守一生的事业。

闵乃大在清华电机系任教期间，可谓“桃李满天下”，许多学生都参与了计算机事业的开创工作，王传英是50届，51届学生中成为院士的就有金怡濂<sup>10</sup>、陆建勋、张履谦、王众托。2012年荣获CCF

终身成就奖的金怡濂曾说：“闵乃大教授讲的课，理论深，当他推导了一黑板的数学公式后，一定会反复地问大家‘抓住了概念没有’，这对我的启发很大。”原国务院总理朱镕基也是清华51届电机系的学生，与金怡濂是同学。

被称为“科学的春天”的1956年，周恩来总理主持制定了1956—1967年的十二年科学技术发展规划，电子计算机技术被列为“四项紧急措施”之一，随后成立了中国科学院计算技术研究所。随着计算技术的发展，国家领导的重视以及越来越多的专家学者投入到计算机研制领域，才为中国计算机技术今天的发展打下良好基础，才有了我国计算机技术今天的蓬勃发展。 ■



韩玉琦

CCF 专业会员。CCF 员工。  
hyq0914@icloud.com



徐祖哲

中国计算机史研究学者，“CCF 记录计算机历史”顾问。参与过通信工程与多项计算机应用，曾获部省市一、二、三等奖等奖项，著有《溯源中国计算机》。  
Computer1952@163.com



包云岗

CCF 理事、CCCF 专栏主编、CCF 普及工委主任。中科院计算所研究员，先进计算机系统研究中心主任。主要研究方向为计算机系统结构。  
baoyg@ict.ac.cn

其他作者：吴树民

**CCF ADL工作组于3月20日召开会议，对2019年的ADL工作进行战略规划并讨论工作计划。文继荣任工作组组长(见本刊第6页)。**

<sup>9</sup> 西苑大旅社，即现在的西苑饭店，解放初期中科院、二机部（核工业部）等一些研究机构筹备处曾在此临时办公。

<sup>10</sup> 金怡濂，著名高性能计算机领域专家，我国巨型计算机事业的开拓者之一。1929年9月出生于天津，1951年毕业于清华大学电机系，1956~1958年在苏联科学院精密机械与计算技术研究所进修，1994年当选为中国工程院首批院士。

# 面向健康的智能感知与计算研究进展和趋势

## ——记CNCC2018技术论坛“智能健康感知与计算”

周兴社 王柱  
西北工业大学

关键词：健康感知 健康计算

老龄化社会的到来，导致以慢性疾病为代表的现代文明病<sup>1</sup>快速蔓延，给各国政府带来沉重的医疗保障负担。以我国为例，《中国疾病预防控制工作进展（2015年）》显示：心脑血管疾病、恶性肿瘤、心脏病等慢性疾病已成为死亡的主要原因（86.6%），慢性疾病防治费用占经常性卫生总费用的69.98%，占GDP的3.22%。严峻的现实表明，传统以疾病治疗为中心的医疗模式已经不能完全满足当前的健康服务需求，医疗与健康服务体系改革迫在眉睫。

近年来，新型感知方式、人工智能方法快速发展，为智能健康感知与计算的研究与应用提供了良好支撑，使得持续准确地进行人体健康感知、计算和服务成为可能。西北工业大学自2006年以来在国家自然科学基金重点项目“面向老年人健康的非干预式感知与持续计算研究”等课题的支持下，系统地开展了健康感知与计算领域研究工作，在非干预健康参数感知、持续性健康数据关联分析、系统性健康状态评估等方面取得系列成果，并于2018年中国计算机大会（CNCC2018）期间组织和主持了“智能健康感知与计算”技术论坛，邀请本领域多位知名学者讨论健康智能感知新模式和健康智能计算新方法。

### 智能健康感知——超越可穿戴感知

健康感知是健康计算与服务的基础。为了准确刻画人体的健康状态，不仅需要感知心率、呼吸等基本体征数据，还需要感知运动、睡眠、交互等高级行为数据。同时，有效的感知方式能够持续获取相关感知数据，而不给被感知对象的正常生活带来太多干扰。可穿戴感知是目前健康感知的主流模式，一般通过附着于人体的便携式感知设备实现对健康状态的连续监测，其典型代表包括智能手环、智能手表等，可记录日常生活状态下的运动、睡眠、血氧、心跳、血压等健康数据。然而，“可以穿戴”并不等同于“适合穿戴”，尚面临舒适性与实用性相结合等技术难题。鉴于此，部分研究者开始探索一种新的健康感知方式，即无源被动式感知（device-free passive sensing），其主要特征是人体无须穿戴设备，而是利用部署在环境中的传感设备实现健康数据的采集和健康状态的监测。

中国科学技术大学教授张燕咏在题为“Towards the Internet of Medical Things”的报告中重点介绍了

<sup>1</sup> 现代文明病又称为生活方式病、富贵病或慢性病等，并非由细菌或病毒所引起的，而是一种由于生活上的压力与紧张，营养的失调，再加以缺乏运动，长期积累而成的一类疾病。

一种基于振动传感器的健康感知系统（见图1）。该系统通过在床垫合适位置放置振动传感器，捕捉心跳、呼吸、躯干和四肢动作等产生的振动信息，实现面向睡眠过程的非干预健康监测<sup>[1]</sup>。基于心跳具有周期性而噪声不具有周期性的特点，实现信号噪声剔除，利用峰值检测方法实现心跳检测；基于呼吸与心跳在振幅、频率之间的差异，通过振幅解调和低通滤波滤除心跳相关信息，只保留呼吸产生的信号，实现呼吸检查；利用前向-后向滤波消除不同传感器所感知信号之间的相位差，并在频域对信号进行聚类，实现多人场景下的心跳检测和分离。

基于Wi-Fi等无线信号进行人体行为状态感知是近年来一个新兴的研究方向，具有非侵扰、无接触、隐私性好、适合长期持续感知等优点。然而，现有工作多数围绕不同类型人体行为（如呼吸、手势、步态）开展感知和识别方法研究，缺少对无线感知理论基础、感知边界等关键科学问题的探索。北京大学教授张大庆在题为“Wi-Fi无接触感知与智能健康：理论、应用与挑战”的报告中重点介绍了Wi-Fi感知的理论基础和感知边界<sup>[2]</sup>。通过将原本用于对光波传播机理建

模的菲涅尔区模型(Fresnel zone model)引入到室内环境中，对无线电波的传播进行刻画，揭示了利用Wi-Fi信道状态信息(Channel State Information, CSI)进行感知的理论基础与极限（见图2）。针对被检测对象与Wi-Fi设备之间相对位置的不同（是否遮挡视距路径），分别给出了基于菲涅尔区衍射模型（遮挡视距路径）和反射模型（未遮挡视距路径）实现毫米级人体呼吸检测的感知原理和具体方法。同时，从多人或动态物体的建模与识别、无线信号环境依赖性、无线感知系统稳定性与鲁棒性等方面探讨了该领域面临的问题、挑战和机遇。

睡眠是人类的主要生理活动之一，对人类保持健康具有显著意义，睡眠过程中生理数据的非干预感知是实现相关健康问题识别并提供健康服务的有

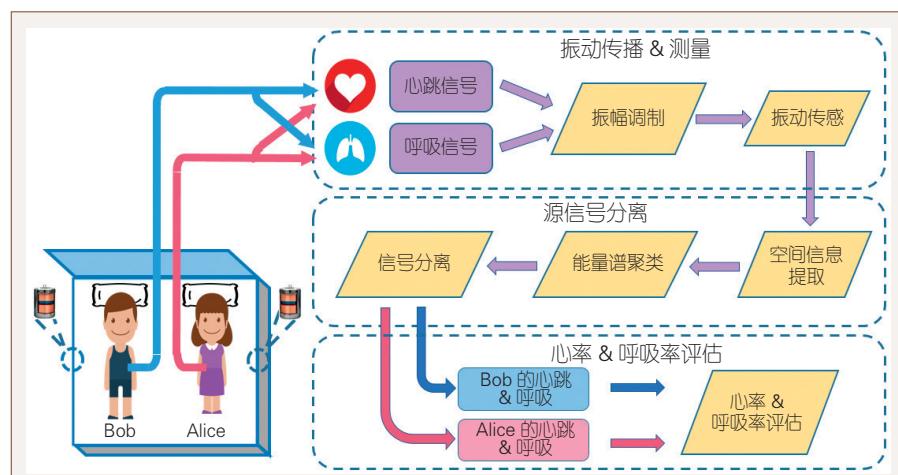


图1 基于振动传感的健康感知系统

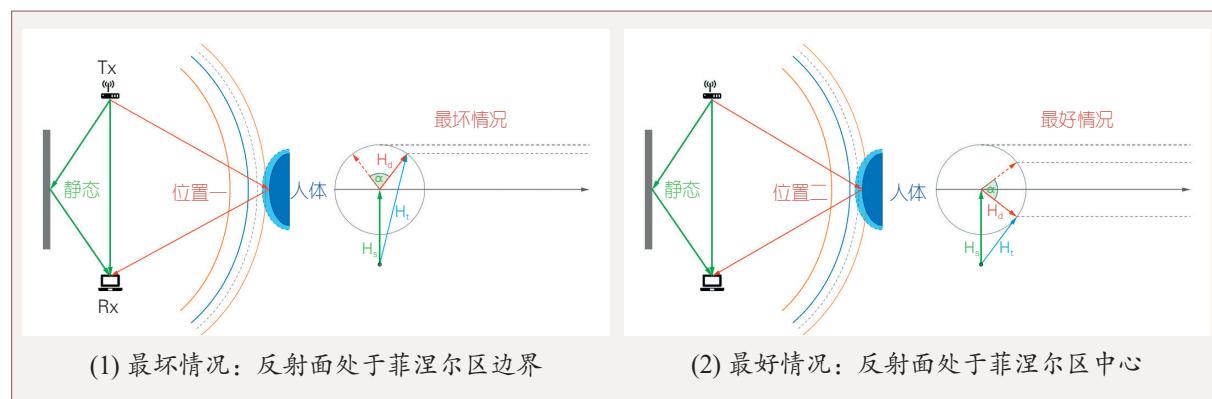


图2 基于Wi-Fi感知菲涅尔区反射模型的呼吸检测原理

效途径。鉴于此,上述两位讲者都将非干预睡眠感知作为其开展相关研究的出发点。

一般而言,非干预睡眠感知主要研究非医疗环境(如居家环境)下无干扰的健康数据感知与获取方法,涉及呼吸、心率等基本生理数据和体动等健康行为数据。这些数据与人体健康状况直接相关,有助于掌握健康状态发展动向,也是常见慢性疾病(如心血管疾病、神经系统疾病、睡眠呼吸综合症等)的重要诊疗参照指标<sup>[3]</sup>。

随着信息技术的不断进步,应用新型的感知机理和实现技术,建立日常生活状态下的非干预睡眠感知已经成为可能。

## 智能健康计算——大数据与人工智能相结合

健康计算旨在通过融合与分析多模态、多维度健康数据,构建健康评估模型,实现对人体健康状态的准确与动态评估。

一方面,少量健康数据和个案不足以揭示规律和知识,只有形成海量样本,将健康计算与大数据相结合,规律才有可能显现。另一方面,健康数据是关系复杂的多维数据,不同维度健康数据之间存在复杂关联关系,而且会随着人体健康状态动态变化;同时,健康数据富含语义且个体差异显著,需要有效的分析处理方法以实现健康语义的准确发现<sup>[4]</sup>。因此,大数据与人工智能的兴起与结合,为开展健康计算研究提供了前所未有的机遇,已成为健康计算研究的必然趋势。

## 健康大数据关联分析是健康计算的核心

健康大数据是关系复杂的多维数据(例如呼吸、体温及心率等不同维度健康数据之间存在非线性关联关系),单一维度的数据往往不能准确反映人体的健康状态。因此,多维数据关联分析是健康计算的核心,需要研究

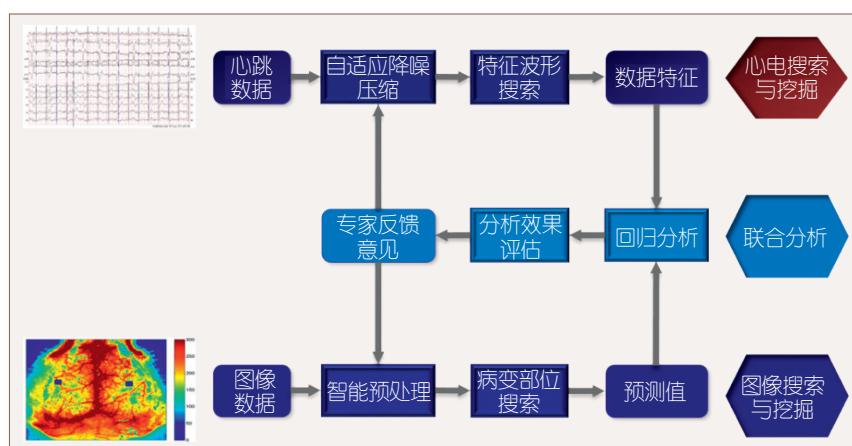


图3 基于心电与图像数据联合搜索挖掘的病变部位预测

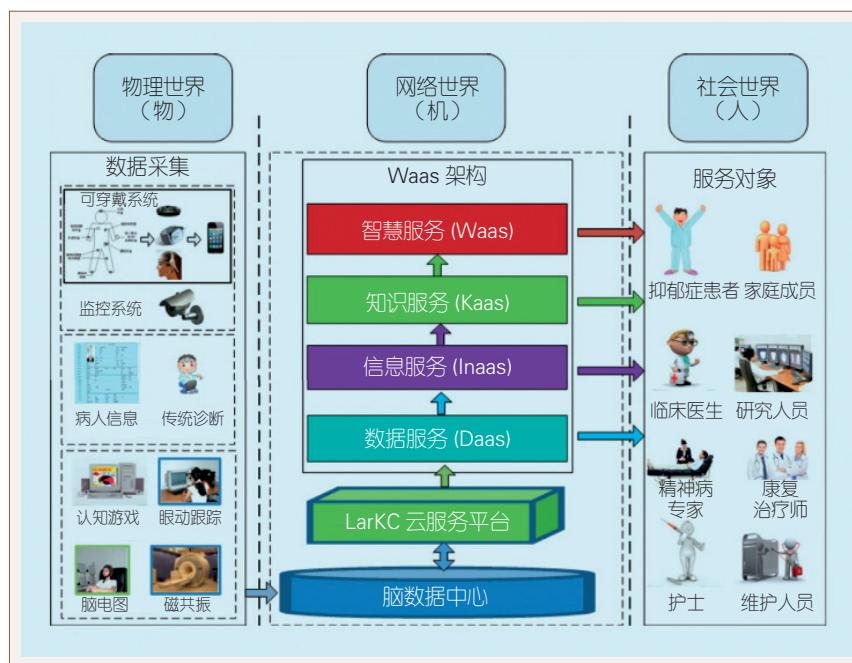


图4 人机物融合的精神障碍疾病诊断与服务架构

适合健康大数据的有效分析方法，特别是针对健康大数据的多数据流特性，研究面向流式多维时序数据的关联分析方法。

复旦大学教授张彦春在题为“智慧医疗：数据挖掘/AI在病人监测预警及健康管理的创新应用”的报告中重点介绍了流式时序数据的监测、分析及预警研究。针对生理健康，结合心电数据从周期性分析、特征波形搜索等不同角度给出了关联分析与异常检测的原理和技术实现（见图3）；针对心理健康，结合脑电数据揭示了不同睡眠周期所对应的脑电图特征，介绍了基于睡眠脑电图分析的发作性睡眠疾病辅助诊断方法，对涉及的多维数据实时关联分析、异常检测与提前预警等关键问题进行了深入阐释<sup>[5]</sup>。

兰州大学教授胡斌在题为“心理生理计算与精神健康”的报告中针对健康大数据时代心理生理计算面临的挑战，重点阐述了如何准确地从心理状态和生理体征之间的复杂对应关系中找出“具有可靠性、复现性、普遍性的一对一关系”这一核心科学问题的解决思路和技术实现<sup>[6]</sup>。他从工程学角度将信息获取、计算及分析的思想与方法应用到心理生理学，分析复杂的心理生理映射关系，对不同心理状态实现更为客观、及时和准确的解释，量化评估以及推理计算，给出了相关理论与方法在抑郁症等典型精神障碍疾病诊断方面的临床应用（见图4）。

## 适应性健康状态评估是健康计算的难点

健康大数据蕴含丰富的健康语义，对其准确识别是实现健康状态评估的基础。通过适当的关联分析方法，可以获得健康数据的正常与异常模式，揭示健康数据与健康语义之间的映射关系。然而，由于不同个体或同一个体在不同时空背景下的生命节律存在差异，使得健康数据所蕴含的健康语义具有因人而异、因时而异的特点。构建具有个体差异、时空差异等适应能力的健康语义提取和识别方法，以实现人体健康状态准确评估，是健康计算研究的主要难点。

## 机遇和挑战

健康智能感知与计算相关研究尚处于起步阶段，面临多种理论和技术挑战。第一，如何同步、持续地获取多模态健康数据，以及如何有效发现蕴含于健康数据中的异常是当前健康感知与计算面临的重大挑战；第二，计算机领域的健康感知研究应该更多地面向家庭环境，而不是医院环境，在这一前提下通过长期持续的监测，可以发现健康状态的趋势性变化，从而保证感知的精准高效；第三，开展健康感知与计算相关研究的关键在于能否通过与医学或健康领域专家的交流，发掘真正有价值的实际需求和应用问题，在此基础上研发具有实用价值的方法和系统，实现“人机共融”的健康感知与计算。

健康感知与计算研究具有典型的多学科方向交叉特点，可以通过将健康作为应用背景、应用问题或应用对象，实现不同层面的跨学科研究。希望国家自然科学基金委能够将其作为一个方向予以持续支持，以便更好地对健康中国战略提供服务和支持。 ■



周兴社

CCF会士，常务理事。西北工业大学教授。主要研究方向为嵌入式计算、普适计算和网格计算。

zhouxs@nwpu.edu.cn



王柱

CCF专业会员。西北工业大学副教授。主要研究方向为普适计算、健康感知计算和数据挖掘。

wangzhu@nwpu.edu.cn

## 参考文献

- [1] Jia Z, Howard R E, Zhang Y, et al. Demo Abstract: HB-Phone: a bed-mounted geophone-based heartbeat monitoring system[C]//Proceedings of the 16th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN). IEEE, 2017.

更多参考文献：<http://dl.ccf.org.cn/cccf/list>

# 数据中心的流量调度方法

白 巍<sup>1</sup> 胡水海<sup>2</sup> 曾高雄<sup>2</sup> 陈 凯<sup>2</sup>

<sup>1</sup>微软亚洲研究院

<sup>2</sup>香港科技大学

关键词：数据中心 流调度

## 背景

近年来，各大互联网公司在全球修建了大量数据中心，为世界各地的用户提供高质量的服务。数据中心内部运行着大量实时应用，比如搜索、社交网络和网上购物。与用户进行交互时，为了处理一个用户请求，这些应用会产生大量包含了请求和应答信息的小数据流（small flows，简称“小流”）。用户体验的好坏直接取决于该应用搜集齐所有的应答所需的时间，或者在规定期限内搜集应答的数量。一旦这些小数据流在数据中心网络内遭遇高排队时延，用户的体验就会下降，进而影响公司的收入。

为了降低小流的完成时间，或是让小流在规定时间内完成，许多流调度的工作应运而生，而数据中心的独特条件使这些流调度工作的落地成为可能。与传统的因特网不同，很多数据中心是大公司的私有资源，形成了一个个独立的管理域。在数据中心内，管理员可以掌控从上层应用到内核协议栈，再到网卡和交换机硬件的所有配置。这对于很多需要端主机和交换机协同配合的流调度机制无疑是个好消息。此外，由于数据中心是私有的，流调度机制无须担心公平性和用户欺骗等问题。

数据中心流调度于2011年被提出<sup>[1]</sup>，至今已有8年多的发展历史。为了帮助读者理解这段发

展过程，我们把已有的流调度工作分为三类进行介绍：有信息感知（information-aware）的 Clean-Slate 工作，有信息感知的 Dirty-Slate 工作和无信息感知（information-agnostic）的 Dirty-Slate 工作。

## 有信息感知的 Clean-Slate 调度方法

为了满足实时应用的需求，数据中心流调度的两个主要目标是降低流完成时间（flow completion time）和降低规定期限错失率（deadline miss rate）。微软剑桥研究院的研究人员在2011年的SIGCOMM会议上提出了期限驱动传输控制协议<sup>[1]</sup>（Deadline-Driven Delivery control protocol, D<sup>3</sup>），一种以降低期限错失率为数据的中心拥塞控制协议。D<sup>3</sup>假设上层应用可以将数据流大小和规定期限的信息传给传输层。基于这些信息，D<sup>3</sup>设计了显式速率控制（explicit rate control）<sup>1</sup>的实现机制，让交换机根据全局流信息分配带宽，优先分配数据流在规定期限内完成所需的最小带宽，即  $r = s/d$ ，其中  $s$  为流的大小， $d$  为流的完成期限；最后将剩余的带宽平均分配给所有流。因为 D<sup>3</sup> 假设在流传输前就可以获得其大小和规定的期限，所以它是一种有信息感知（information-aware）的方法。此外，D<sup>3</sup> 需要交换机来记录流状态并分配带宽，这样复杂的功能远远超

<sup>1</sup> 显式速率控制最早源于因特网，原型为 XCP 和 RCP，是交换机或路由器记录通过的所有数据流状态，按照设定算法给端系统反馈（如发送速率或发送速率变化），从而分配带宽及控制拥塞的机制。

出了目前商用交换机所支持的功能范围。对于这种颠覆现有架构另起炉灶的方法，学术界形象地称之为 Clean-Slate 方法。

不足的是， $D^3$  采用了贪婪式的先到先服务 (First Come First Serve, FCFS) 的带宽分配方案，先到达的流一旦被分配带宽，将占用带宽直至最终完成，无法在中途释放带宽给新流，即不允许抢占 (preemption)。这样将导致  $D^3$  无法实现最优的流调度方案。图 1 展示了一个简单的例子。一个后到达的接近完成期限的流 ( $f_A$ ) 可能会为了等待一个先到达的完成期限较远的流 ( $f_B$ )，从而错过了规定的完成期限。

针对  $D^3$  的缺点，伊利诺伊大学香槟分校的研究人员在 2012 年的 SIGCOMM 会议上提出了抢占式分布快速控制协议<sup>[2]</sup> (Preemptive Distributed Quick control protocol, PDQ)。与  $D^3$  类似，PDQ 同样假设上层应用可以将数据流大小和规定期限等信息暴露给传输层。利用这些信息，PDQ 同样也设计了显式速率控制的实现机制，逼近不同的调度算法。例如：(1) 最短任务优先 (Shortest Job First, SJF) 调度算法：数据量小的流将会被优先分配带宽；(2) 最近期限优先 (Earliest Deadline First, EDF) 调度算法：接近完成期限的流将会被优先分配带宽。与  $D^3$  不同的是，PDQ 采用了抢占式的带宽分配方案，可以根据流的紧急程度将已分配的带宽重新分配，从而解决了上述  $D^3$  非最优调度的问题（图 1(c) 中最优调度与 PDQ 相同）。

然而，PDQ 离理想的 SJF 和 EDF 仍有差距。这是因为在 PDQ 系统中，暂停或者启动一个流都需要至少一个来回的通信时间 (Round-Trip Time, RTT) 来与路径上所有的交换机进行协调。RTT 的额外

开销对于数据中心内大量小流来说是不可接受的负担。此外，精确计算出每个流的发送速率并不简单，比如一个数据流的发送瓶颈可能不在网络上，而在端主机的磁盘上。

为了克服显式速率控制协议的缺陷，斯坦福大学的研究人员在 2013 年的 SIGCOMM 会议上提出了 pFabric<sup>[3]</sup>。与  $D^3$  和 PDQ 不同的是，pFabric 不要求交换机去记录所有流的状态信息和计算发送速率。pFabric 的核心思想是将流调度从速率控制中分离出来。pFabric 的设计包含两部分。(1) 端主机上的速率控制协议：新数据流以线速 (line rate) 发出，去除复杂的快速丢包重传机制，直到连续多次超时才进入探索模式 (probe mode)，定期发送最小数据包并在接收到确认 (Acknowledgement, ACK) 时重新进入慢启动 (slow start)；(2) 交换机上的优先级调度 (priority scheduling) 和优先级丢包 (priority dropping)：在出队列时，交换机选择最高优先级的数据包；当缓冲区已满时，交换机丢弃最低优先级的数据包。

和显式速率控制协议（例如  $D^3$  和 PDQ）相比，pFabric 设计更简单，同时保证了接近理论最优的性能。交换机只需要根据缓冲区里面数据包的优先级进行出队列和丢包操作，无须记录任何流状态。端主机只需要在出现持续丢包的时候降低速率，无须实现复杂的拥塞控制算法。

然而，pFabric 离可以在生产环境里部署仍然有很大的差距。一方面，现有商用交换机芯片支持的优先级队列数量非常有限（大约 4~8 个），无法完全实现 pFabric 所需要的优先级调度；另一方面，现有商用交换机芯片并未广泛支持优先级丢包机

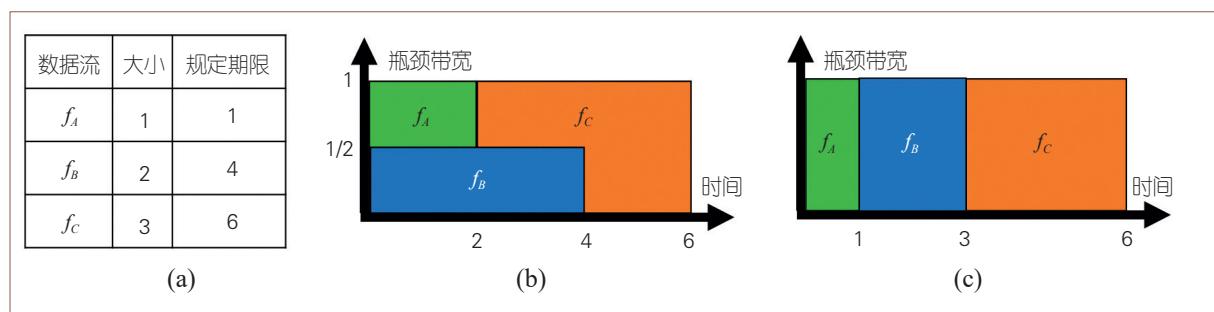


图 1 (a) 三条流竞争单一瓶颈带宽；(b)  $D^3$  的流到达顺序： $f_B \rightarrow f_A \rightarrow f_C$ ；(c) 最优调度方案

制，对于绝大多数交换机芯片来说，一旦一个数据包进入了缓冲区，它就不会被新到来的包“挤出去”。

## 有信息感知的 Dirty-Slate 调度方法

$D^3$ 、PDQ 和 pFabric 都需要对已有的商用交换机做不同程度的修改，因此很难在生产环境中得到快速的部署。针对这个缺点，Dirty-Slate 的调度工作应运而生。所谓 Dirty-Slate，就是在现有的系统架构和硬件上进行增量部署。首个 Dirty-Slate 的代表性工作是发表在 2014 年 SIGCOMM 会议上的 PASE<sup>[4]</sup>。PASE 同时使用了仲裁 (arbitration) 机制、优先级队列和基于显示拥塞通知 (Explicit Congestion Notification, ECN) 的速率控制协议。与  $D^3$  和 PDQ 利用交换机仲裁每个数据流的速率不同，PASE 在端主机或者交换机的 CPU 上实现仲裁机制，而且只计算出每个数据流在网络里的优先级。因此，PASE 不需要对交换机芯片进行修改，而且不用担心数据流的发送速率计算不准确的问题。PASE 依靠商用交换机上有限的优先级队列来调度流，并且基于 ECN 的速率控制协议来充分利用链路带宽。因此，与  $D^3$ 、PDQ 和 pFabric 相比，PASE 不仅更容易部署，而且在许多场景下可以取得更好的性能。

和 PASE 这种需要逐跳仲裁的协议不同，发表在 2018 年 SIGCOMM 会议上的 Homa<sup>[5]</sup> 是一个接收端主导的拥塞控制协议。Homa 让每个接收端分别维护所有发送给该接收端的流的状态信息（包括每个流的数据量大小信息），然后根据所维护的实时流信息进行流调度。Homa 的流调度算法主要包含两部分：(1) 接收端通过给发送端发送许可包 (grant packet) 的方式，显示地将最后一跳链路的带宽分配给所维护的流，并且数据量越小，分配到带宽的优先级越高；(2) 接收端根据流的数据量大小信息将数据流归类到不同的网络优先级，与带宽分配的原则一致，数据量越小，被划分到网络优先级越高。但与 pFabric 不同，Homa 考虑到了现有商用交换机芯片能支持的优先级队列数量非常有限，因此网络优先级并不是直接以流的数据量大小来划分，而是根

据交换机所能支持的优先级队列数量来确定所划分的网络优先级数量。Homa 的流调度算法接近于最短任务优先调度算法，因此能很好地实现降低流的完成时间的目标。

和 PASE 相比，Homa 仅需要在接收端对网络资源进行分配，所以机制上要简单很多。然而简单机制也往往伴随着一些局限性。比如 Homa 假定拥塞仅会发生在数据中心网络拓扑的第一跳链路和最后一跳链路。一旦拥塞发生在网络别的地方，比如高层的交换机，Homa 的机制将无能为力。

## 无信息感知的 Dirty-Slate 调度方法

上述两类工作都假设可以从应用获得数据流的相关信息，比如流的大小。事实上，虽然数据中心是一个单独管理域，但是源自上层应用的各类数据流信息仍然很难获得。主要原因有：(1) 很多应用是一边计算一边进行网络传输，当应用开始向网络中注入一个数据流时，并不知晓对应的数据流总共要传多少字节；(2) 对于许多可以获得流大小的网络应用，管理员仍然需要修改其网络通信模块才能获得流大小，并将这些信息通过合适的接口传递给协议栈。考虑到数据中心有大量的应用，逐一修改这些应用获得流信息对于管理员来说无疑是巨大的负担。

基于上述观察，无信息感知的流调度工作应运而生。我们在 2015 年的 NSDI 会议上提出了实际的无信息感知的流调度 (Practical Information-Agnostic flow Scheduling, PIAS)<sup>[6]</sup>。PIAS 采用多级反馈队列 (multi-level feedback queue) 作为其调度策略，如图 2 所示。在多级反馈队列里面，所有流一开始都被赋予最高优先级，当一个流已经发送的字节数 (bytes sent) 超过一个阈值时，这个流就被降入下一个优先级队列。根据多级反馈队列策略，小流会在较高优先级内完成，而大流会在较低优先级内完成。多级反馈队列可以在长尾分布 (long-tailed distribution) 下有效地近似于理想的最短剩余时间，降低流的整体平均完成时间以及小流的完成时间。PIAS 利用端

主机来记录每个流已经发送的字节数并标记数据包的优先级，而在交换机里只需要配置普通的优先级队列。因此，PIAS 可以在普通的商用交换机 (commodity switch) 和标准的 TCP/IP 协议栈上实现，容易在生产环境里部署。

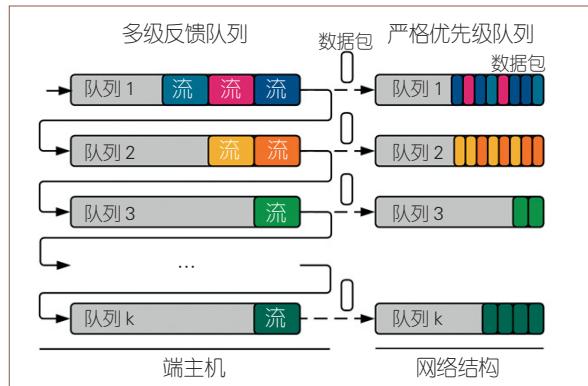


图 2 多级反馈队列

在 PIAS 系统中，一个关键部分就是合理确定多级反馈队列的阈值。阈值决定了我们如何将不同大小的流隔离在不同优先级里。如果阈值设置得不好，大小流可能会在某个时刻全部混杂在一个优先级里面，严重拖长小流的完成时间。通过简单的理论分析，我们发现理想的阈值，与每条链路的流大小分布 (flow size distribution) 和平均利用率都有关系。在真实的数据中心环境中，数据流的大小分布和平均利用率是在时间和空间两个维度上同时变化的。在这种条件下，阈值和流量的错配 (mismatch) 几乎是无法避免的。在 PIAS 里，我们搜集数据中心全局的流量信息来统一计算阈值，并利用交换机上自带的 ECN 机制来降低错配的影响。在 2018 年的 SIGCOMM 会议上，我们进一步提出了 AuTO<sup>[7]</sup>，其中一个机制就是通过深度强化学习 (deep reinforcement learning) 来自动优化多级反馈队列的阈值。

PIAS 把所有流都简单地视为不能预先知道大小且没有截止完成时间限制的流。事实上，在数据中心里面，多种类型的流是共存的。第一类流是有规定期限的流，对于这种流，其大小往往可以预先知道或者估计出来。第二类流没有规定期限，也无法预先知道其大小。对于这种流，PIAS 的优化效果

是最好的。第三类流没有规定期限，但是可以预先知道其大小。对于这种流，PASE 或者使用少量优先级的 pFabric 近似方案优化效果是最好的。为了解决上述“混合流”的调度问题，我们在 2016 年的 SIGCOMM 会议上提出了 Karuna<sup>[8]</sup>。严格来说，Karuna 并不是一个纯粹的无信息感知方案，其只是不知道第二类流的信息。Karuna 把第一类流固定在最高优先级，来降低期限错失率。但是为了降低第一类流对另外两类流的影响，Karuna 使用了一种叫做 MCP 的传输层协议，让第一类流以较低的吞吐量“恰好”在规定期限内完成。对于第二类流，Karuna 采用了多级反馈队列来调度，让一个流在传输过程中优先级不断降低。对于第三类流，Karuna 根据流的大小，赋予它们固定的优先级，流越大，得到的优先级就越低。通过对三类流的区分处理，Karuna 可以同时降低流的期限错失率和平均完成时间。

## 未来发展方向

过去的几年，数据流量调度这一经典网络研究问题在数据中心得到了迅速发展。随着新的网络硬件和新应用的出现，我们认为这一方向仍然有很大的发展空间。笔者在此简单介绍几个可能的未来发展方向。

### 基于可编程数据平面技术的数据中心流量调度

最近几年涌现出了很多可重构 (reconfigurable) 交换机芯片<sup>[9]</sup>。和传统的固定功能 (fixed-function) 的交换机芯片相比，可重构交换机芯片允许网络管理员对数据平面 (data plane) 进行编程<sup>[10]</sup>，定制自己需要的功能，比如在交换机里面维持一定的状态，自定义数据包的格式和解析过程等。利用这些新的功能，我们可以突破很多传统网络硬件的限制，设计并实现更好的流量调度机制。一个最近的例子就是华盛顿大学西雅图分校的研究人员实现了每流公平排队 (per-flow fair queueing)<sup>[11]</sup> 调度算法。我们相信，在不久的将来，基于可编程数据平面技术的流量调度工作将会越来越多。

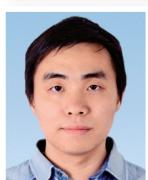
## 应用驱动的数据中心流量调度

我们认为，数据中心的流量调度本质是应用驱动的。正是因为数据中心内有很多对实时性要求很高的应用，我们才需要去降低小流的完成时间。我们认为，今后数据中心的流量调度将会更加贴近应用的需求，尤其是近年来涌现出来的新应用。比如，对于数据并行(data-parallel)应用，如何降低一组有依赖关系的流(coflow)的完成时间；对于目前火热的机器学习应用，如何调度流量来降低每一轮的训练时间。虽然在这个方向上学术界已经有了一些初步的进展<sup>[12,13]</sup>，但是还有很多问题值得深入研究和探索。 ■



白 巍

微软亚洲研究院副研究员。主要研究方向为数据中心网络。  
webai@microsoft.com



胡水海

香港科技大学计算机科学与工程系博士研究生。主要研究方向为数据中心网络。  
shuaa@cse.ust.hk



曾高雄

香港科技大学计算机科学与工程系博士研究生。主要研究方向为数据中心网络、网络传输协议。  
gzengaa@connect.ust.hk



陈 凯

香港科技大学副教授。主要研究方向为数据中心网络、云计算、大数据和人工智能基础设施平台的研究。  
kaichen@cse.ust.hk

## 参考文献

- [1] Wilson C, Ballani H, Karagiannis T, et al. Better never than late: Meeting deadlines in datacenter networks[C]// Proceedings of the ACM SIGCOMM 2011 Conference. ACM, 2011: 50-61.

更多参考文献：<http://dl.ccf.org.cn/ccccf/list>

## CCF专委活动计划 ( 2019.5 )

### 5月4日 青岛

计算机图形学和混合现实前沿研讨会(GAMES)  
会议编号：CCF-19-TC07-01S  
主办：中国计算机学会  
承办：CCF 计算机辅助设计与图形学专委会 山东大学  
联系：孟祥旭 mxx@sdu.edu.cn

### 5月5~6日 青岛

第16届计算机辅助设计与图形学国际会议(CAD/Graphics 2019)  
会议编号：CCF-19-TC07-01I  
主办：中国计算机学会  
承办：CCF 计算机辅助设计与图形学专委会 山东大学  
联系：孟祥旭 mxx@sdu.edu.cn

### 5月10~11日 北京

2019年第十六届全国工业控制计算机学术年会  
会议编号：CCF-19-TC04-01N  
主办：中国计算机学会  
承办：CCF 工业控制计算机专委会 北京控制工程研究所  
北京集智达智能科技有限责任公司  
联系：杨桦 yangh@bice.org.cn

### 5月11~12日 天津

CCF 2019 International Conference on Service Science (CCF ICSS2019)  
会议编号：CCF-19-TC02-01I  
主办：中国计算机学会  
承办：CCF 服务计算专委会 天津大学  
联系：冯志勇 zyfeng@tju.edu.cn

### 5月17~19日 南京

中国区块链技术与应用高峰论坛  
会议编号：CCF-19-TC35-01F  
主办：中国计算机学会  
承办：CCF 区块链专委会 南京市浦口区人民政府  
联系：牛涛 ccf\_tcbc@ccf.org.cn

### 5月17~19日 深圳

第七届全国智能信息处理学术会议(NCIIP2019)  
会议编号：CCF-19-TC17-04N  
主办：中国计算机学会  
中国人工智能学会(CAAI)  
承办：深圳大学  
协办：CCF 人工智能与模式识别专委会  
CAAI 知识工程与分布智能专委会  
联系：罗成文 nciip2019@163.com

# 面向新型智能设备的交互技术

关键词：交互技术 声波感知 振动感知

伍楷舜 邹永攀  
深圳大学

## 新型智能设备

近年来，随着传感器、微机电系统 (Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)、电池等技术的发展，新型智能设备如雨后春笋般不断涌现。这些设备外观各异、功能多样、硬件组成各具特色，被广泛地应用于智慧医疗、智慧家居和智能交通等各类生活场景中，不仅给人们的生活带来了便捷，更拓宽了人们对于未来生活的想象空间。

这些智能设备（如图 1 所示）既可以以手表、腕带、眼镜、衣服、鞋子等形式被穿戴在用户身上，与其融为一体，对其运动、生理等参数进行监测；也可以以音箱、台灯、冰箱等形态部署于家居场景中，与物理环境有机融合，实现设备互联、环境监测、智能控制等功能；还可以以各种车载设备的形式配

备于车辆上。这些功能的实现都依赖于用户与设备之间的交互，包括用户认证、功能控制和文本输入三方面内容。用户认证是合法使用智能设备的第一步，它是设备对用户合法性的甄别过程，能够有效地对设备中的数据进行隐私保护，对于记录用户生理数据的智能设备尤为重要。功能控制是指用户操控智能设备的基本功能，比如调节音量和屏幕亮度、切换画面等。文本输入技术则允许用户向智能设备传达文本信息与指令等。

新型智能设备可以以多样的形态为用户所使用，其交互需求也存在多样性。由于智能穿戴设备的屏幕尺寸较小，且配备传感器的种类和数量相对较少，基于触屏的文本输入方式对于此类设备来说存在效率低和体验差等缺点。对于无屏设备，传统的触屏交互更是无能为力。因此，传统的基于触摸



图 1 新型智能设备示例

屏技术的交互方式已经难以作为统一的交互接口满足用户与设备的所有交互需求。

交互问题制约着新型智能设备在现实生活中的应用，使得它们无法真正地发挥出潜能。探索适合于新型智能设备的交互技术既给相关领域的研究带来了新的机遇，也是促使此类设备得到更普遍应用进而推动相关产业进一步发展的必由之路。然而，由于新型智能设备存在硬件能力、尺寸、传感器配置等多方面的限制，设计合适的交互技术充满难度与挑战。

## 面向移动设备的交互技术

在面向移动设备的交互技术这一研究领域，研究者们已经开展了诸多工作，提出了一系列提升用户与设备之间交互效率与体验的技术方法。尽管这些交互技术并不是专门为新型智能设备而设计的，却给相关领域的研究工作带来了启发。

## 基于内置传感器的交互技术

语音识别是一项目前被广泛应用在智能设备中进行文本输入和功能控制的交互技术。该技术利用智能设备内置的麦克风录制用户的语音，借助语音识别技术让设备“听懂”用户所说的话，从而实现文本或指令的输入。近年来，随着与深度学习技术的结合，语音识别的最新性能已然逼近人类水平，其识别精度高达97%。然而，从实用的角度来看，该技术存在着在公共场合隐私性差、噪声环境中性能下降明显、易受用户生理/心理状态和说话口音等因素影响等缺点，大大限制了其在现实生活中的普及与应用。

智能设备内置的其他类型传感器，比如惯性测量单元也被研究者们用来感知与识别用户肢体动作。该技术虽然无需用户佩戴额外的硬件设备，但由于传感器对动作的感知粒度较为粗糙，它要求用户佩戴着智能设备做出较大幅度的动作以抵抗肢体无关动作的干扰。对用户而言，此种交互过程不自然、体验不良，不具备很强的实用性。

## 基于无线电信号的交互技术

研究者们还提出使用无线信号收发装置，如RFID<sup>[1]</sup>和60 GHz设备<sup>[2]</sup>，利用信号在物理空间中传播的多径效应来设计人机交互系统。然而，由于此类硬件设备难以与智能设备有机结合，因而并不适合于移动设备的交互系统设计。

基于Wi-Fi信号的人机交互技术近年来得到了学术界的广泛重视。其基本假设是Wi-Fi信号收发装置作为通信基础设施广泛分布在人类的活动空间，而智能设备也具备Wi-Fi信号收发功能且无须额外的硬件支持。基于Wi-Fi信号的交互技术是利用信号在物理空间中传播的多径效应，建立用户肢体运动与接收信号变化之间的关联，实现用户与设备之间的交互。研究者们深入到Wi-Fi的物理层，利用其信道状态信息(Channel State Information, CSI)来实现基于Wi-Fi的手势识别。CSI刻画了Wi-Fi信号传输信道的状态，反映出因手动作造成的信道状态的改变。相比于其他物理量，如接收信号强度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI)，CSI对于信道状态的表征更加精细和丰富，对于动作的识别能力也更强。因为CSI具有上述优点，研究者们在基于Wi-Fi CSI的动作识别上做了大量的研究工作，在ACM MobiCom、IEEE INFOCOM等国际顶级会议和期刊上发表了一系列高水平的论文<sup>[3]</sup>。尽管基于Wi-Fi CSI的人机交互思路新颖独特，但是在实际应用中却存在根本性瓶颈需要突破。例如，Wi-Fi信号在整个空间中经多径传播，除了目标的运动会改变传播路径引起CSI改变外，环境中无关人员或物体的运动甚至环境布局的改变也会对CSI产生影响，干扰系统对于目标动作的识别<sup>[4]</sup>。

在用户认证领域，传统智能设备的用户认证技术主要包括指纹识别、面部识别和虹膜识别等。尽管这些技术都已经很成熟，准确率和可靠性等性能指标均达到很高水准，但是这些技术对于传感器配置、CPU运算能力有较高的要求，并不完全适用于新型智能设备。

## 面向新型智能设备的交互技术

近年来，针对新型智能设备的交互难题，研究者们提出了一些新颖的交互技术。其中，基于声波感知和振动感知的交互系统设计颇受关注，成为该领域的一个研究热点。

### 基于声波感知的交互技术

声波感知是利用智能设备普遍具有的声学传感器（麦克风、扬声器），根据应用需求，以特定方式对声波信号进行调制后经由扬声器发射出去，并利用麦克风接收回波信号，通过对回波信号的分析实现对用户肢体动作的识别或追踪。在此过程中，声波信号在空间中经多径传播被用户肢体（手部）反射回来，使得回波信号中带有肢体运动的信息（如图2所示），再利用物理建模或机器学习的方法，建立回波信号变化与肢体运动之间的关系，最终实现对肢体动作追踪或识别的目的。



图2 基于声波感知的交互技术示例

以物理建模的方式建立回波信号变化与肢体运动之间的关系，主要依赖于准确提取出与用户肢体反射的回波信号对应的相位变化，并基于此相位变化得到其位移改变，进而实现对肢体运动毫米级别的追踪和定位，该技术方案主要被应用于文本输入、游戏操控等人机交互场景。在这一研究领域，南京大学、德州奥斯汀大学等高校团队在 ACM MobiCom、ACM MobiSys 等计算机网络和移动计算领域著名学术会议发表了多篇论文，做了许多有益的尝试<sup>[5,6]</sup>。

建立回波信号变化与肢体动作间关系的另一条路径是利用机器学习算法，从回波信号中提取特征，经过特征工程筛选，再运用合适的学习模型，获得动作识别的结果。该技术方案主要被应用于用户认

证或功能控制等交互场景<sup>[7]</sup>。这种技术路线的不足是需要在模型训练时收集大量的训练数据，且很难保证模型在不同场景下的适用性等。

相比于以往的移动设备交互技术，基于声波感知的交互具有以下鲜明的特点。(1)普适性好：智能设备中普遍内置麦克风和扬声器，无须额外的硬件设备；(2)识别粒度精细：高频声波信号的分辨率高，能够识别毫米级别的细微运动；(3)鲁棒性高：借助合适的信号调制方式，系统能够抵抗较强的外在干扰。因此，此项技术适用于设计新型智能设备的交互系统。

### 基于振动感知的交互技术

基于振动感知的交互技术（如图3所示），主要是利用手指敲击物体（比如手背、桌面等）产生的振动信号经由固体传播被振动传感器所拾取，从而进行交互系统的设计。该技术目前的主要应用场景包括文本输入与用户认证，其优点是相关硬件成本低、尺寸小、易于与新型智能设备相结合。

基于振动的文本输入技术的基本原理是：用户在平面上不同位置处敲击时产生的振动信号与敲击位置紧密相关，通过区分振动信号的差异就可以对敲击位置进行准确定位或判别。将平面上的不同位置与基本文本单元相关联就可以进一步实现文本输入的功能。此种方式相当于将智能设备的交互界面进行了拓展，使得交互过程更加便捷高效。

基于振动信号的用户认证则是利用个体敲击平面时产生信号的特异性实现对用户的识别。该技术方案的潜在假设在于：一方面，不同个体的敲击动作存在差异，敲击产生的振动信号可以唯一地区分不同的用户；另一方面，当以用户的手背作为敲击平面时，由于个体肢体构造的差异，敲击点到振动传感器之间的传播将呈现出个体独特性，进一步增强振动信号的独特性，强化了用户认证的性能。在具体的系统实现中，将利用低成本、便携式振动传感器来获取信号，并借助机器学习算法对敲击位置或者用户进行识别。在此研究方向上，深圳大学伍楷舜教授团队、美国罗

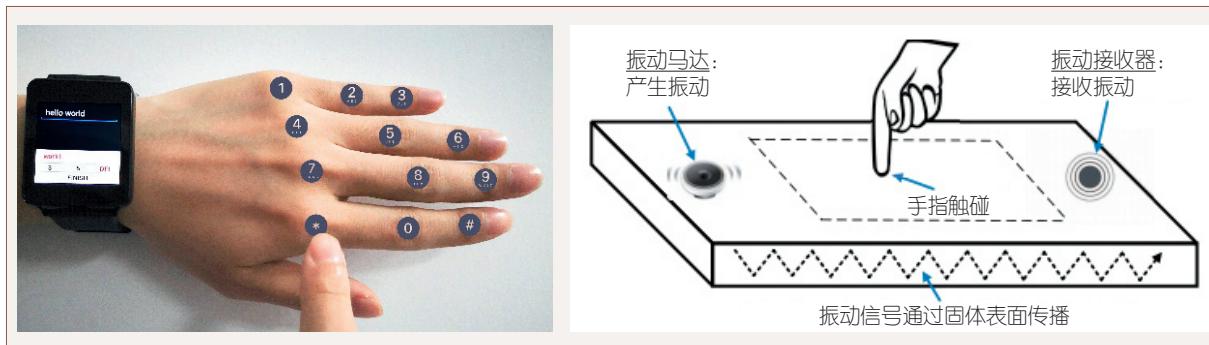


图3 基于振动信号的文本输入与用户认证技术

格斯大学的 Yingying Chen 教授团队做了一些很有意义的探索，相关成果发表于 ACM MobiCom 和 ACM CCS 等国际知名会议上<sup>[8, 9]</sup>。

## 挑战与发展

对于新型智能设备的交互而言，基于声波或振动信号的交互技术具有较大的应用潜力，在设计满足多种交互需求的交互系统方面也更具优势。然而，当前的研究并没有完全解决新型智能设备的交互难题。为了推动相关技术的应用落地，仍然需要解决多方面的挑战。

首先是能量消耗问题。由于新型智能设备电池容量普遍有限，续航时间较短，而基于声波感知的交互方式需要由设备发出经过调制的声波，能量消耗较大，对设备的续航有较大的影响。如何最大程度地优化算法、减少能量消耗，同时保证算法的准确性和可靠性，具有非常大的挑战。

其次是鲁棒性问题。尽管相比于 Wi-Fi 感知，基于声波和振动信号的感知方式不容易受到周边无关人员、物体或者所处环境改变的影响，但是却容易受到用户自身运动的干扰。目前此类系统的设计与评估大都是在用户处于静止状态的场景，没有解决移动状态下进行交互的问题。

最后是用户体验的问题。交互系统的设计归根结底是以用户体验为核心。当前基于声波或振动感知的交互设计都较少地讨论用户体验问题，在今后的研究工作中值得关注和探索。



伍楷舜

CCF 专业会员。深圳大学特聘教授。主要研究方向为物联网、移动计算等。  
wu@szu.edu.cn



邹永攀

CCF 专业会员。深圳大学助理教授。主要研究方向为可穿戴与移动计算、人机交互等。  
yongpan@szu.edu.cn

## 参考文献

- [1] Yang L, Chen Y, Li X Y, et al. Tagoram: Real-time tracking of mobile RFID tags to high precision using COTS devices[C]// International Conference on Mobile Computing & Networking. ACM, 2014.
- [2] Wei T, Zhang X. mTrack: High-precision passive tracking using millimeter wave radios[C]// Proceedings of ACM Mobicom, Paris, France, 2015.
- [3] Wang H, Zhang D, Ma J, et al. Human respiration detection with commodity WiFi devices: Do user location and body orientation matter?[C]// ACM International Joint Conference on Pervasive & Ubiquitous Computing. ACM, 2016.
- [4] Zou Y, Liu W, Wu K, et al. Wi-Fi radar: Recognizing human behavior with commodity Wi-Fi[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 16(2):381-393.
- [5] Wang W, Liu A X, Sun K. Device-free gesture tracking using acoustic signals[C]// International Conference on Mobile Computing & Networking. ACM, 2016.

更多参考文献：<http://dl.ccf.org.cn/cccf/list>

# 智能网卡： 云计算时代的高新网络技术

陈 果<sup>1</sup> 李肯立<sup>1</sup> 罗腊咏<sup>2</sup> 谭 煄<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 湖南大学

<sup>2</sup> 腾讯 TEG

<sup>3</sup> 华为中央软件院

关键词：数据中心网络 智能网卡 硬件网络协议栈

数据中心是云计算时代最重要的基础设施之一，为云提供强大的计算和存储能力。数据中心网络作为联合数据中心内所有计算、存储单元的“交通枢纽”，是影响云服务能力的关键所在。然而，近年来业界对数据中心网络性能以及虚拟化能力的需求日益增长，给现有端系统中网络协议栈的处理带来了极大挑战。一方面，目前业界普遍的百 G 级带宽、微秒级延时的高性能网络设施需要端系统协议栈具备极高的处理速度，因此将协议栈的处理卸载 (offload) 到网卡 ASIC 芯片上实现是目前普遍采用的方式；另一方面，为应对层出不穷的虚拟化需求，网络协议栈所包含的处理功能也需要频繁更新，这又使将协议栈的处理卸载到网卡 ASIC 芯片上变得非常困难。在此背景下，智能网卡 (smart NIC) 技术开始走进人们的视野并逐渐得到普及。不同于传统网卡，智能网卡同时具备高性能及可编程的能力，既能处理高速的网络数据流，又能对网卡进行编程，实现定制化的处理逻辑。

## 网卡的发展史

网卡是端系统接入网络进行通信的必备设备，端系统 CPU 和网卡联合完成整个网络协议栈中各层的处理。

## 传统网卡

早期的网卡仅实现数据链路层和物理层的功能，而端系统 CPU 负责处理网络协议栈中更高层的逻辑。CPU 按照网络协议栈中传输层、路由层的逻辑，负责数据包的封装和解封；网卡则负责更底层的数据链路层帧的封装和解封，以及物理层电气信号的相应处理。

## 高性能网卡

链路带宽的增长对端系统协议栈的处理速度提出了更高的要求。例如，要想在 100G 以太网中线速处理 64 字节大小的数据包，只有几个时钟周期供 CPU 进行网络协议栈的处理。为适应高速网络，现代网卡硬件中普遍卸载了部分传输层和路由层的处理逻辑（如校验和计算、传输层分片重组等），来减轻 CPU 的处理负担。甚至有些网卡（如 RDMA 网卡）还将整个传输层的处理都卸载到网卡硬件上，以完全解放 CPU。得益于这些硬件卸载技术，端系统的网络协议栈处理才能与现有的高速网络相匹配。

## 智能网卡的兴起

近年来公有云中网络虚拟化的发展以及 host-based SDN 技术的兴起<sup>[1]</sup>，对端系统协议栈提出了更高的要求，而传统的高性能网卡已难以满足这些要求。

当前的云服务提供商除了出售虚拟机服务外，还提供“基础设施即服务 (Infrastructure-as-a-Service, IaaS)”这种服务模式。IaaS 需要支持各式各样的网络功能，例如可让用户任意配置 IP 的虚拟私有网络、可扩展的 4 层负载均衡器、安全策略和访问控制列表、带宽计量以及服务质量控制等。这些网络功能目前普遍采用软件定义网络 (Software Defined Network, SDN) 的方式在端系统的协议栈内实现，端系统需在 TCP/IP 协议栈之外对数据包实现进一步的封装 / 解封装、计数、丢弃等操作。因为用户对于新网络功能的需求层出不穷，SDN 协议栈支持的网络功能往往以月为单位频繁更新迭代<sup>[1,2]</sup>。ASIC 芯片的生产从确定需求到最后流片量产往往需要数年的时间，网卡厂商几乎不可能预测到未来几年内所有可能出现的网络功能，因此难以将这些处理逻辑实现到网卡的 ASIC 芯片上。

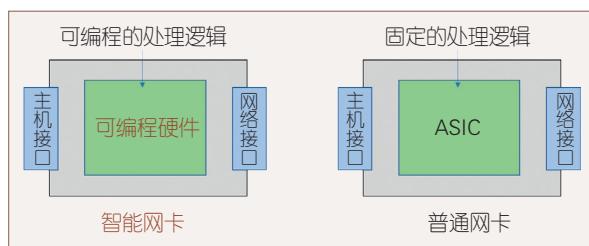


图 1 智能网卡与普通网卡的结构对比

在此背景下，智能网卡这项新兴技术开始走进人们的视野<sup>[2-5]</sup>。智能网卡是一种可编程的高性能网卡。如图 1 所示，智能网卡上具备可编程硬件，可对网卡的处理逻辑进行动态的编程重写。不同于普通网卡中通过 ASIC 实现固定的网络处理逻辑，智能网卡兼具高速的处理能力及灵活的可编程能力。

现在典型的智能网卡有两种实现方式，最典型的一种是采用现场可编程门阵列 (Field-Programmable Gate Array, FPGA) 实现。微软公司是这方面的代表<sup>[2]</sup>，已在其 Azure 云内面向用户提供服务，腾讯

公司也在积极研制自己的基于 FPGA 的智能网卡<sup>[4]</sup>。另一种智能网卡的实现方式是采用专用的多核网络处理器 (Network Processor, NP)。华为公司采用的正是这类智能网卡<sup>[3]</sup>。



图 2 典型智能网卡实现方式的可编程性以及处理性能对比

如图 2 所示，这两种智能网卡的实现方式在可编程性以及处理性能上各有优劣。在性能方面，通过直接烧写硬件逻辑，基于 FPGA 的智能网卡性能与 ASIC 芯片非常接近；NP 则采用多核的方式来提高整个网卡的处理能力，但其每个核的处理能力与通用 CPU 性能相比并无特别优势，因此对于单一网络流的处理性能较低。在可编程性方面，基于 FPGA 的智能网卡可编程性相对较低。一方面因为 Verilog/VHDL 语言编程难度大，并且开发 FPGA 的整套工具链的易用性也有待提高；另一方面因为 FPGA 受限于芯片面积，往往无法实现较复杂的处理逻辑。而 NP 则具备较高的可编程性。首先，其编程多采用通用的 C/C++ 语言，相对简单；其次，NP 具备几乎和通用 CPU 相当的表达能力，可实现灵活的处理逻辑。

## 智能网卡的应用场景与研究热点

### 网络协议栈卸载

智能网卡的兴起来自对网络虚拟化的需求及相关协议栈高速处理的需求，故协议栈的卸载是目前智能网卡最典型的应用。以微软公司和腾讯公司

为代表，这些云厂商主要将其网络中的 SDN 协议栈实现到智能网卡中<sup>[2,4]</sup>，从而减轻甚至消除网络虚拟化处理中 CPU 的负担；而华为公司除了利用智能网卡处理网络虚拟化外，还将现有网络协议栈中的全部传输层逻辑（如 TCP）卸载到网卡中进行高速处理<sup>[3]</sup>，从而进一步加速网络传输。

将协议栈卸载到网卡硬件中实现与传统的软件实现环境有很大不同。网卡的片上存储空间要远远小于软件环境中可以使用的主机内存大小，这就需要设计新的体系架构和算法来实现高效的硬件协议栈。具体来说：

- 减小 SDN 协议栈的存储开销一般可以通过动态流表的方式实现<sup>[2]</sup>。网卡芯片上仅缓存目前活跃的少量数据流的处理表项，而其他数据流的处理表项都存储在片外 DRAM 或主机内存中。当新流建立时，CPU 会查询片外的 SDN 流表，明确相应处理步骤，再将流表下发至网卡芯片，由其处理该流后续的数据包。

- 在网卡硬件中实现传输层逻辑则更加复杂。目前的传输层协议中包括拥塞控制算法、丢包恢复处理等在内的各方面逻辑都需要消耗较多存储，不利于硬件实现。近年来诞生了一些新的传输层算法来解决此问题，笔者也在这方面做了一些工作。例如，MPRDMA<sup>[6]</sup> 设计了一套低存储开销的多路径传输层协议，并基于微软的智能网卡进行了实现。该方案可使用与路径数量无关的常数存储开销实现多路径拥塞控制。MELO<sup>[7]</sup> 则设计了一套低存储开销的选择重传丢包恢复机制，可显著降低选择重传中需维护的相关数据结构的存储开销。

## 网络应用加速

在处理数据包之外，具备可编程能力的网卡还能对上层应用的逻辑进行一些加速处理。因此，智能网卡的第二类典型应用就是对上层网络应用的加速，近年来有不少工作在这方面做出了成果。例如，KV-Direct<sup>[8]</sup> 通过在智能网卡上实现键值存储数据库（Key-Value Store, KVS）的键值操作，可跳过 CPU，利用网卡直接读取或更新远端主机内存中的键值，

从而将单机的键值操作吞吐量提升到 10 亿次 / 秒的级别。文献 [9] 则使用智能网卡对数据压缩算法进行加速，并在微软的 Azure 云存储服务中得到了应用。

## 离散化数据中心

传统的数据中心是以服务器为单位构建的高速互连的服务器集群，其中每台服务器都具备少量的计算和存储资源（如 CPU、内存、硬盘等）。近期业界开始探索一种新型的架构范式——离散化数据中心 (disaggregated data center)，试图以资源为单位将数据中心构建为一个大型计算和存储的资源池。离散化数据中心打破服务器的限制，利用高速网络将相同甚至不同机柜内的多台服务器中的同类型资源直接互联为一个整体，构建 CPU 资源池、内存资源池、存储资源池、GPU 资源池，等等。支持资源池的灵活访问需要更高的网络带宽以及更低的网络延迟，这给现有的数据中心网络技术带来巨大挑战，而应用智能网卡则很有希望突破这些难点。

利用智能网卡的定制化逻辑，我们无须采用传统的网络通信方式，可以跳过 CPU 的参与，在远程资源之间通过网卡直接进行高速互连。例如，S-Direct<sup>[10]</sup> 利用智能网卡，将数据中心内的 NVMe 闪存设备进行高速互连，其尾部访问延时低于现有通过主机 CPU 参与互连方式的 1/8。而笔者近期的工作 DUA<sup>[11]</sup>，则从数据中心内部署的 FPGA 芯片的视角出发，利用智能网卡为 FPGA 提供直接高速访问数据中心内其他所有计算和存储资源的统一通信架构，向离散化数据中心又迈出了重要一步。

## 挑战与机遇

虽然智能网卡目前已经在这方面取得了成功应用，但仍有一些问题需要业界共同探索解决。

## 智能网卡架构的选择

目前业界已取得的共识是：在高性能之外，网卡还需要“智能”，即可编程能力。然而现有集成电

路的结构决定了在网卡芯片面积不变的前提下，提升可编程能力必然要在一定程度上牺牲其处理性能。究竟在两者之间如何取舍才能最好地实现满足各种场景的智能网卡，当前尚无定论。当前两种典型的实现方式——基于FPGA和基于NP，在可编程性和处理性能两方面各有优劣，难以兼顾。从理论上来说，若想兼顾高性能和智能，一个最优的智能网卡架构应将不同场景下各网络协议栈都需具备的相同处理逻辑固化成专用ASIC芯片，而将其余随场景变化的处理逻辑通过可编程芯片定制化实现。然而现实面对的困难是，目前对网络协议栈各层的功能没有一个很好的模块化抽象，各层内的各个处理逻辑之间甚至跨层的部分逻辑之间都依据场景高度耦合，难以提取有意义的共性和特性逻辑分别由ASIC和可编程芯片处理。因此，现有智能网卡要想具备足够的可编程能力，能应对各种场景，只能将从上到下各层几乎所有的逻辑都交由可编程芯片实现，牺牲了性能。例如目前的传输层协议中拥塞控制、丢包恢复、保序传输等逻辑都高度耦合在一起，若想利用智能网卡支持定制化的拥塞控制算法，只能在可编程芯片中实现整个传输层逻辑。

若想突破此难题，一种可行的思路是从模块化的角度出发重构现有网络协议栈，在其各层协议中清晰地抽象出共性功能模块以及可依据场景定制的特性模块。例如，SDN协议栈中各种功能都可以抽象为流表和匹配操作的模式<sup>[1]</sup>，如果能将各SDN场景中所采用的匹配操作进行综合总结，则有可能将其固化为几种类型的通用ASIC处理逻辑模块，而用户只需根据不同场景对这些逻辑模块进行组合编程，即可实现足够智能的网卡功能。又如，可将传输层协议中的拥塞控制、丢包恢复、保序传输等功能抽象为解耦的独立模块，交由可编程芯片处理，而固化其他共有的传输层处理逻辑。从网卡设计的角度出发，各种场景下的网络协议栈中到底哪些部分可以由ASIC固化、哪些部分需要灵活地定制逻辑，值得进一步研究和探索。

## 分布式系统的性能优化

高性能网卡具备可编程能力，也给分布式系统的性能优化带来了更大机遇。现有的分布式系统设计皆是基于传统的网卡进行，虽然已有不少工作利用智能网卡加速上层应用，但大多是在已有系统架构上寻求可以使用网卡加速的部分。如何在设计整个分布式系统架构之初就把网卡的可编程能力考虑在内，寻求最优的系统性能，值得深入探索。这方面有两层含义：

**系统中计算、存储逻辑的合理划分。**哪些计算和存储逻辑在网卡上实现，哪些计算和存储逻辑在CPU上实现依然能保证最佳的系统性能，是智能网卡时代每一个分布式系统的设计者在设计系统架构时应该仔细考虑的问题。例如在设计分布式机器学习系统时，除了参数服务器和All-Reduce模式外，是否可以基于智能网卡的能力进行其他方式的数据存储或计算模型的划分，设计出性能更佳的并行训练模式？又如，设计分布式大数据系统时，除了将底层数据库的存取操作卸载到网卡实现，是否可以考虑将更上层的数据分析语义也一并由网卡实现？这些都值得深入思考。当然，我们更期待出现一个智能网卡背景下分布式系统的设计指导理论，帮助设计者在各种应用逻辑和软硬件环境中选择最优的系统架构。

**异构资源下的编程框架。**在选定系统架构之后，另一个需要考虑的问题是开发实现的难度。智能网卡背景下的分布式系统编程不再是单纯的CPU软件编程，而需要一个更加高效、易用的编程框架让我们更好地对系统中的CPU、智能网卡硬件，甚至其他异构资源（如GPU）一起进行协同编程，从而搭建一个高性能的异构分布式系统。该编程框架需考虑编程语言、各种可复用的功能库、运行环境支撑、调试环境等方面，来简化系统的开发。现有的一些工作如OpenCL<sup>[14]</sup>和ClickNP<sup>[12]</sup>在这个方向做出了重要努力，但不论是易用度、性能，还是相关硬件厂商的支持，离大规模应用都还有不小的距离。

## 更加开放的生态环境

目前智能网卡开发和研究中存在的一个重要问

题是相关的软硬件生态环境还不够成熟。不论是网卡硬件，还是相关的软件工具链，都缺乏能够向普通研发人员开放的友好的研发环境。当前智能网卡的研发力量主要集中在几个具备网卡软硬件全栈研发实力的大公司内部。智能网卡的发展与应用离不开广大研发人员的参与，只有具备足够友好开放的生态环境，才能更加快速地推动一项新技术的发展。令人欣慰的是，如P4<sup>[13]</sup>和NetFPGA<sup>[15]</sup>等工作已在可编程网络硬件的通用生态方面做出了重要努力，期待不久的将来智能网卡这项技术会更加普及与开放。



陈 果

CCF专业会员。湖南大学信息科学与工程学院副教授。主要研究方向为高性能硬件网络协议栈、数据中心网络、网络系统。guochen@hnu.edu.cn



李肯立

CCF杰出会员、高性能计算专委常委。湖南大学教授、博士生导师，国家超算长沙中心主任。主要研究方向为高性能计算、并行与分布式处理。lkl@hnu.edu.cn



罗腊咏

腾讯TEG网络平台部专家工程师、云网络系统组组长。主要研究方向为云网络架构、智能网卡和NFV。luuo@tencent.com



谭 炯

华为中央软件院副总裁、云网络实验室主任。主要负责终端和云网络软件的开发和创新。kun.tan@huawei.com



### 封面设计说明

本期主题为计算机教育，教育即老师对学生的传道授业解惑，所以插图中有两位老师通过各种方式，教年轻人计算机的各种应用。副小标题中写的是未来高等工程。配色上采用了经典的蓝紫色未来感、科技感的UI界面设计。

设计：SEEEKLAB（设计总监 田力）

## 参考文献

- [1] Firestone D. VFP: A virtual switch platform for host SDN in the public cloud[C]//USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI). 2017: 315-328.
- [2] Firestone D, Putnam A, Mundkur S, et al. Azure accelerated networking: SmartNICs in the public cloud[C]//15th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 18), Renton, WA. 2018.
- [3] Huawei released intelligent acceleration engine series to fuel enterprise applications with new speeds[OL]. <https://www.huawei.com/en/press-events/news/2018/10/intelligent-acceleration-engine-series>.
- [4] Luo L. Towards converged SmartNIC architecture for bare metal & public clouds. APNet 2018 Industry Talks. 2018
- [5] Mellanox Innovate™-2 Flex Open Programmable SmartNIC[OL]. [http://www.mellanox.com/page/products\\_dyn?product\\_family=276&mtag=programmable\\_adapter\\_cards\\_innova2flex](http://www.mellanox.com/page/products_dyn?product_family=276&mtag=programmable_adapter_cards_innova2flex), 2018.
- [6] Lu Y, Chen G, Li B, et al. Multi-Path Transport for RDMA in Datacenters[C]//15th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 18). USENIX Association, 2018.
- [7] Lu Y, Chen G, Ruan Z, et al. Memory efficient loss recovery for hardware-based transport in datacenter[C]// Proceedings of the First Asia-Pacific Workshop on Networking (APNet). ACM, 2017: 22-28.
- [8] Li B, Ruan Z, Xiao W, et al. KV-direct: High-performance in-memory key-value store with programmable NIC[C]// Proceedings of the 26th Symposium on Operating Systems Principles. ACM, 2017: 137-152.
- [9] Fowers J, Kim J Y, Burger D, et al. A scalable high-bandwidth architecture for lossless compression on fpgas[C]//2015 IEEE 23rd Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines(FCCM). IEEE, 2015: 52-59.

更多参考文献：<http://dl.ccf.org.cn/cccf/list>



## The CS David 专栏

CCCF 2019 年第 4 期

# 如何以计算的视角来思考

关键词：计算思维

“一月底的某一天，我于下午六点离开北京前往华盛顿，并于我启程前的十五分钟抵达华盛顿。”我想以此开始本期话题，它将聚焦计算思维这一主题，我将引述两件不同且相互抵触的故事。首先篇首的话使我回想起最近参加的CCF颁奖晚宴，我在晚宴上受到组织者的亲切招待。

第二件事是我离开北京飞往华盛顿。我的确是在周日晚上六点启程，并且在官方时间同一天的五点四十五分到达。如果暂时忘掉这种“时间收缩”是由人为的全球时区系统造成的这一事实，我们会使自己回想起中国古代哲学家惠子所提出的“历物十事”<sup>1</sup>。他用这些陈述来探索逻辑和语言的概念，这一哲学思想与本期的主题“计算思维”有关。

虽然很难将惠子的思想与构成计算思维的基础——分析哲学直接联系起来，但是这些观点或许已经被那些构建了计算基础的希腊哲学家们认识到。古希腊哲学家亚里士多德和欧几里德生活的时代比惠子晚 200 年，由他们的工作所开启的一系列思想最终孕育出现代计算机科学。这一系列的

思想归功于莱昂哈德·欧拉 (Leonard Euler)、查尔斯·巴贝奇 (Charles Babbage)、乔治·布尔 (George Boole)、库尔特·哥德尔 (Kurt Godel)、约翰·冯·诺伊曼 (John Von Neumann)、赫伯特·西蒙 (Herbert Simon, 又名司马贺)，以及许多其他学者。在某个时刻，我们或许需要探寻惠子和墨家是如何参与到其中的。

当我们讨论计算思维时为何要从哲学家开始？因为计算思维关注于教育，而这种教育并非出于培养计算机科学家或工程师的目的，而是为了启迪普罗大众。因此，我们从哲学——而不是从数学、工程或是逻辑学开始。其基本想法是，计算思维应该教会人们该如何更清晰地去思考这个由数字计算所创造的世界。这是一个令人敬佩的目标，而且毫无疑问，任何需要帮助朋友、上司或客户理解新型计算机系统的人都能够立即看出人们对于计算更深入的理解所带来的益处。

计算思维的概念通常认为是由周以真 (Jeannette Wing) 教授提出，她在计算机研究领域担任过

<sup>1</sup> 惠子（公元前 390 年～公元前 317 年），名施，战国中期宋国（今河南商丘）人。著名的政治家、哲学家，名家学派的开山鼻祖和主要代表人物。他的著作已经全部佚失，现在能见到的“历物十事”出自《庄子·天下》，是惠子提出的 10 个名辩命题，贯穿着“合同异”的哲学思想，含有辩证的因素，和后期墨家一样认为物质世界是由微小的不可再分割的物质粒子所构成。——编者注

多项重要职位，包括就职于美国国家科学基金会、卡耐基梅隆大学、微软研究院和哥伦比亚大学。2006年，她撰写了一篇题为《计算思维》的文章，这篇文章引发的讨论一直延续至今。（该论文可以在ACM数字资料库获得，DOI编号10.1145/1118178.1118215，该链接指向原文的多个翻译版本，包括一篇中文译文。）

关于该文章的大多数讨论关注于其中对计算的定义。由于大部分评论者来自计算机领域，他们大体上支持周的观点，即我们应该鼓励甚至要求人们学习计算思维。周将这一主题广义地归纳为一门基础课程——“计算机科学家该如何思考”。她列出了应该被包含在这门课程中的五项要点。首先，她认为这样的课程应当涉及那些不用编程的概念，应当关注计算机程序背后的概念而不是程序本身。如果想要树立计算在人类知识库中的核心地位，那么这将是一个合理的起点。

其次，周提出计算思维应当是基础性的，而不是刻板的。据此，她认为计算思维应该给学生提供工具，让他们能够对实际问题进行推理，而不是教他们一堆需要死记硬背的公式和术语。同样的，如果想要建立计算的核心地位，这将是另一个要点。

从以上两点出发，周引出了第三个令人略有些惊讶的观点。她声称计算思维是属于人类的，而非机器的思维方式；是关于人类如何构思和使用数字技术，而不是关于数字技术本身。这一点非常关键，因为生产或工业管理是计算的源头之一，而这往往被人们忽视。显然计算来源于数学，并受到了工程学根本性的影响。计算与生产之间的联系也是显而易见的，这种联系体现在使用工具的工作、生产货物或提供服务的劳动力等诸多共通要素上。然而，这一点在计算机课堂上鲜有讨论。

例如，巴贝奇在其关于生产的一本书中描述了他的第一台计算机器。这本名为《论机械和制造业的经济》(On the Economy of Machines and Manufactures) 的书于1831年出版。在书中巴贝奇非常清楚地看到计算和工厂生产之间的联系。他指出，计算可以被分割，就像体力工作可以被分

割那样。他还指出，专业化机器，即我们今天的计算机，能够替代工业工人。而计算的准备工作，巴贝奇写到，“像极了生产棉纺、丝织的熟练工，或是其他类似的工作。”

周的第四个观点是，计算思维是对数学和工程技巧的补充和融合。这一点展现了她思维的广度。如果我们研究一下规划或设计一项计算中的工程要素，将会发现它包括如下四个基本步骤：首先将问题抽象出来，并转化为计算机可以处理的符号集合。接着分析问题，将其拆分为若干个子问题。然后综合出一个问题的解，并以适合计算环境的方式集成这些元素。最后将解依照某种逻辑顺序进行重新排列。

这四个步骤经常是同步进行的，或至少是被安排在一个活动周期。我们对问题抽象、分析、合成和排序，然后重复这一过程。我们还需要额外的一个步骤，这一步稍稍超出了计算机或软件工程的范畴。我们需要发挥想象力，将问题的映射到现实世界中。当然，优秀的软件工程师已经培养出了这种想象力。他们可以预见到程序何时会偏离人类的经验，何时能提供令人惊讶的新见解。

最后，周提出了一个让我犹豫的观点。她认为计算思维应该是一种思想，而不是人造物，应该是普适的而非狭义的。一个根本性的原因让我为此感到担心。曾经有许多学术领域都为自己学科的教育提出过类似的目标。当担心其领域将在人们的心目中变得无关紧要时，人们通常会这样做。例如在美国，曾经有过一次名为“伟大书籍(The Great Books)”的名著阅读运动。它的支持者认为，每个人都应该研读一系列有关西方思想的经典读物。这项运动在20世纪30年代由芝加哥大学的校长法迪曼(Clifton Fadiman, 1904~1999)发起。他声称欧美社会的一切都蕴藏在这些书籍中，因此社会中的每个人都应该对其有所了解。那个时候学生们开始倾向于就读工程或者商科专业，因此在他推销“伟大书籍”计划时，学生们认为这些书几乎没有价值，无法引起他们的阅读兴趣。“伟大书籍”计划曾在美国短暂流行，但在其后的数年间逐渐式微。虽然

(下转第65页)

## CCCF 编委会换届

李建中任新主编

2019年4月9日，CCF 召开《中国计算机学会通讯》(CCCF) 编委会换届会议，从创刊到现在任职14年的主编李国杰教授 (CCF 名誉理事长) 将卸任，CCF 会士、哈尔滨工业大学教授李建中将接棒担任主编。

CCCF 2005 年创刊至今，李国杰教授一直担任刊物主编。他仔细审阅 CCCF 发表的每一篇文章，从立意和实践的创新程度、表达的严谨准确程度等高屋建瓴地提出意见和建议，迄今已写了 158 期评审意见。从 2015 年第 5 期开始，李主编每期写一篇《主编评语》，共写了 44 篇，每一篇都掷地有声、发人深省，从中可以看出他对问题本质的分析及鲜明的观点。过去的 14 年，在他的统领下，在各位编委的努力下，CCCF 不断发展，影响力越来越大，撰稿人越来越多，作者队伍达 2400 余人，现每月纸质版发行量约 28000 册，已成为 CCF 会员及众多业界人士必读和爱读的一本刊物。为感谢李国杰主编的卓越贡献，CCF 前任理事长郑纬民代表 CCF 理事长高文向李国杰颁发了感谢证书和感谢牌。李国杰主编和 CCF 秘书长杜子德也为退役编委颁发了感谢证书和感谢牌。



李国杰

## 中国计算机学会通讯》编委会工作会议



编委合影（前排左起：彭思龙、陈宝权、李建中、李国杰、郑纬民、袁晓如、卜佳俊；后排左起：杜子德、贾珈、张敏灵、王长波、李涛、张兴军、陈熙霖、包云岗、杨珉、王涛、胡春明、周庆国、宋国杰、俞扬、王井东、王斌、陈云霁）

CCF 理事长高文聘任李建中教授担任 CCCF 新主编。李建中是 CCF 会士、常务理事、物联网专委主任。他在 CCF 曾担任多种职务，长期服务于学会，是具有很高学术水平和很强志愿者精神的资深学者。2018 年被评为 CCF 杰出演讲者，2015 年获 CCF “王选奖”。他接棒 CCCF 主编，一定会把该刊办得更好，推向前进。CCF 名誉理事长李国杰、前任理事长郑纬民向李建中颁发聘书。李建中表示，CCCF 在李国杰主编领导及上一届编委的努力下，发表了很多有影响力的文章，CCCF 的文章质量和影响力已经达到非常高的高度。新一届编委一定会秉持“为读者办刊”的理念，发挥编委的学术优势和志愿者精神，邀请业内专家撰写更多高质量的文章，提升 CCCF 在会员心中的认可度。陈宝权、包云岗、王涛、胡春明、杜子德将分别担任新一届专题、专栏、动态、译文、学会论坛的栏目主编。

会议就 CCCF 的成功之处、存在的问题以及未来的发展进行了深入的研讨，提出了许多富有建设性的意见和建议。

CCF 前理事长郑纬民，CCCF 前任主编李国杰、新任主编李建中，CCF 秘书长杜子德，CCCF 前编委和新编委 30 余人参加会议，CCF 秘书长杜子德主持了会议。

#### 退役编委名单：

李国杰 钱德沛 袁晓如 陈熙霖 李向阳 廖小飞 王蕴红 郑 宇 彭思龙 徐 恪  
王长虎 唐 杰 鲍 捷 黄萱菁 蒋洪波 刘知远 宋国杰 卜佳俊 胡事民

(上接第 63 页)

在许多大学中都有该计划，但被它所吸引的学生数量却极为有限。

因此，我对计算思维持如下立场：我强烈支持其目标，并相信每个人都应该对计算技术如何运作，以及它对科学、商业、管理、教育和社会等诸多领域所产生的影响有所了解。同时，我非常担心关于计算思维的任何计划都会被那些害怕计算在教育中占据一席之地的人所领导。这些人可以轻松地建立一个这样的计划，旨在让学生欣赏计算机科学家所做的事情，而不是去帮助社会大众更清楚地了解数字交互。如果我们的策略遵循前人的模式，将会发现自己处于这样的境况：尽管计算已被确立为人类知识的核心，但它却依然游离于教育体系之外。

我认为这是未来 10~15 年计算机教育所面临的挑战。我们该如何构建一个课程体系来帮助人们更清晰地思考计算，而不仅仅去重申计算以及计算机

科学家的重要性。我们也许应该效仿惠子发展新的“历物十事”，促使人们去思考计算，以及由其引发的矛盾。或许可以从以下三点开始：

1. 何时程序将不再是编程？
2. 最大的程序永不停息；最小的程序从未开始。
3. 我的程序今天开始运行，但在昨天已经结束。

我想把剩下的部分留给读者来完成。希望计算思维的“历物十事”能有助于确立计算思维的中心地位，并展示如何向大众普及计算思维。 ■

#### 戴维·阿兰·格里尔 (David Alan Grier)

2018 CCF 杰出贡献奖获得者。电气与电子工程师协会计算机学会 (IEEE-CS) 前任主席、IEEE Fellow (会士)、*Computer* 杂志主编。乔治·华盛顿大学名誉教授，华盛顿特区 Djaghe LLC 公司技术总监。grier@gwu.edu

#### CCCF 特邀译者：

孙晓明 中国科学院计算技术研究所研究员



李建中

# 关于数据结构教材中一种常见说法的商榷

李晓明  
北京大学

关键词：数据结构 线性表

教育部在2017年底颁布了《普通高中信息技术课程标准》(简称“新课标”),并相应安排了6套教材的编写,供全国中学选用。我有幸参与了其中一套的编写工作,让我在过去一年多来有机会和一些中学信息技术课教师有较深入接触,有机会回过头来琢磨一下那些比较基础的术语和概念,也“逼迫”我学习了现在的热门语言Python,收获很大。这里想抛砖引玉,从教学的角度谈一点关于数据结构方面的观察与认识。

一个观察是,人们对数组、线性表、线性表的顺序存储实现(顺序表)、线性表的链接存储实现(链表),还有Python中的列表,尤其是它们之间的关系,普遍觉得比较“纠缠”,不好说清楚。例如,有人认为用一个形如 $[N, 2]$ 的数组来实现和演示链表操作是会让人困惑的,因为数组是实现顺序表的自然选择,是“连续存储空间”的代表,而链表是“不连续存储的”。但我却认为用一个 $N$ 行2列的数组来“模拟”实现一个含有 $N$ 个节点的链表,是理解了数据结构的基本概念之后就能自然理解的。

这是为什么呢?于是找来一些数据结构的教材,下面是相关摘录(下划线是我加的):

“线性表的顺序存储是最常用的存储方式,它直接将线性表的逻辑结构映射到存储结构上……,把线性表中的所有元素按照其逻辑顺序依次存储到从计算机存储器中指定位置开始的一块连续的存储空

间中。”

“顺序表……,它指的是‘用一组连续的内存单元依照线性表的逻辑顺序存放各个元素’”

“线性表……,用内存中的一段地址连续的空间顺序存放……每一个元素”

“线性表的顺序表示指的是用一组地址连续的存储单元依次存储线性表的数据元素”

“线性表的顺序存储是把线性表的各个数据元素依次存储在一组地址连续的存储单元中”

“把线性表中的所有元素按照其逻辑顺序依次存储在一块连续的存储空间中,就得到顺序表”

这些有错吗?应该没有。是最恰当地表达了线性表顺序存储的本质含义了吗?我现在认为不是。我觉得它们都过分强调了线性表的顺序实现的连续“物理存储”意象;相应的,一些教材也强调地指出链表实现的是不连续存储的观念。

如果这是在早年,数据结构只是计算机专业的专业基础课,与操作系统或编译原理等后续课程的学习相关联,学习的主要目的在于要用较低层的语言来实现那些结构,也许问题不大。但现在学习数据结构的学生更多的是在应用程序的层面讨论问题,除了理解一些数据结构的外在特点和应用场合外,还可能需要用手边的高级语言来实现某些数据结构,此时再强调“内存地址空间的连续性与否”就不一定合适了,容易造成困惑。

因此我建议,在介绍线性表的两种典型实现

方式时，应重点强调是否可以通过下标直接访问每一个元素这一区别。也就是说，从实现者的角度看顺序表，可以直接通过  $L[i]$  访问其所代表的线性表的第  $i$  个元素；链表实现，要访问第  $i$  个元素，只能先通过  $i \leftarrow L[i-1].next$  得到  $i$  才行。不用再提内存空间连续与否之类的说法，如果希望强调数据空间的连续性，也许可以考虑用“程序数据空间”的说法。

这样，在应用程序（高级语言）层面讨论数据结构的实现也就容易说通了。例如，数组不仅可以用来实现顺序表，也可以用来实现链表。这是因为，虽然数组意味着一块连续的“程序数据空间”，但一个线性表的元素也可能并不按其逻辑顺序依次存储在其中，而是通过一种链接关系将乱序的它们按序联系起来。其实，内存也是这样的，它本身是连续的空间，但不连续的链表可以存在于其中。与此相关的，在我们的教材中常有“逻辑的关系”和“物理实现”之类的表述。当我们在计算机领域工作多年后会理解，其中的“物理”大多数情况下并不是物理学意义上的物理，而是下一层次的逻辑。所以在教材中强调“物理”不利于让初学者从一开始正确体会“实现”的含义。

另外一个相关的问题是，对于哪些概念该算作数据类型，哪些该算作数据结构也令人费解。我想首先应该区分一下数据类型和数据结构，尽管它们紧密相关。有一天和北大研究程序语言的陈一峰老师谈过几句，他说数据类型主要是和程

序设计语言相关，而数据结构主要和算法相关。具体说到数组和字符串更适合算作哪类，他说算作数据类型较好。我对此认同，尽管它们也有些数据结构的味道，且在一些教材中是作为数据结构来介绍的。

现在看来，有些初学时就模棱两可的概念，虽然我们可能在后来的学习中会慢慢地自我澄清，但并不一定意味着那种模棱两可是不可避免的。如果最初就有比较透彻的辨析，那个在困扰中自我澄清的过程可能就不用了，从而有助于提高我们的学习效率。■

### 后记：

我为什么要写这样一个看起来小儿科的问题呢？除了我的确觉得有的教材在个别概念上强调的重点有些不利于有效教学外（或者说过去是合适的，而现在学习者群体变了，于是不很适合了），另一个原因是想听到在数据结构教学方面有经验的老师的回应，有不同的看法最好，利于加深认识。



李晓明

CCF 会士、杰出演讲者、2013 CCF 王选奖获得者。北京大学教授。主要研究方向为互联网信息处理、计算机系统结构。[lxm@pku.edu.cn](mailto:lxm@pku.edu.cn)

## CCF 上海交通大学学生分会成立

3月20日，中国计算机学会(CCF)上海交通大学学生分会成立，这是CCF在上海成立的第一个学生分会，也是在全国成立的第45个学生分会。出席本次成立大会的有CCF会士、上海交通大学教授过敏意，CCF学生分会工作组组长、西安电子科技大学教授苗启广，上海交通大学计算机系主任张丽清，同济大学计算机联合党总支副书记张砚秋。参加本次成立大会的还有同济大学学生代表谢英杰、华东师范大学学生代表胡铭、CCF上海交通大学学生会员和各学院学生代表。大会由CCF上海秘书长吴帆主持。范晓宁当选第一届执委会主席，吴帆任指导委员会主任。

CCF 推荐 A 类国际学术会议介绍

# AAAI 2019——在变革中创造历史

胡毅奇 庞振家  
南京大学

关键词：AAAI 人工智能 对抗机器学习 智能城市

中国猪年春节前，第 33 届国际人工智能大会 (Association for the Advancement of Artificial Intelligence, AAAI) 于 1 月 27 日至 2 月 1 日在夏威夷檀香山举行。在“AI 寒冬”流言再起之际，本届会议的氛围却在夏威夷温暖的气温中依旧高涨。

## 创造历史与变革

本届会议收到 7095 篇有效投稿，投稿量较去年增长了近 90%。巨大的投稿量对审稿的公平性和组织的有序性提出了极大的挑战。值得一提的是，南京大学的周志华教授担任程序委员会主席之一，他是 AAAI 有史以来第一位华人程序委员会主席。在程序委员会主席、89 位领域主席和 3450 位审稿人的共同努力下，1147 篇论文被录用，录用率仅为 16.2%，较去年降低了 30%。录用数量之大和录用率之低均创造了历史之最。

在数量庞大的论文的“狂轰乱炸”下，本届会议从审稿到组织上均发生了改变，保障了审稿过程的公平有序。从审稿人挑选待审论文开始，将往年每个审稿人均能看到所有论文的方式，改为每个审稿人仅能从与自己领域相关的约 150 篇论文中挑选，高级审稿人也只能看到 300 篇左右的论文，此变革有效避免了“熟人审熟人”现象的出现。本次会议还引入了更为严格的双盲审制度，不仅审稿人与投稿人互盲，而且对于同一篇论文，审稿人之间、审稿人和高级程序委员、审稿人和领域主席也均为互

盲。本届会议的拒稿流程也极其谨慎，只要高级程序员、领域主席和程序委员会主席中有一人对论文存在异议，则该论文都将交于他人重新评议。

从审稿意见上看，本次会议共收到 18191 条审稿意见，超过 95% 的论文至少收到三条审稿意见，平均每一条审稿意见有 1250.9 个词。其中有 3056 条审稿意见超过 2000 词，有 219 条审稿意见超过 5000 词，有 14 条审稿意见超过了 10000 词。

从投稿地区上看，中国的投稿数量共计 2419 篇，位居全球第一，在数量上几乎比第二名的美国（1280 篇）多出一倍。中国被录用的论文数量也是全球第一，共计 382 篇，比第二名的美国多出 114 篇，虽然中国论文的录用率（15.8%）要逊色于美国（20.6%）等其他国家，但是中国学者在 AI 领域的参与度创造了历史之最。

在会议组织上，也一改往年由大会决定论文展示方式的规定，而是根据论文作者的意愿决定展示方案，最终有 460 篇论文被选为口头报告展示，所有的论文均有墙报展示。

## 盛会热点

从投稿内容上看，机器学习、自然语言处理和计算机视觉占总投稿量的 61%、占总录取量的 59%，成为最火热的三大 AI 子领域（见图 1）。结合大会进程中学者讨论的内容，对抗学习和智能城市成为大家极其关注的热点。

## 对抗机器学习

近年来，对抗机器学习凭借其在诸多领域的广泛应用和出色表现，吸引了许多研究人员的注意，成为大会热点中的热点。生成对抗网络(GANs)的提出者、谷歌大脑的高级研究员伊恩·古德费洛(Ian Goodfellow)作了题为“Adversarial Machine Learning”的特邀报告，将对抗机器学习的讨论推向了高潮。

与传统的机器学习问题仅将一个损失函数最小化不同的是，对抗学习的目标是将对手的最大奖赏最小化。此种情境在很多学习问题中均有出现，古德费洛等人提出的生成式模型就是一个很好的例子。在生成式模型中，生成器被用于产生假的样本，判别器的任务是将假的样本分辨出来。生成器的目标是生成尽可能迷惑判别器的样本，判别器的目标是尽可能将生成的样本与真实样本区分开，两者构成了一组对抗的学习模式。随着生成器和判别器相互迭代的训练，它们的能力均被增强。最终，生成器生成的样本足以以假乱真。古德费洛在特邀报告中指出，这样的技术已经广泛用于图片及视频的风格迁移、姿态提取、特征替换等方面的工作，生成的图像清晰度和逼真程度都远远超越了之前所有的方法，未来的应用前景十分广阔。

近期机器学习算法的安全性和鲁棒性也受到研究者的极大关注。例如，对一张置信度超过50%的熊猫照片，稍微加入一些肉眼无法察觉的噪声，即可让已经训练好的分类器模型以99%的概率错判为长臂猿。类似这样的情况在许多模型中都会存在，这就使得如何提高模型的安全性成为一个非常重要的研究方向。古德费洛在特邀报告中指出，对抗机器学习的技术能够为提高学习算法的鲁棒性和安全性发挥关键作用。同生成式模型的思想，既然模型不够安全，那么就使用生成器产生出最容易让模型犯错的噪声。判别器则为模型本身判别带噪音的样本和真实样本。通过不断地迭代训练，模型的安全性或者鲁棒性将会得到极大的提高。

对抗学习的广泛使用得益于如今很多现实的机器学习场景天然的对抗模式，如生成式模型的生成器和判别器设定，对抗博弈问题中的对手设定等。对抗学习的对抗机制合理地引入自监督信息，很好地解决了监督学习问题中标记样本不足的问题，使得大量无监督样本能够被学习器利用，提高了样本的利用率，从而使学习器获得更好的效果。

## 智慧城市

城市的高速发展使我们的生活变得更加美好，但

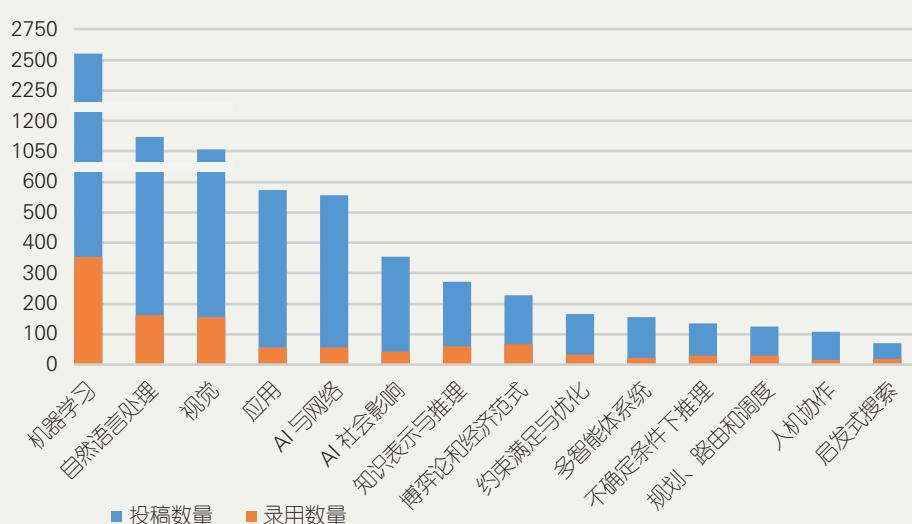


图1 AAAI 2019各子领域稿件统计

表1 大会部分获奖论文

奖项名称	获奖论文	获奖人	获奖理由
最佳论文	How to Combine Tree-Search Methods in Reinforcement Learning	以色列理工学院和法国国家信息与自动化研究所 Yonathan 等人	质疑了当前树搜索方法的有效性，认为其收敛性难以得到保证，因此提出另一种更加有效易用的方法，使用最优树路径的返回值来备份根节点后代的值
最佳论文提名	Solving Imperfect-Information Games via Discounted Regret Minimization	卡耐基梅隆大学 Noam 等人	引入了一种新的 CFR 变体来解决不完全信息条件下的博弈策略问题
最佳学生论文	Zero Shot Learning for Code Education: Rubric Sampling with Deep Learning Inference	斯坦福大学 Mike Wu 等人	提出使用 Rubric sampling 的方法来解决“零样本”反馈的挑战。最终结果表明该方法能够为第一批学生的入门编程作业提供自主反馈，其准确性超越大多数依赖大量数据的算法，甚至接近人类水平
经典论文	Content-Boosted Collaborative Filtering for Improved Recommendations	Prem Melville 等人	2002 年发表，论文展示了一种方法，补充并改进了基于内容的协同过滤推荐算法

同时也带来了交通拥挤、能源消耗、空气污染等问题。由于这些问题的高度耦合性，使得问题很难得到根治。如今成熟的云计算技术、多样的海量数据以及有效的机器学习算法使得解决这些问题成为了可能，智能城市也成为近年来的热点话题之一。

本届会议上，京东集团的郑宇教授在题为“Urban Computing: Building Intelligent Cities Using Big Data and AI”的报告中提出使用四层架构构建智慧城市，即城市感知、城市数据存储、城市数据分析、服务供给。这四层架构不是相互独立的，而是形成闭环，即通过数据分析完成城市升级后，仍然能够不断地收集数据，为城市提供后续改进方案。

他用数个例子说明四层架构在智能城市建设中起到的重要作用。例如，通过分析共享单车的轨迹数据来检测机动车的违章停车。因为自行车在正常行驶中通常是一条直线，而当有违章停车时，自行车就会产生绕行的轨迹。这些轨迹数据在同一时间同一地点反复出现时，则极有可能有违章停车行为的存在。此种检测看似简单，但是需要四层架构配合才能产生最终的效果。在城市感知层，通过共享单车所携带的传感器获取行车轨迹信息，然后对存储的信息进行分析，发现疑似违章停车行为，反馈给有关部门进行整治。此类技术的大规模使用将大量减少城市中的违章停车现象。

## 大会奖项

本届会议颁发了最佳论文奖、最佳论文提名奖、最佳学生论文奖、经典论文奖等奖项，部分内容见表1。

## 展望

本届 AAAI 创造纪录的投稿数量注定了此次大会的不平凡，AI 持续火热的态势吸引着越来越多的学者。不仅仅是 AI 学者，其他领域的学者也在对 AI 及其交叉领域的发展作出贡献。大会的热点也从单纯的 AI 技术推进到产业落地，使用 AI 技术改善人们的生活是 AI 最终的落地点。 ■



胡毅奇

南京大学博士研究生。主要研究方向为机器学习、自动机器学习、非梯度优化。  
huyq@lamda.nju.edu.cn



庞振家

南京大学硕士研究生。主要研究方向为机器学习、强化学习。  
pangzj@lamda.nju.edu.cn

CCF 推荐 B 类国际学术会议介绍

# WSDM 2019——互联网搜索与 数据挖掘领域的学术盛会

关键词：信息检索 数据挖掘 WSDM

张俊祺 吴之璟 陈 冲 等  
清华大学

第 12 届国际互联网搜索与数据挖掘会议 (The 12th ACM International Conference on Web Search and Data Mining, WSDM 2019) 于 2019 年 2 月 11~15 日在澳大利亚墨尔本召开。WSDM 是 CCF 推荐的 B 类国际学术会议，由 SIGIR、SIGKDD、SIGMOD 和 SIGWEB 四个专委会协调筹办，在互联网搜索、数据挖掘领域享有较高学术声誉。这次会议共收到来自 43 个国家的 511 篇长文投稿，其中华人的投稿量接近总量的三分之一，体现了华人学者在相关领域的投入与贡献。本次会议的论文录用率为 16.4%。

今年的会议报告依然延续了自 2012 年起的单轨模式，即所有报告在一个会场进行，这也是 WSDM 的一个标志。报告分为长报告（15 分钟）和短报告

（5 分钟）两种。每篇论文均有充裕的时间进行海报展示，方便与会人员与作者进行深入交流。

## 研究热点

知识图谱和隐私保护是今年大会的两大热点。

### 知识图谱

知识图谱是谷歌在 2012 年提出来的概念，主要描述真实世界中实体的属性和它们之间的关联关系，可以由<实体，关系，实体>三元组表示，其强大的知识表示能力，在信息检索、推荐、社交网络中得到了广泛的应用。本次大会中，知识图谱是





图1 WSDM 2019 主题报告专家

(从左到右依次为 Jaime Teevan、Rohit Prasd、Alekasandra Korolova、Maarten de Rijke、H.V. Jagadish )

一个热门的研讨方向，录取的论文中有 12 篇是关于这个主题。其中，来自伊利诺伊大学香槟分校和南加州大学团队的文章 “Integrating Local Context and Global Cohesiveness for Open Information Extraction” 研究了如何利用局部和全局信息提取大规模文本数据集中实体之间的关系，这是文本理解领域的一个基础而重要的任务。

在社交网络方面，同样的兴趣爱好可能会形成一个隐性的“社交团体”。例如，推特中对于相同内容的转发、点赞行为，论文发表中作者之间的合作关系，论坛上不同帖子下的讨论，都可以用来发掘用户之间的社交关系。来自美国莱特州立大学和莱特州立研究所的团队在论文 “Knowledge Graph Enhanced Community Detection and Characterization” 中研究了如何结合来自多个不同知识领域的实体概念图谱来挖掘和描述复杂网络中的“社交团体”。

## 隐私保护

互联网的发展为社会生活带来极大便利的同时，对用户的隐私保护也带来了挑战。如何保护用户隐私是本次会议的一个讨论热点。在论文 “Enabling Privacy-Preserving Sharing of Genomic Data for GWASs in Decentralized Networks” 中，来自澳大利亚昆士兰大学的团队提出了一个分布式安全网络方案，通过建立隐私保护共享协议，满足大规模人类基因数据的共享需求。美国亚利桑那州立大学的研究团队在论文 “Protecting User Privacy: An Approach for Untraceable Web Browsing History and Unambiguous User Profiles”

中提出了一个网络浏览历史匿名化的方案，在保护用户隐私数据的同时，利用用户的浏览历史来提供更高质量的网络服务，在用户数据的可用性和隐私保护之间达到了较好的平衡。可以预见，随着网络用户增长和网络服务的多样化，用户隐私数据的保护将变得越来越重要，这将是一个很有价值的研究方向。

## 主题报告

本届大会共邀请了五位来自学术界和工业界的知名学者做主题报告（见图1）。

蒂文 (Jaime Teevan) 是微软系统与设备研究组的首席科学家。她作了题为“专注于重要事务”的报告。在线上服务越来越智能化的今天，人工智能带来的便利使得人们的注意力很容易被分散，时间碎片化现象也因此产生。随着人们越来越多地在线上处理重要的工作，利用机器智能帮助人们专注于重要事务，而不被分散注意力将是未来值得关注的一个领域。

普拉斯德 (Rohit Prasd) 是亚马逊智能语音助手 Alexa 研究团队的副主席和科学家。在题为 “Alexa 无处不在：使用人工智能方便日常生活”的报告中，普拉斯德分享了亚马逊智能语音助手的最新研究进展，也介绍了现阶段智能语音助手在实际应用中面临的挑战，以及对未来生活中如何驱动人工智能完善语音助手的思考。

科洛洛娃 (Aleksandra Korolova) 是南加州大学计算机科学系的助理教授，她长期致力于研究数据驱动下的创新与隐私公平性保护课题。她带来了主题为“隐

私保护下的互联网搜索与数据挖掘”的报告。从用户数据中进行学习和保护用户隐私经常被认为是相互矛盾的，但科洛洛娃从另一个视角，阐述了在许多上下文环境下，可证明的隐私保证能够有助于更好地进行网络搜索和数据挖掘。

里克 (Maarten de Rijke) 是阿姆斯特丹大学信息学院的教授，荷兰皇家艺术与科学院院士。他带来了题为“强化学习排序”的报告。在报告中，他通过回顾几个使用强化学习优化搜索、推荐和对话的工作，介绍了强化学习适用的场景及建模的方式。同时也分享了强化学习应用于搜索和推荐面临的挑战和值得关注的未来工作，包括在公平性、透明性方面的思考。

贾加迪什 (H. V. Jagadish) 是密歇根大学电子与计算机科学系的教授。他带来了主题为“负责的数据科学”的报告。在研发数据科学和人工智能技术时，应当兼顾公平性、可靠性、透明性和伦理方面的要求。虽然这一论断被多次提到，在大多数情况下技术领域只在决策制定算法上考虑这些要求。报告者展示了在技术研究的多个阶段考虑上述要求的重要性，而不仅仅是决策制定阶段，同时回顾了近期在这方面做出的代表性工作。

## 展望

通过对本次会议录用论文的分析，可以发现“自

编码器”“表示学习”“A/B 检测”已成为热门的研究话题，“虚假新闻的研究”成为一个新兴的研究领域。随着互联网数据的爆炸式增长，如何对大数据进行挖掘和分析变得格外重要。深度学习领域的一些方法在数据处理中得到了越来越多的应用，这使得海量互联网信息的理解与提取变为可能。虚假、低质量信息的自动检测可以使得用户的信息获取过程更加高效，可以看作是互联网数据的“过滤器”，也将是未来学术界和工业界关注的一个研究方向。 ■



**张俊祺**

CCF 学生会员。清华大学博士研究生。  
主要研究方向为多模态信息检索。  
zhangjq17@mails.tsinghua.edu.cn



**吴之璟**

CCF 学生会员。清华大学博士研究生。  
主要研究方向为搜索引擎用户行为分析。  
wuzhijing.joyce@gmail.com



**陈冲**

清华大学博士研究生。主要研究方向为基于深度学习的个性化推荐、社交行为分析、用户兴趣挖掘等。  
cc17@mails.tsinghua.edu.cn

其他作者：谢晓晖 毛佳昕 刘奕群 张敏

## CCF 会员活动中心动态

**CCF 福州** 2月23日，CCF 福州“智慧城市建设，数据安全先行”学术报告会在福建师范大学举办。本次报告会邀请了复旦大学教授张新鹏，西安电子科技大学教授陈晓峰，武汉大学教授王骞进行学术交流。来自福州地区各高校的师生、企业等60多人参加了此次报告会。

**CCF 苏州** 3月1日，CCF 苏州于西交利物浦国际会议中心举办了“第一届人工智能嵌入式机器视觉技术论坛”。200多名会员参加。

3月15日，CCF 苏州在苏州大学举办了以“人工智能与大数据专业建设及人才培养”为主题的第五届苏州市计算机院长论坛。本次论坛得到了苏州市计算机学会、苏州大学应用技术学院、中科曙光、CCF YOCSEF 苏州等单位的支持。

## 新技术 & 新应用

### 我国科学家实现 Pbit/s 级光传输

从中国信息通信科技集团获悉，我国光通信技术再次取得突破性进展，实现了 1.06Pbit/s 超大容量单模多芯光纤光传输系统实验，传输容量是目前商用单模光纤传输系统最大容量的 10 倍，可以在 1 秒之内传输约 130 块 1TB 硬盘所存储的数据。

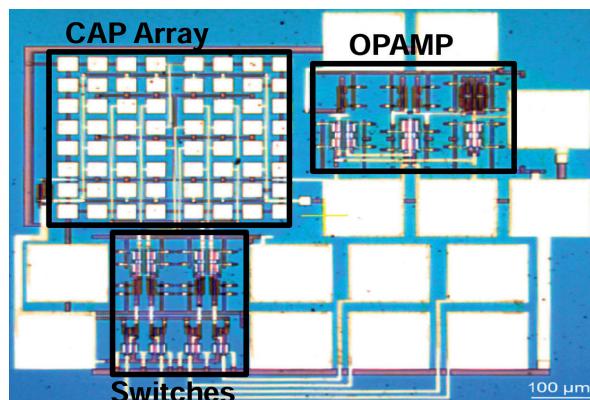
该实验采用了国内在光传输系统技术、光器件和光芯片技术、光纤光缆技术上领先的研究成果，

所使用的核心光芯片和光纤均为自主研制，具有完全自主知识产权。其中，硅光相干收发芯片在面积不到 30 平方毫米的芯片上集成了包括光发送、调制、接收等近 60 个有源和无源光元件，且能支持 C+L 波段同时工作。此技术解决了单模 19 芯光纤的通道间串扰难题，相邻纤芯的隔离度优于 -40dB，把通道之间的干扰和影响降到了最低。

### MIT 开发出碳纳米管混合信号集成电路

今年 2 月，麻省理工学院研究人员宣布利用“电阻式随机存取存储器 (RRAM) 和碳纳米管场效应晶体管 (CNFET) 的自我修复模拟 (SHARC)”工艺去除了模拟电路中的金属纳米管，开发出了首个碳纳米管混合信号集成电路。

SHARC 工艺首先构建逻辑电路所需的相同类型的碳纳米管场效应晶体管，这些碳纳米管由半导体纳米管和金属纳米管组成，水平排列在源极和漏极之间；其次将源极分解为三个部分，在每个源级顶部集成一个 RRAM；然后通过在由 RRAM 和碳纳米管组成的电路上施加电压，使得包含金属纳米管的电路出现短路，相连的 RRAM 呈现出高阻态，有效地切断了包含金属纳米管的电路。因此，当晶体管用于实际电路时，只有半导体碳纳米管通路起作用。



利用这种工艺，研究人员构建了两个混合信号电路：一个 4 位数模转换器和一个 4 位模数转换器。后者包括 306 个 CNFET，是迄今为止报道的最大的 CMOS 碳纳米管电路。

### IBM 新研究：两种量子算法解决分类问题

3 月 13 日，IBM 在 *Nature* 发表了一篇题为“Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces”的论文。研究人员探索了机器学习与量子计算间的联系，展示了如何基于现有的量子计算机理论从数据中学习，即如何将数据映射到只存在量子态的空间中，实现监督式学习。

机器学习中的核方法被广泛用于模式识别，其

中支持向量机 (SVM) 是用来解决分类问题的方法。然而，当特征空间变大，核函数的计算量变大时，这一方法就有很大的局限性。在该论文中，研究人员提出两种新方法，并在超导处理器上进行了实验。这两种方法都是用量子态来表示分类问题的特征空间，利用量子希尔伯特空间的大维数来解决分类问题。一种方法是量子变分分类器，通过使用变分量

子电路 (variational quantum circuit) 对训练集进行分类，与传统的支持向量机相似。另一种是量子核估计

(quantum kernel estimator)，直接利用量子计算机估计核函数并优化分类器。

## 谷歌、DeepMind 重磅推出 PlaNet

Google AI 与 DeepMind 合作推出深度规划网络 (PlaNet)，这是一个纯粹基于模型的智能体，能从图像输入中学习世界模型，完成多项规划任务，将数据效率平均提升 50 倍，是强化学习又一突破。

PlaNet 是在给定图像输入的前提下学习动态模型，并通过该模型进行高效规划，从而积累新的经验。相较于过去基于图像进行规划的方法，PlaNet 依靠的是一个紧凑的隐藏或潜在状态序列，称为潜在动态模型。该模型并非直接从一张图像预测到下

一张图像，而是预测未来的潜在状态。之后，模型会从相应的潜在状态中生成每一步的图像与奖励。通过这种方式压缩图像，智能体能够自动学习更多抽象表征（如物体的位置和速度），无须全程生成图像便可更轻松地预测未来的状态。相较于先前对世界模型的研究，PlaNet 不需要策略网络即可运作，因为它完全通过规划来选择动作，所以可立即从模型改进中受益。

## DARPA 拟利用中型量子器件解决复杂优化问题

2 月 27 日，美国国防部高级研究计划署 (DARPA) 启动“噪声中尺度量子设备优化”(ONISQ) 项目，以在全容错量子计算机出现前对量子信息处理进行研究。

量子设备的性能和可靠性取决于基础量子态保持相干的时长。然而通常情况下，量子比特的相干时间极为短暂，很难进行任何有意义的计算。ONISQ 项目将采用一种混合理念，即将中尺度量子设备与经典计算系统结合起来，解决组合优化这类具有挑战性的问题。该项目试图展示量子信息处理在解决

优化问题方面，有着远超经典系统的定量优势。

ONISQ 项目将致力于开发可扩展至数百或数千个量子比特，且具有更长的相干时间和更好的噪声控制的量子系统。研究人员还需要在噪声中尺度量子设备上有效实施量子优化算法，并优化量子计算和经典计算资源的配置。同时，基准测试也是该项目的一部分，研究人员将对经典方案和量子方案进行定量比较。此外，该项目将识别量子信息处理可能发挥最大作用的各类组合优化问题。

## 美国正式启动人工智能计划

根据白宫科技政策办公室披露的信息，美国“人工智能计划”将集中联邦资源发展人工智能。联邦政府将具体从五大重点方向入手：(1) 投资人工智能研发。优先考虑人工智能研发领域的投资，以保持美国在高回报、基础性人工智能研发的中长期强势。(2) 释放人工智能资源。指导各机构向美国人工智能研发专家、研究人员和行业，提供更多的联邦数据、模型和计算资源。(3) 制定人工智能治理标准。为不同类型的技术和工业部门的人工智能设计指导原则

和技术标准，以促进公众对人工智能系统的信任。(4) 构建人工智能劳动力。设置奖学金和培训计划，帮助工人通过学徒制、技能计划、奖学金以及计算机科学教育等方式获得人工智能相关技能。(5) 国际参与及保护美国的人工智能优势。致力于打造一个支持人工智能研发的国际环境，为美国人工智能产业打开市场，同时确保技术的发展符合美国的价值观和利益。■

(本栏目内容由动态栏目编委鲍捷提供整理)

# 计算机体系结构将迎来黄金时代\*

作者: 约翰·轩尼诗 (John Hennessy)  
戴维·帕特森 (David Patterson)  
译者: 新智元

领域特定的硬件、安全增强、开放指令集及灵活的芯片开发创新将使计算机体系结构的发展进入一个新的黄金时代。

软件通过指令集架构 (Instruction Set Architecture, ISA) 实现与硬件交互。在 20 世纪 60 年代初, IBM 共推出了四个彼此不兼容的计算机系列, 每个系列都有自己的 ISA、软件栈和 I/O 系统, 分别针对小型企业、大型企业、科研单位和实时运算。IBM 的工程师们, 包括 ACM 图灵奖得主弗雷德·布鲁克斯 (Fred Brooks) 在内, 都认为能够创建一套新的 ISA, 将这四套 ISA 有效统一起来。

这需要一套技术解决方案, 让数据位宽 (bit-width) 为 8 位的廉价计算机和位宽为 64 位的昂贵计算机可以共享一个 ISA。此外, 计



算机设计人员共同面临的另一个挑战是处理器的控制硬件。受软件编程设计的启发, 计算机先驱人物、

\* 本文译自 *Communication of the ACM*, “A New Golden Age for Computer Architecture”, 2019, 62(2): 48~60, 有删节。

2018 年 6 月, 计算机架构领域两位巨星级人物约翰·轩尼诗 (John Hennessy) 与戴维·帕特森 (David Patterson) 在图灵奖颁奖典礼上发表了题为“计算机体系结构的新黄金时代” (A New Golden Age for computer Architecture) 的演讲<sup>[1]</sup>, 两人回顾了自 20 世纪 60 年代以来计算机体系结构的发展历史, 并展望人工智能为计算机架构设计所带来的新挑战和新机遇, 认为计算机体系结构领域将迎来又一个黄金十年。与 20 世纪 80 年代他们做研究时一样, 新的架构设计将会带来更低的成本, 更优的能耗、安全和性能。本文在图灵演讲的基础之上进一步完善思想, 并用文字将他们的洞见更加清晰地呈现。

图灵奖获得者莫里斯·威尔克斯 (Maurice Wilkes) 提出了简化控制器的思路。控制器被指定为一个二维数组，他称之为“控制存储 (control store)”。数组的每一列对应一条控制线，每一行对应一条微指令，写微指令的操作称为微编程<sup>[39]</sup>。控制存储包含使用微指令编写的 ISA 解释器，因此执行一个传统指令需要多个微指令完成。控制存储通过内存实现，这比使用逻辑门的成本要低得多。

表 1 列出了 IBM 于 1964 年 4 月 7 日发布的采用 System/360 指令集的四种型号计算机。四种型号之间数据位宽相差 8 倍，内存容量相差 16 倍，时钟频率相差近 4 倍，而性能相差 50 倍，其中 M65 具有最大的控制存储空间和更复杂的控制线，价格也更加昂贵。而成本最低的机型 M30 控制硬件简单，控制存储空间最小，但由于需要更多的时钟周期来执行系统指令，因此需要更多的微指令。

通过微程序设计，IBM 认为新的 ISA 将能够彻底改变计算行业，赢得未来。IBM 统治了当时的计算机市场，55 年前诞生的 IBM 大型机，其后代产品现在每年仍能为 IBM 带来 100 亿美元的收入。

现在看来，尽管市场对技术问题做出的评判还不够完善，但由于硬件系统架构与商用计算机之间的密切联系，市场最终成为计算机体系结构创新是否成功的关键性因素，这些创新往往需要工程人员的大量投入。

**集成电路, CISC, 432, 8086, IBM PC。**  
当计算机开始使用集成电路时，摩尔定律就意味着

表 1 IBM System/360 家族的四个计算机型号 (IPS:

型号	M30	M40	M50	M65
数据位宽	8 bits	16 bits	32 bits	64 bits
控制存储大小	4k×50	4k×52	2.75k×85	2.75k×87
时钟频率	1.3 MHz(750 ns)	1.6 MHz(625 ns)	2 MHz(500 ns)	5 MHz(200 ns)
内存容量	8~64KiB	16~256KiB	64~512KiB	128~1,024KiB
商业计算性能	29,000 IPS	75,000IPS	169,000IPS	567,000IPS
科学计算性能	10,200 IPS	40,000IPS	133,000IPS	563,000IPS
价格(1964年,美元)	\$192,000	\$216,000	\$460,000	\$1,080,000
价格(2018年,美元)	\$1,560,000	\$1,760,000	\$3,720,000	\$8,720,000

控制存储可以变得更大。而更大的控制存储可以承载更复杂的 ISA。1977 年，数字设备公司 (Digital Equipment Corp.) 发布的 VAX-11/780 机型的控制存储大小达到 5120 字×96 位，而其之前的型号仅为 256 字×56 位。

一些制造商选择让选定的客户添加名为“可写控制存储 (Writable Control Store, WCS)” 的自定义功能来进行微程序设计。最著名的 WCS 计算机是 Alto<sup>[36]</sup>，由图灵奖获得者查克·撒克 (Chuck Thacker)、巴特勒·兰普森 (Butler Lampson) 以及他们的同事于 1973 年为 Xerox Palo Alto 研究中心设计制造。它是第一台使用位映射显示器 (bit-mapped display) 和局域以太网的个人计算机，支持新显示器和网络的设备控制器就是存储在 4096 字×32 位 WCS 中的微程序。

微处理器在 20 世纪 70 年代仍处于 8 位时代 (如英特尔的 8080 处理器)，主要采用汇编语言编程。设计师们通过不断加入新的指令来超越竞争对手。

戈登·摩尔 (Gordon Moore) 认为英特尔的下一代指令集架构将能够延续英特尔的生命，他聘请了大批聪明的计算机科学博士，将他们送到波特兰的一个新工厂，以打造下一个伟大的指令集架构。英特尔最初推出的 8800 处理器是一个雄心勃勃的计算机架构项目，它具有 32 位寻址能力、面向对象的体系结构、可变长指令，以及用当时新的编程语言 Ada 编写的操作系统。

这个雄心勃勃的项目迟迟不能推出，迫使英特尔紧急改变计划，于 1979 年推出一款 16 位微处理器。英特尔留给新团队仅 52 周的时间来开发新的“8086”指令集并设计芯片。由于时间紧迫，设计 ISA 部分仅花了 3 周时间，主要是将 8 位寄存器和 8080 的指令集扩展到了 16 位。团队最终按计划完成了 8086 的设计，但产品发布后几乎没有大张旗鼓的宣传。

英特尔很走运，当时 IBM

正在开发一款旨在与 Apple II 竞争的个人计算机，需要 16 位微处理器。IBM 一度对摩托罗拉的 68000 型感兴趣，它拥有类似于 IBM 360 的指令集架构，但在设计上要落后很多。因此，IBM 转而使用英特尔 8086 的 8 位总线版本处理器，并于 1981 年 8 月 12 日宣布推出该机型，预计到 1986 年能够卖出 25 万台。结果最终该机型在全球卖出了 1 亿台，未来前景一片光明。

英特尔的 8800 项目更名为 iAPX-432，最终于 1981 年发布，但它需要多个芯片，并且存在严重的性能问题。该项目在 1986 年终止，此前一年，英特尔将寄存器从 16 位扩展到 32 位，在 80386 芯片中扩展了 8086 指令集架构。摩尔的预测是正确的，这个指令集确实和英特尔一直存活下来，但市场却选择了 80386，而不是英特尔寄予厚望的 iAPX-432，这对摩托罗拉 68000 和 iAPX-432 的架构师来说，都是个现实的教训，市场永远是没有耐心的。

**从复杂指令集计算机到精简指令集计算机。**20 世纪 80 年代初，研究者对使用大型控制存储中的微程序的复杂指令集计算机 (Complex Instruction Set Computers, CISC) 进行过几次调查。Unix 的广泛应用也证明了连操作系统都可以使用高级语言编写，所以关键问题就变成了“编译器会生成什么指令”而不是“程序员能使用什么汇编语言”，这极大地改善了软硬件的交互界面，为体系结构创新创造了机会。

图灵奖获得者约翰·科克 (John Cocke) 和他的同事为小型计算机开发了更简单的指令集架构和编译器。作为一项实验，他们重新确定了研究目标，即编译器只使用 IBM 360 指令集中的简单寄存器 - 寄存器操作指令和加载 / 存储数据指令。他们发现，使用这一指令子集的程序运行速度提高了三倍。埃默 (Emer) 和克拉克 (Clark)<sup>[6]</sup> 发现，20% 的 VAX 指令需要 60% 的微程序，仅占执行时间的 0.2%。戴维·帕特森发现，如果微处理器制造商要遵循大型计算机的 CISC 指令集设计，就需要一种方法来修复微代码错误。帕特森就此问题写了一篇论文<sup>[31]</sup>，但被 *Computer* 期刊拒稿。审稿人认为构建这样复

杂的 ISA 且支持在线错误修复的微处理是一个糟糕的想法，因为这需要在现场进行修复。这引发了对 CISC 价值的疑问。具有讽刺意味的是，现代 CISC 微处理器确实包含微代码修复机制。这篇论文被拒引发的另一个结果是，激励了帕特森着手研究复杂度较低的指令集架构——精简指令集，以及使用精简指令集的计算机 (Reduced Instruction Set Computers, RISC)。

编程人员由汇编语言向高级语言的转变，为 CISC 向 RISC 的过渡创造了条件。首先，RISC 指令经过简化，不再需要微程序解释器。RISC 指令通常与微指令一样简单，硬件能够直接执行；其次，以前用于 CISC ISA 微程序解释器的快速存储器被重新用作 RISC 指令集的高速缓存；第三，基于格里高里·蔡廷 (Gregory Chaitin) 的图着色方案的寄存器分配方法，使编译器能够更高效地使用寄存器<sup>[3]</sup>；最后，摩尔定律意味着在 20 世纪 80 年代能够诞生有足够数量晶体管的芯片，可以容纳一个完整的 32 位宽的指令集和数据高速缓存。

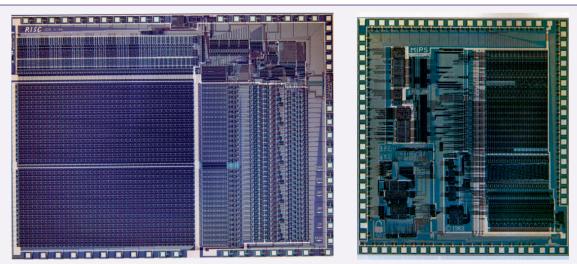


图 1 加州大学伯克利分校的 RISC-I 微处理器 (1982) 和斯坦福大学的 MIPS 微处理器 (1983)

图 1 是加州大学伯克利分校和斯坦福大学分别在 1982 年和 1983 年开发的 RISC-I<sup>[8]</sup> 和 MIPS<sup>[12]</sup> 微处理器，体现了 RISC 的优点，并发表于 1984 年的 IEEE 固态电路国际会议上<sup>[33, 35]</sup>。这是一个了不起的时刻，伯克利和斯坦福的一些研究生也可以构建微处理器了，甚至比行业内的产品更为优秀。

这些由学术机构研发的芯片，激励了许多企业开始发力 RISC 微处理器的研发，并成为此后 15 年中发展最快的领域。其原因是处理器的性能公式：程序执行时间 = 程序的指令数 × 指令所占用的平均

时钟周期 × 每个时钟周期所用时间

DEC 公司的工程师后来表明<sup>[2]</sup>，更复杂的 CISC 指令集每个程序执行的指令数大约为 RISC 的 75%，不过在类似的技术下，CISC 的每个指令执行时间约为五到六个时钟周期，使 RISC 微处理器的运算速度达到 CISC 的大约 4 倍。

在 20 世纪 80 年代，这些内容还没有进入计算机体系结构的教科书中。我们在 1989 年编写了《计算机体系结构：量化研究方法》(Computer Architecture: A Quantitative Approach)<sup>[13]</sup> 一书，主题是使用度量和基准测试来对计算机架构进行量化评估，而不是像过去一样简单依赖于架构师的直觉和经验。我们使用的定量方法也得益于图灵奖得主高德纳 (Donald Knuth) 关于算法的著作内容的启发<sup>[20]</sup>。

**VLIW, EPIC, Itanium。** 指令集架构的下一次创新试图同时惠及 RISC 和 CISC，即超长指令字 (Very Long Instruction Word, VLIW)<sup>[7]</sup> 和显式并行指令计算机 (Explicitly Parallel Instruction Computer, EPIC) 的诞生。这两项发明由英特尔和惠普共同命名，在每条指令中使用捆绑在一起的多个独立操作的宽指令。VLIW 和 EPIC 的拥护者认为，如果用一条指令可以指定六个独立的操作——两次数据传输、两次整数操作和两次浮点操作，编译器技术可以有效地将这些操作分配到六个指令槽中，硬件架构就可以变得更简单。与 RISC 方法一样，VLIW 和 EPIC 的目的也是将复杂的工作从硬件转移到编译器上。

英特尔和惠普合作设计了一款基于 EPIC 理念的 64 位处理器 Itanium (安腾)，想用其取代 32 位 x86 处理器并对其抱了很高的期望，但实际情况与他们的预期并不相符。虽然 EPIC 方法适用于高度结构化的浮点程序，但在应对整型程序时，因为具有更加难以预测的缓存访问或分支结构而难以实现高性能。正如高德纳后来所指出的那样：“Itanium 的思想非常棒，但事实证明满足这种设想的编译器基本上不可能写出来”<sup>[21]</sup>。从市场上看，最终 64 位版本的 x86 成为 32 位 x86 的继承者，没有轮到 Itanium。但 VLIW 在数字信号处理这类程序小巧、结构分支简单、不提供缓存的应用场景中仍留有一席之地。

## PC 和后 PC 时代的 RISC 与 CISC

AMD 和英特尔利用 500 人的设计团队和先进的半导体技术，缩小了 x86 和 RISC 之间的性能差距。同样，受到流水线简单指令和复杂指令性能优势的启发，指令解码器在运行中将复杂的 x86 指令转换成类似 RISC 的内部微指令。AMD 和英特尔随后将 RISC 微指令的执行流程化。RISC 的设计人员为了性能所提出的任何想法（例如隔离指令和数据缓存、片上二级缓存、深度流水线 (deep pipelines) 以及同时获取和执行多条指令等）都可以集成到 x86 中。在 2011 年 PC 时代的巅峰时期，AMD 和英特尔每年大约售出 3.5 亿片 x86 微处理器。PC 行业的高产量和低利润率也意味着这些处理器的价格低于 RISC 计算机。

考虑到全球每年售出数亿台个人电脑 (PC)，PC 软件成为了一个巨大的市场。尽管 Unix 市场的软件供应商会为不同的商业 RISC ISA (如 Alpha、HP-PA、MIPS、Power 和 SPARC) 提供不同的软件版本，但 PC 市场只有一个 ISA，所有软件都与 x86 ISA 兼容。更大的软件基础、相似的性能和更低的价格使得 x86 在 2000 年之前同时统治了台式机和小型服务器市场。

Apple 公司在 2007 年推出了 iPhone，开创了后 PC 时代。智能手机公司不再购买微处理器，而是使用其他公司的设计（包括 ARM 的 RISC 处理器），构建自己的片上系统 (Systems on a Chip, SoC)。移动设备的设计者不仅重视性能，而且重视芯片面积和能效，这有利于 RISC 处理器。此外，物联网的发展也大大增加了处理器的数量，以及在芯片大小、功率、成本和性能方面所需的权衡。这种趋势增加了设计时间和成本的重要性，进一步有利于 RISC 处理器。在后 PC 时代，x86 的发货量自 2011 年达到峰值以来每年正以 10% 的速度下降，而采用 RISC 的处理器芯片发货量则飙升至 200 亿。今天，99% 的 32 位和 64 位处理器都是 RISC。

总结以上历史回顾，我们认为市场已经对 RISC-CISC 之争给出了结论：CISC 赢得了 PC 时代

的后期阶段，但 RISC 正在赢得整个后 PC 时代。几十年来，没有出现新的 CISC ISA。令我们吃惊的是，今天在通用处理器的最佳 ISA 原则方面的共识仍然是 RISC，尽管距离它的提出已经过去 35 年了。

## 处理器架构当前的挑战

上一节的重点是指令集体体系结构 (ISA) 的设计，但大多数计算机体系结构设计人员并不设计新的 ISA，而是在当前主流的技术中实现已有的 ISA。自 20 世纪 70 年代末以来，技术的选择一直是基于金属氧化物半导体 (Metal Oxide Semiconductor, MOS) 的集成电路，首先是 n 型金属氧化物半导体 (nMOS)，然后是互补金属氧化物半导体 (Complementary Metal-Oxide Semiconductor, CMOS)。MOS 技术惊人的改进速度成为主要驱动因素，使设计人员能够设计更积极的方法来实现给定 ISA 的性能。摩尔在 1965 年提出晶体管密度每年翻一番<sup>[26]</sup>；1975 年，他将其修订为预计每两年翻一番<sup>[28]</sup>，这后来被称为摩尔定律 (Moore's Law)。由于晶体管密度呈二次增长，而速度呈线性增长，设计人员不得不使用更多的晶体管来提升性能。

## 摩尔定律和登纳德缩放比例定律的终结

摩尔定律延续了几十年后（如图 2 所示），在 2000 年左右开始放缓，到 2018 年，摩尔的预测与目前能力之间的差距大约是 15 倍<sup>[27]</sup>。目前的预期是，

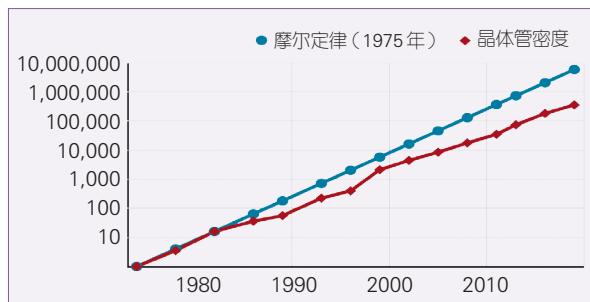


图 2 英特尔微处理器芯片上的晶体管密度与摩尔定律

随着 CMOS 技术接近基本极限，差距将继续扩大。

与摩尔定律相伴而来的是罗伯特·登纳德 (Robert Dennard) 的预测，称为“登纳德缩放比例定律” (Dennard Scaling)<sup>[5]</sup>。该定律指出，随着晶体管密度的增加，每个晶体管的功耗会下降，因此，每平方毫米硅的功耗几乎是恒定的。由于硅的计算能力随着每一代新技术的发展而提高，计算机将变得更加节能。登纳德缩放比例定律在 2007 年开始显著放缓，到 2012 年几乎变为零（见图 3）。



图 3 芯片上的晶体管数量与每平方毫米功耗的关系

在 1986 年到 2002 年之间，指令级并行 (Instruction Level Parallelism, ILP) 的开发是提高性能的主要方法，随着晶体管速度的提高，每年的性能增长可达 50% 左右。登纳德缩放比例定律的结束意味着设计人员必须寻找更有效的方法来利用并行性。

要理解增加 ILP 导致更大的效率低下的原因，可以考虑一个现代处理器内核，比如 ARM、Intel 和 AMD。假设它拥有深度为 15 的流水线，每个时钟周期可以发射 4 条指令，那么，任何时刻在流水线中都有多达 60 条指令，最坏情况下会包括 15 个分支，占指令的 25%。为了使流水线保持完整，需要预测分支，并将预测执行的指令放入流水线中以便执行。这种“投机性”的使用是 ILP 性能和效率低下的根源。当分支预测完美时，预测可以在提高性能的同时几乎不产生额外的能耗——甚至可以节省能源；但当分支预测出错时，处理器必须丢掉错误预测的指令，并且恢复到错误预测分支之前的状态，这将花费更多额外的时间和能耗。

为了理解这些浪费的工作是如何累加起来的，请考虑下图中的数据，其中显示了有效执行但由于

处理器的预测错误而被浪费的指令。在 Intel Core i7 上，这些基准测试平均浪费了 19% 的指令。相比来说，预测错误造成的能耗浪费更大，因为处理器在推测错误时必须使用额外的能量来恢复状态。

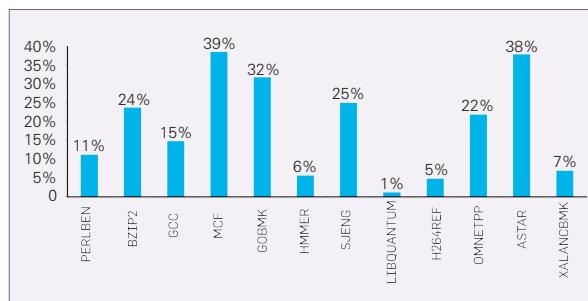


图 4 英特尔 Core i7 处理器执行 SPEC 整型基准测试程序时浪费指令占指令总数的比例

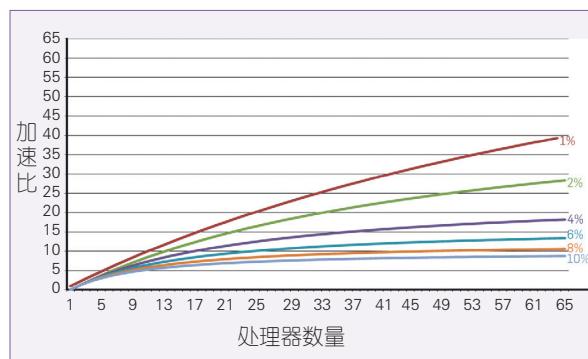


图 5 阿姆达尔定律 (Amdahl's Law) 下不可并行任务的时钟周期占比对加速比的影响

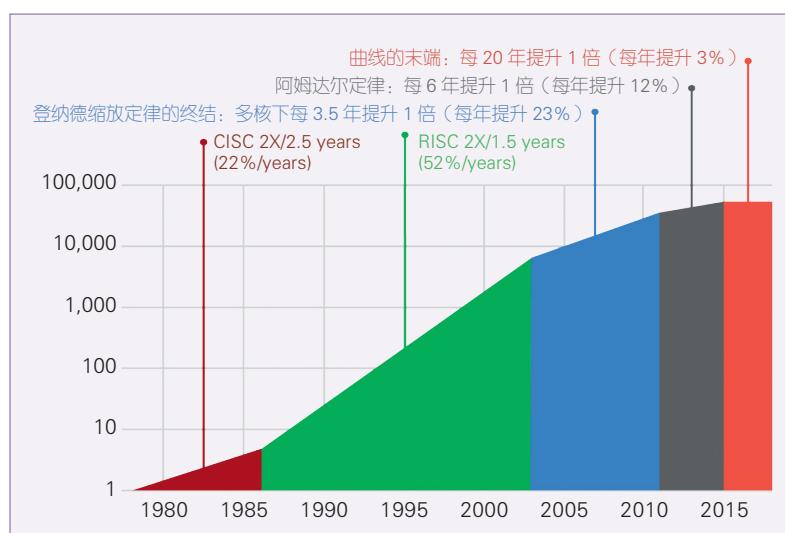


图 6 整型计算性能的提升 (测试基准: SPECintCPU)

这样的度量结果使人们相信，设计人员需要新方法来实现性能改进。多核时代就这样诞生了。多核将识别并行性和决定如何利用并行性的责任转移给程序员和语言系统。多核并不能解决由于登纳德缩放比例定律结束而加剧的能耗挑战。无论一个计算核对计算效率是否有贡献，它都会消耗能量。除了能耗问题外，另一个主要的障碍是阿姆达尔定律 (Amdahl's Law)，它指出并行计算机的加速比受到串行执行部分的限制。为了理解这一古老观察的重要性，图 5 显示了不同串行执行比例的程序（每一条曲线）在最多 64 个处理器的情况下下的加速比，在串行部分执行时，只有一个内核参与计算。例如，当只有 1% 的时间是串行执行时，64 个处理器的加速比大约是 35，而不幸的是，64 个处理器的功耗是单个处理器的 64 倍，这导致大约 45% 的能量被浪费了。

当然，真正的程序有更复杂的结构，其中部分允许在任何给定的时间点使用不同数量的处理器。尽管如此，定期通信和同步的需求意味着大多数应用程序的某些部分只能有效地使用一部分处理器。尽管阿姆达尔定律已有 50 多年的历史，但它仍然是一个困难的障碍。

随着登纳德缩放比例定律的结束，芯片上内核数量的增加意味着功率也在以几乎相同的速度增长。不幸的是，进入处理器的能量也必须以热量的形式被移除。因此，多核处理器受到热耗散功率 (Thermal Dissipation Power, TDP) 的限制，即封装和冷却系统可以移除的平均能量。虽然一些高端数据中心可能会使用更先进的软件包和冷却技术，但没有用户愿意在办公桌上安装一个小型热交换器，或在手机背面安装散热器来冷却手机。TDP 的限制直接导致了“暗硅”时代，处理器会降低时钟速率，关闭空闲内核以防止过热。从另一个角度来看，芯片可以将原本分配给空闲核的电

能重新分配给那些活跃的计算核。

在登纳德缩放定律失效、摩尔定律减速、阿姆达尔定律继续有效的时代，低效率限制了性能的提升（每年计算性能的提升只有几个百分点，如图 6 所示）。实现进一步的性能改进需要新的体系结构方法，其使用集成电路的能力更加高效。

## 被忽视的安全问题

20世纪70年代，处理器架构师将重点放在通过保护环(protective rings)等概念来增强计算机安全性上。这些设计人员相信虽然大多数错误出现在软件中，但体系结构层面的支持会有帮助。然而，这些特性绝大多数并没有被操作系统采用。在软件社区中，许多人认为形式化验证机制和微内核这样的技术，将为构建高度安全的软件提供有效的机制。但遗憾的是，规模化软件系统和对性能的追求，使得这些技术无法跟上处理器的性能。其结果是大型软件系统仍然存在许多安全缺陷。随着在线个人信息的增加以及云计算的大规模应用，这种缺陷的影响被进一步放大。

尽管计算机体系结构的研究者和其他人员还需要时间来提升其对安全性的重视程度，但他们也已开始为虚拟机和加密硬件提供安全支持。遗憾的是，这也可能为不少处理器带来一个未知但重要的安全缺陷。尤其是针对处理器乱序执行和分支预测的熔断(Meltdown)和幽灵(Spectre)安全缺陷，导致了新的处理器安全漏洞，使本来受保护的信息迅速泄露<sup>[14]</sup>。这两个漏洞所使用的所谓“侧通道攻击(Side-channel attacks)”，通过观察任务所需时间，将ISA级别上不可见的信息转换为时间上可见的属性，从而泄露了信息。

2018年，研究人员展示了如何利用Spectre的变种——NetSpectre在网络上泄露信息。攻击者并不需要将代码加载到目标处理器上<sup>[34]</sup>，虽然攻击泄漏信息速度很慢，但它可以让同一局域网（或云服务同一集群）内的任何机器受到攻击，从而产生一系列新的漏洞。随后有报告称发现了虚拟机监控器

中的另外两个安全漏洞<sup>[37, 38]</sup>，其中一种被称为“预见(Foreshadow)”，允许渗透IntelSGX安全机制，以保护最高风险的数据（如加密密钥）。此后每月都有新的安全漏洞被发现。

侧通道攻击并不新鲜，但在早期报告的攻击案例中，攻击大都是由软件缺陷所导致的。在Meltdown、Spectre等其他攻击中，导致受保护信息泄露的是硬件实现中的缺陷。处理器设计人员在如何定义ISA的正确实现上存在基础性挑战，因为标准定义中并没有说明执行指令序列对性能的影响，只说明了ISA可见的体系结构执行状态。处理器架构师们需要重新考虑正确实现ISA的定义，以防范此类安全缺陷。同时，他们应当提升其对安全性的关注程度，以及如何与软件设计人员合作来打造更安全的系统。

## 计算机体系结构的新机遇

通用处理器固有的低效率，无论是由ILP技术还是多核所致，加上登纳德缩放定律和摩尔定律的终结，使我们认为处理器设计人员在一般情况下难以继续保持通用处理器性能的显著提升。而鉴于提高处理器性能以实现新的软件功能的重要性，我们必须要问：还有哪些其他可行的方法？

有两个明确的机会，以及第三个由两者结合创造出的机会。首先，现有的软件构建技术广泛使用具有动态类型和存储管理的高级语言。不幸的是，这些语言通常基于解释器执行，效率往往非常低。Leiserson等人<sup>[24]</sup>用矩阵乘法运算为例来说明这种低效率。如图7所示，简单地把动态高级语言Python重写为C语言代码，可将性能提升47倍；使用多核并行循环处理可以将性能再提升大约7倍；优化内存布局、提高缓存利用率，将性能再提升20倍；最后，使用硬件扩展来执行单指令多数据(Single-Instruction Multiple Data, SIMD)并行操作，每条指令能够执行16个32位操作，可以让性能进一步提升9倍。总而言之，与原始Python版本相比，最终的高度优化版在多核英特尔处理器上的运

行速度提高了 62,000 倍。这只是个例子，它可能夸大了性能差距（程序员可以使用优化过的 Python 库），但仍有许多软件可以通过这样的优化途径获得 100~1000 倍的性能提升。



图 7 Python 语言实现矩阵乘法在四种优化条件下的性能加速比

一个有趣的研究方向是使用新的编译优化技术来缩小某些性能差距。尽管高效编译和实现 Python 等高级脚本语言的难度很大，但潜在的收益也是巨大的。哪怕编译性能提升 25%，其潜在收益都可能使 Python 程序运行速度提高数十乃至数百倍。这个简单的例子说明了在注重程序员效率的现代语言与注重性能的传统方法之间存在巨大差距。

**领域特定体系结构 (Domain-Specific Architecture, DSA)** 一个以硬件为中心的方法，是设计针对特定问题域的定制体系结构，并为该领域提供显著的性能（和能效）增益，这也被称为“领域特定体系结构”。DSA 与专用集成电路 (Application-Specific Integrated Circuits, ASIC) 不同，后者通常用于单一功能，代码很少发生变化，而 DSA 适用于特定领域、可编程且通常是图灵完全的。DSA 通常被称为“加速器”，因为与在通用 CPU 上执行整个应用程序相比，它们只会加速某些应用程序。此外，DSA 可以实现更好的性能，因为它们更贴近应用程序的需求；DSA 的例子包括图形处理单元 (GPU)，用于深度学习的神经网络处理器和用于软件定义网络 (SDN) 的处理器。DSA 可以达到更好的性能和更高的能效，主要有以下四方面原因：

首先也是最重要的一点，DSA 利用了特定领域中更有效的并行形式。例如，单指令多数据流 (SIMD)

并行比多指令多数据流 (Multiple-Instruction Multiple Data, MIMD) 更有效，因为它只需要获取一个指令流并且处理单元以锁步操作<sup>[9]</sup>。虽然 SIMD 不如 MIMD 灵活，但它很适合许多 DSA。DSA 也可以使用 VLIW 方法来实现 ILP。由于 VLIW 处理器的控制机制更简单，它与通用代码不匹配<sup>[15]</sup>，但对于数量有限的几个领域可能更为有效。特别是，大多数高端通用处理器都是乱序超标量执行，需要复杂的控制逻辑来启动和完成指令。相反，VLIW 在编译时会进行必要的分析和调度，这非常适用于运行显式并行程序。

其次，DSA 可以更高效地利用内存层次结构。正如霍洛维茨 (Horowitz) 所指出的<sup>[16]</sup>，内存访问比算数运算成本要高得多。例如，访问 32K 字节缓存所需的能量开销比 32 位整数相加要高大约 200 倍。这种巨大的差异使得优化存储器访问对于实现高能效至关重要。通用处理器在运行代码时，内存访问通常显示空间和时间位置，但这在编译时难以预测。因此，CPU 使用多级高速缓存来增加带宽，并将延迟隐藏在相对较慢的片外 DRAM 中。这些多级缓存通常消耗处理器大约一半的能量，但避免了几乎所有对片外 DRAM 的访问，这些访问大约需要最后一级缓存访问能量的 10 倍。

缓存有两个显著的缺点：当数据集非常大，或者时间、空间位置很低时，缓存根本不能很好地工作；当缓存运行良好时，时间或空间位置非常高，这意味着，根据定义，大多数缓存在大部分时间都会处于空闲状态。

在编译时可以很好地定义和发现应用程序中的内存访问模式，这对于典型的 DSL 来说是正确的，程序员和编译器可以动态分配缓存，更好地优化内存的使用。因此，DSA 通常使用由软件明确控制的动态分层存储器，类似于向量处理器的操作。对于合适的应用，用户控制的存储器可以比高速缓存消耗更少的能量。

第三，DSA 可以适度使用较低的精度。通用 CPU 通常支持 32 位和 64 位整数和浮点 (FP) 数据。机器学习和图形学中的许多应用不需要计算

得这样精确。例如，在深度神经网络 (Deep Neural Networks, DNN) 中，推理通常使用 4 位、8 位或 16 位整数，从而提高数据和计算吞吐量。同样，对于 DNN 训练应用，FP 通常只要 16 位或 32 位就足够了。

最后，DSA 受益于以领域特定语言 (DSL) 编写的目标程序，这些程序可以利用更多的并行性，改进内存访问的结构和表示，并使应用程序更有效地映射到特定领域处理器。

**领域特定语言 (Domain-Specific Languages, DSL)** DSA 要求将高级操作融入到体系结构中，但尝试从 Python、Java、C 或 Fortran 等通用语言中提取此类结构和信息实在太困难了。领域特定语言可以支持这一过程，并能有效地对 DSA 进行编程。例如，DSL 可以使向量、密集矩阵和稀疏矩阵运算显式化，使 DSL 编译器能够有效地将运算映射到处理器。常见的 DSL 包括矩阵运算语言 Matlab、对深度神经网络进行编程的数据流语言 TensorFlow、面向 SDN 的语言 P4，以及用于图像处理中的语言 Halide。

使用 DSL 的难点在于如何保持足够的体系结构独立性，使在 DSL 中编写的软件可以移植到不同的体系结构，同时还可以实现将软件映射到底层 DSA 的高效率。例如，

XLA 系统将 Tensorflow 编译到使用 Nvidia GPU 和张量处理单元 (TPU) 的异构处理器<sup>[40]</sup>。权衡 DSA 的可移植性以及效率是语言设计人员、编译器构造者和 DSA 架构师面临的一项有趣的研究挑战。

### DSA 的例子：TPU

v1 作为 DSA 的一个例子，Google TPU v1 旨在加速神经网络推理<sup>[17, 18]</sup>。TPU 自 2015 年开始投入生产，应用范围从搜索查询到语言翻译，再到图像识别，再

到 DeepMind 的围棋程序 AlphaGo 和通用棋类程序 AlphaZero，其目标是将深度神经网络推理的性能和能效提高 10 倍。

TPU 的组织架构与通用处理器完全不同，如图 8 所示。其主要的计算部件是一种叫做脉动阵列 (systolic array) 的矩阵计算单元，每个时钟周期可以完成  $256 \times 256$  规模的乘加计算操作。TPU 通过利用 8 比特量化精度与高效的脉动阵列结构，以及 SIMD 控制方式，在每周期可执行的乘加操作方面可以取得比通用单核 CPU 处理器高近 100 倍的加速比。TPU 避免使用通用处理器中的缓存结构，而是在阵列内部使用 24MB 容量的局部存储器以减少数据搬运。在功耗相同的情况下，其容量为 2015 年某款通用 CPU 缓存容量的 2 倍左右。同时，TPU 采取用户可控的高带宽存储通道来对神经网络的激活函数数据存储及权值数据存储进行数据交换。通过对 Google 数据中心上的 6 个通用推理用例进行测试，结果显示 TPU 相比于通用 CPU 平台可以平均取得约 29 倍的加速比。由于 TPU 平台的功耗还不到通用 CPU 计算平台的一半，因此其能耗效率提升了约 80 倍以上。

综上，我们考虑了两种不同的方法，通过提高

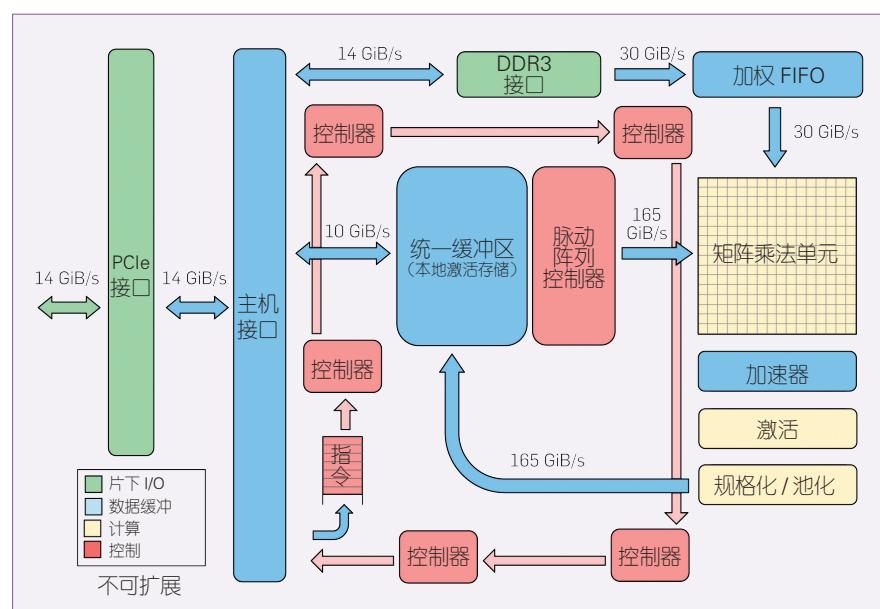


图 8 Google 张量处理单元 (TPU v1) 的功能组织

硬件的使用效率来提升程序运行性能。首先，通过提高现代高级语言的编译性能；其次，通过构建可以大大提高性能和效率的领域特定体系结构。DSL是另一个通过改进硬件 / 软件接口支持 DSA 等架构创新的例子。通过这些方法获得显著收益将需要一个垂直整合的设计团队，该团队了解应用程序、领域特定语言和相关编译器技术、计算机体系结构和组织，以及底层实现技术。在行业横向结构化之前，需要在跨抽象层次上垂直集成并做出设计决策，这是计算机早期工作的主要特征。在这个新时代，垂直整合变得更加重要，能够进行复杂权衡及优化的团队将会从中受益。

这个机会已经引发了体系结构创新的爆发，产生了一系列竞争性的体系结构设计理念：

- **GPU**：NVIDIA GPU 使用大量的内核，每个内核都有大寄存器文件、许多硬件线程和缓存<sup>[4]</sup>；
- **TPU**：Google TPU 依赖于大型二维脉动乘法器 (systolic multipliers) 和软件控制的片上存储器<sup>[17]</sup>；
- **FPGA**：微软在其数据中心部署了现场可编程门阵列 (FPGA)，它可以根据神经网络应用进行定制<sup>[10]</sup>；
- **CPU**：英特尔提供的 CPU 具有许多内核，这些内核通过大型多级缓存和一维 SIMD 指令（微软使用的 FPGA）以及更接近 TPU 而不是 CPU 的新型神经网络处理器得到增强<sup>[19]</sup>。

除了这些大型企业外，还有数十家创业公司正在寻求自己的路径<sup>[25]</sup>。为了满足不断增长的需求，体系结构设计师正在将数百到数千个此类芯片互连，形成神经网络超级计算机。DNN 体系结构的雪崩式发展使计算机体系结构研究变得更加有趣。很难预测这些方向在 2019 年中哪些会赢，但市场肯定会最终决定竞争结果，就如同它当年解决架构争议一样。

## 开放体系结构

受开源软件成功的启发，计算机体系结构中的第二个机遇是开源的 ISA。要创建一个“面向处理

器的 Linux”，该领域需要行业标准的开源 ISA，这样社区就可以创建开源内核（除了拥有专有内核的个别公司之外）。如果许多组织使用相同的 ISA 设计处理器，那么更大的竞争可能会推动更快的创新。目标是为芯片提供处理器，成本从几美分到 100 美元不等。

第一个例子是 RISC-V（称为“RISC Five”），加州大学伯克利分校开发的第五个 RISC 架构<sup>[32]</sup>，由 RISC-V 社区在 RISC-V 基金会 (<http://riscv.org/>) 的管理下维护其体系结构。开源允许 ISA 在公开的场景下发生演变，在决策最终确定之前，由硬件和软件专家进行协作。

RISC-V 是一个模块化的指令集。一小部分指令运行完整的开源软件栈，然后是可选的标准扩展设计器，设计人员可以根据需求包含或省略这些扩展。这个基础包括 32 位和 64 位版本。RISC-V 只能通过可选扩展来发展；即使架构师不接受新的扩展，软件堆栈仍可以很好地运行。

专有架构通常需要向上的二进制兼容性，这意味着当处理器公司添加新特性时，所有在此之后的处理器也必须包含这些新特性。而 RISC-V 则不是如此，所有增强功能都是可选的，如果应用程序不需要，可以删除。

RISC-V 的第三个显著特征是 ISA 的简单性。虽然难以量化，但与同时期 ARM 公司开发的 ARMv8 架构相比，有两点不同：

**更少的指令** RISC-V 的指令要少得多。其基础版本中只有 50 个，标准扩展共计 137 条。而 ARMv8 有 500 多条。

**更少的指令格式** RISC-V 的指令格式只有 6 个，而 ARMv8 至少有 14 个。

简单性减少了设计处理器和验证硬件正确性的工作量。由于 RISC-V 的目标范围从数据中心芯片到物联网设备，因此设计验证可能是开发成本的重要组成部分。

第四，RISC-V 是一个全新的设计。与第一代 RISC 架构不同，它避免了微架构或技术依赖的特性（如延迟分支和延迟加载），也避免了被编译器技术

进步所取代的创新（如注册窗口）。

最后，RISC-V 通过为自定义加速器保留大量的操作码空间来支持 DSA。

除了 RISC-V 之外，英伟达 (NVIDIA) 还在 2017 年宣布了一种名为英伟达深度学习加速器 (NVIDIA Deep Learning Accelerator, NVDLA) 的免费开放架构<sup>[29]</sup>，这是一种可扩展、可配置的机器学习推理 DSA。配置选项包括数据类型 (int8、int16 或 fp16) 和二维乘法矩阵的大小。芯片尺寸从 0.5 mm<sup>2</sup> 到 3 mm<sup>2</sup> 不等，功率从 20 毫瓦到 300 毫瓦不等。ISA、软件堆栈和实现都是开放的。

开放的简单体系结构与安全性是紧密关联的。首先，安全专家不相信通过“隐藏”实现的安全性，因此开源具有吸引力，而开源的实现需要开放的体系结构。同样重要的是，这可以增加能够围绕安全架构进行创新的人员和组织的数量。专有架构限制了参与，但开放架构允许学术界和业界所有最优秀的头脑来帮助共同实现安全性。最后，RISC-V 的简单性使得它的实现更容易被检查。此外，开放的架构、实现和软件栈，加上 FPGA 的可塑性，意味着架构师可以在线部署和评估新的解决方案，并每周迭代它们，而不是每年迭代一次。虽然 FPGA 比定制芯片的速度相差 10 倍，但这种性能仍然足以支持在线用户。我们希望开放式架构成为架构师和安全专家进行硬 / 软件协同设计的典范。

## 轻量级硬件开发

由贝克 (Beck) 等人<sup>[1]</sup>撰写的《敏捷软件开发宣言》(The Manifesto for Agile Software Development, 2011) 彻底改变了软件的开发方式，克服了瀑布式开发中传统的详细计划和文档的频繁失败。小型编程团队在开始下一次迭代之前快速开发工作原型并获得了客户反馈。轻量级开发的 scrum 版本汇集了 5 到 10 个程序员的团队，每次迭代执行需 2 到 4 周的冲刺。

再次受到软件成功的启发，第三个机遇是轻量级硬件开发。对于架构师来说，好消息是现代电子计算

机辅助设计 (Electronic Computer Aided Design, ECAD) 工具提高了抽象级别，从而支持轻量级硬件开发，而这种更高的抽象级别增加了设计之间的重用。

但从设计芯片到获得用户反馈的几个月之间，像轻量级软件开发那样申请“四周的硬件冲刺时间”似乎是不合理的。图 9 概述了轻量级开发方法如何通过在适当的级别上更改原型来工作<sup>[23]</sup>。最内层是一个软件模拟器，如果模拟器能够满足迭代，那么这一环节是进行更改最容易和最快的地方。下一级是 FPGA，它的运行速度比一个详细的软件模拟器快数百倍。FPGA 可以运行像 SPEC 那样的操作系统和完整的基准测试，从而可以对原型进行更精确的评估。亚马逊网络服务系统 (Amazon Web Services) 在云中提供 FPGA，因此架构师可以使用 FPGA，而不需要先购买硬件并建立实验室。为了记录芯片面积和功率的数字，下一个外层使用 ECAD 工具生成芯片的布局。即使在工具运行之后，在准备生产新的处理器之前，仍然需要一些手动步骤来细化结果。处理器设计人员将此级别称为“Tape-In”。

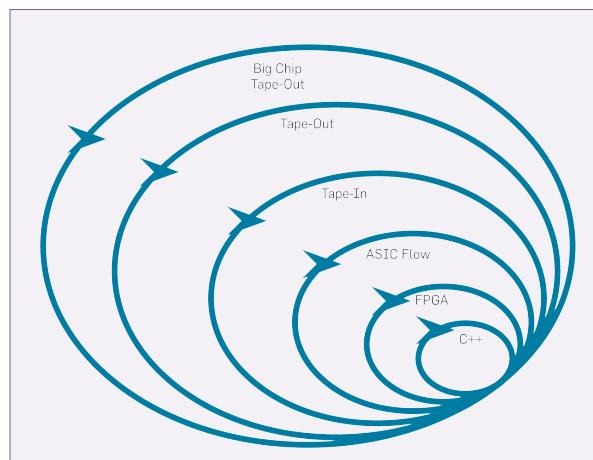


图 9 敏捷硬件开发方法论

前四个级别都支持为期四周的冲刺。出于研究目的，当面积、能量和性能评估是非常准确的时候，我们可以停在“Tape-In”这个级别上。然而，这就像跑一场长跑，在终点前 100 码停了下来，尽管在比赛前做了大量的准备工作，运动员还是会错过真

正跨越终点线的兴奋和满足。硬件工程师与软件工程师相比，其中一个优势是他们可以构建物理的东西。让芯片重新测量、运行真实的程序并显示给朋友和家人，这是硬件设计的一大乐趣。

许多研究人员认为他们必须在此环节停下来，因为制造一个芯片的成本着实太高了。当设计规模较小的时候，它们出奇的便宜：只需 14,000 美元即可订购 100 个  $1\text{mm}^2$  芯片。在 28nm 的规格下， $1\text{ mm}^2$  的面积包含数百万个晶体管，足够容纳一个 RISC-V 处理器和一个 NVLDA 加速器。如果设计者的目标是构建一个大型芯片，那么最外层的成本是极其昂贵的，但是架构师可以用小型芯片演示许多新颖的想法。

## 结论

为了从历史的教训中获益，架构师必须意识到软件创新也可以激发架构师的兴趣，提高硬 / 软件界面的抽象层次可以带来创新机会，并且市场最终会解决计算机架构的争论。iAPX-432 和 Itanium 说明了架构投资如何超过回报，而 S/360、8086 和 ARM 提供了长达数十年的高年度回报，并且看不到尽头。

登纳德缩放比例定律和摩尔定律的终结，以及标准微处理器性能增长的减速，这些都不是必须解决的问题，而是公认的事实，并且提供了让人惊叹的机遇。高级、特定领域的语言和体系结构，将架构师从专有指令集的链中解放出来，连同公众对改进安全性的需求，将为计算机架构师带来一个新的黄金时代。在开源生态系统的帮助下，轻量级开发的芯片将会令人信服，从而加速商业应用。这些芯片中，通用处理器的 ISA 理念很可能是 RISC，因为它经受住了时间的考验。可以期待与上一个黄金时代相同的快速改善，但这一次是在成本、能源、安全以及性能方面。

下一个十年将会是一个全新计算机架构的“寒武纪”大爆发，这意味着计算机架构师在学术界和工业界将迎来一个激动人心的时代。 ■

作 者：

**约翰·轩尼诗 (John L.Hennessy)**

斯坦福大学的前校长，Alphabet 公司主席。  
hennessy@stanford.edu

**戴维·帕特森 (David A.Patterson)**

美国加州大学伯克利分校荣誉教授，Pardee 计算机科学教授，Google 公司杰出工程师。pattrsn@berkeley.edu

译 者：

**新智元**

2015 年 9 月上线的产业链生态平台，拥有 36 万微信产业链订户，50+ 专家微信群，5000 余名在线专家，为 BAT、科大讯飞、华为、海尔等产业巨头提供专业传播服务及智库资源支持。

校 对：胡春明 杨建磊 北京航空航天大学

(本期译文责任编委：胡春明)

## 参考文献

- [1] Beck, K., Beedle, M., Van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M. . . . and Kern, J. *Manifesto for Agile Software Development*, 2001; <https://agilemanifesto.org/>
- [2] Bhandarkar, D. and Clark,2. Bhandarkar, D. and Clark, D.W. Performance from architecture: Comparing a RISC and a CISC with similar hardware organization. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems* (Santa Clara, CA, Apr. 8–11). ACM Press, New York, 1991, 310–319.
- [3] Chaitin, G. et al. Register allocation via coloring. *Computer Languages* 6, 1 (Jan. 1981), 47–57.
- [4] Dally, W. et al. Hardware-enabled artificial intelligence. In *Proceedings of the Symposia on VLSI Technology and Circuits* (Honolulu, HI, June 18–22). IEEE Press, 2018, 3–6.
- [5] Dennard, R. et al. Design of ion-implanted MOSFETs with very small physical dimensions. *IEEE Journal of Solid State Circuits* 9, 5 (Oct. 1974), 256–268.
- [6] Emer, J. and Clark, D. A characterization of processor performance in the VAX-11/780. In *Proceedings of the 11th International Symposium on Computer Architecture* (Ann Arbor, MI, June). ACM Press, New York, 1984, 301–310.

更多参考文献：<http://dl.ccf.org.cn/cccf/list>

按：中国计算机学会（CCF）是计算机专业领域的学术组织，承载着推动计算技术发展及应用、帮助专业人士提升能力的重要使命，教育在学会工作中占有非常重要的地位和分量。

信息学奥林匹克竞赛（NOI）是CCF于1984年创建的面向青少年的计算机科学普及活动，通过竞赛带动中小学计算机教育的发展。36年来，有众多优秀的计算机专业人士通过参加CCF的NOI走向了计算机职场，从事研究、教育或者技术开发，CCF为中国计算机后备人才培养作出了巨大贡献。工程教育认证是根据国际本科工程学位互认协议华盛顿协议（Washington Accord, WA）的标准和流程，对中国高等学校的工程教育进行认证。从2006年开始，CCF一直坚持按照WA规则承担中国计算机类专业的认证工作，取得了成效，为我国高等教育作出了贡献。

但是，推动任何工作并不总是一帆风顺，遇到阻力在所难免，有些阻力本学会可以排除，但有些超出了学会的能力范围。下面发布的两个公告表明了CCF对上述两个重大项目的看法，有必要让会员和业界知晓，进而理解和支持。

杜子德  
CCF秘书长

## CCF关于NOI若干问题的公告

近一段时期，社会上有一些人或组织对“全国青少年信息学奥林匹克竞赛”（简称“信息学奥赛”或“NOI”）存在曲解和误会。为了使公众了解相关情况，现对若干问题予以澄清。

**1. 信息学奥赛由来。**1984年，邓小平同志提出“计算机的普及要从娃娃抓起”。为响应这一号召，中国计算机学会（CCF）于当年自主创建了面向中学生的“全国青少年程序设计竞赛”。1989年，联合国教科文组织发起了国际信息学奥林匹克竞赛（IOI）活动，CCF从“全国青少年程序设计竞赛”中选拔优秀选手，组成国家队代表中国参赛，形成制度，延续至今。从那年起，CCF将“全国青少年程序设计竞赛”更名为“全国青少年信息学奥林匹克竞赛”（简称“信息学奥赛”或“NOI”）。该项活动得到了中国科协的大力支持，也得到了教育部的肯定。

**2. 信息学奥赛权属。**从NOI创建伊始，CCF就拥有该活动的所有权，包括活动名称、缩写NOI和标识，“CCF NOI”已在国家商标局注册。任何组织和个人指称该活动时，应规范使用全称“全国青少年信息学奥林匹克竞赛”或简称，而不是“全国中学生信息学奥林匹克竞赛”，任何歪曲或不正确

书写名称均是对该活动所有权拥有者的不尊重。

**3. NOI的定位与宗旨。**NOI的定位是面向学有余力的学生课外自愿参加的计算机科学普及活动。目前，国内大多数中小学并未开设程序设计课程，因此，NOI不和任何学校的课堂教学相联系。NOI作为面向青少年的课外科普活动，面向的是包括小学生、初中生和高中生在内的全体青少年。在科学技术高速发展的今天，世界各国都非常重视青少年科学、技术、工程、数学（STEM）素养教育，特别是算法和计算机编程。美国前总统奥巴马倡导的“全民计算机科学行动计划”（Computer Science for All Initiative）提出12年基础教育的学生都有接受计算机教育的机会。在教育部领导下，我国科学教育不断深化，从2016年的《中国学生发展核心素养》，到教育部2017年出台的《小学科学课程标准》，都强调了在基础教育中把工程、技术与科学相结合，展现出STEM教育的发展趋势。国务院印发《新一代人工智能发展规划》，指出应逐步实施全民智能教育项目，在中小学阶段设置人工智能相关课程，推广编程教育。人工智能的核心是算法和程序设计，而NOI培养和考查的正是算法设计和编程能

力。NOI活动的普及必将有力地促进人工智能教育的普及和发展，任何阻挠“学有余力”的学生参加NOI活动的行为都是有违这一趋势和国务院要求的，也是曲解该活动的宗旨的。

**4. CCF举办NOI的合法性。**CCF是全国一级学会，独立社团法人，中华人民共和国民政部是CCF的登记管理机关，中国科学技术协会是CCF的业务主管机关。根据民政部核准的《中国计算机学会章程》，CCF的业务范围中包括“普及计算机知识”和“组织青少年计算机科技活动”。因此，CCF以普及计算机科学知识为己任，在法律的框架内自主举办NOI活动符合其章程的规定，不仅是合法的，也是其作为全国性学会的使命必然。

**5. 非营利性机构属性与活动收费。**CCF是非营利(NPO)机构，无任何国家财政拨款。所谓“非营利”，并非指不能经营、不能收费和不能有财务结余，而是指学会的经费只能用于本领域专业的发展和为本领域专业人士服务，不能分红。CCF经营的收益，完全用于符合章程规定的业务范围和会员服务，且财务管理符合国家规定，并每年向会员公开财务预决算。与其他知识理论型的竞赛相比，NOI竞赛具有较高的成本，包括设备费、网络费等都是知识理论型竞赛所没有的。除了覆盖竞赛活动的直接成本，NOI活动经费还包括师资培训、教材编写和出版发行、竞赛系统和管理系统的建设与维护、资助经济困难学生，以及NOI的普及推广等活动。这些费用的支出对于NOI活动的可持续健康发展是非常必要的。NOI作为一项CCF自主创办的计算机科学普及活动，必须自筹经费以支持这一活动的正常开展。

**6. 收费的范围与必要性。**为满足有关方面的要求，本学会已向全社会承诺，在NOI竞赛举办期间不收竞赛费，但参赛人员的餐饮费、住宿费、交通费、意外伤害保险费、社会活动费以及其他必要的费用需要由参赛者承担。作为面向学有余力的学生自愿参加的课外活动，如果使用国家财政拨款，显然有违教育公平的原则，因而是不合适的。为保证NOI活动的客观性、公正性和规范性，CCF在接

受活动赞助方面一向是慎重而有节制的，以确保活动的公平、公正、公开。因此，仅靠赞助难以保持其连续性。本着“受益者付费”的原则，向参赛学生收取这部分费用是合理的，也是必要的。当然，对于家庭有经济困难的学生，CCF将提供资助。关于本学会就有关竞赛的问题向全社会的承诺，已发表公告，请见另文。

**7. NOI的宗旨必须坚持。**CCF一向主张，NOI是面向学有余力的学生的课外科普活动，举办NOI是为了推动计算机科学知识的普及，通过竞赛给学校的计算机教育提供新的思路，为优秀的学生提供学习和相互交流的机会。CCF认为，NOI竞赛的结果不宜作为学校录取学生的依据，任何把NOI纳入行政轨道的行为都是与NOI的定位相违背的。CCF在此再次重申，本学会致力于通过NOI活动激励更多的学生学习计算机科学，进而促进这一学科的普及。

35年来，由于NOI活动在青少年计算机科学普及方面的开创性意义和作用，它得到了党和国家领导人以及政府部门的大力支持。1984年，时任国家副主席王震亲自出席首届NOI颁奖大会，并对NOI竞赛活动给予了充分的肯定。2000年CCF在北京承办了国际信息学奥林匹克竞赛(IOI)，时任国家主席江泽民发来贺信，教育部部长亲自到会致辞。中国科协有关部门也多次对NOI活动给予表彰。由于CCF秉持公开、公正、规范的原则，监管严格，NOI得以健康发展，取得了显著的成绩，在社会上具有很强的公信力。通过NOI活动选拔的中国国家队在IOI竞赛中屡创佳绩，为祖国争得了荣誉。NOI活动培养了大量优秀的计算机后备人才，他们中的许多人已经在国内外的学术界和企业界成为领军人物。青少年是国家的未来，是民族的希望。CCF将一如既往地坚持NOI活动的宗旨，克服来自各方面的干扰，力争把NOI办得更好，为推进计算机科学的普及，提高我国青少年的科技知识水平，建设创新型国家做出更大的贡献。 ■

中国计算机学会  
2019年3月20日

# 关于中国计算机学会不再承担 工程教育认证工作的公告

根据中国计算机学会(CCF)常务理事会的决定，从2019年4月1日起，CCF将不再作为中国工程教育专业认证协会计算机类专业认证委员会的挂靠单位，也不再承担该委员会秘书处的工作，并将按规定程序退出中国工程教育专业认证协会，不再作为成员及该协会的理事单位，以学会名义在协会担任的职务也将退出。这是一个艰难的决定，也是经过CCF反复研究后做出的无奈的决定。

从2005年起，教育部推动按照国际实质等效的原则开展工程教育专业认证的试点工作。工程教育专业认证对于我国高等工程教育专业评价具有开创性意义，第一次明确由社会第三方独立进行教育评价，做到“办”“评”分离。2013年6月，中国加入华盛顿协议组织(WA)，成为WA的成员，中国也成立了相应的机构即中国工程教育专业认证协会。该协会作为独立社团承担认证工作，协会由主要行业或学术组织为会员，并成立理事会作为领导机构。协会秘书处作为理事会的日常办事机构挂靠在教育部高等教育教学评估中心。这一组织设计基本是合理的，它既坚持了教育评价改革的大方向，也充分考虑了中国国情。

从2006年起，在中国工程教育认证试点期间，CCF就参与计算机类专业的认证工作，以试点工作组的身份，组织专家开展认证工作。中国进入WA之后，CCF更是承担起了计算机专业工程教育认证的重任，认真履行加入协会的承诺，不忘提高中国高等工程教育质量的初衷，投入大量的人力财力，在认证体系建设、规则制定、培养并输送认证骨干专家、认证高校的计算机专业、提高认证水平等方面做出了重要贡献，并得到了同行的高度认可。

坚持社会第三方独立评价的原则是稳步提高教育

质量的重要改革举措，符合党和国家改革大方向，同时也是加入国际学位互认组织华盛顿协议的基本承诺。

遗憾的是，自从中国被华盛顿协议接纳为正式成员后，情况与学会的预期并不一致。协会自成立后，从未召开过一次理事会，作为协会成员的各行业社团失去了主动发挥作用的基本平台和机会，CCF作为协会理事，也无法平等地以第三方身份参与协会的决策。事实上，秘书处已经替代了协会领导机构理事会。由于秘书处与其挂靠单位教育部评估中心界线不清，客观上评估中心替代了协会，以行政方式指挥各专业委员会工作，失去了以“第三方独立”认证的基本属性，不符合中国加入华盛顿协议组织时的承诺。

CCF作为我国计算机领域影响最大的专业社团，一直坚持按照规章规范开展工作，因此，在工程教育的原则及中国工程教育认证协会的章程与目前实际的工作现状存在明显的冲突时，学会实在难以正常开展工作，因此不得不做出上述决定。

CCF承担社会责任、积极促进中国计算机工程教育健康发展的初衷不会改变。尽管CCF不再参与计算机专业工程教育专业认证秘书处的工作，学会将一如既往地积极开拓其它渠道与平台参与中国计算机教育事业。

CCF感谢一直以来认证专家对计算机专业认证工作的付出与支持，正是由于专家们的奉献，使计算机专业工程教育认证一直按照华盛顿协议标准进行。感谢在开展计算机专业认证试点时，教育部高教司理工处所给予CCF的信任和支持。感谢中国科协一贯给予CCF的信任和在经费方面的大力支持。 ■

中国计算机学会  
2019年4月2日



成都·中国西部国际博览城

# 2019 CCF 青年精英大会

2019年5月24-25日

主办：CCF



张 钛

CCF终身成就奖获得者  
中国科学院院士  
清华大学教授  
题目：人工智能走到哪里，  
又该向何处去？



陈文光

CCF副秘书长  
国家杰出青年科学基金获得者  
清华大学教授  
题目：神图—扩展到数万结点  
图数据处理系统



黄 翩

CCF青年科学家奖获得者  
国家杰出青年科学基金获得者  
北京大学教授  
题目：人机物融合的云  
计算架构与平台



王新兵

CCF青年科学家奖获得者  
国家杰出青年科学基金获得者  
上海交通大学特聘教授  
题目：学术地图的设计与实现

YEF (CCF青年精英大会) 创建于2011年，每年一届。YEF旨在为计算机领域的青年精英提供深入交流和提升的机会，促进青年领军人物的成长，提升他们的领导力，促进优秀青年创新、创业以及相互之间的合作。

YEF2019特邀报告、大会论坛、科技创业秀、思想秀及14个专题技术论坛，更多精彩内容敬请关注<http://yef2019.ccf.org.cn/>

010-6267 0236转17    [yocsef@ccf.org.cn](mailto:yocsef@ccf.org.cn)



报名入口

## CCCF 征稿启事

让你的名字出现在 CCCF 上吧

《中国计算机学会通讯》(CCCF) 是中国计算机学会的旗舰刊物，是真正面向广大读者的刊物，目的是让计算领域科技工作者更全面、深刻地了解相关技术的发展趋势，也为读者提供学术交流、思想碰撞的平台。

如果你认为自己具有世界水平的科研成果，如果你对计算领域学术和技术、相关产业发展、人才培养和教育、计算思维、科研素养与道德等方面有独到的观点和思想，无论你是计算领域的“大牛”，还是进入该领域不久的青年工作者，你都可以将你的成果或想法发表在 CCCF 上，你的名字将被 55000 多名 CCF 会员看到。

我们鼓励自主创新，我们支持百家争鸣。

投稿请联系：[cccf@ccf.org.cn](mailto:cccf@ccf.org.cn) 010-6267 0365

## CCF专委活动计划 (2019.5~8)

### 5月22日 北京

#### 自主可控安全高峰论坛

会议编号：CCF-19-TC13-01F

主办：中国计算机学会

承办：CCF 抗恶劣环境计算机专委会

协办：航天科工集团二院 706 所

联系：宋凌云 severe613@163.com

### 6月~12月 网上比赛

#### 第七届 CCF 大数据与计算智能大赛

会议编号：CCF-19-TC32-01C

主办：中国计算机学会

承办：CCF 大数据专家委员会 数联众创 等

联系：陈娟 bigdata@ccf.org.cn

### 7月10~13日 烟台

#### 全国高等学校计算机教育大会

会议编号：CCF-19-TC11-01N

主办：中国计算机学会

    全国计算机教育研究会

承办：CCF 教育专委会 山东工商学院

联系：吴黎兵 wu@whu.edu.cn

### 7月18~20日 南京

#### 人机交互全国研究生暑期学校

会议编号：CCF-19-TC18-01T

主办：中国计算机学会

承办：CCF 人机交互专委会 南京大学

联系：冯桂焕 fenggh@nju.edu.cn

### 7月23~25日 贵阳

#### 第十七届中国机器学习会议 (CCML2019)

会议编号：CCF-19-TC17-03N

主办：中国计算机学会

    中国人工智能学会 (CAAI)

承办：贵州大学

协办：CCF 人工智能与模式识别专委会

    CAAI 机器学习专委会

联系：魏琴 CCML2019@126.com

网址：<http://bdiri.gzu.edu.cn/ccml2019/index.html>

### 7月24~25日 北京

#### 2019 自主可控计算机全国大会

会议编号：CCF-19-TC13-01S

主办：中国计算机学会

承办：CCF 抗恶劣环境计算机专委会

协办：航天科工集团二院 706 所

联系：宋凌云 severe613@163.com

### 8月1~2日 恩施

#### 第二十三届计算机工程与工艺年会暨第九届微处理器技术论坛

会议编号：CCF-19-TC08-01N

主办：中国计算机学会

承办：CCF 计算机工程与工艺专委会 宁夏大学

协办：中船重工 709 所

联系：李晋文 lijinwen@sina.com

网址：[www.nccet.cn](http://www.nccet.cn)

### 8月2~4日 兰州

#### 2019 年全国理论计算机科学学术年会 (NCTCS 2019)

会议编号：CCF-19-TC14-01N

主办：中国计算机学会

承办：CCF 理论计算机科学专委会 兰州大学

联系：祝恩 enzhu@nudt.edu.cn

### 8月2~4日 上海

#### CSCW 与社会计算暑期学校

会议编号：CCF-19-TC26-01T

主办：中国计算机学会

承办：CCF 协同计算专委会 复旦大学

联系：张鹏 zhpll@126.com

网址：<http://www.scholat.com/team/tccc>

### 8月3~5日 上海

#### 系统软件技术论坛 (TCSS)

会议编号：CCF-19-TC25-01F

主办：中国计算机学会

承办：CCF 系统软件专委会 华东师范大学

联系：王林章 lzwang@nju.edu.cn

### 8月9~11日 镇江

#### 2019 中国粒计算与知识发现学术会议 (CGCKD 2019)

会议编号：CCF-19-TC17-02N

主办：中国计算机学会 中国人工智能学会 (CCAI)

承办：江苏科技大学

协办：CCF 人工智能与模式识别专委会

    CCAI 粒计算与知识发现专委会

联系：杨习贝 jsjxy\_yxb@just.edu.cn

网址：<http://cgckd2019.xibeiyang.net/>

### 8月14~17日 北京

#### 全国容错计算学术会议 (CFTC2019)

会议编号：CCF-19-TC19-01N

主办：中国计算机学会

承办：CCF 容错计算专委会 清华大学

    北京清芸阳光能源科技有限公司

联系：许乐 xule@tsingyunsolar.com

网址：<http://cftc2019.ccf-ftc.com/>

## CNCC2019 启动会在京召开

### 大会主题和组织机构确定

3月28日，CNCC2019第一次筹备会暨CNCC2019启动会在北京召开。会议讨论并确定了大会主题和组织机构。

今年的大会主题为：智能+——引领社会发展 (AI+: Leading the development of society)，大会将围绕该主题确定特邀讲者及相关会议内容。

CNCC2019将于10月17~19日在苏州金鸡湖国际会议中心举行。大会论坛分三场，主要围绕互联网50年、工业互联网、深度学习三个主题展开探讨。

#### CNCC2019组织机构主要成员

- ◆ 指导委员会主席：梅 宏 CCF会士，北京大学教授、中国科学院院士
- ◆ 大会主席：吕 建 CCF副理事长，南京大学校长、中国科学院院士
- ◆ 程序委员会主席：周 明 CCF理事、中文信息技术专委主任，微软亚洲研究院副院长
- ◆ 论坛委员会主席（学术界）：陈文光 CCF副秘书长，清华大学教授
- ◆ 论坛委员会主席（企业界）：谭晓生 CCF副秘书长，北京赛博英杰科技有限公司董事长
- ◆ 组织委员会主席：唐卫清 CCF副秘书长、会士
- ◆ 宣传委员会主席：王新霞 CCF助理秘书长
- ◆ 大会总监：杜子德 CCF秘书长

## CCF协办清华三亚人工智能高峰论坛

清华三亚人工智能高峰论坛于3月22~24日在清华三亚国际数学论坛园举行，CCF协办了本次论坛。CCF秘书长杜子德受邀代表CCF参加会议并在开幕式上讲话。

本次论坛由数学家丘成桐主导发起，他邀请了来自国内外人工智能领域的专家到会交流。斯坦福大学的 Leonidas J. Guibas 教授带来了题为“形状差异与可变性”的报告，介绍了其在将形状差异低维参数化以反映形状的基本语义上所做的工作。加州大学洛杉矶分校朱松纯教授带来了题为“机器如何从人类获得合理的信任”的报告，介绍了他在可解释人工智能领域所做的工作。卡耐基梅隆大学教授、Petuum 公司创始人兼首席执行官邢波带来了题为“系统与机器学习算法协同设计”的报告，介绍了他为大规模人工智能构建的分布式框架 SysML，以及基于该框架研制的 Petuum 系统。微软公司资深副总裁、微软亚洲研究院院长洪小文带来了题为“智能简史”的报告，他通过回顾人工智能和人类智能的历史，说明人工智能和人类智能是共同进化的。腾讯 Robotics X & AI 实验室总监张正友在报告中首先回顾了腾讯的 Robotics X 及 AI 两大实验室近年的研究内容及取得的成果，然后详细介绍了其在“深度监督及敏感性分析”上所做的工作。

在论坛的互动环节，与会专家就“人工智能未来是否会威胁甚至毁灭人类”“人工智能的理论研究如何与实际应用结合”以及“研究生如何平衡论文数量与质量”等议题展开了讨论。论坛还开设了6个学术分会，涉及机器学习在学习理论、学习与推理、多媒体处理、视觉识别与机器人、人工智能应用等领域。

# 读编往来

## 来函照登

CCCF 2019年第2期的《量子计算五人谈》介绍了有关领域的一些情况，很有意思。但也有个地方把我搞糊涂了。文章开始（第46页）提到用Shor算法分解一个大整数（例如2048比特的整数）需要4000个逻辑量子比特和2亿个物理量子比特，但在第47页左栏中间（以及“总结”的开始和附录的“最简量子计算介绍”里）又说一台通用量子计算机需要4000个逻辑量子比特和2亿个物理量子比特。在经典计算理论里，通用计算机（通过编程，理论上）能完成任何的具体计算。很容易为其写一个分解整数的通用程序，它不仅能分解任意2048比特长度的整数，而且能分解任意位数的整数。希望作者澄清一下，用4000个逻辑量子比特和2亿个物理量子比特到底能做出什么样的机器？是通用的量子计算机（因此可以编程，可以处理任意计算问题，自然可以通过编程分解2048比特长度和任意长度的整数）？还是能分解任意的2048比特长度的整数的专用计算机器（因此需要能输入整数）？还是只能分解构造在机器里的某个具体的2048比特长度的整数的具体机器（不具任何通用性）？

裘宗燕（CCF杰出会员，北京大学教授）

### 作者孙贤和的回复：

裘教授的理解是正确的。用4000个逻辑量子比特和2亿个物理量子比特能做出最简单的通用量子计算机（因此可以编程，可以处理许多计算问题，也可以通过编程分解2048比特长度和任意长度的整数）。Shor的算法分解代表了一般的运算，需要最简单的通用量子计算机。

## 第3期卷首语《科学研究和工程技术的结合》

◆ 目前的问题是，科研机构并没有很好地引领科研人员朝产学研方面发力。比如高校集中了很多努力的科研人员，但是，高校的一些岗位设置或者职称晋升要求，并没有很好地引导这些科研人员从事与具体工程相关的工作。所以，我认为导向和激励很重要，如何把庞大的、奋战在一线的高校科研工作者形成一股合力，解决我国工程遇到的各类实际问题，还需要各个部门深入探讨激励机制和管理办法。

◆ 非常赞同作者的观点，二者本应该是相互结合与促进的关系。国家为了促进和规范科研成果转化成实际生产力，早在1996年就颁布了《中华人民共和国促进科技成果转化法》，并于2015年修订。揣测可能是我国的科研成果考评体系不够完善或缺少系统性思维，才导致文中指出的脱节问题。当然，在寻求完善科研导向和考评体系的同时，更需要科研工作者能深入生产实际，以问题和市场需要为导向，切实将科研成果转化为实际生产力。

## 第3期专栏

### 《电脑前传（3）：逻辑》

◆ 针对历史的回顾，能够提纲挈领又能够面面俱

到地阐述，需要对本学科有深度的学术积累和智慧的洞察。黄教授这篇回顾性的文章，使我们温故而知新。

## 《我国公民基因数据安全风险与应对》

很新颖的研究点和交叉方向，使读者扩展了视野。文章更多从政策的角度进行阐述，相对而言技术层面描述不多，考虑到文章受众，可更深入、细致地对基因数据安全的数字保护技术进行阐述。

## 《用代码可以构建人工心智吗》

◆ 题目提及构建人工心智，个人认为不妥。心智应该只有人类才有，即使高级动物所有的也只是智能罢了。人工心智一词是自创的词，不够严谨，建议改为人工“智能”。

◆ 微软公司作为最成功的商业公司之一，能够超越实用性摸索用代码构建 AI 心智的学术思路值得有抱负的中国公司思考。中国公司除了出色的业绩之外，还应该为世界贡献些什么？

## 《让机器学会触景生情吟诗作赋》

◆ 这篇文章很有意思。通过读图就可以根据图的内容生成诗赋，这里面融合了图像处理、自然语言处理以及人工智能，属于交叉技术，可以丰富

人们的生活和娱乐。不过我们也要注意，中文的诗词歌赋，即使 AI 强大到比人类做得更快更工整，但是这种文化传承以及技法等，还是应该在小学、中学甚至大学保留和普及，我们应该掌握诗词的创作技巧，保持一颗追求美好的创作心态。

◆ 机器学会触景生情吟诗作赋十分新颖别致，挑战很大，成果也是有目共睹的，值得点赞！但是，要实现诗情画意以及诗以言志可能还是来日方长。例如，毛泽东的《沁园春·长沙》，全词熔写景、议论和抒情于一炉，意境壮美，气势恢宏，感情奔放，胸襟豪迈。目前机器还是难以企及的。

## 《下一代网络将是什么样子？》

虽然文章并未说明下一代网络将是什么样子，但开启了读者对下一代网络的遐想。或许在网络设计创新中，会突然产生意想不到的功能，从而替代当前已普及的功能。文章启示人们要时刻关注网络技术的变革所产生的新状况，引申人们要关注并随机应变地把控计算机技术、通信技术的发展。

（本次参与评刊的有：李振华、廖勇、刘宇擎、时成阁、万江平、王波、易小琳、张福生、周果）

## 评论是需要鉴赏力的

### CCCF评刊员征集

《中国计算机学会通讯》(CCCF) 是 CCF 的旗舰刊物，她的健康发展离不开读者的建言献策。CCCF 现公开征集评刊员，只要你是 CCCF 的读者，热心 CCCF 的发展，对 CCCF 文章有评论，我们诚邀你加入评刊员队伍。希望你每年能有三次以上的评刊意见反馈给我们。

#### 您将得到：

- 当月纸质版刊物快递到你手中；
- CCCF 完整电子版；
- CCCF 评刊员证书；
- 评刊员采用积分制，对评刊次数多及质量高者，每年赠送 2~3 次精美礼品；
- 特别优秀者有机会受 CCF 资助参加 CNCC 及颁奖大会；
- 成功推荐评刊员者，也将得到 CCCF 赠送的精美礼品。

联系 : 010-6267 0365 cccf@ccf.org.cn



扫码报名

## CSP 认证：评测大学生编程能力的重要手段

### 逾万人参加第 16 次 CSP 认证

第 16 次 CCF CSP 认证于 2019 年 3 月 17 日在全国 48 个地区的 85 所院校同时举办，共有来自 400 多个单位的 11224 人参加，参加人数比去年同期增长 62%。

此次认证成绩 400 分以上的有 19 人，**北京邮电大学**和**西北工业大学**分别有 5 人和 2 人，位居前两位。认证成绩在 300 分以上且参加人数在 30 人以上的院校有 44 所，共 222 人。**清华大学**、**中南大学**、**上海交通大学**排名前三（CSP300 平均分排名附后）。针对每所学校前 20 名考生的成绩进行平均分排名，**北京邮电大学**、**山东大学**、**西北工业大学**位列前三。

CCF 已连续 5 年举办 CSP 认证，每年举办三次，累计参与人数达 98599 人，受到了越来越多高校和企事业单位的认可，社会影响力不断扩大。目前已在全国 126 所高校成立了授权认证点，清华、北航、国防科大等 80 多所高校将 CSP 纳入教学计划或列为研究生入学条件。百度、腾讯、阿里巴巴、网易有道等 CSP 认证合作企业将 CSP 成绩作为毕业生获得应聘面试机会的必要条件。

本次认证成绩优秀者将有资格成为 2019 CCF CCSP 总赛区以及分赛区竞赛的候选选手，CCSP 总决赛将于 2019 年 10 月在苏州与 CNCC2019 同期举办。此外，从 2018 年起，CCF CSP 成绩成为推荐“CCF 优秀大学生奖”的必要条件。

附：CSP300 高校前 29 名排名（按平均分由高到低排序）

排名	高校	≥ 300 分 人数	认证 人数	排名	高校	≥ 300 分 人数	认证 人数
1	清华大学	9	33	16	青岛大学	10	144
2	中南大学	4	30	17	山东大学	17	404
3	上海交通大学	5	35	18	湖南大学	3	393
4	北京航空航天大学	13	98	19	同济大学	6	65
5	西北工业大学	10	116	20	福州大学	5	155
6	中山大学	7	65	21	吉林大学	7	319
7	北京邮电大学	23	153	22	四川大学	8	260
8	东北大学	3	47	23	重庆邮电大学	4	92
9	苏州大学	3	36	24	南京航空航天大学	6	295
10	深圳大学	5	89	25	太原理工大学	6	254
11	哈尔滨工业大学	5	119	26	哈尔滨理工大学	3	265
12	华中科技大学	10	354	27	中国海洋大学	3	205
13	武汉大学	7	179	28	哈尔滨工程大学	6	420
14	郑州轻工业大学	5	88	29	中北大学	3	429
15	山东科技大学	4	160				



# CCF重视 每一位会员的价值!

加入CCF

专业会员/高级会员/杰出会员/会士:

200元/年(一次可交纳5年) 学生会员:50元/年

欢迎

微信支付

其他缴费方式:

在线缴费 [www.ccf.org.cn](http://www.ccf.org.cn)

银行转账

开户行: 北京银行北京大学支行

户 名: 中国计算机学会

账 号: 0109 0519 5001 2010 9702 028



扫一扫微信支付



CNCC

# 2019 中国计算机大会

China National Computer Congress 2019

10.17-19 苏州金鸡湖国际会议中心

**智能+**  
——引领社会发展  
**AI+** *Leading the development of society*

010-6260 0336  
cncc@ccf.org.cn  
cncc.ccf.org.cn

