

# 我国计算思维能力培养的研究热点与趋势 ——基于 CiteSpace 的可视化分析

甘茂华

(四川外国语大学教育技术中心 重庆 400031)

**摘要** 随着计算机科学的不断发展,计算思维成为计算机学科和教育部门关注的热点。利用文献计量法对中国知网核心期刊数据库和硕博论文数据库收录的相关文献进行可视化分析,揭示国内计算思维的研究现状、计算思维的关键文献及前沿文献。研究结果表明:国内对于计算思维能力培养的研究主要集中在计算机基础课程改革及教学模式探讨,缺乏实证挖掘和评价研究,计算思维能力培养研究深度有待提高,且教师信息技术专业素养不足以培养学生的计算思维。预测了未来计算思维能力培养研究的发展趋势,为计算思维的普及指引方向。

**关键词** 计算思维 CiteSpace 计算机基础 信息技术

中图分类号 TP391.9

文献标识码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.06.001

## RESEARCH HOTSPOTS AND TRENDS OF COMPUTATIONAL THINKING ABILITY TRAINING IN CHINA BASED ON VISUALIZATION ANALYSIS BY CITESPACE

Gan Maohua

(Educational Technology Service, Sichuan International Studies University, Chongqing 400031, China)

**Abstract** With the continuous development of computer science, computational thinking has become a hot topic in computer science and education department. Using bibliometrics, a visual analysis of the relevant literatures collected in the core periodical database and the scholarly dissertation database from CNKI was produced. It revealed the research status of computational thinking in China, the key and frontier literatures of computational thinking. The results indicate that the research on computational thinking ability cultivation in China mainly focuses on the reform of basic computer courses and the exploration of teaching modes. However, the depth of research on computational thinking ability cultivation need to be improved. It is also found that the research on computational thinking ability cultivation is lack of empirical excavation and evaluation research. Teachers are found to have insufficient professional qualities in information technology to train the computational thinking of students. I predicte the development trend of the research on computational thinking ability cultivation in the future, and it can guide the popularization of computational thinking.

**Keywords** Computational thinking CiteSpace Computer foundation Information technology

## 0 引言

随着信息技术、人工智能技术的不断发展,计算思维对人才培养的影响逐渐引起教育领域的关注。2006年3月,美国卡内基·梅隆大学的周以真教授指出<sup>[1]</sup>,

计算思维应当是每个人都具备的技能,不仅仅只有计算机科学家才具有计算思维。新时期的每一个人都应该具备阅读、写作、算术和计算思维四种基本技能。随后,计算思维的研究相继开展起来,尤其是教育领域对于如何培养学生的计算思维能力引起了广大研究者的关注。然而,目前还没有关于计算思维相关的全面的、

可视化的图谱现状分析。基于此,结合 CiteSpace5.3 可视化分析工具,运用文献计量法对 2008 年 - 2018 年国内计算思维能力培养研究内容进行全面性的可视化分析,旨在深入了解计算思维研究的前沿问题,培养计算思维的方法和路径,未来计算思维能力培养研究的发展趋势,为计算思维的进一步研究提供思路。

## 1 数据来源及处理

研究采用的是美国陈美超教授<sup>[2]</sup>研发的 CiteSpace (5.3 版本)可视化分析软件,该软件被广泛应用与多学科的学术论文分析,期刊、作者共被引关系分析和知识图谱绘制。数据来源是中国知网核心期刊数据库和硕博论文数据库收录的相关文献。以“计算思维”进行主题搜索,搜索年限为 2008 年 - 2018 年,剔除重复和会议、征文等无关文献后,析出文献总数为 235 条。检索结果以 Refworks 的格式导出并命名为 Dowload-1,用 CiteSpace 数据转换功能转换为 CNKI 格式后可用 CiteSpace 进行分析。

## 2 结果与分析

CiteSpace 可以自动抽取施引文献的关键词产生聚类词(Cluster),用来总结研究聚集点,每个聚类可以当作一个联系紧密的独立研究领域<sup>[2]</sup>。采用 CiteSpace5.3 对知网 2008 年 - 2018 年的核心期刊数据库和硕博论文数据库中的 235 条计算思维相关文献进行可视化分析。文献时间(Time Slicing)设为“2008 - 2018”;时间切片单位(Years Per Slice)设为 1 年;Term Source 下的四个复选框(Title、Abstract、Author Keywords、Keywords Plus)全选;节点类型(Node Types)设为关键词(Keyword);阈值(Selection Criteria)设置 TopN% = 50%,可视化(Visualization)选择 Static 和 ShowMerged Network。单击运行按钮(go)开始运行 CiteSpace,得到文献的关键词共现图谱,如图 1 所示。其中  $N = 393$ ,  $E = 977$ ,  $Density = 0.0127$ ,  $N$  表示网络节点个数,  $E$  表示网络连线数量,  $Density$  表示网络密度。而网络模块化的评价指标 Modularity 的  $Q = 0.6831$ ,  $Q$  取值区间一般为  $[0, 1]$ , 值越大表示其聚类效果越好,如果  $Q > 0.3$ , 则表明划分的聚类结构是显著的。网络同质性评价指标 Silhouette 的值越接近 1, 反映网络的同质性越高。图 1 中 Mean Silhouette = 0.9217, 因此, 该聚类结果可信度高, 其呈现结构是有参考价值的。下面通过知识图谱的可视化进行关键词词频统计、关键词突现性分析等

方式,探讨计算思维研究热点及趋势。



图 1 计算思维关键词共现图谱

## 2.1 CiteSpace 文本分析:计算思维研究热点

### 2.1.1 关键词引用频次分析

2008 年 - 2018 年,计算思维研究领域出现频次最高的是“计算思维”351 次,然后是“教学模式”35 次,“大学计算机基础”31 次,“教学改革”29 次,“计算机基础教学”25 次,“大学计算机”16 次,“信息技术课程”15 次,“实验教学”14 次,“scratch”14 次,“app inventor”13 次,如表 1 所示。

表 1 2008 年 - 2018 年计算思维领域的高频关键词

序号	引用频次	关键词
1	351	计算思维
2	35	教学模式
3	31	大学计算机基础
4	29	教学改革
5	25	计算机基础教学
6	16	大学计算机
7	15	信息技术课程
8	14	实验教学
9	14	Scratch
10	13	App inventor

1) 高频研究热点“计算思维”。桂林电子科技大学的董荣胜教授从计算机方法论的角度讨论了什么是计算思维<sup>[3]</sup>。国防科技大学的朱亚宗教授认为计算思维是与实验思维、理论思维齐名的三大科学思维之一<sup>[4]</sup>。四川师范大学牟琴以时间为线索,将计算思维划分为了萌芽时期、奠基时期和混沌时期三个阶段<sup>[5]</sup>。董荣胜教授于 2010 年发布了九校联盟(C9)计算机基础教学发展战略联合声明<sup>[6]</sup>,将计算思维的研究推向了高潮,国内掀起了计算思维研究热浪。继而产生了计算机基础教学改革研究、教学模式研究、计算思维能

力培养研究等新的热点。

2) 高频研究热点“教学模式”。经过前期各专家学者的研究和界定,一致认为计算思维是人的重要思维,培养人的计算思维势在必行。牟琴等研究者相继提出了基于计算思维的探究式教学模式<sup>[7]</sup>、任务驱动式探究模式<sup>[8]</sup>、网络自主学习模式<sup>[9]</sup>等多种教学模式。李禾<sup>[10]</sup>分析了基于计算思维的计算机公共基础课研究性的教学模式。李贤阳等<sup>[11]</sup>提出了基于计算思维的问题导学型教学模式。李辉等<sup>[12]</sup>提出了计算思维视野下大学计算机基础课程任务驱动式教学模式。杨文正等<sup>[13]</sup>提出了计算思维导向的多元混合教学模式。张茵茵<sup>[14]</sup>提出了培养小学生计算思维的问题解决教学模式。由此可见,专家学者都认为教学模式是培养计算思维能力的必经途径。

3) 高频研究热点“大学计算机基础”。从计算思维的概念辨析到如何培养人的计算思维,各大学专家学者掀起了一阵教学模式研究热。而通过多年的教学模式研究发现,对学习者的计算思维能力的培养效果不是很令人满意。于是大家又达成了共识,要培养计算思维,必须要进行课程改革。而大学计算机基础作为每一位大学生的必修课,那么对大学计算机基础的课程设置、架构改革就显得尤为重要了。陈国良、董荣胜、战德臣等讨论了大学计算机基础课程改革的必要性和重要意义,并给出了大学计算机改革的基本思路,构建了面向计算思维的大学计算机课程体系<sup>[15-18]</sup>。

4) 高频研究热点“教学改革”。要让人人都具备计算思维,那么传统的教学要如何进行改革呢?仅靠大学计算机基础的课程改革来培养人的计算思维是远远不够的。于是研究者们开始关注分阶段、分专业、分课程进行促进计算思维形成的教学改革。李辉等<sup>[19]</sup>提出了以计算思维为导向的农类高职院校计算机基础课程教学改革。冀素琴等<sup>[20]</sup>提出了以计算思维为导向的财经类 ACCESS 课程的教学改革方式。何中胜等<sup>[21]</sup>提出了面向计算思维的文献检索课程的教学改革方法。焦纯等<sup>[22]</sup>研究了基于计算思维的医药院校计算机基础课程教学改革方式。

### 2.1.2 关键词突变性分析

关键词突变性是指在某段时间内,关键词的频率突然上升或下降,代表研究领域的趋势转变方向<sup>[23]</sup>。利用 CiteSpace 的突变系数 (Burst) 对计算思维的关键词进行突变检测分析,进一步确定计算思维领域的研究前沿,如图 2 所示进行突变系数检测设置,其检测出来的突变关键词为 11 个。表 2 列举了具体的高频关键词的频次和突变系数(突变系数降序排练)。

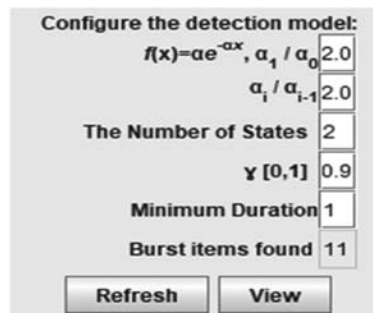


图 2 突变系数设置

表 2 计算思维关键词共现频次及突变系数

序号	关键词	频次	突变系数	年份
1	大学计算机基础	31	4.476 5	2012
2	计算学科	7	4.362 4	2008
3	app inventor	13	4.287 9	2017
4	教学模式	35	3.994 3	2015
5	问题解决	8	3.486 8	2017
6	计算思维能力	10	3.300 9	2016
7	教学内容	6	3.047 6	2014
8	计算机基础教学	26	2.986 3	2010
9	computational thinking	8	2.520 5	2011
10	计算机基础课程	9	2.315 8	2013
11	信息技术教育	10	2.300 3	2014
12	计算思维	351		2009
13	教学改革	29		2012
14	程序设计	14		2011
15	Scratch	14		2013

从表 1 可以看出,在 2008 年-2017 年计算思维的相关研究中,突变系数最高的关键词是大学计算机基础,突变为 4.476 5,突变年份为 2012 年;突变系数排在第二位的关键词是计算学科,突变为 4.362 4,突变年份为 2008 年;突变系数排在第三位的关键词是 app inventor,突变系数为 4.287 9,突变年份为 2017 年;突变系数排在第四位的关键词是教学模式,突变系数为 3.994 3,突变年份为 2015 年;突变系数排在第五位的关键词是问题解决,突变系数为 3.486 8,突变年份为 2017 年。

从关键词的突变性来看,2008 年,“计算学科”成了计算思维领域的热点关键词;2010 年,研究者开始关注“计算机基础教学”;2011 年,“computational thinking”引起了研究者的关注,但是关注度不是很高;2012 年,“大学计算机基础”关键词的突现,激起了教育界的各大研究者的热情,成为了 2012 年的计算思维研究领域的新热点;2013 年出现的突现关键词是“计算机基础教学”;2014 年,研究者们又从关注“大学计算机基础”转向了“教学内容”和“信息技术教育”,学者们认识到计算思维不仅仅只在大学阶段才能培养,也不只是计

计算机基础课程才能培养计算思维,于是研究者们纷纷开始关注“教学内容”和“信息技术教育”;2015年,研究者们主要关注“教学模式”关键词;2016年,“计算思维能力”关键词突现,成为了研究者重点关注的领域。那么计算思维能力到底需要一种什么能力呢?2017年,突现关键词“问题解决”给出了很好的回应。

## 2.2 CiteSpace 视图分析:计算思维能力培养研究发展趋势

### 2.2.1 关键词共现图谱分析

2008年-2009年,计算思维能力培养研究领域最大的热点关键词是“计算思维”,其频次高达351次,如图3所示;到了2010年-2011年,研究热点变为了“教学模式”,“实验教学”,“程序设计”等;2012年-2014年,计算思维领域的研究集中在“大学计算机基础”、“教学改革”、“信息技术课程”、“计算思维能力”等;2015年-2018年,研究者的关注点变为了“计算思维教育”、“计算机科学”、“问题解决”。

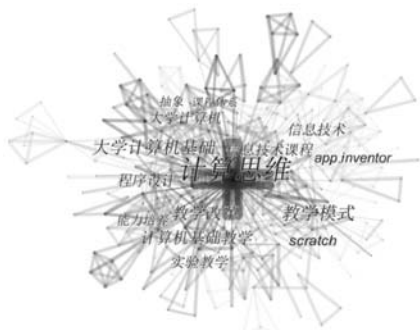


图3 2008年-2018年计算思维研究领域关键词共现图谱

### 2.2.2 聚类视图分析

去除基本关键词“计算思维”后,对关键词网络通过LLR(对数似然率算法)进行聚类,得到聚类结果如图4所示,共得到11个聚类。将这11个聚类划分为计算思维课程体系构建研究、计算思维能力培养研究、计算思维教学模式研究三大类,下面对三类聚类进行分析。

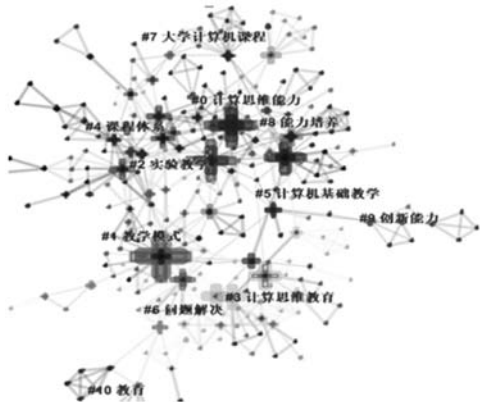


图4 2008年-2018年计算思维研究领域的聚类视图

#### 1) 计算思维课程体系构建——2个聚类。

聚类#4 课程体系和聚类#7 大学计算机课程可以

划分为计算思维课程体系构建研究,该大类下提取出的关键词有“大学计算机基础课程”、“信息技术课程”、“可视化编程”、“课程改革”、“教学设计”、“教学实践”、“策略”、“教学改革”等。可以看出,这2个聚类侧重呼吁大学计算机基础课程体系的变革来促进计算思维的发展,比如战德臣等构建了基于计算思维的大学计算机基础课程体系,拟通过课程体系改变来促进学习者计算思维的形成。

#### 2) 计算思维能力培养研究——4个聚类。

聚类#0 计算思维能力、聚类#6 问题解决、聚类#8 能力培养、聚类#9 创新能力这四个聚类可以划分为计算思维能力培养的研究。该大类下提取出来的关键词有“计算思维能力”、“能力培养”、“信息素养”、“创新能力”、“问题解决”等。这4个聚类都是专家学者致力于培养人的计算思维能力的研究。通过前阶段研究者对计算思维概念的界定,对计算思维重要性的探讨认可,对大学计算机基础课程体系进行重构后,如何培养人的计算思维能力成为了新的研究热点。朱鸣华等研究者就探讨了通过改变课程结构、改变教学方法、在教学过程中增加任务驱动和第二实践平台来培养学生计算思维能力<sup>[24-25]</sup>。

#### 3) 计算思维教学模式研究——5个聚类。

聚类#1 教学模式、聚类#2 实验教学、聚类#3 计算思维教育、聚类#5 计算机基础教学、聚类#10 教育这五个聚类可以划分为计算思维教学模式研究。该大类下提取的关键词“教学模式”、“教学方法”、“教学设计”、“实践教学”、“混合式学习”、“自主学习”等。这5个聚类重点研究教学模式。研究者们将探究型教学模式、网络自主教学模式、任务驱动式教学模式、问题解决型教学模式等多种教学模式与计算思维相融合,把计算思维融入到各种教学模式的每一个教学环节中。

### 2.2.3 时间线视图分析

时间线视图主要用于勾画各聚类之间的关系和某聚类的时间跨度<sup>[23]</sup>。设置时间切片为1年,切换为时间线视图(Timeline View),可以清晰地看到计算思维各个聚类热点的演变过程,如图5所示。

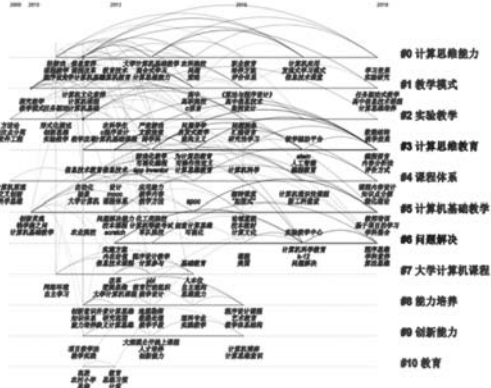


图5 2008年-2018年计算思维研究领域的 timelines 视图

聚类#0 计算思维能力从 2011 年一直持续到 2018 年,研究者们一直没有停止过关注计算思维能力。

聚类#1 教学模式从 2010 年开始有研究者关注,期间探究教学、任务驱动、大学计算机基础、C 语言、高中信息技术、程序设计与算法等是研究者们关注的重点。

聚类#2 实验教学从 2009 年开始受到研究者的关注,其中的“关注点分离”、“形式化描述”、“问题抽象”、“问题解决”等实验型教学问题成为了研究热点。

聚类#3 计算思维教育的重点关注时间是在 2012 年,持续到了 2018 年,关注热点有“stem”、“编程语言”、“人工智能”、“app inventor”、“可视化编程”等。

聚类#4 课程体系从 2009 年一直持续到了 2018 年,关注点逐渐从“大学计算机基础”向“学科融合”、“学科交叉”等方向转变。

聚类#5 计算机基础教学从 2010 年到 2018 年,研究者们一直持续关注,从关注课程体系结构变革,到关注教学模式转变,到 2018 年,计算机基础教学与专业、学科的融合成为了新的研究热点。

聚类#6 问题解决从 2013 年开始得到了研究者的广泛关注,主要研究热点有“K12”、“学科素养”、“计算科学”、“问题解决能力”等。

聚类#7 大学计算机基础课程从 2011 年持续到了 2015 年,持续时间较短。研究者重点关注大学计算机基础课程改革。

聚类#8 能力培养、聚类#9 创新能力和聚类#10 教育的持续时间均不长,从 2015 年开始关注度逐渐降低。

在时间线视图中,可以看出各时间段之间的连线关系,梳理出计算思维研究热点变化趋势,理清其发展的方向。

### 3 计算思维能力培养研究存在的问题及未来发展趋势

#### 3.1 计算思维能力培养研究存在的问题

计算思维得到了广大专家学者的认可,国内对计算思维的研究也开展了 10 多年了。基于上述可视化分析,研究者对计算思维的研究热点没有丝毫的降低,还在持续发热。然而,研究者们认为,国内关于计算思维的研究还处于初级阶段,研究内容不够广泛,研究模式创新性不足,研究深度还有待进一步加强。总结起

来,主要存在如下问题:

(1) 计算思维相关课程设置缺乏深度 当今社会是信息社会,是高科技社会,人工智能技术、大数据技术、数据挖掘技术等高新技术已经成为衡量一个国家核心竞争力的重要指标。而如何驾驭这些高新技术,提供国家的综合竞争力,这就对人才的培养机制提出了较高的要求。国家要强大,离不开人才的培养,而人才的培养要立足于服务社会和促进经济发展的需要。为了打造出世界一流的信息化创新性人才,美国、英国、新西兰等国家已经将计算思维写入了基础教育国家课程标准中,投入了大量的资金以推动计算思维教育。在国内,大家也意识到了计算思维能力的重要性。2017 年,国务院在《新一代人工智能发展规划》中提出要全面提高社会对人工智能的整体认识和应用水平。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,逐步推广编程教育<sup>[26]</sup>。而当前的中小学阶段计算思维相关课程多数只设置了信息技术课程。信息技术课程主要的课程框架有计算机软硬件知识、操作系统、office 操作、网络工具的应用、绘图工具的应用。少数的一线城市中小学开设有机器人、编程、微视频制作等兴趣课程,但均没有全面普及教育。这些内容存在着知识结构太简单、内容单一、趣味性不大、缺乏深度等缺点,与现代的人工智能、大数据、计算思维的契合度较低,无法有效地培养人的计算思维。因此,教育各个阶段的教材编著者、政策制定者和相关研究人员应根据计算思维的核心内容,结合各阶段学习者的信息技术水平,制定不同的计算思维相关课程体系和计算思维评价指标,为具体教育实践提供良好的指导。

(2) 教师的信息技术专业素养不足以全面培养计算思维能力 在计算思维能力的培养过程中,教师的信息技术专业素养起着关键的作用。随着计算思维研究热浪的推来,国内迎来了一大批教学模式、教学内容的改革之风,但是对于如何让教师具备计算思维能力,如何让教师具备培养学生的计算思维能力却鲜有研究。因此,当下首要任务应该分阶段、分层次地加强教师的信息技术专业素养培训,提升各类教师的计算思维能力。只有教师的计算思维能力得到提升,才能更好地培养学生的计算思维能力。研究者们接下来也可以深入研究如何提升在职教师和未来教师的计算思维能力,帮助教师尽快掌握如何进行计算思维能力培养的教学实践。

(3) 计算思维能力培养研究的实证挖掘和效果评价缺乏 在已有的计算思维教学实践研究案例中,多

数是以大学计算机基础、程序设计等课程知识点为例,将计算思维的各个知识点融入已有的教学模式中,以小众教学为研究对象,缺乏该模式推广重用后的实证研究。分析各计算思维教学模式后发现,如何评价其教学效果的研究也几乎为零。因此,如何结合教学实践,探索计算思维的教学模式、检验计算思维的教学效果是研究者们接下来要思索的问题。

### 3.2 未来计算思维能力培养研究的发展趋势

(1) 计算思维课程的广度、深度及跨学科培养计算思维 计算思维是运用计算机科学的基本概念求解问题、构建系统、理解人类行为的一系列思维活动。计算思维的培养不等于编程教育,而是要让学习者学会像计算机科学家一样地思考问题,解决问题。研究者可以根据计算思维的核心内容,面向中小学、高校等各个阶层构建既有深度又有广度的计算思维课程。依托信息技术、数学、物理、自然等不同学科,实现跨学科培养计算思维能力。

(2) 计算思维能力的评价 计算思维能力培养效果到底如何呢?国内还没有专门针对于计算思维的评价体系,也很少有研究对计算思维能力进行评价。因此,计算思维的培养效果不能很好地进行量化。教师如何对学生的计算思维能力进行评价量化是未来计算思维教育研究的一个重要方向。

(3) 教师计算思维能力的培训 计算思维的发展、计算思维人才的培养都离不开教师对计算思维的理解。当前阶段,能很好地运用计算思维来解决问题的人才还比较缺乏,能承担培养人的计算思维的教育工作者更是少之又少。因此加强信息技术专业教师和非专业教师的计算思维能力培训势在必行,只有先提高教师的计算思维能力,才能尽快实现人人都具备计算思维能力。

## 4 结 语

计算思维是未来社会每个人所必备的基本技能,不仅仅属于计算机科学家。计算思维的相关研究对教育、人才培养、人工智能的发展有着举足轻重的作用。通过对近10年来国内计算思维相关文献的研究,对计算思维能力培养的研究热点和前沿进行了关键词共现分析、关键词突现性分析、关键词共现图谱分析、关键词聚类图谱分析和关键词时间线视图分析,清晰地了解到了计算思维已有的研究现状及热点前沿。当然,研究过程中也存在着不足之处。CiteSpace 可视化分

析工具的数据来源主要以发表的论文为主,不包括书籍、报告、论著等文献来源,因此选择的数据源覆盖面不全。且 CiteSpace 的参数设置比较复杂,阈值、时间切片以及排除的关键词等设定不同,也会对研究结果产生一些影响。在后续研究中,还会扩大样本数据库,持续关注计算思维的发展,积极思考如何推进计算思维教育,为计算思维的普及指引方向。

## 参 考 文 献

- [1] Wing J M. Computational Thinking[J]. Communications of the ACM, 2006, 49(3): 33 - 35.
- [2] Chen C M. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3): 359 - 377.
- [3] 董荣胜. 计算思维与计算机导论[J]. 计算机科学, 2009, 36(4): 50 - 52.
- [4] 朱亚宗. 论计算思维——计算思维的科学定位、基本原理及创新路径[J]. 计算机科学, 2009, 36(4): 53 - 55, 93.
- [5] 牟琴, 谭良. 计算思维的研究及其进展[J]. 计算机科学, 2011, 38(3): 10 - 15, 50.
- [6] 董荣胜. 《九校联盟(C9)计算机基础教学发展战略联合声明》呼唤教育的转型[J]. 中国大学教学, 2010(10): 14 - 15.
- [7] 牟琴, 谭良. 基于计算思维的探究教学模式研究[J]. 中国远程教育, 2010(11): 40 - 45.
- [8] 牟琴, 谭良, 周雄峻. 基于计算思维的任务驱动式教学模式的研究[J]. 现代教育技术, 2011, 21(6): 44 - 49.
- [9] 牟琴, 谭良, 吴长城. 基于计算思维的网络自主学习模式的研究[J]. 电化教育研究, 2011(5): 53 - 60.
- [10] 李禾. 试析计算思维的计算机公共基础课研究性的教学模式[J]. 黑龙江高教研究, 2012, 30(6): 158 - 159.
- [11] 李贤阳, 杨志坚. 基于计算思维的问题导学型教学模式研究[J]. 教育与职业, 2015(33): 87 - 89.
- [12] 李辉, 邹承俊. 计算思维视野下大学计算机基础课程“任务驱动式”教学模式研究与实践[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(6): 172 - 174.
- [13] 杨文正, 刘敏昆. 计算思维导向的多元混合教学及其应用研究——以“大学计算机基础”课程为例[J]. 中国电化教育, 2017(4): 129 - 136.
- [14] 张茵茵. 培养高年级小学生计算思维的问题解决教学模式研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2018.
- [15] 陈国良, 董荣胜. 计算思维与大学计算机基础教育[J]. 中国大学教, 2011(1): 7 - 11, 32.
- [16] 战德臣, 聂兰顺, 徐晓飞. “大学计算机”——所有大学生都应学习的一门计算思维基础教育课程[J]. 中国大学教学, 2011(4): 15 - 20.

闲信道误检为忙信道、阅读器命令发生丢包均取得了明显的效果。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Sicari S, Rizzardi A, Grieco L A, et al. Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead[J]. Computer Networks, 2015, 76(C):146 - 164.
- [ 2 ] Liu X, Xie X, Li K, et al. Fast Tracking the Population of Key Tags in Large-Scale Anonymous RFID Systems [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2016, 25 ( 1 ): 1 - 14.
- [ 3 ] Liu X, Xiao B, Li K, et al. RFID Estimation With Blocker Tags[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2017, 25(1):224 - 237.
- [ 4 ] 张小红, 张留洋. 无源 RFID 自适应帧时隙防碰撞算法研究[J]. 电子学报, 2016, 44(9):2211 - 2218.
- [ 5 ] Arjona L, Simon H L, Ruiz A P, et al. Scalable RFID Tag Estimator with Enhanced Accuracy and Low Estimation Time [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2017, 24(7): 982 - 986.
- [ 6 ] Jin X, Wei D, Xu Y, et al. A novel RFID tag estimation algorithm based on DFSA[C]//International Conference on Electronics Information and Emergency Communication. IEEE, 2015:26 - 29.
- [ 7 ] Duan L, Zhang X, Wang Z J, et al. A Feasible Segment-by-Segment ALOHA Algorithm for RFID Systems[J]. Wireless Personal Communications, 2017, 96(12):1 - 17.
- [ 8 ] Shahzad M, Liu A X. Fast and Accurate Estimation of RFID Tags[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2015, 23(1):241 - 254.
- [ 9 ] 龙昭华, 宫腾飞. 基于非空时隙数的无线射频识别标签估算算法[J]. 计算机应用, 2016, 36(1):101 - 106.
- [10] Hou Y, Ou J, Zheng Y, et al. PLACE: Physical layer cardinality estimation for large-scale RFID systems[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2016, 24 ( 5 ): 2702 - 2714.
- [11] Sze W K, Deng Y, Lau W C, et al. Channel-Oblivious Counting Algorithms for Large-Scale RFID Systems [J]. IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems, 2015, 26(12):3303 - 3316.
- [12] 梁雪萍, 马存庆, 梁颖升. 基于帧时隙 ALOHA 的 RFID 标签集合检测协议框架[J]. 计算机应用研究, 2016, 33 ( 3 ): 730 - 733.
- [13] Durand M, Flajolet P. Loglog Counting of Large Cardinalities [C]//European Symposium on Algorithms. Springer Berlin Heidelberg, 2003:605 - 617.
- [14] Qian C, Ngan H, Liu Y. Cardinality Estimation for Large-scale RFID Systems[C]//IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. IEEE Computer Society, 2011:30 - 39.
- [15] Dutta P, Dawson-Haggerty S, Chen Y, et al. Design and evaluation of a versatile and efficient receiver-initiated link layer for low-power wireless[C]//Acm Conference on Embedded Networked Sensor Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2010:1 - 14.
- [16] Chen C, Wu C. An RFID system yoking - proof protocol conforming to EPC global C1G2 standards [J]. Security & Communication Networks, 2015, 7(12):2527 - 2541.
- [17] Gong W, Liu K, Miao X, et al. Arbitrarily accurate approximation scheme for large-scale RFID cardinality estimation [C]//IEEE INFOCOM 2014—IEEE Conference on Computer Communications. IEEE, 2014:477 - 485.
- [18] Zheng Y, Li M. ZOE: Fast cardinality estimation for large-scale RFID systems [J]. Proceedings—IEEE INFOCOM, 2013, 12(11):908 - 916.
- [19] Chen B, Zhou Z, Yu H. Understanding RFID counting protocols[C]//International Conference on Mobile Computing & Networking. IEEE, 2013:291 - 302.
- ~~~~~
- (上接第 6 页)
- [17] 战德臣, 聂兰顺. 计算思维与大学计算机课程改革的基本思路[J]. 中国大学教学, 2013(2):56 - 60.
- [18] 战德臣, 王浩. 面向计算思维的大学计算机课程教学内容体系[J]. 中国大学教学, 2014(7):59 - 66.
- [19] 李辉, 邹承俊, 张霞. 计算思维导向下农类高职院校计算机基础课程教学改革探索[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016 ( 16 ): 219 - 221.
- [20] 冀素琴, 石洪波, 吕亚丽. 计算思维导向下的财经类专业 ACCESS 课程教学改革[J]. 教育理论与实践, 2014, 34 ( 18 ): 54 - 56.
- [21] 何中胜, 刘晓丹. 面向计算思维的文献检索课程的教学改革探索[J]. 图书馆学研究, 2014(2):8 - 11.
- [22] 焦纯, 卢虹冰, 张国鹏, 等. 面向计算思维培养的医药院校计算机基础课程教学改革研究[J]. 中国大学教学, 2013 ( 8 ): 41 - 43.
- [23] 陈悦, 陈超美, 胡志刚, 等. 引文空间分析原理与应用: CiteSpace 实用指南[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [24] 朱鸣华, 赵铭伟, 赵晶, 等. 计算机基础教学中计算思维能力培养的探讨[J]. 中国大学教学, 2012(3):33 - 35.
- [25] 柳泉, 张晗. 计算机程序设计基础课程中计算思维的培养[J]. 计算机工程与科学, 2016, 38(S1):167 - 169.
- [26] 国务院. 关于印发新一代人工智能发展规划的通知(国发[2017]35号)[EB/OL]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content\\_5211996.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm).