

# 从计算科学的历史演变揭示计算思维的形成和发展

余廷忠, 王 力

(贵州工程应用技术学院信息工程学院, 贵州 毕节 551700)

**摘 要:** 通过对国内国际计算工具(机器)历史演进的考察,分析了计算思维的形成和发展过程,并强调了计算思维能力在当代信息社会的重要性。

**关键词:** 计算思维;计算科学;计算工具;抽象;自动化

**中图分类号:** TP3-05

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-0239(2017)03-0085-06

## 1 问题的提出——从历史视角理解计算思维的意义

最早提出计算思维概念的是1996年麻省理工学院(MIT)Seymour Papert教授<sup>[1]</sup>,而把这一概念推到前台,从此备受业界广泛关注的是美国卡内基梅隆大学(CMU)的周以真教授<sup>[2]</sup>。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。并且周教授在其论文表述中,把计算机从工具到思维的发展,提炼到等同于“3R(读、写、算)”的重要性,成为适合每个人的普遍认识和普适性技能。

图灵奖获得者Karp认为<sup>[3]</sup>,自然问题和社会问题自身的内部就蕴含丰富的属于计算的演化规律,这些演化规律伴随着物质的变换,能量的变换以及信息的变换。因此正确提取这些信息变换,并通过恰当的方式表达出来,使之成为能够利用计算机处理的形式,这就是基于计算思维概念的解决自然问题和社会问题的基本理论和方法论<sup>[4]</sup>。

由于计算机对各个领域的渗透和引领,使得人们的思维活动或多或少、自觉或不自觉地与计算机联系进来,形成了计算机文化和基本的计算思维理念。但是我们对计算思维的理解还只是沧海一粟,难免一叶障目,在认识上还存在着不少误区和争议。虽然计算思维是与“计算”密切相关的人类最原始就有的思维活动,但我们考察大量的计算思维的研究文献,发现从历史层面去研究计算思维的文献却很少。为此,我们从历史发展的视角去考察和研究计算思维的形态及内涵,对人们较全面地理解计算思维具有重要的意义。

## 2 从国内计算工具的演变看计算思维的形成和发展

计算思维的演变过程取决于计算工具(机器)的产生、变革及发展,即工具决定着思维。管会生教授认为,计算思维最集中体现和最具典型的特征,就是完备的计算系统必须是软硬件结合的系统<sup>[5]</sup>,不

收稿日期: 2017-02-11

基金项目: 贵州省2017年一流大学——一流课程培训项目“应用型大学计算机基础”,项目编号:黔教办高[2017]86号;2015年省级本科教学工程建设项目“大学计算机基础SPOC在线教学系统建设及研究”,项目编号:黔教高发[2015]337号。

作者简介: 余廷忠(1965-),男,贵州大方人,贵州工程应用技术学院信息工程学院副教授。研究方向:计算机图形图像算法及处理。

王 力(1971-),男,贵州安顺人,贵州工程应用技术学院信息工程学院教授,硕士生导师。研究方向:智能计算、模式识别。

管是计算机或是手机都一样。例如中国唐末盛行的珠算就是这样的计算系统:算盘即硬件,珠算口诀即软件。从结绳计数到电子计算机的计算工具的发展过程实际上是计算思维内容不断拓展的过程<sup>[6]</sup>。计算思维的历史演变及现代计算思维的形成过程如图 1 所示,下面分别陈述。

2.1 算筹所蕴含的计算思维

算筹在算盘被广泛应用之前一直是我国最重要的计算工具。算筹计算的规则称为筹算。计算时按照纵横相间的原则表示自然数,可进行加、减、乘、除、开方等代数计算。《孙子算经》有算筹计数法的详细记载。我国古代数学家祖冲之应用算筹计算出圆周率的值介于 3.1415926 到 3.1415927 之间,这结果比西方国家早一千年。

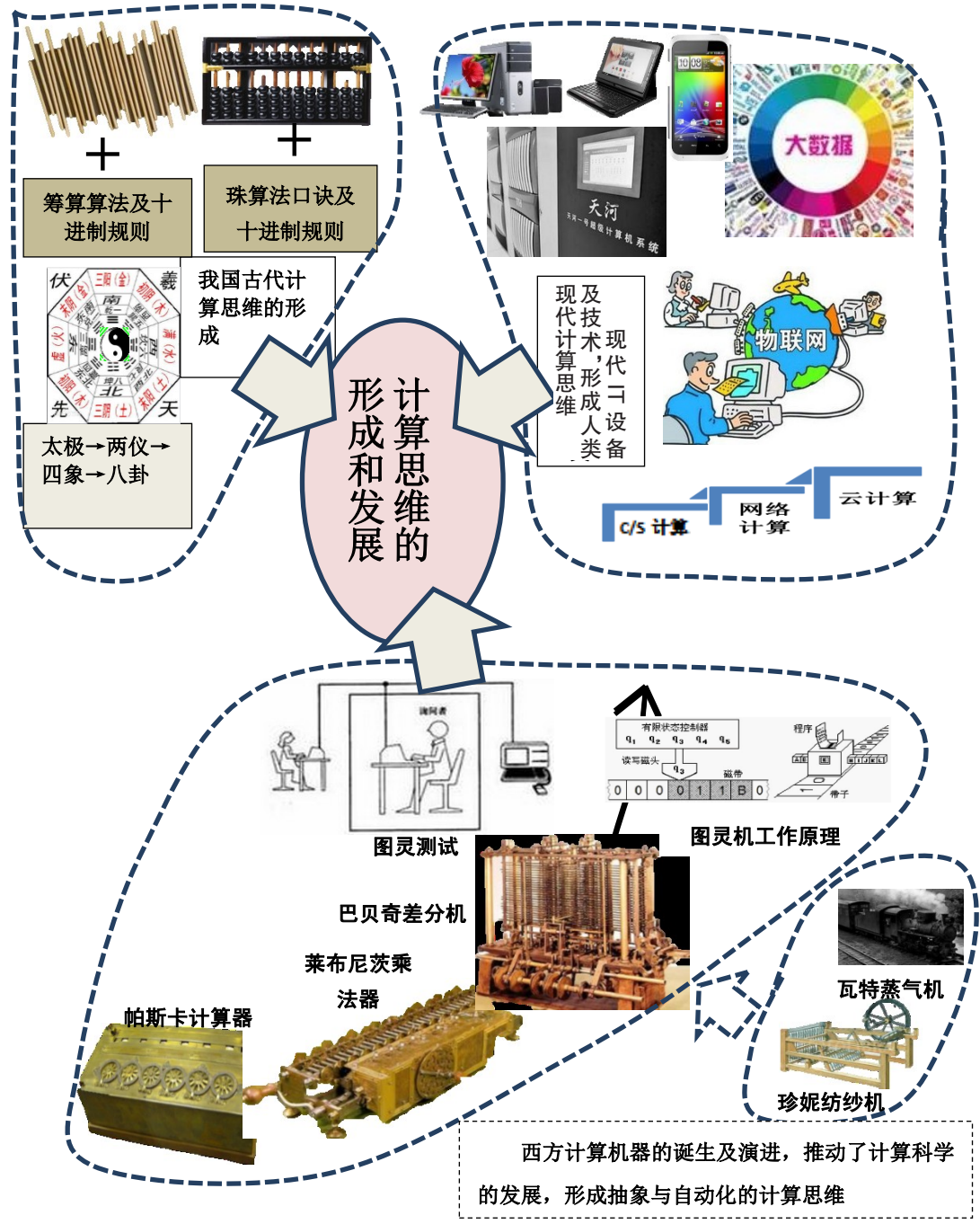


图 1 计算思维形成及发展图示

值得关注并深思的是,祖冲之对数学及圆周率取得如此突出的贡献,是因为他更好地掌握了当时世界上最先进的计算工具——算筹及筹算,以及计算圆周率的简便算法。

## 2.2 基于算盘的计算思维

我国先辈在筹算的基础上发明了算盘。东汉末年数学家徐岳《数术纪遗》中就有“珠算控带四时,经纬三才”的记载。15世纪中期《鲁班木经》中有制造算盘的规格。有关算盘的著作广为流传的是明代程大位的《算法统宗》,明朝后算盘在世界各地流传开来。联合国教科文组织2013年12月4日,把珠算正式列为我国第30项人类非物质文化遗产<sup>[7]</sup>。诺贝尔奖得主杨振宁曾说:“由中国发明的算盘,就是世界上最早的计算机。”

用算盘计算的方法叫珠算。古人使用算盘及珠算口诀进行加减乘除等运算,说明古人具有基于算盘计算的计算思维方法和能力。使用算盘进行珠算,重在熟练使用口诀,需要脑、眼、手密切配合,是锻炼大脑计算思维能力的好方法。基于算盘的珠算法体现了我国古代就具有计算“算法化”的计算思维典型特征。

我国著名数学家吴文俊认为:“中国古代数学,具有两大特色,一是它的构造性,二是它的机械化<sup>[8]</sup>”。我国古代数学以解决生活实际问题为主旨,通过算筹算盘等古算工具和相应的计算规则(口诀),初步建立了具有构造性和机械化计算特色的算法体系,并随着这种算法体系的广泛应用,促进了具体问题数值化思维的形成。将问题数值化,就是将具体问题进行抽象或模型化,从而转化为算法体系中可以计算的问题来加以解决。相对于筹算,珠算算法机械化的特征更加明显,演算时可随呼口诀并随拨结果,这个过程很类似于计算机执行程序并输出运算结果。因此吴文俊将算筹算盘称之为“没有存储设备的简易计算机<sup>[9]</sup>”。

## 2.3 易经与八卦蕴含的计算思维

《易经》是研究宇宙间事物发展规律的学问,是宇宙的本质法则<sup>[10]</sup>。易是变化,经是道理。据《易传·系辞上传》记载:“易有太极,生两仪,两仪生四象,四象生八卦。”相传《易经》源于伏羲(公元前三千年),伏羲是中国三黄五帝之首。伏羲受河图洛书启示,用阴阳双爻排列组合成八个符号,分别取名乾、兑、离、震、巽、坎、艮、坤,代表天、地、水、火、风、雷、山、泽,根据河图画出八卦方位,并又经八卦复合演变出六十四卦<sup>[11]</sup>。下面我们分析《易经》中所蕴含的数学及计算思维。

### (1) 太极图

在八卦图中,中间是“太极图”(或称“阴阳鱼图”),分别用“黑”和“白”表示。根据易学家的理论,所谓“太极生两仪”的“两仪”,根据不同用途可赋予不同含义,例如阴阳、天地、奇偶、刚柔、玄黄、乾坤、春秋等等。显然无论是太极或是两仪,表示的都是两种状态自然现象,都蕴含了现代计算机的0和1二进制计算思想。

### (2) 四象

八卦图中的阴和阳分别以中间断开(“--”)和不断开(“—”)的横线表示,每条横线称为“爻”。若用2爻的不同组合( $2^2=4$ ),可以排列出4种不同的卦象,称为四象。四象从不同视角可代表不同含义,例如从数学角度四象为七、九、八、六;从方位角度四象为东、南、西、北;从一年四季四象为春、夏、秋、冬……,四象也可代表金、木、水、火。

### (3) 八卦

若用3爻的不同组合,可以排列出:阴阴阴、阴阴阳、阴阳阴、阴阳阳、阳阴阴、阳阴阳、阳阳阴、阳阳阳, ( $2^3=8$ ) 8种不同卦象。八卦图就是按照这8种卦象按正八边形,根据一定次序排列成首尾相连的环形图。地“八卦”就是用8种符号高度抽象代表自然界的8种现象。显然伏羲编制的八卦图中运用了对自然现象进行高度抽象建模(用“爻”表示),以及使用了数学中用3爻进行不同的排序和组合方法,并根据自然现象相互依存和转换的规律(现代计算中所谓的“算法”)。可见八卦图的编制充分体现出伏羲的计算思维思想。

由于八卦中每一卦象自身内涵的完整性,易学家们又把两个三爻的八卦图迭加、组合成六爻的六十四卦图( $2^6=64$ ),表达自然界的64种不同现象。



## 2.4 现代计算工具将加速计算思维的发展

据互联网协会2016年1月6日发布的《2015中国互联网产业综述与2016发展趋势报告》:截至2015年11月,我国手机上网用户数已超过9.05亿,互联网宽带接入用户超2.1亿。正如1972年图灵奖得主Edsger Dijkstra所说:“我们所使用的工具影响着我们的思维方式和思维习惯,从而也深刻地影响着我们的思维能力。”<sup>[12]</sup>由此我们可以预见:随着以计算机为代表的计算工具的广泛应用,使用计算机去解决问题的思维将会像人类说话或写字一样成为人人具有的极其普遍的思维方式。这种思维方式,即就是现代人的计算思维。

## 3 西方工业革命加快了计算思维的发展历程

西方工业革命使人从手工计算中解脱出来,形成了机械化、自动化计算的计算思维。

### 3.1 帕斯卡加法计算器

1642年,法国数学家帕斯卡(B·Pascal, 1623–1662年)发明了世界上第一台机械式加法计算器。帕斯卡计算器盒子表面由一排窗口和与窗口对应的拨盘组成,每一个拨盘上都刻着0–9这10个数字,拨盘将通过盒子内部齿轮转动而相互咬合转动。最右边的窗口表示个位,对应该窗口的齿轮转动10圈,与它咬合(代表10位)的齿轮才能转动一圈,依此类推。当进行加法计算时,每一拨盘都先拨到“0”位置,每一窗口都显示“0”数字,然后依次拨两个加数,窗口就显示出加法计算的结果;进行减法计算时,先要把盒子上面的金属尺往前推,使其盖住上方加法窗口,并同时露出下方减法窗口,然后先拨被减数后,再拨减数,其差值就会显示在窗口上。

帕斯卡加法计算器的诞生,说明机器计算可以替代人脑计算,从而把人从枯燥、耗时、循环的计算中解脱出来。帕斯卡加法计算器不但推进人类计算科学的发展,而且为人脑计算向机器计算的深入研究指明了方向,对人类计算思维的形成及发展具有革命性的意义。

### 3.2 莱布尼茨乘法器

莱布尼茨(Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646–1716年)于1674年研制成功了乘法计算器。该计算器由两个部分组成:第一部分是固定的,用于加减法,与帕斯卡设计的加法机基本一致;第二部分是他专门设计的乘法器和除法器,分别用于进行乘法和除法运算。乘法器和除法器由被乘数轮与乘数轮两排齿轮构成。莱布尼茨乘法器中的许多设计技术成为后来的技术标准。

莱布尼茨乘法器内增添了一种称为“步进轮”的装置。该装置由9个齿的长圆柱体构成,9个齿依次分布于圆柱体表面上。旁边另外有个小齿轮沿着轴向移动,保证依次与步进轮咬合。如果小齿轮转动一周,步进轮就根据它与小齿轮咬合的齿数分别转动1/10、2/10周……,直到9/10周,这样它就连续重复地做加减法。转动手柄时,可以使这种重复加减运算,转变为乘除运算,使计算结果最大达到16位。莱布尼茨充分认识到了计算器的重要性和价值,即把计算工作交给机器去做,从而使人从繁重的计算中得到解脱。

莱布尼茨对计算机的贡献不仅在于乘法器,而且他还提出了二进制。虽然莱布尼茨乘法器设计仍然采用十进制,但他提出的二进制,为后来的计算机诞生奠定了坚实的基础。

### 3.3 巴贝奇差分机

查尔斯·巴贝奇(Charles Babbage, 1791–1871年),数学家、发明家、机械工程师。身处工业革命时代,受编织机的启迪,巴贝奇开始对数学制表计算的机械化进行研究。

差分机又称差分引擎(Difference Engine),是巴贝奇毕生研究的主要成果。差分机从功能上说,是一台“多项式求值机”。我们不妨以 $F(x) = x+4$ 为例,差分引擎计算出来的结果将是 $F(1) = 5, F(2) = 8, F(3) = 13, F(4) = 20 \dots$ 等等,直到系统停止为止。

差分机的价值不仅在于更加复杂丰富的计算功能,而且主要体现在其“差分”算法上。下面我们以前面的 $F(x) = x+4$ 为例来分析这种差分算法:

第一步,求出相等的阶差(值):先算出 $F(2)$ 与 $F(1)$ 的值之间的差( $8-5=3$ ),称为第一阶差。如果这个值和 $F(3)$ 与 $F(2)$ 之间的差( $13-8=5$ )不相等,就把这两个第一阶差再算一次差( $5-3=2$ ),称为第二阶

差。由于这个例子的每一个第二阶差都是 2,所以就不用再往下计算。第二步,通过递推,求出  $F(N)$  的值:例如求  $F(4)$  时,先将相等的阶差值(第二阶差值)2 加上上一阶差( $F(3)$  与  $F(2)$  之间的差)值 5,再加上  $F(3)$  的值 13,便得到  $F(4) = 20, \dots$ ,以此类推,可依次求出其它  $F(N)$  的值。

按照上述差分算法,一旦有了一个固定不变的阶差值后,就可以开始往前回推计算,并经过不断重复类推,可依次求出接下来的每一个多项式的函数值。并且不难验证这个事实:一元一次方程式最多只会到第一阶差;一元二次方程式会到第二阶差,……,一元  $N$  次方程式会到第  $N$  阶差。

巴贝奇的差分机是运用了堆栈、运算器及控制器等设计原理,在一定程度上可以变化计算规则自动处理不同函数,通过不断循环求分差,再回推,依次求出各多项式的值的算法。这种计算看似啰嗦重复和刻板机械,但这正好适合机械自动计算,凸显了现代计算思维的特点。

### 3.4 图灵机、图灵测试与图灵理论

英国数学家图灵(Alan Mathison Turing, 1912–1954 年),由于提出了“图灵机”、“图灵测试”及可计算理论等抽象计算模型,被人们尊称为“计算机科学的奠基人”及“人工智能之父”,并在 1966 年美国计算机协会(ACM)设立了“图灵奖”。图灵奖被喻为“计算机界诺贝尔奖”,每年奖给计算机领域作出巨大贡献的一名科学家。

#### (1) 图灵机

图灵在 1936 年发表的《论数字计算在决断难题中的应用》论文里提出了著名的“图灵机”模型。它由一条可向两端无限延长且打有若干小孔的纸带,一个控制器和一个可以在带子上通过左右移动读写的磁头组成。磁带相当于存储器,控制器通过操作程序来控制磁带的左右移动和读写头的操作。因为图灵机磁带上的每个小孔被视为数字“1”、无孔处被视为数字“0”,所以图灵机的工作过程就是二进制数计算的过程。事实证明,图灵机的构造思想及工作原理,已经成为后人设计各种计算设备及计算机的理论基石。

#### (2) 图灵测试

图灵在 1950 年发表的论文《机器能思考吗》中,提出了“图灵测试”理论。图灵测试由主持试验的人,以及一台机器和被测试人三者组成。进行图灵测试时,由主持人提问,让机器和被测试人分别进行回答。如果主持人对他们各自的答案分辨不清是人回答的,或是机器回答的,则由此可以判断该计算机具有了智能。

图灵测试的意义在于对一台机器是否能够模仿人类的评判;图灵测试的目的,是测试一台机器是否达到人类感知水平所要求的人工智能。图灵测试推动了人工智能的发展。

#### (3) 可计算性理论

所谓计算,一般指运用事先给定的法则将一组数值变换为另一组数值的过程。对于某类问题,如果能找到并确定一个法则,按照这个法则,当给出这类问题中的任何一个确定的问题后,都能完全机械地通过有限步骤求出结果,则认为这类问题是可以计算的。这个法则就是所说的算法,因而可计算的问题也可将其称之为存在算法之问题。

20 世纪来,人们发现有许多问题是不可计算的,例如希尔伯特第 10 问题、半群的字问题,等等。另外人们虽然在数学上严格给出了递归函数的可计算定义,但在具体计算过程中仍然有不确定性发生。为此,图灵从全新的角度给出了可计算函数的定义,认为可计算函数就是图灵机能计算的函数。图灵第一次把计算问题和自动机器联系起来,对后世可计算理论的发展产生了巨大的影响。

图灵在第二次世界大战中主要从事及其严密的德军密码破译工作。战后,他开始进行“自动计算机”逻辑设计和研制研究工作。图灵在 1946 年发表论文阐述了存储程序计算机的设计,甚至至今有一部分人认为,世界上第一台计算机不是 ENIAC,而是 1943 年由图灵主要参与研制成功的 CO-LOS-SUS(巨人)机。图灵的自动计算机与约翰·冯·诺伊曼(John von Neumann)的离散变量计算机,都采用了二进制及内部存储程序原理。

## 4 计算思维对教育的指导意义

当前,随着以计算机为代表的机器智能化程度及计算能力的不断提升,大大增强了人类的认识能

力、计算能力和解决问题的能力,这是人类计算思维的综合体现。

计算思维体现了计算机科学所蕴含的思想和方法。当前,理论思维(也称逻辑思维,以数学学科为代表)、实验思维(也称实证思维,以物理、化学等学科为代表)和计算思维已成为人类不可或缺的三大科学思维。计算思维以计算机学科为代表,以设计和构造为特征,以抽象模型、设计算法、构造系统进行大规模数据的自动计算来验证假设、研究和改造世界,促进社会发展。

由于计算问题无处不在,计算机应用无所不包,使得计算思维必将成为每个人都必须具备的一种思维和基本能力。因此,在计算机相关课程教育中克服培养学生计算机应用的“急功近利”思想及工具性局限,而从学生创新性培养及长远利益出发,以计算思维为导向,培养学生应用计算思维的意识及方法,去分析和求解问题是非常有意义和必要的。

#### 参考文献:

- [1] Seymour Papert. An Exploration in the Space of Mathematics Educations[J]. International Journal of Computers for Mathematical Learning, 1996, (1): 95-123.
- [2] Jeannette M. Wing. Computational Thinking[J]. Communications of the ACM, 2006, (3): 33-35.
- [3] Karp R. M. Understanding science through the computational lens[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2011, (4):569-577.
- [4] 李廉. 计算思维——概念与挑战[J]. 中国大学教学, 2012,(1):7-12.
- [5] 管会生,杨建磊.从中国“古算”到“图灵机”——看不同历史时期“计算思维”的演变[J].计算机教育, 2012,(11):120-125.
- [6] 费茵. 计算思维在《大学计算机基础》教学中的应用[J]. 北京教育学院学报(自然科学版),2015,(1): 23-27.
- [7] 中国珠算正式列入联合国非遗名录. 这是我国第30项非遗项目[EB/OL]. 浙商网. 宏观要闻, <http://biz.zjol.com.cn/05biz/system/2013/12/05/019742375.shtml>, 2013-12-05.
- [8] 吴文俊. 秦九韶与数书九章[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 73-78.
- [9] 吴文俊. 吴文俊文集[M]. 济南: 山东教育出版社, 1986: 296.
- [10] 易经思维:一套非常完备的思维体系[EB/OL]. 中国经济网. 新闻资讯, [http://cz.ce.cn/xwzx1/201401/21/t20140121\\_1362122.shtml](http://cz.ce.cn/xwzx1/201401/21/t20140121_1362122.shtml), 2014-01-21.
- [11] 袁立. 易经[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2011:9.
- [12] 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.

### The Formation and Development of Computational Thinking Revealed from the Historical Evolution of Computational Science

YU Ting-zhong, WANG Li

(School of Information Engineering, Guizhou University of Engineering Science,  
Bijie, Guizhou551700, China)

**Abstract:** Through the investigation on the historical evolution of domestic and international computational tools (machines), the formation and development process of computational thinking is analyzed and the importance of computational thinking ability in contemporary information society is emphasized.

**Key words:** Computational Thinking; Computational Science; Computational Tools; Abstract; Automation

(责编:任秀秀 责校:明茂修)