

论计算思维工程化的层次结构

郭喜凤¹ 孙兆豪² 赵喜清¹

(河北北方学院计算机科学系 张家口 075000)¹

(河北师范大学数学与信息科学学院计算机系 石家庄 050016)²

摘要 探讨 Wing 的计算思维并分析它的局限性,根据计算机科学与技术中的理论、技术、工程、工具、服务和应用将 Wing 的计算思维推广到计算机思维,然后讨论计算思维(或计算机思维)的工程化并提出计算思维工程化的层次结构。这一研究将有益于对计算思维、computing 思维和 computing 作为一个学科的理解和研究。

关键词 计算思维,计算学科,人工智能,计算机思维,信息学

中图分类号 TP301 **文献标识码** A

Hierarchical Structure for the Engineering of Computing Thinking

GUO Xi-feng¹ SUN Zhao-hao² ZHAO Xi-qing¹

(Dept. of Computer Science, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China)¹

(School of Computer Science and Technology, College of Mathematics and Information Science,
Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China)²

Abstract Computational thinking has drawn an increasing attention in computer science and technology. This article analyzed the fundamentals of computational thinking and extended it to computing thinking taking into account theory, technology, engineering, tools, service and applications in computing. Then the article presented a hierarchical structure for the engineering of computing thinking. The approach proposed in this article will facilitate understanding of computational thinking, computing thinking and computing as a discipline.

Keywords Computational thinking, Computing, Artificial intelligence, Computing thinking, Informatics

1 引言

计算思维(Computational thinking)由美国 Carnegie Mellon 大学计算机科学教授 Wing 女士于 2006 年提出。她认为,计算思维代表着一种普遍的态度和一类普适的技能,不仅是计算机科学家,每一个人都应热心于它的学习和运用^[1,3]。这一理念已被国内外一些学者所接受。从计算思维,或者说从计算机方法论和计算机哲学^[5],或更为具体的学科思想与方法这个层面讲授计算机科学,更是得到越来越多的学者的支持。例如王飞跃教授不仅翻译了 Wing 发表在 Communications of the ACM 的关于计算思维的文章,而且探讨了计算思维和计算文化的关系。然而,如何将计算思维具体化为计算机科学与技术中的理论、技术、工程、工具、服务和应用仍然是一个亟待解决的问题。另一方面,Wing 女士作为计算机科学系主任,想用计算思维来吸引更多有智慧的青年人学习计算机科学,因为当时许多人甚至政府的项目资助部门认为计算机科学及其基础研究已经完成,剩下的只是工程部分而已^[1,3]。在这种情况下,她倡导“一个人可以主修计算机科学并且干什么都行(类似我们过去的一句话:学会数理

化,走遍天下都不怕)。一个人可以主修英语或者数学,接着从事各种各样的职业。计算机科学也一样,一个人可以主修计算机科学,接着从事医学、法律、商业、政治以及任何类型的科学和工程,甚至艺术工作”^[1,2]。然而,这种观点既没有考虑选择计算机科学学习的经济学分析,也与 ACM/IEEE 2005 引入的计算机专业教学大纲(CC2005)^[17]存在着明显的不一致,因为 CC2005 已经将 Computing(可对应国内的计算机或计算机科学与技术)划分为计算机科学、计算机工程、软件工程、信息技术和信息系统。因此,她的计算思维的观点带有一定的局限性,不是经过深入科学论证得到的结果,因为她的文章没有包含任何参考文献,只作为“观点”发表。董荣胜教授于 2002 年就指出在计算机科学与技术的教学中的教学要注意面向计算学科方法论的思维能力和面向学科的数学思维能力的培养^[5,6]。本文将从层次和工程的角度探讨 Wing 的计算思维并推广它到计算机思维。具体地讲,将从理论、技术、工程、工具、服务和应用的角度分析计算思维(或计算机思维)以及它的影响,然后探讨计算机思维工程化并提出计算机思维工程化的层次结构。这种基于层次和工程的计算机思维有利于计算机科学与技术的研究与发展。本文第 2 节探讨计算思维和

到稿日期:2008-10-30

郭喜凤(1959-),女,教授,主要研究方向为计算机网络、Web 工程和数据库等,E-mail: gxf32366970@163.com;孙兆豪(1960-),男,教授,博士,主要研究方向为人工智能、智能计算和商务智能等;赵喜清(1970-),男,副教授,硕士,主要研究方向为计算机网络等。本文为作者在 2008 年全国“计算思维与计算机导论”专题学术研讨会上所作的大会报告。

计算机思维;第3节研究计算机思维的工程化;第4节探讨并给出计算机思维的层次结构;最后总结全文并指出未来拟进行的研究工作。

2 计算思维和计算机思维

本节首先概述 Wing 的计算思维的观点,然后分析计算思维的局限性并给出它的推广形式——计算机思维。

计算思维涉及运用计算机科学的基础概念去求解问题、设计系统和理解人类的行为。计算思维涵盖了反映计算机科学之广泛性的一系列思维活动^[1,2]。

计算思维就是把一个看来困难的问题重新阐述成一个我们知道怎样解的问题。它采用抽象和分解来完成复杂的任务或设计复杂的系统;它选择合适的方式去陈述一个问题,或者选择合适的方式对一个问题的相关方面建模使其易于处理;它使我们树立在不必理解每一个细节的情况下就能够安全地使用、调整和影响一个大型复杂系统的信心;它是为预期的多个用户而进行的模块化,是为预期的未来应用而进行的预置和缓存^[1,2]。

计算思维是利用启发式推理来寻求解答,它就是在不确定情况下的规划、学习和调度。计算思维是利用海量的数据来快速计算,它是在时间和空间之间,在处理能力和存储容量之间的权衡^[1,2]。

Wing 的上述计算思维中的“计算”是 computation 而不是 computing,ACM/IEEE CS 在 CC2005 中用的是 computing 而不是 computation^[17]。在中文中,将 computation 和 computing 一起译为计算,而且普通人把计算放入数学领域,这样,计算就失去了它的本质意义,因为 computation 和 computing 在英语中有着不同的含义。

根据 online 词典,computation 是可用数学表示的任何形式的信息处理的概念^[15],它包括简单的计算和人的思维(human thinking)。在较狭窄的意义上,computation 是按照一个良定而可以理解的模型进行的过程,该模型可以用算法、协议和网络拓扑来表示。Computation 可分为数字或模拟计算、串行或并行计算、批或交互计算。

Computing 是处理 Computation 和符号操作的科学与技术^[16]。ACM/IEEE 在 CC2005 对 Computing 的定义为^[17]:

一般来讲,Computing 意味着任何面向目标的需要、受益于和创造计算机的活动。因此,computing 包括用于广泛目的的软件和硬件系统的设计、建造,各种信息的处理、规范和管理,用计算机开展的科研活动,使计算机系统具有智能行为,创建和使用通信和娱乐媒体,寻找和收集与任何目的有关的信息等等。

如此看来,computation 是一个比 computing 更具体、更狭窄的概念。Computation 更侧重数学在 computing 学科的应用,而 Computing 是发展和使用计算机和有关技术的人类知识和活动的总和^[16],它不仅需要数学而且需要一切人类的知识和经验来发展和使用计算机。实际上,过去的 60 多年中计算机之所以得到史无前例的发展,一方面在于数学和电子科学为它的发展提供了坚实的理论和技術基础^[8,11],另一方面在于其他各个学科为它的发展和應用提供了各种可能的帮助和动力。没有后者计算机就不能成为每个人的必须,就不能渗透到人类活动的各个领域,就不能成为当代社会的最有

效的工具。

还应该指出,我们的计算机科学与技术学科泛指计算机学科^[8],并不对应英语国家的计算机科学学科,而对应 computing 学科。按照 CC2005,它至少包含计算机科学、计算机工程、软件工程、信息技术和信息系统。因此,Wing 的计算(computational)思维不完全适合我们的计算机科学与技术的教学与研究,虽然对我们理解计算学科有一定的帮助,因为她的计算思维大多是基于计算机科学的,忽略了计算机工程、软件工程、信息技术和信息系统,而这些专业或学科是国内正在努力发展的,特别是软件工程和信息系统尚未在国内的高校中普及。当我们 google “computation”和 “computing”时会发现(于 2008 年 7 月 10 号)，“computing”有 1 亿 5 千万查询结果,而“computation”只有 3 千万查询结果。事实上,从计算机研究者的角度,越来越多的 computing 迫使我们去关注,例如,soft computing, service computing, neural computing, grid computing 等等。因此,忽略 computing 而过多重视 computation 可能在计算机领域存在着战略问题。

我们正在发展中国特色的社会主义市场经济,计算机专业的教学和科研不可能仅仅依靠计算机科学而不注意市场、社会和世界对我们的要求。换言之,变幻莫测的市场,多种需要的社会和充满竞争的世界要求我们不仅培养计算机科学人才,而且更希望我们培养计算机工程、软件工程、信息技术、信息系统和网络工程等专门人才。因此,我们需要的是 computing thinking,而不仅仅是 computational thinking。

当然,计算机思维已在中文世界中得到广泛使用^[18],虽然它没有正式对应 computing thinking。从概念创新的角度(注意:概念创新是科技创新的最重要部分之一),我们应引入一个新的概念以对应 computing thinking。我们认为,信息学思维可能是对应 computing thinking 较好的概念,这是因为,信息学思维尚未在中文世界中得到广泛使用^[18],而且,computing 作为学科对应德文的 Informatik,而后者对应英文世界的 informatics。Informatics 可以翻译成信息学,而不是信息科学,因为信息科学来自于“information science”。Informatics 翻译成信息学是基于数学(mathematics)和物理学(Physics)的翻译及在中文世界的广泛应用。信息学是比计算机科学(computer science)更一般的概念,能够兼容 computing 和 informatics 的含义,也可以包含国内的计算机科学与技术,因为英语国家的一些大学有 Informatics 学院(Faculty of Informatics)。信息社会和信息经济已成为大众词汇,而它们依赖的工具是计算机及信息产品,它们的核心是信息及处理,它们基于的科学可以为信息学。因此,我们建议用信息学思维或计算机思维对应 computing thinking。从而,计算思维可以看作是信息学思维或计算机思维的一部分,如图 1 所示。

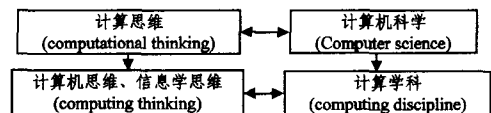


图 1 计算思维、计算机思维和信息学思维

为了便于与 Wing 的计算思维相区别,我们用计算机思维表示 computing thinking,犹如我们用计算机专业(严格地讲是计算机科学与技术专业^[8,9])概括上述 5 个不同的专业一样。在目前的情况下,计算思维、信息学思维或计算机思维可

以根据作者的爱好分别使用。

3 计算机思维的工程化

计算学科正以令人惊异的速度发展,并远远延伸到传统的计算机科学边界之外,成为范围极为广阔的一门学科。如何理解这个学科,长期以来一直存在激烈的争论。1988年,ACM提交了一份题为“Computing as a Discipline”的报告^[12]。这是一份计算教育史上具有里程碑意义的报告,不仅第一次规定了计算学科的定义,回答了计算学科中长期以来一直争论的一些问题,更重要的是它为计算教育创建了一个基于“知识框架”的新的思想方法^[5,7]。它也指出,计算学科包括计算机科学和计算机工程,并认为在核心层次上,这两个领域没有本质的差别^[5,11,12]。2005年ACM和IEEE-CS任务组提交的CC2005报告更进一步指出 computing 主要由计算机科学、计算机工程、软件工程、信息技术和信息系统组成^[17]。

赵致琢教授注意到理论、技术和工程对计算学科的影响。他认为计算学科(computing)是在数学和电子科学基础上发展起来的一门新兴学科^[10,11],它既是一门理论性很强的学科,又是一门实践性很强的技术学科。这可能是国内明确而具体地把 Computing 学科称为计算机科学与技术的原因之一。他进一步指出:理论和技术是学科两个互为依托的侧面,由于能行性性质的作用,学科理论与技术之间的高度一致透射出学科的理论绝大多数属于技术理论。学科的基本问题和本质属性决定了学科理论、技术与工程相互之间常常界限模糊。从理论探索、技术开发到工程开发应用和生产的周期很短,许多实验室产品和最终投向市场的产品之间几乎没有太大的差别,这在软硬件产品中是屡见不鲜的^[10]。然而,他没有注意到服务对计算学科的影响,犹如 Wing 没有注意到服务对她的计算思维的影响一样。实际上,IBM全球业务已经发生了很大变化,起家的硬件业务虽然每年仍保持增长,但在软件和服务方面的增长更快。对于IBM未来最看重的服务领域^[19],在2007年所占全球业务份额已达到了37%,软件业务则达到了40%,增长速度都远远超过硬件业务。按照IBM的说法,2020年中国将从生产型社会转变为服务型社会。因此,中国经济发展正在向服务型经济转型,而计算机科学与技术以及信息技术则是现代服务型经济发展的根本保障。这是 Software as a service (SaaS) 和服务计算(service computing)正在引起国内外关注的原因之一。由此,计算机思维 and 计算学科与服务建立更加密切的关系成为必然。这种密切关系要求计算机思维必须建立在服务基础之上,同时,计算学科为服务的工程化、信息化和智能化提供技术和工具以及产品(软件、硬件或集成系统)服务。

计算学科一直是面向市场和社会并用最先进的计算机产品服务于市场和社会。因此,工具在计算机思维和计算学科中占有极为重要的地位,这是不同于数学学科的重要一点。计算机科学家 Dijkstra 认为:我们所使用的工具影响着我们的思维方式和思维习惯,从而也将深刻地影响着我们的思维能力^[4]。因此,由计算理论、技术、工程和服务物化出的计算工具一直影响着计算机思维,而这种计算机思维反过来也一直促进着计算理论、技术、工程、服务和工具的发展。

基于上述讨论,我们发现,计算机思维不仅仅源于和服务

于计算机科学。实际上,狭义地讲,计算机思维源于并服务于计算机科学、计算机工程、软件工程、信息技术和信息系统。广义地讲,计算机思维源于并服务于由理论、技术、工程、工具、服务和应用构成的计算链(或计算网络)。这一计算链以理论为始点,以应用为终点。这一计算链上的每一结点都将产生计算机思维,而计算机思维从这一计算链的始点到终点的转化构成了计算机思维的工程化。计算机思维从这一计算链的终点到始点的转化构成了计算机思维的抽象、升华和理论化(包括数学化^[8])。因此,没有前述的第一种转化,计算机思维将成为空中楼阁;没有前述的第二种转化,计算学科将不复存在;忽略计算链中的任何结点,计算机思维和计算学科都将产生负面的影响。

4 计算机思维的层次结构

思维是对某个问题或事物的思考过程以及产生的想法或见解(牛津高级英汉双解词典,第6版),是在知识层次结构中处于较高层次的概念,它往往属于哲学范畴。狭义地讲,计算机思维的理论化属于计算机哲学,计算机哲学是对计算机科学与技术中的理论、技术、工程、工具、服务和应用的思想和方法^[5,6]的高度概括和总结。如何理解这种高度概括是一个很复杂的任务。本节将给出一个计算机思维的层次结构,如图2所示,以进一步发展前述的讨论。

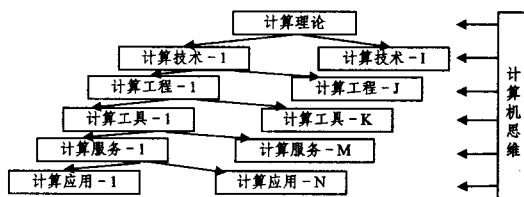


图2 计算机思维的层次结构

从计算机科学与技术方法论的角度来看,计算学科至少包含理论、技术、工程、工具、服务和应用6个层次,可分别称为计算理论、计算技术、计算工程、计算工具^[4]、计算服务和计算应用。计算理论包括传统的计算机科学理论^[5,11]、计算技术理论^[8,11]、计算工程理论^[20]、计算工具理论、计算服务理论和计算应用理论;计算技术包括传统的计算机技术^[5,11]、信息技术、计算机网络技术、Internet技术^[5]、多媒体技术^[5]、计算工程技术和设计^[8,11]、计算工具技术、计算服务技术和计算应用技术;计算工程包括传统的计算机工程^[11]、软件工程、信息工程和与计算有关的工程及其他学科行之有效的工程方法和设计^[8],例如生物计算机工程、Web工程、网络工程、健康计算工程等;计算工具包括数学工具和逻辑工具^[8,11],计算机软件和硬件及其集成系统以及基于计算的信息系统和智能系统等;计算服务包括与计算技术、计算工程、计算工具中的服务、信息系统服务、e-服务等相关的服务和维护;计算应用包括一切基于计算理论、计算技术、计算工程、计算工具和计算服务的应用。

在计算机思维的层次结构中,一种计算理论往往产生 I 个计算技术,一种计算技术往往带来 J 个计算工程,一个计算工程往往导致 K 个计算工具的产生和应用,一种计算工具往往提供 M 种计算服务,一种计算服务往往带来 N 个计算应用,从而它们构成具有 $I \times J \times K \times M \times N + 1$ 结点的树形

结构。上述讨论只是用树形结构的形式进行了简单描述,实际上,上述 $I \times J \times K \times M \times N + 1$ 结点中的任何子集对应的理论、技术、工程、工具、服务和应用都将相互影响、相互促进和发展。对应于 computing thinking 的计算机思维就在这个计算学科的层次结构中形成了它自身的、对应的层次结构,亦即:计算理论思维、计算技术思维、计算工程思维、计算工具思维(含机器思维^[11])、计算服务思维和计算应用思维。在该层次结构中,每个层次上的思维都至少包含许多不同的思维过程、思维模式和思维规律^[8,11]。然而,Wing 的计算思维^[1]只能属于计算理论思维,比较勉强地属于计算工程思维、计算技术思维,而不属于计算服务思维和计算应用思维,这也说明 Wing 的计算思维是有局限性的。

应该指出,计算理论思维、计算技术思维、计算工程思维已经在计算机界广为人知,而计算工具思维、计算服务思维和计算应用思维尚处于鲜为人知阶段。随着计算思维、信息学思维和计算机思维研究的深入,相信它们也将逐渐为大家所接受。如前所述,思维是对某个问题或事物的思考过程以及产生的想法或见解,因此,计算工具思维是人们使用计算工具中的思考过程以及产生的想法和见解;计算服务思维是人们在接受或从事计算服务中的思考过程以及产生的想法和见解。对这 6 种思维的抽象模型化、形式化、理论化和工程化促进了计算理论、计算技术、计算工程、计算工具、计算服务和计算应用的发展,而后的进一步发展又反过来产出了新的计算理论思维、计算技术思维、计算工程思维、计算工具思维、计算服务思维和计算应用思维。如此往复下去,计算机思维和计算学科将为人类社会的进步和发展做出更加举世瞩目的贡献,犹如它在过去的 60 多年做出的那样。

下面我们将以人工智能(AI)为例说明上述计算机思维的层次结构,这样比在学科层次上讨论更加明确和具体。人工智能(AI)作为计算学科的一门课程或研究领域包含 AI 理论、AI 技术、AI 工程、AI 工具、AI 服务和 AI 的应用^[13]。AI 理论至少包括命题逻辑、谓词逻辑和非单调逻辑^[11];AI 技术至少包含知识表示技术;AI 工程至少包含知识工程和 Web 工程;AI 工具至少包含 Prolog 语言和 LISP 语言;AI 服务至少包含 Web 服务的智能化;AI 应用已经包含众多的应用领域,例如自然语言处理、计算机游戏和自动定理证明。对应地,我们有 AI 理论思维、AI 技术思维、AI 工程思维、AI 工具思维、AI 服务思维和 AI 应用思维。AI 理论思维包含如何用命题逻辑、谓词逻辑实施知识表示和推理,这种 AI 理论思维带动了知识表示技术、知识工程和 Prolog 语言的研究与发展;AI 技术思维包含有多少种有效的方法来表示知识,这种技术思维导致语义网络和框架等知识表示技术的出现;AI 工程思维包含如何用行之有效的工程思想、方法和设计来开发智能系统,这种工程思维导致诸如 MYCIN 等一系列智能系统的出现;AI 工具思维包含能否开发一种工具并用它开发智能系统,这种工具思维导致 Prolog 语言和专家系统开发工具(例如:CLIPS)的出现;AI 服务思维包含如何使机器具有智能,如何使 e-服务智能化,这种服务思维导致各种智能化机器和系统的出现;AI 应用思维包含为什么智能化的机器和系统在实际应用中尚不尽人意,如何改进它们等等。这种不同层次

AI 思维的形式化、理论化和工程化一直促进着人工智能的研究与发展。

结束语 本文讨论了 Wing 的计算思维,分析了它的局限性,根据计算机科学与技术中的理论、技术、工程、工具、服务和应用将 Wing 的计算思维推广到计算机思维或信息学思维,然后探讨了计算机思维(含计算思维)工程化并提出计算机思维工程化的层次结构。这一研究将有利于对计算思维、computing 思维和 computing 作为一个学科的研究,也有利于计算机科学与技术的研究与发展。层次化、结构化、过程化、网络化、工程化和智能化是计算机科学与技术的 6 大特征,我们将在未来的工作中深入研究文中提到的具有不同层次的计算机思维及上述 6 大特征以及它们的相互联系,以促进对计算思维、计算机思维和信息学思维的理解。

参考文献

- [1] Wing J M. Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 2006, 49(3): 33-35
- [2] 周以真. 计算思维[J]. 中国计算机学会通讯, 2007, 3(11)
- [3] 王飞跃. 从计算思维到计算文化[J]. 中国计算机学会通讯, 2007, 3(11)
- [4] 王飞跃. 计算思维与计算文化[J]. 科学时报. www. sciencenet. cn. 2007-10-12
- [5] 董荣胜. 计算教育哲学初探[J]. 计算机科学, 2000, 27(1): 93-97
- [6] 董荣胜, 古天龙, 蔡国永, 等. 计算机科学与技术方法论[J]. 计算机科学, 2002, 29(1): 1-4, 12
- [7] 范辉, 朱智林. 关于计算哲学构建的思考[C]//何炎祥. 第八届全国高等学校计算机系(院)主任(院长)论坛论文集. 北京: 高等教育出版社, 2005: 164-168
- [8] 蒋宗礼. 计算机学科研究生培养中的几个重要问题的讨论[C]//何炎祥. 第八届全国高等学校计算机系(院)主任(院长)论坛论文集. 北京: 高等教育出版社, 2005: 45-49
- [9] 教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会(编制). 高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [10] 赵致琢. 关于计算机科学与技术认知问题的研究简报(I, II)[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(1): 1-15
- [11] 赵致琢. 计算科学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [12] Denning P, et al. Computing as a discipline; preliminary report of the ACM task force on the core of computer science. *ACM SIGCSE Bulletin*, 1988, 20(1): 41
- [13] Russell S, Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice-Hall, 2002
- [14] <http://www. sciencenet. cn/blog/王飞跃. htm>. accessed on July 2008
- [15] <http://www. answers. com/computation? cat=technology>
- [16] <http://www. answers. com/topic/computing? cat=technology>
- [17] ACM/ IEEE- CS. Computing Curricula 2005-The Overview Report (pdf)
- [18] www. baidu. com
- [19] <http://it. gansudaily. com. cn/system/2008/03/28/010635157. shtml>
- [20] <http://www. cia. nutn. edu. tw/CIA/f02. htm>