

# 观点

## 通过计算创造性来学习

通过把创造性思维纳入课程体系，  
可以增进学生在计算机科学入门课程中的学习并提高学习成果。

美国国家科学基金会的“重建多样性 (Rebuilding the Mosaic)”报告中<sup>a</sup>提到，在处理所有领域中出现的新问题时，均需要使用和管理大型数据库，创造性地设计以数据为中心的问题解决方案，以及应用计算和计算机方面的思维方法进行跨学科研究。为了应对这些需求，计算机科学 (CS) 入门课程的作用逐步超出了一门普通的 CS 专业课程。这门课程越来越大的作用包括：它的课程设计不仅需要为未来的 CS 科学家和从业人员打基础，还要激发学生对 CS 的兴趣、动员和吸引新的学生加入 CS；此外，它还要为其他专业的学生提供计算思维的方法和 CS 方面的技能；它甚至可以为未来的 CS K-12 教员提供培训。CS 入门课程的这种多面性要求人们采用新的方式设计 CS 课程体系。除了计算思维之外，人们还把创造力单独拿出来作为解决重要社会问题的关键因素和二十一世纪的核心技能（比如，2012 年国家研究委员会报告）。受上述现象的影响，我们看到了一个把创造性思维纳入课程体系来修订计算机科学入门课程的良机。



### 创造性思维

创造性思维并不是与生俱来的天赋，也不是只有少数人能驰骋的疆域，它更不是仅仅局限于艺术领域。与此相反，它是人类智力发展的内在过程，可在任何场景下练习、激励

和开发。<sup>1,2,5,7-9</sup> Epstein 的生成理论 (Generativity Theory)<sup>2</sup> 认为创造性思维由下列四个核心能力组成：

- **拓宽知识面 (Broadening)**。人的知识和技能面越宽，能创造出的各种可行的更多变新奇模式和组合的范围也就越多，也更吸引人。因此为了获得创造力，人们必须获取除当前的学习和专长领域之外的信息和技能，拓宽自己的知识面。
- **挑战 (Challenging)**。创新总是源于当前不够有效的策略和方式。挑战的难度越大，越有可能激发出创新的解决方案。
- **周边环境 (Surrounding)**。多样、混乱的情况和刺激因素会创造出能够让新奇的战略和行为萌发的环境——例如，从新的角度看待事物，与新的人群打交道以及考虑多种感官表象。
- **捕捉 (Capturing)**。新的想法会一直出现，但是大多数时候人们都没有注意到。创造性要求人们留心 and 记录出现的新想法。

在当代的认知和神经科学研究中，这些核心能力有着稳固的根基。<sup>6</sup> 正如 Wing<sup>10,11</sup> 提出了令人信服的实例来论证计算思维的广泛性，我们也可以论证，Epstein 的核心创造性思维能力也是一种可广泛应用的技能集，这个技能集不仅为创造性地应用现有知识和技能提供了准

a 请参阅 <http://www.nsf.gov/pubs/2011/nsf11086/nsf11086.pdf>.



备，而且还为人们参与终生学习、增强他们在跨学科背景下处理日益复杂的问题的能力奠定了基础。

### 计算创造性方面的练习

在我们的训练框架中，计算思维和创造性思维两者均被视为认知手段，这两者的结合会产生出新的计算创造性。但是不能把这种结合当成一种二分的结合，它是一种共生的能力和方法。计算思维和CS技能扩展了人们能够使用的知识和方法，从而拓宽了问题解决方案的范围。挑战性的问题迫使人们用前所未有的不寻常的方式使用计算手段，从而为新老问题引出了新的计算方法。当周边环境是新的环境和合作者时，有助于我们产生看待问题的新方式，并让我们注意到不同的刺激因素或者从计算的角度思考问题最后，通过捕捉数据表示和算法方面的想法，把人们引向新的数据结构和求解过程。通过融合计算和创造性思维，学生们可以利用他们的创造性思维能力来“开启”他们对计算思维的理解。<sup>6</sup>

我们创建了用于提高学生的计算创造性计算创造力练习（CCE）套件。每个CCE有四个共同的部分：目标、任务、CS灯泡——解释与CS有关的概念、思路和实践的载体——以及直接把练习任务与CS主题相关联的学习目标。我们的计

算创造性练习的设计基于以下原则：平衡计算思维和创造性思维之间的各种因素以及在计算和创造性方面的概念和技能之间进行映射，后者是出于它们分别表现在不同领域中的考虑。每个CCE要求每位学生花上约一到两个小时，但因为练习需要协作，所以学生们会有两周的时间进行练习。在CCE的设计中，第1周首先给学生安排了动手实践和团队任务，在第2周则通过解答分析和回顾问题来反思第1周的活动。第1周和第2周的表现都会评分。

举例而言，在日常对象CCE（Everyday Object CCE）中，我们要求学生发明我们可能经常用到的普通物品。其中的挑战在于想象这件物品并不存在，然后用书面语言描绘下列因素：所选物品的机械功能；该物品所满足的需要；以及它

**我们看到了一个把创造性思维纳入课程体系来修订计算机科学入门课程的良机。**

的物理属性和特点。这种描述必须足够具体，具体到能让从未见过该物体的人认出它，理解它的工作原理并了解它所提供的益处。（注：我们给学生列了一个物品清单以供选择，其中包括拉链、自动铅笔、装订夹、Ziploc袋子、剪刀、卷尺、订书机、指甲钳、雨伞、手电筒、开罐器、衣夹、便利贴、厕纸架、旋转门。）然后，我们要求学生考虑下列问题，并写出他们的回答。

**分析：**（1）把您的对象当成一个计算机程序。画图，在图中用方框表示它的所有功能（并为之命名），然后标出每个功能的输入和输出。在这些功能中，有没有共同的输入和输出？（2）列一个由物理属性和特性组成的列表。组织这些属性和特性，把每一个属性和特性声明为具有合适类型的变量。某些属性/特性是否可以被排列成一种包含相关属性/特性的层级结构？**反思：**

（1）考虑您对分析1的回答，是否可以整合一些功能，从而更简洁的来表示对象？是否应该引入一些新功能，以便更好地描述您的对象，从而让这些功能更具模块化？（2）您是否听说过抽象？计算机科学中的抽象与您在本练习中完成的功能和特性识别过程是否有什么关联？

我们基于教学设计原则的CCE对深度学习，举一反三和发展交际能力都有所影响。其设计可以让人们通过结合亲自动手、基于问题的学习与书面分析和反思来进行CS概念的教学。通过从更抽象的角度使用计算思维和CS内容，CCE更好的实现了这种知识迁移，同时也不需要使用程序代码来处理似乎与CS无关的问题。CCE还促进了创造性能力的发展，这个实现是通过使用多种感官渠道，要求学生使用整体的、富有想象力的思维方式，向他们提出了具有挑战性的问题并利用个人和协作式的团队工作来帮助他们发展人际交往技巧。CCE利用了认知神经科学、认知科学和心理学方面的综合研究，涉及统一学习模型（Unified Learning Mod-

el)<sup>6</sup>中确定的注意(attention)、重复(repetition)和联系(connection)等认知/神经学习过程。通过专注于计算思维的原理,增强了课程材料的学习效果和记忆程度,在课堂中提供了更多的计算思考和计算概念的重复机会,并在更高层级的抽象层面把材料与更丰富的场景和应用联系起来。

### 一些证据

2012年秋季学期期间,我们在内布拉斯加大学林肯分校的四门不同的计算机科学入门课程中设置了CCE。每门课程均针对不同的目标群体(CS专业、工程专业、混合CS/物理科学的专业以及人文学科的专业)进行了调整。来自150名学生的研究结果说明,从控制组的累计GPA方面来说,完成的CCE的数量与课程的分数显著相关( $F(3, 109) = 4.32, p = .006, \text{partial } \eta^2 = .106$ )。在完成2到4项练习的区间内,存在显著的线性趋势( $p = .0001$ )。完成的CCE的数量还与计算思维知识的测试分数显著相关( $F(3, 98) = 4.76, p = .004, \text{partial } \eta^2 = .127$ )。类似的,在完成0-1到4项练习的区间内,存在显著的线性趋势( $p < .0001$ ),且CS和非CS专业没有区别。<sup>3,4</sup>这些结果说明了一种“剂量(dosage)”效应,多完成一项CCE,课程分数和测试分数就会增加。这种增加不容轻视。因为就每一项完成的CCE而言,在知识测试中,学生的成绩提高了约一个等级以及约一个绩点。

在第二次评估中,<sup>7</sup>我们使用了准实验设计,为对比CCE的实施情况,在2013年春季学期安排针对工程师的计算机科学入门课程( $N = 90$ , 96%的人完成了三项或四项练习),控制组/对照组是未安排CCE课程的2013年秋季学期( $N = 65$ )。使用协方差分析(ANCOVA)后,我们发现,对于在安排CCE的学期中学习的學生,他們的計算思維知識測試成績明顯高於在受控

## 在当代的认知和神经科学研究中,这些核心能力有着稳固的根基。

学期中学习的學生成绩( $M = 7.47$ 到 $M = 5.94$ ),控制的各个因素包括学生的课程成绩、战略性的自我调节、参与程度、动力和课堂感知。

( $F(1, 106) = 12.78, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .108$ )。与未参与CCE的學生相比,在把计算机科学知识和技能应用到工程方面,参与CCE的學生还展现出了更高的自我效能感( $M = 70.64$ 到 $M = 61.47$ ;  $F(1, 153) = 12.22, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .074$ )。

总体来说,与课堂教育干预的传统发现结果不同是,这些新发现有很强的、具有现实意义的影响。对于CS专业和非CS专业而言,这些练习似乎都积极地影响了核心课程内容的学习过程和学习成果。这些发现验证了我们的,即计算创造性的练习能够把CS中的计算概念带给CS和类似的非CS学科的学生,并增强他们对计算思维的理解。

### 行动的召唤

受到上述评估结果的鼓舞,现在我们正着手改编CCE使之适应中等教育,根据CCE的套件设计一门课程以及继续开发更多的CCE。不仅如此,把计算创造性纳入CS入门课程还具有更广的影响,其范围包括触及CS中的弱势群体,让年轻的学习者接触计算创造性,改善CS的学习情况以及为学生打好基础,帮助他们在与日俱增的跨学科领域中成为创造性的问题解决者。因此,我们呼吁CS(和其他STEM)的教育家行动起来,在他们的课程或课程体系中调研和实施计算创造性。

### 参考资料

1. Epstein, R. *Cognition, Creativity, and Behavior: Selected Essays*. Praeger, 1996.
2. Epstein, R. *Generativity theory and creativity. Theories of Creativity*. Hampton Press, 2005.
3. Miller, L.D. et al. Improving learning of computational thinking using creative thinking exercises in CS-1 computer science courses. *FIE* 43, (2013), 1426–1432.
4. Miller, L.D. et al. Integrating computational and creative thinking to improve learning and performance in CS1. *SIGCSE 2014* (2014), 475–480.
5. Robinson, K. *Out of Our Minds: Learning to be Creative*. Capstone, 2001.
6. Shell, D.F., Brooks, D.W., Trainin, G., Wilson, K., Kauffman, D.F., and Herr, L. *The Unified Learning Model: How Motivational, Cognitive, and Neurobiological Sciences Inform Best Teaching Practices*. Springer, 2010.
7. Shell, D.F. et al. Improving learning of computational thinking using computational creativity exercises in a college CS1 computer science course for engineers. *FIE* 44, to appear.
8. Shell, D.F. and Soh, L.-K. Profiles of motivated self-regulation in college computer science courses: Differences in major versus required non-major courses. *J. Sci. Edu. Tech. Technology* (2013).
9. Tharp, T. *The Creative Habit: Learn it and Use it for Life*. Simon & Schuster, 2005.
10. Wing, J. Computational thinking. *Commun. ACM* 49, 3 (Mar. 2006), 33–35.
11. Wing, J. Computational thinking: What and why. *Link Magazine* (2010).

Leen-Kiat Soh (lksoh@cse.unl.edu) 是内布拉斯加大学计算机科学与工程系副教授。

Duane F. Shell (dshell2@unl.edu) 是内布拉斯加大学研究教授。

Elizabeth Ingraham (eingraham2@unl.edu) 是内布拉斯加大学文学副教授。

Stephen Ramsay (sramsay.unl@gmail.com) 是内布拉斯加大学英语Susan J. Rosowski副教授。

Brian Moore (brian.moore@unl.edu) 是内布拉斯加大学音乐教育与音乐技术副教授。

本材料基于美国国家科学基金会资助的研究(资助号1122956)。其他资助由内布拉斯加大学林肯分校(UNL) Phase II Pathways to Interdisciplinary Research Centers (至跨学科研究中心第二阶段通道)提供。本文中的所有观点、发现、结论或建议仅属于作者本人,并不一定反映美国国家科学基金会或UNL的观点。

译文责任编辑: 李向阳

版权归属于作者。