

## 编译原理课程教学中计算思维能力的培养方法\* The Method for Computational Thought Ability in Teaching of Compiler Principles Curriculum

廖伟志, 李文敬

LIAO Wei-zhi, LI Wen-jing

(广西师范学院计算机与信息工程学院, 广西南宁 530023)

(College of Computer and Information Engineering, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530023, China)

**摘要:**针对编译原理课程的教学目标及该门课程教学中普遍存在的问题,从选择合适的方式陈述问题、模块化方法、等价转化方法、形式化方法等计算思维方法探讨如何运用计算思维提高编译原理课程教学质量及如何在教学中培养学生的计算思维能力。

**关键词:**教学方法 计算思维 编译原理

**中图分类号:**G652 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2012)03-0232-04

**Abstract:** According to the target and problem in teaching of compiler principles curriculum, several methods, including stating the problem in the right way, the modular methods, equivalent conversion methods, formal methods and other computational thought methods, were discussed to improve quality of compiling principle course teaching and the computational thought ability of student during the teaching.

**Key words:** teaching method, computational thought, compilers principles

编译原理课程是高等院校计算机及相关专业的一门重要专业课程,着重培养学生的程序设计和实现能力,在计算机科学中有很重要的地位,被列入国际 ACM91 教程。编译原理课程教学的编译程序构造的基本原理和技术蕴涵了计算机科学解决问题的思路和抽象解决问题的方法,其中的设计思想、算法、思维方式和技巧都会对学生今后的发展产生比较大的影响,甚至还有“编译原理对计算机专业学生的重要性与高等数学对理科学生的重要性几乎可以相提并论”的说法。编译原理课程与高等院校其他计算机学科课程关系紧密,如高级程序设计语言、数据结构、离散数学、软件工程等,是一门理论深度和实践要求并重的课程<sup>[1]</sup>。武汉大学计算机学院院长

何炎祥教授认为“编译的原理性研究、学习和实践,可以多角度提高学生的逻辑思维能力、实践动手能力、编程调试及综合应用能力,有助于切实有效地提高学生的专业素质。另外,编译课程中介绍的知识也是后续许多课程的基础。所以,编译原理是计算机专业学生必须掌握的基本原理,编译原理课程是高等院校计算机专业非常重要的专业课程。”<sup>[2]</sup>

计算思维是卡内基梅隆大学计算机科学系周以真教授在 2006 年 3 月提出,是指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,它包括了一系列广泛的计算机科学的思维方法。周以真教授认为,计算思维不仅仅属于计算机科学家,它将和阅读、写作和算术一样,是 21 世纪每个人必须具备的基本技能。计算思维已经在其他学科中产生影响,例如计算生物学、计算博弈理论、纳米计算和量子计算等新兴研究领域的发展正在深刻改变生物学、经济学、化学和物理学领域研究的思考方式。计算思维这一概念提出后,引起美国科技界的高度重视,并得到美国国家科学基金会(NSF)重大基金

收稿日期:2012-06-25

修回日期:2012-07-18

作者简介:廖伟志(1974-),男,教授,博士,主要从事形式化技术及其应用研究。

\*新世纪广西高等教育教学改革工程项目(2010JGA042, 2009B054),2012 广西师范学院教学成果重点培育项目资助。

资助计划 CDI 的支持。该计划旨在使用计算思维(特别是在该领域产生的新思想、新方法)促进美国自然科学和工程技术领域产生革命性的成果,计算思维正在深刻的影响美国创造新知识与应用新知识的能力,该计划通过“计算思维”在富有挑战性的自然科学与工程,以及教育等学科领域的应用来进一步扩大这种影响<sup>[5]</sup>。

编译原理课程知识涉及到计算机学科的相关课程,因此计算思维中的诸多方法都运用在许多编译理论和技术中,很多编译成果正是运用计算思维的结晶<sup>[5]</sup>。文献<sup>[5]</sup>从抽象、自动化、递归、问题分解和权衡等典型计算思维方法出发,探讨结合编译案例培养计算思维的可能途径。本文则针对“编译原理”课程的教学目标及该门课程教学中普遍存在的问题,结合作者的教学经验,从选择合适的方式陈述问题、模块化方法、等价转化方、形式化方法等计算思维方法探讨如何运用计算思维提高教学质量及如何在教学中培养学生的计算思维。

## 1 编译原理课程的教学目标及教学中普遍存在的问题

编译原理的教学目标是使得学生掌握和编译器设计相关的形式语言理论基础;编译程序的体系结构,编译器的各个组成部分的原理和技术,包括词法分析、语法分析、语义分析和目标代码生成、代码优化,以及设计环境与程序错误的检查和校正;初步了解一些编译器生成工具的基础理论和应用。另外,该课程将通过上机实验使得学生初步了解一个设计编译器的过程。

“编译原理”课程是理论性和实践性的统一体。该课程由于理论性强,具有严密的逻辑性,涉及到大量抽象的思想和复杂的算法,学生在学习过程中感到内容抽象、算法复杂、难于理解。因此,编译原理被普遍看做是计算机专业本科教学中最难讲解、最难学习的课程之一,在教学上不同程度的存在以下几个问题<sup>[6]</sup>。(1)理论知识抽象难懂,学生有畏惧心理。该门课程主要讨论编译的基本理论和编译器构造的基本方法,涉及的理论知识抽象、难懂,如形式语言与自动机理论、语法制导翻译以及各种算法,又综合运用到前面所学的相关课程的知识,确实具有相当的难度,使得学生产生了畏惧心理。此外,不少学生认为学习这门课将来只能用于编译器的设计上,而大多同学将来都不太可能去从事编译器的设计工作,因此普遍认为这门课没有用,学习热情不

高。(2)理论课教学方式陈旧单一。目前,编译原理的理论课大多以老师讲解为主,很少辅之以其他形象生动的教学手段,教学内容又大多是抽象的概念和复杂的算法,老师和学生之间的互动很难形成,学生觉得枯燥乏味,慢慢就失去了学习的兴趣,难以达到良好的教学效果。(3)实验内容脱离实际,不够合理。该门课程的实践环节大多要求实现一个小型语言的编译程序,而实现一个编译程序不仅要有相关的理论知识,更需要丰富的实践经验,熟悉硬件系统和操作系统的功能,对于大多数同学来说,编程能力都相对欠缺,实现编译程序基本是不可能完成的任务。因此,大多同学在实验时碰到的困难太多,无从下手,干脆放弃努力,也就失去了实验的意义。

## 2 编译原理课程教学中计算思维能力的培养方法

在编译原理课程教学中培养学生的计算思维能力,除了设置合适的课程内容外,教师在课堂教学中要有意识的运用计算思维进行教学以及地引导学生利用计算思维去解决所学课程的相关问题,要选择合适的方式陈述问题,要应用计算思维的模块化方法、等价转化方法和形式化方法讲授课程内容,不仅能够激发学生对所学课程的学习兴趣,更重要的是培养了学生运用计算思维去解决问题的意识和能力。

### 2.1 选择合适的方式陈述问题

周以真教授认为“计算思维是选择合适的方式去陈述一个问题,或者是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。它是利用不变量简明扼要且表述性地刻画系统的行为。它是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。”作为编译原理课程的教师,首先应当深入了解编译原理理论和技术的合适描述方式有哪些知识和工具及其与这些知识和工具相关的课程,例如,计算机专业基础课“离散数学”中的图论是编译原理课程诸多问题的有效描述工具,其中的语法树直观地表示了文法的推导、有限状态图则能取代抽象的形式化定义、关系图取代复杂的算法用于求解判定 LL(1)文法的 FIRST 集和 LAST 集、DAG 图能有效的实现代码优化、二图着色法则在全局寄存器分配中得到了广泛的使用;其次,教师在教学过程中应当注重 3 方面的问题:(1)教师要充分认识和理解选择合适方式陈述问题对问题求解的重要性,不仅有助于教

师对问题本身的深入了解而且有助于教师如何有效地给学生传授相关的知识;(2)充分利用这些有效的陈述问题的方式提高教学质量和教学效果,例如判定 LL(1)文法的 FIRST 集和 LAST 集的求解算法对初学者是抽象、难以理解的内容,但是利用关系图求解 FIRST 集和 LAST 集就较为简单,讲授时教师可以从关系图求解法入手,引导同学去理解用于求解 FIRST 集和 LAST 集的算法,我们在教学实践中发现该方法对于提高学生的学习兴趣和教学效果是有效的;(3)引导和启发同学如何利用计算机科学中的相关知识选择合适的方式去描述问题,包括他们在软件开发过程中所遇到的各种问题。

## 2.2 模块化方法

模块化不仅是包括软件工程在内的工程领域的重要思想,而且是计算思维里一个重要的概念。周以真教授认为“计算思维采用了抽象和分解来迎战浩大复杂的任务或者设计巨大复杂的系统。它是关注的分离。”模块化设计带来了许多好处。一方面,模块化设计降低了系统的复杂性,使得系统容易修改;另一方面,推动了系统各个部分的并行开发,从而提高系统开发效率。作为计算机老师,我们不仅是在讲授软件工程课程时才强调模块化方法,而是在讲授其它课程时也要引导学生采用模块化方法去解决相关的问题。在编译原理课程教学中,教师同样可引导学生采用模块化方法去解决相关问题。下面以 LL(1)文法判定为例说明如何运用模块化方法提高教学质量。根据 LL(1)文法的定义,一个上下文无关文法是 LL(1)文法的充分必要条件是对于每个非终结 A 的两个不同产生式,  $A \rightarrow \alpha$ ,  $A \rightarrow \beta$ , 满足  $SELECT(A \rightarrow \alpha) \cap SELECT(A \rightarrow \beta) = \emptyset$ , 其中  $\alpha, \beta$  不能同时推导出空。因此关键是要求出各产生式 SELECT 集, 要求出 SELECT 集则必须求出 FIRST 集和 LAST 集, 而后两者需要知道能推出空的非终结符是哪些。因此可把判定 LL(1)文法分为 4 个部分:(1)判断能推出空的非终结符;(2)求 FIRST 集;(3)求 LAST 集;(4)求 SELECT 集。教学过程中,通过对问题的分解,教师就能够对一个看起来复杂、难讲的问题转变成若干个简单且容易让学生接受和理解的问题,对于教学效果的提高是不言而喻的。事实上,编译原理的许多教学内容均可利用模块化方法把问题分解成若干个子问题来进行讲授,如 LR(0)分析可分解成 LR(0)项目的求解、LR(0)项目集规范族的构造、LR(0)分析表的构造及 LR(0)分析器的构造等。又如对于非确定有限

自动机转换成确定有限自动机的问题可分解成 5 个子问题,包括确定有限自动机状态集的确定、确定有限自动机的输入字母表、确定有限自动机的转换函数、确定有限自动机的初始状态的确定、确定有限自动机终状态的确定等。

## 2.3 等价转化方法

计算思维是通过约简、嵌入、转化和仿真等方法,把一个看来困难的问题重新阐释成一个我们怎样解决的思维方法。在编译原理的不少知识中就应用到计算思维中的等价转化方法。例如,从定义上来看非确定有穷自动机明显与确定有穷自动机不同,那么是否就意味着需要我们对非确定有穷自动机的诸多性质进行另外的研究。事实上并非如此,其原因在于人们已经证明存在与非确定有穷自动机等价的确定有穷自动机,而且发现了由非确定有穷自动机转化成与之等价的确定有穷自动机的转化算法。这样我们就能够通过研究确定有穷自动机的相关方法来研究非确定有穷自动机。教师在授课时不仅讲授非确定有穷自动机转化成与之等价的确定有穷自动机的转化算法,同时要启发同学去思考和发现等价转化方法在计算机相关领域的应用。另外,编译原理教材中介绍的包括删除公共表达式、代码外提、强度削弱、变换循环控制条件、合并已知量、复写传播、删除无用赋值等的各种代码优化技术的核心思想就是通过等价转化方法确保优化后的代码功能不变而使代码更优。事实上,等价转化方法不仅体现在编译原理及计算机学科的相关知识,在其它学科亦有广泛的应用。如何培养我们的学生利用等价转化方法去解决计算机学科的实际问题是计算机老师在实际教学中需要探索的问题。

## 2.4 形式化方法

从广义上来讲,形式化方法是计算机应用系统(软件、硬件、软件和硬件混合)设计、实现及维护的系统工程方法;从狭义来讲,形式化方法是离散数学、数理逻辑、抽象代数等计算机学科基础理论和计算机应用系统开发的结合,是指导计算机应用系统的工程化开发的方法和技术。随着形式化方法的应用越来越广,2004年5月,IEEE-CS和ACM联合任务组提交了CCSE最终报告,在该报告给出的SEEK中,“软件的形式化方法”被单列为一门必修课程。文献[7]通过深入分析发现形式化方法与计算思维方法有非常大的相似性。形式化方法在编译原理中也有着重要的应用,最典型的是编译原理教材中介绍的有限状态机是一种重要的形式化技术,

它具有广泛的应用,在编译原理中主要用于文法的描述和分析。教师在授课的过程中要重视两方面的教学内容,一是正规文法与有限状态机的等价性以及正规文法是如何能被有限状态机描述的;二是如何通过有限状态机来识别活前缀及文法的。同时,教师要有意识的介绍形式化方法的一些相关知识,结合所讲授的教学内容让同学们了解什么是形式化方法、形式化方法能解决计算学科的什么问题以及形式化方法的发展概况等。实践证明,结合具体的教学内容来介绍形式化方法相关知识的优势在于通过具体的例子能让同学们感性的认识和了解形式化方法,而不是抽象的、难以想象的。形式化方法的应用涉及到计算机学科诸多课程以及软件的实际开发,教师应通过所授课程让学生了解和掌握形式化方法的相关知识并引导他们如何用形式化方法来解决实际问题。然而在实际教学中,我们大多数老师的习惯性思维往往只是讲授知识点本身,而缺乏引导。例如,教师在讲授有限状态机和文法的内容时通常就只讲授这些内容本身,而不介绍有限状态机与形式化方法的关系、更不会引导同学去了解形式化方法。不难想象,基于这样的教学教师教给学生的知识是死的,而不是活的;是零碎的,而不是系统的;是片面的,而不是全面的。

### 3 结束语

结合作者的教学实践,本文就计算思维如何应用于编译原理课堂教学,培养学生运用计算思维去解决问题的意识和能力作了重点介绍。教学实践表明把计算思维运用于课堂教学不仅有利于激发学生

的学习兴趣,而且有助于教学质量的提高。计算思维虽是一个新的概念,但是它所包含的许多方法却是计算机科学中的基础,而且是重要的方法,人们已经意识到这些概念是人类知识的精华,它不是计算机学科专有的知识,更重要的是运用这些知识同样能够有效地解决其它学科的问题。因此,计算思维的培养不是哪一门课程的教学能解决的问题,应当关注在各专业课程中计算思维的培养,这方面的工作和探讨仅仅是开始,还有诸多问题有待人们去解决。

#### 参考文献:

- [1] 王顺晔. “编译原理”课程教学方法的研究与实践[J]. 计算机教育, 2010(3): 36-38.
- [2] 何炎祥, 伍春香. 计算机专业不需要开设编译原理课程吗? [J]. 计算机教育, 2009(4): 61-62.
- [3] 柴艳妹, 马燕林. 编译原理课程教学改革研究[J]. 计算机教育, 2011(20): 36-39.
- [4] 王挺, 李梦君, 周会平. 对编译原理课程教学中计算思维培养的探讨[J]. 计算机教育, 2009(21): 11-13.
- [5] 贺汛, 吴春寒. 编译原理教学中创造性思维能力的培养[J]. 计算机时代, 2010(4): 54-58.
- [6] 夏斌, 刘艳. 编译原理课程教学探讨[J]. 数字技术与应用, 2010(10): 104.
- [7] 钱俊彦, 古天龙, 董荣胜, 等. 计算机学科的计算思维能力培养初探[J]. 计算机科学, 2008, 35(11, 专辑): 110-112.

(责任编辑:邓大玉)

### 德国发明捕获单分子技术

科学家很早以前就实现了用激光捕获单原子,其机制是利用激光光子反向碰撞单原子,使其渐渐“刹车”直到接近静止状态。但是这种机制无法用来捕捉分子,因为单分子吸收了反向光子后也不会“刹车”。德国的研究人员想到了用周期电势阱来抓住单分子。为此他们构造了一个由1240条金箔电极等间距排列而成的微芯片,并使微芯片上方形成间隔为 $100\mu\text{m}$ 的圆柱形周期电势阱。研究人员把要捕捉的分子用分子束的形式打到微芯片上方,然后调节交流电频率使得电势阱以与分子束相近的速度运动,当分子与电势阱的相对速度为零时,分子就会掉到电势阱中出不来。然后研究人员缓慢降低电势阱的速度,在这个过程中不断收集相对速度为零的分子。到最后,电势阱连同它囚禁的分子一同“刹车”并逐渐达到静止状态。这样,电势阱就可以用来捕获电偶极矩类型的分子,测量分子不同激发态的寿命,研究不同分子碰撞的过程,甚至还有助于量子计算机的研制。