

高 等 教 育
国 家 级 教 学 成 果 奖 申 请 书

成 果 名 称 面向计算机系统能力培养的课程体系改革

成果完成人姓名 刘卫东 向勇 李山山 张悠慧 王生原

成果完成单位名称 清华大学

成 果 科 类 工科

类 别 代 码 0811

推 荐 序 号 11064

成 果 网 址 http://qiyuan.tsinghua.edu.cn/intro/info_award_2018.jsp

推荐单位名称 北京市教育委员会

推 荐 时 间 2018 年 4 月 30 日

填 表 说 明

1. 成果名称：字数（含符号）不超过 35 个汉字。

2. 成果科类按照教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录（2012 年）》（教高〔2012〕9 号）的学科门类分类（规范）填写。综合类成果填其他。

3. 成果类别代码组成形式为：abcd，其中：

ab：成果所属科类代码：填写科类代码一般应按成果所属学科代码填写。哲学—01，经济学—02，法学—03，教育学—04，文学—05，历史学—06，理学—07，工学—08，农学—09，医学—10，军事学—11，管理学—12，艺术学—13，其他—14。

c：成果属普通教育填 1，继续教育填 2，其他填 0。

d：成果属本科教育填 1，研究生教育填 2，其他填 0。

4. 推荐序号由 5 位数字组成，前两位为推荐单位代码，按照附件 1 中各推荐单位代码填写，后三位为推荐单位推荐成果的顺序编号。

5. 申请单位需提供一个成果网址，将成果申请材料和认为必要的视频及其他补充支持材料放在此网址下，并保证网络畅通。

6. 成果曾获奖励情况不包括商业性的奖励。

7. 成果起止时间：起始时间指立项研究或开始研制的日期；完成时间指成果开始实施（包括试行）的日期；实践检验期应从正式实施（包括试行）教育教学方案的时间开始计算，不含研讨、论证及制定方案的时间。

8. 本申请书统一用 A4 纸双面打印（封面去掉“附件 3”字样），正文内容所用字型应不小于 4 号字。需签字、盖章处打印复印无效。

9. 指定附件备齐后合装成册，但不要和申请书正文表格装订在一起；首页应为附件目录，不要加其他封面。

一、成果简介（可加页）

成果曾获奖励情况	获奖时间	奖项名称	获奖等级	授奖部门
	2018.4	北京市教学成果奖	一等奖	北京市教委
	2015.2	清华大学教学成果奖	一等奖	清华大学
	2016.11	优秀实验教学案例	一等奖	高等学校国家级实验教学示范中心联席会
	2014.11	第三届高等学校自制实验教学仪器设备	一等奖	中国高等教育学会
成果起止时间	起始： 2009 年 1 月 完成： 2012 年 12 月		实践检验期： 5 年	

1. 成果简介及主要解决的教学问题(不超过 1000 字)

计算机系统能力是指能自觉运用系统观，理解并掌握计算机硬软件协同工作及相互作用机制的能力。近年来，国际一流大学计算机专业教学中，十分重视计算机系统的教学。国内高校在教指委的推动下，系统能力培养已成为计算机专业教学改革方向。

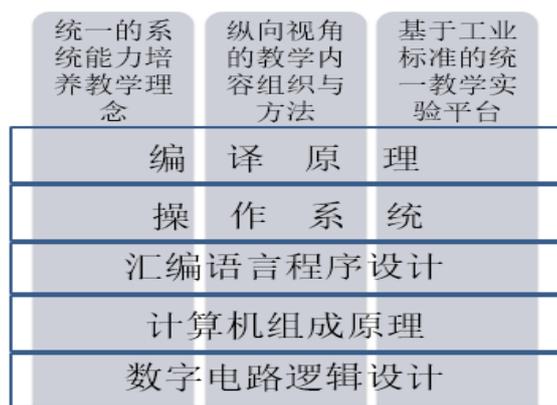


图 计算机专业系统课组

计算机专业教学中，基本按照层次化计算机系统的思路来安排课程教学内容，一门课程聚焦于复杂的计算机系统中的一个子系统。这种方法符合计算机设计的一般原则和学生的认知规律，简化了教学难度。但是，课程教学内容上过度强调层次化，使得当前计算机系统相

关课程体系存在着各课程内容相互独立，教学方法强调“横向”分析而忽略“纵向”视角，造成了学生系统能力和训练上的不足，突出表现为知识体系、实践能力上缺乏系统性和完整性，而在实践方法上也与工业界主流技术脱节。这样培养的结果，必将导致学生计算机系统能力缺乏。

为解决这个问题，清华大学在国内率先开展了面向计算机系统能力培养的专业课程体系建设：如上图所示，在系统课组核心课程教学中统一贯彻“**注重系统、强调实验、培养能力**”的教学理念；重新梳理各课程的教学内容，构建了计算机系统领域的完整知识体系；设计“横向”分析与“纵向”视角结合的教学方法；建设了基于工业标准的统一教学实验支撑平台；最终实现学生能够自主设计一台功能完整计算机系统的教学目标，并总结出一些可复制、可推广的经验。

教学改革极大地激发了同学们的专业学习兴趣，“**奋战三星期，造台计算机**”成为计算机系同学响亮的口号，也成为同学们大学期间值得自豪的经历。系统能力培养的教学改革是落实清华大学“**价值塑造、能力培养、知识传授**”人才培养理念的具体举措，不仅仅让学生掌握了计算机系统知识，更为重要的是培养了计算机系统的设计能力，并让学生在**学习中**体会了全面、辩证认识问题的方法论。

我们的工作也得到国内同行的关注，多次在全国的教学研讨会上介绍改革经验，被教指委确定为系统能力培养示范学校。部分成果转移到其他高校应用，取得较好效果。国际上，**ACM/IEEE**最新出版的计算机工程课程体系指南（**CE2016**）中，以清华课程体系为基础，给出了一个培养方案的示例。

在课程体系改革中，解决了以下问题：

- (1)教学内容上，各门课程独立规划、独立教学，而造成的知识体系中知识点冗余和衔接关系脱节。
- (2)教学方法上，各课程多采取“横向”分析式教学方法，而造成学生对计算机系统整体理解不完整，掌握知识点和转化成实际能力脱节。
- (3)实验手段上，侧重于对原理的简单验证，而缺乏对复杂系统的综合设计实践，造成理论知识和实践能力脱节。

2. 成果解决教学问题的方法(不超过 1000 字)

课程改革以“注重系统、强调实验、培养能力”为指导思想，以设计实现基于标准化 MIPS 的计算机系统为目标，统一规划各课程内容和实验内容，将各课程有机地衔接贯穿起来，各课程使用同一套标准化的 MIPS 指令系统，并在此指令系统之上构建一个完整的计算机系统知识体系和实验体系。

(1) 跨课程统一规划衔接顺畅的教学内容，跨层次贯彻“纵向”视角教学方法

选择数字逻辑电路、汇编语言程序设计、计算机组成原理、操作系统、编译原理这 5 门核心课程，组建计算机系统类核心课程群。以 ACM/IEEE CE2016 确定的计算机专业课程知识体系为基础，查找各课程知识点和教学内容的不足，进行补充和完善，尤其注意各课程教学内容间的衔接。各课程以完成基本计算机系统设计和实现为教学目标，在加强原理性知识讲解的同时，采用“纵向”视角，从计算机系统各个层次的相互关系着手，对完整计算机系统系统进行系统教学。

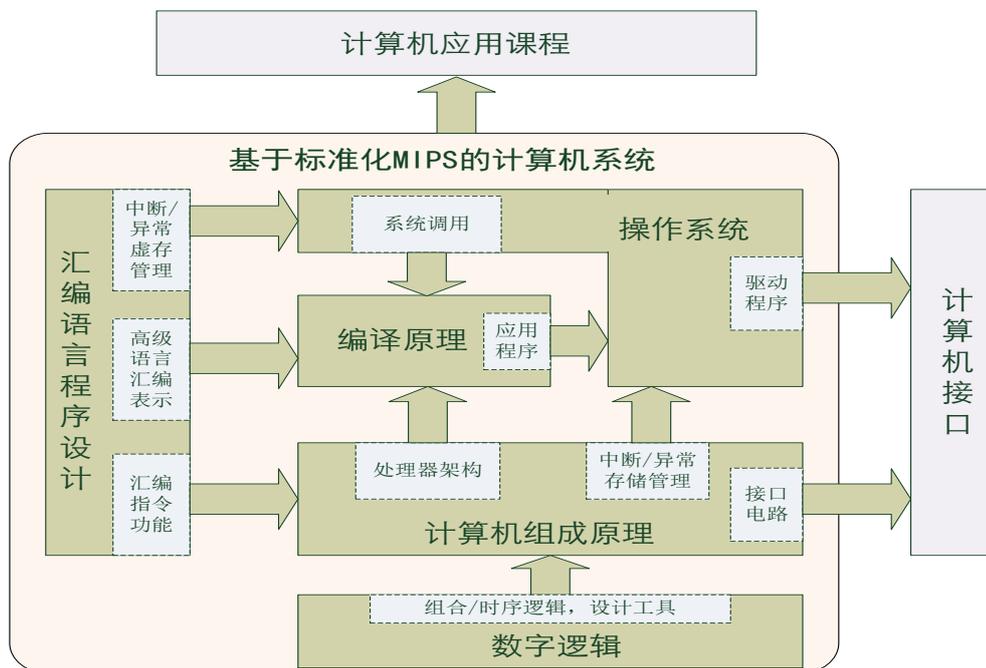


图 计算机系统课程知识体系及衔接关系

(2) 整合设计面向全系统的递进式实验体系

精心设计教学实验体系，围绕建设目标设置各课程的阶段子目标和

相应的实验内容，完成模块设计和实现后，再通过综合实验来最终集成，形成一个完整的计算机系统设计和实现。课程实验的模块作为最终综合实验的基础，既能巩固课程中学习的原理性知识，又能作为整体综合实验的模块使用，实现实验体系的递进化。

(3) 自主建设统一的标准化实验支撑平台

采用 MIPS 指令集，选择标准系统调用，开发支持 47 条指令的硬件计算机系统平台，并配套模拟器、汇编器、编译器、通信、终端等软件系统和调试工具；支持 uCore 教学操作系统的移植，使其在硬件平台上运行；支持 decaf 或 C0 编译器生成 MIPS 代码，使生成的应用代码可在 uCore 上执行；最终形成一个基本的计算机系统，构建了系统能力培养综合实验环境，并在教学中检验。

(4) 建设计算机系统综合设计开放式课程

综合利用系统类课程组中所学知识，独立设计和完成一个完整、简单的计算机系统，实验目标仅设定最低标准，由学生根据自身条件确定拓展功能和性能指标，开放式实验设计、答辩互评得成绩评定方法，激励学生得创造力，培养学生综合运用课程知识解决复杂问题的能力。

(5) 规划设计多层次系统能力培养实验案例

为帮助其他高校开展系统能力培养，规划了目标为运行无输入/输出的指令序列、简单监控程序、支持中断和虚存管理的监控程序、教学操作系统 4 类实验案例，供试点院校参考采用。

总之，我们提出了一个适应计算机专业培养目标的系统能力教学理念，探索了一套行之有效的教学改革途径，设计和开发了包括教材、实验指导书、实验环境和平台的支撑教学资源。在清华大学进行的 5 年的教学改革实践证明了改革方案的有效性，并通过兄弟院校的实际工作验证，形成了可复制、可推广的教学改革成果。

3. 成果的创新点(不超过 800 字)

(1) 定义了系统能力培养的内涵，提出了面向系统能力培养的教学理念

归纳了计算机系统能力培养的内涵，即能自觉运用系统观，理解计算机系统的整体性、关联性、层次性、动态性和开放性，并用系统化方法，理解计算机软硬件协同工作及相互作用的机制，设计和实现功能简单但结构完整的计算机系统的能力。提出了“注重系统、强调实验、培养能力”的教学理念，以系统能力培养为核心，统一协调相关课程的教学内容和体系，形成协调一致的计算机系统整体培养的目标，然后各个课程在这整个“目标视图”中更为精确地为本课程定位，消除各课程间内容的冗余或者缺失、增强衔接。

(2) 设计了可达成系统能力培养的知识体系，改革了教学内容和教学方法

以学生能力塑造为导引，重新建立面向系统的知识体系，梳理课程教学内容之间的衔接。在统一课程体系的基础上，各课程以完成基本计算机系统设计和实现（即基于一个指令集系统，自主设计一台功能计算机、一个操作系统核心、一个编译系统）为教学目标，协调教学内容。改进教学方法，以“纵向”视角入手，也即从各个课程的相互关系（也是计算机系统各个层次的相互关系）入手，对完整计算机系统进行全面说明，从而激发学生对后续课程的兴趣并加深对计算机系统的理解，更为深入地理解各类计算机专业知识的相互关系。

(3) 设计了可达成系统能力培养的实验体系，实现了完整的实验支撑环境

学习和实践计算机系统层面的各个标准，有助领悟系统构造的原理，并促进今后更快速进入产业。本课程体系建设了完整的系统能力培养实验体系支撑平台，包括系列硬件实验平台、模拟器、汇编器、编译器、数据通信、终端程序等。该实验平台采用了标准化设计，与工业标准相兼容，同时又进行简化以利于学生在有限时间内保质保量的完成。具体地，我们采用 MIPS 指令集作为 CPU 指令集，选择 POSIX 标准作为系统调用。该实验平台和教学内容相辅相成，促进教学目标的实现，并可适用于不同层次的计算机系统能力培养要求。这些标准化设计已被高等学校教学指导委员会的基于系统能力培养的计算机专业课程建设方案指导意见所采纳。

4. 成果的推广应用效果(不超过 1000 字)

清华大学计算机系于 2009 年起, 开始进行面向系统能力培养的计算机专业课程体系改革。经过近 8 年的努力, 课程体系建设成果显著, 汇编语言程序设计、计算机组成原理、操作系统、编译原理 4 门课程, 在统一的教学理念下, 服务于“让学生具备自主设计和实现一台简单完整计算机的能力”这一目标, 调整教学内容, 改革教学方法, 建设统一的课程实验体系和实验平台, 开设计算机系统综合实验课程, 最终完成了课程体系改革的任务。

从 2010 年起, 参加课程体系建设的课程陆续将课程教学内容调整到位, 使得各门计算机专业核心课程的知识点衔接更为流畅, 计算机软硬件系统配合关系清晰, 教学效果有了显著提高。与课程内容调整配套, 我们建设了面向系统能力培养的计算机系统综合实验平台, 将全部课程实验以及最后的综合实验都统一到一个实验平台上, 实现了教学实验的一体化。从 2009 年起, 计算机组成原理率先在教学中采用新的实验体系, 并将课程实验移植到新的实验平台上, 通过逐步整合其他课程实验到新的平台, 2014 年, 首次完成了让学生自主设计实现完整计算机系统的改革目标, 并开设了计算机系统综合实验课程, 教学改革目标基本达成。

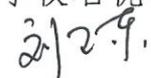
系统能力培养的教学改革是落实清华大学“价值塑造、能力培养、知识传授”人才培养理念的具体举措, 不仅仅让学生掌握了计算机系统知识, 还培养了计算机系统的设计能力, 并让学生在学习中体会了全面、辩证认识问题的方法论。课程改革取得丰硕成果, 出版 7 本教材或实验指导书, 获得清华大学教学成果一等奖等多项校级奖励, 获得专利 4 项, 获得软件著作权 4 项, 在国内外期刊或会议上发表教学论文 22 篇。2017 年 9 月, 在第一届全国大学生系统能力培养(龙芯杯)大赛上, 我系代表队夺得唯一的一等奖。2018 年, 获得北京市教学成果一等奖。

在教指委的统一规划下, 我们成为教指委确定的系统能力培养示范学校之一, 承担教指委关于系统能力培养实验设计和推广的工作。参加了一系列教学研讨会, 并在会议上做专题报告或者主题报告。复旦、西交大、南京大学等十多所高校到我校进行专题交流, 2014 年暑期, 复旦、华中科大等派老师或研究生到我校旁听了计算机系统综合实验的课程。华中科技大学决定全面将我们的成果引入到计算机专业的教学中, 并为此重新设计了本科教学计划。2017 年 11 月, 我系被推举为信息技术新工科产学研联盟计算机系统能力推进工作委员会

主任单位。

国际影响力方面，刘卫东参加了 **ACM/IEEE** 计算机工程专业课程教学计划修订工作（**CE2016**）。**CE2016** 编写专家组对清华大学的系统能力教学改革给与高度评价，并在 **CE2016** 的课程体系示例中，以清华大学计算机系的培养方案为基础，给出了一个课程体系的样例，在国际上介绍了我国的教学成果。

二、主要完成人情况

主持人姓名	刘卫东	性别	男
出生年月	1968年8月	最后学历	博士研究生
专业技术职称	教授	现任党政职务	无
现从事工作及专长	计算机网络		
工作单位	清华大学计算机科学与技术系		
联系电话	010-62781446	移动电话	13501002360
电子信箱	liuwd@tsinghua.edu.cn		
通讯地址	北京市海淀区清华大学计算机系		
何时何地受何种省部级及以上奖励	2018年 北京市教学成果一等奖 2005年 北京市教学成果一等奖 2003年 福建省科技进步一等奖 2001年 教育部中国高校科技进步二等奖		
主要贡献	<p>作为项目团队的召集人,本人承担课程体系建设规划、各课程教学任务协调等工作;作为“计算机组成原理”课程任课教师,具体承担了计算机组成原理课程的教学改革工作。具体如下:</p> <p>1. 确定了计算机系统能力概念的内涵,提出了“注重系统、强调实验、培养能力”的改革理念,规划了项目的建设目标和主要建设内容,确定了以贯穿各课程实验体系为依托的技术路线,组织协调各课程的教学内容;</p> <p>2. 设计了计算机系统综合实验的课程教学大纲、主要教学内容及实验要求,完成了课程的开设任务;领导、组织了计算机系统综合实验课程硬件实验平台的设计和开发;</p> <p>3. 主讲计算机组成原理课程,具体承担计算机组成原理课程的教学内容调整工作,完成基于综合实验硬件平台的课程实验设计,并组织开发了配套的实验软件平台;编写《计算机硬件系统实验教程》并由清华大学出版社出版,获得学校名优教材资助。</p> <p style="text-align: right;">本人签名: </p> <p style="text-align: right;">2018年4月17日</p>		

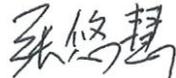
主要完成人情况

第(2)完成人姓名	向勇	性别	男
出生年月	1967年2月	最后学历	博士研究生
专业技术职称	副研究员	现任党政职务	无
现从事工作及专长	操作系统和计算机网络相关的科研与教学，“操作系统”和“操作系统专题训练”课程主讲		
工作单位	清华大学计算机科学与技术系		
联系电话	010-62785609	移动电话	13511073124
电子信箱	xyong@tsinghua.edu.cn		
通讯地址	北京市海淀区清华大学计算机系		
何时何地受何种省部级及以上奖励	2018年 北京市教学成果一等奖 2017年 2017年国家精品在线开放课程 2001年 第十届全国优秀科技图书一等奖		
主要贡献	<p>作为“操作系统”课程的主讲教师，围绕计算机系统能力培养目标，完成了操作系统课程教学大纲、教学课件、实验平台等的完善工作。具体内容如下：</p> <p>1. 制定强调实践的操作系统课程教学大纲。在操作系统教学内容中增加了实验任务相关的内容，介绍教学操作系统 ucore；依据操作系统开发流程组织课程内容顺序；从而更好地让教学内容支持实验任务的完成。</p> <p>2. 采用迭代测试的方式来组织操作系统课实验任务。操作系统的8个实验任务是循序渐进安排的，同学在初始的实验基准代码上，不断增加新的内核功能，并最终把各实验任务组织成一个相互关联的成有机整体。</p> <p>3. 提供在线的教学参考资源和师生交流平台。利用教学 wiki 维护和积累幻灯片、视频、参考文献和常见问题列表等，利用 github、piazza 和邮件列表等交流工具进行教学过程中的师生交流和同学讨论。</p> <p style="text-align: right;">本人签名： </p> <p style="text-align: right;">2018年04月17日</p>		

主要完成人情况

第(3)完成人姓名	李山山	性别	男
出生年月	1979年5月	最后学历	硕士研究生
专业技术职称	高级工程师	现任党政职务	无
现从事工作及专长	计算机系统系列实验教学、研究		
工作单位	清华大学计算机科学与技术系		
联系电话	010-62773730	移动电话	18801018045
电子信箱	lishanshan@tsinghua.edu.cn		
通讯地址	北京市海淀区清华大学计算机系		
何时何地受何种省部级及以上奖励	2018年 北京市教学成果一等奖 2018年 北京市教学成果二等奖 2013年 北京市职工优秀创新成果三等奖		
主要贡献	<p>本人是计算机系统课组中的实验负责人，在课程体系建设中，负责计算机系统课程实验的规划和建设，通过实验将各课程实验整合，完成了新的实验内容、实验设备、实验方案设计等：</p> <p>1. 引入新实验技术，设计开发统一的硬件实验平台。以系统能力培养的目标，结合各课程实验需求，研制和开发了ThinPAD硬件实验平台，并在该平台上设计了一系列的新的实验内容，该平台获清华大学实验技术成果一等奖。</p> <p>2. 参与了计算机系统能力培养原型教学系统的设计，将各个课程原有的实验进行整合，形成一个计算机系统的整体实验体系，从而通过实验将系统课组中的各门课程的教学与实践内容有机地链接起来，达到系统的教学目标。</p> <p>3. 在系统实践教学过程中，在第一线指导学生的实验，深入了解实验的开展与学生的具体需求，不断总结改进实验内容，实验方法，实验技术，提高实验教学的水平以及效率，并出版了实验教材。</p> <p style="text-align: right;">本人签名：李山山</p> <p style="text-align: right;">2018年4月17日</p>		

主要完成人情况

第(4)完成人姓名	张悠慧	性别	男
出生年月	1974年11月	最后学历	博士研究生
专业技术职称	研究员	现任党政职务	无
现从事工作及专长	计算机体系结构相关的科研与教学，“汇编语言程序设计”课程主讲		
工作单位	清华大学计算机科学与技术系		
联系电话	010-62783505	移动电话	13910700205
电子信箱	Zyh02@tsinghua.edu.cn		
通讯地址	北京市海淀区清华大学计算机系		
何时何地受何种省部级及以上奖励	2018年 北京市教学成果一等奖 2009年 教育部科技进步一等奖 2009年 电子学会电子信息科学技术奖一等奖		
主要贡献	<p>作为“汇编语言程序设计”课程的主讲教师，围绕计算机系统能力培养目标，完成了本课程的改革工作。具体内容如下：</p> <p>1. 制定将汇编语言定位为计算机系统课组入门课的教学大纲。在原有汇编语言编程教学内容基础上，增加“处理器指令集/中断、异常处理/虚存管理/应用二进制接口/C语言及其过程调用在汇编语言层面的表示”等基本知识，为后续课程准备好计算机系统的基础知识。</p> <p>2. 采用“自上而下”与“自下而上”两种“纵向”角度设计教学方式。“自上而下”即引入汇编与高级语言的对应关系，将程序执行与计算机工作过程紧密联系起来；“自下而上”则是通过汇编代码的优化揭示处理器体系结构对软件执行的影响，从而体现系统能力培养的纵向视角。</p> <p>3. 提供在线汇编实验，提升了学生的实验兴趣。</p> <p style="text-align: right;">本人签名：</p> <p style="text-align: right;">2018年4月17日</p>		

主要完成人情况

第(5)完成人姓名	王生原	性别	男
出生年月	1964年4月	最后学历	博士研究生
专业技术职称	副教授	现任党政职务	无
现从事工作及专长	程序设计语言与系统相关的科研与教学，“编译原理”与“形式语言与自动机”两门本科生课程主讲		
工作单位	清华大学计算机科学与技术系		
联系电话	010-62794240	移动电话	13366102912
电子信箱	wwssyy@tsinghua.edu.cn		
通讯地址	北京市海淀区清华大学计算机系		
何时何地受何种省部级及以上奖励	2018年 北京市教学成果一等奖		
主要贡献	<p>作为“编译原理”课程的主讲教师，完成了新课程中与编译相关内容的定位、教学大纲、教案、讲稿和实验框架。具体如下：</p> <p>1. 原有的编译原理课程实验中，与编译器中后端构造相关的内容一直是较为薄弱的环节，新的课程为弥补这一缺憾提供了非常好的机会。为此，完成了新的教学大纲，规划了新的中后端代码优化和目标代码生成实验体系，使同学们能够更加切实地体会到编译器是贯穿程序语言、运行时系统以及计算机体系结构的核心支撑软件。</p> <p>2. 为落实新的课程定位与教学大纲，支持新课程的具体实施，对原实验框架的中后端进行了梳理和调整，编写了新的教案和讲稿（部分内容融入到了主编的《编译原理》教材第3版）。</p> <p>3. 原有的编译原理课程实验框架，是面向一种简单面向对象语言（decaf）的实现。根据教指委的建议，为便于推广，针对教学语言C0语言（一种简单的C语言子集），对原有实验框架进行了调整改造：基本结构不变，但可以面向C0语言的实现。</p> <p style="text-align: right;">本人签名：王生原</p> <p style="text-align: right;">2018年4月17日</p>		

三、主要完成单位情况

主 持 单位名称	清华大学	主管部门	教育部
联 系 人	刘卫东	联系电话	13501002360
传 真	010-62781446	邮政编码	100084
通讯地址	北京市海淀区清华大学计算机系		
电子信箱	liuwd@tsinghua.edu.cn		

主
要
贡
献

清华大学计算机学科在国内的计算机学科评估中一直名列前茅，在计算机专业教育方面注意将学科优势转化为教学成果，坚持改革，不断探索，紧跟国际潮流，走在国内的前沿，并在国际上产生较大影响。计算机系在国内率先开展了面向计算机系统能力培养的计算机专业课程体系建设，在核心课程教学中落实我校“价值塑造、能力培养、知识传授”三位一体的人才培养理念，提出了“注重系统、强调实验、培养能力”的课程体系改革理念，构建了计算机系统领域的完整知识体系。清华大学自主完成了此项课程体系改革任务，审核批准了计算机系统类核心课程组提出的改革目标和措施，通过教学改革项目，为课程建设、尤其是实验体系建设提供了必要的支持，为开展此项改革工作提供了条件保障。清华大学为本成果唯一的完成单位，独立完成本成果的所有工作。



四、推荐单位意见

推
荐
意
见

该成果符合高等教育教学规律，经多年实践检验，具有较强的创新性、导向性、适用性和示范作用，对推动教育教学改革、提高人才培养能力具有显著效果，同意推荐参加 2018 年高等教育国家级教学成果奖评审。



五、评审意见

评审意见	<p>高等教育国家级教学成果奖评审委员会主任委员</p> <p>签字：_____</p> <p>_____年 月 日</p>
审定意见	<p>签字：_____</p> <p>_____年 月 日</p>