

信创背景下的关键基础软件本科教育探索 ——以金陵科技学院为例*

游坤 张燕 闵建

金陵科技学院软件工程学院, 南京, 211169

摘要 为响应国家信创发展战略, 金陵科技学院与中科院软件所合作, 探索开展了信创背景下本科阶段操作系统课程教学改革。改变人才培养方案, 从大三开始遴选有一定软件工程基础的学生, 以卓越班的形式开展专项系统的操作系统教育。课程根据实际教学需要设置课时, 所有课程采用“教学+自学研讨+实践”的形式, 将本科生比较难理解的操作系统内核实现等, 通过教师教授与翻转课堂综合的形式教学。同时形成密切的产教融合机制, 与信创操作系统龙头企业开展的综合项目实践合作, 培养信创操作系统特色化示范性应用型人才。

关键字 信创, 操作系统课程, 特色化人才培养, 教学改革

Study on Undergraduate Education of Key Basic Software under the Information Technology Application Innovation Background — A Case Study of Jinling Institute of Technology

You Kun Zhang Yan Min Jian

School of Software Engineering
Jinling Institute of Technology,
Nanjing 211169, China;
youk_07@jit.edu.cn

Abstract—In response to the national development strategy of information technology application innovation, Jinling Institute of Technology cooperates with the Institute of Software Chinese Academy of Sciences. We explore and carry out the teaching reform of undergraduate operating system course. Reforming the talent training plan, select students with a certain foundation of software engineering from junior year, and carry out special system operating system education in the form of excellent class. Class hours are set according to the actual teaching requirements. All courses adopt the form of "teaching + self-study and discussion + practice". At the same time, a close integration mechanism between industry and education is formed. And comprehensive project practice cooperation is carried out with leading enterprises of domestic operating system, so as to cultivate characteristic and demonstrative application-oriented talents of domestic operating system.

Key words—Information technology application innovation; Operating system; Characteristic education; Teaching reform

1 引言

习近平总书记强调“核心技术受制于人是我们最大的隐患”, 要求加快推进核心技术攻关、构建安全可控的信息技术体系。“中兴、华为事件”进一步凝聚了全民族对坚持发展核心技术的高度共识, 信创产业浪潮席卷而来。为落实国家信创软件发展战略相关要求, 教育部高等教育司明确软件产业信创发展重点建设目标, 其中关键基础软件是五大重点发展领域之一, 亟需培养该方向的特色化产业人才。

2020年, 美国商务部全面封锁华为购买采用美国技术的芯片, 此事件让我们更深刻的认识到, 中国IT底层标准、架构、产品、生态大多数由美国IT巨头制定, 存在诸多安全和“卡脖子”的风险, 据此, 我国发展核心关键技术成为必然趋势。信息技术应用创新(简称“信创”)旨在通过对IT硬件、软件等各个环节的重构, 建设我国自有的IT底层架构与技术, 形成自有开放生态, 从根本上屏蔽技术风险, 实现信息技术可掌控、可研究、可发展、可生产。软件工程学院前期在操作系统定制与适配领域有着良好的人才培养与科学研究基础, 通过向信创领域操作系统相关技术的同态迁移, 不断提升信创关键基础软件领域的人才培养与科研创新能力, 使操作系统特色化人才培养

* **基金资助:** 本文得到金陵科技学院软件工程国家一流专业建设项目、教育部2021年第二批产学合作协同育人项目(No. 202102172019)项目资助。

真正成为国家关键基础软件核心技术发展的重要支撑^[4]。

传统的操作系统是管理计算机硬件的软件，它协调和控制着各个用户的应用程序对硬件的使用。它是现代计算法发展的重要基础。操作系统课程是一门软件工程专业课程，它对学生工程知识的理解，问题分析的能力，设计开发解决方案的能力，对复杂工程问题的研究，工程与社会的理解都有非常重要的意义和作用^[1]。

现阶段本科生教育中的操作系统课程，大多采用理论为主的教学模式^[2]，从操作系统概述、进程管理、处理机调度与死锁、存储器管理、设备管理、文件管理等方面将操作系统的知识和理解教给学生，具调研，很少有高校将操作系统作为系统性能力产出的典型案例开展深度教学，这与操作系统设置的课程时间、学分等也有很大关系^[3]。

2014年开始金陵科技学院与中科院软件所合作，通过江苏省卓越工程师项目，培养具有系统化思维、创新能力、技术特长、自学能力强的关键基础软件人才，发挥操作系统在学生多方面能力培养中的重要作用，以操作系统体系化、体量化、系统化、实践性等为主导思想，从响应信创发展战略，提升国家信息安全等诸多方面，按照自主、安全、可靠、高效的基础软件的发展要求推动课程改革，培养特色化应用型专业人才。主要开展的工作包含以下几个方面：

(1) 改变人才培养方案，从大三开始，遴选有一定软件工程基础的学生，以卓越班的形式开展专项系统的操作系统教育。

(2) 建立新的人才培养模式，课程不受传统的操作系统课程学时、课时限制，按照课程实际需要的时间进行重新规划，所有课程采用“教学+自学研讨+实践”的形式。

(3) 形成密切的产教融合机制，与中科院软件所、南京操作系统类研发企业开展密切的合作，综合实践项目课程资源校内校外共同开发，将得到的产品原型、设计创意，以及优秀毕业生输送到企业。

卓越工程师项目目前已毕业逾200名毕业生，通过对毕业生就业调研，从就业率、薪资收入、专业相关度、就业满意度与稳定性等方面，均取得良好的成效。该项目响应国家信创发展战略，为特色化示范性应用型软件人才的培养提供了基础条件与经验。

2 课程体系

Linux是著名的可以免费使用和自由传播的开源操作系统，主流的国产操作系统产品的技术与体系都来自于Linux。因此，建立的课程体系围绕操作系统教

学，包括《操作系统应用编程技术》、《操作系统内核分析与设计》、《操作系统定制技术》三门课程，每门课程都是超过200学时的一体化贯通教学模式，学生通过每日连贯的操作系统系列课程的培养，逐步形成对操作系统全方位认识，进而充分理解关键基础软件的原理、设计分析与实现。以对操作系统知识的体系化学习为载体，以学生阅读代码、分析代码、动手编码为手段，强化对软件工程专业多门课程知识的交叉理解和综合应用，使学生解决复杂系统问题的能力得到内化。这三门课程以操作系统这一复杂软件系统为例，通过能力等效评估，等效替代了软件工程专业第5-7学期专业课，从而通过整合重构课程，训练学生解决复杂应用问题的能力为导向，提升能力达成度，并取得了“1+1+1>N”的培养效果（根据学校不同的教学评估要求，也可以将课程拆解为32-48学时专业课，以操作系统核心复杂软件系统案例，进行等效课程教授）。同时，开设“2+4+4+16”四个综合实践项目，贯通过程设计基本能力、系统分析设计能力、应用开发能力。课程具体介绍如下：

(1) 《操作系统应用编程技术》：学习操作系统内部机理，提升底层软件开发能力，实现对多门计算机专业核心课程知识。主体的设置包括三层体系，包括Linux下程序开发基础，Linux系统编程，Linux网络编程。培养学生使用操作系统进行应用开发的能力。与国外经典课程《深入理解计算机系统》^[8]类似，《操作系统应用编程技术》也是从程序员视角剖析程序的表示、实现、构建以及运行细节，使读者深刻理解程序的行为，将计算机系统的相关知识融会贯通。

(2) 《操作系统内核分析与设计》：该门课程对操作系统的了解更加深入，对学生分析理解的难度也很大。在教学过程中，通过讲解，并让学生自我探索的方式，通过内核源码去了解操作系统内核的结构、实现方法、技术体系，并将探索的结果整理出来进行答辩，老师会对其中不够准确详细的部分，或者没有弄清楚的部分进行讲解，在此基础上进行部分内核开发训练，提升学生自学大型软件分析设计方法，并对严谨逻辑性很强的软件产品具备分析设计与实现的多方面的能力。我们将本课程与陈海波教授团队新编教材《现代操作系统原理和实践》^[9]进行了比较分析，两门课程教学的知识结构与理念一致，《操作系统内核分析与设计》调整了实验内容，以适应创新性应用型本科生的培养。

(3) 《操作系统定制技术》：结合操作系统在安全、中文信息处理、人机交互等方面的定制需求，对应用层和内核层的机制进行改造和加强，是锻炼学习者通过应用程序开发技术和操作系统内核开发技术解决实际操作系统定制化改造问题的能力，从解决复杂工程问题的角度对学生进行能力训练。

3 教学模式

由于每门课程我们采用了200学时以上的体系化教学,那么教学模式的选择就至关重要。教学模式采用充分的案例驱动式线上线下、理论与自学、实训练习的学习模式。通过多年的教学实践,通过持续优化,我们采用授课、研讨、实践相结合的教学模式,三个部分的比例为1:2:7。

(1) 授课

通过典型案例进行问题驱动、思维引导、知识关联。改善传统的堆砌式知识点传授方法,从真实项目提炼授课内容,使学生带着真实任务理解和应用知识点,解决具体问题。

(2) 研讨

通过翻转课堂的研讨进行问题发现、难题探索、研讨交流、答疑解惑、评价反馈。通过广泛的资料学习、代码阅读等,训练学生自己探索、解决问题的能力,并分组进行报告撰写、当众演讲和问题回答,提升了学生探索知识、解决问题、沟通表达能力。

(3) 实验

根据理论学习、自学研讨的内容直接进行课上实验训练,训练工具使用、动手能力、解决问题能力以及团队协作能力。

我们通过一个实例来讲解如何通过以上三个部分来体系化的进行教学,在让学生学习知识的同时,培养学生的自学能力,和自己通过实验解决实际问题、了解工程过程的能力。

例如:对于Linux内存管理部分,从内存寻址、内存管理、内存数据结构和分配、内存分配问题几个部分来进行理论知识的讲解,目的是让学生了解操作系统内存管理的原理和相关内容。

在授课的基础上,给学生提出研讨的题目,包括“调研用户态内存分配与内核态内存分配有什么不同”、“举例说明如何选择合适的内存分配方式和标志”、“文件映射函数是怎么实现的”、“Linux系统如何分配内存地址空间”、“虚拟地址和物理地址之间如何映射”,学生通过自己制作课件,进行研讨,老师对于学生不熟悉的内容进行指导,从而对学生自我探索与知识的掌握程度进行检验。

实战演练采取课内实验、校企合作等多种实训方式,通过高频次实战练习,提升学生编码能力、解决实际问题能力、知识应用能力。下面一个章节我们具体介绍实践训练。

4 实践训练

教学体系中除了在讲授的课程中加入实验之外,

还加入“2+4+4+16”的实践项目训练,下面分两个部分具体介绍实践的开展。对于综合实践项目中所需要的相关核心知识,先通过实验等方式进行进一步辅导,然后开展项目实践,让学生了解系统全生命周期的开发与管理流程。

(1) 针对所需技术知识的实验

针对每个实践模块,提出具体的任务与子任务,通过提出问题、解决问题的方法、分步骤解决来训练学生动手能力和解决具体问题的能力。

例如,针对如何与Linux内核进行交互的问题,需要了解使用proc文件系统与sysfs文件系统,将任务分成如下子任务:

- 深入了解proc文件系统
- 通过proc文件系统创建目录
- 通过proc文件系统创建文件
- proc文件系统的其它文件操作
- 对sysfs文件系统同样执行以上任务
- procfs与sysfs文件系统分析,与联合使用

通过以上任务,让学生自己了解内核相关部分的原理,老师对学生不清楚的地方进行部分讲解。使学生能够自己深入理解解决问题的方法,并训练学生解决实际问题的能力。

(2) 综合实践项目

综合实践项目的课程资源按年度进行更新,主要来源于企业的具体需求与实际系统,以及教师的科研项目,通过科研反哺教学^[5]。多年来,学院与多家企业建立了良好的人才培养合作模式,产教深度融合采用企业建议课题、专业教师筛选、共同指导,并将产出的产品原型、创意以及毕业生向企业输送^[6]。选题每年有所变化,不同组别的难度相似,但题目类型不同,既鼓励组内的合作,也屏蔽了互相复制的可能性。

近年来,综合实践项目的部分题目,开发的基础软件物联网操作系统、基于FastDFS的云存储系统、智慧物流系统、智慧农业全产业链平台等相关软件,围绕操作系统教学的特点,针对能力产出的要求,定制化与鼓励创新相融合,在多个领域进行了应用,也验证了学生的实践能力^[7]。

5 取得成效

“卓越工程师”项目从2014至今,一共培养了200余名学生,实现了就业率100%,且就业薪资水平较学校相关专业平均高出30%以上,并持续增长。通过对毕业生的持续跟踪调研,卓越班毕业生约50%服务南京本地企业,70%服务本省企业,30%的同学目前从事操作系统类基础软件开发,数据显示,毕业生就业专业性较强,且服务本地的比例较高,初步实现了地方本科性

院校开展地方应用型特色化软件人才培养的目标。

图1是麦可思对卓越班的调查报告,显示了卓越班学生在就业率、月收入、专业相关度、就业现状满意度、就业稳定性、教学满意度与校友满意度等方面,均显著高于学校平均水平,尤其是月收入、专业相关度、就业稳定性等方面表现更加明显,也符合卓越班针对产业亟需培养专业人才的指导方针。

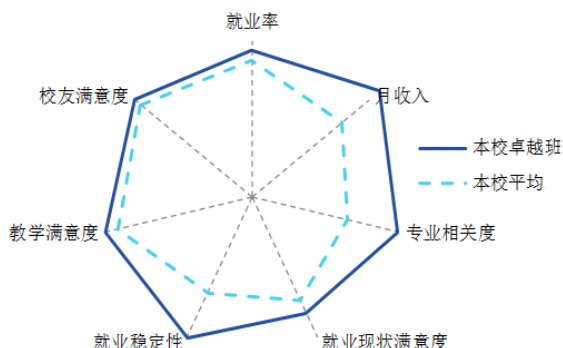


图1 麦可思公司对卓越班的调查报告

对卓越班毕业生与毕业生所在企业进行了持续的跟踪调研,学生和企业对卓越班的教学模式、方法和效果等给予了一致好评,调研的评教分达到3.85(总分4分)。学生普遍反馈卓越班的教学方式锻炼了他们的创新思维方式和自主学习能力,使他们在公司表现突出。用人单位反馈毕业生解决问题能力强,自主学习能力高,团队合作能力好,基础扎实,成长迅速,多很快晋升为团队主力,并对卓越班后续培养的学生持续关注。

6 信息技术应用创新人才培养

信创人才培养定位于操作系统体系中基于国产CPU的操作系统适配技术、平台软件的操作系统适配技术、面向行业应用的定制化操作系统开发、以及信创产品测试等,在实时操作系统、操作系统性能调优、操作系统定制开发等方面进行技术攻关,为操作系统生态发展提供特色化创新性应用型人才与技术,如图2所示,以信创操作系统为核心,将操作系统与信创CPU、平台软件、应用软件各层的内在联系,以及适配性能等进行教学与实践,从而培养学生对信创关键基础软件的更加深入的理解。

课题组建立了一套创新产教融合机制,与“1+2+N”人才培养模式,突出人才培养的创新型、技术型、定向型特色。“1”是产业需求导向的1个系统性的人才培养体系;“2”是“校内+校外”的2地互动办学模式;N是服务于N家企业。同时,教研开展结合前期在操作系统特色化人才培养的成果,将信创操作系统融入新型课程体系建设,实现特色化示范性应用型人才培养。

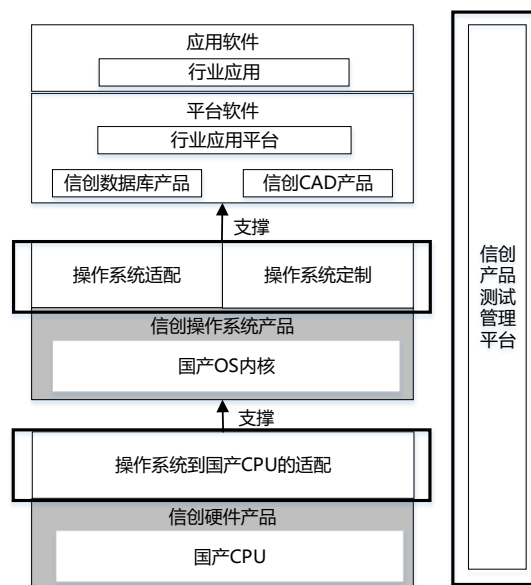


图2 信创操作系统人才培养定位

7 结束语

为落实国家信创关键基础软件特色化应用型人才培养需要,开展了信创操作系统人才培养体系、课程资源开发、线上线下一体化授课、以及信创课程改革与持续优化等一系列工作,并深化政产学研合作,建立了创新产教融合机制。下一步将继续扩大信创人才培养范围,不断完善信创人才培养体系,持续改进教学目标与方法,将特色化软件人才培养持续开展,并不断优化。

参考文献

- [1] 赵伟华,董黎,林菲,等.工程认证下操作系统课程实践环节的探索[J].实验技术与管理,2020,v.37;No.284(04):178-183+196
- [2] 崔延强,权培培.大学学科的现代性问题及其超越[J].华东师范大学学报(教育科学版),2019,37(2):73-80
- [3] 周军海.新工科背景下基于OBE教育模式的操作系统教学改革研究与实践[J].软件工程,2020,023(004):P.51-53
- [4] 石菲.2020年信创产业生态稳步向前[J].中国信息化,2020,No.319(11):34-37
- [5] 凌日平,安祥生.地方本科院校实践教学发展的困境与推进模式[J].教育理论与实践,2021,041(009):P.44-47.
- [6] 国务院办公厅.关于深化产教融合的若干意见(国办发[2017]95号)[EB/OL].http://education.news.cn.2017-12-19.
- [7] 曾亦斌,王钊.“双一流”建设背景下行业性院校的学科生态治理研究[J].江苏高教,2018,000(003):25-28.
- [8] Bryant,R.E..深入理解计算机系统[M].北京:机械工业出版社,2016.
- [9] 陈海波,夏虞斌等.现代操作系统:原理与实现[M].北京:机械工业出版社,2020