

文章编号: 1672-5913(2024)11-0095-06

中图分类号: G642

面向计算机系统能力培养的嵌入式系统原理与应用金课建设

徐娟, 石雷, 毕翔, 张本宏

(合肥工业大学计算机与信息学院, 安徽合肥230009)

摘要: 暨准金课高阶性、创新性和挑战度的建设标准, 以计算机系统能力培养为总体目标, 结合实验体系和线上线下混合课堂的特点, 提出面向计算机系统能力培养的嵌入式系统原理与应用金课的建设路径, 从教学内容、教学模式、实验体系、考评机制和教学团队建设等方面具体介绍教学改革实践过程, 并说明实践成效。

关键词: 嵌入式系统; 计算机系统能力; 教学改革; 金课

DOI:10.16512/j.cnki.jsjjy.2024.11.004

0 引言

嵌入式系统原理与应用课程已经成为本科院校电子、计算机、自动化等专业的必修课程和重点建设课程^[1]。学习、理解并掌握嵌入式系统原理与应用专业课程知识, 是培养信息类专业学生专业素养的重要内容, 也是提升学生理解、思考和解决问题能力的必要环节^[2]。

教育部于2019年10月启动了高校一流本科课程建设“双万计划”, 即“金课建设”计划^[3-4]。信息类专业人才在“新工程”背景下, 要具备良好的系统思维^[5]能力, 以便从整体角度进行系统规划、编写程序、优化功能等工作。现有的嵌入式系统原理与应用课程涉及的专业基础知识较多, 由于目前课程存在教学方式单一、实践训练

不足等问题, 因此对学生的计算机系统能力培养有所欠缺^[6-7], 因此, 面向计算机系统能力培养的嵌入式系统原理与应用金课建设成为课程改革的重点内容。

1 金课建设路径

1.1 总体建设思路

面向计算机系统能力培养的嵌入式系统原理与应用金课建设的总体建设思路如图1所示。

1.2 构建面向计算机系统能力培养的嵌入式系统原理与应用课程知识体系——实现金课高阶性

金课高阶性的要求, 就是指知识、能力、素质有机融合, 培养学生解决复杂问题的综合能力

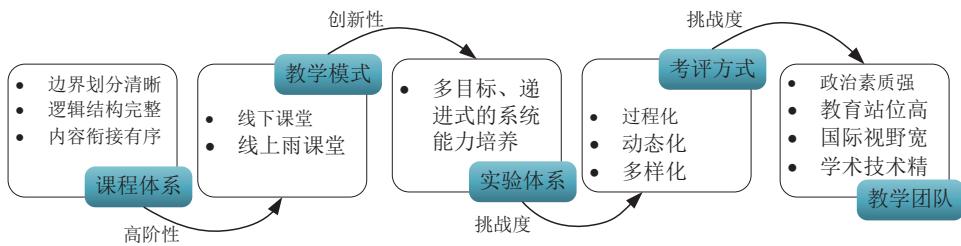


图1 金课建设路径

基金项目: 教育部产学合作协同育人项目“面向计算机系统能力培养的‘嵌入式系统原理与应用’金课建设”(202102594025)。

第一作者简介: 徐娟, 女, 副教授, 研究方向为工业人工智能与嵌入式系统, xujuan@hfut.edu.cn。

和高级思维。嵌入式系统原理与应用课程在计算机类相关专业中扮演着关键角色，用于引导学生深入理解计算机系统的底层编程，并领会嵌入式系统运行程序的原理。学生对于课程内容的掌握，直接影响后续课程的学习以及对计算机系统底层编程过程的理解。打造嵌入式系统原理与应用的金课课程，体现金课的高阶性特征，必须面向计算机系统能力培养来重新构建嵌入式系统与应用课程的知识体系。

为此本课程的教学改革应设定本科生自主设计“一个嵌入式系统”为教学目标，并以此为基础重新组织课程内容，构建一套边界划分清晰、逻辑结构完整、内容衔接有序的课程知识体系。这样设计的课程体系将使学生的水平更接近教学目标的要求，为他们提供全面的能力培养，使其能够应对复杂问题，具备系统思维能力，并能将所学知识与实际应用相结合。

图 2 为嵌入式系统原理与应用课程的知识结构图。按照《计算机科学与技术本科专业规范》

的建设要求，课题组从课程实验的进阶性、规模性和工程性要求出发，研究嵌入式系统原理与应用课程中涉及的知识领域、知识单元和知识点，以及与后续课程之间的关系。特别重点强调通过连接嵌入式系统与其他相关课程之间跨层次的关联知识点，以构建符合计算机系统设计需求的学科知识体系。

课程以目前技术主流的嵌入式 MCU——ARM 芯片为讲授对象。通过本课程的学习，将提升学生对嵌入式系统硬件组成和结构的理解，增强他们在计算机硬件应用和开发方面的能力，最终使学生能够在本专业领域实际问题的解决中综合运用计算机的软、硬件知识。整个教学研究工作旨在达到提升学生系统能力培养的根本目标要求。

1.3 开展多元互动的混合式教学模式——实现金课创新性

金课“创新性”主要体现在两个方面：①教学形式要体现先进性和互动性，非简单低阶的课

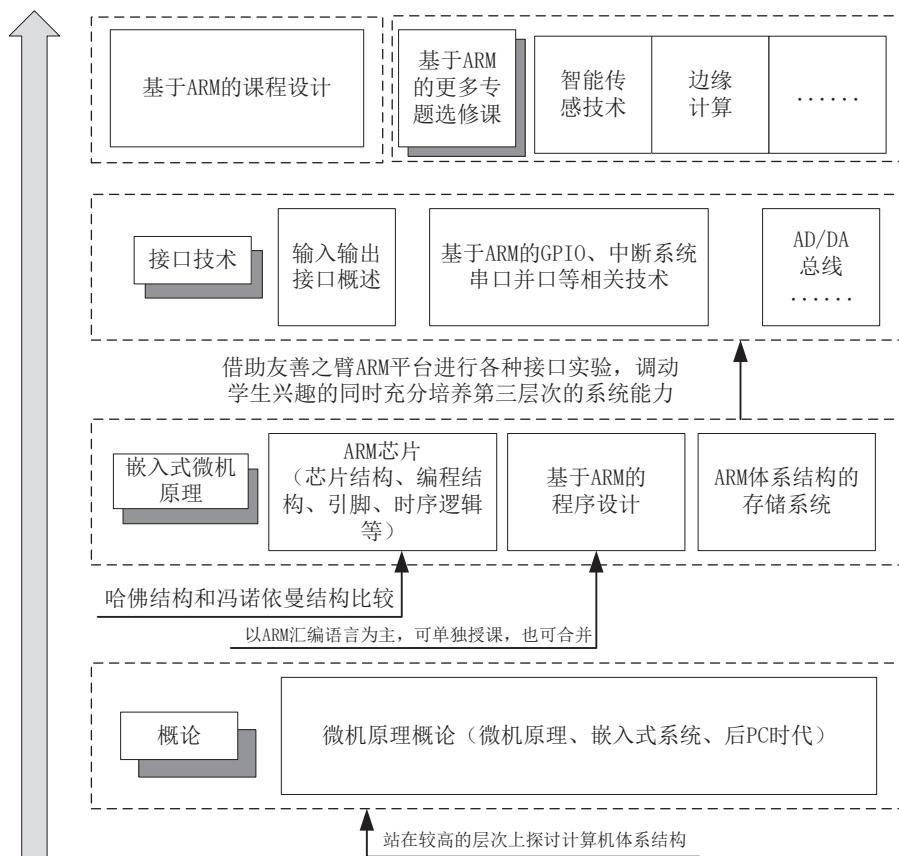


图 2 嵌入式系统原理与应用的知识结构

堂灌输；②学习过程要具有探究性和个性化，让学生不断探索并投入才能达到知行合一、学思结合。在教学过程中，要重点研究如何通过在线教学平台的优质课程资源，有效改进教学模式与教学方法，提高教学形式的创新性和互动性^[8]，这是金课创新性建设的最大难点。

课题组将多种多媒体教学形式有机地融合在一起，建设线下课程和雨课堂课程平台，构建“线下课堂+雨课堂”的混合式教学模式，从根本上转变教学思维方式，体现了3个中心的转变：由以灌输式教学为中心转变为以“主动体验学习”为中心；由以知识点为中心转变为以“问题”为中心；由以教师讲课为中心改变为以“师生互动”为中心，在具体实施上包括3个阶段。

1) 课前阶段强化以学情分析为抓手的课程建设。

借助雨课堂平台，一方面主讲教师可以运用多种网络富媒体技术和资源，不断打造在线课程内容的质量和水准；另一方面学生在网络学习后不仅能自主完成随堂练习和章节作业，还能做到学有所思，学有所用。教师可以在课前及时向学生推送课程课件、课前自测、扩展课程资料等预习内容，利用平台的学习行为记录，形成学生个人和班级整体的学习报告。学情报告在对教学目标进行预设和二次备课上有很大的参考价值，可以帮助教师及时地优化直播课堂上的教学内容。

2) 课中阶段采用以互动性为关键的线下课堂与雨课堂结合的混合教学形式。

直播课堂的教学形式上一定要具有高互动、全开放、富媒体等特点，能够引发学生的思考、评价和创造。应该积极采用翻转课堂的形式，整个教学活动围绕学生的学习需求进行，学生作为整个教学活动及教学成果的参与主体和决定者，教师作为教学活动的设计师，作用是组织、协助和引导学生学思结合，充分进行课程内容讨论和思考，从而激发学生的创新精神。

具体来说，学生课前完成对课程内容的预习及相关练习，对练习中遇到的问题先经过小组讨论，将疑难问题带入混合式课堂，在课中阶段教师采用互动、参与等多种教学方法，引导学

生对相关问题进行再讨论与进一步理解。在课堂互动环节，教师可以利用雨课堂提供的“分组讨论”“头脑风暴”“课堂抢答”“问卷调查”等多种线上功能，开展丰富多变的教学形式启发学生讨论与思考。此外，教师利用雨课堂平台的即时智能分析功能，如“点赞”“投票/问卷”“小组评价”等功能，还可实现对教学数据的实时数据统计分析。

3) 课后阶段通过个性化数据提供针对性的课内课外一体化教学。

大数据技术可以分析课前、课中和课后每一个教学环节学生的表现，并将课堂数据以及个性化报表提供给教师和学生。

(1) 全方位的大数据分析。借助雨课堂等教学辅助平台的学情分析功能，教师可以查看课程情况并进行过程性、诊断式的教学评价。基于自我评价、组内成员评价以及教师评价等多种方式，形成学生个体和班级整体的学情分析报告，为教师提供针对性的数据反馈，从而使教学更有放矢。

(2) 个性化的辅导。教师可以根据雨课堂上学生的个体学习记录进行针对性的辅导，课后与学生进行交流与沟通，方便解答学生的疑问并提供个性化的指导。对于共同存在的问题，教师也可以利用雨课堂平台等方式推送相关内容，克服时间、空间限制和学习评价困难。这种教学方法使学习结果具有探究性和个性化，不仅仅是告诉学生什么是对什么是错，更重要的是培养他们的探究精神并发挥他们的个性特点。

1.4 进阶式系统能力培养的实验体系——实现金课挑战度

金课挑战度要求课程具备一定难度，既需要学生投入较多的时间去思考与讨论，也需要教师投入较多时间来引导与教学。在上述教学内容和教学形式的创新以外，还要将专业相关领域在实际工程中出现的新问题和新要求转化为创新性实验的主题，面向工程化规模和工业级标准来设计实验体系，引导学生从实验中体会并理解嵌入式系统开发的工程化方法，促使学生思考生产中的实际问题，了解行业当下的发展趋势^[9]。

课题组经过前期教学研究与实践发现，现有

实验的设计要求较为粗放，无法满足学生系统能力培养的最终要求，因此，重新规划实验体系的设计内容，构建多目标、递进式的系统能力培养实验体系（如图 3 所示），以整体的、关联的和发展的思维进行教学，引导学生树立对现代计算机系统的应用与设计能力。目标是重点培养学生在嵌入式系统编程方面的能力，并帮助他们深入理解嵌入式系统程序的执行过程。

通过开发不同难度的实验项目，涵盖汇编指令、串口通信与中断、定时时钟、嵌入式操作系统 μ C/OS-II 实验等内容，可以为不同学习水平的学生提供与水平匹配的实践机会。这种逐步增加难度、减轻学生压力、缓解畏难情绪的教学方法，能够逐步培养学生的兴趣。通过数字逻辑、计算机组成原理、操作系统等计算机硬件系列相关课程的学习，学生能够循序渐进地了解计算机

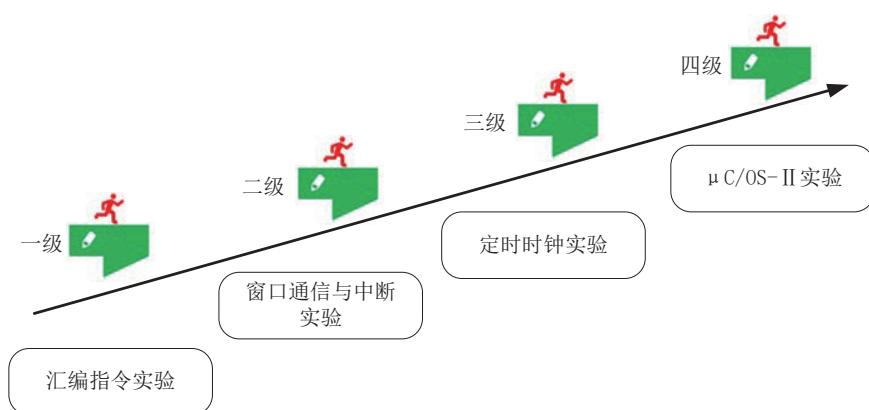


图 3 嵌入式系统原理与应用课程实验体系

系统各个层次之间的相互关系，从而培养对完整计算机系统的认知。

1.5 形成能力导向的过程化考评机制——实现金课挑战度

金课的建设应设立动态化、过程化、多样化的考核标准，围绕学习产出，以应用效果为导向，以完善的过程性评价营造奋发向上、求知求真的优良学风，引导学生提高学习的自主性和积极性，让学生回归刻苦钻研、勤奋求学的状态。

本课程成绩的构成和评定方法具体包括期末考试的成绩占比 40%，课堂测试占比 15%，作业撰写占比 15%，实验报告占比 15%，小组讨论占比 15%，如图 4 所示。通过设计能力导向的一体化考评机制，来评估和提升课程的教学效果。

授课教师可以利用线上教学行为数据，形成能力导向的过程化考评机制。通过雨课堂的线上随堂测试、在线讨论、线上作业等形式，采集学生线上学习结果，查看学生教学资源利用情况等。基于上述数据的分析，一方面可有效把握学生学习的动态过程，分析学生学习过程中遇到的问题，有助于教师在课堂上优化教学内容和教学

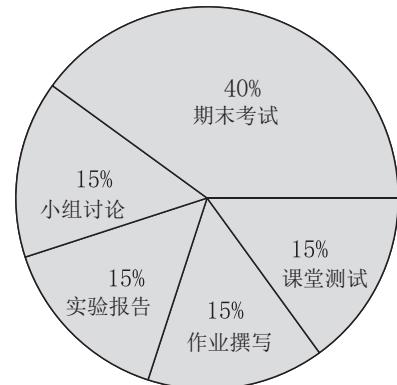


图 4 课程的综合考评机制

方式，提高教学质量。另一方面，在线过程化考核的结果，通过评语、分数或是等级的形式及时反馈给学生，也可以调动学生学习的积极性。以应用效果为导向的考核是一个动态的考核，其最大的作用是促进学生后续的学习应用，而不是成为评价学生的标准，毕竟学以致用是任何层次教育的终极目标。

1.6 建设金师教学团队——实现金课挑战度

单一的金课并不会独立存在，它一定是依托于一个核心课程群或者是核心课程群的一个组成

部分,因此金课所要求的不仅是一个教学团队,更是一个政治素质过硬、教育站位高远、学术技术精湛的“金师”团队。

首先本课程的教学团队要具备合理的知识、年龄和学缘结构。在此基础上,教学团队成员一方面要积极从事嵌入式系统原理与应用的教学研究工作,改善教学方法,提高教学能力,目标是具有活跃的教学思路、娴熟的育人水平和创造性的方法技术。另一方面,要分析并掌握行业和技术发展潮流,需要更复杂的跨学科知识体系和应用实践经验,也需要教学工作者对科研工程实践、制造过程和工程技术更多的经验与了解^[10-11]。教学团队同时也应该是学术深厚、专业精湛的嵌入式系统科研团队,围绕嵌入式系统的前沿领域积极从事科学研究,通过科研项目的实施吸纳最新学术成果,加快课程知识体系更新,通过科研反哺教学,通过教学深化科研。

2 实践成效

2.1 教学成果应用

该项课程改革首先应用于合肥工业大学2019级至今的计算机科学与技术、智能科学与技术等专业的教学实践中,取得了显著成效。进一步从知识体系、教学模式、实验体系、考评体系、教学团队建设等各环节上深入推进并完善了本次教学研究的内涵。3年来,课题组围绕嵌入式系统原理与应用的金课建设研究,共发表教研论文3篇,承担“安徽省级教学团队”在内的教学研究项目共计4项,主持国家重点研发计划项目、国家自然科学基金项目、安徽省重点研发计划项目等科研项目12项,获安徽省教学成果一等奖1次,获安徽省教学成果二等奖2次。科研促进了教学,教改推动了教研。教学改革的研究和实践锻炼了一支政治素质过硬、教育站位高远、学术技术精湛的“金师”团队。

2.2 人才培养成效

(1)学生学习成绩稳步提高。经过多个教学年的迭代优化和持续改进,学院嵌入式系统原理与应用课程已成为学院最受学生欢迎的课程之一,学生的到课率与满意度都很高,学生在嵌入式系统原理与应用方面的学习成绩明显提高。图

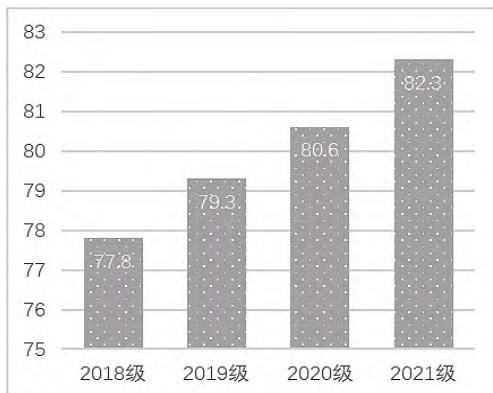


图 5 课程平均分变化情况

5是2018级(教学改革前)至2021级合肥工业大学计算机科学与技术专业该课程平均分的变化情况。

(2)学生对嵌入式系统的理解和应用能力逐步加强。在金课建设过程中通过案例分析、实验训练等多种方式,不断加深学生对嵌入式系统的理解和应用能力。在后续的课程设计“硬件工程师综合训练”中,学生要结合不同的设计题目完成一个嵌入式系统的软件开发工作。通过近3年课程设计的实施情况,学生从4~5人一组完成一个题目,逐步变为3~4一组,目前已经可以实现两人一组完成一个设计题目,充分验证了该金课建设对学生计算机系统设计能力的有利提升。

(3)学生计算机系统开发和创新实践能力显著提升。在金课建设过程中,通过各类科研实践、创新训练计划项目等实践活动来提高学生的系统开发和创新实践能力。3年来,学生获得国家大学生创新训练计划项目3项,获得合肥工业大学大学生创新训练计划项目17项。发表学术论文7篇,申请软件著作权5项,申请发明专利6项。三年级以上学生在指导教师带领下参与实际科研项目共计达50余项。

3 结语

通过教学改革的稳步实施,达到了提升学生计算机系统能力培养的根本目标要求。下一步工作中尝试引入更多的实践案例和工程化项目,让学生能够更好地理解工程化的计算机系统开发,同时与嵌入式系统的相关行业进行更深入的合作,将行业需求融入到金课建设中,邀请行业专

家来进行讲座或指导学生的项目，提高学生的实践能力。此外，更要做好毕业生的跟踪和反馈的

收集和分析，从而进一步改进和优化课程内容和教学方法。

参考文献：

- [1] 孙青,李辉勇.面向学生工程能力培养的嵌入式系统设计实训课程教学改革实践[J].计算机教育,2020(3): 136-140.
- [2] 马洪兵.电子信息类专业操作系统课程实验教学探索[J].计算机教育,2018(11): 145-148.
- [3] 吴岩.建设中国“金课”[J].中国大学教学,2018(12): 4-9.
- [4] 李志义.“水课”与“金课”之我见[J].中国大学教学,2018,55(12): 24-29.
- [5] 孙大为,张玉清.新工科背景下计算机系统思维能力培养模式探析[J].计算机教育,2020(7): 94-97.
- [6] 刘佳宜,陈德军,陈昆等.嵌入式操作系统教学方法研究[J].电气电子教学学报,2023(4): 178-181.
- [7] 董立平.关于大学课程建设与改革的理论探讨:基于中国大学“金课”建设的反思[J].大学教育科学,2019(6): 15-22, 120.
- [8] 吴岩.新工科:高等工程教育的未来:对高等教育未来战略思考[J].高等工程教育研究,2018(6): 1-3.
- [9] 林健.多学科交叉融合的新生工科专业建设[J].高等工程教育研究,2018(1): 32-45.
- [10] 高俊枫,黄乐天.嵌入式系统类课程产学融合实践教学体系探析[J].高等工程教育研究,2021(3): 39-43.
- [11] 朱正伟,马一丹,周红坊,等.教学、科研、工程实践:工科教师三大核心能力的相互关系[J].高等工程教育研究,2020(2): 61-67.

(编辑: 孙怡铭)

(上接第94页)

2023年获评重庆大学课程思政示范课程。学生学习的积极性、主动性和获得感都有较大提升,评教的结果也在学校前列。例如,学生在课程结束后,以班级的名义给任课教师留言“落红不是无情物,化作春泥更护花”,还有学生在课程项目检查通过后要求教师在其教材扉页为其签名,说要留作纪念。

5 结语

《中庸》有言:“致广大而尽精微。”本文试图

融合理念、学科和行动3种不同视角,结合真实育人案例的设计,在新的育人设计和评价范式方面进行初步探索,以期部分弥合育人的宏观与微观的罅隙。然而,课程育人是一项系统工程,还有不少问题有待在课程内外进行更深入研讨。计算机相关课程的育人工作也是动态且开放的建设过程,未来的路很长且注定不会平坦,但在育人的路上,各位同行应聚合力量,科学施策,脚踏实地,坚定前行——这应是作为教师的我们,不能忘却的初心和使命。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国教育部.教育部关于加快建设高水平本科教育全面提高人才培养能力的意见[EB/OL].(2018-10-08)[2023-12-08].https://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201810/t20181017_351887.html.
- [2] 中共教育部党组.高校思想政治工作质量提升工程实施纲要[EB/OL].(2017-12-05)[2023-12-08].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A12/s7060/201712/t20171206_320698.html.
- [3] 中共中央国务院印发《中国教育现代化2035》[N].人民日报,2019-02-24(001).
- [4] 中华人民共和国教育部.教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知[EB/OL].(2020-06-01)[2023-12-08].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603_462437.html.
- [5] 林健.新工科人才培养质量通用标准研制[J].高等工程教育研究,2020(3): 5-16.
- [6] 何克抗.新型建构主义理论:中国学者对西方建构主义的批判吸收与创新发展[J].中国教育科学(中英文),2021,4(1): 14-29.

(编辑: 孙怡铭)