

实践能力主导的嵌入式课程教学改革与实践

雷华军 李丹 蒋强 周大鹏
乐山师范学院智能控制与低空技术学院
DOI:10.32629/mef.v9i7.21394

[摘要] 面向嵌入式产业复合型工程人才培养需求,以成果导向教育理念为指导,结合岗位能力要求与学生能力成长规律,构建知识、能力、素养三维课程目标及三阶递进式STM32实践教学体系。围绕片上外设、外围模块和综合工程实践重构教学内容,实施沉浸式“做中学”教学模式,建立形成性与终结性相结合的多元评价机制,强化学生软硬件协同开发与工程实践能力。教学实践表明,改革有效提升了学生的实践技能、科创竞赛成绩和毕业设计质量,促进了课程资源与教研成果建设,实现了课程教学与产业岗位需求的有效衔接。

[关键词] 嵌入式系统; STM32; OBE理念; 实践教学; 应用型人才培养

中图分类号: G40 **文献标识码:** A

Reform and Practice of Embedded System Courses Focused on Practical Ability

Huajun Lei Dan Li Qiang Jiang Dapeng Zhou

School of Intelligent Control and Low-ALT Technology, Leshan Normal University

[Abstract] To meet the demand for interdisciplinary engineering professionals in the embedded systems industry, this study adopts the outcome-based education (OBE) philosophy and develops three-dimensional course objectives encompassing knowledge, skills, and professional competencies, based on industry job requirements and students' progressive learning needs. A three-stage, progressive STM32 practice-oriented teaching system is established, with the course content restructured around on-chip peripherals, external functional modules, and comprehensive engineering practice. An immersive “learning by doing” approach is implemented, together with a diversified assessment mechanism integrating formative and summative evaluation, to strengthen students' hardware-software co-design and engineering practice capabilities. Teaching practice demonstrates that the reform has effectively improved students' practical skills, achievements in science and technology competitions, and the quality of graduation projects. It has also promoted the development of course resources and teaching research outcomes, achieving effective alignment between course instruction and industry job requirements.

[Key words] Embedded systems; STM32; Outcome-Based Education; practical teaching; application-oriented talent cultivation

引言

新一轮科技与产业革命加速推进,新经济业态快速发展,高等工程教育人才供给与产业需求之间的结构性矛盾日益凸显。自2017年教育部启动新工科建设以来,传统工科专业持续推进改造升级^[1-3]。党的二十大提出加快建设科技强国、实现高水平科技自立自强,进一步强化了高校培养拔尖创新工程人才的使命。2025年,国务院印发《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》,推动人工智能与工科教育深度融合^[4]。在此背景下,培养应用型、复合型、创新型工程人才已成为工科教育改革的重要目标。

嵌入式系统是电子信息工程、自动化等专业的核心课程,

以单片机为主要载体,融合硬件设计与软件开发,具有较强的实践性、系统性和工程性,是培养学生嵌入式综合能力的重要基础^[5]。随着智能无人装备、物联网终端和人工智能技术加速应用,行业对人才的软硬件协同开发、端侧智能部署及复杂系统集成调试能力提出了更高要求^[6]。

近年来,国内相关教学改革主要集中于课程体系优化^[7-8]、人工智能与物联网等前沿内容融入^[9-10]、产教融合与项目式教学^[11-13]以及课程思政建设^[14]。但现有研究仍存在学习成果指标不够具体、软硬件协同培养不足、实训项目层次衔接不够等问题。

针对上述不足,本文以实践能力培养为核心,结合嵌入式知

识体系、能力成长规律和企业岗位需求,从课程学习成果、实践教学体系、教学模式和考核评价四个方面开展改革,并依托STM32平台构建三阶递进式实践教学体系,以提升学生的工程实践能力,促进课程教学与产业需求精准衔接。

1 构建嵌入式学习成果

OBE以学生预期学习产出为核心,区别于传统以课程内容、教师为主体的灌输式教学,已成为当下国内工程教育改革的主流范式。OBE遵循反向设计思路,先明确学生知识、能力、素养三维培养目标,再以此为依据优化课程体系、教学方法与考核方案。

1.1 制定学习成果的多维依据

1.1.1 嵌入式系统的一般组成

嵌入式系统由硬件和软件两大部分组成,二者协同联动、深度融合,共同完成特定的应用任务,系统架构如图1所示。

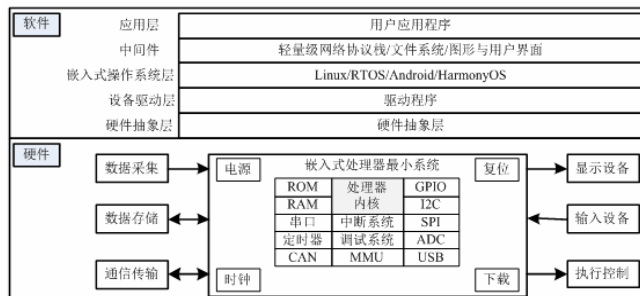


图1 嵌入式系统组成

由图1可知,嵌入式系统以处理器最小系统为核心,搭配数据采集、数据存储、数据传输等外围功能模块构成硬件基础,系统软件则具备清晰的层级架构。因此,嵌入式系统的学习应遵循由内核到外设、由模块到系统、软硬件协同的递进式思路。

1.1.2 嵌入式岗位能力需求

以“嵌入式”为关键词检索国家大学生就业服务平台招聘信息,选取多家企业发布的STM32相关岗位,对其职责与任职要求进行分析。结果表明,嵌入式岗位主要涉及产品需求分析、软硬件开发、电路设计、器件选型、系统调试、测试验证及技术文档编写等工作。

相关岗位普遍要求从业者掌握电子电路、MCU架构及I2C、SPI、CAN、UART等通信接口,熟悉STM32等处理器及Keil、PCB设计工具,具备嵌入式编程、电路设计、焊接测试和仪器调试能力。同时,还应具有独立研发、系统联调、技术文档编制和跨团队协作能力,形成规范的工程思维与较强的项目实践素养。

1.1.3 嵌入式能力成长路线

嵌入式技术学习强调循序渐进、理实结合,需同步夯实硬件基础、软件编程、系统设计与项目实践能力。如图2上部分所示,行业通用的技术进阶路径为:嵌入式基础→51单片机→STM32单片机→ARM+Linux,图2下部分为我校适配能力培养的专业课程体系。

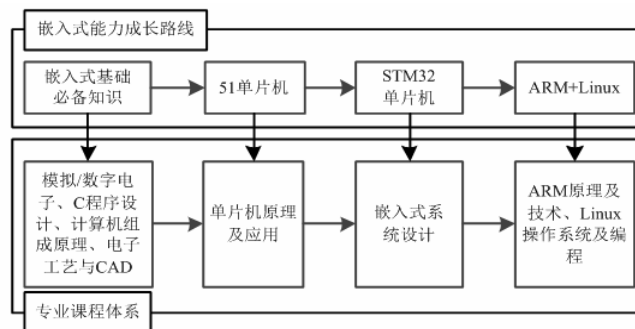


图2 嵌入式能力成长路线

由图2可见,STM32在整个学习链路中起到承上启下的作用,既是对51单片机入门知识的深化与拓展,也是进阶至ARM+Linux高阶开发的必经环节。依托STM32平台,学习者可深入掌握ARM处理器架构、外围功能模块应用与库函数开发思想,实现从基础裸机开发向嵌入式操作系统综合项目开发的能力跃迁,为后续嵌入式Linux技术学习筑牢根基。

1.2 课程学习成果

综合考虑上述三项依据,从知识目标、工程能力目标、综合素养目标三方面明确课程学习成果,具体内容如表1所示。

表1 嵌入式课程学习成果

目标维度	学习成果
知识目标	1. 理解嵌入式系统相关概念,掌握STM32内核架构及GPIO、串口、定时器、ADC等片上外设工作原理 2. 熟悉OLED、各类传感器、电机等外围器件通信协议与电气特性 3. 掌握嵌入式软硬件系统工作原理与智能控制系统基础理论,了解嵌入式AI端侧部署相关基础知识
能力目标	1. 能够独立完成STM32最小系统板的PCB设计、焊接和调试,熟练编写片上外设的驱动程序 2. 能够实现多外设、多传感器、执行器件的软硬件联动开发,完成小型测控系统设计 3. 结合自动控制理论与嵌入式智能算法,独立完成智能小车等综合性项目的方案设计、软件开发与整机联调,具备工程项目全流程开发能力
素养目标	1. 养成规范的工程设计习惯,具备原理图绘制、项目文档撰写能力 2. 树立软硬件一体化设计思维与问题排查意识,拥有团队协作与创新优化思维,契合应用型嵌入式工程师职业素养要求

2 重构三阶递进式实践教学体系

针对原《嵌入式系统设计》课程学时有限、实训内容梯度不足、软硬件综合能力培养不充分等问题,将课程重构为《嵌入式系统设计1》《嵌入式系统设计2》和《嵌入式系统设计3》三门递进式课程,分别对应片上外设基础、外围功能模块应用和综合工程实践三个阶段,形成前后衔接、由浅入深的实践教学体系。

2.1 STM32片上外设基础

《嵌入式系统设计1》开设于第4学期,共48学时。学生已具备C语言编程、电路设计和单片机基础,课程主要讲授STM32内核架构、硬件结构、存储器、开发环境及片上外设应用,重点训练GPIO、中断、串口、定时器和ADC等模块的配置与开发。

实践内容包括LED、蜂鸣器、按键检测、串口通信、电子秒

表、脉冲计数、PWM控制、超声波测距及多路模拟量采集等。期末要求学生自主设计并制作STM32最小系统板,完成按键控制蜂鸣器等综合功能,通过现场实操、答辩和设计报告考查其基础开发能力与工程规范意识。

2.2 嵌入式功能模块应用

《嵌入式系统设计2》开设于第5学期,共48学时,在片上外设基础上拓展外围设备开发与系统联调能力。课程涵盖STM32CubeMX、传感器数据采集、I2C和SPI存储器、红外与无线通信、电机控制、图像采集与显示以及FreeRTOS等内容。

学生通过DS18B20、DHT11、MPU6050、W25Q128、ESP8266、步进电机、OLED、摄像头等模块开展实践,掌握数据采集、存储、通信、控制和显示等功能模块的接口设计与驱动方法。期末以小组形式设计外围扩展电路并完成家居环境监测系统,通过项目演示、答辩和设计报告评价学生的模块集成与协作能力。

2.3 STM32的工程实践

《嵌入式系统设计3》开设于第6学期,共32学时,面向电子设计竞赛、毕业设计和企业智能设备开发,重点培养多芯片协同、端侧人工智能部署、系统集成与工程创新能力。

课程引入OpenMV和K230等智能视觉模块,开展颜色识别、轮廓检测、目标分类、视觉模型部署及双主控通信等实践。在综合项目中,学生完成多传感器融合、电机闭环控制、视觉导航、路径规划、故障排查及技术文档编写,开发智能送药小车和自动驾驶小车等系统。期末采用实物展示、现场答辩和项目报告相结合的方式,综合考查学生的系统设计、工程调试与项目攻坚能力。

3 教学模式与考核评价机制创新

3.1 沉浸式“做中学”教学模式

为适应三阶递进式实践教学体系,各课程将教学场景全部设置在嵌入式实验室,改变理论讲授与实验分离的传统模式,实施项目驱动、边做边学、以练促学的沉浸式教学。

课前,教师发布预习任务,引导学生掌握硬件原理并梳理开发思路。课中,教师针对共性难点进行精讲,学生完成电路搭建、程序编写与系统调试,教师巡回指导并协助排查故障。课后,依托实验室开放时段开展项目优化与功能拓展。综合项目采用3人小组协作形式,成员共同承担硬件设计、软件开发、系统调试和文档编制,提升实践能力与团队协作素养。

3.2 多元化考核体系

改变以期末笔试为主的单一评价方式,构建形成性考核与终结性考核各占50%的全过程评价体系,重点考查学生的工程实践能力。

形成性考核以模块化实训项目为载体,通过现场操作核验学生的预习效果、项目完成质量、故障排查能力、图纸与文档规范性以及阶段答辩表现,综合评价其实践操作、问题解决和团队协作能力。

终结性考核取消理论笔试,采用“现场实操、项目答辩、课程设计报告”相结合的方式。学生需独立完成软硬件开发与系

统联调,规范撰写设计报告,并在答辩中阐述方案、演示功能和回答问题。

该评价体系突出学习过程与项目成果,弱化理论记忆考核,能够较为客观地反映学生的嵌入式系统开发能力和工程素养,促进其实践创新能力持续提升。

4 教学改革实施效果分析

经过近5年持续探索与完整教学迭代,搭建以实践能力、工程思维培育为核心,依托真实工程项目开展沉浸式实操的教学模式,人才培养与课程改革均取得显著成效。

4.1 学科竞赛与科创成果稳步增长

依托分层递进实训体系和高阶创新项目,学生参与学科竞赛与科技创新的积极性明显增强。近3年,学生在全国大学生电子设计竞赛、全国智能汽车竞赛及省级智能车、机器人竞赛中获全国一等奖18项、二等奖13项,两名教师获评省级优秀指导教师。改革期间,学生获批国家级大学生创新创业训练计划项目12项、省级项目30项,体现了学生创新实践和智能系统开发能力的持续提升。

4.2 毕业设计整体质量显著提升

完善的分层实践体系推动嵌入式方向毕业设计质量显著提升。学生选题覆盖集成电路、机器人、机器视觉、智能小车等实践性较强的方向,并逐步拓展至自动驾驶小车、四轴飞行器、六轴机器人等技术难度较高、系统集成度较强的设计题目。毕业设计实物完成率达到95%,有效扭转了以往重仿真、轻实物,重理论、弱实践的局面,充分体现了学生在工程设计、硬件调试、算法实现和系统集成等方面能力的实质性提升。

4.3 课程教学建设成果丰硕

课程团队围绕嵌入式人才培养开展教学研究与资源建设,累计获批教育部产学研合作协同育人项目6项、校级教改项目4项,编写STM32专项教材1部,并联合企业开展产教融合教材建设。同时,搭建线上课程和数字化资源库,涵盖教学课件、硬件原理图、程序例程、实操视频及项目案例,形成课题、教材与线上资源协同支撑的课程建设体系,为分层实践教学持续实施提供保障。

5 结语

本文基于OBE理念,面向嵌入式产业人才需求,构建三阶递进式实践教学体系,并同步改革教学模式与考核机制,有效改善了传统课程层次衔接不足、软硬件培养脱节和实践能力薄弱等问题。教学实践表明,梯度化课程与实操导向教学能够显著提升学生的嵌入式综合开发能力,促进人才培养与产业需求有效衔接。未来将持续融入行业新技术与新应用,优化实践教学内容,深化课程改革。

[基金项目]

2024年四川省本科高校应用型品牌课程《单片机技术与应用》,教育部产学研合作协同育人项目(251103879053129; 251103879060950),2020年乐山师范学院新工科研究与实践项目(210220051),2025年乐山师范学院校级智慧课程(210226012)。

[参考文献]

[1]李利利,刘帝.我国产业发展需求与工程教育供给的匹配性研究[J].工业和信息化教育,2025(11):88-94.

[2]吴爱华,侯永峰,杨秋波,等.加快发展和建设新工科主动适应和引领新经济[J].高等工程教育研究,2017(01):1-9.

[3]钟登华.新工科建设的内涵与行动[J].高等工程教育研究,2017(3):1-6.

[4]王聪聪.《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》解读之人工智能赋能科技创新与产业升级[J].机器人产业,2026(1):79-84.

[5]漆强,周建华,刘子骥.基于新工科理念的“嵌入式系统设计”课程改革和创新[J].实验室研究与探索,2025,44(6):162-166.

[6]陆玲霞,于淼,彭勇刚.面向I3型卓越人才培养的嵌入式人工智能实验教学探索[J].实验室研究与探索,2025,44(1):85-90.

[7]童强,常峰.多元融合的电子信息新工科实践教学体系建设[J].实验室研究与探索,2024,43(10):197-202.

[8]刘斌,徐晓红,李治.能力培养主导的硬件系列课程实践

教学改革[J].实验室研究与探索,2024,43(12):146-149.

[9]李磊,高学,秦慧平,等.嵌入式人工智能系统实验课程改革与探索[J].实验室研究与探索,2025,44(03):147-152.

[10]陈良哲,谢娅娅.人工智能赋能工科专业“全链条”产教融合人才培养模式的研究[J].印刷与数字媒体技术研究,2025,(3):255-264.

[11]陈颖.“课赛融合”模式下校企嵌入式创新创业教育实践路径研究[J].创新创业理论与实践,2025,8(19):105-108.

[12]张浩鹏,范梅花,张剑飞,等.基于PBL的嵌入式AI科创实践项目探索[J].实验室研究与探索,2026,45(4):219-226+264.

[13]潘小琴,阎世梁,段康容,等.面向多学科交叉的综合实训教学项目设计与实践[J].实验室研究与探索,2025,44(7):125-130+143.

[14]张力文.“嵌入式系统”课程思政素材构建与思政教学实施[J].教育教学论坛,2026,(2):140-143.

作者简介:

雷华军(1981--),男,汉族,四川通江人,博士,乐山师范学院,讲师,研究方向:故障诊断和机器学习。