

微机控制系统及应用研究生课程改革研究^{*}

王平辉 马杰^{**}

吕红强 刘源

西安交通大学网络空间安全学院
西安 710049西安交通大学自动化科学与工程学院
西安 710049

摘 要 针对传统“微机控制系统及应用”课程中存在的理论教学与实践脱节、技术案例陈旧、国产化技术内容缺失等问题,本研究提出了一套面向人工智能时代的课程改革方案。通过编写配套教材《ARM 嵌入式系统与人工智能》,引入国产昇腾 AI 芯片平台,构建全流程嵌入式开发实践体系,并融合多学科交叉的创新实验案例,重构了“理论—实验—创新”三位一体的课程教学体系。在教学方法上,课程采用“项目驱动+阶梯式训练”教学模式,结合虚实结合的教学平台与赛教融合机制,推动学生从基础技能掌握到综合能力提升再到创新拓展的递进式成长。同时,建立多元化考核机制,强化过程性评价与创新能力激励。教材与教学资源方面,突出国产化技术生态建设,形成覆盖知识图谱、实验分层设计与在线开源社区的完整支撑体系。教学实践在西安交通大学 2022 级自动化专业研究生中开展试点,结果显示:学生的嵌入式 AI 开发能力、系统资源优化能力以及国产技术应用意识显著增强,课程满意度大幅提升,并在科技竞赛、科研成果等方面取得良好成效。研究表明,该课程改革为培养具备自主可控技术能力与工程实践素养的复合型控制类人才提供了有效路径。

关键字 微机控制, 嵌入式, 人工智能, 国产化芯片与技术, 课程改革

A Study on the Curriculum Reform of the Postgraduate Course “Microcomputer Control Systems and Applications”

Pinghui Wang Jie Ma^{**}

Hongqiang Lv Yuan Liu

School of Cyber Science and Engineering
Xi'an Jiaotong University,
Xi'an 710049, China;School of Automation Science and Engineering
Xi'an Jiaotong University
Xi'an 710049, China

Abstract—Traditional courses on microcomputer control systems often suffer from a disconnect between theory and practice, outdated technical examples, and a lack of coverage on domestic technologies. To address these challenges in the era of artificial intelligence, this study presents a comprehensive curriculum reform initiative. We introduce a new textbook titled ARM Embedded Systems and Artificial Intelligence, integrate the domestic Ascend AI chip platform into the course, and reconstruct the curriculum around a “theory–practice–innovation” trinity framework. This includes full-stack embedded AI development workflows and interdisciplinary experimental modules. The reformed curriculum employs a “project-driven and staged training” pedagogical approach, supported by a hybrid virtual-physical teaching platform and a competition-integrated learning mechanism. A multi-dimensional assessment system is implemented to evaluate both foundational competencies and innovative capabilities. In terms of teaching resources, emphasis is placed on building an ecosystem centered on domestic technologies, including tiered lab experiments, open-source community engagement, and visualization of competency progression. Pilot implementation was conducted with 32 graduate students majoring in automation at Xi'an Jiaotong University. Results show significant improvements in students' abilities in embedded AI development, resource optimization, and application of domestic technologies. Student feedback and performance metrics—including competition awards, research outputs, and course evaluations—demonstrate the effectiveness of the reform in cultivating interdisciplinary control engineering talents equipped with practical and innovation-ready skills.

Keywords—Microcomputer Control, Embedded Systems, Artificial Intelligence, Indigenously Developed Chips and Technologies, Curriculum Reform

1 引 言

随着人工智能、物联网和边缘计算技术的迅猛发

展,嵌入式系统作为连接物理世界与数字世界的核心载体,正逐步向智能化、高实时性、低功耗方向演进^{[1][2]}。在此背景下,微机控制系统及应用作为自动化、电子信息等专业研究生的核心课程,其教学目标已从传统的单片机编程与逻辑控制,转向对“算法-硬件-控制”协同设计与智能化系统开发能力的培养^{[3][4]}。

^{*}基金资助: 本文得到国家自然科学基金企业创新发展联合基金项目(U22B2019)、青年基金项目(62306229)资助。

^{**}通讯作者: 马杰 jicma@xjtu.edu.cn。

这一转变不仅反映了新一代信息技术对工程教育的深刻影响,更凸显了智能时代对复合型人才的迫切需求。然而,当前多数高校的课程体系仍沿用十年前的经典框架,教学内容与产业需求、技术前沿存在显著脱节,具体表现为以下三方面矛盾:

其一,理论教学与实践需求的结构性矛盾。传统课程以 8051、STM32 等单片机为核心,实验内容多局限于 LED 控制、按键检测等验证性项目,缺乏对深度学习、计算机视觉等 AI 技术的融合。根据 2025 年发布的《嵌入式人才培养白皮书》调查^[5],TOP 100 科技企业中 78% 的 CTO 指出,应届毕业生存在“知识断层”现象,特别是在模型部署、边缘端优化等环节存在能力短板。同时,相关调查显示^[6],近 70% 的用人单位认为毕业生“缺乏全流程开发经验”,主要体现在算法移植、异构计算、实时系统调试等关键技术环节的实践能力缺失。

其二,技术案例与时代发展的代际矛盾。当前课程案例多基于 ROS 机器人、四旋翼无人机等传统平台,未充分融入国产 AI 芯片(如昇腾、鲲鹏)、轻量化模型(如 YOLO-Tiny、MobileNet)等前沿技术。以昇腾 310 芯片为例,其采用达芬奇 NPU 架构,算力达 16TOPS (INT8),支持端侧实时推理,在功耗仅为 8W 的条件下,已在智慧交通(如华为 Atlas 300I 加速卡)、工业质检(如精测电子智能检测系统)等领域广泛应用^{[7][8]}。但相关技术尚未系统进入研究生课堂,导致学生对新硬件生态的认知滞后。这种技术迭代速度与教学更新周期的不匹配,形成明显的“知识时差”现象。

其三,技术自主与产业安全的战略矛盾。在中美科技竞争加剧的背景下,国产芯片与操作系统的自主可控已成为国家战略。然而,现有教材与实验平台仍以 ARM Cortex-M 系列、Linux 系统为主,对昇腾、HarmonyOS 等国产技术的覆盖不足。据《2022 人工智能教育蓝皮书》显示,仅 12% 的高校开设了国产 AI 芯片相关实验课程,这显然难以满足“卡脖子”技术攻关对高层次人才的需求。特别是在智能驾驶(地平线征程系列芯片)、工业互联网(华为欧拉系统)等关键领域,核心技术受制于人的现状倒逼教育体系必须进行战略性调整。

针对上述问题,国内外高校已开展多种教学改革尝试。例如,麻省理工学院(MIT)通过“微型自主机器人挑战赛”(MABRC)将强化学习与嵌入式控制结合,构建了“算法-硬件”协同开发的实践范式;清华大学构建了基于英伟达 Jetson 平台的智能小车案例库,实现了 CNN 模型在边缘设备的部署教学。然而,这些方案仍存在两点局限:一是过度依赖国外硬件生态(如 ARM 指令集、CUDA 加速框架),未体现国产化技术特色;二是实践环节碎片化,未形成“数据-模型-部署-控制”

的全流程闭环。以 MIT 的 MABRC 项目为例,其虽涵盖 SLAM 算法实现,但在国产工具链适配、异构计算资源调度等方面仍属空白。

基于此,本研究以西安交通大学自主研发的“基于华为昇腾的智能机器人小车嵌入式检测控制案例”为核心,结合配套教材《ARM 嵌入式系统与人工智能》^[10],提出一套“国产技术引领、全流程驱动、多学科交叉”的研究生课程改革方案。该方案以昇腾 310 芯片为硬件基础,以智能小车的视觉检测与运动控制为实践载体,通过重构课程目标、优化教学内容、创新教学方法,旨在解决传统课程中存在的三大矛盾。其创新性体现在三方面。

一、技术自主化。首次将昇腾 AI 芯片、CANN 加速库、MindSpore 框架、HarmonyOS 等国产技术深度融入课程体系,构建“芯片-工具链-操作系统”完整技术栈的教学模型,增强学生的技术主权意识。通过对比实验(如 YOLOv5 在昇腾与 Jetson 平台的性能差异分析),使学生深入理解国产技术的优势与改进空间。

二、实践系统化。设计覆盖“数据采集(分布式传感器网络)→模型训练(MindSpore 迁移学习)→边缘部署(ATC 模型转换)→实时控制(CANN 加速库调用)”的全链条实验项目,引入 DevOps 理念构建持续集成开发环境。通过迭代式项目开发(如目标检测→轨迹预测→运动控制),强化工程思维与问题解决能力。

三、能力复合化。通过计算机视觉(图像预处理与特征提取)、控制算法(PID 与 MPC 控制器设计)、嵌入式开发(异构计算资源管理)的交叉融合,构建“感知-决策-执行”一体化的知识图谱。采用 PBL 教学模式,围绕智能物流 AGV 开发等真实工程场景,培养“懂 AI、精控制、通硬件”的复合型人才。

本研究的实施不仅为研究生课程改革提供了可复制的范式,更对推动国产技术生态建设、服务国家人工智能战略具有重要现实意义。通过构建“产教融合-校企协同”的课程更新机制(如华为 HCIA-AI 认证课程衔接),形成教育链、人才链与产业链的有机衔接,为突破“卡脖子”技术困境提供智力支撑。后续研究将重点探讨该教学体系在跨学科课程群建设、工程教育认证标准对接等方面的推广价值。

2 课程改革方案设计

课程改革以“国产化技术深度融入、全流程开发能力培养、多学科交叉创新”为核心理念^[11],围绕教学目标重构、教学内容优化、教学方法创新和资源体系建设四部分展开,形成“目标-内容-方法-资源”闭环设计框架。通过将国产算力平台与工程实践场景深度融合,构建符合新工科要求的嵌入式 AI 人才培养体系。

2. 1 课程目标重构：从知识传授到能力进阶

传统嵌入式系统与人工智能课程的教学目标多以知识传授为核心导向，侧重于学生对单片机指令集、接口电路原理等基础知识的记忆与复现。然而，随着国产化技术的发展以及新工科建设的深入推进，传统的教学目标已难以满足当前社会对复合型、应用型工程技术人才的需求。为此，本课程改革围绕“国产化技术深度融入、全流程开发能力培养、多学科交叉创新”三大核心理念展开，旨在构建一个以能力进阶为导向的新型人才培养体系。

具体而言，课程改革确立了“技术应用能力、工程思维能力、创新实践能力”三维能力目标体系（见表1），并通过引入国产昇腾 AI 芯片开发套件及工业级算法优化工具链，使学生能够全面掌握嵌入式人工智能系统的开发流程，提升其解决复杂工程问题的能力。

表 1 课程能力目标体系

能力维度	具体目标
技术应用能力	掌握昇腾 310 芯片特性、CANN 加速库调用、模型量化与剪枝技术
工程思维能力	能够独立完成“需求分析→算法设计→硬件部署→系统调优”的嵌入式 AI 开发全流程
创新实践能力	提出面向工业场景（如缺陷检测、AGV 导航）的优化方案，并具备技术转化潜力

在技术应用能力的培养方面，课程重点加强国产化技术栈的实践训练，通过昇腾 Atlas 300I 加速卡与 MindSpore 框架的联合调试，帮助学生熟悉国产 AI 硬件的开发环境，掌握模型转换、推理部署、性能调优等关键技术环节。

昇腾 AI 芯片作为华为自主研发的高性能异构计算平台，其基于达芬奇架构的张量计算单元具有显著的能效比优势，在边缘端智能推理任务中表现出优异的性能表现。课程通过深入解析昇腾 310 芯片的硬件结构与 CANN 异构计算架构的编程模型，使学生不仅掌握基本操作技能，更能理解国产芯片在算力调度、内存管理等方面的底层机制。

此外，课程还结合 PyTorch 和 TensorFlow 等主流深度学习框架，引导学生进行跨平台模型迁移实验，使其具备在不同软硬件环境下灵活切换开发模式的能力。通过设置“模型量化—剪枝—蒸馏”等典型轻量化任务，学生能够在实际项目中有效控制模型规模与精度之间的平衡，从而提升其在资源受限场景下的工程适配能力。

在工程思维能力的构建中，课程采用阶梯式项目任务驱动的方式，从基础的外设驱动开发逐步过渡到

复杂的人工智能算法移植，最终实现完整的系统集成。这种渐进式的任务设置有助于学生形成系统化的开发思维，理解嵌入式 AI 系统各模块之间的耦合关系。

在教学过程中，教师通过引导学生经历“需求分析—功能定义—系统建模—模块设计—集成测试—性能评估”的完整开发周期，帮助其建立标准化的工程开发流程意识。同时，课程鼓励学生在项目中自主选择技术路线，如是否采用 ROS 中间件、是否使用 OpenCV 进行图像预处理等，以此锻炼其技术选型与系统架构设计能力。

为增强学生的团队协作与沟通能力，课程要求学生以小组形式完成项目开发，并在关键节点进行阶段性汇报与答辩。这种方式不仅提升了学生的表达能力，也促进了项目成员间的分工协作与进度协调，模拟真实工程项目中的工作流程。

在创新实践能力的引导上，课程引入工业真实案例库，提供智慧工厂质检、智能巡检等典型应用场景的开发需求，鼓励学生基于国产硬件平台提出创新解决方案，并通过校企联合评审机制验证其可行性与落地价值。

此外，授课团队积极组织学生参与各类科技竞赛，如“全国大学生智能车竞赛”、“华为 ICT 大赛”等，将竞赛题目转化为课程项目任务，使学生在实战中不断提升其创新能力与问题解决能力。通过竞赛获奖、专利申报、论文发表等形式，学生可以获得相应的课程加分，进一步激励其参与科研与技术创新活动。通过上述三维能力目标体系的构建，课程实现了从知识传递向能力塑造的转变，有效提升了学生的综合素质和岗位胜任力。

2. 2 教学内容优化：构建三级进阶模块

(1) 基础理论模块：夯实国产化技术根基

本模块以“技术认知—原理解析—体系构建”为逻辑主线，系统解决国产化技术认知断层问题，形成“芯片架构—指令系统—开发框架”三位一体的理论支撑体系：

昇腾系列 AI 芯片基于达芬奇架构，采用了矩阵计算单元（MXU）、标量计算单元（SCALAR）和矢量计算单元（VECTOR）三类计算核心，分别负责高维数据运算、控制流处理和通用向量计算。课程通过对比传统 GPU 架构与达芬奇架构的技术特征，揭示昇腾系列芯片在能效比、可扩展性等方面的优势。

在 ARMv8 体系结构的教学中，课程采用对比教学法，系统分析精简指令集（RISC）与复杂指令集（CISC）的技术差异，并通过典型应用场景（如实时控制、移动终端）的案例对比，阐明 ARM 架构的低功耗优势。课程进一步介绍 ARM Cortex-M 系列微控制器的内部结构，

包括NVIC中断控制器、SysTick定时器、DMA控制器等关键模块，并通过STM32F4系列开发板进行实操训练，帮助学生掌握GPIO、UART、SPI、I2C等常用外设的配置方法。在嵌入式操作系统层面，授课团队选用华为LiteOS内核作为教学对象，深入讲解RTOS的任务调度算法（如优先级抢占式调度）、中断响应机制及资源竞争解决方案。通过阅读LiteOS源码，学生可以理解操作系统的核心组件如任务管理、信号量、互斥锁、队列等的工作原理，进而掌握嵌入式系统的系统级开发能力。

在此基础上，授课团队详细讲解CANN（Compute Architecture for Neural Networks）异构计算架构的核心编程模型，包括Stream-Event机制、任务调度策略、内存分配方式等。通过代码示例演示如何调用CANN提供的AscendCL接口，学生能够掌握国产AI芯片的基本开发流程，并理解其在异构计算环境中的运行机制。在轻量化模型理论层面，从数学建模视角构建压缩技术的知识图谱：基于仿射变换原理阐释INT8量化的数学本质，通过L1范数优化方法解析通道剪枝的实现逻辑，运用KL散度损失函数设计知识蒸馏的优化目标。通过PyTorch实现MobileNetV3轻量化网络的对比实验，建立模型参数量、计算量与精度间的量化关系认知。

（2）开发实践模块：全流程项目驱动

为增强学生的动手能力与工程实践经验，授课团队采用“虚实融合”的渐进式实践教学模式，以智能小车为物理载体，构建“感知—决策—集成”三级实验体系，形成“能力递进—任务分解—综合验证”的闭环实践教学路径。

① 视觉感知实验。视觉感知实验聚焦人工智能模型开发的完整流程，设置“数据采集—模型训练—部署优化”三阶段任务。在数据采集阶段，学生使用OpenCV进行多源图像数据的预处理操作，包括高斯滤波、CLAHE直方图均衡化等；在模型训练阶段，学生基于Caffe框架完成MobileNet-SSD轻量化网络的迁移学习训练；在部署优化阶段，利用昇腾ATC工具链完成模型OM格式转换与性能调优。该阶段实验不仅锻炼了学生的算法实现能力，还使其掌握了模型优化与部署的关键技能，为其后续参与复杂工程项目打下坚实基础。

② 决策控制实验。决策控制实验采用“算法设计—硬件实现”双线并行的教学路径。在算法层面，学生通过模糊PID控制器实现路径偏差到PWM信号的动态转换，并借助MATLAB/Simulink进行仿真验证；在硬件层面，学生基于STM32CubeMX配置UART通信协议，实现与主控板的Modbus RTU通信。

此阶段实验强调软硬件协同开发能力的培养，帮

助学生掌握控制系统调试的基本方法，提高其在实际工程中的问题解决能力。

③ 系统集成实验。系统集成实验依托ROS中间件实现模块化集成，运用MindStudio性能分析工具开展内存优化与功耗管理。通过设置“8字绕桩”、“动态避障”等典型场景测试任务，构建包含功能覆盖率、实时性、鲁棒性的三维评估体系，并配套技术文档撰写与答辩环节，全面提升学生的系统思维与工程表达能力。该阶段实验作为整个实践教学的总结与升华，不仅检验了学生对前序知识的掌握程度，也锻炼了其团队协作与项目管理能力。

（3）前沿拓展模块：对接产业与科研需求

构建“技术演进—产业应用—科研衔接”的立体化拓展体系，形成“产教融合—学科交叉—创新驱动”的能力提升通道。

在产业对接层面，通过昇腾生态技术解析，系统梳理国产AI芯片在智慧城市（如交通流量预测）、工业互联网（如预测性维护）等领域的典型应用范式。引入华为Atlas 300I加速卡在智慧工厂质检系统的部署案例，分析边缘端（昇腾+麒麟OS）与云端（ModelArts）的模型迭代机制，建立技术转化的工程认知。

在技术延伸层面，基于边缘—云协同推理架构，探索联邦学习框架下的模型动态更新机制。设计本地端（Atlas 200DK）特征提取与云端（ModelArts）模型聚合的联合训练方案，通过MindSpore Lite实现推理引擎的动态子图切分，解决隐私保护与模型优化的平衡问题。

在科研衔接层面，通过多智能体协同实验，研究群体智能算法在复杂场景中的工程应用潜力。基于ZigBee3.0协议栈开发多车通信模块，引入改进型PSO算法解决多AGV路径规划中的冲突消解问题，通过Gazebo仿真验证系统吞吐量提升效果。该模块通过产教融合案例解析和科研方法训练，引导学生建立技术创新与产业需求的对应关系。

2.3 教学方法创新：虚实结合与赛教融合

在当前人工智能与嵌入式系统快速发展的背景下，传统教学模式已难以满足学生实践能力与创新能力培养的需求^{[11][12]}。为此，本研究提出了“项目驱动+阶梯式训练”教学法、“竞赛与科研反哺教学”机制以及多元化考核体系，旨在构建以学生为中心、以能力为导向的教学新生态。

（1）“项目驱动+阶梯式训练”教学法

为有效提升学生的动手能力和工程实践素养，本研究设计了三阶段递进式教学路径，形成由浅入深、

循序渐进的能力培养链条。

第一阶段为基础技能构建阶段。通过引入虚拟仿真平台,降低硬件操作门槛,使学生能够在无物理设备的情况下掌握嵌入式开发的基本流程和工具使用方法。例如,利用Web端的昇腾芯片模拟器进行初步编程练习,帮助学生熟悉AI加速芯片的工作原理及接口调用方式。

第二阶段为综合能力提升阶段。在此阶段,学生开始接触真实硬件设备,如智能小车平台,并开展实体调试工作。为提高问题分析与解决能力,课程中引入“问题日志”机制,鼓励学生记录实验过程中出现的典型故障(如电机抖动、图像丢帧等),并引导其通过查阅资料、团队协作等方式自主定位与修复问题,从而培养工程思维与排查能力。

第三阶段为创新能力拓展阶段。在学生具备一定实践经验后,进一步开放昇腾芯片底层接口,鼓励学生参与算法优化、数据流重构等高阶任务。该阶段强调学生的自主创新意识,支持其基于实际应用场景进行性能优化与功能扩展,为后续科研或竞赛打下坚实基础。

(2) 竞赛与科研反哺教学

为增强学生面对复杂工程问题时的应对能力,授课团队将科技竞赛与教师科研成果有机融入教学全过程,实现“以赛促学、以研促教”的良性互动。

一方面,以赛促学方面,授课团队积极对接“华为ICT大赛”“全国大学生智能车竞赛”等高水平科技赛事,将其竞赛题目转化为课程设计选题,引导学生在真实项目背景中应用所学知识。例如,将智能车路径识别任务作为课程实验内容之一,让学生在有限时间内完成从算法设计到系统集成的完整流程,提升其综合实战能力。

另一方面,科研转化方面,依托教师团队在“知识图谱推理”“多模态感知”等领域的研究成果,提炼出具有代表性的扩展实验模块,如基于昇腾芯片的实时语义分割系统。这些实验不仅贴近前沿技术发展趋势,也为学生提供了接触科研工作的窗口,激发其科研兴趣与探索精神。

(3) 多元化考核机制

为全面评估学生的学习成效,授课团队构建了贯穿学习全过程的多元化考核机制,注重过程性评价与结果性评价相结合,兼顾基础能力与创新能力。

首先,过程性评价占总成绩的40%,包括实验报告(20%)、代码质量(10%)和小组答辩(10%)。其中,

实验报告要求学生详细记录实验过程、分析问题原因并提出改进方案;代码质量则重点关注代码规范性、可读性与效率;小组答辩环节则考察学生的沟通表达与团队协作能力。

其次,终结性评价占40%,包含综合项目验收(30%)与闭卷考试(10%)。综合项目验收重点考察学生在项目设计、实现与展示方面的整体表现,而闭卷考试则用于检验学生对基础知识的掌握情况。

最后,设置创新加分项(20%),鼓励学生积极参与课外科研与竞赛活动。对于在课程期间获得竞赛奖项、申请专利或发表学术论文的学生,可将其成果折算为相应课程学分,进一步激发学生的主动学习与创新潜能。

2.4 教材与资源建设:构建国产化技术生态

为推动国产化技术在高校教育中的普及与应用,授课团队围绕国产芯片平台(如昇腾系列)开发了配套教材与教学资源,形成了完整的国产化教学生态系统。

(1) 特色教材开发

《ARM嵌入式系统与人工智能》作为课程核心教材,充分体现了国产化技术导向与能力递进理念,具体体现在以下三个方面:

一、国产化案例全覆盖。全书各章节均采用国产化软硬件平台作为教学载体,尤其在第7、8章分别介绍国产化芯片架构与基于国产化芯片的实战案例,帮助学生掌握国产AI芯片的实际应用方法。

二、能力图谱可视化。教材中配有“认知-实践-创新”三维能力图谱,通过思维导图形式清晰呈现知识点对学生能力的支撑关系,对应关系如图1所示。例如,某章内容可能在“认知”维度提升学生对嵌入式架构的理解,在“实践”维度强化GPIO控制能力,在“创新”维度引导其进行多传感器融合设计,从而实现教学目标的精准匹配。

三、实验分层设计。教材配套实验体系分为三个层次:基础实验(如GPIO控制LED灯)、综合实验(如多传感器融合控制)、创新实验(如AI模型量化与部署),层层递进,逐步提升学生的综合工程能力与创新能力。

此外,课程还配套编写了详尽的实验指导书,涵盖20个实验项目的操作步骤、代码注释与常见问题解决方案(如“模型量化报错处理”),便于学生课前预习与课后复习。

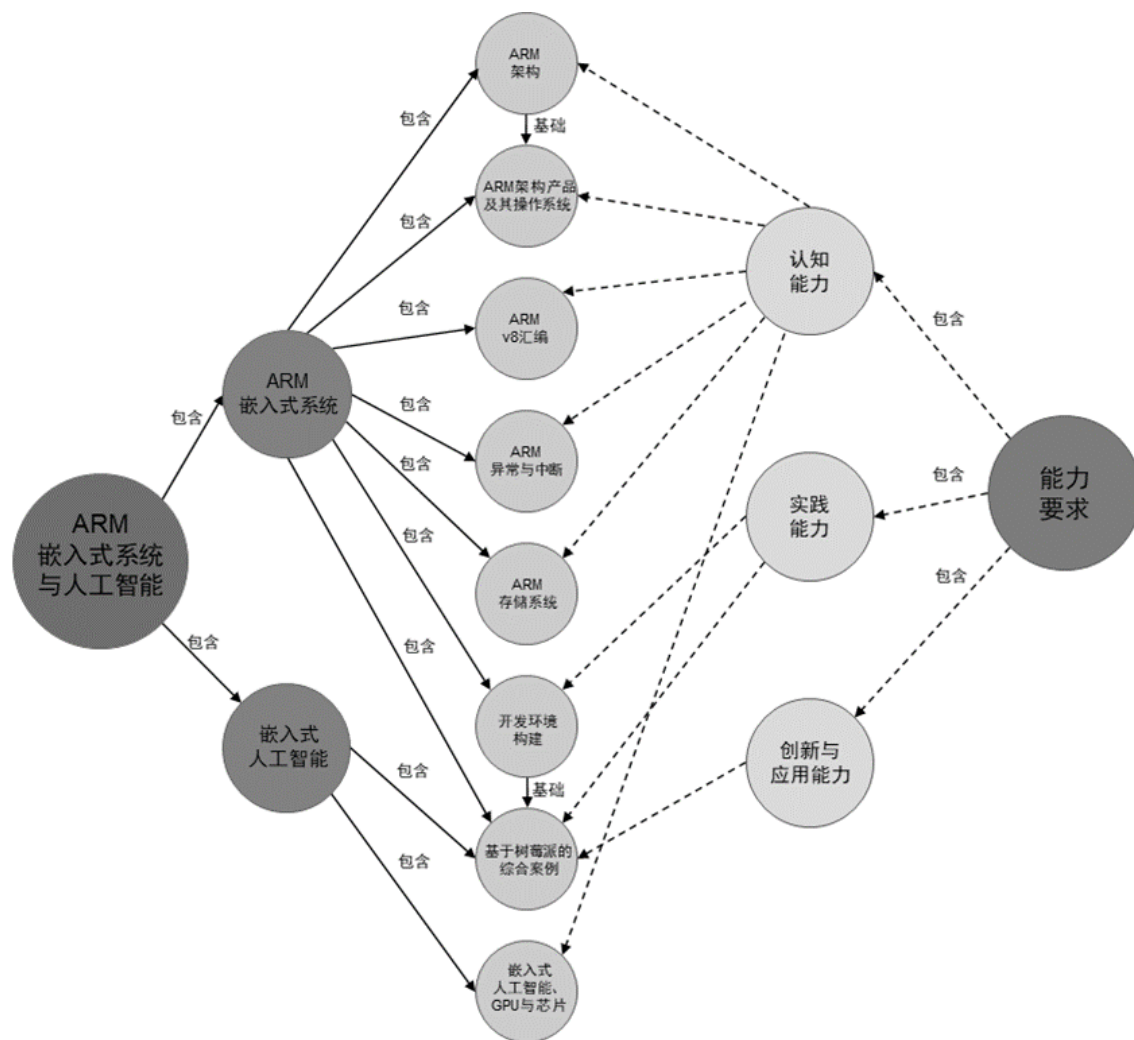


图 1 教材知识结构示意图

(2) 配套资源包建设

为进一步提升学生对知识点的深入理解与灵活运用能力，同时增强其团队协作与自主学习意识，授课团队精心打造了全方位的教学资源支持体系。

一是实验指导书。提供20个实验项目的详细操作指南，每个实验均附有代码样例、运行截图及调试技巧，帮助学生在实践中不断积累经验，提高解决问题的能力。

二是在线开源社区。依托Gitee平台建立课程专属代码仓库，鼓励学生提交Pull Request参与算法优化与功能完善，形成良好的技术交流氛围。教师团队定期审核与反馈，促进学生之间的相互学习与共同进步。

三是虚实结合平台。开发基于Web的昇腾芯片仿真器，支持学生远程访问与实验操作，打破时间与空间限制，提升实验灵活性与覆盖率。该平台还可用于课程作业提交与自动评分，辅助教师高效管理教学过程。

通过上述教材与资源建设，课程实现了理论教学

与实践训练的深度融合，构建起面向国产化技术生态的新型教学体系，为培养具备自主可控技术能力的新工科人才奠定了坚实基础。

3 实施效果与评估

为验证课程改革的实际成效，本研究在西安交通大学2022级自动化专业研究生中开展试点教学实践，共覆盖32名学生。通过问卷调查、成绩分析及竞赛成果等多维度手段，全面评估教学改革对学生能力提升与教学效果的影响。

3.1 学生能力提升

为科学评估学生在新教学模式下的综合能力发展水平，授课团队设计了包含多个维度的能力测评问卷，并结合实验表现与项目完成情况进行综合分析，主要从以下三个方面进行考察。

(1) 全流程开发能力显著增强

通过“项目驱动+阶梯式训练”的教学方式，学生

逐步掌握了从数据采集、模型构建到系统部署与控制优化的完整开发流程。调研结果显示, 90.6%的学生能够独立完成“数据采集→模型部署→控制优化”全过程任务, 具备较强的工程思维与系统集成能力, 较传统教学模式学生的掌握率有明显提升。

(2) 关键技术掌握程度大幅提高

在虚拟仿真平台与实体调试相结合的教学环境中, 学生对嵌入式AI核心技术的理解更加深入。调查如图2所示, 87.5%的学生能够熟练应用模型量化与剪枝技术, 有效提升了模型运行效率; 84.4%的学生表示对昇腾芯片平台的开发具有较强信心表明国产化平台的教学融入取得了良好成效。

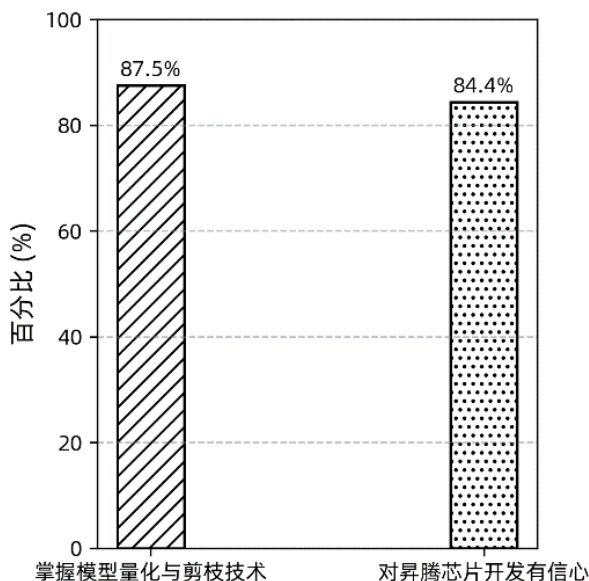


图2 学生对嵌入式AI核心技术掌握情况与开发信心调查结果

(3) 创新意识与拓展能力稳步提升

在开放接口与科研反哺教学机制的推动下, 学生普遍展现出更强的创新意识。调研数据显示, 78.1%的学生在课程实践中提出了具有拓展性的设计方案, 如多车协同控制、云端模型迭代更新等, 体现了其对知识的灵活运用能力以及面向实际应用场景的创新能力。

3.2 教学成果量化

为进一步验证课程改革的实际成效, 课程团队从竞赛成果、科研产出及教学反馈三个维度对教学成果进行了量化分析^{[13][14]}。

(1) 竞赛获奖成绩突出

通过将科技竞赛题目引入课堂教学, 学生在真实项目背景下的实战能力得到有效锻炼。在改革实施期间, 授课团队指导学生荣获国家级奖项多项, 包括: “互联网+”大学生创新创业大赛全国金奖1项、全国

大学生电子设计竞赛一等奖2项, 充分展现了学生在复杂工程问题解决方面的卓越能力。

(2) 科研产出成果显著

依托教师科研项目与课程实验平台, 学生积极参与科研实践活动, 取得了一系列研究成果。课程改革期间, 学生共发表嵌入式人工智能相关学术论文3篇, 申请国家发明专利2项, 不仅提升了其科研素养, 也为后续深造与就业奠定了坚实基础。

(3) 教学反馈满意度大幅提升

为了解学生对课程改革的接受度与满意度, 课程团队在学期末组织了匿名教学评价。结果如图3所示, 课程总体评分由改革前的3.8/5.0提升至4.6/5.0, 显示出学生对新教学模式的高度认可。学生普遍反映课程内容新颖、实践性强, 能够有效激发学习兴趣并提升综合能力。

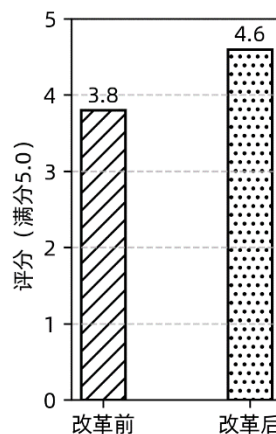


图3 课程改革前后学生评分对比

综上所述, 本次课程改革在提升学生全流程开发能力、技术掌握水平与创新能力方面取得了显著成效, 同时在教学成果与学生反馈层面也获得了积极评价, 为后续推广与深化教改提供了有力支撑。

4 结束语

本研究构建了“国产化技术+嵌入式AI+实时控制”深度融合的研究生课程体系, 将“华为昇腾芯片”、“智能机器人小车”、“检测控制”、“配套教材”等元素有机融合, 有效解决了传统课程内容滞后、实践性不足、国产技术介绍不足的问题。未来将重点推进以下方向:

(1) 场景拓展: 将案例延伸至工业质检、无人配送等应用场景;

(2) 产教融合: 深化与华为、中移动等企业的合

作, 共建联合实验室;

(3) 国际化对标: 引入IEEE嵌入式系统标准, 提升课程国际认可度。

参考文献

- [1] 董树锋, 郑欣怡, 吴振冲, 等. 嵌入式能量管理系统研制与工程实践[J]. 电力系统自动化, 2024, 48(19):129-138.
- [2] 陈小红, 刘少彬, 金芝. 嵌入式系统的需求描述综述[J]. 软件学报, 2025, 36(01):27-46.
- [3] 王丽杰, 罗蕾. 基于新工科的新生嵌入式系统设计课程探索[C]//中国计算机学会, 全国高等学校计算机教育研究会, 教育部高等学校计算机类专业教学指导委员会. 2022 中国高校计算机教育大会论文集.
- [4] 周爱民, 沈建华, 邵非. 面向“新工科”人才培养的大学计算机专业课程教学改革与实践——以“AIoT 系统设计”课程为例[J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(02):58-61.
- [5] 李秀滢, 刘学文, 靳济方, 等. 融合 OBE 与创客教育的嵌入式课程教学探索[J]. 计算机教育, 2025, (06):240-244.
- [6] 曾德真. 基于大数据技术的企业信息安全警报系统设计及实现. 计算机技术与教育学报, 2022, 9(10):1-8.
- [7] 谭貌、段斌、周彦、旷怡. 面向产出落实工程教育认证标准的院系机制与实践[J]. 计算机技术与教育学报, 2023, 11(5): 16-20
- [8] 方维, 袁宝库, 梁峰绮. 基于 PTA 平台的程序设计类课程教学改革实践[J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(1): 97-100
- [9] 傅继彬. 构建计算机网络课程中的思政教育协议栈[J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(05): 23-26.
- [10] 王平辉, 吕红强, 刘源, 马杰. ARM 嵌入式系统与人工智能. 科学出版社, 2024.
- [11] 王婷, 刘任任. 创新意识和创新思维的培养是打造“金课”的核心内容——教学案例两则[J]. 计算机技术与教育学报, 2021, 10(9): 49-53.
- [12] 刘艳, 胡文心. 混合式教学中的在线学习活动效果分析[J]. 计算机技术与教育学报, 2021, 10(9):58-62.
- [13] 王明华, 周国辉, 崔婉淑. 高校计算机专业实践教学体系的构建[J]. 计算机技术与教育学报, 2021, 9(2): 49-53.
- [14] 罗玉川, 柳林, 徐明. 基于问题导向和深度学习的计算机网络课堂教学实践研究[J]. 计算机技术与教育学报, 2021, 9(1): 70-74