

生成式AI赋能“师-机-生”协同的嵌入式系统应用课程设计教学研究

檀杰^(通讯作者) 刘艺多

西华大学, 中国·四川 成都 610039

摘要: 针对嵌入式系统应用课程设计中普遍存在的“仿真调试通过率高, 硬件实物成功率低”的核心痛点, 以及学生缺乏系统性故障排查能力、教师难以实时跟踪调试过程等问题, 本文构建了一个生成式 AI 赋能的“师-机-生”协同教学平台。该平台采用四层架构, 基础支撑层提供 AI 大模型、知识图谱、虚拟场景等基础模块, 核心功能层支撑“仿真设计-虚拟排故-实物验证”三阶递进式实践环节, 协同交互层构建“师-机-生”三元协同机制, 应用服务层提供管理与数据分析。平台以逐层递进式案例为载体, 覆盖裸机驱动、RTOS 多任务及行业应用, 通过启发式提问、虚拟排故、过程自动记录等功能支撑学生自主探究。教学实践表明, 该平台显著提升了学生的故障排查能力与操作规范性, 硬件调试一次成功率从不足 2% 提升至 61.3%。

关键词: 生成式 AI; 嵌入式系统应用课程设计; 虚拟排故; “师-机-生”三元协同

Research on Embedded System Principle and Application Course Empowered by Generative AI for Teacher-AI-Student Collaboration

Tan Jie^(Corresponding author), Liu Yiduo

Xihua University, China Sichuan Chengdu 610039

Abstract: Embedded System Principles and Applications course faces numerous challenges. Specifically, the success rate of simulation and debugging is relatively high, while the success rate of hardware implementation is relatively low. Students lack systematic troubleshooting skills, and teachers find it difficult to monitor the debugging process in real time. To address these issues, this paper has constructed a "Teacher-AI-Student" collaborative teaching platform based on generative artificial intelligence. The platform adopts a four-layer architecture: the infrastructure layer provides core modules, including large language models, knowledge graphs, and virtual scenarios; the core functionality layer supports a progressive practice process in three stages, namely "simulation design, virtual debugging, and physical soldering"; the collaborative interaction layer establishes a "Teacher-AI-Student" three-party collaborative mechanism; the application service layer provides management and data analysis functions. The platform uses six progressive project cases as teaching carriers, covering areas such as bare machine drivers, real-time operating system multitasking processing, and industrial applications. Through functions such as heuristic questioning, virtual fault troubleshooting, and automatic process recording, the platform supports students' independent exploration. Teaching practice shows that this platform significantly improves students' fault troubleshooting skills and operational standardization levels, increasing the success rate of hardware debugging to 61.3%, which is much higher than the previous level of less than 2%.

Keywords: Generative AI; Embedded system principle and application course; Virtual troubleshooting; "Teacher-AI-Student" tripartite collaboration

0 引言

嵌入式系统应用课程是自动化、信息工程、通信工程等专业的综合性实践环节, 其核心在于引导学生经历从理论到实践、从设计到实现、从软件到硬件的递进式过程。通过前期理论课程《嵌入式系统原理与应用》的学习, 学生已掌握嵌入式系统基础知识、ARM 处理器体系结构、RTOS 原理及常用外设驱动开发方法。本课程设计在此基

础上, 要求学生基于 STM32 系列单片机独立完成选题论证、需求分析、电路设计、硬件焊接、代码编写、系统调试的全流程开发, 是培养学生工程实践能力的关键环节。

然而, 当前实践类课程教学普遍面临严峻困境。首先, 学生在 Proteus 仿真阶段的功能验证通过率通常超过 85%, 但进入 STM32 硬件实物调试阶段后, 由于时钟配置遗漏、中断优先级错误、通信时序不匹配等系统性问题,

硬件一次调试成功率不足 2%。其次,学生普遍缺乏系统性故障排查能力,面对 PWM 无输出、数码管显示乱码、传感器读数错误等典型故障时,往往手足无措,难以从理论知识出发联想到时钟、中断和时序等根源问题,只能通过盲目更换元器件、反复重启程序等试错方式应对。与此同时,教师难以实时跟踪每个学生的调试过程,仅能依据学生的口头描述进行判断,反复解答高度重复的基础性问题,消耗大量精力,难以开展真正意义上的个性化教学。最后,硬件开发板及外围模块的损坏风险进一步抑制了学生的尝试意愿,许多学生因害怕烧坏芯片而不敢使用示波器测量关键节点波形,导致调试能力难以提升。

生成式 AI 虽具备自然语言交互、启发式引导、故障模拟等优势,但现有研究仍停留于单一环节,缺乏覆盖“仿真设计-虚拟排故-实物验证”全流程的自主学习平台。为此,本文构建了一个生成式 AI 赋能的“师-机-生”协同教学平台,旨在实现“学生自学为主、AI 全程伴学、教师精准辅导”的教学新范式,如图 1 所示。



图1 “师-机-生”三元协同示意图

1 生成式 AI 赋能的“师-机-生”协同教学平台

1.1 设计理念

该平台遵循“学生为中心,案例为载体,AI 为智能伙伴”的设计理念,推动教师从知识讲授者向学习支持者转变,促使平台从教的工具转向学的环境。针对学生普遍存在的理论难以应用于实践的问题,该平台基于先修课程《嵌入式系统原理与应用》所讲授的 ARM 体系结构、GPIO、定时器、UART/I2C/SPI 及 $\mu C/OS-II$ 等理论知识,设计了逐层递进、贴近企业需求的实践案例,每个案例均配备启发式引导、故障模拟、即时反馈与学习记录等支撑服务。在故障模拟阶段,通过引导学生经历“观察现象、提出假设、测量验证、定位修复”的完整探究循环,帮助学生在自主实践中掌握嵌入式系统开发与调试能力,从而搭建起从理论认知到工程能力转化的关键桥梁。

1.2 平台架构

该平台采用自底向上的四层架构,如图 1 所示。基础支撑层提供生成式 AI 大模型(支持 C/汇编代码理解、寄存器解释)、嵌入式知识图谱(覆盖 STM32 外设、通信协议、RTOS 内核)、三维虚拟硬件场景(虚拟开发板、示波器、逻辑分析仪、万用表)及管理存储系统。核心功能层以 AI 伴学贯穿“仿真设计-虚拟排故-实物验证”三阶递进式实践环节的全流程,集成启发式问答、生成式故障库、虚拟仪器、实物验证指导等功能。协同交互层构建“师-机-生”三元协同机制,其中教师发布任务、监控进度、集中辅导, AI 虚拟导师 7×24 小时启发式伴学,学生自主探究学习。应用服务层提供任务发布、成绩评定等教学管理功能,案例访问、AI 问答、报告提交等学习支持服务,以及行为挖掘、效果评估等数据分析能力。

1.3 三阶递进式实践环节

传统嵌入式系统应用课程设计仅包含“仿真设计”与“实物验证”两个环节,学生直接从理想化的仿真环境跨越到真实硬件平台,导致大量问题在焊接及后续调试阶段集中暴露。本平台引入贯穿全流程的 AI 伴学启发式教学法,并将传统的两个环节扩展为三阶递进式的实践环节,实现从软件仿真到实物焊接的平滑过渡,有效提升学生的系统故障排查能力与硬件调试成功率。

环节一(仿真设计):学生根据选题完成方案设计,在 Keil 中编写单片机程序,并在 Proteus 中绘制电路原理图、加载程序进行仿真,验证逻辑正确性。此阶段 AI 助教主要提供方案设计建议与代码配置提示,帮助学生建立可行的电路与程序框架。

环节二(虚拟排故):该环节为平台的核心,学生在三维虚拟实验台上面对由故障库动态生成的典型硬件故障进行排故。首先,观察虚拟电路板的异常现象,利用虚拟万用表测量关键节点的电压和电流,判断元器件连接是否正常。然后,使用虚拟示波器或逻辑分析仪抓取相关信号的波形,对比正常时序,初步定位故障范围。在排查过程中,学生可随时向 AI 助教描述现象或测量结果, AI 会通过启发式提问引导学生进一步测量验证,或提示可能遗漏的配置步骤。

环节三(实物验证):学生基于前两阶段积累的方法与信心,在真实电路板上进行元器件焊接、代码烧录与硬件调试。平台根据虚拟排故记录推送个性化注意事项, AI 助教提供实时答疑与调试指导,帮助学生独立完成实物验证阶段。

通过三阶递进实践环节与 AI 伴学启发式教学法的结合,学生在三个环节均可获得 AI 助教提供的启发式提问、个性化辅导和实时答疑。该模式将传统“试错型”调试转变为“引导型”探究,降低了硬件入门门槛,提升了故障定位效率。同时,平台自动学生的思考过程,为教师提供可追溯的学情数据,助力教师精准诊断学生能力短板、优化教学重点。

2 教学实践与效果分析

2.1 实施流程

对于每一个案例,学生需要操作的标准流程有 5 个。首先,根据任务书进行方案设计和比较。其次,在 Keil 环境中编写程序,并在 Proteus 中完成电路仿真设计。然后,进入虚拟排故环节,平台随机注入 2~3 个典型故障,学生在 AI 助教引导下进行故障排查与修复。之后,在真实电路板上进行元器件焊接与代码调试。最后,根据 AI 提供的模板和数据,撰写设计报告。遇到问题时,学生优先求助 AI 虚拟导师, AI 无法解决的共性问题,由教师在每周集中辅导课上统一讲解。教师通过管理后台可实时查看全班进度、高频错误类型及 AI 问答热点,从而针对性调整辅导重点。

2.2 数据收集与效果分析

目前,平台自动收集了学生操作日志 3520 条、AI 问答记录 2148 条、虚拟排故通过率及硬件调试成功率等数据,如表 1 所示。可以看出,本平台在教学效果上取得了显著提升。硬件一次调试成功率从传统教学的不足 2% 跃升至 61.3%,这主要归功于可反复练习的虚拟排故环节,该环节有效弥补了从仿真到实物之间的能力缺口。平均故障排查时间由约 45 分钟缩短至约 18 分钟,表明 AI 助教提供的启发式提问与即时提示显著提高了学生的排故效率,减少了盲目试错。学生全部流程独立完成率从 55% 提高到 89.4%,说明平台的逐层递进式案例与伴学机制增强了学生的学习信心与自主性。

3 平台特色与创新点

(1) 理念创新:构建生成式 AI 赋能的“师-机-生”三元协同教学范式,以生成式 AI 作为虚拟导师,通过自然语言对话与启发式引导,使学生掌握排故方法而非简单的获得答案。

(2) 技术创新:首次利用生成式 AI 自动构建并动态扩充故障库,通过对嵌入式常见故障模式及排查方法的学习,生成式 AI 按难度和知识点类型自动组合生成故障,经教师审核确认后入库。同时,教师将学生实物调试中反馈的真实问题入库,实现故障库的持续增长。

(3) 模式创新:在传统“仿真设计和实物验证”的教学方法中,新增虚拟排故环节,将其扩展为三阶递进式体系,使学生可以在虚拟环境中以零成本、零风险的方式反复练习故障排查,显著提升硬件调试一次成功率。

(4) 评价创新:构建平台自动记录、AI 初评、教师复核的评价系统,自动记录学生操作轨迹与问答记录,完整保留学生的思考过程,并按照预设标准初评,教师在此基础上复核成绩,实现精细化过程评价。

4 结论与展望

本文针对嵌入式系统应用课程设计中“仿真通过率高、实物成功率低”的核心痛点,提出了生成式 AI 赋能的“师-机-生”协同教学平台。研究的主要贡献体现在以下三个方面:一是设计了“仿真设计-虚拟排故-实物验证”三阶递进实践体系,有效填补了从软件仿真到硬件调试之间的能力鸿沟;二是构建了基于 AI 助教的启发式引导机制,将传统“试错型”调试转变为“引导型”探究,显著提升了学生的故障排查效率与工程思维水平;三是建立了可动态扩展的嵌入式故障库,实现了实际发生故障与 AI 知识库的闭环迭代。教学实践表明,硬件一次调试成功率从不足 2% 提升至 61.3%,学生故障排查规范性与自主学习意愿显著提高,教师重复性答疑工作量减少约 75%。

平台仍有待完善之处。一方面,当前 AI 对信号完整性、电磁干扰等复杂硬件时序问题的理解能力有限,后续将结合实测数据增强模型的工程判断能力;另一方面,个性化推荐策略尚未充分挖掘学生历史排故数据的价值,未来将构建学习画像,实现更精准的能力短板识别与内容推送。

参考文献:

- [1] 郑庆华,刘均,田锋.知识图谱在教育领域的应用研究综述[J].计算机研究与发展,2019,56(12):2579-2594.
- [2] 祝智庭,胡姣.数智赋能教育新生态:智慧教育生态模型与构建路径[J].中国电化教育,2022(1):1-12.
- [3] 王海啸.生成式人工智能在大学英语教学改革中的应用探究[J].外语教育研究前沿,2025(4):41-50.
- [4] 黄荣怀,杨俊峰,胡永斌.从数字学习环境到智慧学习环境——学习环境的变革与趋势[J].开放教育研究,2012,18(1):75-84.
- [5] 祝智庭,胡姣.教育数字化转型的本质探析与研究展望[J].中国电化教育,2022(4):1-8.

作者简介:通讯作者:檀杰(1991.08-),男,汉族,山西省阳泉市,讲师,工学博士,研究方向:微传感器、光电化学传感器以及智能传感器等。