

生成式 AI 背景下嵌入式软件课程融合航天元素的案例教学设计^{*}

沈博¹ 董云卫² 李晓锋² 马春燕² 周兴社¹

1 西北工业大学计算机学院, 西安 710129 2 西北工业大学软件学院, 西安 710129

摘 要 针对现有嵌入式软件课程领域应用与课程内容缺少内化、教学实践与课程目标结合不足、思政元素与课程知识嵌入不佳的问题, 基于探月工程中航天器控制软件实际需求设计了“需求智能理解-资产 IP 构造-软件智能合成”课程教学三阶段案例, 建立了生成式 AI 背景下融合思政元素的“设计模式开发—关键技术研究—工程案例实践”贯穿式人才培养教学实践方法。与课程改革前相比, 育人效果与思政成效均有提升, 其中学生对教学案例满意度提升 18.15%, 思政满意度提升 12.50%, 考核成绩提升 5.32%。西北工业大学嵌入式软件团队的实践为嵌入式软件教学提供了有效教学方案, 为高端装备嵌入式软件人才实践能力提升提供实施路径参考。

关键字 嵌入式软件, 生成式人工智能, 应用驱动

Aerospace Elements Driven Case Design for Embedded Software Courses in the era of Generative AI

Bo Shen¹ Yunwei Dong² Xiaofeng Li² Chunyan Ma² Xingshe Zhou¹

1.School of Computer Science
Northwestern Polytechnical University
Xi'an 710129, China

2.School of Software
Northwestern Polytechnical University
Xi'an 710129, China

Abstract—To address the issues in current embedded software courses, such as insufficient integration of application and course content, inadequate alignment between teaching practices and course objectives, and poor integration of ideological and political elements within course knowledge, this study designs embedded software course cases. Based on the actual requirements of spacecraft control software in the lunar exploration project, the course case includes three stages, i.e., intelligent demand understanding, IP asset construction, and intelligent software synthesis. A comprehensive teaching methodology integrating the ideological and political elements in the era of Generative AI has been established, encompassing design pattern development, key technology research, engineering case practice. Compared to traditional teaching method, student satisfaction with teaching cases has increased by 18.15%, satisfaction with the ideological and political elements has rose by 12.50%, and assessment score has improved by 5.32%. The teaching team of embedded software at Northwestern Polytechnical University provides an effective teaching approach for embedded software course. This study provides an implementation path for enhancing the capabilities of the developers of embedded software for high-level equipment.

Keywords—Embedded Software, Generative AI, Application Driven

1 引言

工业和信息化部数据显示, 2024 年我国软件和信息技术服务业收入合计达到 137,276 亿元, 其中嵌入式系统软件规模突破万亿, 达到 12,379 亿元, 同比增速 11.8%, 超过同行业平均增速 1.8 个百分点。嵌入式软件广泛应用于航空航天、网络通信、汽车船舶、医疗健康、工业控制、金融及消费等行业, 深刻影响

了产品的形态和应用方式, 同时也改变了人们工作方式和生活方式。嵌入式软件课程具有鲜明的应用导向, 是人才培养匹配社会需求的典型范例, 在越来越多的大学成为高年级本科生与研究生的必选课程。

教育部 2020 年 5 月印发的《高等学校课程思政建设指导纲要》提出, 工学类专业课程, 要注重强化学生工程伦理教育, 培养学生精益求精的大国工匠精神, 激发学生科技报国的家国情怀和使命担当。随着生成式人工智能广泛应用[1-3], 如何在新一代人工智能带来技术变革的浪潮中有机融合嵌入式软件人才培养与思政教育, 面向国家重大需求落实价值塑造、知识传授和能力培养三位一体的立德树人根本任务, 是完善

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (62192733, 62192730), 西北工业大学校级主题案例项目“航天控制系统嵌入式软件智能化开发”。

^{**} 通讯作者: 董云卫 yunweidong@nwpu.edu.cn

嵌入式软件人才培养体系、提升人才培养质量亟待解决的关键问题[4-5]。

2023年12月1日,中国航天报头版刊文《自觉增强忧患意识,加快建设航天强国——为建设航天强国不懈奋斗评论之一》指出:“对标SpaceX,集团公司在发展理念上、科研生产模式上、关键核心技术上、质量效率效益上存在明显差距和不足”。为了提升我国航天装备软件产品的开发效率,利用人工智能技术改进软件开发手段和产品研制模式,是我国航天领域技术创新的新目标,同时也对智能化软件开发新技术人才培养提出了新需求。构建面向国家重大工程战略需求的嵌入式软件培养模式,有助于提升大学生的工程能力与实践能力,更好贴合产业界对软件开发人才的需求[6]。西北工业大学具有鲜明的“国防+军工”特色,在人才培养过程中融入航天元素进行思政教育具有天然优势。助力大国工匠精神的培育效果,实现三位一体的培养任务,是西北工业大学嵌入式软件教学团队的使命。

2 嵌入式软件开发方法及人才培养的现状

2.1 嵌入式软件及其开发方法特点

嵌入式软件具有较强的领域相关性、硬件环境依赖性和时空约束性等特点[7]。随着嵌入式软件的日益复杂,还呈现出软件数量庞大、代码规模巨大、系统结构复杂、开发周期缩短、更新演化加快、综合成本降低和质量要求提高等趋势。与此同时,复杂软件系统开发需要分析处理软件需求中存在的确定性,并依据需求进行软件设计决策。现有的嵌入式软件构造是在软件开发实践中发现并总结出的软件开发模式抽象,逐步形成了结构化开发方法、基于构件开发方法、面向服务架构方法、模型驱动架构方法和形式化软件方法。虽然这些方法在理论和工具方面取得长足的进展,支持软件代码实现阶段的自动生成,然而开发过程中需要研究人员进行需求分析和架构设计,不支持软件需求分析和设计的自动化,开发方法的智能化程度较低。

2.2 当前嵌入式软件人才培养存在的问题

- (1) 领域应用与课程内容缺少内化,知识理解有待深入

建构主义教学理论强调以学生为中心,促进学生对知识的主动探索、主动发现和对所学知识意义的主动建构。学生在日常学习中虽然能够意识到授课内容的必要性,但对其重要性缺乏认识,导致学习的积极性不高。究其原因,学生对知识点的理解不够深入,

无法将其内化到现实的领域应用,即便授课教师在课堂上进行专门的强调,学生也由于领域知识的匮乏缺少直观认识,很难主动为课堂讲授内容寻求对应的应用。如果遇到理论性强的学习内容,会再次恶化授课效果。

- (2) 教学实践与课程目标结合不足,系统思维有待完善

知识结构首先具有整体性,其次具有有序性,通过相互作用而发展。授课教师在规划课程教学时由于了解课程目标,做到知识的有序传授。为了加深课堂讲授效果,在授课过程中教师会随堂布置作业,以便学生加深印象巩固知识点。建构主义教学理论认为,应当设计真实的教学任务,学习的最终目标是了解事物的性质、规律以及事物之间的内在联系。当前课程的教学实践缺乏系统性,学生通过实践掌握孤立的知识点与其能够独立解决实际应用还有较大差距。

- (3) 思政元素与课程知识嵌入不佳,思政效果有待改进

如何在计算机与软件类课程中有效融合思政元素,相关领域专业教师在授课过程一直在积极探索实践[8]。嵌入式软件的核心知识点包括嵌入式软件需求理解、软件体系结构设计、软件代码生成、软件质量保障等核心内容,简单将思政元素与知识点一一对应,会导致思政效果不佳,无法落实价值塑造的目标。建构主义教学理论强调“情境”对意义建构的重要作用,学生是学习意义的主动建构者,如果无法将思政元素融入到课程的“情境”之中,很难做到思政教育走深走实。

3 整体思想

为解决传统嵌入式软件课程存在的不足,探索适应生成式人工智能时代的课程教学模式,我们面向航天器控制软件实际需求设计并改进嵌入式软件课程案例。

太阳搜索控制系统是所有航天器都需要具备的一个控制功能子系统,该系统的功能是进行太阳捕获保障卫星能源,具体实施过程主要通过采集陀螺和太阳敏感器的测量数据确定卫星当前姿态,随后控制卫星绕俯仰轴或滚动轴转动,使得太阳敏感器能够发现太阳,并保持航天器太阳能板的对日定向姿态。由于不同航天器的需求差异,该软件系统开发中需要对系统功能进行动态调整,实现软件功能定制化。

本案例以航天器控制系统研制需求为应用背景,融合智能化软件开发技术、人工智能技术和基于模型的系统工程开发方法,教学中带领学生探索新型航天

控制软件开发模式、软件智能合成技术及其工程实践方法,讲授基于软件 IP 的嵌入式软件智能合成方法,建立相应的智能化软件工具和实验平台,指导学生掌握嵌入式系统控制软件新型开发模式,实现培养创新型高端装备嵌入式软件人才的目标。课程总体建设思路如图 1 所示。

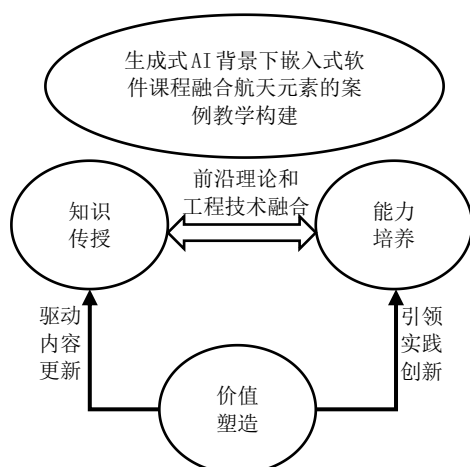


图 1 嵌入式软件课程总体建设思路

(1) 工程问题驱动教学内容创新

如何解决工程中的应用问题是培养学生过程中知识传授的核心目标之一。本案例聚焦航天装备嵌入式软件研制的工程问题,在人才培养中探索将核心教学内容融入“需求智能理解——架构智能合成——代码智能生成”的新型软件开发模式,指导学生学习和掌握人工智能驱动的嵌入式软件开发基础理论和实践方法,利用生成式人工智能技术和工具开展控制系统嵌入式软件智能化开发,并在航天器控制软件开发案例中进行应用实践。

(2) 行业需求驱动教学案例创新

计算机与软件类专业强调培养学生的工程实践能力。本案例以培养学生解决复杂行业需求实践能力为导向,通过对嵌入式软件智能合成技术和工程实践案例开展理论学习和实践探索,建立涵盖“开发模式设计——关键技术研究——工程案例实践”的贯穿式嵌入式软件人才培养教学新型案例,培养学生结合前沿理论和工程技术的创新思维,塑造其形成复杂系统设计实现的方法论。

(3) 校企融合驱动教学模式创新

本案例实现软件理论与工程实践、教学与研发、教师与企业专家相互融合的教学模式创新,让学生在工程环境中学习和应用人工智能和软件工程知识,有效提升学生的工程创新思维,厚植家国情怀。

4 嵌入式软件课程知识体系设计

嵌入式软件具有鲜明的领域特色,知识内容不仅涉及软件工程的理论基础,还包括应用领域硬件资源、场景特性带来的约束分析,再加上生成式人工智能相关理论与技术的引入,使得深入掌握嵌入式软件开发所需要学习的知识内容体系非常庞杂。如何串联不同侧面与维度的知识点,是课程教学的难题。为解决上述问题,将课程的知识体系分为“嵌入式软件需求智能理解与分析——软件资产的 IP 化构造——基于规格化软件需求和软件 IP 的控制软件智能合成”三个层面,并在授课中逐步引入各部分相关知识点。软件智能合成部分进一步分为“控制软件架构合成——控制软件架构补全——基于 IP 的嵌入式软件合成”三个部分。嵌入式软件课程知识体系涵盖内容如图 2 所示。

(1) 嵌入式软件需求智能理解与分析。通过对航天领域标准规范、设计文档、软件代码、测试数据等知识进展预处理,建立基于生成式预训练模型的代码学习模型(如 codeBert 等),并针对需求规约生成应用场景进行模型训练,构建融合航天领域知识的增强模型,输入形式多样的软件任务描述,将其自动转换成语法语义严格、支持多维度嵌入式软件特征统一描述的需求规约。

(2) 软件资产的 IP 化构造。对已有各类卫星太阳搜索控制系统的相关程序代码进行模块化封装,形成上下文依赖关系及接口定义明确、设计文档规范完整的特定功能软件 IP 单元,通过对这些 IP 进行多维度的刻画与标注,建立软件资产学习数据集,并以 IP 知识库的方式进行管理。

(3) 基于规格化软件需求和软件 IP 的控制软件智能合成。太阳搜索控制系统软件是具有严格时序依赖的嵌入式软件,要求高可靠、强实时、高安全,而机器学习模型生成的程序代码具有不可解释性,无法保证 100% 正确。为了满足航天软件的非功能属性约束要求,控制软件的智能合成过程采用模型驱动开发和生成式人工智能相结合的方法,在教学中分三阶段指导学生合成控制系统嵌入式软件,如图 2 所示,主要过程包括:

(1) 控制软件架构合成:建立领域相关的软件设计模式和规则,基于需求理解和分析结果,采用模型转换方式合成软件架构。

(2) 控制软件架构补全:由于需求中缺乏软件设计所需信息,合成的软件架构可能不完整,架构缺乏明确定义的变量或软件功能设计。为此,根据不完整架构中的功能和性能要求,通过模型学习方法,在软件模型库中找到候选模型和设计模式,补全软件架构

并进行变量定义，建立不同软件功能相互交互的接口关系（构造数据流和控制流关系），形成完整的软件架构，并基于软件架构合成软件框架程序代码；

（3）基于 IP 的嵌入式软件合成：基于架构生成的程序框架代码中不是完整的程序，在程序框架中可能只有软件功能模块的程序调用关系（子程序或函数调用接口及变量），没有具体执行操作对应的程序实现。因此，需要根据功能的理解，借助生成式人工智能等先进技术，在软件 IP 库中找到满足功能的候选程序代码，并根据程序语言的语法约束和需求约束，对

候选程序代码进行修改或补全，最终生成满足需求的控制软件。

本案例以航天器“太阳搜索控制软件”研制需求为应用背景，指导学生研发相应的智能化软件工具和实验平台，进行面向航天器的嵌入式软件开发实践。通过理论教学和工程实践相结合，促使学生理解并掌握嵌入式软件智能合成技术、智能化软件质量保障技术，满足国家重大工程型号研制对创新型高端软件人才需求。

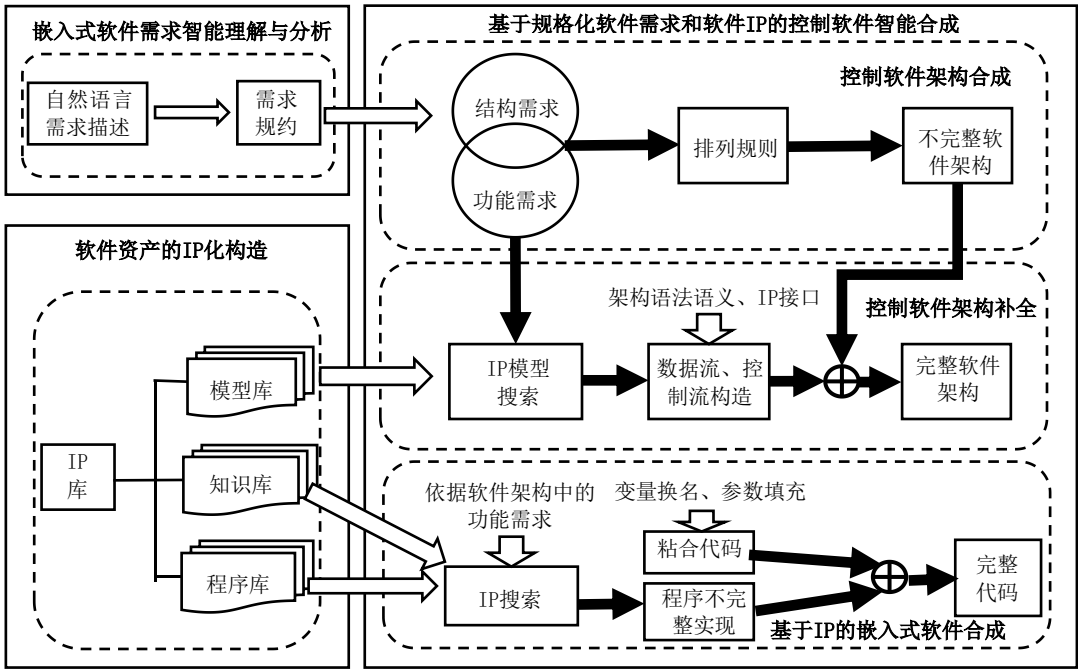


图 2 嵌入式软件课程知识体系架构

5 教学计划设计

以培养推动国产智能装备软件开发模式和技术创新的卓越人才为目标，教学计划设计总体思路如下：

（1）采用校企联合、理论与工程应用融合、课内课外结合的方式，强化学生理论知识与工程实践的融合贯通能力；

（2）通过团队合作研讨、课程实验和工程应用场景案例分析研究等学习活动，培养学生合作开发、分析和解决复杂工程场景问题的系统思维能力；

（3）通过工程项目的应用场景开发实践，积极进行案例测试评估的实时反馈，促进学生在工程实践中迭代理解软件开发理论，建立学以致用工程创新能力；

（4）建立领域软件知识库，提供系列教学资料，包括教学指导说明书、领域工程问题集、行业软件开

发数据词典等，培养学生解决工程问题的独立研究能力。

课程案例通过上述教学计划设计，推动教学内容更新和实践创新发展，主要教学计划如表 1 所示。

6 嵌入式软件课程教学实施效果

笔者团队从2022年起开展融合航天元素的嵌入式软件课程贯穿式案例教学，经过几年的探索与实践，与以往传统教学模式相比，育人效果与思政成效均有所提升，表2列出了课程改革前后各三年学生的成绩分布情况，表3列出了考核成绩与工程代码量（单位：行）的变化，表4展示了相应的评教调查情况。由于学生对航天元素接受度较高，案例引起了学生的浓厚兴趣，学生会自发探索更多的技术细节，主动了解我国载人航天精神与探月精神内核。

从课堂效果看，学生参与度明显提升，改变了以往教师单方面进行知识传授的状况，学生从被动的知

识接受转变为主动的问题求解。从课程教学过程完成的工程项目和课程报告看，系统开发量显著增大，报告质量随之提升，且报告中团队协作效果日益明显，说明学生逐渐学会分工完成大型工程实现，学生成绩明显提升。

上述结果表明，笔者团队通过贯穿式教学案例设计，面向国家重大需求落实三位一体的立德树人根本任务取得初步成效，实现学生价值塑造、知识传授和能力培养的有机融合。

表 1 教学计划表

教学任务	内 容	课时	授课方式
1. 软件工程智能化方法基础知识	1.1 软件工程深度学习模型构建、算法和工具	4学时	课堂教学，实验实践
	1.2 卫星需求建模、控制架构设计方法	4学时	企业教师授课
	1.3 控制软件模型学习知识	4学时	课堂教学
2. 软件需求理解与分析	2.1 航天控制软件需求学习数据集构建方法	4学时	企业教师授课，实验实践
	2.2 面向领域的控制软件需求学习模型构建方法	4学时	企业教师授课，实验实践
3. 软件资产IP库构造	3.1 软件IP模型构建方法	2学时	企业教师授课
	3.2 太阳搜索软件IP设计与封装技术	2学时	企业教师授课
4. 软件智能合成技术的学习与实践	4.1 软件架构合成方法	4学时	课堂教学，实验实践
	4.2 基于IP的软件架构补全方法	4学时	课堂教学，实验实践
	4.3 面向软件框架的程序代码补全与生成方法	4学时	课堂教学，实验实践

表 2 成绩分布情况

分数段	[85, 100]	[70, 85)	[60, 70)	[0, 60)
改革前占比	9.52%	76.20%	9.52%	4.76%
改革后占比	37.50%	54.17%	8.33%	0

表 3 成绩和工程代码量情况

项目	改革前	改革后	提升率
考核成绩	78.33	82.50	5.32%
工程代码量	1656	2189	32.19%

表 4 评教调查情况

项目	教学案例满意度	思政元素满意度	团队协作满意度
改革前占比	71.43%	83.33%	52.38%
改革后占比	89.58%	95.83%	85.42%

7 结束语

生成式人工智能的浪潮对嵌入式软件人才培养提出了新的要求，西北工业大学嵌入式软件教学团队面向国家重大需求落实价值塑造、知识传授和能力培养目标，积极探索满足行业前沿需求与学生兴趣相一致的人才培养新模式，应对产业界对软件开发人才的新需求。教学实践表明，我们在嵌入式软件课程提出的融合航天元素的教学案例设计能够在知识传授过程中使学生建立起系统思维，培养学生环节通过边学习边实践边思政的方式，激发了学生的学习积极性与主观

能动性，奠定了坚实的理论基础，提升了他们解决复杂工程应用问题的能力，做到学以致用。在后续的教学实践中，我们将深挖载人航天精神、探月精神以及新时代北斗精神，发现更多的软件系统开发实例，给学生提供更加丰富的贯穿式教学案例，扩大课程教学资源的同时为学生提供更多的选择空间，以达到更好培养学生工程能力与实践能力的目的，最终实现人才培养服务国家重大战略需求，有效提升大国工匠培育效果。

参 考 文 献

[1] 周兴社. 生成式 AI 对计算机类专业教育的影响及对策[J]. 计算机教育, 2024(11): 1-5.

[2] 郭斌, 王柱, 於志文, 等. 智能时代的物联网工程专业课程体系改革探索[J]. 计算机教育, 2023(3): 124-129.

[3] 陈玉琨. ChatGPT/生成式人工智能时代的教育变革[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2023(7): 103-116.

[4] 王泉. 数智时代高等教育发展面临的四重挑战及应对探析[J]. 中国高等教育, 2024(Z1): 29-33.

[5] 张广泉. 新时代软件卓越工程师人才培养研究与探索[J]. 计算机技术与教育学报, 2025(1): 108-112.

[6] 金强国, 范惺杰, 郑江滨, 等. 思政融入软件工程教育: 培养新时代技术人才[J]. 计算机技术与教育学报, 2024(6): 30-36.

[7] 杨孟飞, 顾斌, 段振华, 等. 嵌入式软件智能合成框架及关键科学问题[J]. 中国空间科学技术, 2022(4): 1-7.

[8] 谢修娟, 王梦晓, 翟玉庆. 软件工程“两结合、三维度、四提升”课程思政教学探索[J]. 计算机教育, 2024(9): 38-42.