计算机与智能教育技术

2026年10月 第1卷第3期

卓越机器人工程师培养导向的矿山环境感知课程产教融合改革与实践

范孟豹*，孙凤山，刘万里，李猛钢

中国矿业大学机电工程学院，江苏徐州，221116

摘　要 | 针对机器人环境感知课程矿山场景融入不足、知识模块衔接不紧、实践训练偏重结果验证以及校企协同不深入等问题，构建卓越机器人工程师培养导向的产教融合课程体系。课程以矿山作业典型任务为主线，重组环境信息传感与数字化、多源信息融合与智能算法、综合感知系统与新型传感装置三个内容模块，设置基础实验、综合项目和创新实践三级递进任务。各级实践均贯通需求分析、方案设计、系统实现、场景测试和迭代改进，并以任务书、原始数据、标定文件、程序版本、故障日志和测试报告记录学生的工程决策过程。通过多传感信息采集与数字化、复杂巷道辅助运输机器人环境感知、矿山感知装备优化与竞赛转化三个案例，说明课程如何由规范实验逐步转向系统集成和开放创新。该体系将矿山工况约束、跨学科知识、工程伦理和创新实践纳入连续教学过程，为矿业特色高校培养具有复杂工程问题分析、系统设计与现场验证能力的机器人工程人才提供了实践路径。

关键词 | 环境感知；矿山机器人；产教融合；卓越机器人工程师

Copyright © 2026 by the author(s).

This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

1 引言

环境感知是机器人获取作业空间、目标对象和自身状态信息的基础，涉及传感检测、计算机视觉、定位导航、信息融合以及机电系统集成等内容。“机器人环境感知”既承接传感器、自动控制、机器人系统等先修课程，又直接服务于移动机器人导航、智能巡检和自主作业。课程教学的重点不应停留在传感器原理和算法调用，而应使学生能够根据具体工况提出可实施、可验证的感知方案。

矿山机器人作业环境具有低照度、高粉尘、强振动、金属反射、空间受限和通信不稳定等特征，环境变化不仅影响传感数据质量，还会改变算法适

基金项目：中国矿业大学教学研究项目-产教融合课程：矿山环境感知技术（2024KC39）。

作者简介：范孟豹(*通讯作者），中国矿业大学机电工程学院教授，研究方向为矿山环境智能感知、机器学习及应用、嵌入式系统开发、电磁声检测与成像等；孙凤山，中国矿业大学机电工程学院副教授，主要研究方向为太赫兹无损检测，信号处理、机器学习及应用等；刘万里，中国矿业大学机电工程学院教授，博士研究生导师，主要研究方向为采掘工作面智能感知技术、机器人化采矿技术、煤层信息探测技术等；李猛钢，中国矿业大学机电工程学院副教授，硕士研究生导师，主要研究方向为矿山机器人、具身智能、数字孪生等。

文章引用：范孟豹, 孙凤山, 刘万里, 李猛钢. 卓越机器人工程师培养导向的矿山环境感知课程产教融合改革与实践[J]. 计算机与智能教育技术, 2026, 1(3): 113-119.

https://doi.org/10.68070/kjz54v93

用范围和设备可靠性。相关研究已从矿山机器人环境感知、路径规划和巡检机器人视觉识别等方面分析复杂工况对机器人自主作业的影响[1-3]。因此，矿山环境感知课程需要将防护要求、安装条件、探测范围、实时性和失效后果转化为具体教学约束，使学生理解技术方案与现场条件之间的对应关系[4-5]。

现有机器人及工程实践课程改革主要采用科研项目转化、项目式教学、校企协同和递进式实践等方式。有关环境感知、移动机器人、机器人工程和综合工程训练课程的研究表明，围绕工程任务重组课程内容、设置跨模块项目并加强过程评价，有助于改善知识分散和实践训练浅表化问题[6-7]。但部分课程仍以通用场景或单项技术验证为主，对矿山环境中的数据退化、系统失效和安全责任讨论不足[8]；企业资源也常停留在案例提供和实践基地建设层面，尚未充分转化为可实施、可评价的课程任务[9-10]。

卓越机器人工程师培养要求学生在真实工程问题中完成跨学科知识运用、系统方案设计、试验验证和工程决策，高校与产业之间也需要在项目开发、过程指导和成果评价等环节形成实质性协同[11-12]。基于此，本文以矿山机器人典型任务为载体，从教学内容、实践层级、实施评价和案例转化四个方面开展课程改革，通过连续工程任务推动学生由规范操作转向系统设计和创新改进。

2 产教融合视域下教学中的主要问题

2.1 教学场景通用化，矿山特色体现不足

传统环境感知实验通常在光照稳定、地面平整和通信良好的室内环境中完成，任务书给出固定路线、标准数据和预期结果。学生能够完成程序运行并获得算法输出，却较少分析输出结果在井下或露天矿环境中是否可靠。面对粉尘造成的激光衰减、弱光造成的图像退化、振动造成的外参变化以及金属结构产生的电磁干扰，学生仍习惯沿用通用参数和单一传感器方案，缺少对探测范围、刷新频率、安装空间、防护条件和维护成本的综合考虑。矿山环境只是出现在案例名称中，尚未成为影响技术选择的实质性条件。

2.2 知识内容分散化，学科交叉融合不足

课程内容通常按照传感器、图像处理、目标识别、定位导航和信息融合等章节展开，各部分以独立实验结束，缺少围绕同一工程任务的接口联系。学生可能分别掌握相机成像、激光点云和惯性测量原理，却难以处理结构安装误差、电气接口差异、采样时间同步、坐标统一和算法参数之间的耦合关系。矿山机器人感知装置的结构布置会影响探测视场，供电和通信能力会限制采样频率，样本质量又会影响识别结果。若不以系统任务重新组织知识，跨学科内容只能并列出现，难以转化为综合设计能力。

2.3 实践内容偏验证，完整工程训练不足

部分实验给定程序框架、操作步骤和预期结果，考核重点是能否复现实验现象。学生较少经历工况调研、需求分解、指标定义、设备选型、数据采集、算法开发、系统联调、场景测试和迭代优化等环节，也缺少对异常数据、接口故障和性能退化的分析。验证性实验能够帮助学生理解局部知识，却难以呈现工程问题的开放性和约束冲突。当实际系统出现传感器丢帧、标定失效、误检或定位漂移时，学生往往不能依据数据和运行记录定位原因。

2.4 协同评价表层化，产业资源转化不足

现有校企合作多集中于参观、讲座和实践基地建设，企业工程师在课程任务开发、阶段指导和项目评价中的参与有限。科研项目和企业现场积累了工况数据、故障案例、技术规范和验收方法，但这些资源若未经脱敏、分层和教学化处理，难以直接进入本科课堂。课程考核仍以实验报告和最终演示为主，对需求合理性、方案变更、故障分析、团队分工及个人贡献缺少连续记录，产业要求与课程评价之间尚未形成稳定联系。

3 课程建设目标与内容体系重构

课程面向机器人工程专业本科生，以露天矿无人运输、井工矿巡检与辅助运输、矿山灾害探测等任务为背景，培养学生综合运用机械、电气、控制、通信和人工智能知识解决复杂环境感知问题的能力。课程不再按传感器种类或算法章节简单排列内容，而是依据“场景约束—感知任务—技术方案—系统实现—场景验证”的关系组织教学。针对第二章提出的四个问题，分别从矿山场景牵引、知识模块重组、三级实践递进和校企协同评价四个方面实施改革，课程内容体系如图1所示。

3.1 以矿山典型场景牵引课程内容

针对教学场景通用化问题，课程按照“应用场景—环境约束—感知任务—性能指标—技术方法”组织教学内容。露天矿无人运输任务重点考虑强光、扬尘、大范围定位和动态车辆交互；井工矿巡检与辅助运输任务重点考虑弱光、狭窄空间、无卫星定位信号、防爆和通信受限；灾害探测任务进一步考

虑未知环境、结构变形和信息不完整等情况。

项目开始时，学生需要形成场景约束清单，明确作业对象、空间尺度、目标速度、探测范围、允许误差、失效后果和安全边界。在此基础上开展传感器选型、安装设计和算法比较，使每项技术选择都能对应具体工况。

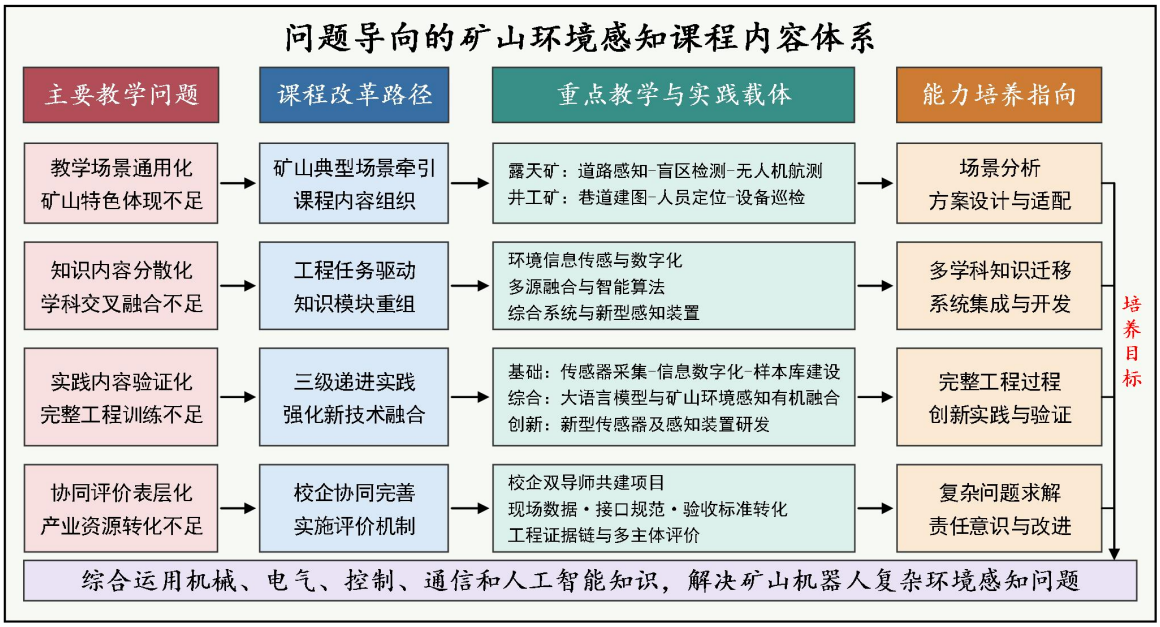

图 1 问题导向的矿山环境感知课程内容体系

3.2 以工程任务驱动知识模块重组

针对知识内容分散问题，将课程重组为三个相互衔接的教学模块。第一模块为环境信息传感与数字化，主要包括传感原理、接口接入、采样标定、时间同步、坐标转换、数据清洗、样本标注和样本库建设。学生不仅要获得传感数据，还要记录采集工况、设备参数、标定版本和质量等级，使数据能够被后续项目调用。

第二模块为多源信息融合与智能算法，围绕障碍识别、目标检测、定位建图、状态估计和环境理解组织教学。算法学习与矿山工况同步展开，重点分析不同传感信息的互补关系、融合条件和失效边界。学生需要比较单一传感方案与多源融合方案在弱光、粉尘、遮挡和振动条件下的性能差异。

第三模块为综合感知系统与新型传感装置，贯通结构安装、信号调理、嵌入式计算、通信接口、软件集成和场景测试。新型传感器研发从矿山现场需求出发，经过敏感机理分析、结构与电路设计、标定试验和环境适应性测试，形成可运行的传感装置或系统原型。三个模块围绕同一任务逐步展开，建立从环境信息获取、数据处理到系统验证的知识联系。

3.3 以三级递进实践强化新技术融合

课程设置基础实验、综合项目和创新实践三级任务。基础实验围绕传感器接入、标定、时间同步、格式转换和样本入库组织教学，形成统一的数据处理规范；综合项目以复杂巷道感知任务为载体，整合传感选型、信息融合、定位识别和系统联调；创新实践面向算法失效、装置适应性和新型传感需求，由学生提出改进方案并完成原型验证。三级任务分别对应数据规范、系统集成和开放创新，构成课程实践内容的基本结构。

大语言模型作为综合项目中的辅助分析工具，与传感器数据、矿山工况资料和故障样本库结合使用，可用于梳理现场任务、归纳试验日志、建立故障现象与可能原因之间的联系，并辅助形成检索线索[13]。

3.4 以校企协同转化矿山工程资源

课程从煤矿生产、装备研制和自动化控制等企业的工程项目中提取场景、数据与技术约束。校内教师依据课程目标、学时和实验条件划定任务边界，企业导师校核工况特征、设备要求和安全规范，共同形成课程任务书、脱敏数据集、工况约束清单和测试场景，使产业问题能够进入课堂教学。

工程项目按照“保留关键矛盾、控制任务规模、适配教学条件”的原则进行转化。企业数据经脱敏后进入课程样本库，周期较长的系统任务被拆分为可独立完成的感知子任务，井下高风险试验则转化为低照度、光学衰减、模拟障碍和通信异常等受控测试。经过转化的任务既保留矿山工况特征，又能够在课程周期内重复实施。

https://doi.org/10.68070/kjz54v93

4 卓越机器人工程师培养导向的育人体系

卓越机器人工程师培养不能简单依靠增加知识点或实验数量，而应使学生在约束条件下经历问题识别、方案比较、系统实现、场景验证和责任判断。矿山环境感知具有场景复杂、学科交叉和安全后果突出等特点，课程据此将能力结构、实践进阶、考核评价、工程伦理和持续改进纳入统一育人体系，如图2所示。

4.1 构建矿山机器人卓越工程师能力结构

结合卓越工程师跨学科培养和产教协同研究，课程将学生能力细化为专业知识运用、复杂问题分析、系统方案设计、实验研究与验证、工程工具使用、团队沟通协作、创新实践和工程伦理八个方面。每项能力均对应具体任务行为和交付材料。

复杂问题分析要求学生识别低照度、粉尘、振动和通信受限等冲突条件，并将现场需求转化为可测试指标；系统方案设计要求说明传感配置、安装位置、接口关系和失效补偿方法；实验研究与验证要求建立可重复的测试方案，分析误差来源和系统适用范围；工程伦理要求学生考虑误检、漏检和定位失效可能造成的安全后果。能力目标由抽象表述转化为可以在项目过程中观察和评价的工程行为。

图 2 卓越机器人工程师培养导向的矿山环境感知课程育人体系

4.2 建立全过程多主体评价机制

课程按照需求与工况分析、方案设计、数据与算法、集成联调、场景测试和总结验收六个阶段采集评价证据。评价不以最终演示代替能力判断，而是保存约束清单、方案版本、标定文件、原始数据、样本说明、程序记录、故障日志、测试结果和个人总结。

评价采用“阶段证据+多主体复核”方式。校内教师判断理论方法、实验设计和技术论证，企业导师依据现场约束复核场景适应性、安全性与维护条件，学生互评用于核验团队分工和个人贡献。项目未完全达到性能指标时，只要过程材料完整、故障判断有据且改进方案合理，仍可在问题分析、实验研究和工程设计维度获得相应评价；但涉及安全底线或数据真实性的问题不得以过程表现抵消。

4.3 强化完整工程过程中的能力进阶

三级实践均贯通需求分析、方案设计、系统实现、场景测试和迭代改进，但能力要求随任务开放度和决策责任逐级提升。基础实验由教师给定问题和技术路线，学生重点掌握规范测量、误差分析与数据说明；综合项目只给出场景目标和边界条件，学生需要完成技术选型、接口协调和多约束权衡；创新实践由学生从系统失效或性能瓶颈中定义问题，提出新方案并验证其适用范围。

能力进阶以可核验的工程行为为依据。基础阶段考察操作是否规范、数据是否可信；综合阶段考察方案论证、系统联调和故障闭环；创新阶段考察问题定义、技术增量、对比试验和边界说明。教师提供的操作支架逐级减少，学生对技术选择、试验结果和安全后果承担的责任逐级增加，评价重点由规范执行转向系统决策和开放创新。

4.4 贯通工程伦理、成果培育与持续改进

工程伦理融入项目决策和试验评价。危险区域探测、人员定位和灾害应急任务用于分析误检、漏检及定位失效的安全后果；系统设计同时考虑可靠性、成本、能耗、防护和可维护性；项目验收要求学生说明个人贡献、系统适用条件和性能边界。课程通过原始数据、参数记录和重复试验培养学生严谨、诚实和负责任的工程态度。

项目完成后，质量合格的数据、程序、算法模块和实验报告进入课程资源库，具有进一步改进价值的算法、传感装置和系统原型转入创新训练或学科竞赛。课程团队依据阶段评价、企业反馈和项目故障分布调整教学内容：标定和同步问题较多时增加基础实验训练，系统联调薄弱时增加接口测试，方案偏离现场需求时补充工况约束和工程规范，由此形成“评价—诊断—调整—再实施”的改进过程。

5 教学实施与三级实践案例分析

课程从学院实验条件、科研项目和学生创新实践中选取三个案例。案例分别对应数据规范、系统集成和创新设计三个能力层级，既保持矿山环境感知的任务特征，又控制项目规模和实施风险。

5.1 实施组织与证据采集

课程以项目小组为单位组织实施并归档材料。项目档案包括需求清单、方案评审表、原始数据、标定文件、程序版本、故障记录、重复测试结果和验收报告；个人材料包括分工记录、阶段贡献和答辩评价。小组成果与个人证据分别记录，用于核查任务完成质量和个人工程责任。

本研究按30人的标准教学班组织：5人一组，共6组。每组完成1项基础实验和1项综合项目，遴选2项进入创新实践。企业协同材料单独归档。每个综合项目配置1名矿方工程人员和1名装备研制或控制领域工程人员，在任务确定、方案评审和测试验收3个节点提出意见；归档内容包括脱敏巷道断面与坡度、传感器安装与通信约束、失联停车与障碍检测要求，以及评审纪要、方案修改记录和验收意见。

基础实验、综合项目和创新实践分别采用样本卡、系统测试表和原型评审表记录结果，所有材料标明版本、责任人和日期，以追踪方案调整、故障处理及测试结论。

5.2 基础实验：机器人多传感信息采集与数字化

基础实验以巷道近距离障碍和环境状态采集为背景，配置激光测距、视觉、超声、温湿度和惯性传感器。学生根据量程、精度、采样频率和接口条件完成接线与驱动，通过静态基准、重复测量和交叉对照开展标定。采集结果统一转换为包含时间、坐标系、设备编号和工况标签的数据记录，并按照数据完整性和测量质量建立样本卡。

实验不预设完全一致的处理结果，学生需要分析异常值、缺失帧和多传感器时间偏差的来源。评价重点不是接入传感器的数量，而是数据能否被解释、追溯和重复使用。仅提交处理后曲线而缺少原始记录，或者删除异常数据却不能说明原因，均不能认定完成实验任务。基础实验形成的标定文件和数字化样本进入课程样本库，为综合项目的算法训练、方案设计和系统测试提供数据基础。

5.3 综合项目：复杂巷道辅助运输机器人环境感知

综合项目取材于学院承担的“复杂地质条件煤矿辅助运输机器人”项目。该项目面向小断面、多变坡和多弯道等工况，研究井下辅助运输车辆导航定位、无人驾驶以及人员和物资调度等问题，形成了电机车运输机器人、单轨吊运输机器人和自动化转载机器人等装备[14]。课程不直接照搬科研项目，而是将其缩减为“受限巷道内障碍识别与定位”任务，保留弱光、粉尘、遮挡、动态障碍和通信受限等关键条件。

案例依据小断面、多变坡和多弯道工况，将任务限定为受限巷道内障碍识别与定位；针对单目视觉在弱光和粉尘下可靠性不足，将其调整为激光雷达与惯性里程计构成主感知链、视觉辅助分类的融合方案；验收时增加通信中断停车或降级、重复识别和定位漂移检查，并形成任务书、评审表和验收表。

项目将矿山工况参数化：照度设为5、20、80和200lx；粉尘以光学透过率表征，设置100%、80%、60%和40%四级；障碍物采用300mm × 300mm × 500mm低反射矩形目标和直径200 mm圆柱目标，测试距离2～8m，动态速度0.3m/s；通信异常设置5%和15%丢包、300ms时延及2s中断。验收要求识别率不低于90%，定位均方根误差不大于0.20m，单帧处理时间不超过100ms，安全停车或降级响应时间不超过3s，每种工况重复5次。

模拟粉尘优先采用光学衰减片，雾化试验须在封闭装置内使用非可燃介质；移动平台限速0.5 m/s，并设置隔离区和独立急停；接线、启停和异常工况切换由教师确认。

据此，学生的工程决策不再停留在算法选择，而要同时说明精度、实时性、成本、防护和维护之间的权衡，并用测试结果界定方案的适用范围。科研项目提供问题与工况来源，企业协同记录证明现场要求如何进入课程，受控测试则限定教学验证的证据边界。

5.4 创新实践：矿山感知装备优化与竞赛转化

创新实践从综合项目暴露的感知盲区、噪声敏感、定位漂移和装置适应性问题中选题。学生可选择低照度图像增强、粉尘条件下多源信息融合、抗振安装结构等方向，也可围绕矿用钢丝绳缺陷检测、灾害探测和狭窄空间定位研制新型传感器或感知装置。项目依次开展需求论证、原理分析、结构与电路设计、样机制作、标定试验、性能比较和失

https://doi.org/10.68070/kjz54v93

效分析，形成样机、测试报告和项目答辩材料。

学院已形成由课程项目、创新训练和学科竞赛衔接的实践平台。中国工程机器人大赛设置机械设计、电子电路和程序控制等综合任务，2025年共有50支队伍、全校近150名学生参加[15]。竞赛在课程体系中的作用不是替代教学评价，而是为具有潜力的项目提供更复杂的任务条件和更长的迭代周期。

该案例推动学生由解决既定问题转向发现和定义问题。学生需要说明改进对象的工程价值、原有方案的失效条件、所提方法带来的性能变化以及可能产生的新风险。企业导师和科研团队从应用价值、工程边界和实施条件提出意见，校内教师从原理、试验和论证完整性进行评价，使创新建立在真实问题、技术改进和可靠试验的基础上。

5.5 实施成效与后续评价

三个案例形成由数据规范、系统集成到创新设计的连续实践链。基础实验产出可追溯的样本和标定记录，综合项目形成跨模块方案、联调日志和场景测试报告，创新实践形成感知装置、对比试验和成果答辩。

现阶段的案例分析能够说明课程任务如何实施以及工程能力证据如何形成，但用于判断改革对学生能力提升的长期影响仍有欠缺。后续教学将采用统一评价标准，连续记录项目完成质量、故障闭环情况、样本库复用情况、学生自评和企业导师评价，并在任务难度基本一致的条件下开展不同教学周期的比较，为课程持续改进提供依据。

6 结语

面向矿山环境感知的课程改革以真实工况和机器人作业任务为组织主线，将分散的传感、算法和系统知识转化为连续工程任务，并通过基础实验、综合项目和创新实践推动学生能力逐级发展。三个案例说明，实验平台、科研项目和竞赛资源经过任务缩减、数据脱敏和教学化处理后，可以分别服务于数据规范训练、系统集成训练和创新设计训练。全过程评价进一步记录需求分析、方案设计、系统实现、场景验证、工程伦理和个人贡献，使卓越机器人工程师培养落实到具体任务与可核查的工程证据之中。后续还需在保持项目难度和评价标准基本一致的条件下，连续积累课程实施数据，进一步检验改革效果。

参考文献

[1] 杨春雨, 张鑫. 煤矿机器人环境感知与路径规划关键技术[J]. 煤炭学报, 2022, 47(7): 2844-2872.
[2] 葛世荣, 胡而已, 李允旺. 煤矿机器人技术新进展及新方向[J]. 煤炭学报, 2023, 48(1): 54-73.
[3] 杨静宜, 赵莉娅, 梁月肖. 基于机器视觉的矿用巡检机器人环境感知研究[J]. 煤炭技术, 2023, 42(9): 227-229.
[4] 武星, 薛萍萍, 傅玉灿, 等. 机器人环境感知类产教融合实践课程改革探索研究[J]. 工业和信息化教育, 2025(5): 57-63.
[5] 李辉, 陈赵丫, 徐斌, 娄燕. 以工程实践和能力培养为导向的"移动机器人学"课程教学改革研究[J]. 科技风, 2025(9): 111-113.
[6] 李晗, 明洋, 傅攀峰, 等. 产教融合背景下实践类课程教学改革与实践[J]. 中国现代教育装备, 2026(17): 152-154.
[7] 宋黎明. 新工科视域下机器人工程专业实践教学研究与实践[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报, 2023, 22(4): 50-54.
[8] 李志军, 杜丽, 张文祥. 新工科背景下机器人工程专业人才实践创新能力培养模式探索[J]. 黑龙江教育(理论与实践), 2024(10): 37-40.
[9] 李铭, 王明伟, 崔琦, 等. 一流课程视域下实践教学课程改革的研究与实践[J]. 实验科学与技术, 2026, 24(2): 81-87.
[10] 胡蔓, 赵云龙, 栾晓娜, 等. 新工科背景下工程训练实践教学模式探索[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(3): 256-259.
[11] 徐守坤, 莫琦, 黄雪梅. 卓越工程师跨界融合培养的问题、路径与策略[J]. 江苏高教, 2025(1): 81-88.
[12] 张婷婷, 李冲. 关系与路径: 产教融合培养卓越工程师的行动逻辑研究[J]. 中国高教研究, 2023(5): 48-54.
[13] 唐琳, 张佳鑫, 徐照光. 大语言模型在计算机编程实践课程教学中的应用[J]. 计算机教育, 2025(2): 97-101, 106.
[14] 中国矿业大学机电工程学院. 国家重点研发计划"复杂地质条件煤矿辅助运输机器人"项目综合绩效评价会召开[EB/OL]. (2024-07-09)[2026-10-09]. https://cmee.cumt.edu.cn/info/1072/9425.htm.
[15] 中国矿业大学机电工程学院. 点燃科技引擎 智造未来先锋--机电工程学院成功举办中国工程机器人大赛暨国际公开赛校赛[EB/OL]. (2025-07-27)[2026-10-09]. https://cmee.cumt.edu.cn/info/1169/10051.htm.

Reform and Practice of Industry – Education Integration in a Mine Environmental Perception Course for Training Outstanding Robotics Engineers

Fan Mengbao*, Sun Fengshan, Liu Wanli, Li Menggang

School of Mechatronic Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116

Abstract: To address the insufficient integration of mining scenarios, weak connections among knowledge modules, an excessive emphasis on result verification in practical training, and limited university-industry collaboration in robot environmental perception courses, an industry-education integrated curriculum system was developed for the cultivation of outstanding robotics engineers. Organized around representative mining tasks, the course restructures its content into three modules: environmental sensing and data digitization, multisource information fusion and intelligent algorithms, and integrated perception systems and novel sensing devices. A progressive practical training system comprising basic experiments, comprehensive projects, and innovative practice was established. Each level covers requirements analysis, solution design, system implementation, scenario-based testing, and iterative improvement. Project briefs, raw data, calibration files, program versions, fault logs, and test reports are used to document students' engineering decisions. Three cases involving multisensor data acquisition and digitization, environmental perception for auxiliary transportation robots in complex mine roadways, and the optimization and competition-oriented development of mining perception equipment demonstrate the progression from standardized experiments to system integration and open-ended innovation. By incorporating mining constraints, interdisciplinary knowledge, engineering ethics, and innovative practice into a continuous teaching process, the curriculum provides a practical approach for mining-oriented universities to cultivate robotics engineers capable of analyzing complex engineering problems, designing integrated systems, and conducting field-based validation.

Keywords: environmental perception; mining robots; industry–education integration; training of outstanding robotics engineers

https://doi.org/10.68070/kjz54v93