

基于项目群的机器人智能导航实验教学设计

蔡嘉欣, 涂庆*, 文峰, 张亚菲

成都工业学院机械工程学院, 四川 成都

收稿日期: 2026年3月9日; 录用日期: 2026年4月10日; 发布日期: 2026年4月20日

摘要

随着人工智能、机器视觉与移动机器人技术的发展, 机器人智能导航实验教学的重要性日益突出。针对当前教学中存在的实验内容衔接不够紧密、学生难以形成系统认知与综合应用能力等问题, 本文提出了基于项目群的机器人智能导航实验教学设计。依托二轮差速移动机器人实验平台, 构建集嵌入式控制、视觉感知、激光雷达测距与ROS2导航环境于一体的实验系统, 并设置机器人硬件平台构建与运动控制、视觉AI感知与仿真验证以及机器人导航与路径规划三个递进式实验项目。该设计将底盘运动控制、障碍物识别、环境感知、路径规划与避障等内容有机融合, 有助于提升学生的系统认知、工程实践与综合应用能力, 对机器人课程实验教学改革具有参考价值。

关键词

项目群, 智能导航, 实验教学设计, ROS2

Project-Group-Based Experimental Teaching Design for Intelligent Robot Navigation

Jiaxin Cai, Qing Tu*, Feng Wen, Yafei Zhang

School of Mechanical Engineering, Chengdu Technological University, Chengdu Sichuan

Received: March 9, 2026; accepted: April 10, 2026; published: April 20, 2026

Abstract

With the development of artificial intelligence, machine vision, and mobile robotics, the importance of experimental teaching for intelligent robot navigation has become increasingly prominent. To address current problems in teaching, such as insufficient coherence among experimental contents and students' difficulty in developing systematic understanding and comprehensive application abilities, this paper proposes a project-group-based experimental teaching design for intelligent robot navigation. Relying

*通讯作者。

on a two-wheeled differential mobile robot platform, an experimental system integrating embedded control, visual perception, LiDAR ranging, and a ROS2 navigation environment is constructed. On this basis, three progressive experimental projects are designed, namely robot hardware platform construction and motion control, visual AI perception and simulation verification, and robot navigation and path planning. This design organically integrates chassis motion control, obstacle recognition, environmental perception, path planning, and obstacle avoidance, which helps improve students' systematic understanding, engineering practice ability, and comprehensive application capability, and provides a useful reference for the reform of robotics-related experimental teaching.

Keywords

Project Group, Intelligent Navigation, Experimental Teaching Design, ROS2

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着人工智能、机器视觉与自主移动机器人技术的深度融合，智能机器人的应用逐渐从工业环境扩展到智慧物流、服务配送、应急救援、智能家居等领域，成为推动智能制造与智慧生活升级的重要技术。为加快人工智能与制造业深度融合、打造新质生产力、赋能新型工业化，工业和信息化部等八部门于2025年12月印发《“人工智能+制造”专项行动实施意见》[1]，从政策层面为相关技术研发与应用推广提供了支持。

对于高校而言，加快将人工智能技术(Artificial Intelligence, AI)与机器人技术融入课程教学，通过实践、实验等方式促进学生工程实践能力提升，是当前教学改革的重要方向[2]-[4]。王尔申[5]等围绕室内智能小车设计了基于视觉/惯导组合的教学实验，胡亚辉等[6]提出了多机器人协作式建图教学实验方案，徐哲壮等[6]构建了四足机器人目标检测与抓取实验系统。上述研究在场景构建和任务实现方面具有较强实践性，但从整体上看，对实验内容之间的知识衔接、能力递进和系统集成训练关注仍相对不足。此外，受技术快速迭代和实验条件限制，部分实验设备仍存在占地较大、新设备价格昂贵以及人均套数不足等问题，进一步导致学生难以构建机器人智能导航应用的系统认知，实验学习往往停留在单点验证层面，难以形成面向工程任务的综合能力。

为应对行业对复合型人才的需求，并实现AI在机器人实验教学中的覆盖与深度融合，本文以机器人智能导航实验教学为目标，提出了基于项目群的递进式的机器人智能导航实验教学设计。项目群教学设计围绕机器人智能导航这一目标，对多个实验项目进行层次化组织，使学生在持续的问题情境中逐步完成知识建构与能力迁移。这与建构主义学习理论所强调的情境化学习、主动建构和渐进提升相契合[7]。该教学设计围绕执行控制、智能感知和导航规划三个层次展开，通过项目化实验提升学生的系统集成与综合应用能力。

2. 整体结构及软件环境

为支撑机器人智能导航实验教学，构建了由硬件平台与软件环境组成的实验系统。硬件平台以二轮差速移动机器人为实验载体，集成运动控制、视觉感知和激光雷达测距等功能；软件环境围绕嵌入式控制开发、视觉AI感知、ROS2导航与仿真验证等教学需求进行配置，共同形成支撑实验教学实施的软硬

件基础条件。

2.1. 硬件系统结构

本实验搭建的机器人智能导航实验平台结构如图 1 所示。实验平台以移动底盘为核心，结合视觉与激光雷达等感知模块，构成机器人智能导航实验的硬件基础。移动底盘采用二轮差速驱动方案，主体为轻量化矩形框架结构，具有 2 个驱动轮作为动力输出部件，并搭配 1 个万向轮作为支撑轮，以保证底盘运动的稳定性与转向灵活性。底盘内部集成 ESP32 微控制器、直流电机、电机驱动器及电池等模块，用于完成运动控制与底盘状态管理。为适应智能导航与避障实验需求，平台可接入视觉摄像头、激光雷达等环境感知传感器，从而满足运动控制、环境感知与数据通信等实验要求。

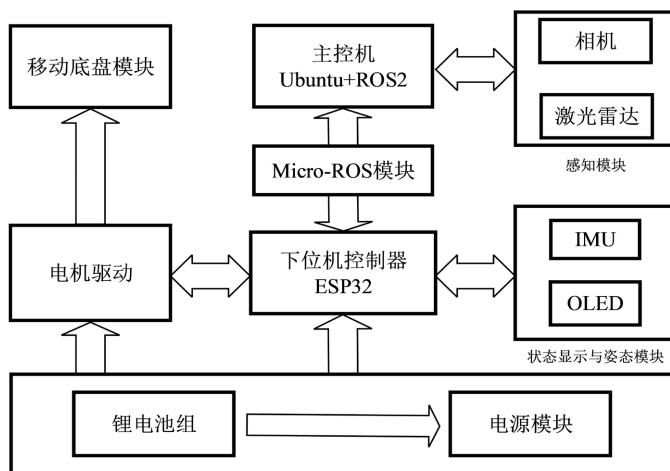


Figure 1. Hardware structure of the intelligent robot navigation experimental platform
图 1. 机器人智能导航实验平台硬件结构图

机器人智能导航实验平台实物如图 2 所示。平台采用主机端与嵌入式端分层控制方式，主机端承担感知处理、导航规划与运行管理等任务，嵌入式端负责底盘运动控制与状态信息回传。视觉传感器主要用于采集测试场地中的图像信息；激光雷达主要用于环境测距、障碍探测及导航过程中的环境信息更新。整体结构采用标准化与模块化的接口组织方式，执行层向上提供统一的速度控制接口，感知层向上提供结构化环境信息，决策层完成路径规划与导航控制，从而保证系统具备较好的扩展性与复用性。



Figure 2. Photograph of the intelligent robot navigation experimental platform
图 2. 机器人智能导航实验平台实物图

2.2. 软件环境

为满足机器人智能导航实验教学对底层控制、视觉感知、导航决策与仿真验证的需求，本实验系统构建了由嵌入式开发环境、主机端 AI 感知环境、ROS2 导航环境以及仿真可视化环境组成的软件体系。软件环境与硬件平台相互配合，共同支撑机器人运动控制、障碍物识别、路径规划与系统联调等实验任务的实施，其软件组成与数据流关系如图 3 所示。

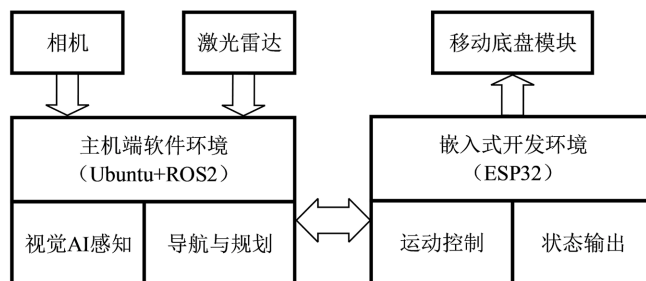


Figure 3. Software environment and data flow of the intelligent robot navigation experiment
图 3. 机器人智能导航实验软件环境及数据流关系

在嵌入式端，系统以 ESP32 为核心控制单元，主要完成底盘运动控制程序的开发与调试，包括速度指令解析、差速控制、基础动作执行以及状态信息输出等内容。嵌入式开发环境采用 VSCode 与 PlatformIO，便于实现程序编译、下载、调试与功能扩展，从而为机器人底层控制提供软件支撑。

在主机端，系统基于 Ubuntu 操作系统搭建 ROS2 运行环境，用于实现机器人节点通信、传感数据处理、导航设置以及实验过程管理。同时，主机端具有视觉 AI 开发环境，完成图像数据采集、样本整理、数据标注、模型训练、推理验证及识别结果输出。考虑到实验教学的稳定性与可操作性，视觉 AI 推理主要在主机端完成，以便开展模型调试、参数分析和结果可视化，并降低端侧部署对硬件性能和开发复杂度的要求。

在导航与仿真方面，系统包含 ROS2 导航功能包、RViz2 和 Gazebo 等软件工具，用于完成地图构建、路径规划、运行状态显示与仿真验证[8][9]。激光雷达数据作为环境几何信息输入，为机器人建图、定位和局部避障提供支撑；视觉 AI 输出的障碍识别结果则以结构化形式传递给导航模块，用于辅助动态障碍识别与路径决策。通过 RViz2 可实时显示机器人位姿、全局路径、局部路径及传感器信息，便于观察系统运行状态；通过 Gazebo 进行仿真测试，有助于在实物实验前完成关键参数验证与流程预演。

3. 基于项目群的实验教学设计

Table 1. Content and capability objectives of the project group experiment

表 1. 项目群实验内容与能力目标

| 序号 | 实验名称 | 主要教学内容 | 主要能力目标 |
|------|------------------|---|--|
| 实验 1 | 机器人硬件平台构建与运动控制实验 | 底盘硬件构建、嵌入式控制开发、差速运动控制、基础动作实现与调试 | 掌握机器人底盘构成与运动控制基本原理，具备嵌入式程序开发、运动控制实现与硬件调试能力 |
| 实验 2 | 视觉 AI 感知与仿真验证实验 | 图像采集与数据整理、障碍物识别模型训练、主机端推理验证、仿真场景测试与结果分析 | 掌握视觉 AI 感知基本流程，具备图像数据处理、模型训练与推理验证能力 |
| 实验 3 | 机器人导航与路径规划实验 | 激光雷达环境感知、ROS2 导航设置、路径规划与避障、系统联调与综合验证 | 掌握机器人导航与路径规划方法，具备多模块集成、系统联调与综合应用能力 |

在上述实验系统基础上，围绕机器人智能导航相关内容开展实验教学设计。结合教学内容组织与能力

培养要求,实验教学设置机器人硬件平台构建与运动控制实验、视觉 AI 感知与仿真验证实验以及机器人导航与路径规划实验三个项目。三个实验在内容上相互衔接,在层次上逐步递进,其内容安排如表 1 所示。

3.1. 机器人硬件平台构建与运动控制实验

机器人硬件平台构建与运动控制实验是项目群实验的基础环节,主要面向机器人执行层能力培养。该实验以二轮差速移动机器人对象,使学生在完成底盘构建、硬件连接与嵌入式控制程序开发的过程中,掌握机器人底层执行系统的组成方式与运动控制实现方法,为后续视觉 AI 感知与导航规划实验提供稳定的运行基础。

本实验主要包括硬件构建、控制程序开发、差速运动控制实现以及系统联调四个部分。首先,学生需要熟悉机器人底盘的组成结构,完成控制器、电机驱动器、电机、电源以及相关接口的连接与检查,并对各模块的工作状态进行测试。其次,在嵌入式开发环境下完成底盘运动控制程序编写,实现速度指令解析、差速控制逻辑设计以及底盘基本动作控制。随后,通过对不同运动模式的调试与验证,使学生掌握机器人前进、后退、转向和原地旋转等基本控制方法,并理解线速度与角速度在差速底盘中的实现过程。最后,将嵌入式端与主机端连接,完成速度指令下发与状态信息输出验证,形成稳定的运动执行基础。

在实验实施过程中,学生按照硬件搭建、程序编写、动作调试和系统联调的顺序逐步完成实验任务,并在测试与参数修正中理解底盘结构、控制程序与运动行为之间的对应关系。实验完成后,学生应能够独立完成机器人底盘的规范搭建与基本联调,编写并下载底盘运动控制程序,实现机器人在给定控制指令下的直行、转向和停止等基本动作,并能够对调试过程中出现的问题进行分析与修正。通过该实验,学生能够建立对机器人执行层的基本认知,掌握嵌入式控制程序开发与底盘运动控制的基本方法,同时为后续视觉 AI 感知与导航规划实验提供统一的运动控制基础。

3.2. 视觉 AI 感知与仿真验证实验

视觉 AI 感知与仿真验证实验是项目群实验的第二个环节,主要面向机器人智能感知层能力培养。该实验以前一实验形成的运动执行基础为支撑,围绕测试场地中的障碍物识别任务开展教学,使学生掌握从图像采集、数据整理到模型训练、推理验证的基本过程,并理解视觉感知在机器人智能导航系统中的作用。

本实验主要包括图像数据采集与整理、障碍物识别模型训练、主机端推理验证以及仿真测试四个部分。首先,学生需要在测试场地内完成障碍物图像采集,并对图像数据进行筛选、分类和标注,形成后续模型训练所需的数据集。其次,在主机端视觉 AI 开发环境下开展模型训练与参数调整,使学生掌握图像样本预处理、模型构建、训练迭代及结果分析等基本方法。随后,利用训练完成的模型进行推理验证,输出障碍物识别结果,并观察模型在不同样本条件下的识别效果。最后,结合仿真环境对识别结果进行测试与验证,分析其在实验场景中的适用性,并为后续导航决策提供辅助感知信息。

在实验实施过程中,学生按照图像采集、数据整理、模型训练、推理验证和仿真测试的顺序逐步完成实验任务,并通过对不同训练参数和测试结果的分析,理解视觉感知算法的基本流程及其性能差异。实验完成后,学生应能够独立完成障碍物图像数据采集与整理,构建并训练基本的视觉识别模型,完成主机端推理验证,并对识别结果进行分析与评估。通过该实验,学生能够掌握视觉 AI 感知的基本方法,建立从样本获取到模型输出的完整认识,同时为后续机器人导航与路径规划实验提供必要的感知信息基础。

3.3. 机器人导航与路径规划实验

机器人导航与路径规划实验是项目群实验的综合环节,主要面向机器人导航规划层能力培养。该实

验以前两项实验形成的运动执行基础和障碍物识别结果为支撑,围绕测试场地中的自主导航任务开展教学,使学生掌握机器人导航系统的基本组成、路径规划方法以及避障过程,进一步理解机器人智能导航系统中感知、规划与控制之间的协同关系。

本实验主要包括环境感知与地图构建、导航功能设置、路径规划实现、避障验证以及系统联调五个部分。首先,学生需要结合激光雷达获取测试场地中的环境信息,完成基础地图构建,并理解环境信息在导航系统中的作用。其次,在 ROS2 导航环境中完成相关功能设置,使机器人具备基础导航能力,并建立路径规划、位姿估计与控制输出之间的对应关系。随后,在给定起点和目标点条件下完成路径规划任务,观察机器人在测试场地中的导航过程,并分析路径规划结果与避障过程。在此基础上,将前一实验得到的障碍物识别结果作为辅助信息引入导航系统,对路径调整与避障行为进行验证。最后,通过系统联调与参数优化,完成机器人在测试场地中的自主导航与路径规划任务。实验过程中的测试场景与路径规划结果如图 4 所示。

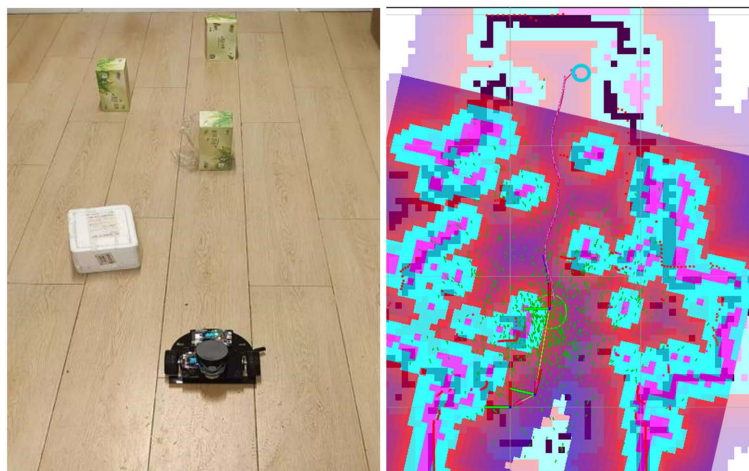


Figure 4. Test scenario and path planning results

图 4. 测试场景及路径规划结果

在实验实施过程中,学生按照环境感知、导航设置、路径规划、避障和系统联调的顺序逐步完成实验任务,并通过对运行过程、路径变化和障碍物处理结果的观察,理解导航规划模块的工作机理及其与感知模块之间的关系。实验完成后,学生应能够独立完成机器人导航环境配置,理解路径规划与避障的基本过程,完成测试场地中的自主导航任务,并对导航过程中出现的问题进行分析与调整。通过该实验,学生能够建立对机器人智能导航系统的整体认识,掌握从环境感知到路径规划再到运动控制的基本流程,并形成面向综合应用的系统联调与分析能力。

3.4. 教学组织实施与评价方式

本项目群实验教学以一学期为实施周期,围绕机器人智能导航能力培养目标,按照基础控制、智能感知和综合导航三个层次分阶段推进。学生以 3~4 人为一组,根据实验任务分工承担硬件搭建、程序开发、视觉感知、导航配置、测试记录等不同工作,并在小组协作基础上逐步完成各阶段实验内容。

在教学组织上,采用教师讲授引导、阶段指导、学生分组实施与阶段达成评价相结合的方式开展。讲授环节主要围绕关键知识和实验任务要求展开,包括底盘控制原理、视觉 AI 感知流程、ROS2 导航配置方法及各阶段实验目标,使学生明确各实验项目之间的逻辑关系。指导环节贯穿于学生分组实施全过程,针对硬件连接、程序调试、模型训练、导航参数整定及系统联调中出现的共性问题 and 关键难点进

行阶段性辅导,并通过任务检查及时纠正偏差。评价环节则以阶段达成情况为依据,不仅考察学生是否完成实验任务,还关注其在任务分工、实验过程、结果质量和问题分析中的具体表现。

教学安排上,前期重点完成机器人硬件平台构建与运动控制实验,中期开展视觉 AI 感知与仿真验证实验,后期进入机器人导航与路径规划实验。学生在每一阶段结束后均需提交相应成果,教师根据阶段达成情况进行检查评分,并提出改进意见,学生再据此进行调整与完善。该教学组织方式既体现了教师在实验教学中的讲授、指导和评价作用,也突出了学生在项目推进过程中的自主学习与持续改进。各阶段考核根据任务完成情况、实验结果质量和小组协作表现进行综合评分,具体评分标准如表 2 所示。

Table 2. Targe-based evaluation criteria for project-group experimental teaching
表 2. 项目群实验教学分阶段评价标准

| 考核任务 | 优(90~100) | 良(75~89) | 合格(60~74) | 不合格(<60) | 比例 |
|----------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----|
| 机器人硬件平台构建与运动控制 | 分工明确,搭建规范,程序稳定,基本动作完成良好 | 分工较明确,搭建与调试基本完成,主要动作可实现 | 分工一般,搭建或调试存在问题,仅能部分实现基本动作 | 协作较差,搭建或调试问题明显,难以完成基本动作 | 30% |
| 视觉 AI 感知与仿真验证 | 数据采集与训练过程完整,识别结果稳定,分析较充分 | 数据采集与训练基本完成,识别结果基本满足要求 | 数据采集或训练不够完整,识别效果一般,分析不足 | 数据采集或训练完成度低,识别结果较差,缺乏有效分析 | 30% |
| 机器人导航与路径规划 | 地图构建、导航配置和路径规划完成良好,自主导航稳定 | 地图构建、导航配置和路径规划基本完成,自主导航基本正常 | 地图构建或路径规划存在问题,自主导航效果一般 | 导航配置或路径规划问题明显,难以实现有效自主导航 | 30% |
| 成果汇报与总结反思 | 汇报清晰,报告规范,总结完整,改进分析较充分 | 汇报和报告较完整,能够进行基本总结 | 汇报和报告较简单,总结不够完整 | 汇报和报告内容较少,缺乏有效总结与反思 | 10% |

4. 总结

本文面向机器人智能导航实验教学,提出了基于项目群的实验教学设计方案。通过设置机器人硬件平台构建与运动控制实验、视觉 AI 感知与仿真验证实验以及机器人导航与路径规划实验三个项目,形成了由基础控制到综合应用的递进式实验体系。与单个独立的实验任务相比,该设计更加注重实验内容之间的知识衔接、任务难度的层次递进以及系统集成能力的持续培养,能够较好地支撑机器人智能导航相关教学内容的组织实施,并有助于提升学生的实践能力与综合应用能力。该项目群设计思路对机械电子、机器人、自动化等相关专业的复杂工程系统实验教学具有一定借鉴意义。

基金项目

成都工业院校级创新性实验项目“AI 驱动机器人视觉导航与动态路径规划创新实验”;2025 年成都工业学院课程思政教学研究中心立项项目(KCSZ202510);成都工业学院教学改革与质量提升工程项目(2025QNJG043);成都工业学院课程思政示范课程项目(2025KCSZ017);成都工业学院人才项目(2023RC042)。

参考文献

- [1] 工业和信息化部. 工业和信息化部等八部门关于印发《“人工智能 + 制造”专项行动实施意见》的通知[EB/OL]. https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2026/art_01010414608a4226b30687773bb21bdf.html, 2026-01-07.
- [2] 王莉,陆承涛,陈晨子,等. 新质生产力下“AI + 机器人”跨学科教学实验开发[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2025, 39(2): 115-121.

- [3] 袁林江, 戚豪俊, 郑洁, 等. 基于虚实结合的工业机器人实验教学探索与实践[J]. 实验室科学, 2024, 27(1): 120-123.
- [4] 宋静. 新工科背景下嵌入式系统设计课程实践教学改革探索[J]. 长春师范大学学报, 2025, 44(2): 129-133.
- [5] 王尔申, 于浩楠, 徐嵩, 等. 基于视觉/惯导组合的室内智能小车系统教学实验设计[J]. 工业和信息化教育, 2024(8): 42-45.
- [6] 胡亚辉, 华浩, 邓天存, 等. 多机器人协作式建图教学实验方案设计[J]. 实验技术与管理, 2026, 43(1): 251-258.
- [7] 邹全乐, 刘莹, 陈结, 等. 建构主义理论导向下的安全评价虚拟仿真实验教学设计和实践[J]. 科技风, 2026(4): 19-21.
- [8] 韩慧鹏, 刘斌, 张力, 等. 基于 ROS2 的图书馆室内移动导航机器人仿真[J]. 信息与电脑, 2026, 38(4): 52-54.
- [9] 陈立邦, 杜歆桐, 张波, 等. 基于 ROS2 的稻麦轮作农田智能路径规划与自动导航系统[J]. 农机化研究, 2026, 48(3): 145-153.