

# 面向智能制造卓越人才培养的机器人 实验教学课程建设



杨志杰, 刘超群\*, 魏翼鹰, 蔡兰兰, 王磊, 黎章杰

武汉理工大学机电工程学院, 湖北武汉 430070

**摘要:** 随着科技的不断进步, 智能制造已成为工业发展的主要方向之一, 为其培养卓越人才也成为了相关高校必须完成的历史使命。机器人作为实现智能制造的重要基础, 其学习与应用自然成为了智能制造卓越人才培养的关键一环, 在理论学习的基础上, 做好机器人实验教学课程建设才能真正培养出具备实际应用能力的卓越人才。本文以“自主导航与避障移动机器人系统设计实验”的建设情况为例进行了分析, 应该如何构建以学生为中心、以兴趣为导向、以实践为基础、以育人为目标的虚实结合、层次递进的机器人实验教学课程。该实验课程依托科研项目、围绕学生中心、面向教学需求进行建设, 包含机器人自主定位导航、自主路径规划、全覆盖路径规划等内容, 其实验内容、教学方法和理念设计均可应用于同类实验课程的建设中, 极具推广应用价值。

**关键词:** 智能制造; 移动机器人; 自主导航; 虚拟仿真; 实验教学; 课程建设

**DOI:** [10.57237/j.edu.2022.01.012](https://doi.org/10.57237/j.edu.2022.01.012)

## The Construction of Robot Experiment Teaching Course for the Cultivation of Outstanding Talents in Intelligent Manufacturing

Yang Zhijie, Liu Chaoqun\*, Wei Yiyong, Cai Lanlan, Wang Lei, Li Zhangjie

School of Mechanical & Electrical Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

**Abstract:** With the continuous progress of science and technology, intelligent manufacturing has become one of the main directions of industrial development, and training outstanding talents for it has become a historical mission that relevant universities must complete. As an important basis for realizing intelligent manufacturing, robot learning and application naturally become a key link in the cultivation of outstanding talents in intelligent manufacturing. On the basis of theoretical learning, the construction of robot experimental teaching courses can truly cultivate outstanding talents with practical application ability. This paper takes the construction of "Autonomous Navigation and Obstacle Avoiding Mobile Robot System Design Experiment" as an example to analyze how to build a student centered, interest oriented,

基金项目: 教育部新工科研究与实践项目“面向三大行业人才培养新需求的多域协同实践创新平台建设与实践”(E-XTYR20200643); 2022年第二批教育部产学研合作协同育人项目“面向智能制造的机器人实验实践条件建设”、武汉理工大学教学改革研究项目“智能制造卓越人才“两翼四驱一纽带”实践创新能力培养体系研究(2022094)”、武汉理工大学教学改革研究项目虚实相融的开放式实验教学模式研究——以“基于机器人平台的实验教学”为例(2022098)

\*通信作者: 刘超群, [liucq@whut.edu.cn](mailto:liucq@whut.edu.cn)

收稿日期: 2022-9-30; 接受日期: 2022-11-4; 在线出版日期: 2022-11-23

<http://www.educationrd.com>

practice based, and education oriented robot experiment teaching course that combines reality with fiction. This experimental course is based on scientific research projects, built around the student center, and oriented to teaching needs. It includes robot autonomous positioning and navigation, autonomous path planning, full coverage path planning, etc. Its experimental content, teaching methods, and concept design can be applied to the construction of similar experimental courses, with great promotion and application value.

**Keywords:** Intelligent Manufacturing; Mobile Robot; Autonomous Navigation; Virtual Simulation; Experimental Teaching; Curriculum Construction

## 1 引言

科学技术的快速发展促使制造业逐步进入智能制造时代，机器人作为实现智能制造的重要基础比以往更加受到国家、社会和企业的重视，智能机器人产业迎来了蓬勃发展[1-3]。机器人被誉为“制造业皇冠顶端的明珠”，是智能制造和产业转型升级的重要载体，其研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志[4-5]。随着扫地机器人、无人驾驶、无人机相关技术的迅速发展及普及，国家对于智能型机器人领域给予了很大的政策支持[6]。当前，机器人产业蓬勃发展，正极大改变着人类生产和生活方式，为经济社会发展注入强劲动能[7]。掌握机器人相关技术，拥有良好软硬件能力的卓越人才培养成为了十分重要且紧迫的教育需求[8]。

培养智能制造卓越人才首先要做好相关课程的建设工作[9-10]，本文以自建课程“自主导航与避障移动机器人系统设计实验”为例，开展面向智能制造卓越人才培养的机器人实验教学课程建设研究。该实验课程面向对机器人和计算机有一定了解的机械、自动化、计算机、电气等相关专业的大三、大四学生开设。其紧跟科技发展趋势，以自主导航与避障移动机器人系统设计这一科研项目为基础改进完善而成。能够帮助学生了解学习当今社会和国家科技发展趋势，同时掌握相关技术的理论知识和应用能力。建设了以学生为中心、以兴趣为导向、以实践为基础、以育人为目标、面向智能制造卓越人才培养的机器人实验教学课程。

## 2 面向智能制造卓越人才培养的机器人实验教学设计思路

作为面向智能制造卓越人才培养的机器人实验教学课程，“自主导航与避障移动机器人系统设计实验”

是一门依托科研项目、围绕学生中心、面向教学需求的独立设课实验。该实验课程以多学科交叉融合为基础，以工业级传感器和优化算法为载体，以实现初级自动驾驶功能为目标，构建了新颖完善的自主导航与避障移动机器人系统设计实验教学内容。实验教学设计虚实结合、由简入难、循序渐进，实验教学过程基于项目需求、面向实践能力、培养创新意识，实验教学方法科学合理、注重实用，实验教学体系严谨完善、宜教宜学，具有极高的推广应用价值。

国内传统机器人教学手段由于教学设计不合理、教学方法不科学、实验平台不完善等原因，导致教学过程枯燥无味，学生学习兴趣不足、学习动力匮乏的问题一直存在[11-12]。机器人实验教学课程的教学效果无法满足高素质应用型人才的培养需要，相关建设理念和方法亟待更新的情况已长期存在[13-15]。项目驱动式教学能够更好地促使理论与实践结合，提高实践生产能力[16-18]，本文作为案例的“自主导航与避障移动机器人系统设计实验”课程采用的就是实验项目围绕着机器人的功能完善逐步推进的模式，学生在完成每个实验项目之后，都能得到具体的进步和收获，能够逐步激发学生的学习热情，学生的兴趣和动力也自然大大增加。学生在完成实验课程的同时也掌握了该项目的设计流程，能够极大提升学生对于知识的综合应用能力和解决实际工程的问题能力。

该实验课程设计紧密结合科技前沿，以“自主导航与避障移动机器人”这一实际工程项目为基础，实验机器人系统由上下位机组成，上位机采用装载 Ubuntu 以及 ROS 操作系统的 JETSON-TX2 作为控制器，利用激光雷达、超声波雷达、双目立体相机和惯性测量单元(IMU)等综合感知外界环境信息，通过自主研发的路径规划算法实现导航与避障等功能。下位机基于 STM32 单片机开发，高效接收并处理上位机指令，对驱动电

机的进行精确控制，最终实现机器人的平稳移动。最终完成的智能机器人系统包含环境感知、实时定位与建图、导航及路径规划等三大特色功能模块。

该实验课程包含的九个实验项目如表 1 所示，实验设计科学、内容新颖，通过九个相互关联的实验项目将整个课程的庞大内容体系分解成一个个知识模块，便于

学生理解消化，引导学生稳步掌握每个模块的知识点。最后一个智能机器人综合应用实验，将虚拟实验中已验证的算法，部署到实物机器人上，测试并实现激光建图、单点导航、全覆盖路径规划等自主导航与避障移动机器人各项功能，以此激励学生将所学的知识全部联结起来，锻炼学生对知识的融会理解和实践应用能力。

表 1 自主导航与避障移动机器人系统设计实验主要实验项目名称

实验项目顺序	实验项目名称	课时
实验一	自主导航与避障移动机器人功能讲解与技术路线	3
实验二	基于 Linux 环境 Gazebo 环境及机器人构建实验	3
实验三	基于激光雷达与超声波雷达信息融合的环境感知实验	3
实验四	激光雷达仿真建图实验	3
实验五	移动机器人导航堆栈路径规划仿真实验	3
实验六	全覆盖路径规划仿真实验	3
实验七	机器人硬件供电系统设计实验	3
实验八	机器人上、下位机通信实验	3
实验九	智能机器人综合实验	6

### 3 面向智能制造卓越人才培养的机器人实验教学主要目标

作为面向智能制造卓越人才培养的机器人实验课程，“自主导航与避障移动机器人系统设计实验”从设计之初就明确了符合本科教学需求、紧跟科技发展趋势、教学方法科学有效的主要目标。

#### 3.1 符合本科教学需求

该实验课程包含了多项软件使用和硬件操作，课程体系有机融合了软件仿真实验和硬件操作实验。软件仿真实验让学生学习和熟悉 ROS 机器人操作系统，并通过建立模型在仿真环境中运行，检验自己的算法程序和操作是否正确可行，同时方便学生课后自行学习巩固和探索钻研。硬件操作实验引导学生真正接触到实际设备，了解硬件每个模块的作用以及硬件之间的通信方法，避免学生眼高手低。通过先进行仿真实验让学生熟练掌握操作后再进行实物机器人的操作，有效降低学生初次接触机器人出现错误操作的可能性，全面提升实验效果。

#### 3.2 紧跟科技发展趋势

该实验课程融合了自主导航与避障移动机器人系统设计所需的全部元素，打造了融合教学、科研、竞

赛“三位一体、相互促进”的自主导航与避障移动机器人系统设计实验平台。课程内容顺应机器人的主流发展趋势，不同于传统工业机器人实验课程所受的局限，如传感器的感知功能单一、使用场景严格受限、运行逻辑低级等，自建实验平台融合了多学科的核心技术，采用了最先进的传感器和算法，整个系统环境适应性强，对各种复杂的环境情况能做出智能的决策，能够实现初级的自动驾驶功能。当今社会上服务型机器人数量不断增加，国家对于智能型机器人领域十分重点关注，该实验课程紧跟科技发展，让学生了解学习当今社会、国家科技发展趋势以及技术原理，相关技术如今在扫地机器人、无人驾驶、无人机等新兴领域广泛运用。

#### 3.3 教学方法科学有效

该实验课程采用项目驱动式教学，契合当下大学生的知识获取习惯和能力拓展需求，教学目标设置合理，教学过程安全可靠。围绕项目驱动式教学主线，实验内容跟随项目功能逐步推进，虚实结合的教学方法确保了绝大部分学生能够快速掌握和应用相关知识，同时为学有余力的学生提供无限拓展空间。学生在完成相应实验内容后，实验结果反馈及时直观，潜移默化中激发和放大学生的兴趣和学习动力。实验同时配套有科学完备的实验评价体系，团队式、竞赛式评比方法引燃了学生的学习和钻研热情，科教融合、赛教融合的教学理念极大提升了教学效果。



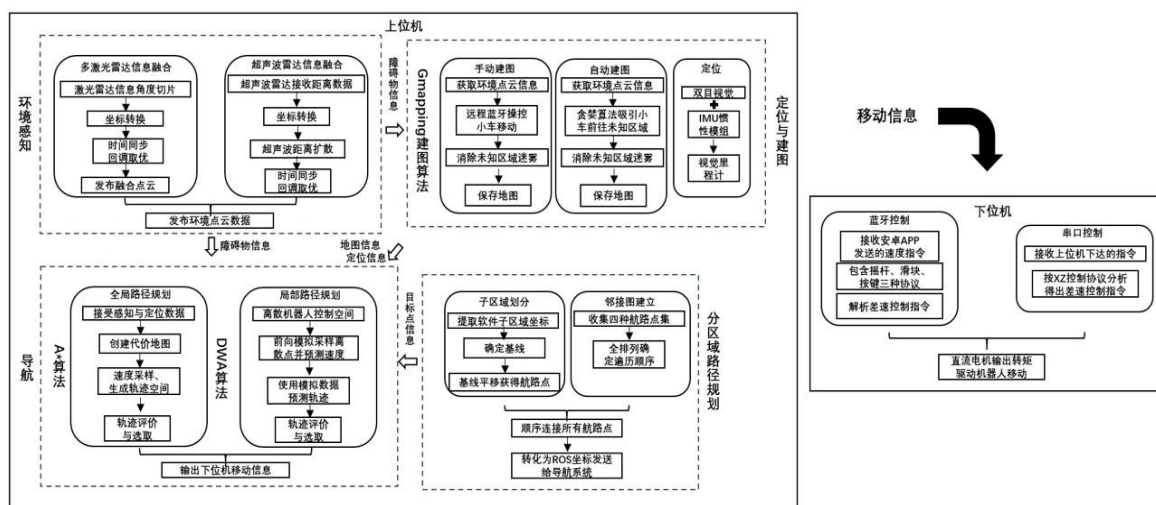


图1 实验课程内容设计思路

## 4 面向智能制造卓越人才培养的机器人实验教学必要条件

“自主导航与避障移动机器人系统设计实验”紧密结合教学与科研规律，具备作为面向智能制造卓越人才培养的机器人实验教学课程的相关必要条件。

### 4.1 契合学生的理解过程

首先讲解智能避障导航机器人的全部功能以及实现避障导航功能的相关技术，并介绍实验原理与背景，包括操作系统、软件、硬件器材。帮助学生了解实验原理、实验目的，熟悉实验内容，了解 Linux, ros 等操作系统的概念，了解 Gazebo、rviz 等软件的使用等

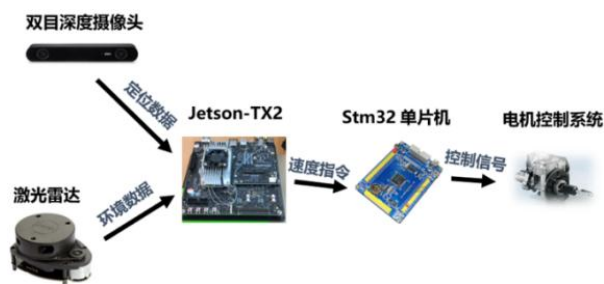


图2 移动机器人硬件设计思路

学生从虚拟仿真实验项目入手，自主导航与避障移动机器人虚拟实验平台，支持学生按照自己的想法自由搭建机器人模型和虚拟实验环境，帮助学生熟悉操作系统，为后续实验打下基础。

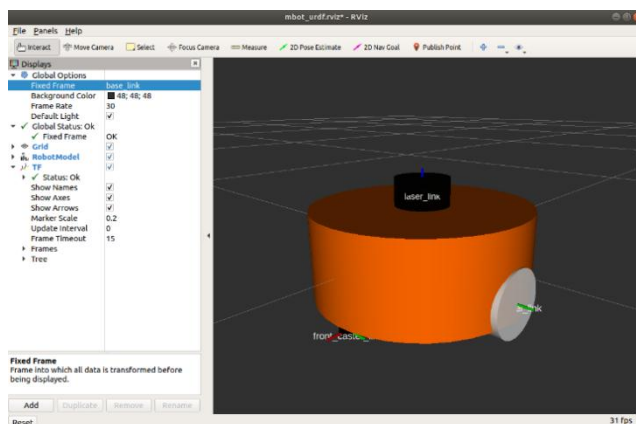


图3 机器人仿真建模

通过讲解超声波雷达和激光雷达的原理与使用方法，引导学生了解激光雷达原理与超声波雷达测距原理，掌握 RVIZ (用于可视化传感器的数据和状态信息) 的使用。

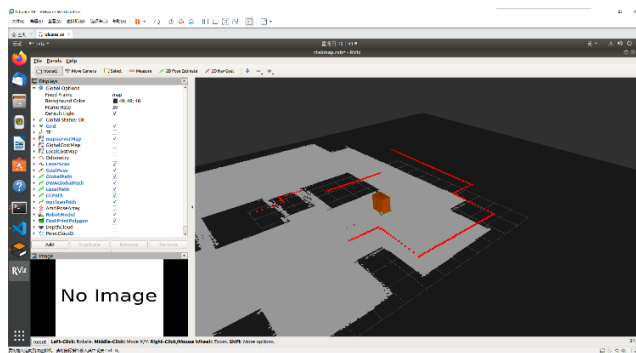


图4 RVIZ 使用示意图

接下来,通过讲解 SLAM(自主导航定位与建图)技术相关原理,学生要在虚拟环境中,利用虚拟机器人上搭载的激光雷达,对指定环境进行二维栅格地图的构建。

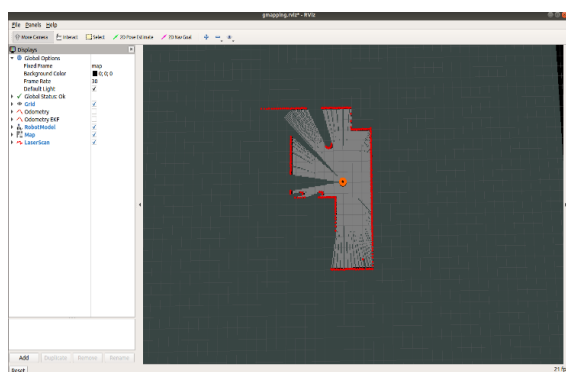


图5 二维栅格地图的构建

然后学生要完成的是虚拟仿真路径规划实验。包括点到点路径规划,即根据前置实验建立的二维栅格地图,设定导航目标点,令机器人找出最短路径,同时具备实时避开障碍物的能力。以及全覆盖路径规划实验,即令机器人通过算法寻找能够遍历整个区域的最优路径。

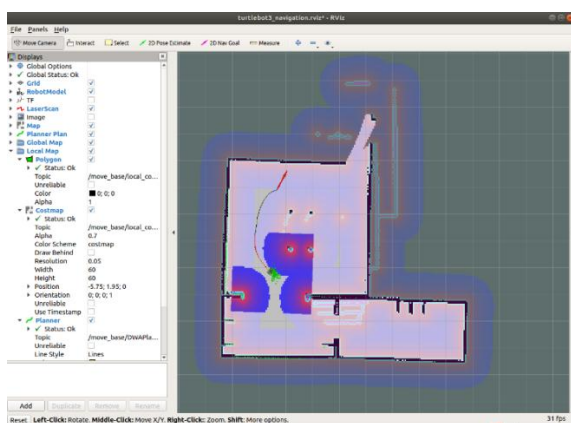


图6 单点路径规划

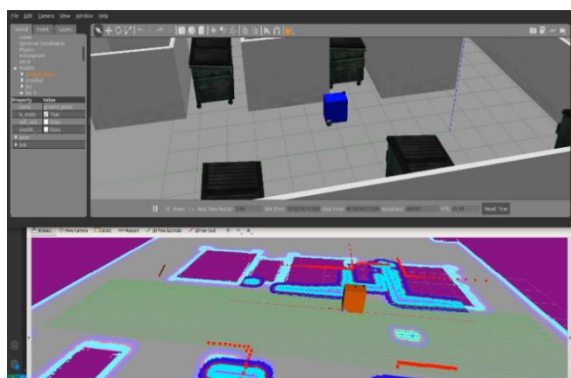


图7 全覆盖路径规划

而后进入硬件设计实验部分,引导学生了解机器人供电系统以及硬件组成,了解变压器、继电器等元器件工作原理,了解急停系统实现原理,了解机器人底层移动平台接线方法,并最终完成机器人的硬件组装。

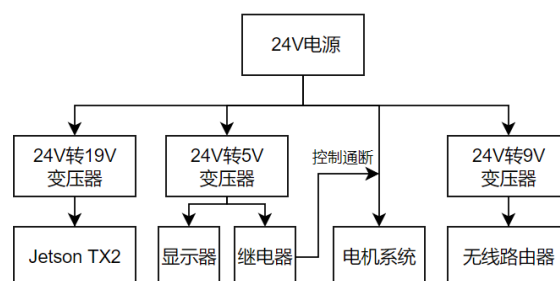


图8 供电系统结构图

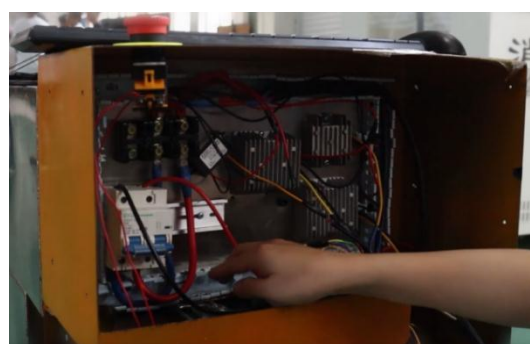


图9 调试中的机器人硬件

完成硬件准备后,学生需利用组装好的实物机器人平台实现单点导航,并能确保在单点导航运动路线中,随机加入障碍物,机器人能迅速更换路径避开。促使学生在实验过程中完成所学知识和算法从虚拟环境到真实环境的应用转变,引导学生掌握双目摄像头、激光雷达等环境感知设备的原理和用法,掌握使用单片机接收和处理数据,并通过二轮差速移动原理驱动机器人的方法。



图10 机器人激光雷达运行及建图

最后，学生需完成实物机器人全路径规划与应用实验。由于真实噪声的影响，实物实验过程中容易出现虚拟实验中不存在的各种问题，能够全面考验学生面对突发问题的应对和解决能力。



图 11 自主导航与避障移动机器人实物实验平台

## 4.2 契合学生的操作能力

该实验课程需要运用的知识广泛，需要前置学习的知识较多，但所需知识符合相关专业培养方案，学生具备实验基础，且本实验过程中会有针对性的进行强化学习，帮助学生理解和掌握多学科交叉融合知识体系。实验指导书提供了详细步骤引导学生学习，减轻学生实验课上的认知压力，提高学习效率，让学生更容易理解每一个实验的实验目的和原理，并且通过实验设计和技术手段减少了环境配置等次要因素导致错误的风险，让学生更顺利地进行实验操作和学习。

## 4.3 契合教学的扩展需求

该实验课程选用的实验系统采用的是上、下位机同时兼顾软件和硬件的设计，让学生既能熟悉上层路径规划的设计，又能熟悉底层硬件上的设计，确保学生提高动手操作能力同时对系统的全貌也有着全面的认识，同时软硬件平台具有极高的可扩展性，可为后续研究提供强大支持，例如可基于本实验平台使用摄像头进行视觉 slam 研究，多传感器融合 slam 以及语义 slam 等方向的研究，能够兼顾科研和竞赛需求。

## 4.4 契合项目的开发流程

课程采用项目驱动式教学，针对工程实际问题推进实验进程，先在理想的虚拟环境下搭建模型并进行

各个子模块的仿真试验，再同时运行所有的模块，将整个系统运行起来，最后将仿真环境替换成真实环境，在实物上调试运行。通过实验过程的帮助学生了解实际工程项目的研发过程，掌握科研技巧。

## 4.5 契合社会的发展趋势

实验内容注重实际应用，学生在学完本实验课程后，所学到的知识点不局限于理论层面或实验课程上，更在生活中有着广泛的应用。比如餐厅送菜机器人可以按照预先制定好的路线，采用有轨或者无轨的形式，按指令端盘送餐到指定桌台，发出语音提示后由顾客或者服务员将餐盘转移到餐桌，其送菜路线就是基于点到点路径规划完成的，扫地机器人能凭借一定的人工智能，自动在房间内完成地板清理工作，其清扫路线就是基于全覆盖路径规划完成的。目前无论是国外还是国内，智能移动机器人都属于新兴行业，近几年一直处于高速增长，有着非常好的应用前景。

# 5 面向智能制造卓越人才培养的机器人实验教学育人方法

基于“三全育人”理念，“自主导航与避障移动机器人系统设计实验”面向智能制造卓越人才培养需求，很好地优化了机器人实验教学育人方法。

## 5.1 注重学科交叉

“自主导航与避障移动机器人系统设计实验”主动融合多门核心课程教学要点，是《传感器原理》、《单片机原理与应用》、《C 语言技术》、《Linux 操作系统》等课程知识点的深度综合应用，有效解决了传统实验教学中，教学内容与实际应用脱节、学生对知识的理解和掌握碎片化严重等问题。巧妙地融合了机器人自主定位导航、自主路径规划、全覆盖路径规划等具体实验内容。

## 5.2 形成多元融合

将教学与科研、竞赛互相结合，打造了融合教学、科研、竞赛“三位一体、相互促进”的自主导航与避障移动机器人系统设计实验平台，教学的内容来自于科研和竞赛，教学和科研的结果可以用于竞赛，竞赛中获取的经验和总结又可以对教学和科研进行促进。该



实验平台高度集成, 其中的每一个功能模块都可以作为一个独立的科研课题进行深入研究, 整个系统有机融合又可以作为通用的移动机器人平台, 进行相应改造和增强后即可用于进行科研开发或参加各种学科竞赛。

### 5.3 鼓励团队合作

实验过程基于小组团队合作的成果不断推进, 最终的综合应用实验更是需要团队合作才能完成。整个实验过程涉及的各项功能模块都有针对性地进行了适当的解耦, 方便用于团队协同开发, 同时确保仿真环境下调试好的代码能够很方便地移植到实际环境中, 节省大量的时间和空间成本, 使学生能够轻松、快速地从学习到实用、先进的技术, 并且培养出解决系统性工程问题的思维和能力。

## 6 结论

面向智能制造卓越人才培养的机器人实验教学课程建设是一个系统工程, 需要充分调研、精心设计、统筹兼顾、认真组织。本文以“自主导航与避障移动机器人系统设计实验”这一虚实结合、层次递进的机器人实验课程建设过程为例, 分析了面向智能制造卓越人才培养的机器人实验教学课程建设的设计思路、主要目标、必要条件和育人方法。机器人实验教学课程建设需要在把握实验教学规律的基础上, 以育人初心为基础, 以教育理念为指引, 以优质内容为底蕴, 深刻剖析智能机器人的研制开发过程, 巧妙利用数字化、信息化手段解析知识架构, 打造面向实际应用场景的实物实验平台, 采用兼具针对性和实用性的项目驱动式教学方法, 才能真正提升学生知识综合应用能力, 团队协作能力以及解决实际工程问题的能力, 培养出符合国家和社会需求的智能制造卓越人才。

## 参考文献

[1] 李丽霞, 范成勇, 段昱菡. 智能制造与机器人应用关键技术与发展趋势研究 [J]. 今日自动化, 2022 (000-005).

- [2] 丁汉. 机器人与智能制造技术的发展思考 [J]. 机器人技术与应用, 2016, 000 (004):7-10.
- [3] 马超凡. 基于智能制造时代的工业机器人发展探讨 [J]. 技术与市场, 2020, 27 (9): 2.
- [4] 魏下海, 张沛康, 杜宇洪. 机器人如何重塑城市劳动力市场: 移民工作任务的视角 [J]. 经济学动态, 2020 (10): 18.
- [5] 张瑞秋, 陈亮. 《服务机器人及人机共融技术》专题主编, 序言介绍 [J]. 包装工程, 2021, 42 (8): 2.
- [6] 刘丽娜. 人工智能技术在扫地机器人中的应用策略 [J]. 电子技术与软件工程, 2019, 000 (005): P. 239-239.
- [7] 夏小禾. 机器人产业“十四五”年均增速或超 20% 迈向高质量发展新阶段 [J]. 今日制造与升级, 2022 (5): 3.
- [8] 左国玉, 雷飞, 乔俊飞. 新工科背景下基于机器人竞赛的创新人才培养模式[J]. 高教学刊, 2021, 000 (006): 44-47.
- [9] 李国伟, 孙士斌, 陆后军. “工业 4.0: 互联网+智能制造”通识教育课程建设的探索与实践 [J]. 工业和信息化教育, 2022 (2): 51-53.
- [10] 单光坤、姜坤、孙兴伟、马铁强、孙传宗. 拓展卓越人才培养方法的探究 [J]. 工业和信息化教育, 2020 (11): 4.
- [11] 金晶, 姜宇, 李丹丹, 等. 基于冰壶机器人的人工智能实验教学设计与实践 [J]. 实验技术与管理, 2020, 37 (4): 4.
- [12] 林冬梅, 陈晓雷, 杨富龙, 等. 项目导向型“机器视觉技术”课程科研育人教学模式探索 [J]. 工业和信息化教育, 2022 (7): 7.
- [13] 王福杰, 张佳宁, 秦毅, 等. 新工科建设下校企协同育人应用型教学模式探索——以机器人学课程为例 [J]. 产业创新研究, 2021, 000 (002): P. 114-116.
- [14] 孙松丽, 温宏愿. 应用型本科机器人工程专业课程体系构建 [J]. 机器人技术与应用, 2020 (1): 5.
- [15] 季晔, 冯崇, 李素芳, 等. 基于 OBE 教育理念的工业机器人课程建设与实践 [J]. 黑龙江科学, 2022, 13 (11): 3.
- [16] 周猛飞, 蔡亦军, 刘华彦, 等. 基于竞赛驱动的项目式教学模式探索与实践 [J]. 控制工程, 2020, 27 (4): 4.
- [17] 冯若愚, 陈铭, 张厚振, 等. 软体机器人实践与创新教学 [J]. 力学与实践, 2020, 42 (3):4.
- [18] 栗琳, 郑莉芳, 马飞, 等. 产教融合的机器人工程专业实践教学体系构建研究 [J]. 高等工程教育研究, 2021 (4): 5.