

VR 赋能，仿真革新

——高职工业机器人实训新范式探索

胡银全 梁 燕

重庆工程职业技术学院 重庆 402260

【摘 要】：高职院校承担着培养工业机器人技术应用人才的重任。然而，传统的工业机器人实训教学存在设备昂贵、场地受限、安全隐患大等问题。虚拟现实（VR）和仿真技术在教育领域的应用为解决这些问题提供了新思路。本文探索将 VR 和仿真技术引入高职工业机器人实训教学的新范式，研究 VR/仿真在实训各环节的应用模式，提出基于 VR/仿真的“教学做评”一体化实训流程，并进行教学实践。结果表明，VR/仿真训练可以有效提高学生的学习兴趣 and 实操技能，降低训练成本和安全风险，值得在高职工业机器人实训中推广应用。

【关键词】：虚拟现实；工业机器人；虚拟仿真；实训平台

DOI:10.12417/2705-1358.25.16.063

引言

虚拟现实（Virtual Reality, VR）技术为解决上述问题提供了新的可能。VR 通过构建逼真的虚拟环境，让用户沉浸其中并与之交互，具有沉浸性、交互性和构想性三个特征。将 VR 技术应用于工业机器人实训，可以让学生在虚拟环境中进行工业机器人的操作训练，从而克服实体机器人训练的种种局限。另一方面，工业机器人仿真技术通过对机器人系统和环境进行建模，构建虚拟的机器人工作站，可以对机器人程序进行验证和优化。二者相结合，为高职工业机器人实训带来新的革新。

1 高职工业机器人实训面临的问题与 VR/仿真的优势

1.1 实训面临的问题

前面已经提到，目前高职工业机器人实训面临设备昂贵、场地受限、安全隐患大、运行成本高等问题。传统的实物实训模式难以满足日益增长的工业机器人人才培养需求。

以湖南某高职院校为例，该校拥有 2 个工业机器人实训室，各配备 3 台工业机器人，每台造价约 50 万元，共计投入 300 万元。实训室面积约 200 平米，布局后的有效工作面积较小，难以同时容纳一个教学班 50 名学生。且根据该校三年制专业人才培养方案，每学期开设 2 门与机器人应用相关的实训课程，平均 36 学时/学期，6 学期共需完成 200 多学时的实训任务。按照实物实训的模式，学生人均实训时间有限，部分核心技能

如机器人编程、系统集成等训练明显不足，影响了人才培养质量。

这一问题在全国高职院校具有普遍性。教育部 2020 年的统计数据显示，全国开设工业机器人技术应用相关专业的高职院校已达 483 所，在校生规模近 10 万人。而据中国机器人产业联盟不完全统计，目前面向教学的工业机器人保有量不足 5000 台。供需矛盾突出，实训教学资源明显不足。

1.2 VR/仿真技术的优势

虚拟现实和仿真技术在工程教育领域得到广泛应用。一方面，VR 为学生提供身临其境的学习体验，通过人机交互提高学习兴趣和效率。另一方面，仿真可以对复杂系统进行建模，在虚拟环境中训练学生的分析和解决问题能力。二者结合，能够有效地支撑和延伸实践教学，弥补实物实训的不足。

将 VR/仿真技术引入工业机器人实训，具有以下优势：（1）降低硬件成本。利用计算机生成三维虚拟环境和机器人模型，无需购买昂贵的机器人硬件，大幅降低实训成本。（2）节省场地空间。学生可以在宿舍或机房中进行模拟实训，对实训场地的要求大为降低。（3）消除安全隐患。在虚拟环境中进行实操练习，杜绝了实体机器人的碰撞、夹伤等危险。（4）提供开放式学习。借助 VR/仿真平台，学生可以利用碎片化时间反复训练，查缺补漏。

作者简介：胡银全(1978-),男,四川省简阳市。

基金项目：2024.7.1-2026.7.1 院级一般教改项目；项目名称：自动化类专业虚拟仿真实训室建设的研究与实践；项目编号：JG240930；重庆市一般教学改革项目：“双高建设”背景下工业机器人专业产教融合人才培养模式的研究（课题号：Z2241276）。

2 VR 虚拟仿真实训平台的设计开发

2.1 平台架构设计

基于 VR 技术的工业机器人虚拟仿真实训平台采用 Unity3D 游戏引擎进行开发, 主要由场景模型、物理引擎、交互控制和 VR 设备等模块组成。整个平台架构如图 1 所示。

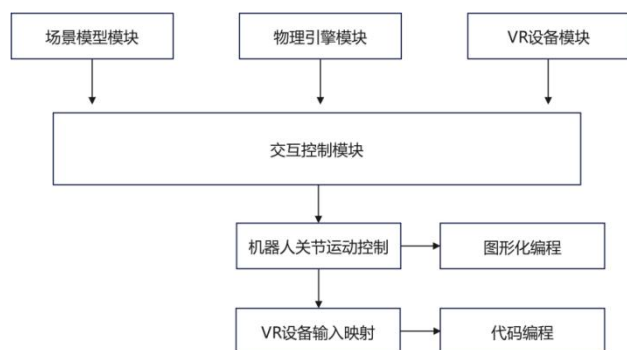


图 1 平台架构图

场景模型模块负责构建工业机器人的虚拟场景, 包括工厂车间、工作台、工件、机器人本体等三维模型。采用 3ds Max 对实物进行精细建模和贴图, 再导入 Unity 中优化, 从而获得高度仿真的虚拟环境。物理引擎模块用于模拟工业机器人及其工作环境的物理特性, 如碰撞、运动、受力等。Unity 内置的 PhysX 物理引擎可以准确计算模型的物理行为, 配合脚本控制赋予模型逼真的交互效果。交互控制模块是平台的核心, 实现了用户与虚拟场景的实时交互。通过 C# 脚本编程, 定义机器人模型各关节的运动控制函数, 并将其与 VR 控制器的输入映射。用户可使用手柄等 VR 交互设备对虚拟机器人进行移动、抓取、装配等操作, 获得身临其境的沉浸感。同时, 该模块还集成了离线编程功能, 学生可使用图形化编程或代码编程生成机器人运动轨迹, 控制机器人执行特定任务。VR 设备模块提供了多种 VR 硬件的接口支持, 如 HTC Vive、Oculus Rift 等头显和控制器。学生佩戴 VR 设备后, 即可观察虚拟工厂情景, 利用位置跟踪和手部跟踪技术实现自然交互, 完成装配、操作、编程等教学任务^[1]。

2.2 场景模型构建

工业机器人虚拟仿真场景的构建是平台开发的基础。本平台主要构建了工业机器人装配与操作两大类场景。在装配场景中, 学生需要按照装配工艺流程, 利用 VR 设备将机器人本体、控制箱、末端执行器等零部件进行组装。通过移动、旋转、插接等交互操作, 逐步完成机器人的装配过程。装配场景重点考查学生对机器人硬件结构和装配方法的理解和应用能力^[2]。在操作场景中, 学生面对装配完毕的完整机器人, 通过示教器或编程对机器人进行控制。常见的任务如机器人正逆运动学、轨

迹规划、手眼标定、视觉引导、力控等。学生需综合运用运动控制、机器视觉、力传感等方面的知识分析任务需求, 编写控制程序并在虚拟环境中运行, 从而掌握工业机器人操作和编程的系统方法。为了构建高保真的虚拟场景, 本平台采用 3ds Max 对工业机器人实物进行三维建模。首先, 通过手工测绘、三维扫描等方式获取机器人的尺寸参数, 在 3ds Max 中搭建出各零件的线框模型。然后, 依据机器人的材质、纹理和颜色信息对模型表面进行精细化处理, 并为其添加灯光、阴影等效果增强真实感。最后, 将模型导出为 FBX 格式并导入 Unity 中, 设置其物理属性如碰撞体、质量、摩擦力等参数, 再利用动力学引擎模拟机器人的运动过程。通过以上步骤可获得与实物高度接近的虚拟机器人模型。在机器人模型的基础上, 本平台还构建了工作台、工件、传送带、安全防护等配套设施的三维模型, 营造了完整的工业机器人应用场景。虚拟车间还可根据教学需要灵活布置, 实现个性化的任务训练。

2.3 交互方式设计

本平台提供多种沉浸式交互方式, 帮助学生在虚拟环境中获得仿真的实操体验。基于 Unity 的脚本开发, 本平台主要实现了以下交互功能: (1) 视角控制交互。用户通过头显的位置朝向改变第一视角, 获得 360° 全景观察效果。(2) 手势交互。利用 Leap Motion 等手势识别设备, 学生可直接用双手抓取、平移、旋转机器人虚拟零件, 完成自然的装配操作。(3) 物体操控交互。使用 VR 手柄对虚拟物体进行远距离操控, 突破真实世界的物理约束, 便于对庞大复杂的机械结构进行拆装。(4) 按键触发交互。通过手柄按键切换任务场景, 控制机器人关节运动, 激活特定功能等。(5) 语音控制交互。将语音识别模块接入平台, 用户可通过语音指令控制机器人动作, 提高人机交互的灵活性。

除了以上实时交互方式, 本平台还开发了基于时间的非实时交互。例如, 通过时间轴的拖动可控制装配场景中各零部件的装配顺序; 通过时间步长的设置可控制机器人运动的速度, 便于学生观察其运动规律。

3 虚拟仿真实训平台的功能模块应用

基于 VR 的工业机器人虚拟仿真实训平台集成了理论学习、实操训练、考核评价等功能, 形成了一套完整的教学解决方案^[3]。以下详细介绍平台的主要功能模块。

3.1 理论学习模块

理论学习模块以 VR 动画、交互式仿真等形式直观展示工业机器人的结构原理和工作过程, 突破了传统教学手段的局限。学生身临其境地观察机器人的组成部件, 深入理解其内部传动、控制等机理, 极大地促进了知识的内化吸收。

本模块融入了任务引导、知识链接、智能提示等教学策略。例如,在装配流程的学习中,系统自动引导学生按照规范的装配顺序逐步操作;当学生遇到困难时,系统即时给出文字或语音提示,智能辅助学生完成装配任务。学生还可随时查阅零件库、工艺卡等资料,将理论知识与实际操作紧密结合。

同时,该模块支持教师在VR环境中开展工业机器人原理的授课。教师利用VR教学工具进行板书、圈划、注释,生动形象地讲解机器人的结构组成。教师还可控制机器人模型运动,模拟其工作状态,直观演示机构、电路、程序的协同工作过程。学生可多视角观察机器人的内外部结构,参与问题讨论和分析,达到事半功倍的教学效果。

3.2 实操训练模块

实操训练是工业机器人教学的关键环节。本平台开发了装配训练、编程仿真、虚拟示教、故障诊断等实操项目,学生通过沉浸式的虚拟仿真获得全面的技能训练。

在装配训练中,学生按照虚拟装配手册的指引,亲自动手将机器人的机械臂、控制器、传感器等进行组装,掌握标准化的装配工艺^[4]。装配过程中,学生可随时利用工具对零件进行测量和微调,并能够评估装配精度。若发生装配错误,系统会自动检测并予以警示,同时演示正确的装配操作,引导学生体验式地掌握装配要领。装配完成后,系统对装配时间、精度、工艺规范性等指标进行综合评价,客观呈现学生的实操水平。

编程仿真训练是培养学生机器人开发能力的有效手段。学生在图形化编程环境下,通过拖拽、连线等可视化操作快速生成控制程序,并在虚拟场景中直接运行,获得编程结果的即时反馈。图形化编程简化了编程门槛,便于初学者掌握机器人控制的基本逻辑。针对高阶学习需求,平台还支持多种工业机器人的编程语言如VAL3、RAPID、KUKA Robot Language等,学生可通过代码编写实现更灵活的机器人控制。

虚拟示教训练允许学生使用示教器或手持设备对虚拟机器人进行点动示教,生成轨迹或路点,控制机器人运动。相比于真实示教,虚拟示教无需昂贵的硬件设备,且具有安全可靠、随时训练的优点。学生不仅能掌握示教器的操作方法,更能在反复试错中积累运动规划、轨迹优化等方面的经验。

参考文献:

- [1] 孔庆,王冬生,李雪如,等.基于VR技术的高职院校工业机器人虚拟仿真实训平台建设研究[J].数字通信世界,2023(07):19-21.
- [2] 周佳杰,肖莉莉.高职院校工业机器人虚拟仿真实训室建设[J].中阿科技论坛(中英文),2021(06):158-160.
- [3] 陈磊,张建荣,郭金妹.基于高职院校的工业机器人虚拟仿真实训课程的开发研究[J].科技与创新,2021(01):37-39.
- [4] 张德田.高职院校工业机器人技术专业虚拟仿真实训室建设研究与实践[J].科技风,2020(15):181.

在故障诊断训练中,教师在虚拟场景中预设各类常见故障,如关节卡死、控制器短路、传感器失灵等。学生需运用机器人故障诊断与维修的理论知识,判断故障类型、分析故障原因,并在VR环境中使用虚拟工具进行排查和维修。生动逼真的故障场景有助于学生全面理解机器人的工作机理,掌握系统化的故障诊断思路和排除方法。

3.3 考核评价模块

考核评价模块对接职业技能等级认定和技能竞赛,推动工业机器人专业教学与职业标准相衔接。平台严格参照职业技能鉴定规范,开发了模拟考试场景和评价指标体系,客观公正地考查学生的岗位技能水平。在模拟认定环节,学生在虚拟环境中独立完成理论知识测试和实操技能测试。理论测试题型丰富,覆盖结构原理、编程、故障诊断等方面。实操测试从典型工作任务出发,对学生的装配、示教、编程等技能进行全面考核。考试过程中,系统全程录屏记录学生的操作过程,并自动判分。考试结束后,学生可查看详细的评价报告,了解自身优势和不足。此外,本平台还可用于校内外技能竞赛的赛前培训和正式比赛。依托VR竞赛平台,学校可常态化开展工业机器人技能比武,选拔优秀选手。VR竞赛打破了传统竞赛受场地、设备限制的瓶颈,让更多学生有机会参与角逐,并通过逼真的模拟比赛熟悉竞赛流程、积累比赛经验,从而在实际比赛中取得优异成绩。

4 结语

本文重在探讨如何利用VR虚拟仿真技术革新高职院校工业机器人实训教学模式。引入VR/仿真可以有效应对传统实训教学面临的高成本、高风险、低效率等挑战,为学生提供沉浸式、交互式的学习体验,提高实训教学质量。文中系统阐述了VR/仿真在实训教学各环节的创新应用,包括理论学习、装配操作、离线编程、虚拟调试、综合集成等,形成了“教、学、做、评”一体化的实训新范式。实践表明,VR/仿真实训可以显著提高学生的学习兴趣 and 实操技能,推动教学内容、教学模式与职业标准深度融合,助力复合型技术技能人才的培养。未来,VR/仿真技术与人工智能、大数据等新技术的协同创新,将进一步赋能实训教学变革,开创智慧化、个性化的人才培养新局面。高职院校应积极拥抱新技术,加快构建创新性实训教学体系,为区域产业发展和技术进步提供坚实的人才支撑。