

新工科+产教融合的计算机专业 机器人导论课程教学实践

张艳玲

广州大学计算机科学与网络工程学院, 广州 510006

摘要 为适应当前对机器人与智能装备等新兴产业人才的巨大需求, 推进我国机器人产业自立自强, 加快建设制造强国^[1], 在计算机科学与技术专业本科高年级开设了 40 学时的《机器人导论》课程, 结合计算机专业的课程知识体系和学生特点构建了基于产教融合的《机器人导论》课程内容。该课程以机器人结构、机器人的位姿描述与正逆运动学、机器人导航和路径规划、机器人视觉与物体识别、机器人操作系统等内容作为理论教学核心, 以在实物机器人上实现机械臂的正运动学、机器人路径规划、机器人人脸识别和跟踪、机器人二维码识别和定位等实验项目作为实践教学内容, 将企业技术和人才需求、计算机专业知识、机器人技术和应用场景融合到教学实践中。取得了满意的教学效果。

关键词 机器人; 产教融合; 课程内容构建; 教学实践

Teaching Practice of the "Introduction to Robotics" Course for Computer Major Under the Background of Emerging Engineering Education and Industry-Education Integration

Zhang Yanling

School of Computer Science and Network Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006

Abstract—In order to meet the huge demand for talents in emerging industries such as robotics and intelligent equipment, promote the self-reliance of China's robotics industry, and accelerate the construction of a manufacturing powerhouse, a 40-credit-hour course called "Introduction to Robotics" has been introduced for senior undergraduate students majoring in Computer Science and Technology. By integrating the disciplinary knowledge framework of computer science with student-specific attributes, the course content is systematically constructed under the principle of industry-education integration. The theoretical curriculum emphasizes robot structure, pose representation, forward/inverse kinematics, navigation and path planning, vision and object recognition, and robot operating systems (ROS). Practical components involve experimental projects on implementing forward kinematics for robotic arms, path planning algorithms, face recognition and tracking, and QR code-based localization using physical robots. This pedagogical approach synthesizes industry-driven technological requirements, computer science expertise, and real-world robotics applications into teaching practices, resulting in highly effective educational outcomes.

Keywords—Robotics; Integration of industry and education; Curriculum content construction; Teaching practice

1 引言

计算机专业作为信息技术领域的核心学科, 其课程体系一直以适应技术发展和社会需求为导向。近年来, 随着人工智能技术的快速发展, 机器人正从传统的自动化设备向智能化、自主化的方向迈进^[2]。机器人技术的复杂性和多样性对计算机科学提出了新的研究方向和挑战。机器人本质上是一个复杂的多学科交叉系统, 其核心能力与计算机专业的关键技术高度关联。

机器人的自主决策(如目标识别、路径规划、SLAM 建图)依赖计算机专业的人工智能、计算机视觉和机器学习算法; 人与机器人交互的核心支撑技术来自计算机的自然语言处理(NLP)原理; 机器人的传感器数据处理与融合需要计算机专业的编程和算法优化能力; 机器人底层驱动开发(如 ROS 框架、实时操作系统)与计算机专业的操作系统、编译原理知识密切相关。机器人是计算机技术的重要应用领域。因此, 计算机专业开设《机器人导论》课程, 可以将所学的编程语言、数据结构、算法设计等知识以及人工智能、操作系统等相关理论应用到机器人开发中, 能够解决传统计算机课程存在的知识碎片化和工程思维欠缺等局限性, 推动计算机技术的创新和发展。同时也是新工科背景下人才培养的迫切需求: 培养学生紧跟产业

* 基金资助: 广州大学 2024 年产教融合教学改革建设项目(教任务(2024)92号)“以 AI 技术+ROBOT 大赛为平台的机器人导论课程教学改革”, 项目编号: 24CJRH06

升级和技术变革的终身学习能力、跨学科整合能力和工程实践与创新能力；解决人才供需的结构性矛盾^[3]。

2 《机器人导论》课程引入产教融合模式的必要性

2017年国务院办公厅印发《关于深化产教融合的若干意见》，提出实施产教融合工程，引导各类学校建立对接产业需求的人才培养模式^[4]。实行“引企入教”改革，推动企业多种形式参与办学，支持企业需求融入人才培养，由人才“供给-需求”单向链条，转向“供给-需求-供给”闭环反馈，促进企业需求侧和教育供给侧要素全方位融合^[5]。机器人技术发展迅速，产业需求变化快，对人才的需求不仅包括扎实的理论基础，更注重实践能力和创新能力。传统的教育难以满足产业对应用型人才的需求，所以通过产教融合，可以让学生接触到最新的技术和实际项目，提升实践能力^[6]。《机器人导论》课程引入产教融合模式能够使高校及时了解机器人产业动态和技术需求，将企业实

际项目融入实验教学，使学生的学习过程中接触到最新的技术和应用场景，增强就业竞争力。

3 基于产教融合的计算机专业《机器人导论》课程内容构建

3.1 计算机专业与机器人工程专业开设的《机器人导论》课程的差别

机器人技术是一项集机械、电子、自动控制、计算机以及人工智能等多学科交叉的综合性应用技术，主要划分为4个主要领域：机械操作、移动、计算机视觉和人工智能^[7]。由于计算机专业和机器人工程专业的定位不同：计算机专业通常更偏向软件、算法和系统设计，而机器人工程专业更偏向硬件、机械结构和系统集成，因此计算机专业开设的《机器人导论》课程与机器人工程专业的《机器人导论》课程讲授的侧重点是不同的，二者的差异如表1所示。

表1 计算机专业与机器人工程专业开设的《机器人导论》课程的差别

项目	计算机专业《机器人导论》课程	机器人工程专业《机器人导论》课程
教学目标	聚焦“软件赋能硬件”，以算法开发、智能感知、自主决策、人机交互、系统软件架构为核心，培养能够从事机器人软件开发、智能算法设计和人机交互研究的人才	强调“机电控一体化”，注重机械设计、控制理论、系统集成和工程实践的完整技术链条，注重机械、电子、控制的协同设计与工程实现。培养能够从事机器人系统设计、集成和工程应用的人才 ^[8]
专业背景	计算机硬件和软件知识，系统软件架构，数据结构，算法设计与优化，人工智能、机器学习、计算机视觉、自然语言处理等算法分析与实现	力学，机械结构，电子电路，控制理论，电机控制，系统集成，计算机基础知识，编程语言
知识体系	以计算机科学为基础，结合人工智能、机器学习和软件工程	以机械工程、控制科学为基础，结合电子工程和计算机技术
实践能力	注重编程实践、智能算法实现和系统软件架构优化	注重机械设计、控制系统调试和工业应用
评价标准	代码质量、算法效率、系统鲁棒性	机械结构合理性、控制精度、能耗与成本优化
就业方向	算法工程师	机器人系统工程师

由表1可见，计算机专业和机器人工程专业的《机器人导论》课程虽然都围绕机器人技术展开，但在教学目标、知识体系、评价标准和就业方向上存在明显差异，体现了各自专业的特点和需求。因此，在计算机专业《机器人导论》课程的教学内容和实验方案设计上必须体现计算机专业在机器人行业的技术特色和强项，并与企业需求紧密结合，培养适应智能时代需求的高素质人才。

3.2 产教融合的计算机专业《机器人导论》

课程内容

计算机专业的《机器人导论》课程更侧重于机器人技术中的计算机科学与人工智能相关领域，注重培养学生在机器人编程、智能算法、人机交互和系统软件优化等方面的能力。同时强调将企业技术需求转化为课程内容，增强教学内容的实践性与前沿性^[9]。另外，课程内容还需要支撑工程认证中的毕业要求。为此，设计了计算机专业《机器人导论》课程教学内容，如表2所示。

根据计算机专业学生的学习背景，《机器人导论》课程的先修课程包括程序设计语言、数据结构、计算机组成原理、操作系统和人工智能。表2以上述先修课程为基础，设计了计算机专业《机器人导论》课程的教学内容，总学时是40学时，其中理论课28学时，

实验课 12 学时。培养学生将编程、人工智能、数据处理、算法优化等技术应用于机器人系统的实践能力和创新能力。

《机器人导论》课程作为专业选修课设置在大三下学期。自 2018 级计算机科学与技术专业学生开始讲

授，到目前为止已经进行了四届教学实践。计算机专业学生选修热情很高，选修人数每年都超过 100 人，因为实验用机器人设备数量的限制，不得已将实验课改为多个小班进行。

表 2 产教融合的计算机专业《机器人导论》课程内容

序号	课程教学目标	毕业要求	教学内容	企业技术和人才需求
1	了解机器人技术发展趋势;掌握机器人结构,机器人的位姿描述与正逆运动学	毕业要求 1 (工程知识) 指标点 1.1 掌握数学与自然科学的基本概念、基本理论和基本技能,培养逻辑思维和逻辑推理能力 1.2 具备扎实的计算机工程基础知识,了解通过计算机解决复杂工程问题的基本方法,并遵循复杂系统开发的工程化基本要求 ^[10]	国内外机器人技术发展概况和未来发展趋势;机器人的结构、驱动和控制机构、硬件组成、传感器系统、机器人的技术参数;齐次坐标变换、通用旋转变换、机器人的位姿描述、机械臂的正运动学和逆运动学	算法工程师需要理解机器人的组成架构,了解机器人学相关知识(如运动学、动力学等),具备与机械工程师、电子工程师等密切配合的跨学科团队协作能力
2	掌握机器人定位及地图构建;机器人导航和路径规划算法;机器人视觉与物体识别	毕业要求 3 (设计/开发解决方案) 指标点 3.4 在充分理解计算机软硬件及系统的基础上,能够设计针对计算机领域复杂工程问题的解决方案,设计或开发满足特定需求的软硬件系统、模块或算法流程,并能够进行模块和系统级优化 ^[10]	环境地图构建,机器人的自主定位, SLAM 算法框架,机器人的路径规划与避障算法: Dijkstra 算法、A-star 算法、RRT 算法、DWA 算法,机器人视觉系统的硬件和软件构成,图像处理知识,双目立体视觉系统、立体匹配,基于深度学习的目标检测算法	运动控制算法、路径规划算法、视觉识别、SLAM 等算法的设计与优化能力
3	掌握机器人操作系统,机器人编程语言和编程要求	毕业要求 5 (使用现代工具) 指标点 5.2 能够在计算机领域复杂工程问题的预测、建模、模拟或解决过程中,开发、选择与使用恰当的技术、软硬件及系统资源、现代工程研发工具,提高解决复杂工程问题 ^[10]	Python 语言基础,机器人操作系统 ROS 架构: 文件系统级、计算图级、开源社区级, ROS 通信机制, ROS 功能模块, ROS 编程基础, ROS 建模与仿真	熟悉机器人操作系统 ROS 框架,熟练使用 C++ (尤其是 Modern C++)、Python 等,掌握 Shell 脚本及 Linux 环境开发
4	能够根据机器人系统的特点,组成实验小组,设计实验项目,使机器人可以在某些应用场景下实现有针对性的活动,进而培养理论联系实际的创新能力和执行能力。	毕业要求 4 (研究) 指标点 4.3 针对设计或开发的解决方案,能够基于计算机领域科学原理对其进行分析,并能够通过理论证明、实验仿真或者系统实现等多种科学方法说明其有效性、合理性 ^[10] 毕业要求 9 (个人和团队) 指标点 9.2 能够理解团队中每个角色的含义以及角色在团队中的作用 ^[10]	机器人实验项目 (1) 机械臂的正运动学 (2) 机器人路径规划 (3) 机器视觉: ① 机器人人脸识别和跟踪; ② 机器人二维码识别和定位	能够快速定位测试过程中出现的问题,并与开发团队等相关部门协作进行解决,能够完成机器人系统的开发、调试与优化

4 《机器人导论》课程在计算机专业的教学实践

在机器人结构和机器人的位姿描述与正逆运动学模块的理论教学中,采用循序渐进的教学策略,从机器人位姿描述的平移变换、旋转变换逐渐过渡到可以综合表示平移变换和旋转变换的齐次变换矩阵;然后

从多个坐标系的变换延伸到描述机器人多个关节的DH规则,以此来推导机械臂的正运动学。在实验教学中,利用 MoRoII 移动机器人开发平台,以机器人实物来介绍机器人的各个组成结构、特点和功能;在实验项目中要求学生利用机器人正运动学的知识,对二自由度连杆进行正运动学建模,并与 SDK 输出的真实值进行比对,判断计算是否正确,并进一步建立六自由度正

运动学模型,验证是否正确。要求学生先在仿真平台进行实验,然后在实体机器人上进行算法测试和验证。

在机器人导航和路径规划模块的理论教学中,重点讲解基于环境地图模型的导航,主要是用栅格法进行地图建模,将移动机器人需要进行路径规划的环境表示成二维的平面工作空间;在路径规划算法中,突出讲解在实际工程应用中,运用在机器人路径搜索与规划中的常用算法: Dijkstra 算法、AStar 算法、DWA (动态窗口算法)、RRT (快速扩展随机树算法)。在实验教学中,学生需要按照自己设计的环境地图,搭建真实的障碍物环境,解决现实生活中的机器人路径规划问题。与软件实现规划不同,现实中的机器人规划路径会有三个问题需要解决: ①因为机器人实际尺寸导致的规划路径中与障碍物发生碰撞问题; ②在算法规划中的各个标记点,机器人运动流畅度控制问题; ③在经过路径中需要转换方向的点时,机器人“面向”的方向是否与下一步运动的方向相同问题。要求学生先在仿真平台上按照自己设计的环境地图,设计软件实现路径规划算法,然后在实体机器人上,通过对 AStar 算法进行优化,解决上述三个实际问题。

在机器人视觉与物体识别模块的理论教学中,除了介绍机器人视觉技术概念和机器人视觉系统的功能、原理、结构、分类以及图像传感器等基本知识以外,利用 OpenCV 软件重点讲解了机器视觉中图像处理算法: 滤波算法、边缘检测算法、阈值分割算法和形态学操作; 特征检测与描述算法: 角点检测算法、特征点检测与描述算法和光流法; 并使用 OpenCV 中的 ml 库讲解了利用机器学习与深度学习算法进行目标检测与识别: 通过训练支持向量机 (SVM)、卷积神经网络 (CNN) 等模型,机器人可以自动学习物体的特征,实现对复杂场景中多种物体的准确识别和分类。在实验教学中,设计了两个实验: ①机器人人脸识别和跟踪; ②机器人二维码识别和定位。在“机器人人脸识别和跟踪”实验中,要求学生利用摄像头,采集人脸图像,并使用 OpenCV 中的 ml 库中随机森林算法对人脸图像数据集进行训练,建立训练模型,此训练模型可以通过人脸图像计算人脸偏转角度,机器人利用此偏转角可以完成自主跟随人脸的运动,这个实验涉及到人脸图像采集、图像信息标注、数据训练以及控制机器人运动等方面的知识。在“机器人二维码识别和定位”实验中,要求学生根据图像处理知识,实现机器人通过头部深度摄像头,实时检测视野中的二维码,采集 RGB 图像与深度图像后,通过计算得到二维码相对于机器人坐标系的位姿信息,并输出二维码图像。两个实验都要求在 MoRoII 移动机器人上实现。

《机器人导论》课程将理论教学与实践教学密切结合,并将机器人企业实际研发中需要解决的实际问题引入到实验项目中,而且在实践教学中,学生是在实物机器人上完成所有实验项目,极大锻炼了学生的动手实践能力,激发了学生的学习兴趣。另外,对该课程的考核方式进行了大幅修改,理论和实践成绩各占 50%。理论课内容采用开卷考试,学生在两周内完成。实验课注重过程考核,要求学生在实验报告中将实验过程中每个步骤出现的问题截图,并进行分析,给出实际解决方案,并鼓励学生在每个实验后都分析一下机器人本身性能对实验的影响。

5 教学实践反馈与效果

《机器人导论》课程教学实践主要面向计算机科学与技术专业的学生。在 2024 学年和 2025 学年的理论课和实验课全部结束后,对该课程进行了匿名问卷调查,共收到有效反馈问卷 207 份。调查问卷和反馈结果如表 3 所列。

由表 3 可知,大部分学生(调查问卷第 1 项,约 84%)在《机器人导论》课程开设前对机器人领域并不了解,但通过本课程的教学实践,从调查问卷第 6, 8, 9, 10 项的统计结果来看,只有不到 3% 的学生对机器人的基本概念和原理没有理解和掌握,不到 2% 的学生对机器人领域的工作不感兴趣。绝大多数学生(约 90%, 中立和一般选项比例对半拆分, 以下比例计算类同)不但掌握了机器人的基本概念和原理,而且培养了分析和解决机器人相关问题的能力,还非常愿意进入机器人领域工作,并希望涉足“计算机+机器人”的交叉领域岗位,同时愿意付出努力攻克人形智能机器人领域的未解难题。说明本门课程在普及机器人知识和人工智能算法在机器人上落地实践方面开阔了学生的视野,特别是产教融合的实验增强了学生在计算机编程与机器人技术融合方面的自信心,扩展了学生未来的就业范围。从调查问卷第 2, 3, 4, 5, 6, 10 项的统计结果来看,约 93% 的学生认为本课程的教学实践在课程内容组织和理论知识与实际案例结合方面安排恰当,在提升理论知识理解和机器人相关的实用技能(如仿真、编程、基础控制)方面起到了积极作用。愿意增加能够推动智能制造、智慧医疗、老龄化社会服务等领域革新的技术突破性人形机器人实验项目。说明学生通过本门课程的教学实践真正建立起了对机器人技术学习和钻研的兴趣,这也是该课程内容和实验项目设计取得的重要成效。不过在实验过程中,学生反馈实验难度逐渐增加,实验设备数量与质量存在不足延迟了实验时间。与调查问卷第 7 项的统计结果相符。说明以后改进实验项目时,需要循序渐进地增加难度,并适当增加实验时间。

表 3 调查问卷和反馈结果

调查问卷	选项与统计结果
1、在选修本课程前，您对机器人领域的了解程度如何？	<p>了解很少: 146 (70.53%) 比较了解: 27 (13.04%) 非常了解: 6 (2.90%) 完全不了解: 28 (13.53%)</p>
2、课程目标清晰明确，涵盖的内容广度适中（不过于浅显，也不过于艰深），课程内容组织逻辑清晰，易于理解。	<p>非常同意: 66 (31.88%) 同意: 116 (56.04%) 中立: 22 (10.63%) 不同意: 3 (1.45%)</p>
3、课程内容既很好地反映了机器人领域的核心概念和基础知识，又包含了当前机器人技术发展的前沿或热点。	<p>非常同意: 64 (30.92%) 同意: 122 (58.94%) 中立: 19 (9.18%) 不同意: 2 (0.97%)</p>
4、理论部分(如运动学、机器视觉感知、规划控制等)讲解清晰易懂，实验部分(如仿真、编程、硬件操作)设计合理，有助于理解理论知识。理论课与实验课的安排比例恰当。	<p>非常同意: 71 (34.30%) 同意: 112 (54.11%) 中立: 21 (10.14%) 不同意: 3 (1.45%)</p>
5、您认为课程中理论知识与实际案例结合的紧密程度如何？	<p>非常紧密: 63 (30.43%) 紧密: 113 (54.59%) 一般: 30 (14.49%) 没有结合: 1 (0.48%)</p>
6、通过本课程，您对机器人的基本概念和原理有了扎实的理解，掌握了一些机器人相关的实用技能（如仿真、编程、基础控制），培养了分析和解决机器人相关问题的能力，提升了跨学科知识融合能力，激发了您对机器人领域进一步学习和研究的兴趣。	<p>非常同意: 60 (28.99%) 同意: 114 (55.07%) 中立: 27 (10.04%) 不同意: 6 (2.90%)</p>
7、在学习机器人导论课程过程中，遇到了复杂理论难以理解、实践操作经验欠缺、实验设备数量与质量不足等挑战。	<p>非常同意: 61 (29.47%) 同意: 94 (45.41%) 中立: 41 (19.81%) 不同意: 11 (5.31%)</p>
8、学习机器人导论课程后，您认为对计算机专业学生涉足“计算机+机器人”的交叉领域，拓宽就业选择，比如：机器人软件开发/算法工程师、人工智能与机器人视觉工程师、机器人仿真与测试工程师、智能系统集成与解决方案工程师、智能制造与高端装备软件开发工程师等岗位是否有帮助？	<p>非常有帮助: 53 (25.60%) 比较有帮助: 111 (53.62%) 一般: 39 (18.84%) 没有帮助: 4 (1.93%)</p>
9、人形智能机器人是人工智能从“虚拟世界”走向“物理世界”的关键载体，其技术突破将推动智能制造、智慧医疗、老龄化社会服务等领域的革新。您希望实验课中增加人形智能机器人技术方面的实验项目吗？	<p>非常希望: 83 (40.10%) 希望: 107 (51.69%) 一般: 16 (7.73%) 不希望: 1 (0.48%)</p>
10、随着 AI、新材料与驱动技术的协同发展，人形机器人有望在 2030~2035 年实现大规模商用，成为人类生产生活的重要助手，是大有前景的领域，但需要将多个学科的知识进行融会贯通，付出辛苦来掌握难度较大的人工智能技术。您愿意进入这个领域建功立业吗？	<p>非常愿意: 62 (29.95%) 愿意: 85 (41.06%) 中立: 57 (27.54%) 不愿意: 3 (1.45%)</p>

课程的教学实践内容除了机器人本身的总体知识之外,实验项目还涉及到了大一大二学的计算机专业大量的基础知识,如编程语言、数据结构、算法设计、组成原理、操作系统等,以及大三上学期学的人工智能原理和机器学习算法知识,可以说是对计算机专业的整个知识体系进行了梳理和应用。学生普遍感觉理论内容和实验项目都有难度。但选修该课程的学生普遍反映就业视野拓宽了,就业范围突破了以前软件公司的局限,敢于向机器人公司、新能源汽车公司、各类智能设备和智能终端设备公司投递简历,而且部分学生成功拿到了机器人、智能驾驶等新兴技术公司的offer。笔者所构建的《机器人导论》课程内容在学生就业层面取得了满意的教学效果。

6 结束语

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^[1]。按照《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》总体部署,国家正在落实《“十四五”机器人产业发展规划》重点任务,加快推进机器人应用拓展,开展“机器人+”应用行动^[1]。《机器人导论》课程作为计算机科学与技术专业的一门专业选修课,在新工科背景下,采用产教融合模式设计教学内容和实验项目,可以将计算机专业的算法编程、系统设计、人工智能原理和机器学习算法知识应用到拥有巨大发展机遇的机器人领域和基于AGI的具身智能场景中,促进聚焦软件和算法的机器人核

心技术在服务业,制造业方面实现商业化场景落地。为计算机专业学生开拓更广阔的就业空间和发展前景。

参考文献

- [1] https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-01/19/content_5738112.htm 《“机器人+”应用行动实施方案》
- [2] 孙玉珠.工业机器人及智能制造发展现状以及趋势分析[J].现代工业经济和信息. 2024(12): 250-252.
- [3] <http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201707/W020220711531537265381.pdf> 教育部办公厅 2017年6月16日《新工科研究与实践项目指南》
- [4] https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-12/19/content_5248564.htm 《国务院办公厅关于深化产教融合的若干意见》国办发〔2017〕95号.
- [5] 唐翠微.产教融合、校企协同育人模式探索与实践—以新工科专业为例[J].科教导刊(中旬刊). 2020(26):11-12.
- [6] 潘秋瑜.新工科背景下高校产教融合教学模式的探索—以机器人工程专业为例[J].装备制造技术. 2024(02):87-89.
- [7] John J. Craig 著, 负超、王伟译, 机器人学导论(原书第四版), 机械工业出版社, 北京, 2018, P1-2.
- [8] 栗琳 郑莉芳等, 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(04): 88-92.
- [9] 王佳, 冯浩哲. 涉农综合性大学本科人才培养质量提升机制研究——基于产学研合作的视角[J]. 农业导刊. 2024,4(23): 119-123.
- [10] <https://jsj.gzhu.edu.cn/info/1105/1408.htm> 《广州大学计算机科学与技术专业培养方案》
- [11] 刘晓晓. 基于FANUC工业机器人的码垛实现方法探究[J]. 内燃机与配件. 2024(21): 60-62.