

# 机器人操作系统 ROS 课程教学优化与实践探索

庄金雷\* 鲁月林 赵转哲 江本赤

安徽工程大学人工智能学院, 安徽 芜湖 241000

**[摘要]**文中针对智能科学与技术专业机器人操作系统 ROS 课程教学中存在的学生编程基础薄弱、学生学习信心容易受挫、课程实验系统性不足以及学校硬件资源有限等问题,提出了相应的改进措施。通过以案例由浅入深强化编程能力、以 AGV 导航仿真需求案例系统性分拆实验课程以及以仿真为主视觉实战为辅的仿真教学等方法,提升学生的学习效果和实践能力,为 ROS 课程教学改革提供有益的参考和实践经验。

**[关键词]**ROS2; 机器人; 教学方案; 实践能力

DOI: 10.33142/fme.v6i2.15400

中图分类号: G642

文献标识码: A

## Optimization and Practice Exploration of ROS Course Teaching for Robot Operating System

ZHUANG Jinlei\*, LU Yuelin, ZHAO Zhuanzhe, JIANG Benchu

School of Artificial Intelligence, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui, 241000, China

**Abstract:** This article proposes corresponding improvement measures to address the problems in the teaching of ROS course for robot operating systems in the field of intelligent science and technology, such as weak programming foundation of students, easily frustrated learning confidence of students, insufficient systematization of course experiments, and limited hardware resources in schools. By strengthening programming skills through case studies, systematically splitting experimental courses based on AGV navigation simulation requirements, and using simulation based visual combat as a supplement in simulation teaching, students' learning effectiveness and practical abilities are enhanced, providing useful references and practical experience for ROS course teaching reform.

**Keywords:** ROS2; robot; teaching plan; practical ability

### 引言

随着智能科学与技术领域的蓬勃发展,机器人操作系统(ROS)在智能机器人开发中的关键地位日益凸显,成为智能科学与技术专业不可或缺的核心课程<sup>[1-3]</sup>。ROS 为机器人的软件编程构建了一个灵活且强大的框架,涵盖从底层硬件驱动至高层应用开发的各个层面,对于学生掌握机器人系统开发的关键技术与流程具有重要意义<sup>[4-6]</sup>。然而,在实际教学进程中,由于课程自身的复杂性以及对大学生综合素养要求较高,加之受到多种客观条件的制约,ROS 课程教学遭遇诸多困境。

许多学者对相关问题进行了研究,如胡春华等指出当前智能技术课程教学普遍存在理论与实践结合不紧密的问题,这在 ROS 教学中同样有所体现<sup>[7]</sup>;李明在其研究中提到编程基础对于学生学习复杂技术课程的重要性,而在 ROS 课程中,学生编程能力的欠缺严重影响了学习效果<sup>[8]</sup>;王勇则强调了实验教学系统性对于学生构建完整知识体系的关键作用,这也正是 ROS 课程实验环节有待改进的方向<sup>[9]</sup>;张宏探讨了硬件资源对实践教学的限制,这也是 ROS 课程教学中面临的现实难题<sup>[10]</sup>。

因此,深入剖析教学过程中存在的问题,并探寻行之有效的改进策略具有至关重要的现实价值,有助于提升教学质量,培育契合行业需求的专业人才,推动智能科学与技术专业的稳健发展。

### 1 ROS 课程教学中的问题

#### 1.1 学生编程基础薄弱

在智能科学与技术专业中,学生在接触 ROS 课程前,虽已涉猎部分编程语言及编程理念,但编程课程教学多聚焦于语法和基本算法,学生在运用编程解决复杂实际问题方面能力欠佳。在 ROS 编程领域,涉及多线程、异步通信、分布式系统等复杂编程范式,学生在理解和运用这些概念时困难重重。例如,在实现 ROS 节点间通信时,对于话题(Topic)和服务(Service)的编程操作,学生往往难以精准构建消息类型、妥善处理回调函数,以及确保数据的准确传输与同步,这使得他们在后续复杂机器人功能开发中障碍频出,易产生挫败感,进而对学习积极性和课程整体学习成效造成负面影响。

#### 1.2 学生学习信心容易受挫

机器人操作系统涉及机器人运动控制、传感器数据融合、路径规划、视觉图像处理等诸多复杂领域,其知识体系涵盖机械、电子、计算机、自动化等多学科交叉内容。对于智能科学与技术专业的学生而言,初涉 ROS 领域时,面对大量陌生且抽象的概念,极易陷入迷茫与困惑,进而滋生自我怀疑情绪,学习信心遭受严重打击。

##### 1.2.1 复杂概念引发的畏难情绪

ROS 中的机器人控制涉及到多机器人协作、实时控制、动力学建模等复杂概念,如在讲解多机器人协作的分布式

协同算法时,涉及任务分配、资源协调、通信协议等诸多细节,学生需同时理解算法原理、数学模型以及编程实现,知识跨度极大。初次接触时,这些抽象且高深的内容往往令学生望而却步,感觉无从下手,在尚未深入学习之前,便已心生畏惧,对后续课程的学习积极性造成极大负面影响。

### 1.2.2 学习挫折后的消极反馈

在课程学习过程中,实验环节是学生巩固知识、提升技能的关键步骤。然而,由于 ROS 系统的复杂性,实验中常出现各种问题,如代码报错、机器人运动异常、传感器数据采集不准确等。当学生花费大量时间仍无法解决这些问题时,容易产生沮丧、挫败情绪,进而质疑自己的学习能力。部分学生在经历几次实验失败后,便开始回避实验任务,减少学习投入时间,形成恶性循环,学习信心愈发低落,甚至对整个课程产生抵触心理。

### 1.3 课程实验系统性不足

目前,ROS 课程的实验安排通常呈现零散、缺乏系统性的弊端。实验内容大多只是对 ROS 各知识点的孤立验证,未形成有机整体。譬如,在部分实验中,学生仅完成单一传感器数据的读取与显示,或简单的机器人运动控制,却未能将这些实验环节与实际机器人应用场景有机融合,不了解如何在完整机器人系统中综合运用这些技术实现诸如自主导航、环境感知与智能决策等复杂功能。这种碎片化的实验教学模式导致学生难以构建对 ROS 系统全面且深入的认知,无法将所学知识融会贯通,在面对实际机器人开发项目时,缺乏系统性思维与问题解决能力,难以从整体上把控项目架构与流程,限制了学生对知识的综合运用与创新能力的培育。

### 1.4 学校硬件资源有限

硬件资源匮乏是众多高校在开展 ROS 课程教学时面临的显著难题。机器人硬件设备价格高昂,且需持续维护与更新,这对学校教学经费构成较大压力。故而,学校在机器人硬件配备上往往难以满足学生实际需求,致使学生实际操作硬件的机会稀少。例如,在进行机器人自主导航实验时,因缺乏充足数量的真实机器人平台,学生只能借助理论学习和简易仿真实验来了解导航原理与算法,无法在实际硬件环境中对算法性能予以验证与优化,难以真切体会机器人在实际运行中可能遭遇的各类问题,如传感器噪声、电机控制精度、环境干扰等,这严重削弱了学生的实践能力培养成效,使其无法切实掌握机器人开发的实用技能,与实际工业应用场景脱节,不利于学生毕业后迅速适应相关工作岗位。

## 2 ROS 课程教学改进措施

### 2.1 以案例由浅入深强化学生编程能力

为切实增强学生的编程能力,我们采用案例驱动的教学策略,精心设计了一套循序渐进的编程案例集。首先,从 ROS 编程的基础概念切入,以“Hello World”案例为

开端,引领学生了解 ROS 系统的基本架构与运行机理,包括 ROS 节点的创建方法以及如何运用 ROS 命令行工具进行节点管理与通信等基础操作。继而引入话题通信案例,指导学生掌握在不同节点间发布和订阅消息的技巧,深入理解消息类型的定义与数据传输流程。例如,构建一个模拟机器人速度控制的案例,让一个节点发布机器人的目标速度信息,另一个节点订阅该信息并模拟控制机器人的运动。通过此案例,学生不仅能够熟练掌握话题通信的编程实现方式,还能初步涉猎机器人控制的基本原理,为后续学习奠定基础。

随着学生编程能力的逐步提升,进一步引入更为复杂的案例,如基于服务的编程案例。以机器人的远程操作服务为例,要求学生实现客户端节点向服务器节点发送操作指令,服务器节点接收指令后执行相应机器人动作,并将执行结果反馈给客户端。在此过程中,学生需要深入钻研服务的请求与响应机制,学会设计合理的服务接口并处理复杂的逻辑流程,从而有效提升编程思维能力与问题解决能力。通过这一系列由浅入深的编程案例教学,学生能够逐步积累编程经验,深化对 ROS 编程的理解与掌握程度,为后续复杂机器人项目的开发筑牢根基。

### 2.2 仿真实验与实际系统对照讲解机器人概念方法

为有效解决学生学习信心受挫问题,采用仿真实验与实际系统参考对照的教学方法,通过生动直观的演示与深入浅出的讲解,助力学生攻克复杂概念难关,重拾学习信心。

#### 2.2.1 小乌龟仿真实验的引入与运用

ROS 自带的小乌龟仿真实验是初学者踏入 ROS 世界的理想起点。在课程开篇,教师引导学生启动小乌龟仿真环境,通过简单的键盘控制指令,让学生亲眼目睹小乌龟在屏幕上灵活穿梭,直观感受 ROS 系统对机器人运动的操控能力。在此过程中,教师详细阐释 ROS 的核心概念,如节点(Node)、话题(Topic)与消息(Message)。以控制小乌龟移动为例,向学生展示如何创建发布速度指令的节点,以及小乌龟接收并执行指令的订阅节点,使学生清晰理解节点间通过话题发布与订阅消息实现通信的机制,初步构建 ROS 知识框架,消除陌生感与畏难情绪。

#### 2.2.2 对比实际系统讲解复杂概念

在学生熟悉小乌龟仿真后,引入实际的自动导引车(AGV)导航系统作为对比参照。将小乌龟在二维平面的简单运动拓展至 AGV 在复杂真实环境中的导航任务,如在工厂车间内搬运货物。教师对照 AGV 实物或详细模型,深入剖析机器人定位、地图构建、路径规划与避障等关键概念。以 AGV 的激光雷达导航为例,对比小乌龟仿真中依据预设坐标移动,讲解 AGV 如何利用激光雷达实时扫描周围环境,构建地图并通过复杂算法实现自身定位;在路径规划方面,阐述 AGV 面对车间内众多障碍物与任务目标时,运用 A\*、Dijkstra 等先进算法规划最优路径,与小乌龟

的简单直线、曲线运动形成鲜明对比,让学生深刻领悟复杂机器人系统背后的原理,强化知识理解,将抽象概念具象化,切实提升学习信心。

### 2.3 以 AGV 导航仿真需求案例系统性分拆实验课程

针对课程实验系统性不足的问题,我们选取自动导引车 (AGV) 导航作为核心案例,对整个 ROS 课程的实验内容进行了系统性拆解与重新规划。首先,将 AGV 导航实验细化为多个紧密关联、层层递进的子实验。

在环境建模子实验中,引导学生运用 ROS 中的地图构建工具 (如 gmapping 或 cartographer),依据模拟的激光雷达数据构建 AGV 运行环境的地图。学生需掌握传感器参数的配置方法、地图构建节点的启动流程,并学会对构建好的地图进行保存与可视化处理。在此过程中,学生能够深入洞悉机器人环境感知的基本原理以及地图构建的算法流程,熟练掌握 ROS 工具在实际应用中的操作技巧。

在路径规划子实验中,基于前期构建的地图,指导学生实现不同的路径规划算法,如 A\*算法、Dijkstra 算法等。学生需编写路径规划节点,接收地图信息与目标点信息,计算出从起始点至目标点的最优路径,并将路径信息发布给后续的导航控制节点。通过此次实验,学生能够熟练掌握路径规划的核心算法以及 ROS 中路径规划功能包的使用方法,培养算法设计与实现能力。

在传感器数据融合子实验中,引入多种类型的传感器数据,如激光雷达、摄像头、惯性测量单元 (IMU) 等,引导学生学习如何对这些不同传感器的数据进行融合处理,以提升 AGV 的定位精度与环境感知能力。例如,通过扩展卡尔曼滤波 (EKF) 算法将激光雷达的位置信息与 IMU 的姿态信息进行融合,从而获取更精确的 AGV 状态估计。该实验环节使学生充分认识到多传感器融合在机器人系统中的关键作用与实现方式,有效提升数据处理与系统集成能力。

最后,在导航控制子实验中,学生将路径规划的结果与传感器融合后的状态信息作为输入,实现对 AGV 的精准导航控制。通过设计适宜的控制器的 (如 PID 控制器),使 AGV 能够沿着规划路径稳定行驶,并能依据环境变化实时调整运动状态。通过这一系列环环相扣的子实验,学生能够系统地掌握 AGV 导航系统的开发流程,从环境感知、路径规划到导航控制,构建起完整的知识体系,显著提升对 ROS 系统的综合应用能力与实际问题解决能力。

### 2.4 以仿真为主,视觉实战为辅的仿真教学

鉴于学校硬件资源有限的实际状况,我们构建了以仿真为主、视觉实战为辅的教学模式。在 AGV 小车导航规划教学中,主要依托 ROS 中的仿真工具 (如 Gazebo) 展开。借助仿真环境,学生能够轻松创设各类复杂场景与机器人模型,模拟真实的机器人运行环境与任务需求,无需依赖昂贵的硬件设备。

在仿真教学过程中,学生能够深入探究 AGV 导航系统的各个组成部分及其相互作用关系。例如,在仿真环境中灵活配置不同的传感器参数,细致观察传感器数据在导航进程中的变化对 AGV 行为的影响,从而深刻理解传感器的工作原理及其在导航中的重要作用。同时,学生能够便捷地修改与测试不同的导航算法和参数,快速验证算法的有效性与性能表现,极大地提高了学习效率与实验的灵活性。

为增强学生的实际动手能力与实验趣味性,我们在仿真实验的基础上,引入了基于视觉的实战环节。利用学生电脑自带的摄像头,开展小球颜色识别实验,并将其与 AGV 导航仿真相结合。在仿真的 AGV 模型上添加一个虚拟的摄像头模块,通过编程实现该摄像头模块与电脑摄像头的的数据连接,使学生能够在仿真环境中利用真实摄像头采集到的图像数据进行处理。例如,学生通过编写图像处理算法,实现对不同颜色小球的识别与定位,并将小球的位置信息作为 AGV 导航的目标点,引导 AGV 驶向目标小球。在此过程中,学生不仅学会了如何在 ROS 中处理视觉数据,包括图像的获取、预处理、特征提取与目标识别等技术,还能够将视觉感知与机器人的导航控制有机结合,进一步加深对 ROS 系统的理解与应用能力。而且,这种教学方法所需的硬件成本较低,学校仅需购置一些不同颜色的小球 (如乒乓球) 作为视觉目标,即可为学生营造一个具有实际操作体验的实验环境,有力地提升了学生的学习积极性与实践动手能力,在硬件资源有限的条件下,取得了良好的教学效果。

## 3 结语

经过为期一年的 ROS 课程改进,针对性地实施以案例强化编程能力、以 AGV 导航仿真系统分拆实验课程以及以仿真为主视觉实战为辅的教学改进举措,我们成功实现了教学效果的显著提升。学生在编程能力、对 ROS 系统的理解和应用能力以及实践动手能力等方面均取得了长足进步,该课程的教学效果有了明显提升。首先,编程能力的由浅入深讲解学生建立了编程的自信心,学生主动学习的积极性得到了极大的提升。再者,组织学生参加 ROS 相关的学科竞赛,增加学生动手实践能力,充分理解所学知识。通过组织学生组队训练,学生在“中国机器人与人工智能大赛”中累计获得一等奖 1 次,二等奖 2 次,三等奖 2 次。此外,经过该课程的学习,学生在 AGV,工业机器人应用企业得到的实习和工作的机会,得到了企业的高度认可。综上,通过 ROS 课程教学中的不断改进,该课程加强了学生实际编程能力、培养了 ROS 系统的理论知识以及实践能力。

基金项目:安徽省自然科学基金青年项目 (No. 2408085QE155);安徽工程大学引进人才科研启动基金项目 (No. 2023YQQ019);机器视觉检测安徽省重点实验

室开放基金资助项目 (NO. KLMVI-2023-HIT-04)。

#### [参考文献]

[1] 宋爱国, 黄惟一. 机器人技术及其应用 [M]. 安徽: 中国科学技术大学出版社, 2002.

[2] Quigley M, Gerkey B P, Conley K, et al. ROS: an open-source Robot Operating System [J]. ICRA Workshop on Open Source Software, 2009, 3(2): 5.

[3] 蔡自兴, 谢斌. 人工智能及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.

[4] Koubaa A. Robot Operating System (ROS) [M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.

[5] 赵春霞. 机器人学基础 [M]. 北京: 高等教育出版

社, 2017.

[6] 胡春华, 李文锋. 智能机器人技术课程教学改革与实践 [J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(8): 204-207.

[7] 李明. 编程能力对智能科学与技术专业课程学习的影响研究 [J]. 计算机教育, 2019(5): 112-115.

[8] 王勇, 刘刚. 实验教学系统性在智能技术课程中的作用 [J]. 教育现代化, 2020, 7(30): 45-48.

[9] 张宏, 陈强. 硬件资源限制下的高校机器人实践教学探索 [J]. 实验技术与管理, 2021, 38(6): 197-200.

[10] 陶文源, 罗均等. 基于 ROS 的机器人实践教学平台建设 [J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(1): 218-222.

作者简介: 庄金雷 (1989—), 男, 汉族, 博士, 讲师。

研究方向: 机器人控制、机器视觉、3D 点云处理。