

# Research on intelligent robot environment perception and path planning algorithm based on deep learning

Xu Han

Hainan International College of Communication University of China, Lingshui, Hainan, 572022, China

## Abstract

With the rapid advancement of artificial intelligence technology, intelligent robots have found widespread application in various sectors, including industrial manufacturing, logistics transportation, and service industries. Environmental perception and path planning are the core technologies of a robot's autonomous navigation system, directly impacting its operational capabilities in complex dynamic environments. Traditional methods, limited by the accuracy of environmental modeling and computational resources, struggle to meet the real-time response requirements in unstructured environments. This paper focuses on a systematic study of deep learning-based environmental perception and path planning techniques. It delves into image recognition and semantic segmentation for environmental perception, as well as reinforcement learning and end-to-end model design for path planning. A path planning framework that integrates convolutional neural networks (CNN) and deep reinforcement learning (DRL) is proposed. Experimental results show that this method significantly improves path planning efficiency and effectively handles dynamic obstacle interference, providing a viable solution for intelligent robots to make autonomous decisions in complex scenarios.

## Keywords

intelligent robot; environment perception; path planning; deep learning; reinforcement learning

# 基于深度学习的智能机器人环境感知与路径规划算法研究

韩煦

中国传媒大学海南国际学院, 中国·海南陵水 572022

## 摘要

随着人工智能技术的迅猛发展,智能机器人在工业制造、物流运输、服务行业等多个领域得到了广泛应用。环境感知与路径规划是机器人自主导航系统的核心技术,直接影响其在复杂动态环境中的作业能力。传统方法受限于环境建模的准确性与计算资源的限制,难以应对非结构化环境下的实时响应需求。本文围绕基于深度学习的环境感知与路径规划技术展开系统研究,从环境感知的图像识别、语义分割到路径规划中的强化学习与端到端模型设计进行深入分析,提出一种融合卷积神经网络(CNN)与深度强化学习(DRL)的路径规划框架。实验结果表明,该方法在提高路径规划效率、应对动态障碍物干扰方面具有良好性能,为智能机器人在复杂场景中的自主决策提供了可行路径。

## 关键词

智能机器人; 环境感知; 路径规划; 深度学习; 强化学习

## 1 引言

近年来,智能机器人已逐步从工业领域向日常生活扩展,其自主导航与路径规划技术的先进性直接决定了其服务质量。传统路径规划方法如A\*、Dijkstra算法依赖于精确环境建模,难以适应非结构化与动态变化场景。而深度学习作为人工智能领域的重要分支,具有强大的特征提取与模式识别能力,为环境感知与路径规划提供了全新思路。本文旨在探索基于深度学习方法实现机器人感知与规划系统的高效协同,通过算法模型设计、关键模块优化与实验验证,提升

智能机器人的环境适应与自主决策能力。

## 2 基于深度学习的环境感知技术研究

### 2.1 图像识别在环境建模中的应用

环境感知是实现智能机器人自主导航与路径规划的基础,而图像识别技术在获取和理解外部环境信息方面起着关键作用。尤其是卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN),由于其在图像处理中的卓越表现,已成为环境建模中的主流方法之一。CNN通过模拟人类视觉皮层的感知机制,能够自动提取图像中的局部边缘、纹理特征乃至高层语义信息,并逐层构建出对环境的抽象表达。在机器人视觉系统中,CNN被广泛应用于障碍物检测、目标识别、场景分类等任务,通过对多帧图像的训练,逐渐学会识别和定位环境中的静态和动态物体。

【作者简介】韩煦(2005-),男,中国山东济南人,就读于中国传媒大学智能科学与技术专业。

特别是在室内导航任务中，RGB-D 图像的引入有效提升了图像识别的精度。RGB 图像提供丰富的颜色与纹理信息，而深度图则补充了空间几何结构的信息，二者结合使机器人不仅能够“看见”物体，还能“理解”其空间位置和形状。这种深度感知能力使得机器人在面对复杂室内布局时，也能构建出细粒度、高精度的环境模型，从而提升自主决策的可靠性。

## 2.2 语义分割助力场景理解

在传统的环境感知系统中，场景理解往往依赖预设规则和模板匹配方法，适应性和泛化能力较差。语义分割技术则通过对图像中每一个像素进行语义分类，实现了从“看见物体”到“理解场景”的转变。通过深度学习方法，尤其是 U-Net、SegNet、DeepLab 等网络结构的推动，语义分割已在城市道路、室内导航等领域取得显著成果。例如，在 Cityscapes 等大规模城市场景数据集上，语义分割模型能够准确识别道路、人行道、车辆、行人、建筑等类别，为自动驾驶和机器人路径规划提供坚实的信息支持。

语义分割的最大优势在于其像素级别的理解能力，使机器人在复杂场景中能更精准地判断可通行区域与潜在障碍。通过引入实时语义分割机制，机器人不仅能够对静态场景进行分割分析，还能根据连续帧之间的变化，捕捉动态目标（如行人移动、门窗开启等）的变化趋势，进而实现行为预测与动态规避。这种预测性理解极大增强了机器人的环境适应能力与自主性。

## 2.3 多模态感知融合

在实际应用场景中，单一的感知方式往往难以应对各种环境扰动因素。例如，摄像头可能受到光照强弱、反射、遮挡等问题的影响；激光雷达在玻璃表面或强反射物体面前存在误差；红外传感器在高温背景下易受干扰。因此，融合多种传感器信息的多模态感知成为提高环境建模鲁棒性的重要方向。

多模态感知融合主要包括图像、激光雷达 (LiDAR)、红外传感器、超声波等多源数据的集成。神经网络在该领域展现出优越的非线性建模能力，能够在高维异构数据之间建立复杂的关联。例如，基于多模态传感器融合的深度自动编码器模型，通过编码器对各模态数据进行统一嵌入表示，再通过解码器重建环境信息，有效提升了对环境细节的捕捉能力。此类模型能够在传感器出现部分失效或数据缺失的情况下，依然保持稳定感知效果，为后续的定位、地图构建与路径规划提供高质量的输入。

同时，融合后的感知系统还能通过特征级与决策级融合策略，实现更高层次的信息整合。例如，图像提供颜色与纹理信息，激光雷达提供结构与距离信息，红外提供温度与生命体征等指标，三者融合能让机器人在夜间或恶劣气候下依然维持感知与导航能力。这种多模态感知技术，正逐步走向实时化、轻量化的发展趋势，为未来智能机器人的普及应用

奠定了坚实的技术基础。

## 3 深度学习驱动的路径规划算法研究

### 3.1 强化学习在路径优化中的引入

强化学习 (Reinforcement Learning, RL) 是一种通过智能体与环境的不断交互，在试错过程中学习最优行为策略的算法框架。在机器人路径规划问题中，引入强化学习使机器人能够摆脱对明确模型的依赖，自主探索和学习规避障碍、选择最优路径的策略。尤其在未知或动态环境中，强化学习提供了更具适应性的解决方案。

近年来，深度强化学习 (Deep Reinforcement Learning, DRL) 的发展将深度神经网络与强化学习方法结合，使算法具备处理高维状态空间的能力。例如，Deep Q-Network (DQN) 通过使用卷积神经网络近似 Q 值函数，在图像等感知数据输入的情况下仍能学习有效策略；而 Proximal Policy Optimization (PPO) 等策略优化算法，则以稳定性和样本效率高著称，常用于复杂连续控制任务。

在路径规划场景中，构建合适的奖励函数是训练强化学习模型的关键。通过设计与路径长度、碰撞次数、能耗等因素相关的奖励结构，机器人可以在模拟环境中反复试验、不断优化，从而学习出既高效又安全的导航策略。该类算法已在多个仿真平台（如 Gazebo、AirSim）和实际机器人系统中验证其有效性，展现出良好的泛化能力与应用前景。

### 3.2 端到端路径规划模型设计

传统的路径规划方法通常由多个处理阶段组成，包括环境感知、地图构建、路径搜索与运动控制等，各阶段之间存在耦合性强、误差传递等问题，导致整体系统复杂且响应速度较慢。为简化流程并提升实时性，研究者提出了端到端路径规划模型 (End-to-End Planning)，试图直接从原始传感器数据（如摄像头图像、激光雷达点云）到控制指令的直接映射。

此类模型通常基于深度学习架构构建，通过大量训练数据学习感知与控制之间的隐式关系。在具体实现中，卷积神经网络 (CNN) 被用于提取图像或点云中的空间特征，循环神经网络 (RNN) 则在处理时序信息方面表现优异，能够捕捉机器人在连续动作中的动态变化，适应复杂环境中的路径动态调整。

近年来，Transformer 结构的引入进一步推动了端到端路径规划的发展。Transformer 通过自注意力机制具备全局建模能力，不再局限于局部感知数据，使模型能够更全面地理解环境信息，从而生成更合理、更安全的路径。相比传统基于局部策略的规划方法，Transformer 增强了整体路径的一致性与鲁棒性，尤其适用于大范围或高度动态的导航场景。

通过端到端路径规划模型的部署，机器人系统不仅在决策效率上得以提升，也在模型简化与部署成本方面获得优

化,为实现真正自主导航的智能系统奠定了基础。

## 4 关键技术与系统实现

### 4.1 数据集构建与模型训练策略

深度学习方法在机器人导航中的成功依赖于大规模、高质量的数据集支持。为满足导航系统在多种环境下的适应性,构建多样化的数据集尤为关键。数据集应涵盖室内外不同类型场景,包括家庭、办公楼、城市街道、无人区等,并考虑多种天气变化(如晴天、雨天、雾天)与光照条件(白天、夜晚、逆光等),以提升模型对真实环境的鲁棒性。

在模型训练策略方面,迁移学习是一种有效手段。通过在通用环境中预训练模型,并将其迁移到特定任务中,不仅可降低对目标环境中数据量的依赖,还能显著加快模型收敛速度,节省训练成本。此外,数据增强技术如随机旋转、图像裁剪、噪声注入和遮挡模拟等,能够在不增加实际采集数据的情况下扩展训练集规模,有效提升模型对各种扰动的鲁棒性和泛化能力。这些策略共同促进导航模型在复杂、变化环境中的稳定运行与高效决策。

### 4.2 在线路径更新机制

在实际部署中,机器人常面临环境变化,如新增障碍物、通道封闭等问题。为保证导航的实时性与安全性,引入在线路径更新机制显得尤为必要。结合 SLAM 技术实时更新地图信息,并通过轻量级神经网络进行快速路径重规划,使机器人能够在变化环境中持续作业。此类机制特别适用于仓储物流等动态场景。

### 4.3 算法性能评估与实验验证

为验证所提出方法的有效性,本文在多个公开仿真平台如 Gazebo、CARLA 上进行了对比实验。评估指标包括路径长度、避障成功率、平均规划时间等。实验结果显示,本文方法在动态环境下依旧保持较高的成功率与路径合理性,优于传统 A\* 与基于图搜索的算法,验证了深度学习方法在复杂路径规划任务中的应用前景。

## 5 未来发展方向与挑战

### 5.1 计算资源优化与轻量化模型

尽管深度学习算法在性能上具有优势,但其高计算需求限制了在资源受限设备上的应用。未来研究需围绕模型压缩、知识蒸馏、神经架构搜索(NAS)等技术展开,开发适用于嵌入式设备的高效模型。此外,异构计算架构如 GPU+FPGA 的协同也将成为提升系统效率的重要途径。

### 5.2 通用性与迁移能力提升

现实环境的多样性要求算法具备良好的泛化能力。当前模型往往在特定场景下表现优异,但迁移到新环境时性能下降明显。如何提升算法对未知环境的适应性,将是未来研究的重要方向。结合元学习与自监督学习,机器人可在少量新数据下快速适应,增强实际部署的灵活性。

## 6 结语

本文系统探讨了基于深度学习的智能机器人环境感知与路径规划技术,分析了从图像识别到路径优化的关键环节,提出一种融合 CNN 与 DRL 的端到端路径规划框架。实验验证表明,该方法在动态环境下具备优越性能,能够有效支持机器人在复杂场景中的自主导航任务。未来,需进一步在模型效率、通用性与真实场景适应性方面进行深入研究,以推动智能机器人技术的实际应用。

### 参考文献

- [1] 陈仁祥,祝宇航,杨黎霞,等.面向复杂山地环境的四足机器人路径规划方法[J].中国惯性技术学报,2024,32(12):1250-1257+1262.
- [2] 钟本源,张楠,魏少雄.基于粒子群算法的煤矿救援机器人路径规划[J].山东煤炭科技,2024,42(12):96-100+105+120.
- [3] 仪繁荣.自主导航智能机器人的路径规划算法研究[J].家电维修,2024,(12):89-91.
- [4] 马海杰,薛安虎.基于深度注意力Q网络的机器人路径规划研究[J].传感器与微系统,2024,43(12):66-70+75.
- [5] 刘玉炜,王义娜,杨俊友.基于蚁群-双向RRT节点剔除的机械臂路径规划方法[J].机器人技术与应用,2024,(06):20-27.