

# 基于融合改进 RRT 和 DWA 算法的移动机器人 路径规划研究

郭建

广州城市理工学院

**摘要:** 针对移动机器人在复杂动态环境中路径规划安全性不足、局部规划易陷入局部最优等问题,提出一种融合改进 RRT 与 DWA 算法的路径规划方法。在全局规划层面,通过引入安全距离约束与路径缩短策略,对 RRT 算法进行改进,提升路径的安全性与平滑性;在局部规划层面,将全局路径引入 DWA 评价函数,实现对局部规划的全局引导,并针对固定权重适应性不足的问题,提出二次调权与路径回正机制。同时,设计安全动态避障策略,提高机器人对动态障碍物的避障效率。仿真与真实环境实验结果表明,该方法在路径长度、运行效率及避障安全性方面均优于传统算法,具有较好的环境适应性与工程应用价值。

**关键词:** 融合改进; RRT 算法; DWA 算法; 移动机器人; 路径规划

随着智能制造、智慧物流、医疗服务及公共服务等领域的快速发展,移动机器人因具备自主导航、环境感知与灵活执行等优势而得到广泛应用。路径规划作为移动机器人实现自主运动的核心技术之一,直接关系到其运行效率、安全性及系统稳定性。在复杂环境中,移动机器人不仅需要规划一条从起点到目标点的可行路径,还必须在保证安全性的前提下,尽可能缩短路径长度、降低运行时间,并具备应对动态障碍物的能力。

从环境信息的完备程度来看,移动机器人路径规划通常可分为全局路径规划与局部路径规划两类。全局路径规划多基于已知或部分已知的环境地图,目标在于寻找整体最优路径,但对环境动态变化的响应能力有限;局部路径规划则依赖实时传感器信息,对动态障碍物具有较好的适应性,但容易陷入局部最优,难以保证全局路径质量。实际应用中,单一规划策略往往难以满足复杂场景下的综合需求,因此将全局规划与局部规划有机融合,已成为当前路径规划研究的重要方向。

快速随机扩展树(Rapidly-exploring Random Tree,RRT)及其改进算法因具有搜索效率高、适应高维空间能力强等特点,在全局路径规划中得到广泛应用;动态窗口法(Dynamic Window Approach,DWA)则以速度空间采样为核心,能够在满足机器人动力学约束的前提下实现实时避障。然而,传统 RRT 算法在路径安全性与冗余节点控制方面存在不足,而传统 DWA 算法缺乏全局路径引导,且固定权重机制导致其在复杂动态环境中适应性有限。

基于上述问题,本文提出一种融合改进 RRT 与

DWA 的移动机器人路径规划方法。通过在全局层面对 RRT 算法进行安全距离约束与路径优化,在局部层面对 DWA 算法引入二次调权与路径回正机制,并设计安全动态避障策略,实现对复杂静、动态环境下路径规划性能的综合提升。通过仿真实验与真实环境实验对比分析,以验证所提方法在路径安全性、平滑性及运行效率方面的有效性。

## 一、改进 RRT 算法的全局路径规划方法

RRT\* 算法是在传统 RRT 基础上引入渐进最优特性的改进算法,其通过父节点重选与重新布线机制,使生成路径在迭代过程中不断逼近最优解。然而,在复杂障碍环境中,单纯依赖 RRT\* 算法仍可能生成与障碍物距离过近的路径,难以满足移动机器人安全运行的实际需求。

为提高全局路径规划的安全性与可执行性,本文从危险节点剔除与路径缩短两个方面对 RRT\* 算法进行改进。首先,在节点扩展过程中引入安全距离约束机制。通过对障碍物进行分割处理,并采用外接圆近似表示障碍区域,在新节点生成时计算其与障碍物之间的最短距离。当该距离小于预设安全距离时,判定该节点为危险节点并予以剔除;反之则保留为可行节点。该方法有效避免了路径在无碰撞但安全裕度不足情况下贴近障碍物的问题,从源头上提升了路径安全性。

其次,为减少路径中的冗余节点并降低路径曲折度,引入了基于贪婪思想的路径缩短策略。具体而言,在保证不发生碰撞的前提下,优先尝试直接连接路径中的非相邻节点,以替代原有多段折线路径;若存在碰撞风险,则逐步向前搜索可行的中间节点作为新的连接点,并重复上述过程,直至生成由起点、若干关

键节点与目标点构成的最优路径。该策略在不增加计算复杂度的前提下有效缩短了路径长度,提高了路径平滑性。

在静态已知障碍环境下的仿真实验表明,改进RRT算法在路径长度方面与传统算法基本一致,但路径与障碍物之间的最小安全距离显著增大,能够更好地满足移动机器人安全运行的要求,为后续局部路径规划提供高质量的全局参考路径。

## 二、融合改进 RRT - DWA 的局部路径规划方法

在复杂动态环境中,单一依赖全局路径规划难以应对环境的实时变化,而仅采用局部路径规划又容易陷入局部最优,导致路径冗长或避障效率低下。因此,在获得高质量全局路径的基础上,进一步引入具备实时避障能力的局部路径规划算法,是提升移动机器人路径规划性能的关键。研究在分析传统DWA算法不足的基础上,提出一种融合改进RRT-DWA的局部路径规划方法,并从权重调节与动态避障策略两个方面进行系统优化。

### (一) 传统 DWA 算法的局部规划机理与不足

动态窗口法(Dynamic Window Approach, DWA)是一种基于速度空间采样的局部路径规划算法,其核心思想是在满足机器人运动学与动力学约束的前提下,对线速度与角速度进行离散采样,并在预测时间窗口内对每组速度对应的轨迹进行模拟。通过评价函数对候选轨迹进行打分,最终选取评分最高的速度指令驱动机器人运动。

DWA算法在动态避障方面具有较强的实时性优势,但在实际应用中仍存在明显局限。一方面,该算法缺乏对全局最优路径的有效引导,容易在复杂障碍环境中出现绕行距离过大甚至陷入局部极小值的问题;另一方面,其评价函数中各权重参数通常采用固定设置,难以根据环境变化进行自适应调整,导致在未知障碍或密集障碍环境下避障策略不够合理。此外,传统DWA在面对动态障碍物时,多采用减速或跟随策略,避障过程保守且效率偏低。

### (二) 融合 RRT 全局路径的 DWA 局部规划方法

针对传统DWA算法全局引导能力不足的问题,本文将改进RRT算法生成的全局路径引入DWA的评价函数中,构建融合式路径规划框架。具体而言,在原有评价函数的基础上增加机器人当前位置轨迹与全局路径之间的距离评价项,使局部规划过程不仅关注当前避障需求,还能够整体趋势上向全局最优路径靠拢。

通过引入全局路径约束,局部轨迹的选择不再

完全依赖短期避障效果,而是兼顾路径整体最优性。这种融合方式能够有效减少无效绕行现象,使机器人在动态环境中始终保持对目标路径的良好跟踪能力。然而,融合算法在权重固定的情况下,仍然难以适应复杂多变的环境,尤其是在未知障碍或动态障碍密集区域,仍存在避障不及时或路径偏离过大的问题。

### (三) 二次调权与路径回正机制

为提升融合算法在复杂环境中的自适应能力,本文提出二次调权与路径回正机制。该机制的核心思想是在不同环境阶段动态调整DWA评价函数中的权重配置,使机器人在安全性与路径最优性之间实现平衡。

当机器人进入未知障碍检测区域或与障碍物距离小于预设阈值时,系统自动增大避障相关评价项的权重,并适当减小路径跟踪权重,引导机器人优先完成安全避障操作;在成功避开障碍物后,若机器人当前位置满足回正条件,则逐步恢复原有权重配置,使运动轨迹重新向全局参考路径逼近。通过这种分阶段调节方式,机器人既能够快速响应突发障碍,又不会因过度避障而长期偏离最优路径。

该机制有效解决了固定权重条件下路径振荡与回归缓慢的问题,使局部规划过程更加平稳、连贯,为复杂环境下的路径规划提供了可靠保障。

### (四) 安全动态避障策略设计

在动态障碍环境中,仅依靠传统减速避障策略往往难以满足效率与安全性的双重要求。针对这一问题,本文进一步提出安全动态避障策略,通过对潜在碰撞风险进行提前预测,实现主动式避障。

该策略通过设定潜在碰撞检测距离,对机器人与动态障碍物到达可能交叉区域的时间进行估计与比较。当判断机器人存在较高碰撞风险时,不再单纯采用减速策略,而是结合转向与加速指令,引导机器人快速绕离危险区域,并在避障完成后及时回归原有路径。与传统方法相比,该策略能够显著缩短避障过程的时间,提高路径规划整体效率,同时保持机器人与动态障碍物之间的安全距离。

## 三、实验验证与结果分析

为验证所提融合改进算法的有效性,本文分别在仿真环境与真实环境中进行了对比实验。在仿真验证中,针对静态障碍环境与包含动态障碍的复杂环境,对传统DWA算法、融合算法及改进融合算法的路径规划效果进行分析。结果表明,传统DWA算法虽具备一定动态避障能力,但路径长度较大且缺乏全局最优性;融合算法在路径长度方面有所改善,但由于权

重固定, 路径平滑性与安全性仍存在不足; 而改进融合算法在安全性、路径平滑度及环境适应性方面均表现出明显优势, 能够在复杂环境中实现稳定、高效的 路径规划。

在真实环境实验中, 本文基于 ROS 平台与 Turtlebot2 移动机器人开展验证实验, 实验场景设置在室内实验室环境中, 并配置深度相机获取实时环境信息。实验结果显示, 与传统 A\*-DWA 算法相比, 改进 RRT-DWA 算法在相同起始条件下生成的路径更短、运行时间更少, 机器人平均运行速度更快, 且在面对地面不平整、光照变化及传感器噪声等不确定因素时, 仍能保持稳定运行, 充分验证了所提方法在实际应用中的鲁棒性与实用价值。

#### 四、结论

本文围绕复杂动态环境下移动机器人路径规划问题, 提出了一种融合改进 RRT 与 DWA 的路径规划方法。通过在全局层面对 RRT 算法引入安全距离约束与路径优化机制, 在局部层面对 DWA 算法实施二次调权、路径回正及安全动态避障策略, 实现了全局最优性与局部实时避障能力的有效统一。仿真与真实环境实验结果表明, 该方法在路径安全性、平滑性及运行效率方面均优于传统算法, 能够显著提升移动机器人在复杂环境中的自主导航能力。

#### 参考文献:

[1] 张瑞, 周丽, 刘正洋. 融合 RRT<sup>\*</sup> 与 DWA 算法的移动机器人动态路径规划 [J]. 系统仿真学

报, 2024, 36(4): 957-968.

- [2] 巩浩, 谭向全, 李佳欣, 等. 基于改进 RRT 算法的移动机器人路径规划研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2024(1): 19-24.
- [3] 李文君, 李忠伟, 罗偲. 基于 RRT 算法的移动机器人安全光滑路径生成 [J]. 电子测量技术, 2024, 47(2): 51-60.
- [4] 罗济雨, 孙丙宇. 基于改进型 RRT<sup>\*</sup> 算法的移动机器人路径规划 [J]. 计算机工程与设计, 2024, 45(8): 2357-2363.
- [5] 周瑞红, 李彩虹, 张耀玉, 等. 基于改进 RRT 算法的移动机器人路径规划 [J]. 山东理工大学学报 (自然科学版), 2024, 38(5): 54-60.
- [6] 袁新亚, 戴娟, 孙胜强, 等. 融合 A<sup>\*</sup> 和 DWA 算法的移动机器人路径规划方法 [J]. 电子测量技术, 2024, 47(4): 95-103.
- [7] 王冠强, 张驰洲, 陈明松, 等. 融合 RRT-Connect 和 DWA 算法的室内移动机器人单目标点导航任务研究 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2023, 54(11): 4326-4337.
- [8] 刘紫燕, 张杰, 袁浩, 等. 融合改进 RRT 和 DWA 算法的移动机器人路径规划 [J]. 机械设计与制造, 2023, 393(11): 224-229.
- [9] 劳彩莲, 李鹏, 冯宇. 基于改进 A<sup>\*</sup> 与 DWA 算法融合的温室机器人路径规划 [J]. 农业机械学报, 2021, 52(1): 14-22.