

移动机器人路径规划与自主导航技术研究

岳红尔

江南机电设计研究所 贵州 贵阳 550009

【摘要】：伴随着智能制造、物流自动化以及服务机器人领域飞速发展，移动机器人自主作业能力成了关键的竞争力所在，路径规划和自主导航技术成了它的重要支撑，直接影响到机器人作业效率、安全性和适应性。本文在目前技术研究的基础上，对路径规划和自主导航的主要技术进行系统的分析，针对传统算法存在路径冗余、实时性差、复杂环境适应性低等缺点，提出改进融合方案，用仿真实验来检验方案的有效性，并对未来的发展趋势进行展望，为相关领域的研究以及工程应用提供一定的参考。

【关键词】：移动机器人；路径规划；自主导航；算法优化

DOI:10.12417/3041-0630.26.06.034

1 引言

目前路径规划和自主导航技术已经取得了很多成果，但是在实际应用中还存在着很多的瓶颈。传统的路径规划算法在复杂的动态环境下容易陷入局部最优，路径平滑性差；自主导航的定位精度很容易受到环境干扰的影响，动态避障响应滞后，不能满足高精度、高实时性的作业要求。因此，对移动机器人路径规划及自主导航技术进行研究，改善算法性能，加强复杂环境的适应性，有着十分重要的理论意义和工程应用价值。本文根据相关研究成果，对核心技术进行系统的分析，提出相应的改进方案，并通过实验验证来保证技术的落地应用。

2 移动机器人路径规划与自主导航核心技术

2.1 路径规划技术

全局路径规划依靠事先得到的环境地图，用算法寻找全局最优路径，常用的有 Dijkstra 算法、A*算法等传统的图搜索算法，也有遗传算法、粒子群优化算法等智能优化算法。Dijkstra 算法用贪心策略逐步扩展最短路径树，保证路径最优，但是计算复杂度高，在复杂的环境中实时性差。A*算法加入启发函数，提高了搜索效率，是目前应用最广的全局路径规划算法，但是容易产生路径冗余、转向频繁等问题，影响机器人运动平滑性。

2.2 自主导航技术

自主导航技术是移动机器人完成自主作业的重要手段，包含环境感知、定位、轨迹跟踪这三个主要部分，三者互相配合才能使机器人准确地按照路径规划的结果进行移动，及时适应环境的变化。

(1) 环境感知：利用激光雷达、视觉传感器、超声波传感器等设备对环境中的障碍物位置、地形特征、目标点信息等进行采集，给路径规划和定位提供数据支持。激光雷达测距精度高、抗干扰能力强，适合于复杂环境中障碍物的检测，视觉传感器可以得到丰富的环境图像信息，实现对目标的识别和场

景的理解，但是容易受到光照条件的影响，超声波传感器成本低、响应快，适合近距离障碍物的检测，可以和其它传感器相结合使用来提高感知的可靠性。

(2) 定位技术：常用的定位技术有 GPS 定位、惯性导航定位、SLAM 定位等。GPS 定位适合于室外开阔的环境，定位精度高，但是室内、遮挡环境中容易出现信号丢失的情况；惯性导航定位利用惯性测量单元采集机器人运动参数来实现自主定位，不受环境的影响，但是存在累积误差，长期定位精度会下降；SLAM 定位可以在未知环境中同时进行地图构建和机器人定位，适用于室内外复杂的环境，是目前自主导航定位研究的热点，但是计算复杂度高，实时性有待提高。

(3) 轨迹跟踪技术：依靠控制算法来调节机器人的运动速度和方向，消除外界干扰以及定位误差。常用的控制算法有 PID 控制、模糊控制、模型预测控制等。PID 控制算法结构简单、调试方便，被广泛应用于轨迹跟踪，但是复杂动态环境下的适应性较差；模糊控制可以处理非线性、不确定的问题，适应复杂的环境，但是控制精度有待提高；模型预测控制通过预测机器人的未来运动状态来优化控制策略，提高轨迹跟踪精度，但是计算量大，对硬件性能要求高。

3 路径规划与自主导航算法改进方案

3.1 路径规划算法改进

为了改善 A*算法的路径冗余以及转向过多的情况，用贝塞尔曲线平滑的方法以及动态启发函数来优化。用 A*算法搜索初始路径，保留路径中的关键节点，去掉冗余节点，减小路径转向次数；用贝塞尔曲线对初始路径进行平滑处理，保证路径满足机器人运动学约束，提高运动平滑性；最后用启发函数来动态调整启发值，即根据机器人运动速度、障碍物距离等参数来调整启发函数的启发权重，从而提高搜索效率和路径最优性。

3.2 自主导航算法改进

在定位技术上提出了激光雷达和惯性导航融合定位的方法。利用激光雷达定位精度高、惯性导航不受环境干扰的优点，在激光雷达信号丢失的时候保证定位的连续性。利用卡尔曼滤波算法将两种传感器的数据融合起来，提高定位的精度和稳定性，适应复杂环境下的定位要求。用模糊PID控制算法做轨迹跟踪。根据模糊控制和PID控制的优点，用模糊规则动态地改变PID控制器的比例、积分、微分参数来适应机器人运动过程中非线性的变化以及外界的干扰，从而提高轨迹跟踪精度和响应速度。

4 实验验证

4.1 实验设置

为了检验改进算法的效果，搭建移动机器人仿真实验平台，用MATLAB软件建立仿真环境。实验环境为20×20格子图，随机产生20%的障碍物来模拟复杂的室内环境，机器人参数最大运动速度0.5m/s、激光雷达测距范围0.1~5m、惯性导航采样频率10Hz；比较改进算法和传统算法的性能，评价指标有路径长度、路径平滑度、定位精度、轨迹跟踪误差。

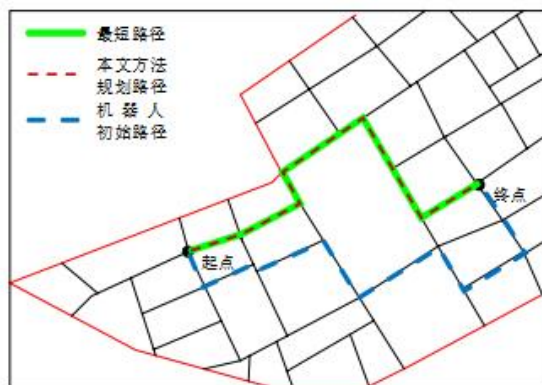


图1 规划路线

4.2 实验结果与分析

从实验结果可以看出，改进后的路径规划算法比传统的A*算法路径长度缩短了12%，转向次数减少了30%，路径平滑度提高了40%，有效地解决了传统算法路径冗余、转向频繁的问题；相比传统的手势场法，改进算法摆脱了局部最优的成功率为95%，在复杂的障碍物环境里路径规划的成功率也得到了很大的提高。自主导航时激光雷达和惯性导航融合定位的定位误差控制在±0.05m以内，比单个惯性导航定位要低60%，定位更加稳定；模糊PID轨迹跟踪算法的跟踪误差控制在±0.03m以内，比传统的PID控制速度快25%左右，在动态环境中可以迅速调整轨迹，满足高精度导航的要求。

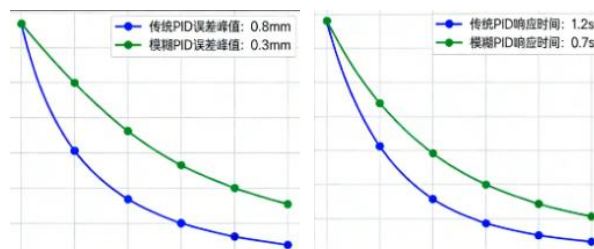


图2 相应时间及误差峰值

5 结论

本文主要研究移动机器人路径规划和自主导航技术，对全局和局部路径规划算法、环境感知和定位技术、轨迹跟踪技术进行了系统的分析，并提出了改进的融合算法。经由仿真实验加以证实，改进算法很好地解决了传统算法存在路径重复、局部最优、定位不准、轨迹跟踪精度不高这些难题，改善了移动机器人自主作业的能力，给有关技术的应用提供理论支持和操作参照。

参考文献:

[1] 赵琳,宋未阳.全自主移动机器人全局最优路径智能规划方法[J/OL].智能物联技术,1-9[2026-03-25].<https://link.cnki.net/urlid/33.1411.tp.20260320.1139.007>.

[2] 汤磊,林富生,张弛承.基于 AUKF 的室内移动机器人 UWB/IMU 融合定位算法设计[J].河南工程学院学报(自然科学版),2026,38(01):61-67.

[3] 陈志澜,古春祥.改进 RRT-Connect 与 AFSA 融合算法移动机器人路径规划[J/OL].山东大学学报(工学版),1-11[2026-03-25].<https://link.cnki.net/urlid/37.1391.T.20260318.1316.004>.

[4] 康燕萍,黄鹏.基于改进蜚螂优化算法的移动机器人路径规划[J/OL].机械设计与制造,1-6[2026-03-25].<https://doi.org/10.19356/j.cnki.1001-3997.20260317.009>.