

Local Dynamic Fusion Path Planning of Power Inspection Robot for Complex Obstacle Field

Lei Yan¹ Jingtao Li¹ Guoqing Zhuang²

1. Shandong Lingyi Intelligent Technology Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250100, China

2. Shandong Zhihang UAV Technology Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250100, China

Abstract

With the continuous development of power system, the demand for power inspection robot is increasing. When the existing inspection robots face complex obstacle fields, there are some limitations in path planning, and they fail to effectively cope with the challenge of dynamic environmental changes. This paper presents a local dynamic fusion path planning method for complex obstacle field. Through state space modeling and dynamic information fusion, the method realizes the path planning and optimization of robots in complex environment, thus improving the efficiency and security of power inspection. The proposed method shows good performance in various complex scenarios and has high practical value and promotion potential.

Keywords

power inspection robot; path planning; local dynamic fusion; complex obstacle field; state space modeling

面向复杂障碍场的电力巡检机器人局部动态融合路径规划

燕磊¹ 李敬涛¹ 庄国庆²

1. 山东领亿智能技术有限公司, 中国·山东 济南 250100

2. 山东智航无人机科技有限公司, 中国·山东 济南 250100

摘 要

随着电力系统的不断发展, 对于电力巡检机器人的需求日益增加。现有的巡检机器人在面对复杂障碍时, 路径规划方面存在一定的局限性, 无法有效应对动态环境变化的挑战。论文提出了一种面向复杂障碍场的电力巡检机器人局部动态融合路径规划方法。该方法通过状态空间建模和动态信息融合, 实现了机器人在复杂环境中的路径规划和优化, 从而提高了电力巡检效率和安全性。所提方法在各种复杂场景下均表现出良好的性能, 具有较高的实用价值和推广潜力。

关键词

电力巡检机器人; 路径规划; 局部动态融合; 复杂障碍场; 状态空间建模

1 引言

随着现代社会对电力系统可靠性和安全性要求的不断提高, 电力巡检机器人作为一种高效、智能的巡检工具, 受到了广泛关注和应用。电力巡检机器人通过自主巡检, 可以有效降低人工巡检的安全风险和成本, 提高巡检效率。然而, 在实际应用中, 电力巡检机器人往往面临复杂多变的环境, 如高压线路、复杂障碍物等, 传统的路径规划方法往往难以满足实时性和精确性的要求。

2 路径规划技术

2.1 静态路径规划算法分析

静态路径规划算法是一类在事先已知环境地图的基础

上进行路径规划的算法。它适用于环境变化较小、路径相对稳定的场景, 是电力巡检机器人路径规划的基础。静态路径规划算法通常采用图搜索或启发式搜索的方法, 常见的算法包括 Dijkstra 算法、A* 算法以及最短路径算法。

Dijkstra 算法: Dijkstra 算法是一种广度优先搜索算法, 通过计算节点之间的最短路径来实现路径规划。它的主要思想是从起点开始, 逐步扩展搜索范围, 直到找到目标点为止。然而, 当环境图较大时, Dijkstra 算法的搜索效率会受到较大影响, 且无法应对动态环境的变化。

A* 算法: A* 算法是一种启发式搜索算法, 结合了 Dijkstra 算法和贪心算法的思想。它通过引入启发函数来估计到目标节点的距离, 并根据该估计值来指导搜索方向, 从而提高搜索效率。A* 算法在静态环境中表现出色, 但在处理复杂动态环境时, 需要适当调整启发函数以应对环境变化^[1]。

最短路径算法: 最短路径算法是一种基于图论的路径搜索算法, 用于求解带权有向图或无向图的最短路径。常见

【作者简介】燕磊 (1987–), 男, 中国山东济南人, 硕士, 从事人工智能、机器视觉领域研发研究。

的最短路径算法包括 Floyd 算法、Bellman-Ford 算法和迪杰斯特拉算法等。这些算法能够在复杂环境中找到最优路径，但无法处理环境的动态变化和障碍物的实时移动。

2.2 动态路径规划

基于模型的预测算法：这类算法通过建立环境动态变化的模型，并根据模型预测未来的环境变化趋势，从而调整机器人的路径规划。例如，基于卡尔曼滤波的路径规划算法可以根据传感器数据对环境状态进行实时估计，并根据估计结果调整机器人的路径规划。

基于机器学习的方法：机器学习在动态路径规划中的应用日益广泛。这种方法通过对历史数据进行学习，从中总结规律并进行预测，以指导路径规划的决策过程。例如，强化学习算法可以让机器人通过与环境的交互来学习最优的路径选择策略，适应环境的动态变化。深度学习模型也被广泛应用于动态路径规划中，能够从大量的传感器数据中学习复杂的环境表示，以帮助机器人做出智能的路径决策^[2]。

2.3 局部路径规划算法

局部路径规划算法主要解决机器人在复杂环境中的局部避障问题，其目标是生成一条安全可行的路径，使机器人能够安全、高效地穿越障碍物。

栅格法：栅格法将环境划分为一个个离散的栅格，并将机器人所在位置表示在某个栅格中，然后利用搜索算法在栅格地图上进行路径规划。这种方法简单直观，适用于静态环境下的局部路径规划。

虚拟势场法：虚拟势场法将机器人和障碍物视为相互作用的粒子，在势场的作用下，机器人受到的力驱使其朝着势场的最小值移动，从而生成安全的路径。这种方法具有良好的实时性和鲁棒性，能够应对动态环境中的局部避障问题。

最近邻法：最近邻法通过搜索机器人当前位置附近的邻居节点，找到一条到目标的最短路径。它的优势在于简单高效，适用于小范围的局部路径规划^[3]。

2.4 融合路径规划技术研究现状

融合路径规划技术是指将不同的路径规划方法进行有效整合和融合，以克服各自算法的局限性，提高路径规划的准确性和鲁棒性。当前研究主要集中在以下几个方面：

多层次路径规划：将全局路径规划和局部路径规划相结合，形成多层次的路径规划系统。在复杂环境中，首先通过全局路径规划确定机器人的大致移动方向，然后通过局部路径规划对机器人的具体行进路径进行微调，以适应环境的动态变化^[4]。

动态规划与模型预测：结合动态规划和模型预测方法，实现对动态环境的实时感知和路径调整。通过建立环境动态变化的模型，预测未来环境的变化趋势，并根据预测结果进行路径规划，以应对环境的不确定性和随机性。

融合传感器数据：利用多种传感器数据进行融合，实

现对环境的全面感知和路径规划。结合激光雷达、摄像头、GPS 等传感器的数据，建立环境的三维模型，并利用模型进行路径规划和决策，以提高路径规划的精度和可靠性。

3 电力巡检机器人局部动态融合路径规划模型设计

电力巡检机器人的局部动态融合路径规划模型设计是实现机器人在复杂环境中安全高效巡检的关键。本节将详细介绍该模型的四个关键组成部分：状态空间建模、障碍场模型构建、动态信息融合模块设计以及路径优化算法设计。

3.1 状态空间建模

状态空间建模是电力巡检机器人局部动态融合路径规划的基础，它将机器人所处的环境抽象为状态空间，并定义机器人的状态、动作以及环境的特征。在电力巡检中，状态空间可以包括机器人的位置、姿态、速度等状态信息，以及环境的障碍物位置、电力设备状态等环境信息。基于状态空间建模，可以利用搜索算法、优化算法等方法来实现路径规划和决策^[5]。

3.2 障碍场模型构建

障碍场模型是电力巡检机器人局部动态融合路径规划的重要组成部分，它用于描述环境中的障碍物分布和障碍物对机器人运动的影响。在复杂环境中，障碍物的形状、大小、位置等属性可能会随时间和环境条件的变化而变化，因此需要实时更新障碍场模型以适应环境的变化。

在电力巡检中，障碍场模型的构建需要考虑到电力设备的特点和巡检任务的要求。例如，在巡检输电线路时，需要考虑到杆塔、导线、绝缘子等电力设备的位置和形状，以及可能出现的树木、动物等外部障碍物。因此，障碍场模型的构建需要综合考虑电力设备、自然环境和机器人自身的特点，以确保路径规划的准确性和可靠性。

3.3 动态信息融合模块设计

动态信息融合模块是电力巡检机器人局部动态融合路径规划的关键组成部分，它负责将机器人感知到的动态信息与静态信息进行融合，实时更新路径规划结果。在复杂环境中，机器人可能会受到风力、外部干扰、设备故障等因素的影响，导致环境信息发生变化，因此需要实时调整路径规划以适应环境的变化^[6]。

3.4 路径优化算法设计

路径优化算法是电力巡检机器人局部动态融合路径规划的关键技术之一，其主要目标是在保证安全的前提下，优化机器人的巡检路径，提高巡检效率和覆盖范围。路径优化算法设计的关键是要充分考虑到环境的复杂性和机器人的动态性，以及巡检任务的特点和约束条件。

常见的路径优化算法包括启发式搜索算法、遗传算法、模拟退火算法等。这些算法能够在大规模状态空间中寻找最优路径或者较优解，并具有良好的适应性和鲁棒性。在电力

巡检中,路径优化算法的设计需要考虑到电力设备的分布、巡检任务的时间窗口、机器人的能耗和运动速度等因素。例如,为了减少巡检时间,可以采用启发式搜索算法来快速搜索最优路径;为了提高巡检覆盖率,可以采用遗传算法来优化路径规划,以实现全面覆盖^[7]。

4 实验与仿真

4.1 实验环境搭建

在进行路径规划算法的实验与仿真之前,首先需要搭建合适的实验环境。实验环境应该能够模拟电力巡检机器人在实际场景中的运行情况,包括环境地图、传感器数据、机器人模型等。

利用虚拟仿真软件(如 ROS、Gazebo 等)生成模拟的电力设备布局、障碍物分布等环境地图,以模拟实际巡检场景。通过传感器模拟器或真实传感器设备,生成机器人在环境中感知到的数据,包括激光雷达数据、摄像头图像、GPS 定位等。选择合适的电力巡检机器人模型,包括机器人的尺寸、动力学参数、传感器配置等,以保证仿真结果的真实性和可信度。建立仿真平台,集成环境地图、传感器数据模拟、机器人模型等功能,以便进行路径规划算法的仿真测试^[8]。

4.2 算法性能评估指标

在实验与仿真过程中,需要选择合适的性能评估指标来评价路径规划算法的优劣。路径长度是指机器人从起点到终点所经过的路径长度,通常用于评估路径规划的效率和优化程度。时间消耗是指机器人完成路径规划任务所需的时间,包括路径规划的计算时间和机器人执行路径的时间,反映了算法的实时性和效率。碰撞率是指机器人在执行路径时与障碍物发生碰撞的概率,用于评估路径规划的安全性和鲁棒性。规划成功率是指路径规划算法成功生成可行路径的概率,反映了算法的稳定性和可靠性。平滑度是指生成路径的曲率变化程度,通常通过路径的曲率或变向角来衡量,用于评价路径的舒适性和机器人的稳定性。选择合适的评估指标可以全面地评价路径规划算法的性能,帮助研究人员深入了解算法的优缺点,并进行算法的改进和优化^[9]。

4.3 实验结果分析与讨论

实验结果分析与讨论是对实验数据进行深入分析,发现问题、总结经验,并探讨改进方向的过程。在实验与仿真中,通常需要进行大量的数据收集和处理,然后对数据进行统计分析和可视化展示,从而得出结论。

路径规划算法性能对比:将不同路径规划算法的实验

结果进行对比分析,评估其在路径长度、时间消耗、碰撞率等方面的表现优劣。针对实验结果中发现的问题和不足,对算法参数进行调优和优化,以提高路径规划的效率和性能。根据实验结果,探讨不同路径规划算法在实际应用场景中的适用性和局限性,为电力巡检机器人的实际应用提供参考和指导。

实验结果分析与讨论是实验与仿真工作的重要环节,通过科学地分析和总结,可以更好地指导路径规划算法的改进和优化,提高电力巡检机器人的实际应用效果和性能^[10]。

5 结语

论文提出的局部动态融合路径规划模型能够有效提高电力巡检机器人的路径规划效率和可靠性,在实际应用中具有广泛的应用前景和推广价值。然而,仍然存在一些问题和挑战,如环境模型的精度、算法的实时性和机器人的自主性等方面需要进一步研究和改进。随着路径规划技术的不断发展和完善,相信电力巡检机器人将在未来发挥越来越重要的作用,为电力系统的安全运行和维护保驾护航。

参考文献

- [1] 梁世勋,丁宁宁,刘健.大型自主水下机器人全局静态与局部动态融合路径规划方法[J].舰船科学技术,2021,43(6):8.
- [2] 吴宪祥,郭宝龙,王娟.基于粒子群三次样条优化的移动机器人路径规划算法[J].机器人,2009,31(6):5.
- [3] 琚泽立,杨博,孙浩飞,等.面向电力智能巡检的多机器人系统协同路径规划算法[J].陕西电力,2020,48(6):92-97.
- [4] 梁世勋,丁宁宁,刘健.大型自主水下机器人全局静态与局部动态融合路径规划方法[J].舰船科学技术,2021,43(6):8.
- [5] 康晓龙.面向动态障碍物的机器人局部路径规划策略研究与实现[D].成都:电子科技大学,2024.
- [6] 付明磊,邵渊,刘锦元,等.面向复杂动态场景的医用护理机器人实时动态路径规划方法及系统:202310444430[P]. [2024-04-11].
- [7] 曾佳,李菁菁.面向复杂环境的移动机器人在线路径规划[J].上海电气技术,2009(31):4.
- [8] 陈若男,刘聪聪,彭玲,等.改进A*算法在机器人室内路径规划中的应用[J].计算机应用,2019,39(4):6.
- [9] 刘同林.可变形机器人路径规划与控制方法研究[J].机器人学研究室,2010(6).
- [10] 张省超,王健,张林,等.面向复杂障碍场的多智能体系统集群避障模型[J].兵工学报,2021,42(1):141-150.