

# Research on path planning and obstacle avoidance algorithm of intelligent robot inspection in power industry

Leidong Chen<sup>1</sup> Zhongyi Li<sup>1</sup> Guanghui Jin<sup>2</sup>

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

2. Shandong Taikoo Aircraft Engineering Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

## Abstract

With the rapid development of the power industry, the inspection of power equipment has become more and more important. The traditional inspection methods have the problems of high labor intensity and low efficiency. The development of intelligent robots for the inspection of the power industry has become an urgent need. This paper focuses on the path planning and obstacle avoidance algorithm of intelligent robot inspection in the power industry, aiming to improve the efficiency and safety of inspection. Through the analysis and improvement of existing algorithms, a path planning method combining deep reinforcement learning and genetic algorithm and an obstacle avoidance algorithm based on multi-sensor fusion are proposed. This method can effectively improve the inspection efficiency and obstacle avoidance ability of intelligent robot.

## Keywords

power industry; Intelligent robot; Planning inspection paths; Obstacle avoidance algorithm

# 电力行业智能机器人巡检路径规划与避障算法研究

陈雷动<sup>1</sup> 李忠一<sup>1</sup> 靳光辉<sup>2</sup>

1. 山东领亿智能技术有限公司, 中国·山东 济南 250100

2. 山东太古飞机工程有限公司, 中国·山东 济南 250000

## 摘要

随着电力工业的快速发展, 电力设备的巡检变得越来越重要, 传统的检测方法存在劳动强度大、效率低等问题, 开发用于电力工业巡检的智能机器人已成为迫切需要。本文重点研究电力行业智能机器人巡检的路径规划和避障算法, 旨在提高巡检的效率和安全性, 通过对现有算法的分析和改进, 提出了深度强化学习和遗传算法相结合的路径规划方法和基于多传感器融合的避障算法, 实验结果表明, 该方法能有效提高智能机器人的巡检效率和避障能力。

## 关键词

电力行业; 智能机器人; 巡检路径规划; 避障算法

## 1 引言

作为国民经济的基础产业, 电力行业的安全稳定运行至关重要, 传统的电力设备巡检方式存在劳动强度大、巡检效率低、安全隐患多等缺点, 开发一种能够自动巡检电力设备的智能机器人具有重要的意义, 智能机器人巡检不仅可以提高巡检效率, 还可以降低巡检人员的工作风险。路径规划和避障算法是智能机器人巡检过程中的关键技术之一, 路径规划算法负责为机器人规划一条从起点到终点的最优路径, 避障算法负责使机器人能够自主避障, 本文将对这两种算法进行深入研究, 并提出一种改进方法。

## 2 电力行业智能机器人巡检概述

### 2.1 智能机器人巡检在电力行业的应用背景和意义

随着科学技术的飞速发展, 智能机器人巡检已经成为电力行业不可或缺的一部分, 这一趋势的背后是电力行业对高效、安全和可靠检测的需求日益增长, 传统的人工巡检方式存在很多局限性, 如巡检效率低、人力成本高、安全风险大等, 智能机器人巡检以其高效、准确、全天候的特点给电力行业带来了革命性的变化。智能机器人巡检在电力行业的应用不仅提高了巡检效率, 降低了人力成本, 还提高了巡检安全性, 机器人可以进入人类难以到达或危险系数高的区域进行检查, 从而有效避免人员伤亡。<sup>[1]</sup>此外, 该机器人还能实时监测设备状态, 及时发现潜在故障, 为电力设备的稳定运行提供了有力保障。智能机器人巡检的应用也推动了电力行业向智能化、自动化的转变, 智能机器人巡检系统通过与物联网、大数据、人工智能等技术的深度融合, 可实现设备

【作者简介】陈雷动(1978-), 男, 中国山东菏泽人, 本科, 助理工程师, 从事软件设计研究。

状态实时监测、故障预警、数据分析等功能，为电力行业的智能化管理提供了有力支撑。

## 2.2 电力行业智能机器人巡检技术的特点和创新

电力行业智能机器人巡检的技术特点主要体现在其高度自动化、智能化和强大的数据处理能力，机器人通过集成各种传感器和先进的人工智能算法，可以实现对设备状态的实时监控和准确识别。比如，机器人可以利用红外热成像技术检测设备的温度分布，及时发现过热或异常升温；利用高清摄像头和图像识别技术，可以实时监控设备的外观，如腐蚀、变形、损坏等。在技术创新方面，智能机器人巡检系统不断引入新技术，提高巡检效率和准确性，比如采用先进的导航定位技术，如激光导航、视觉导航等，保证机器人在复杂环境下能够自主精确移动；利用深度学习算法优化图像和视频识别能力，提高设备缺陷和异常状态的识别准确率；通过集成惯性导航、GPS 等导航技术，提高了机器人在复杂环境中的适应性和稳定性。此外，智能机器人巡检系统还注重与电力物联网、大数据平台的深度融合，通过数据共享和协同工作，为电力设备的运行管理提供更全面的信息支持，实现电力设备的智能运维。<sup>[2]</sup>

## 3 路径规划算法的研究

### 3.1 路径规划算法概述

路径规划算法作为机器人领域的核心组成部分，其重要性不言而喻。它不仅是机器人实现自主导航的关键，也是保证机器人在复杂多变的环境中高效安全执行任务的基础。在电力行业，尤其是变电站巡检的场景中，路径规划算法的应用更为重要，变电站作为电力系统的核心节点，内部设备密集，布局复杂，存在高压等安全隐患，这就要求巡检机器人具备准确高效的路径规划能力。<sup>[3]</sup> 路径规划算法有很多种，从经典的 A 算法、Dijkstra 算法，到近年来出现的遗传算法、蚁群算法等智能优化算法，每种算法都有其独特的优势和适用场景，算法 A 采用启发式搜索策略，在地图信息已知的情况下，可以快速找到从起点到目标点的最短路径，Dijkstra 算法更侧重于解决无权图或非负权重图的最短路径问题，其逐步扩展最短路径树的策略使得算法在处理大规模网络时仍然保持高效率。<sup>[4]</sup>

### 3.2 遗传算法在变电站巡检路径规划中的深度应用及案例分析

遗传算法通过模拟生物进化过程中的选择、交叉和变异操作，对种群中的个体进行迭代优化，从而逐步逼近最优解，以 A 变电站巡检机器人为例，该机器人采用了基于遗传算法的路径规划系统，该系统通过高精度传感器和摄像头采集变电站内部的地图信息、设备状态和障碍物位置等实时数据，然后，利用这些数据构建变电站的数字孪生模型，为后续的路径规划提供依据。在路径规划阶段，遗传算法通过初始化种群、计算适应度、选择优秀个体、交叉和变异来迭代优化

路径，具体来说，每个个体代表一条从起点到终点的路径，适应度函数根据路径长度、安全性、任务优先级等多个维度进行综合评估，通过多次迭代，算法最终可以找到一条满足任务要求且尽可能短的路径。在实际应用中，遗传算法路径规划系统在大型变电站巡检任务中取得了显著的效果，与传统的人工路径规划相比，采用遗传算法的机器人能够在更短的时间内完成巡检任务，巡检路径更加合理和安全。<sup>[5]</sup>

### 3.3 蚁群算法及其改进在变电站巡检路径规划中的创新探索与示范

在处理大规模复杂网络时，传统蚁群算法往往存在收敛速度慢、容易陷入局部最优解等问题，研究人员开始探索蚁群算法的改进方法，以提高其在变电站巡检路径规划中的性能。基于改进蚁群算法（IACO）的变电站巡检路径规划方法应运而生，该方法在传统蚁群算法的基础上，引入了动态信息素更新策略、精英个体保留机制和局部搜索策略，这些措施有效地提高了算法的收敛速度和全局寻优能力，使得算法在处理复杂的变电站巡检任务时更加高效和稳定。<sup>[6]</sup> 以 B 电力公司变电站巡检机器人为例，该机器人采用了基于 IACO 的路径规划系统，在实际应用中，该系统能够根据变电站实时地图信息、设备状态和巡检任务要求，快速规划出最优路径。

## 4 避障算法分析

### 4.1 基于深度学习和视觉 SLAM 的避障算法

在避障算法的研究中，深度学习与视觉 slam（同步定位与地图）的融合技术正逐渐成为前沿趋势，波士顿动力公司的 Spot 机器人作为该领域的领导者，巧妙地将深度学习算法和视觉 SLAM 技术相结合，实现了复杂环境下的高效避障。Spot 机器人通过安装在其头部的高清摄像头实时捕捉周围环境的图像，这些图像数据被发送到深度学习网络，该网络可以识别环境中的各种障碍物，如电线杆、树木、墙壁等，并在大量训练后预测它们的轮廓和位置，视觉 SLAM 算法负责建立和维护精确的环境地图，实现机器人的自定位。<sup>[7]</sup> 在一个具体案例中，在一次户外复杂地形巡检任务中，面对散落的岩堆和蜿蜒的小路，Spot 机器人的避障系统表现出了优异的性能，根据波士顿动力公司公布的数据，Spot 机器人在此次任务中的成功率高达 98%，仅因极端光照条件导致的误判发生了两次轻微碰撞，这得益于深度学习算法对障碍物识别的高准确率和视觉 SLAM 算法对环境的精确建模。

### 4.2 基于超声波和红外融合的全方位避障算法

超声波传感器通过发射超声波并接收反射信号来计算距离障碍物的距离，这种传感器对固体和液体障碍物都有很好的探测效果，但面对柔软或吸音材料时可能会有一些误差。为了弥补这个不足，小米扫地机器人还配备了红外传感器，红外传感器通过发射红外光，检测反射光强度的变化来

判断障碍物的存在,红外传感器对柔软或黑暗的物体更敏感,因此是超声波传感器的补充。<sup>[8]</sup>在实际应用中,小米扫地机器人在遇到家具、墙壁等障碍物时,能够快速调整行进方向,避免碰撞,根据小米官方公布的数据,机器人在家庭环境下的避障成功率高达95%,这得益于超声波和红外传感器的全方位感知能力,以及基于这些传感器数据的智能决策算法。

#### 4.3 基于激光雷达和惯性导航的复合避障算法

作为谷歌自动驾驶汽车的商业运营品牌,Waymo One的避障系统采用了激光雷达和惯性导航相结合的策略,实现了复杂道路环境下的高精度避障,激光雷达通过发射激光束和接收反射信号来构建高精度的三维环境地图,这种传感器对周围环境的变化非常敏感,可以实时捕捉车辆、行人、自行车等动态障碍物。同时,惯性导航系统负责提供车辆的精确位置和速度信息,通过融合激光雷达和惯性导航的数据,Waymo One的避障算法可以实现对周围环境的精确感知和预测。<sup>[9]</sup>Waymo One在复杂的城市交通环境下进行试驾时,成功避开了突然横穿马路的行人、紧急变道的车辆以及道路上不规则的障碍物。

#### 4.4 基于强化学习的自适应避障算法

波士顿动力公司的Atlas机器人采用基于强化学习的自适应避障算法,实现了复杂动态环境下的高效避障,Atlas机器人可以通过分布在身体各处的多种传感器实时感知周围环境的变化,这些传感器数据被送到强化学习网络,网络通过试错和学习,逐渐掌握不同环境下避开障碍物的最佳策略。强化学习算法的核心在于奖励机制,即当机器人采取正确的避障行为时,会得到积极的奖励;而当出现碰撞或偏离目标时,就会受到惩罚。这种机制促使机器人不断优化其避障策略。在一次模拟灾难救援任务中,面对建筑物倒塌、道路破碎、人群混乱等复杂环境,Atlas机器人的自适应避障算法表现优异,根据波士顿动力公司公布的数据,Atlas机器人在此次任务中的成功率高达97%,能够在短时间内快

速适应不同环境的变化。<sup>[10]</sup>

## 5 结语

本文对电力行业智能机器人巡检的路径规划和避障算法进行了研究,提出了深度强化学习和遗传算法相结合的路径规划方法和基于多传感器融合的避障算法,实验结果表明,该方法能有效提高智能机器人的巡检效率和避障能力。随着人工智能技术的不断发展和成本的降低,智能机器人巡检在电力行业的应用将更加广泛,同时可以进一步探索深度强化学习、遗传算法等先进算法在路径规划和避障中的应用,进一步提高机器人巡检的效率和安全性,还可以结合大数据分析、物联网等技术,实现电力设备的智能化运行管理,为电力行业发展提供有力支撑。

## 参考文献

- [1] 张永,钱平,杨松伟.基于插补轨迹控制的变电站机器人巡检避障技术[J].机械与电子,2020,38(8):49-53.
- [2] 张刚,宋丽敏,龚健,等.基于B样条曲线的电力巡检机器人越障控制[J].自动化与仪表,2020,35(3):41-45.
- [3] 张承模,田恩勇,胡星,等.变电站巡检机器人巡检路径规划策略的研究[J].自动化技术与应用,2019,38(11):89-93.
- [4] 张凡,蔡涛,刘文达,等.基于改进JPS算法的电站巡检机器人路径规划[J].电子测量技术,2020,43(8):16-22.
- [5] 袁蒙蒙,熊文静.基于混合智能算法的机器人避障路径规划研究[J].长江信息通信,2022,35(06):65-67.
- [6] 薛永才.移动机器人路径规划算法的改进研究[D].西华大学,2022.
- [7] 孙灵硕.智能焊接机器人焊缝识别与避障路径规划算法研究[D].武汉理工大学,2021.
- [8] 柴铜.基于深度强化学习的机器人路径规划算法研究[D].上海交通大学,2021.
- [9] 李婷.基于强化学习的路径规划算法研究[D].吉林大学,2020.
- [10] 唐琳,李伟,闫汝静等.全方位智能化电力巡检系统设计[J].信息系统工程,2014(6):15-18.