

Research on Autonomous Obstacle Avoidance System of Power Inspection UAV Based on Orthogonal LiDAR

Guoqing Zhuang¹ Kai Yang¹ Lei Yan²

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

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

Abstract

With the rapid development of power system, power inspection has become an important link to ensure the safe and stable operation of power grid. The traditional inspection method has some problems, such as low efficiency and big security risks. However, this paper presents an autonomous obstacle avoidance system for power inspection UAV based on orthogonal LiDAR. The system uses orthogonal LiDAR technology to realize high-precision detection of environmental obstacles, combined with autonomous obstacle avoidance algorithm, so that the UAV can autonomously avoid obstacles in complex environment, improve inspection efficiency and safety. Through simulation and experiment, the feasibility and effectiveness of the system are proved, aiming at improving the efficiency and security of power inspection.

Keywords

power inspection; drones; orthogonal lidar; autonomous obstacle avoidance; efficiency; security

基于正交激光雷达的电力巡检无人机自主避障系统研究

庄国庆¹ 杨凯¹ 燕磊²

1. 山东智航无人机科技有限公司, 中国·山东 济南 250100

2. 山东领亿智能技术有限公司, 中国·山东 济南 250100

摘要

随着电力系统的快速发展, 电力巡检已成为确保电网安全稳定运行的重要环节。传统的巡检方式存在效率低下、安全隐患大等问题。然而论文提出了一种基于正交激光雷达的电力巡检无人机自主避障系统。该系统利用正交激光雷达技术实现对环境障碍物的高精度检测, 结合自主避障算法, 使无人机能够在复杂环境中自主规避障碍物, 提高巡检效率和安全性。通过仿真与实验验证, 证明了该系统的可行性和有效性, 旨在提高电力巡检的效率和安全性。

关键词

电力巡检; 无人机; 正交激光雷达; 自主避障; 效率; 安全性

1 引言

随着电力系统的不断发展和扩展, 电力设备的数量和复杂性不断增加, 电力巡检作为保障电网安全运行的重要手段之一, 越发显得重要。传统的巡检方式主要依赖于人工巡视或载人直升机巡检, 存在巡检效率低、安全风险高等问题。引入无人机技术成为解决这一问题的有效途径之一。

2 正交激光雷达技术概述

激光雷达 (LiDAR) 作为一种主流的距离测量技术, 其原理基于激光脉冲发射并测量反射回来的光线时间, 以计算目标物体与传感器之间的距离。激光雷达通过发射激光束, 接收并解析目标反射的光信号, 从而生成目标的三维点

云图, 实现对周围环境的高精度感知。

2.1 激光雷达原理

激光雷达的工作原理基于激光的发射、接收和处理。首先, 激光雷达发射脉冲激光束, 该激光束在空间中传播, 并与目标表面相互作用。然后, 激光束被目标表面反射, 并被接收器捕获。接收器将接收到的光信号转换为电信号, 并通过时间测量或干涉仪等技术计算出激光束传播的时间, 从而确定目标与传感器之间的距离。通过旋转或扫描装置, 激光雷达可以获取目标周围的全方位信息, 生成目标的三维点云图。

2.2 正交激光雷达技术及原理

正交激光雷达是一种利用多束激光束的技术, 以获取更丰富的环境信息。与传统的单束激光雷达相比, 正交激光雷达通过同时发射多束激光束, 可实现对目标物体的多方位扫描, 提高了感知的密度和精度。其核心原理在于采用交错

【作者简介】庄国庆 (1995-), 男, 中国山东济南人, 本科, 从事无人机技术开发与应用、无人机电力巡检研究。

排列的激光发射器和接收器,使得激光束可以同时扫描不同方向的环境,从而实现目标的全方位感知。

2.3 正交激光雷达在无人机领域的应用现状

随着无人机技术的快速发展,正交激光雷达在无人机领域的应用也日益广泛。正交激光雷达不仅可以提供高精度的地形地貌数据,还可以实现对目标物体的三维重建和识别,为无人机在航拍、地图制作、环境监测等领域提供了重要的技术支持。目前,正交激光雷达已经被广泛集成到各类无人机平台中,成为无人机自主导航、避障和环境感知的重要传感器之一。随着正交激光雷达技术的不断创新和完善,相信其在无人机领域的应用前景将会更加广阔^[1]。

3 电力巡检无人机设计与系统架构

3.1 电力巡检无人机的需求与特点分析

电力巡检无人机的设计必须根据任务需求和特点进行全面分析,确保无人机系统能够在复杂多变的电力线路环境下稳定、高效地执行任务。

电力巡检涉及对电力线路的检测、故障诊断和维护等多项任务。因此,无人机系统需要具备良好的飞行稳定性、高精度的环境感知能力、自主避障能力以及可靠的通信系统,以满足电力巡检任务的复杂性和多样性。

电力巡检无人机的设计必须充分考虑到任务需求和特点,通过合理的硬件选型和系统设计,确保无人机系统能够稳定可靠地执行电力巡检任务。

3.2 硬件平台设计

硬件平台设计是电力巡检无人机系统的基础,其选择直接影响了无人机系统的性能和功能。

3.2.1 飞行平台选择

针对电力巡检任务的需求,可以选择具有良好飞行稳定性和携带能力的多旋翼或固定翼飞行器作为飞行平台。多旋翼无人机通常具有垂直起降和灵活机动的优势,而固定翼无人机则具有长续航时间和远程飞行能力^[2]。

3.2.2 传感器系统

电力巡检无人机需要搭载各种传感器,如正交激光雷达、摄像头、红外线传感器等,用于环境感知和目标检测。正交激光雷达可实现对周围环境的高精度感知,摄像头和红外线传感器可用于拍摄图像和识别目标。

3.2.3 通信系统

选择高可靠性的数据链路和通信协议,确保无人机与地面控制站之间的稳定数据传输和控制。通信系统应具备长距离通信和抗干扰能力,以适应电力巡检任务中复杂多变的环境。

3.2.4 供电系统

选择高性能的电池或燃料电池作为动力源,以满足长时间飞行的需求。供电系统应具有高能量密度和长循环寿命,以保证无人机系统持续稳定地运行^[3]。

3.3 系统整体架构设计

系统整体架构设计涉及各个子系统之间的协同工作和信息交换,需要建立一个高效、稳定的系统框架。

3.3.1 飞行控制系统

负责实现无人机的自主飞行和控制,包括姿态控制、导航控制和动力管理等功能。飞行控制系统应具备良好的实时性和稳定性,以确保无人机在飞行过程中能够稳定地执行任务。

3.3.2 环境感知系统

利用各种传感器获取周围环境信息,用于飞行路径规划和障碍物检测。环境感知系统应具备高精度的环境感知能力,能够及时准确地识别目标和障碍物。

3.3.3 路径规划与控制系统

根据环境感知数据和任务要求,设计智能化的飞行路径规划算法,并实现对无人机飞行的实时控制。路径规划与控制系统应具备快速响应和灵活调整的能力,以适应不同飞行任务的需求^[4]。

3.4 软件系统设计

软件系统设计是电力巡检无人机系统的核心,涉及到飞行控制、路径规划、数据处理等方面的算法设计和实现。

飞行控制软件,设计无人机的飞行控制算法,实现自主飞行、姿态控制和导航功能。飞行控制软件需要考虑到飞行平台的动力学特性和环境变化,实现对无人机飞行状态的实时监测和调整。

路径规划软件,开发智能化的飞行路径规划算法,实现对复杂环境的避障和优化路径选择。路径规划软件需要综合考虑目标位置、障碍物分布以及飞行任务要求,通过算法优化实现最优的飞行路径。

通信控制软件,负责实现无人机与地面控制站之间的通信控制功能,包括数据传输、指令下达以及状态反馈等。通信控制软件需要确保通信的稳定可靠,以实现无人机的实时监控和控制^[5]。

4 自主避障算法设计与实现

自主避障算法是电力巡检无人机系统中至关重要的一部分,它负责识别周围的障碍物并制定合适的飞行路径,从而保证无人机在复杂环境中安全稳定地飞行。

4.1 障碍检测与识别算法

障碍物的检测与识别是无人机自主避障的首要任务之一。通过有效的算法可以实现对周围环境的高效感知,从而及时发现障碍物并采取相应措施避开。

传感器数据处理,利用搭载在无人机上的传感器,如激光雷达、摄像头等,获取周围环境的数据。这些数据可能包括点云数据、图像数据等。对传感器获取的数据进行特征提取和分析,识别出可能存在的障碍物。针对不同传感器获取的数据类型,可以采用不同的特征提取方法,如基于形状、

颜色、纹理等特征进行识别。通过对提取的特征进行分类和匹配,确定障碍物的类型和位置。这一步可以采用机器学习算法,如支持向量机、神经网络等,对特征进行训练和分类。在飞行过程中,持续对周围环境进行监测和跟踪,及时更新障碍物的位置和状态。这需要实时处理传感器数据,并采取相应的措施对障碍物进行动态跟踪^[6]。

4.2 飞行路径规划算法

飞行路径规划算法是无人机在避开障碍物的同时,选择合适的飞行路径,完成巡检任务的关键。合理的路径规划算法能够在保证安全的前提下,最大程度地优化飞行效率。

利用传感器获取的环境数据,构建环境地图,包括障碍物的位置、形状和尺寸等信息。这一步通常采用 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技术进行实时建模。基于环境地图和当前位置,采用路径搜索算法,如 A* 算法、Dijkstra 算法等,寻找一条安全可行的飞行路径。路径搜索时需要考虑飞行器的动力学约束、风险评估以及任务优先级等因素。考虑到环境障碍物的动态性和不确定性,飞行路径规划需要具备一定的适应性和动态规划能力。在飞行过程中,根据实时感知到的环境信息,及时调整飞行路径,避开障碍物。对于复杂的巡检任务,可能存在多个巡检目标和约束条件。路径规划算法需要综合考虑这些因素,实现多目标的优化和路径平滑,以提高巡检效率和质量^[7]。

5 系统性能与优化

5.1 系统性能评价指标

飞行性能指标,包括飞行稳定性、导航精度、飞行速度、续航时间等。飞行稳定性反映了无人机在飞行过程中的平稳性和控制性,导航精度表示无人机在执行任务时的定位准确度,而飞行速度和续航时间则直接影响了无人机的任务执行效率和范围。

任务执行效率指标,包括任务完成时间、任务覆盖率、巡检效率等。任务执行效率直接反映了无人机系统在执行电力巡检任务时的效率和性能,是衡量无人机系统实际应用价值的重要指标之一^[8]。

5.2 系统优化方法与策略

硬件优化,包括选择性能更优的硬件设备、优化传感器配置、提升飞行平台的稳定性和携载能力等。例如,选择更先进的激光雷达传感器、提升电池容量和能量密度、优化无人机结构设计等,可以有效提高系统的性能和工作效率。

软件优化,包括优化飞行控制算法、路径规划算法、数据处理算法等。通过对算法进行优化和改进,可以提高系统的响应速度、准确性和稳定性,从而提高无人机系统的整体性能。

算法优化,包括优化障碍物检测与识别算法、飞行路

径规划算法、控制策略设计算法等。通过引入新的算法或改进现有算法,可以提高系统的环境感知能力、自主避障能力和任务执行效率^[9]。

5.3 结果分析与对比

通过仿真实验和实际飞行测试,对优化前后的系统性能进行评估和对比。通过对比飞行性能、环境感知能力和任务执行效率等指标的变化,可以直观地了解系统优化的效果和优势。对优化前后的数据进行统计和分析,比较系统性能的差异和改善程度。可以通过对比数据的均值、方差、波动等指标,客观评价系统优化的效果和稳定性。综合考虑实验验证和数据分析结果,对系统优化效果进行综合评价。评价结果可以为后续系统改进和进一步优化提供指导和决策,从而不断提升无人机系统的性能和效率。在结果分析与对比中,还可以考虑与其他类似系统的比较,以验证优化效果的客观性和合理性。通过与同类产品或方案进行对比,可以更清晰地了解系统在性能、成本、可靠性等方面的优劣势,为系统的进一步改进提供参考和启示^[10]。

6 结论

电力巡检无人机系统的设计与研发取得了一定的成果,但仍面临着一些挑战和改进空间。未来,我们将继续深入研究无人机技术,不断优化系统性能,提高系统的智能化和自主化水平,为电力巡检任务的高效、安全、准确执行贡献更多的力量。

参考文献

- [1] 袁林峰.基于正交激光雷达的电力巡检无人机自主避障系统研究[J].自动化技术与应用,2021,40(7):5.
- [2] 钱波,刘斌,陈浩,等.基于双目视觉融合激光雷达与电磁场检测的无人机巡检安全避障系统和方法[P].CN112965517A.2021.
- [3] 王水满.基于激光雷达的植保无人机自主避障技术研究[D].唐山:华北理工大学,2020.
- [4] 朱宏.基于激光雷达技术的无人机电网基建管控系统研究[J].探索科学,2019(6).
- [5] 田兆硕,孙正和,曲士良,等.一维扫描激光雷达汽车防撞系统:CN 200610044077[P].CN 1847881 A[2024-04-11].
- [6] 李佳华,李建友,战丽,等.基于机器视觉的三维织造避障路径规划方法[J].制造业自动化,2022(5):44.
- [7] 郑腾龙.基于深度学习的无人机电力巡检障碍物目标检测与避障系统[D].天津:天津工业大学,2013.
- [8] 潘捷.电力巡检多旋翼无人机避障系统关键技术研究[D].天津:天津工业大学,2021.
- [9] 杨春峰,于荣华,黄维鹿,等.基于激光雷达和可见光立体测量的无人机电力巡线技术研究[J].自动化技术与应用,2021,40(10):177-180.
- [10] 孙剑,徐飞,陈伟.基于激光雷达的无人机避障系统及其避障方法:CN201610505086.2[P].CN106199630A[2024-04-11].