

无人机自主避障路径规划技术在山地茶树林光伏 施工设备精准作业中的应用

张庆康 黄文强 徐 磊 沈社春 吴志华

中国能源建设集团云南火电建设有限公司 云南 昆明 650200

【摘 要】：山地茶树林地形复杂、植被茂密，传统光伏施工设备存在作业效率低、精准度差的问题。无人机自主避障路径规划技术为此提供解决方案。该技术融合激光雷达、视觉传感器等信息，构建高精度环境感知模型，获取地形、茶树分布及障碍物数据；运用改进智能算法，综合考量路径长度、安全性与效率，规划最优路径，引导设备精准作业。实践证明，此技术提升施工效率与精度，减少人工，降低成本，助力光伏产业在复杂地形区域发展。

【关键词】：无人机；自主避障；路径规划；山地茶树林；光伏施工

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.026

引言

随着光伏产业蓬勃发展，山地茶树林等复杂地形成为开发新热点。但此类区域地势起伏大、茶树密集，给光伏施工设备精准作业带来严峻挑战。传统人工勘测引导方式效率低、误差大，难以匹配大规模项目建设需求。无人机自主避障路径规划技术凭借灵活高效、精准定位的特性，成为破局关键。研究其在山地茶树林光伏施工中的应用，对提升效率、降低成本、推动产业可持续发展意义重大。

1 作业难题分析

（1）地形复杂性的天然制约

山地茶树林的地形犹如大自然精心雕琢的迷宫，高低起伏的地势形成了无数难以逾越的天然屏障。连绵的陡坡如同陡峭的城墙，光伏施工设备在攀爬过程中，不仅要克服重力带来的巨大阻力，还面临着因重心不稳而侧翻的风险。深邃的沟壑暗藏杀机，一旦施工设备误入其中，不仅会造成设备的严重损坏，还可能引发安全事故。这些复杂多变的地形，使得施工设备的行进举步维艰，每前进一步都需要耗费大量的时间和精力进行路线规划与试探。

（2）茶树障碍物的无序干扰

茶树在山地间的分布毫无规律可言，它们相互簇拥，形成了错综复杂的障碍物群。这些茶树不仅形态各异，而且生长密度极高，枝干交错纵横，犹如一张无形的大网，将原本就狭窄的施工通道进一步压缩。对于光伏施工设备而言，想要在这样的环境中准确判断行进路线，就如同在荆棘丛中寻找一条隐秘的小径。设备的传感器在面对这些不规则障碍物时，常常会出现误判或漏判的情况，导致设备在行进过程中频繁陷入困境，甚至与茶树发生碰撞，造成设备损坏和茶树损毁的双重损失。

（3）传统技术的固有缺陷与人力瓶颈

在传统导航定位技术的应用中，山地茶树林的复杂环境成为了难以突破的瓶颈。茂密的植被和起伏的地形如同信号的

“吞噬者”，大量吸收和反射导航信号，导致信号出现严重的衰减和干扰。施工设备接收到的定位信息变得模糊不清，定位偏差越来越大，原本规划好的作业路线在实际执行中变得面目全非。与此依靠人工引导的方式在大规模光伏施工中暴露出了极大的局限性。人工引导不仅效率低下，而且劳动强度巨大，施工人员需要在崎岖的山路上长时间奔波，时刻关注设备的行进情况并进行引导。随着施工规模的不断扩大，人力成本不断攀升，而施工进度却难以满足项目的要求，严重制约了山地茶树林光伏项目的建设进度与质量。

2 技术原理剖析

（1）多传感器融合的环境感知基础

无人机自主避障路径规划技术的核心在于多传感器的协同工作，它们如同无人机敏锐的“感官”，共同构建起对周围环境的全面感知。激光雷达就像一位精准的测绘大师，通过发射激光束并接收反射信号，能够在极短的时间内获取高精度的三维地形数据。它可以清晰地勾勒出山地的每一处起伏，准确测量出障碍物的高度、距离和轮廓，为无人机提供一份详细的“环境地图”。而视觉传感器则如同无人机的“眼睛”，凭借先进的图像识别技术，能够捕捉到茶树等障碍物的具体形态、颜色和位置信息。

（2）智能算法的路径优化逻辑

当多源感知数据汇聚到一起后，智能算法便开始发挥其强大的“智慧”。这些算法就像经验丰富的指挥官，综合考虑路径长度、避障安全性、设备能耗等多个关键因素，对数据进行深入分析和处理。在规划路径时，算法会首先评估每一条可能路线的长度，尽量选择最短的路径以提高施工效率。它会将避障安全性放在首位，通过对障碍物的位置和形态进行精确分析，计算出安全的避让距离和角度，确保施工设备在行进过程中不会与障碍物发生碰撞。算法还会考虑设备的能耗问题，选择能耗较低的路线，以减少设备的能源消耗，延长设备的工作

时间。

(3) 数据处理与路径生成的完整流程

在整个技术原理的实现过程中,数据处理与路径生成是一个紧密相连的完整流程。多传感器采集到的原始数据首先会经过预处理阶段,去除其中的噪声和干扰信息,使数据更加准确和可靠。然后,这些数据会被传输到路径规划算法软件中,算法会对数据进行进一步的分析和处理,将其转化为可视化的地图信息和路径规划方案。在这个过程中,算法会不断地进行迭代计算,根据实时更新的环境数据对路径进行调整和优化。当最优路径确定后,算法会将路径信息编码成特定的格式,通过建立好的通信链路实时传输至光伏施工设备。



图1 环境感知层示意图

3 方案设计构建

(1) 设备配置的科学规划

构建无人机自主避障路径规划系统方案的首要任务,就是根据山地茶树林的独特环境特点,对激光雷达、视觉传感器等关键设备进行科学合理的配置。在选择激光雷达时,需要充分考虑其探测距离、精度和角度覆盖范围。对于地形复杂、障碍物较多的区域,应选择探测距离远、精度高且角度覆盖范围广的激光雷达,以确保能够全面感知周围环境的地形和障碍物信息。视觉传感器的配置同样重要,要根据茶树的生长特点和分布情况,选择具有高分辨率、宽动态范围和良好色彩还原能力的视觉传感器,以便准确识别茶树等障碍物的形态和位置。还需要合理布局传感器的安装位置,确保它们之间不会相互干扰,并且能够实现数据的互补和融合,从而为系统提供更加准确和全面的环境感知信息。

(2) 算法软件的开发与嵌入

开发适配的路径规划算法软件是整个方案设计的关键环节。在软件开发过程中,需要将智能算法进行优化和改进,使其能够更好地适应山地茶树林的复杂环境。要对算法的计算效率进行提升,减少计算时间,以满足实时路径规划的需求。要增强算法的鲁棒性,使其能够在恶劣天气、光照变化等复杂条件下稳定运行。在将智能算法嵌入软件时,需要建立完善的数据接口和通信协议,确保软件能够与多传感器进行高效的数据交互,同时能够将规划好的路径信息准确无误地传输至施工设备。还需要对软件进行严格的测试和验证,通过模拟各种复杂的施工场景,对软件的功能和性能进行全面评估,确保其可靠

性和稳定性。

(3) 通信链路与应急机制的建立

为了实现无人机与光伏施工设备之间的有效协同作业,建立稳定可靠的通信链路至关重要。通信链路需要具备高速、稳定、抗干扰的特点,能够在复杂的山地环境中实现路径信息的实时传输。可以采用无线通信技术,如5G或专用的无线通信频段,确保数据传输的准确性和及时性。为了应对突发环境变化和故障,还需要设置完善的应急处理机制。当遇到恶劣天气、通信中断或设备故障等突发情况时,应急机制能够迅速启动,采取相应的措施保障作业安全。当通信链路中断时,施工设备可以根据预先存储的路径信息继续执行作业,或者自动进入安全停机状态,等待通信恢复。当设备出现故障时,应急机制能够及时检测到故障并发出警报,同时启动备用设备或采取相应的维修措施,确保施工任务能够顺利进行。

4 应用效果呈现

(1) 定位精度的显著提升

在实际山地茶树林光伏施工中,无人机自主避障路径规划技术的应用使得施工设备的定位精度得到了质的飞跃。以往,由于传统导航定位技术的局限性,施工设备在复杂地形下的定位偏差较大,常常导致施工误差的产生。而如今,在该技术的支持下,施工设备能够精准地接收到无人机规划的路径信息,并根据这些信息准确调整自身的位置和行进方向。无论是在陡峭的山坡上,还是在茂密的茶树丛中,施工设备都能够精确到达指定的作业位置,误差范围被控制在极小的范围内。这不仅大大提高了施工的准确性,减少了因定位偏差导致的重复施工和资源浪费,还为光伏项目的高质量建设奠定了坚实的基础。

(2) 作业效率的大幅提高

相比传统的施工方式,采用无人机自主避障路径规划技术后,山地茶树林光伏施工的作业效率得到了显著提高。传统施工中,人工引导和设备在复杂环境下的缓慢行进严重制约了施工进度。而现在,施工设备在无人机的引导下,能够快速、准确地避开障碍物,沿着最优路径高效作业。设备不再需要频繁地停下来进行路线规划和调整,大大减少了无效的作业时间。由于施工设备能够更加高效地完成各项作业任务,整个施工周期也得到了大幅缩短。这意味着在相同的时间内,可以完成更多的光伏项目建设任务,提高了项目的整体收益,为企业带来了巨大的经济效益。

(3) 成本降低与智能化转型

无人机自主避障路径规划技术的应用还带来了成本的显著降低和施工模式的智能化转型。一方面,设备在自主避障的过程中,有效减少了与障碍物的碰撞损坏风险,降低了设备的维修成本。减少了人工参与,降低了人力成本,企业不再需要雇用大量的施工人员进行人工引导和辅助作业。另一方面,该

技术的应用使光伏施工实现了从传统的人工操作向智能化、精准化作业的转变。施工过程更加自动化和智能化,能够实时根据环境变化调整作业策略,提高了施工的灵活性和适应性。这种智能化转型不仅提升了企业的核心竞争力,还为山地茶树林光伏项目的可持续发展提供了有力保障,带来了良好的经济效益与社会效益。

5 优化方向探索

(1) 传感器融合精度的提升

尽管无人机自主避障路径规划技术在山地茶树林光伏施工中已经取得了显著成效,但在传感器融合精度方面仍有很大的提升空间。目前,多传感器融合技术虽然能够提供较为全面的环境感知信息,但在面对一些复杂的场景时,如茂密的枝叶遮挡、恶劣的天气条件等,传感器之间的数据融合还存在一定的误差。未来,可以进一步探索新型传感器的应用,如毫米波雷达、红外传感器等,将它们与现有的激光雷达和视觉传感器进行有机结合,实现多源数据的深度融合。通过不断优化传感器的安装位置 and 数据处理算法,提高传感器之间的协同工作能力,从而增强环境感知的准确性与实时性,为路径规划提供更加精确的数据支持。

(2) 智能算法的优化升级

智能算法作为无人机自主避障路径规划技术的核心,其性能的优劣直接影响着路径规划的质量和效率。在极端复杂的环境下,如暴雨、浓雾等恶劣天气,或者在地形特别复杂、障碍物密集的区域,现有的智能算法在适应性和计算效率方面还存在一定的不足。未来,可以从算法的优化升级入手,采用更加先进的人工智能技术,如深度学习、强化学习等,对算法进行

改进和创新。通过大量的模拟训练和实际案例分析,让算法能够更好地适应各种复杂环境,提高其在极端条件下的决策能力。优化算法的计算复杂度,减少计算时间,提高路径规划的效率,使施工设备能够在更短的时间内获取最优路径,进一步提升施工效率。

(3) 协同作业能力的加强

加强无人机与施工设备的协同作业能力是推动该技术在更多复杂场景中广泛应用的关键。目前,无人机与施工设备之间的协同还存在一定的局限性,信息交互不够及时和顺畅,设备之间的配合不够默契。未来,可以通过建立更加高效的通信协议和协同控制机制,实现无人机与施工设备之间的实时数据共享和精准协同作业。无人机可以根据施工设备的实际作业情况,实时调整路径规划方案,为设备提供更加优化的作业路线。施工设备也可以将自身的状态信息反馈给无人机,使无人机能够更好地了解设备的工作情况,及时发现和解决潜在的问题。通过不断加强无人机与施工设备的协同作业能力,实现更高效的施工流程,推动无人机自主避障路径规划技术在山地茶树林光伏施工及更多复杂场景中的广泛应用,为能源建设和环境保护事业做出更大的贡献。

6 结语

无人机自主避障路径规划技术有效解决山地茶树林光伏施工设备精准作业难题,提升施工效率与质量,降低成本。未来,随着传感器技术、智能算法的不断发展,该技术将向更高精度、更强适应性方向演进。进一步优化多传感器融合与算法性能,加强设备协同作业能力,有望拓展其在更多复杂地形与特殊场景下的应用,为光伏产业及其他工程建设领域提供更先进可靠的技术支持,助力实现智能化、高效化发展目标。

参考文献:

- [1] 周建民,李红斌.基于多传感器融合的无人机避障系统设计[J].电子设计工程,2022,30(15):134-138.
- [2] 王辉,张晓东.改进A*算法在无人机路径规划中的应用[J].计算机应用研究,2021,38(08):2335-2339.
- [3] 刘磊,陈涛.激光雷达在复杂地形环境感知中的应用研究[J].测绘科学,2020,45(12):132-137.
- [4] 赵勇,孙明.视觉导航技术在工程设备精准作业中的应用[J].机械设计与制造,2019(06):241-244.
- [5] 郭强,吴昊.光伏施工智能化技术发展现状与趋势[J].太阳能,2023(04):78-83.