

边坡智能巡检系统的设计

张宪伟 邢笑笑

商洛学院

摘要: 边坡是山区高速公路的重要组成部分,但边坡崩塌、滑坡等地质灾害较为频发。边坡的日常养护大多是人工巡检,人员实地作业较为危险,巡检不全面且人力成本大,存在很大的局限性。本文设计了一种基于无人机的边坡智能巡检系统,该系统主要通过无人机观察边坡情况,通过图像识别技术自动定位潜在危险的位置,将巡查结果自动保存并自动填写巡查记录表。该系统可以避免人工巡检中可能存在的问题,具有广阔的市场前景。

关键词: 边坡;智能巡检系统;日常养护

DOI: 10.65976/3106-1540.2026.01.017

Design of Intelligent Slope Inspection System

Zhang Xianwei Xing Xiaoxiao

(Shangluo University)

Abstract: Slope is an important component of mountainous highways, but geological disasters such as slope collapse and landslides are more frequent. The daily maintenance of slopes is mostly carried out by manual inspection, and on-site operations by personnel are relatively dangerous. The inspection is not comprehensive and the labor cost is high, which has significant limitations. Therefore, this article designs an intelligent slope inspection system based on drones. The system mainly observes the slope situation through drones, automatically locates potential dangerous locations through image recognition technology, automatically saves the inspection results, and automatically fills in the inspection record form. This system can avoid some problems that may arise during manual inspections and has broad market prospects.

Keywords: slope; Intelligent inspection system; routine maintenance

我国地形复杂多变,尤其是山地、丘陵和地形崎岖的高原组成的山区面积大,约占国土总面积的70%,且广泛分布于全国各地,高速公路在我国分布广泛,受自然因素及工程扰动的影响,边坡崩塌、滑坡等地质灾害较为频发^[1]。地质灾害具有较大地域差异性,目前尚未有完善的预警体系,多数山区仍采用人员实地监测,人处于边坡区域中,较为危险,难以确保监测信息的可靠性。

近年来,无人机技术发展迅速,已在各类巡检作业中得到广泛应用^[2]。2000年,西班牙马德里理工大学与西班牙红色电力公司合作,基于无人机与视觉系统,实现了输电线路的视觉巡检,厉秉强等人^[3]研究了一种基于无人直升机平台的输电线路巡检系统,包括无人直升机平台和检测系统。王彦国等人^[4,5]也将无人机巡检技术投入输电线路运维,便于工作人

员精准掌握线路实际运行状态。张华等人^[6]提出了一种高边坡自动化监测与安全预警技术,通过在高边坡现场布设自动化监测设备,依托安全监测预警平台对各项监测数据进行分析,判定边坡是否达到预警阈值,并对其发展趋势进行预测,从而实现提前预警,保障现场人员生命与财产安全。对边坡滑塌现状,分阶段对此边坡布置不同的智能化监测方案并进行预警预报,同时,将已开发的智能监测云平台应用到此边坡,进行实时监测与预警,以达到有效减少损失的目的。矛娜等人^[7]提出了一种基于无人机贴近摄影测量的高陡岩质边坡岩体结构面信息的精细化调查方案,并在武汉市东湖高新技术开发区长岭山露天采石场崩塌地质灾害调查中完成了实例应用,该方法使用大疆M300RTK无人机搭载DJI P1相机完成倾斜摄影测量与贴近摄影测量工作,建立高精度的露天采石场高陡

课题项目: 大学生创新创业训练计划项目(S202411396081),陕西省教育厅项目(25JK0438)。

作者简介: 张宪伟,男,本科在读,研究方向为深度学习与智能系统、图像处理。

邢笑笑,女,硕士研究生,讲师,研究方向为模式识别与图像处理、智能系统。

岩质边坡的实景三维模型和高密度三维点云，通过区域生长算法自动解译其岩体结构信息。

一、无人机巡检系统的设计

针对边坡巡检地形复杂、环境多变的核心需求，完成了高适配性硬件系统的选型与集成。无人机本体选用多旋翼机型，经测试其飞行稳定性满足6级阵风环境下的巡检作业要求，续航时间达90分钟，负载能力 $\geq 5\text{kg}$ ，可稳定搭载多类巡检设备。核心巡检设备包括高清摄像头、红外热像仪、激光雷达，配合北斗卫星导航模块与UWB定位传感器，构建了多维度数据采集体系。无人机边坡巡检示意图如图1所示。

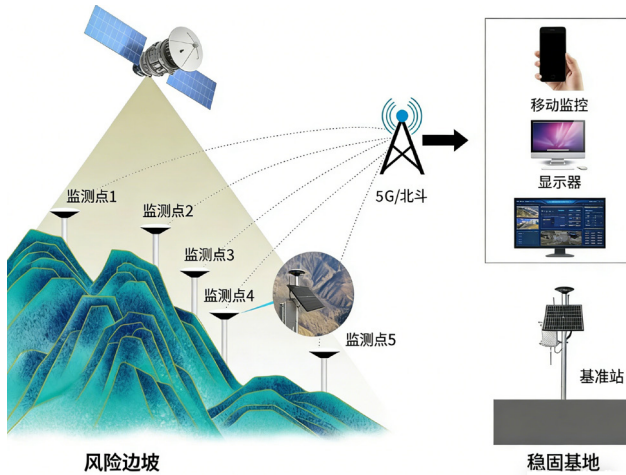


图1 无人机边坡巡检模型

无人机边坡智能巡检系统主要分为用户登录管理、无人机巡检管理、巡检数据管理、系统管理设置四大功能模块。系统功能框图如图2所示。

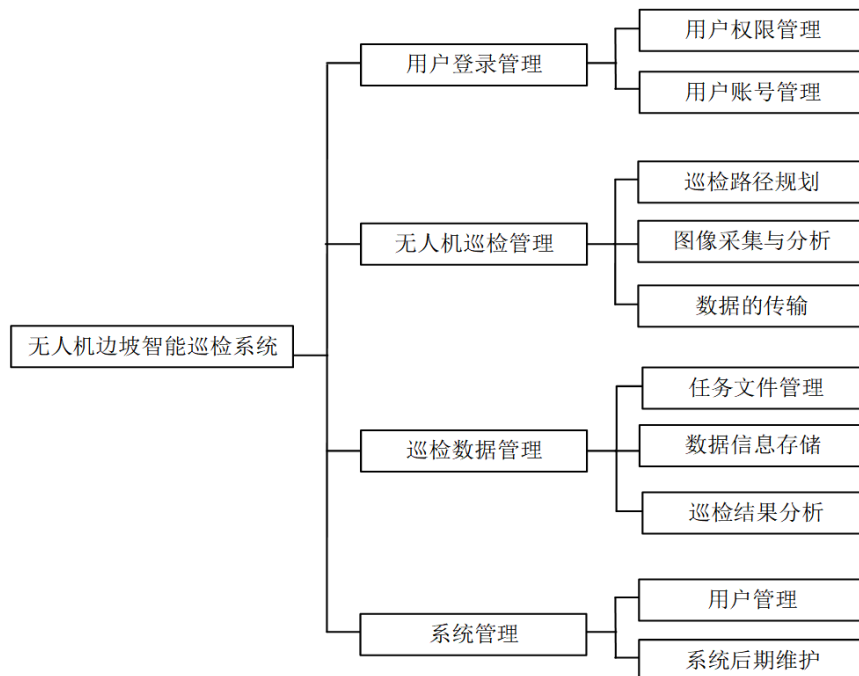


图2 无人机边坡智能巡检系统的功能框图

(一) 用户登录模块

系统可对使用人员的账号、密码及操作权限进行统一管理，从而保障信息安全。通过登录身份验证机制，能够有效阻止未授权用户访问敏感信息与执行关键操作，切实保护用户隐私及数据安全。无人机边坡智能巡检系统的登陆及用户管理界面如图3所示。



图3 无人机边坡智能巡检系统的登陆及用户管理界面

(二) 无人机巡检模块

采用无人机搭载高清摄像头观察边坡情况，利用最优路径规划、图像智能识别、巡检报告电子存档、

视频数据实时传输、实时定位感知巡检等功能，采用先进的图像处理和数据分析技术，完成边坡截水沟堵塞和坡面裂缝的图像识别等任务。

1. 巡检路径规划

根据边坡的结构特征及周围环境特点，结合需要巡检的部位标定相应的点位，通过无人机最优路径规划算法，计算出无人机最佳的飞行路线。当系统完成路径规划并且通信系统正常时，无人机开始执行巡检任务，若通信系统异常则会先对系统进行检修，正常后再开始执行巡检任务。无人机执行巡检任务时会自动识别边坡危害，将现场的实际情况与周围环境进行监测，并实时传输现场环境的数据到监控终端。使决策者能够及时感知受灾路段的灾害程度，便于决策者制定相应等级的应急预案调配。之后继续执行巡检任务，直到完成规划路径巡检任务后，无人机返回。最优路径规划流程图如图 4 所示。

2. 图像采集与分析

通过图像采集单元自动识别边坡裂缝、截水沟堵塞、浮石、危石、滑移、沉陷等风险源。建立实时

监测和反馈机制，及时分析和处理无人机收集到的数据，快速发现并响应边坡上的问题。在系统后台采用大数据技术分析，对落石、滑坡等危险源，进行风险性评估，操作人员在远离现场的情况下对无人机进行操控，无人机收集的数据迅速传输到云端进行处理和存储并语音报警。图像采集单元如图 5 所示。

(三) 巡检数据管理模块

系统需具备数据处理分析、任务文件分类与存储功能，因为利用无人机获取到的数据具有碎片化、类型多样、数据量庞大等特点。同时可通过曲线图、柱状图等形式，直观展示不同管理人员对异常问题的处理统计结果。

巡检数据管理系统框架的搭建主要依托当前成熟先进的信息技术，采用基于 B/S 架构的三层结构进行设计各模块。系统以 J2EE 为技术平台，选用 MVC 三层架构作为开发框架，通过 B/S 应用架构提升系统的性能。系统采用主流成熟的 J2EE 平台及 Tomcat 作为企业级应用服务器，搭配高性能服务器可支持大量用户并发访问；同时选用 Oracle 大型关系型数据库作

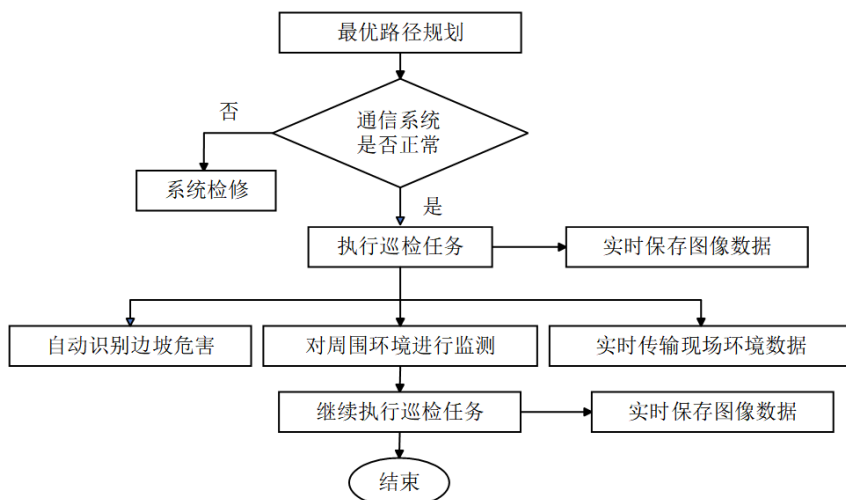


图 4 最优路径规划流程

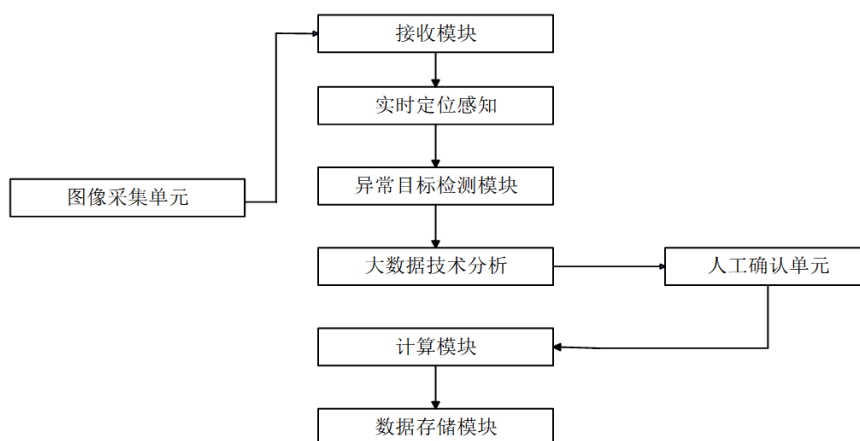


图 5 图像采集单元流程

为数据支撑,具备海量数据存储能力,运行效率与安全性优异,能够满足大规模系统的数据处理需求。

(四) 系统管理模块

系统基础设置包括用户管理、系统维护两个方面。用户管理具体是针对用户的账号以及密码实施全面的管理,这当中包含了新增用户账号、删除用户账号、修改用户账号密码等相关操作,同时还需对用户所具有的权限进行科学合理的设定。而系统维护则是负责对系统展开日常的维护工作,并将维护的详细情况进行准确记录,以此来充分满足用户的多样化需求以及各种不同的使用场景。

二、实验验证与分析

(一) 图像采集实验

本文选取汉宁高速 K1308+450 段边坡作为研究对象,对无人机边坡巡检方案的可行性进行试验验证。该边坡位于宁强至洋县路段,如图 6 所示,海拔 420m,现场无输电线路、通信基站等干扰源,坡面植被覆盖度较低。本文采用蚁群算法,通过模拟蚂蚁觅食路径规划机制,融合边坡结构形态、监测点布设及环境约束条件,自动生成覆盖全面、路径无冗余的无人机巡检航线。



图 6 边坡 K1308+450 图

针对该边坡呈台阶状分布且设置平台截水沟的结构特征,采用分台航摄像策略,分别对坡面及截水沟区域开展精细化影像采集。试验结果显示,完成该边坡全域巡检共耗时 27 分钟,获取有效航拍影像 121 张。采用传统人工徒步巡检方式时,仅现场巡查即需 44 分钟,辅以边坡观测记录填写 5 分钟,总耗时达 49 分钟。试验结果表明,采用本文设计的无人机巡检方案,可有效辅助巡检人员完成高速公路边坡巡检作业。相较于传统人工巡检模式,该方法显著提升了边坡巡检效率,同时大幅降低了巡检人员登高作业的劳动强度。

(二) 边坡病害智能识别实验

采用深度学习算法构建病害识别模型,通过 10000+ 张边坡病害样本(裂缝、截水沟堵塞、浮石、沉陷等)训练优化,模型识别准确率达 86% 以上。其中,对裂缝宽度 $\geq 0.5\text{mm}$ 的识别准确率达 93%,识别过程如图 7 所示。对截水沟堵塞面积 $\geq 0.2\text{m}^2$ 的识别准确

率达 87%。在实地测试中,成功识别出截水沟裂缝破损、坡面局部脱落等病害 43 处,其中 7 处为人工巡检易遗漏的隐蔽性隐患,识别效率较人工提升 3 倍以上。

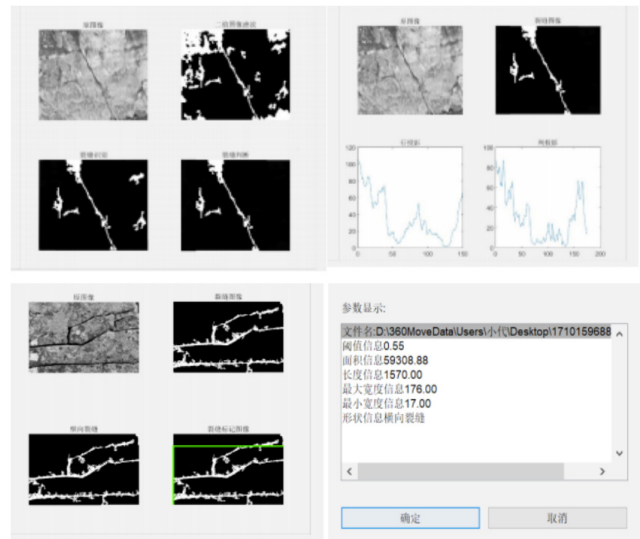


图 7 裂缝识别效果以及裂缝参数信息

三、结论与展望

本文设计的无人机边坡智能巡检系统,有效解决了传统人工巡检的痛点,实现了边坡巡检的自动化、精准化、可视化。试验表明,系统效率与准确性显著优于人工,具备良好的应用前景。今后研究中会进一步扩大病害样本库,引入 Transformer 模型优化识别算法,提升对微小裂缝、隐蔽性沉陷等复杂病害的识别准确率;优化路径规划算法,融入实时气象数据,提升极端天气下的路径适应性。同时针对铁路、矿山、水利等不同领域的边坡特点,开发专用巡检模式,优化参数设置与病害识别模型,扩大技术成果的应用覆盖面。

参考文献:

- [1] 马增,牛小明,虎万杰,等.边坡安全隐患影响程度数值模拟分析[J].采矿技术,2024,24(02):150-154.
- [2] 张邹露鹏,范钟倩.微型无人机在公路桥梁养护检测工程中的应用[J].公路,2017,62(07):172-175.
- [3] 厉秉强,王骞,王滨海,等.利用无人直升机巡检输电线路[J].山东电力技术,2010(01):1-4.
- [4] 王彦国.无人机巡检输电线路技术的应用分析[J].中国高新技术企业,2016(34):69-70.
- [5] 曾绍攀.无人机巡检输电线路技术的应用分析[J].质量探索,2016,13(06):86-87.
- [6] 张华.高边坡自动化监测系统及安全预警技术研究[J].中国设备工程,2024(07):205-207.
- [7] 茅娜,张文明,孙侃.基于无人机贴近摄影测量的露天采石场高陡岩质边坡岩体结构面信息自动识别[J].安全与环境工程,2024,31(02):164-172.