

面向堤坝监测的无人机自动巡检系统设计

方卫华¹, 杨浩东¹, 谢双双², 李嘉琦², 刘云平²

(1. 水利部南京水利水文自动化研究所, 江苏 南京 210012; 2. 南京信息工程大学 自动化学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 针对人工巡检监测堤坝费时费力, 存在安全风险, 还可能会造成堤坝损害等问题, 设计一种无人机大坝自动巡检系统: 首先对搜索区域进行建模, 采用基于栅格的技术, 为每架无人机划分待搜索区域, 然后采用牛耕法对区域进行全覆盖搜索; 通过改进的 yolov5 算法对裂缝图像进行快速识别, 利用 MAD 中值滤波和广义形态学滤波对红外图像进行预处理, 实现了对堤坝渗漏区域的快速准确识别。

关键词: 自动巡检; 无人机; 牛耕法; yolov5; MAD; 红外图像

中图分类号: TV689.237

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2024)02-0001-0004

Design of UAV automatic inspection system for dam monitoring

FANG Weihua¹, YANG Haodong¹, XIE Shuangshuang², LI Jiaqi², LIU Yunping²

(1. Nanjing Automation Institute of Water Conservancy and Hydrology, Ministry of Water Resources, Nanjing 210012, China;

2. School of Automation, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Aiming at the problems of manual inspection and monitoring, such as time-consuming and labor-intensive, security risk and damage to the dam, an automatic inspection system of UAV dam is designed. Firstly, model the search area and use grid based technology to divide the search area for each drone. Then, use the Boustrophedon method to conduct a full coverage search of the area. Through the improved yolov5 algorithm, crack images were quickly identified, and infrared images were preprocessed using MAD median filtering and generalized morphological filtering, achieving fast and accurate identification of dam leakage areas.

Key words: automatic inspection; UAV; Boustrophedon method; yolov5; MAD; infrared images

近年来,国内外相关学者关于自动巡检装置进行了许多研究。圣保罗大学设计出一种变电站巡检系统,巡检装置对变电站现场设备工作温度进行监测;日本东京工业大学研制了一款电力巡检系统,该系统由巡检端和控制端组成,巡检端可利用机械臂实现越障功能,完成对输电线路的检测;王长生等^[1]研发出了基于物联网的大坝自动巡检系统,通过引入智能化的物联网技术解决大坝巡检的

相关问题;张行等^[2]设计了一种新型的矿用带式输送机巡检机构系统,该系统基于无极绳牵引原理使巡检设备往复运行。而大坝自动巡检系统的研究尚属空白,具有研究价值和实用价值。

随着智慧水利孪生流域、孪生工程建设工作的开展以及无人机技术和计算机技术的发展,运用无人机智能巡检装置进行大坝的自动巡检及数据采集成为了一个重要的研究方向^[3]。为推动智慧水利

收稿日期: 2023-09-23

基金项目: 江苏省水利科技项目(2021073)

作者简介: 方卫华(1972—),男,教授级高级工程师,博士,主要从事水库督查工作。E-mail:fangweihua@nsy.com.cn

建设和服务于数字孪生工程建设,实现水库大坝等水利工程的智能化巡检^[4],拟通过开展水库大坝智能巡检监测管理系统,研发基于云边端的无人机大坝自动巡检系统,实现对水库大坝的智能巡检和立体动态感知,以期水库大坝的安全监测保驾护航。

1 总体方案设计

本文拟集成全自主无人机方舱技术、面向大坝监测的无人机任务规划技术、无人机数据和堤坝病害数据实时高速传输技术、无人机数据处理与堤坝病害信息提取等核心关键技术,设计一种面向堤坝监测的无人机自动巡检系统,如图1所示。

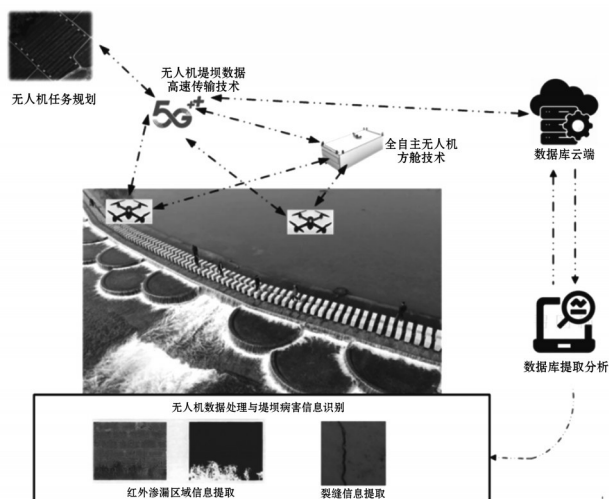


图1 总体方案设计

(1)具备自主起降、快速充电功能的可移动无人机方舱技术。无人机能够一键起飞和自动精准降落,通过图像识别技术和网络差分双定位系统实现精准安全降落。通过自动归中装置提供安全可靠的接触式快速充电系统,满足无人机自主航拍需求。通过配置本地小型气象站时刻监控现场雨量、风力、风向等气象信息,自主调整任务窗口期,保证无人机的飞行安全。

(2)面向堤坝监测的无人机任务规划技术。通过堤坝监测远程控制系统软件,实现对堤坝地块信息的灵活配置,规划监测任务。通过航线自动规划技术,针对不同的地块信息,采用不同的监测航线。

(3)无人机数据和堤坝监测数据实时高速传输技术。通过SIM8200EA-M25G模块实现无人机配网,背部设置SIM卡槽可用于移动卡安装,借助5G传输模块可以完成图像的高速传送。通过配置5G

网络连接和TCP/IP或UDP协议,利用Socket接口收发数据。通过无人机数据传输系统,包括推流端、服务端和客户端,完成数据的采集、储存和查询等功能。

(4)无人机数据处理与堤坝病害信息提取技术。针对无人机获取的图像信息,通过改进的yolov5算法,对堤坝的裂缝进行识别,通过MAD滤波算法和广义形态学滤波,对获取的红外图像进行预处理,最后自动阈值化分割,获得渗漏区域的图像信息。

2 算法设计

2.1 问题建模

无人机自动巡检的技术路线如下:首先,进入堤坝现场,查看地形及周边情况,检查无人机电量及设置,并进行飞行前的准备工作;其次,建立飞行任务,进行飞行路径的智能规划,并实现无人机的复合避障,根据情况进行手动补拍;最后,将外业成果导入相应软件进行处理,建立三维模型,提取所需信息数据。

为了更好地解决无人机在自动巡检堤坝时区域划分与路径规划相互独立和任务覆盖不完全的问题,提出一种多无人机覆盖路径规划方法。

首先将堤坝区域栅格化,A为需要搜索栅格的中心点。N为禁止通行栅格的端点。没有标号点的白色栅格不需要搜索,也不禁止通行,见图2。

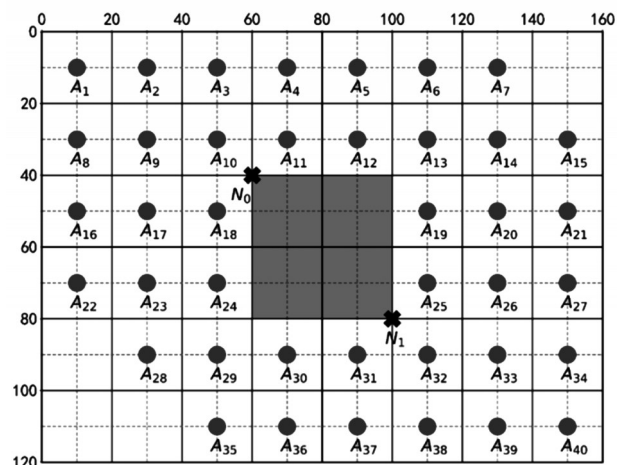


图2 栅格

采用基于栅格的技术,将需实施覆盖堤坝路径规划区域离散为栅格,并把栅格分为A、N、B 3类,A类栅格对应需要覆盖的区域,记录栅格中心点为 A_s (x, y),其中:A为点的类别,s为点的序号, (x, y)为点

的坐标; N 类栅格对应禁飞区,将相邻的禁飞区栅格合并为尽可能大的矩形,记录禁飞区矩形为 $NR_t(N0, N1)$,其中: t 为矩形的序号, $N0$ 为矩形的左上角点, $N1$ 为矩形的右下角点; B 类栅格为其他栅格,这些栅格不需要覆盖搜索,也不禁止 UAV 飞越,因此,整个区域信息可以表示为 $G=G(AS, NRS)$,其中: AS 为 A 类栅格中心点的集合, NRS 为禁飞区对应矩形的集合。

2.2 区域划分

根据无人机的数目、各自的能力,以及执行任务等信息,将堤坝划分为不同的区域。图3中不同形状的3个点集,是区域划分的结果。每个点集对应一架无人机需要搜索的区域。如图3所示,圆形区域的点集由无人机1进行覆盖巡检,正方形区域的点集由无人机2进行覆盖巡检,三角形区域的点集由无人机1进行覆盖巡检。中间的大正方形区域为威胁区,无人机不作巡检。

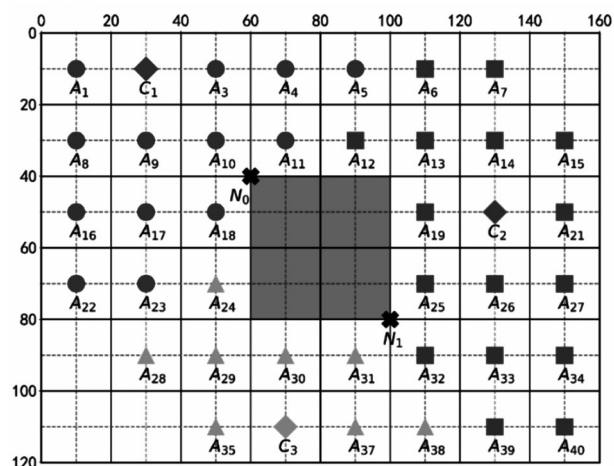


图3 分簇后的区域图

2.3 路径规划

划分区域后,对每个区域采用全覆盖路径规划算法进行路径规划,见图4~5。按顺序从 $\{CS1, CS2, \dots, CSk\}$ 取出 CSi 为当前簇,对当前簇 CSi 中所有点,采用深度优先搜索方向和起始点不同的牛耕法规划出多条路径。深度优先搜索方向分为Horizontal/水平、Vertical/垂直、Diagonal/对角线,起始点分为 $XminYmin$ /左上角点, $XminYmax$ /左下角点, $XmaxYmin$ /右上角点, $XmaxYmax$ /右下角点,不同的深度优先搜索方向和起始点组合成不同的牛耕法对簇 CSi 实施路径规划。

牛耕法的起始点为左上角点 $A1(10, 10)$,沿水平方向实施深度优先搜索,则该方向上的 $A2(30,$

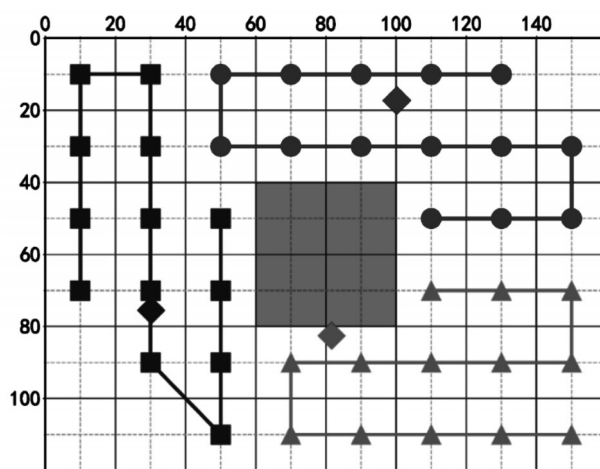


图4 路径规划图



图5 实际效果图

10)、 $A3(50, 10)$ 、 \dots 、 $A5(90, 10)$ 均加入路径 $path1$, $A5$ 为 $CS1$ 区域的边缘,搜索转到下一行,即 Y 增大的一行继续实施沿水平方向的深度优先搜索,重复上述过程,直至遍历 $CS1$ 中所有的点。

3 堤坝病害检测方法

3.1 堤坝裂缝识别方法

无人机巡检系统具有机动迅速、成像质量高等突出特点,在大型工程病害巡检中得到了较广泛的应用,但是受无人机飞行状态下的抖动、光照强度变换的影响,导致可见光图像噪声大,无法满足快速、高效巡检的需求。针对上述问题,提出了适用于堤坝裂缝病害快速高精度识别方法,解决了传统无人机巡检系统数据处理速度慢、识别精度低的问题。

本设计使用改进的YOLOv5算法对裂缝图像进行识别。YOLOv5系列算法包括YOLOv5s、YOLOv5m、YOLOv5l、YOLOv5x。其中YOLOv5s模型最小,同时检测精度也较低。YOLOv5s模型由4个部分组成:输入端、骨干网络、颈部网络和检测头。

YOLOv5算法的改进主要包括:(1)在输入端增加Gamma变换,改变图片的暗部细节,增强图片,提高数据利用的高效性;(2)采用PP-LCNet网络,使模型更加轻量化,降低对硬件设备的要求,大大提高检测速度;(3)在骨干网络融合CBAM注意力模块,CBAM包含两个独立子模块——通道注意力模块和空间注意力模块,分别进行通道和空间维度上的注意力特征融合,减少参数。改进的算法减少了参数量,提高了检测精度,完成了轻量化的改变,有效提高了检测速度。

无人机搭载z30云台相机,该相机的光学变焦和数码变焦分别为30倍和6倍,能够清晰观测到堤坝表面的毫米级裂缝,同时该相机配备了三轴增稳技术,能够在飞行过程中控制相机抖动,可以达到 0.01° 。通过相机标定,采用Frangi滤波方法,对裂缝信息进行提取,包括裂缝分类以及裂缝的大小。

3.2 基于红外图像的堤坝渗漏识别方法

红外检测方法具有对温度敏感、检测速度快等突出优点,能够快速发现可见光无法观测到的堤坝浅层渗漏区域,并进行全天候的检测,在各类无损检测中得到了较为广泛的应用。然而由于堤坝表面受热不均匀,且红外热像技术在数据采集时易受环境因素、时间因素、物理因素的影响,导致红外图像整体成像质量低、轮廓模糊等,严重影响了基于红外图像的堤坝渗漏识别准确度。针对上述问题,设计了基于形态学重建的堤坝渗漏快速检测新方法,包括红外图像预处理、渗漏区域识别2个部分。

为实现红外图像的噪声抑制和图像对比度增强,选取基于绝对偏差的中值(median absolute deviation, MAD)滤波算法和广义形态学算法对红外图像进行预处理。MAD滤波算法是一种稳健对抗离群数据的距离值方法,能够有效剔除堤坝表面因光线反射而造成的数据离群点。

广义形态学滤波的主要特点是在开运算与闭运算滤波过程中选用了尺寸不同的结构元素,使图像更为平滑,同时能够有效抑制大量复杂噪声,并保持图像亮度不发生偏移。

本文引入了top-hat变换,首先对原始红外图像进行开运算或闭运算,然后将运算结果与原始红外图像做差,能够很好地滤除噪声,同时起到增强图像对比度的作用。

在数据预处理后,得到降噪图像和梯度图像,然后根据输入的初始偏移对图像进行形态学重建,

重建以 T 为步长,让极小值区域不断趋于稳定。最后通过自动阈值化分割,阈值化提取原理公式如式(1)所示。

$$f(x,y)=\begin{cases} 0 & p(x,y)>t_h \\ 255 & p(x,y)\leq t_h \end{cases} \quad (1)$$

$f(x,y)$ 为阈值化后的二值渗漏区域中 (x,y) 的坐标值,其中,0(黑色)表示无渗漏区域,255(白色)表示渗漏区域, $p(x,y)$ 为极小值区域中 (x,y) 的温度值, t_h 为选取的温度阈值。本文采用ZENMSE XT2热成像云台相机,该相机能够高精度获取待检测区域的温度信息,满足检测的需求,渗漏区域如图6所示。

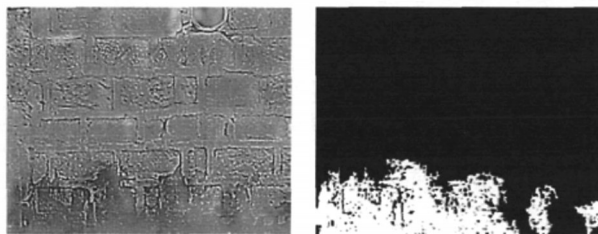


图6 渗漏区域检测示例

4 结 语

本研究设计一种面向堤坝监测的无人机自动巡检系统,包括全自主无人机方舱技术、面向堤坝监测的无人机任务规划技术、无人机数据和堤坝数据实时高速传输技术、无人机数据处理与堤坝病害信息提取等核心关键技术,通过采用栅格技术对需要实施覆盖路径规划区域离散为栅格,根据无人机的数目、各自的能力,以及执行任务等信息,将区域划分为不同的区域。划分区域后,采用牛耕法进行路径规划,并利用无人机搭载多款云台相机,实现对堤坝裂缝的检测以及渗漏区域的检测。

参考文献:

- [1] 王长生,马福恒,何心望,等. 基于物联网的燕山水库大坝智能巡检系统[J]. 水利水运工程学报,2014(2):48-53.
- [2] 张行,李伟,武倩平,等. 新型带式输送机巡检机构系统设计[J]. 制造业自动化,2015,37(6):4.
- [3] 缪希仁,刘志颖,鄢齐晨. 无人机输电线路智能巡检技术综述[J]. 福州大学学报(自然科学版),2020,48(2):198-209.
- [4] 基于无人机电载红外-可见双光成像的土石堤坝渗漏巡查方法[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(3):154-161.