

基于无人机的桥梁常规检测智能化研究进展

王盛, 杜斌

(贵州大学土木工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 随着桥梁总数的不断增长, 桥梁检测的市场需求越来越大, 常规的检测方法难以满足, 于是基于无人机的桥梁智能化检测手段应运而生。本文从无人机安全飞行研究与智能化检测研究两个方面进行分析总结, 该类型研究处于起步阶段, 未来必将大有所为。

关键词: 无人机; 桥梁工程; 常规检测; 智能化

中图分类号: U446.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 11—0157—03

1 引言

据交通运输部统计从 2010 年到 2020 年十年时间里, 公路桥梁增长了 26.1 万座共计 91.28 万座^[1], 当桥梁投入运营后, 通常每 2—3 年内会经历一次常规检测, 由于我国桥梁存量巨大, 于是产生了巨大的检测需求。当下的传统检测方式工作效率低下、检测范围小、检测成本高^[2]。于是尝试引进新设备及技术来升级检测方式, 其中利用无人机搭载设备, 结合智能化技术对桥梁进行检测最为热门, 凭借无人机的机动灵活可扩大检测范围, 借助智能化检测技术可降低检测成本、提高检测效率, 满足我国对于桥梁常规检测的需求。

2 安全飞行研究

应用于桥梁检测的无人机通常需要面对复杂多变的环境, 如何保证其安全飞行成为该研究领域的基本前提, 学者们提出两种不同的防护方式, 分别是增加辅助硬件或改变飞行器结构实现物理防护、借助计算机技术实现智能避障软防护。

2.1 物理防护

在物理防护改造中, 都是利用多旋翼无人机作为改造平台, 其飞行速度适中、易定点悬停、有较大的改造空间。Takahiro 等^[3], 在无人机顶部安装三自由度的力控制器, 用以调整无人机的姿态及位置, 从而避免无

4 结语

通过设置擦摆球型支座可以有效改善斜拉桥在地震作用下的受力和变形, 在模型 2 的基础上, 在顺桥方向和横向方向附加黏滞阻尼器后, 墩顶位移、主梁位移和主梁加速度都进一步减小; 整桥的轴力、剪力、弯矩和应力同样有明显的减小, 反映出黏滞阻尼器能对该桥起到良好的控制效果, 表明擦摆球型支座和加黏滞阻尼器同时使用的组合减隔震装置可以有效改善斜拉桥抗震性能。

参考文献:

- [1] 范立础. 桥梁抗震 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.
- [2] 于泳波, 万振江, 刘健新. 减震技术在公路桥梁中的应用及地震反应分析 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2004, 24(2): 58—60.
- [3] 阮怀圣, 何友娣. 两种减隔震支座动力参数的设计方

法及减隔震效果差异研究 [J]. 世界地震工程, 2017, 33(01): 223—229.

[4] 付君宜. 附加粘滞阻尼其结构就性能的抗震设计方法 [D]. 长安大学, 2014.

[5] 张忠伟, 关清杰, 刘严. 摩擦摆球型支座对斜拉桥抗震性能的影响 [J]. 城市道桥与防洪, 2020(09): 73—75+79+14.

[6] 敖建辉, 赵俊志. 基于 Midas Civil 的双塔斜拉桥地震响应分析 [J]. 中国公路, 2018(23): 110—111.

人机撞击桥梁底板,如图1所示。Sanchez等^[4],给无人机安装旋翼缓冲保护装置,可使无人机安全地贴近梁底飞行,即使碰撞到桥梁也能安然无恙,如图2所示。Myeong等^[5],设计了无人机倾斜机构,并在无人机的四个旋翼位置安装滚轮,通过PID控制飞行姿态,实现垂直墙壁飞行和沿弧形构件表面飞行,极大提高无人机的通过性、平稳性和安全性,如图3、4所示。



图1 安装力控制杆无人机



图2 安装防护罩无人机



图3 弧形飞行状态

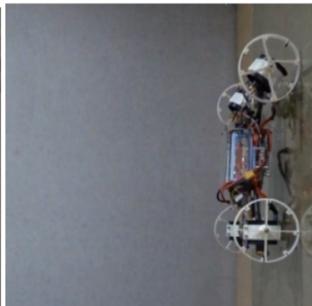


图4 垂直墙面飞行状态

2.2 智能软防护

在利用计算机技术实现智能避障的软防护研究方面有较多的方案,张天翼^[6]利用两台摄像机成像的立体视觉技术,成功设计了无人机障碍快速识别及躲避策略。马跃涛^[7]提出了基于超声波测距、单摄像头测距、被动式阵列磁感应天线装置的多源信息融合算法,提升了无人机对于障碍物的感知能力。张阵委^[8]提出一种在光线不足或没有光线情况下,利用深度相机构建3D地图,从而实现避开障碍物的智能防护办法。

3 检测智能化研究

3.1 变形检测研究

传统桥梁变形检测常依赖于全站仪或水准仪,这导致检测效率低、检测投入成本高,于是学者们开启了对变形检测方式的改进探索,Ellenberg等^[9],首次尝试了基于无人机的3D slam技术变形测量,并成功在室外完成了可行性测试。Daniel等^[10]利用无人机摄像头采集三维数字图像,以非接触光学测量的方式来检测桥梁的几何形变,且在两座现役桥梁上取得了较好的表现。钟

文韬^[11]提出了新型视觉测量方案,其选用固定参考点建立平面单应性变换,校正了由于无人机运动引起的虚假变形,使得变形测量结果更加准确。

3.2 表观病害识别研究

目前应用于桥梁表观病害识别的方法多种多样,如图像处理技术、计算机视觉技术、深度学习算法等,它们在实际测试中均取得了不错的效果,但仍有改进和优化的余地。齐超^[12]提出基于图像处理与测量技术的梁底裂缝检测方法,并开发了梁底裂缝识别测量软件。姚学练^[13]开展了复杂背景下的漏筋、蜂窝麻面和裂缝特征分割与提取研究,成功设计出基于MATLAB的桥梁底面缺陷视觉检测系统。孙杰等^[14]采用主动式红外热成像技术对桥梁钢结构涂装进行检测,能够准确判断出缺陷的形式及位置。Cha等^[15]提出了基于区域的快速卷积神经网络,对混凝土裂缝、钢构件锈蚀、钢构件分层、螺栓锈蚀等病害的平均识别率达到84.7%。蒋燕芳^[16]提出基于图像处理和YOLO深度学习的桥梁表观病害识别算法,成功实现了对7类混凝土表观病害的识别,且识别精度达92%。

3.3 病害可视化研究

目前病害的可视化研究属于萌芽阶段,其研究学者少、研究方法及内容单一,基本上都是依赖于BIM技术。如曹再兴^[17]提出基于“表面点法”和“立体病害模型参数化”的桥梁结构病害BIM建模方法,成功将混凝土裂缝及表面破损等进行可视化显示。马继骏等^[18],基于工业基础类(Industry Foundation Classes,IFC)模式、语法及结构将病害信息几何化和可视化,可实现BIM模型上病害信息的动态更新及发展历程展示。王超凡^[19]建立了桥梁病害分布BIM模型,实现了病害可视化标记、病害属性及历史展示、病害信息统计等功能,使桥梁管理变得更加直观。

3.4 病害数据管理分析研究

由于病害检测数据难获得、检测数据难连续、检测数据分析未重视、检测桥梁分散无共性等,导致国内很少有对检测病害数据的专业挖掘分析研究,现阶段都是借助于BIM技术进行简单的病害统计分析,如潘永杰等^[20],借助BIM技术构建了铁路桥梁病害库和运营养护系统,实现病害的简单统计分析和桥梁状态的定量评价。Shim等^[21],提出了基于BIM技术的数字孪生概念维修系统(DTM系统),将维修信息管理系统和病害检测系统融合在一起,达成检测数据与维修数据不断更

新的状态, 然后分析动态更新的数据结果, 为桥梁维护决策及应对突发状况提供可靠的数据支持。

4 结论与展望

本文从安全飞行研究和检测智能化两个方面, 对现阶段基于无人机的桥梁常规检测智能化研究进展进行梳理, 得出以下几点总结与展望:

(1) 在安全飞行研究中, 增加辅助硬件或改变飞行器结构实现物理防护更具发展和研究潜力, 增加接触性辅助硬件便可调控无人机与桥梁间距离、搭载接触式传感器, 以获得更稳定、更准确及更多样化的检测结果。其次是研究改变飞行器结构, 制造出符合在复杂桥梁环境下工作的专业化无人机, 可在狭小空间自由穿梭, 以扩大检测范围和提高检测能力。

(2) 目前利用无人机对桥梁变形进行检测的研究较少, 因为之前无人机不能实现定点精确悬停, 将导致测量误差很大, 但是随着技术的进步, 现在的无人机可配备多种精准悬停方式, 组合定位悬停精度可达厘米级, 这给无人机测量变形研究提供了实现的技术基础, 相信在不久的将来必能取得丰硕的成果。

(3) 在桥梁检测智能化研究中, 虽然对于表观病害识别技术的研究较成熟, 也取得了不少的应用成果, 但仍有很大的提升空间, 如扩展可识别的病害种类、提升病害识别的准确率、缩短病害的识别时间等。

(4) 现阶段对于病害的可视化研究较少, 展现出研究手段单一、研究内容较浅的缺点, 未来可有针对性地进行改变, 如尝试使用虚拟与现实技术对桥梁可视化进行研究。

(5) 我国还未建立专业的桥梁病害数据管理与分析系统, 未能利用大量病害数据进行智能化检测和维护, 若利用好无人机采集的病害数据, 建立专用的桥梁病害数据库, 可实现飞行航线自动规划、重点病害持续跟踪、最佳维修时间预测、桥梁技术状况等级自动评定、病害发展预测、结构功能退化预测等。

参考文献:

[1] 2010-2020 年交通运输行业发展统计公报 [Z].
[2] 勾红叶, 杨彪, 华辉, 谢蕊, 刘畅, 刘雨, 蒲黔辉. 桥梁信息化及智能桥梁 2019 年度研究进展 [J]. 土木与环境工程学报 (中英文), 2020, 42(05): 14-27.
[3] Takahiro Ikeda et al. Stable impact and contact force control by UAV for inspection of floor slab of bridge [J]. Advanced Robotics, 2018, 32(19): 1061-1076.

[4] Sanchez-Cuevas P, Ramon-Soria P, Arrue B, et al. Robotic System for Inspection by Contact of Bridge Beams Using UAVs [J]. Sensors, 2019, 19(2).

[5] Myeong w and Myung H. Development of a Wall-Climbing Drone Capable of Vertical Soft Landing Using a Tilt-Rotor Mechanism [J]. IEEE Access, 2019(7): 4868-4879.

[6] 张天翼. 基于立体视觉的移动机器人避障技术研究 [D]. 南京航空航天大学, 2018.

[7] 马跃涛. 基于多源信息融合的无人机智能避障系统的研究与应用 [D]. 华北水利水电大学, 2018.

[8] 张阵委. 基于机器视觉的小型四旋翼无人机智能避障研究 [D]. 上海工程技术大学, 2020.

[9] A. Ellenberg et al. Use of Unmanned Aerial Vehicle for Quantitative Infrastructure Evaluation [J]. Journal of Infrastructure Systems, 2014.

[10] Daniel Reagan and Alessandro Sabato and Christopher Niezrecki. Feasibility of using digital image correlation for unmanned aerial vehicle structural health monitoring of bridges [J]. Structural Health Monitoring, 2018, 17(5): 1056-1072.

[11] 钟文韬. 基于无人机图像的桥梁振动测量及模态分析 [D]. 广东工业大学, 2020.

[12] 齐超. 桥梁裂缝检测中图像识别处理与测量技术的研究 [D]. 北京交通大学, 2014.

[13] 姚学练. 基于机器视觉的桥梁底面缺陷自动检测技术研究与应用 [D]. 贵州大学, 2019.

[14] 孙杰, 甄宗标. 红外热成像技术在桥梁钢结构涂装检测中的应用 [J]. 世界桥梁, 2019, 47(5): 69-73.

[15] CHA Y J, CHOI W, SUH G, et al. Autonomous structural visual inspection using region-based deep learning for detecting multiple damage types [J]. Computer-aided civil and infrastructure engineering, 2017(4): 1-17.

[16] 蒋燕芳. 基于图像处理与深度学习的 RC 桥梁表观病害识别 [D]. 重庆大学, 2019.

[17] 曹再兴. BIM 技术在桥梁管养中的应用研究 [D]. 重庆交通大学, 2017.

[18] 马继骏, 褚豪, 孔令涛, 郭向海, 白勇. 基于 IFC 的桥梁病害信息可视化表达 [J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(04): 66-72.

[19] 王超凡. 基于 BIM 的中小跨径公路混凝土梁桥管理系统研究 [D]. 北京交通大学, 2020.

[20] 潘永杰, 魏乾坤, 赵欣欣, 等. 铁路桥梁病害库和管养知识库的构建及应用研究 [J]. 铁道建筑, 2019, 59(1): 23-27.

[21] Chang-Su Shim et al. Development of a bridge maintenance system for prestressed concrete bridges using 3D digital twin model [J]. Structure and Infrastructure Engineering, 2019, 15(10): 1319-1332.