

无人机在桥梁外观缺陷检测中的应用与优化

裴友良

北京中交桥宇科技有限公司

DOI:10.32629/ems.v8i6.20593

[摘要] 由于无人机技术机动灵活,作业方便高效,并且成本低,覆盖全面,已逐渐替代传统的检测手段,成为桥梁外观缺陷检测的众多新技术之一。文章针对现阶段无人机检测的应用情况分析了在桥梁检测方面的具体应用和核心要点,并指出了现阶段无人机存在的一些问题,并提出了相应策略,使其从“可检测”向精确化,高效智能化发展,更好的服务于桥梁养护工作,确保长久安全使用。

[关键词] 无人机;桥梁外观缺陷;缺陷检测;技术优化;智能化巡检

引言

随着交通基础设施的日益完善,桥梁保有量也相应剧增,截止到2014年底,全国公路桥梁共有110.81万座,桥总延米超过10.2万公里,桥梁养化工作任务艰巨。桥梁主要存在如下外观缺陷:混凝土开裂、表面剥落、钢筋锈蚀、支座变形以及伸缩缝堵塞等。由于这些病害不能及时检测发现及处理而导致桥梁损坏加剧并出现交通事故时有发生,采用常规的人工方式进行检测效率较低且作业成本高,尤其对于细微0.5mm以下小裂缝普遍具有30%以上的漏检率,并严重影响了养护效果。应用无人机通过搭载高清成像设备以及激光雷达等传感器可以实现桥梁无死角检测,并极大提高工作效率和精确度;但同时运用过程中还存在不少需要解决的实际问题以充分发挥出其应用价值。

1、无人机桥梁外观缺陷检测的应用

1.1 运用的前提

基于无人机技术的桥隧检测系统,主要由四个部分组成:飞行平台、搭载传感器、地面控制系统和数据分析处理软件,并同时满足相关的技术要求与规定。飞行器是以工业类长航时多旋翼式为主,一般机型可以满足45~55min的续航时间以及在5~6级抗风等级下实现桥梁高空的飞行需求;搭载于飞行平台上的传感器以全画幅高像素高清相机(2400万有效像素级)以及三维激光雷达仪、红外热成像仪等设备为主,在实际应用中主要是通过以上三种传感器来获取目标结构物的表面病害特征信息(高清相机捕捉可见性裂缝及表面积剥落、脱落后),通过三维激光雷达实现cm级建模并测量出混凝土的变形量信息,通过红外热成像仪识别隐蔽性的钢筋锈蚀及内部空洞等病害信息,最后经数据连接至控制地面端实时监控系统进行传输,然后利用相应的数据分析后生成检测结

果报告。《低空无人机应用公路桥梁巡检技术指南》的出台,为无人机技术的桥隧巡检的作业方法提供了可依据参考的技术文件支持^[1]。

1.2 核心应用场景

无人机在桥梁外观缺陷检测中可用于整个桥梁全结构的检测,尤其是用于人无法到达或极为不便的地方,起到精准有效的作用。主要有三个方面的场景:第一,桥面及附属设施检测,如桥面铺装裂缝、坑槽、车辙、伸缩缝堵塞或橡胶条老化、护栏、排水系统等缺陷检测,借助无人机低空盘旋和巡航拍摄的方式可以快速覆盖到桥梁全桥面,并能发现人工检测很难发现的一些缺陷,工作量相当的情况下,工作效率是人工检视方式的3~6倍。第二,桥梁主体系检测,包括对桥墩桥台以及梁体外露面检测,以混凝土表面的各种病变为重点,主要针对各种类型的混凝土开裂、表面脱落、蜂窝、麻面、钢筋外露锈蚀等病变,对于一些难以达到的高空部位如梁桥下面、拱桥上的各个拱肋或斜拉桥塔的下缘进行悬停侧飞等方式近距离贴近式的拍摄来捕捉肉眼无法观察到的一些0.1mm级的细微裂缝^[2]。第三,复杂型式大桥特殊结构检测,例如斜拉索和主缆的检测等,在进行这些项目检测时可配合无人机与爬索机器人设备使用来发现诸如断丝、老化等类型问题,对于大型悬索桥主缆检测来说用此方法完成的时间仅需人工上索巡视检测时间的一小部分,通常在半小时以内就可以检查完毕,相较传统方法具有高得多的安全系数,且能够提高工效几倍。

1.3 应用优势及效果

相较于传统人工检测方式,无人机检测主要优势体现为三方面:一是安全性显著提升。无需进行高空作业即可完成桥面检测,有效杜绝因高空坠落、交通事故等造成的人员伤害

风险, 2名技术人员在地面操作即可完成整套流程;二是工作效率与精度有较大提高。单架次无人机约40~50 min, 10 km 桥面检在可控制在2 h以内, 比采用人工+高空车的方式效率提高了3~5倍;桥梁表面裂缝的检测识别精确度可达0.1~0.15 mm;病害综合识别准确率能达到90%~95%;三是成本投入更低。相比传统人工+高空车检测模式, 其综合投入(人工及设备)降低40%~60%以上, 并且不必封闭交通, 有效减少因堵车给社会经济带来的间接损失。截止到2015年底, 国内已经有21个省市区开展了无人机桥梁巡检试点, 在“十三五”期间会得到更大规模的推广, 它能够在及时发现桥梁的早期细微缺陷并采取预防性处理手段的情况下有效减少桥梁修复费用支出, 契合新时期交通基础设施养护现代化的需要^[3]。

2、无人机用于桥梁外观缺陷检测的局限性

2.1 技术层面瓶颈

目前, 技术方面的局限性仍是影响无人机检测精度和适用性的因素之一。传感器受其自身性能所限制: 高清相机极易受光线以及天气影响, 下雨、起雾或强烈日光等条件都将导致成像模糊从而难以准确检测缺陷; 造价高昂的激光雷达设备小型无人机通常无法装载且激光扫描得到的点云处理难度较大且只有经过特殊训练的数据人员才能较好地掌握。同时由于识别智能化程度较低: 数据处理软件需要人工辅助判读, 虽有部分基于Yolo系列目标检测网络进行改进以用于桥梁结构损伤识别但普遍存在对小尺寸、复杂环境下目标识别度较差的特点并需要人工进行测量裂缝的长度、剥落面积来得出具体结果。另外, 无人机的稳定性较差: 高空作业时由于强风或者其他扰动源的影响经常会发生抖动, 拍摄的图像不够清晰^[4]。

2.2 流程层面瓶颈

无人机检测没有相关规范, 导致了数据效率和质量的参差不齐。一是航线规划不尽合理, 大部分无人机桥梁检测都是固定式航拍, 根据检测区域的大小随意安排飞行航线, 造成不必要的重复飞行或忽略掉应该检测的地方;二是数据后期处理滞后, 无人机所采集的数据较多, 包括大量图像、点云等信息, 比如一个小型单跨桥梁的检测数据就会达到几个上百G的存储空间, 但是现在无人机相关的数据处理软件不够理想, 并且缺少相关统一的数据存储管理机制, 存在较大的存储空间浪费, 也容易丢失, 给后续查询带来较大困扰, 而且不利于缺陷数据追溯问题发生的情况, 最终影响工作效率情况;三是与后期养护脱节, 由于缺乏与桥梁养护系统无缝

连接的问题出现情况, 所以无人机完成对某座桥梁检测以后, 虽然能够生成对应存在的桥体病害照片及分析报告文档内容, 但这些结果并不能够得到很好运用到实际工作当中来, 即不能够有效地为后续开展定期性养护维护工程提供强有力依据证明资料^[5]。

2.3 管理层及人员方面的瓶颈

无人机检测缺乏规范的管理和专业的操作人员, 对检测团队并没有统一的质量评价标准, 不同的团队有不同的流程, 因此得出的数据没有可比性;为了抢速度, 很多检测团队会选择降低他们的要求, 这就使得数据结果不可靠。另一方面, 熟练的专业人士非常缺乏。要想操作好这台无人机需要具备飞行知识和使用相关的传感器来采集桥梁的相关数据, 还需要懂得如何处理所取得的数据和有关于桥梁的知识。然而实际的操作人员大多没有经过相关培训, 所以不是在飞行的技术上达不到要求, 就是拿到数据后不知道怎么去分析, 无法分辨出缺陷类型和给出正确的等级评估;另一方面设备没有按时进行日常维护和定期校准工作也会对精度造成一定影响。许多校准过期仍不及时更新。

3、无人机在桥梁外观缺陷检测中的优化策略

3.1 技术优化

突破瓶颈的关键在于优化相关技术。从优化传感器, 识别算法和飞行稳定三个方面着手进行技术的优化: 首先, 在检测时根据桥梁的不同特点选择合适的传感器。在桥面检测时优先使用全画幅高清相机, 配备专用的偏振滤镜过滤掉过强的光照或者反射光线。使得最终拍摄得到的画面更加清晰, 能够准确无误地显示各种病害。同时也可以搭配上专业的配套传感器设备红外热成像仪和激光雷达进行隐藏病害的检查;在桥底等较阴暗处可搭配上专业的设备仪器——激光扫描仪对混凝土构件厚度以及结构变形情况进行精准检查;另外, 加大轻便型的激光设备的研发力度, 减小机器体积使用的小型无人机就可以完成高精度检查任务。其次, 在检测程序中, 缺陷自动识别是整个项目中的重中之重。本文以最新的目标检测模型YOLO v5网络为基础进行了针对性的改进, 引入Faster net神经网络结构大幅度提高了模型运行的速度并保证了其性能, 在此基础上加入基于注意力机制CBAM的模型设计思想, 提高模型获取病损特征的有效性, 同时采用了SIoU损失函数, 大大地提升了边界框回归效果;目前经过不断优化迭代最终取得了81%以上的目标检出率以及62以上的mAP指标, 并且还具备自动测量病害长度面积大小的功能。再次,

提升飞机稳定性。利用 GPS 全球定位系统结合北斗卫星导航系统,通过 SLAM(即时定位与地图构建)技术有效克服了无信号覆盖的区域例如桥墩下面等地方无法正常工作的缺点问题,保障着陆姿态精确度及安全性等方面得到了很好解决处理;同时还增加了专门应对复杂气流状况下长时间悬停作业能力开发设计。

3.2 过程改善

流程优化重点在打造检测的标准化工作,打通检测与数据处理和养护的各个环节,形成有效链接、闭环管理。提高检测效率及成果转化率:一是制定个性化的航线规划标准根据梁桥、拱桥、斜拉桥等不同类型桥梁的特征确定不同的航线,根据不同高度、角度等情况来设置无人机合适的飞行高度、飞行速度和拍摄重叠率(航向重叠率大于 70%,旁向重叠率大于 65%)。运用自动的航线技术,通过提前录入桥梁参数,实现最佳航线的自动化设计。避免出现因重复拍摄造成的续航浪费,并杜绝检测路段遗漏的情况,大幅提高了续航利用率和检测效率;二是对处理数据进行简化,采用云计算加边缘计算的手段将部分简单的图片处理直接放在现场,迅速找到目标图片并发送给云计算服务器做大数据运算,大大加快了整体运作速度,实现图片拼接识别量化分析的全自动化。同时搭建统一的数据存储管理平台把相关图片、点云数据、报告文件等分门别类存储并加密保存,便于迅速查找、追溯。同时可无缝导入养护管理平台当中方便后期使用;三是打造闭环的养护机制,使检测切实服务于后续养护管理工作将无人机的检测结果与后期的整改复查工作紧密联系到一块儿,制定各类不同缺陷问题对应的整改措施及完成期限,形成本次飞行的所有问题处理情况登记册。通过后续无人机的定期复查,确保各类问题均按照要求完成整改不到位的部分再次整改,打造真正的闭环效应体系。

3.3 管理与人员优化

管理与人员优化的重点在规范管理和培养人才,为保证无人机检测工作的规范化、专业化开展提供保障,提高检测质量。一是制定统一的评价标准,严格按照《低空无人机应用公路桥梁巡检技术指南(试行)》的要求,规范工作精度、作业流程及报告要求;细化缺陷判定标准、量化指标分析和报告编制作业等各项评分标准,加强检测过程中的监督、考核,并对不合格检测项目责令重检,确保检测工作有序进行,检

测结果真实可靠;二是加大人才的培养力度。加强理论培训并重视现场实操,定期组织考试上岗取证。同时加强与高等院校合作培养专业技术人员,实现复合型人才培养目标,提高无人机桥梁检测技术水平。三是建立健全仪器养护机制,建立相关设备的维护台账,定期保养、调试无人机及相关传感器,及时更换老化零部件,按照规定做好定位系统的标定工作,保证相关仪器仪表准确度满足需求。

4、结束语

无人机技术在桥梁外观缺陷检测中应用,成功破解传统人工检测的许多弊端,极大提高工作效率、精准度和安全性,有利于开展精细化桥梁养护,契合“十五五”时期“人工智能+公路检测”的发展趋势。但其仍然存在着很多制约之处:例如,在技术水平方面、流程层面、管理及人员配备上等问题。因此,若能在技术方面对传感器以及算法等进行优化、流程上实行标准操作并实现闭环管理,在管理和人员配置上也进一步加以完善,便能使其真正从原来的“粗放式”走向“精准化、智能化、标准化”,从而有效提升检测效率及质量,进一步降低桥梁养护成本等。在未来随着低空经济快速发展及人工智能的不断进步,若能够实现与 AI 技术、5G 技术甚至是数字孪生等相结合,可进一步完成对桥梁外观实时监测并实现智能预警等效果,更加及时有效的实施精准桥梁养护工作,为更好地服务人民,确保桥梁安全做出更大贡献。

【参考文献】

- [1] 崔艳军, 吴一凡, 田晓锐, 王荣浩, 周月娥. 基于轻量化模型(YOLOv5s)+Transformer 特征增强(C3TR)的无人机桥梁缺陷检测系统[J]. 兵器装备工程学报, 2026, 47(01): 310-320.
- [2] 杜明贵. 无人机技术在桥梁外观病害检测中的应用[J]. 科技视界, 2026, 16(01): 70-73.
- [3] 李博, 李彦江, 杨恬, 张成泰, 王艺钧. 如何利用无人机进行桥梁缺陷检测[J]. 居业, 2024, (09): 149-151.
- [4] 牟宗涵. 基于无人机图像的铁路桥梁钢结构表面缺陷智能识别方法研究[D]. 北京交通大学, 2023.
- [5] 孙宏斐. 基于无人机拍摄图像的桥梁缺陷检测[D]. 长安大学, 2022.

作者简介: 裴友良, 男, 1997 年 2 月 22 日, 北京市丰台区, 检测员, 大学本科, 研究方向桥梁。