

无人机在公路桥梁检测中的应用研究

陈曦曦

苏交科集团检测认证有限公司 江苏南京 210000

摘要：在科学技术快速发展的今天，无人机技术已经被广泛地应用到各个领域，给现代社会提供了很多方便。就公路桥梁检测而言，常规的检测方法通常限于人力，时间以及安全性，很难满足人们对高效综合检测的要求。所以，对新型检测技术进行探究势在必行。近年来无人机因其具有高效、灵活、经济等优点逐渐成为了公路桥梁探测领域中的一个研究重点。文章旨在对公路桥梁检测无人机应用进行探究，期望为公路桥梁安全运营与养护提供新型技术支持。

关键词：无人机；公路桥梁；检测应用

引言

近年来我国桥梁坍塌事故的频繁发生使如何提高桥梁养护的技术与效率显得尤为重要。目前国内桥梁检测基本靠人工操作，其中采用专用桥检车，预置轨道视频，人工望远镜和远程拍照。但这些方法均存在一定的局限。比如桥梁检测车虽能发现桥梁表面病害，但是在桥墩、桥梁侧面以及拉索这些不易接触的地方，仍需依靠检测人员经验以及人工进行测量，并且在检测时常常干扰交通。此外，预置轨道视频检测及远程拍照受光照，照片分辨率及拍摄角度等因素的限制，对于检测环境提出了更高的要求。而且人工望远镜探测由于观测距离长，探测工作量较大，易导致漏检现象的发生，探测效率比较低。为解决上述难题，国内外研究人员提出各种自动化与半自动化检测手段，极大地促进了桥梁检测技术发展，并可望弥补人工检测缺陷。借助这些更加先进的技术手段能够更加全面准确的对桥梁各部分进行检测，及时的发现病害并且对病害进行治理，以促进桥梁安全性以及使用寿命的提高。

一、无人机技术概述

(一) 无人机的定义及分类

无人机，也被称为无人驾驶飞机，是一种可以通过远程控制设备或自定义程序来控制其飞行的航空器。无人机按其使用目的及作用可分为很多类型，主要有固定翼无人机，旋翼无人机及复合翼无人机等。固定翼无人机通常拥有较长的飞行距离和较高的飞行速度，这使其非常适合进行广域巡航和长距离任务。其典型的飞行速度可以达到每小时100公里，而续航时间则可以长达数

小时甚至更久。旋翼无人机主要采用多旋翼的设计，例如四旋翼和六旋翼等，它们具备垂直起飞和降落以及悬停的功能，使用起来非常灵活，特别适合于都市环境和细致的任务执行，其飞行的高度通常不超过100米，而飞行所需的时间大约在30分钟到1小时之间。复合翼无人机集固定翼与旋翼无人机优势于一身，不仅具有固定翼速度快、航程长、垂直起降、适应性广等特点。此外，无人机还可以按重量进行分类，如微型无人机（重量小于2千克）、小型无人机（重量2至20千克）和中大型无人机（重量大于20千克）。无人机又可按其使用领域划分为民用无人机与军用无人机两大类，前者多用于农业，测绘，物流，环境监测等方面，而后者多用于执行侦察，监视，打击及其他军事任务。近些年来，伴随着科技的进步，无人机自动驾驶，人工智能和通信系统的性能都有显著提高，已经成为现代科技中的一个重要部分。



图1 无人机分类图 (图片来源: 民航资源网)

(二) 无人机的发展历史

无人机发展史可追溯到20世纪初期。1917年美国研制出首架无人驾驶飞机——“Kettering Bug”. 这架自

自动驾驶飞行器经过设定距离之后进行自动俯冲攻击是无人机技术最初应用的象征。二战中，德国V-1导弹是无人机技术发展的重要节点，导弹自动飞行及远程攻击能力是随后无人机研制的基础。冷战期间美、苏先后研制出各种无人侦察机在高风险区域搜集情报。1960年美国“Firebee”无人机执行侦察任务，显示其军事侦察潜力。

进入20世纪80年代以来，以色列将无人机广泛应用于中东冲突的侦察与战术支持之中，促进了现代无人机技术在中东的具体运用。本世纪初尤其是2001年以后阿富汗战争、伊拉克战争期间，美国“捕食者”、“全球鹰”无人机表现出出色的侦察、攻击能力，大大推动了无人机技术在军事行动上的开发与应用。民用无人机市场在2010年以后开始快速发展。亚马逊在2013年宣布打算利用无人机投送快递，这在世界范围内掀起了一股无人机商业应用热潮。中国公司大疆创新于2015年发布的Phantom无人机系列产品以其操作便捷，性能优异，价格合理等优势快速抢占了全球市场并成为消费级无人机领军品牌。

在2016年，美国联邦航空管理局（FAA）针对小型无人机的商业飞行发布了新的规定，这进一步加强了无人机在商务领域的使用标准。2017年全球无人机市场将达60亿美元，未来数年有望继续保持增长。近年来，伴随着人工智能与自动驾驶技术不断发展，无人机自动避障，智能路径规划与精准定位技术进步明显。2020年新冠疫情加快推进无人机在公共安全和医疗物资配送方面的运用，显示出无人机在应急响应方面发挥的巨大作用。未来无人机技术以5G通信，物联网以及大数据分析等技术作为支撑，将会达到更加智能化的程度，给各行业带来更多的革新与改变。

（三）无人机在各领域的应用

无人机被越来越多地运用到各个领域，显示出多功能性与高效性。农业领域中无人机应用于精准农业管理中，利用其携带的多光谱相机与传感器对农作物的生长状况进行实时监控，病虫害防治以及施肥喷洒等工作，从而提高农作物的产量与资源利用效率。在测绘领域中，无人机采用高分辨率相机与LiDAR激光雷达相结合，实现了大面积地形测绘与三维建模，与传统方法相比具有更高的数据精度与更低廉的成本。在影视制作领域中，无人机凭借灵活飞行能力以及独特拍摄角度被广泛运用在电影，广告以及纪录片等拍摄中，并取得了很多传统拍摄设备所达不到的成果。

在公共安全方面，利用无人机进行灾害应急响应与监测，迅速获取灾区影像并为救援行动实时提供数据支撑，提升了应急响应的效率与安全性。物流方面，无人机已经逐渐实现快递投送自动化，尤其对于偏远地区及交通不便地区，利用无人机进行快递投送减少物流时间并降低快递投送成本。在环境监测中，无人机通过携带各种传感器对空气质量、水质以及森林火灾进行实时的监控，从而为环境的保护与管理提供科学的依据。在能源领域中，无人机应用于电力线、石油管道的巡检，可快速确定故障点并定位，缩短停电时间，降低维修成本。

在城市规划与施工时，无人机协助开展建筑施工进度监控与工程质量检查工作，促进项目管理效率的提高。在军事领域里，无人机承担着侦察，监视，情报收集以及打击等任务，已经成为现代战争中必不可少的设备。近年来，伴随着5G通信，人工智能以及大数据等技术的不断发展，无人机已经在智慧城市，智能交通等新领域中得到了日益广泛的运用，无人机技术的持续进步，会给各个产业带来较大的革新与突破。

二、无人机在公路桥梁检测中的关键技术应用

（一）图像识别与处理技术

该技术主要包括无人机捕获图像的预处理、特征提取、目标识别、结果分析这一系列繁杂的环节。预处理阶段对原始图像进行降噪和对对比度增强处理，增强图像质量并为之后特征提取打下良好基础。使用降噪技术，例如高斯滤波或中值滤波，可以高效地消除图像中的噪声，从而使图像变得更为清晰。增强对比度是通过调节图像的灰度分布来实现的，这样可以更好地突显图像的细节，为后续的目标识别提供便利。

特征提取是图像识别和处理技术的一个关键环节，涉及图像的边缘，角点和纹理等关键信息。该过程可能应用边缘检测算法如Sobel算子和Canny算子或特征点提取算法如SIFT和SURF来捕获图像的关键信息。在随后的目标识别步骤中，会利用这些特性进行识别。

目标识别技术是通过提取特定特征，并利用如SVM（支持向量机）或神经网络这样的机器学习方法，对图像中的目标进行精确的鉴别。就公路桥梁检测而言，其中可能会涉及到裂缝，锈蚀以及其他病害自动识别。通过设置适当阈值及参数，例如裂缝宽度阈值，锈蚀面积占比，该系统可对公路桥梁健康状态进行自动评判。

另外，图像识别和处理技术包括进一步分析识别结果，例如计算裂缝长、宽和评价锈蚀严重程度。这些分

析结果可作为公路桥梁维修加固的重要基础。整体来看,图像识别与处理技术对于无人机公路桥梁检测具有决定性的意义,不仅能够提升检测精度与效率,同时也可以对公路桥梁养护管理工作提供强有力的技术支持。

(二) 无人机导航与定位技术

这项技术融合了多个传感器和系统,包括全球定位系统(GPS)、惯性测量单元(IMU)和潜在的地面控制系统,从而确保了无人机在空中能够实现精确的定位和自主导航功能。无人机借助高精度GPS接收器可实时获得自身经度、纬度及高度信息,其精度一般可达米级乃至更高。例如,某些商用无人机能够实现 $\pm 1-2$ 米的定位精度,这主要归功于差分GPS(DGPS)和多频GPS技术的应用。IMU为无人机提供了关键的姿态、角速度和加速度数据,这些数据是通过内置的陀螺仪和加速度计来收集的,其角速度的分辨率可以达到 0.01 度/秒,加速度的分辨率能够达到 $0.001g$,这对于无人机的平稳飞行和准确的定位是非常关键的。

除GPS、IMU外,一些无人机上还安装有光流传感器或者双目摄像头等视觉定位系统,它们能够在低空或者GPS信号较差的情况下进行辅助定位,定位精度也能达到室内环境中厘米级别。同时地面控制系统可利用无线电信号远程控制无人机的飞行,并在需要的情况下可人工操作,确保飞行安全。

为了进一步增强导航的准确性和稳健性,众多的无人机都采纳了尖端的控制技术,例如卡尔曼滤波或扩展卡尔曼滤波,这有助于整合多传感器的数据,进而降低误差并提升定位的准确性。这些算法可以实时地对无人机进行状态估计与调整,保证无人机在复杂环境中平稳飞行。

总的来说,无人机的导航和定位技术构成了一个高度整合的系统,它融合了众多的传感器、计算方法和控制策略,确保无人机在公路和桥梁的检测任务中能够实现精准的定位和稳定的飞行。这项技术的准确度和稳定性是无人机在多个专业领域,如公路和桥梁检测中应用的核心要素。

(三) 无人机稳定控制技术

无人机稳定控制技术,是保证无人机完成公路桥梁检测及其他任务时能稳定飞行和准确运行的关键技术。该技术集飞行动力学,自动控制原理与先进传感器技术于一体,其目的是通过准确的控制算法来维持无人机运行的稳定性与机动性。

在无人机的稳定控制技术方面,目前应用较多的是

PID(比例-积分-微分)算法。该计算方法是通过持续调节无人机的各种控制参数,例如加速踏板和舵面的偏转角度等,以降低飞行过程中出现的偏差,从而确保无人机能够平稳地飞行。PID控制器中的比例参数(K_p)、积分参数(K_i)以及微分参数(K_d)都经过了精细的调整,目的是确保无人机在各种飞行环境中都能维持一个稳定的飞行姿态。

除此之外,现代无人机还装备了先进的惯性测量单元(IMU)和陀螺仪传感器,这些传感器能够以高达数百赫兹的频率来测量和更新无人机的姿态信息,例如俯仰角、横滚角和偏航角。将上述数据实时传送到飞行控制系统中,并将其与预设飞行轨迹比对,控制系统可迅速计算出所需调整量来维持无人机平稳飞行。

同时针对风等外界干扰,无人机稳定控制技术中也引入风速、风向等传感器,可以对周围环境中的风变化进行实时监控,并且通过控制算法微调无人机飞行状态,保证飞行过程中稳定。在某些高端无人机上,也使用视觉、红外线等传感器作为稳定控制的辅助工具,它们可以识别地面特征或者物体,并利用图像处理算法给出附加定位信息以进一步增强无人机稳定性。

总之,无人机稳定控制技术通过先进传感器技术,准确控制算法和实时处理数据等能力,是一种高度综合技术,本实用新型保证无人机完成公路桥梁检测以及其他任务的稳定性以及精确性。这一技术的持续进步与革新为无人机应用于更多的领域奠定了坚实基础。

(四) 数据传输与存储技术

数据传输与存储技术对无人机公路桥梁检测起着至关重要的作用,这些技术保证了检测时数据的有效传输与安全存储。

在数据传输领域,无人机通常利用无线通信技术,例如Wi-Fi、4G/5G移动通信网络或专用无线电链路,来实现与地面站或其他设备之间的高速数据传输。这些技术可以为数据连接提供稳定性,并保证无人机拍摄的影像等检测数据可以实时传送至地面站供分析处理。数据传输速率是非常关键的,这是因为其对检测效率以及响应速度都有着直接的影响。现代的数据传输技术有能力提供高达数百兆位每秒(Mbps)或更高的数据传输速度,这确保了大量的数据可以被及时地传输,从而为实时的分析和决策提供了强大的支持。

在数据储存领域,无人机搭载了先进的存储工具,例如固态硬盘(SSD)和高速闪存卡,以确保在飞行中数据能够持续且稳定地被记录下来。这些存储设备容量

大,可以储存几小时高清视频及各种传感器数据。同时,它们还具备较高的数据写入速度和良好的耐用性,以适应无人机在复杂环境中的工作需求。为确保数据安全,存储设备也使用数据加密、错误纠正等技术来避免数据被泄漏或者破坏。

总之,数据传输和存储技术对于无人机公路桥梁的检测起到了至关重要的作用。它们在确保检测数据高效传输与安全存储的同时,也为后续数据分析与处理奠定坚实基础。伴随着科技的进步与革新,这些技术将来会越来越成熟、可靠,也会给无人机在公路、桥梁检测及其他方面的运用提供了更加有力的支撑。

三、案例分析

(一) 案例一: 洞庭湖大桥检测

洞庭湖大桥的总长度为10174米,其中主桥的梁长达到5747米,这座桥的规模相当宏伟。传统桥梁检测时,要想做到面面俱到是个难题。但是通过无人机技术可以让检测人员更加有效的完成任务。

测试时测试小组采用配备高清变焦相机无人机进行测试。无人机飞行时根据被探测物体的不同而控制不同安全距离。举例来说,在对桥墩和塔柱进行检测的过程中,无人机通常会维持在1.5至3米的距离范围内;在进行缆索和钢构件等复杂部分的检测时,所需的距离被限制在3~5米之间。这种距离设置不仅能保证检测精度而且能保证飞行安全。

利用无人机采集到的高清图像可以使检测人员清楚的辨别桥梁各部分有无破损或者老化现象。相较于传统桥梁检测方式,无人机检测在提升效率的同时也减少检测人员安全风险。

(二) 案例二: 南京公路桥梁检测

在南京公路桥梁检测工作中无人机技术也起着不可忽视的作用。南京公路处管有1000多座桥梁采用无人机定时巡检方式,极大提高检测效率。

探测时无人机上携带的传感器种类较多,主要有高清摄像头和红外传感器。这些传感器可以捕捉桥梁细微的变化,例如裂缝和锈蚀。检测人员利用无人机快速飞行、高效数据采集等技术,在较短的时间内完成对数量众多桥梁的整体检测。

据统计,采用无人机探测之后,每座桥探测时间由最初的几个小时减少至数十分钟。同时由于无人机可以达到人工很难接触到的范围,检测结果精度明显提高。

(三) 案例三: 宜宾岷江特大桥检测

四川省宜宾市岷江特大桥探测中无人机技术也显示出特有的优越性。在这次的检测过程中,检测团队选用了“大疆M300RTK”无人机。

无人机配备有灵活旋转的摄像头及高精度导航系统,可实现桥梁各个位置数据采集。飞行时无人机可稳定悬停于指定地点,并对桥梁各部分进行细致拍摄与巡检。

通过无人机收集到的信息,这位技术专家迅速给宜宾岷江特大桥做了详细“体检报告”。报告对该桥现存问题及潜在风险点进行了详细罗列,对后续修复加固提供有力证据。

总之,无人机技术应用于公路桥梁检测已经显示出极大的潜力与实用价值。从实际应用案例分析中可以看出无人机对提高检测效率,减少安全风险和提供精确数据起到了重要的作用。

结束语

总之,利用无人机进行公路桥梁检测已显示出了它特有的优势与潜力。它具有高效,全面,实时等检测能力,在大大提高检测效率和降低检测成本的同时,还能提高检测精度及安全性。借助无人机技术可以对桥梁健康状况有更深入的认识与评价,对可能存在的安全隐患进行及时的发现与化解,进而保障公路桥梁安全运行。

参考文献

- [1]肖羽秀.无人机和机器人的自动化控制初步研究[J].电子科学技术,2016,03(06):769-773.
- [2]张增,王兵,伍小洁,赵恩伟.无人机森林火灾监测中火情检测方法研究[J].遥感信息,2015,30(01):107-110+124.
- [3]彭向阳,刘正军,麦晓明,罗智斌,王柯,谢小伟.无人机电力线路安全巡检系统及关键技术[J].遥感信息,2015,30(01):51-57.
- [4]李杰.浅谈数字智能化在工程施工中的应用[J].建筑机械,2019(03):28-30.
- [5]赵建宏,徐宝坤,王宝鑫,王晓威.基于无人机的交通监控研究现状与展望[J].计算机产品与流通,2017(09):125.
- [6]陈金桥,李佳颖,李慧乐,吴刚.无人机在桥梁检测中的应用初探[J].交通世界,2018(32):103-106.