

基于5G的输变电无人机巡检系统关键技术研究

熊 伟 陈 晨

国网湖北省电力有限公司超高压公司 湖北武汉 430000

摘 要：随着电力系统的复杂性和对设备安全性的要求日益提高，无人机巡检技术在输电和变电领域得到了广泛应用。5G技术的出现为无人机巡检系统提供了新的技术支撑。本文基于5G技术，深入研究了输电和变电无人机巡检系统的关键技术，包括多传感器数据融合与信息获取技术、5G通信技术在巡检系统中的应用、飞行控制与导航技术以及任务规划与自动巡检技术。通过系统的分析和设计，提出了基于5G的输电和变电无人机巡检系统的技术方案，为今后相关技术的发展提供了理论依据和参考。

关键词：5G技术；输变电无人机巡检系统；关键技术；数据融合；通信应用

引言

在电力行业飞速发展的今天，输变电线路规模越来越大，它的安全平稳运行对保证电力供应具有十分重要的意义。传统输变电巡检方式以人工为主，效率低下，劳动强度高，且受环境因素的影响较大，很难适应不断提高的巡检要求。无人机技术的发展，为输变电巡检工作提供了一种新型解决方案。无人机以其机动灵活、效率高、能迅速抵达巡检区域的特点，可以在地形复杂、环境恶劣的情况下完成巡检任务。但是传统无人机巡检系统对于数据传输、通信稳定性和飞行控制精度都存在限制。5G技术是新一代的通信技术，它具有高速率、低时延、大容量以及广泛连接能力的特点。在无人机巡检中结合5G技术，可以有效地解决常规无人机巡检系统中所出现的各种问题，促进输变电巡检智能化水平及效率的提高。因此，对基于5G的输变电无人机巡检系统的关键技术进行研究具有一定的实际意义。

一、5G技术与无人机巡检概述

5G技术和无人机巡检相结合是现阶段科技发展取得的一项重要成就，给各个行业巡检工作带来了变革。5G具有高速率、低时延、大容量及广泛连接能力，高速率能使无人机获取的海量高清图像及视频数据实时快速传输，低时延可以保证控制指令在合适的时间传递到无人机上，达到精准控制的目的，大容量、广泛的连接能力满足了大范围巡检作业的要求。无人机巡检自身优势显著，对于输变电领域而言，其能够快速抵达巡检位置，且不受地形及交通条件的制约，同时能够对输变电线路及设备进行高空全方位的拍摄与监控，规避了人工巡检

所带来的安全隐患。对能源设施进行检查时，能够沿着石油管道和风力发电机进行飞行并拍摄高清影像，对存在的隐患进行分析；在建筑和基础设施检测中，可以对建筑表面的问题进行近距离的摄影。伴随着二者的融合，5G和物联网的融合使得无人机能够对高清影像及数据进行实时传输，并对设备的状态进行远程监控及预警；人工智能的深度应用使得无人机能够独立地识别更多的缺陷，例如在电力巡检过程中，AI能够自动分类绝缘子的破损等级。展望未来，随着电池续航、AI技术以及5G技术的持续进步，无人机的智能巡检自动化和智能化程度预计会有更大的提升。

二、基于5G的输变电无人机巡检系统架构

1. 系统总体架构设计

系统总体架构设计是软件开发或系统建设的核心，需综合考虑功能、模块、接口、数据等要素，以实现系统的功能、质量和可扩展性目标。架构风格多样，不同场景适配不同架构，如单体架构适用于小型应用、快速原型开发；微服务架构用于大型复杂系统，支持高并发、灵活扩展；分层架构按功能划分层级，强调逻辑分离和复用；事件驱动架构基于事件发布-订阅模式，实现模块间松耦合通信；前后端分离架构利于多终端适配和复杂前端交互。设计时，要进行数据架构设计，选择数据库类型、规划存储，考虑数据一致性和备份策略；还要做好技术选型与基础设施规划，确定开发语言、框架、中间件，规划硬件与部署环境。同时，需关注非功能性需求，如性能优化、安全防护、可靠性保障和可扩展性设计，以确保系统稳定运行和持续演进。

2. 多层次功能及组成

2.1 无人机端

无人机端主要由无人机系统、搭载的传感器和5G通信模组组成。无人机系统是执行巡检任务的载体，根据不同的巡检需求，可以选择不同类型的无人机，如垂直起降固定翼无人机等。传感器是信息采集的关键设备，包括视频监控设备、5G模组、北斗卫星模组等，用于采集输电线路和设备的图像、视频、位置等信息。5G通信模组则负责将采集的数据通过5G网络传输到指挥中心端。

2.2 5G通信网络

5G通信网络由通信运营商搭建，覆盖巡检涉及的主要监管区域。它为无人机提供高速、稳定的数据传输通道，满足无人机联网控制和监测数据回传的需求。同时，5G通信网络还可以与北斗卫星网络兼容，为无人机提供更精准的定位和导航服务。

2.3 指挥中心端

指挥中心端的无人机监管模块属于集中监管部分，具备设备管理、用户管理、飞手管理、资源调度、空域管理、程控管理、航线设计、数据管理和存储、GIS服务等基础业务能力。它可以提供巡检飞行任务编排、自主巡检飞行、数据采集与分析、报告自动生成、巡检故障告警、侦测反制等定制化服务，覆盖飞行前准备、飞行中监控、飞行后处理的端到端应用场景。

三、基于5G的输变电无人机巡检系统关键技术应用

1. 多传感器数据融合与信息获取技术

多传感器数据融合和信息获取技术对当今信息化社会起到至关重要的作用。信息获取作为整个信息处理过程的开始，它通过各类传感器获取来自周围环境的原始数据，其种类繁多，涉及图像、声音、温度和压力。每一种传感器均具有特定的感知能力与局限性，多传感器协同作用可以获得更加全面的环境信息。获取的原始数据还需经过预处理阶段，如清洗、去噪、标准化等，以提高数据质量和可用性。

多传感器数据融合技术的目的是将不同传感器中的多元信息融合在一起，发掘它们之间的内在联系，去除噪声与误差，为环境或者目标提供一个更加准确和综合的描述。它突出了信息的多源性、多层次性以及处理流程的复杂性，主要表现在对数据进行探测、关联、估计和融合等方面，其目的是产生高层次的、连贯的说明或描述。这一技术实现了不同信息层次的集成，主要有数据层集成、特征层集成和决策层集成等。在这其中，数据级的数据融合是基于传感器收集的信息，它依赖于传

感器的种类来进行相似的数据融合，但它不能处理来自不同来源的数据。

信息融合的方法有组合与综合的层次。组合就是把多个传感器并联或者互补地整合到一起，从硬件的水平上得到多组数据输出；综合意味着在信息的优化处理过程中，利用特定的算法和策略来分析和整合收集到的数据，从而生成更具价值的信息。通过多传感器数据融合系统的协同操作，我们可以增强目标的探测、追踪、识别和预测能力，从而提高系统的生存能力和效能，这在军事、环境监测、交通管理等多个领域都有广泛的应用。

2. 5G通信技术在巡检系统中的应用

5G通信技术应用于巡检系统，给各个行业都带来明显的变化。它的高速度特性使得智能巡检系统能够将高清图片、视频等海量数据实时发送出去，保证监控中心对现场状况的精准把握。在电力行业中，无人机依托5G网络可以对采集到的输电线路高清视频进行瞬间回传，员工不需要亲临现场便可以对设施运行状况进行充分掌握，为了确保电力设施和工作人员的安全，需要及时识别并预警可能出现的覆冰、异物或外部破坏等异常情况，实施智能化的运维策略，从而提高巡检的准确性和响应速度，减少运维人员的工作负担。

5G超大的连接特性使得智能巡检系统可以连接更多的设备及传感器进行全面监控及数据分析。石油石化行业中的智能巡检系统是借助于5G接入的大量智能传感器来实现管道、储油设施的实时状态监测与报警，从而有效地预防事故的发生。智能城市地下管网巡检时，5G允许巡检机器人、无人机、传感器和其他终端设备对4K/8K高清视频和毫米波雷达的数据进行实时返回，通过融合边缘计算技术和人工智能算法，我们能够智能地识别管网中的裂缝、腐蚀和泄漏等缺陷，其识别的准确率高达95%或更高。

低时延同样是5G一个至关重要的优点。在对变电站进行巡检的过程中，增强现实（AR）与5G传输的设备状态数据相结合，可以迅速地定位到故障，从而将故障的定位时间从原先的45分钟显著减少到8分钟。5G通信技术以其高速度、大连接和低时延的特点给巡检系统带来了广阔的运用空间，促使各个行业的巡检朝着智能化和高效化的方向不断迈进。

3. 无人机飞行控制与导航技术

无人机飞行控制和导航技术，是确保无人机稳定飞行和精准作业最核心的支持。该飞行控制系统由集成陀螺仪、加速度计和气压计的传感器对姿态、速度和高度

进行实时数据采集,并通过飞行控制器中内置PID进行控制,经过模糊控制或者神经网络算法的处理,由驱动电机、舵机和其他执行机构对无人机的姿态进行调节,从而达到定高悬停、航点跟踪和自动返航的目的。以大疆 Inspire 2 无人机为例,该无人机通过多余余传感器的布置方式,使得其在复杂的气流条件下依然能够维持厘米级的定位精度;军事侦查无人机依赖于具有高度抗干扰能力的光纤陀螺仪,以确保在受到电磁干扰的环境中能够稳定地飞行。导航系统整合了卫星定位、惯性导航和视觉导航技术,GPS/北斗提供全局位置参考,而惯性测量单元则通过积分运算来补偿卫星信号遮挡时的误差,视觉传感器通过SLAM算法建立局部地图来实现室内和室外的无缝导航。例如,农业植保无人机在山地作业中采用RTK差分定位和激光雷达避障相结合的方式,不仅可以准确喷洒农药,还可以避开电线和树木上的障碍物。随技术的不断进步,多传感器的整合逐渐成为主导,结合惯性导航和视觉导航技术,无人机在GPS拒止环境中的定位误差已经减少到0.1米之内;卡尔曼滤波算法对多源数据的融合进一步提高了导航的鲁棒性。在未来的飞行控制中,人工智能技术会被深度融合,无人机可以自主地感知周围环境的变化,动态地规划航线,甚至可以借助群体智能来进行编队协同,针对物流配送、灾害救援等情景,提供更为有效的解决方案。

4. 任务规划与自动巡检技术

任务规划和自动巡检技术作为现代工业和城市管理向智能化方向发展的核心依托,将人工智能、物联网和数字孪生前沿技术结合在一起,建立了涵盖全场景的立体化巡检系统。在轨道交通中,无人机携带AI视觉识别系统能够独立规划最优航线并毫米级探测潜在的隧道裂缝和轨道变形,单一的无人机能够在一次飞行中覆盖长达15公里的区域,与传统的人工方式相比,其效率提高了超过4倍;该系统与数字孪生技术相结合,可对物理设施三维模型进行实时绘制,并通过模拟列车荷载和环境变化情况对轨道疲劳寿命进行预测,实现维护模式由“故障修”向“预防修”的转变。在能源行业,智能巡检机器人通过激光雷达与视觉融合感知,在变电站、油气管道等场景实现自主导航与缺陷识别,其异物检测准确率达98%,配合5G+边缘计算架构,钢轨裂纹识别延迟低于50毫秒,支撑起“空天地一体”的立体巡检网络。在城市治理方面,基于北斗导航和智能调度算法的无人机物流配送系统能够在30分钟之内完成高价值货物的跨城运输,同时其智能电量管理系统能够对电池状态

进行实时监控,保障了飞行安全;但在应急救援场景中,无人机平台融合红外热成像、多光谱传感器及其他负载,结合抗电磁干扰系统和IP67级防护,能够在大雨中、地震等灾害发生时迅速建立通信链路以支持救援决策的实时数据。这些技术上的突破不仅解决了传统巡检中的低效率、多盲区、主观性强等问题,而且通过数据驱动的预测性维护,推动了运维模式从“被动响应”转变为“主动干预”,为工业4.0和智慧城市建设注入了核心动力。

结论

以5G为核心的输变电无人机巡检系统以其诸多优点给输变电巡检工作带来了变革。多传感器数据融合和信息获取技术使无人机能够对数据进行有效的获取和准确的处理,增强故障诊断的精度;5G通信技术高速率、低时延及超大连接特性实现巡检数据实时传输及精准控制,保证系统高效工作;无人机飞行控制及导航技术采用多系统融合的方式来提高导航的精度及可靠性,保证无人机能够在复杂的环境中平稳飞行;通过任务规划和自动巡检技术,实现了巡检任务的合理分配和自动化执行,从而提升了巡检的效率。然而,这一系统还面临着5G网络覆盖不完善和无人机续航能力受限的挑战。在今后的发展过程中,需要对系统架构及关键技术进行持续优化,并强化与人工智能及大数据的结合,以进一步提高系统的性能和可靠性,促进输变电巡检朝着智能化方向发展。随着自动化技术的持续进步,智能电网的建设和运营得到了坚固的支撑。

参考文献

- [1]张辰宇,张雪梅,任文华,等.基于5G通信技术的煤矿作业场所智能巡检系统设计[J].电子设计工程,2025(15).
- [2]王峰,杨利波,杨嘉妮,等.基于5G与北斗的输电线路无人机车载智能移动巡检系统设计[J].中国测试,2023,49(12):87-93.
- [3]易大江,甘鸿.基于5G+AR现实增强技术的牵引变电所智能巡检系统研究与应用[J].铁路工程技术与经济,2023,38(2):31-34.
- [4]李宝鑫.5G无人机自动识别技术在输电线路巡检中的应用[A1]研究[J].2025.
- [5]赵明星,李国明,刘思远,等.基于5G技术的输变电设备智能巡检应用[C]//吉林省电机工程学会2023年学术年会.国网延边供电公司,2023.