

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.001

新时代无人机电力巡检技术展望

刘智勇¹, 赵晓丹², 祁宏昌¹, 李艳飞¹

(1. 中国南方电网有限责任公司广州供电局有限公司, 广州 510000; 2. 广东省科学院广州地理研究所, 广州 510070)

摘要: [目的] 人工智能、云计算、大数据、物联网、移动互联网等新一代信息技术正逐渐成为智能电网的强大引擎, 同时极大推动无人机技术的创新和发展。结合电力巡检现状, 从技术发展趋势和行业应用需求出发, 展望未来无人机电力巡检的发展, 以期大数据与人工智能时代的无人机技术与电力巡检的深度融合提供理论和方法参考。[方法] 在行业应用调研的基础上, 面向无人机电力巡检的全业务流程, 阐述了新一代信息技术在无人机电力巡检中的应用, 展望了电力巡检的智能化趋势。[结果] 研究表明: (1) 飞行平台智能化, 无人机与5G通讯紧密结合, 逐步实现5G网络无人机由网联化、实时化向智能化发展; (2) 巡检智能化, 攻克无人机智能控制等系列技术瓶颈, 研发部署网络化“固定/移动”无人机智慧机场, 实现全天候、无人自主智能化巡检; (3) 数据分析智能化, 引入人工智能技术, 不断优化模型, 实现巡检数据快速、准确的智能化分析; (4) 物联网、大数据、云计算深度融合, 实现多维数据全融合, 状态监测全覆盖, 数据流和业务流的集成耦合, 实现设备状态评价及趋势预测智能化。(5) 综合应用新一代信息技术的优势, 构建无人机电力巡检智能化运维体系和智能化管控平台, 有效提升精益化管理水平, 开创电力巡检新局面。[结论] 未来“云”、“大”、“物”、“智”、“移”等新一代信息技术的快速发展将推动无人机遥感技术跨越式发展, 同时也驱动电力行业迈入一个全新的智能化时代。

关键词: 无人机; 人工智能; 5G通讯; 物联网; 电力巡检

中图分类号: TM7; V279

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)04-0001-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Prospect of UAV Power Inspection Technology in New Era

LIU Zhiyong¹, ZHAO Xiaodan¹, QI Hongchang¹, LI Yanfei¹

(1. China Southern Power Grid Guangzhou Power Supply Bureau Co., Ltd, Guangzhou 510000, China;

2. Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China)

Abstract: [Introduction] New generation information technologies such as artificial intelligence, cloud computing, big data, Internet of Things (IoT), and mobile Internet are gradually becoming powerful engines for smart grids, and at the same time have greatly promoted the innovation and development of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology. This paper combines the current situation of power inspection, starting from the technical development trend and industry application needs, and looks forward to the future development of UAV power inspection, in order to provide a theory and method reference for the in-depth integration of UAV technology and power inspection in the era of big data and artificial intelligence. [Method] This paper aimed at the full-service process of UAV power inspection, expounded the application of new generation information technology in UAV power inspection, and forecasted the intelligent trend of power inspection. [Result] (1) Intelligent flight platform; the drone is closely integrated with 5G communication, gradually leading the 5G network UAV from network integration, real-time era to intelligent era; (2) Intelligent patrol; the UAV intelligent control and other series of technologies bottleneck will be overcome, networked “fixed/mobile” drone intelligent airport are developed, and UAV power inspection will be all-weather, unmanned and intelligent; (3) Intelligent data analysis, introduction of artificial intelligence technology and continuous optimization of models will greatly improve fast and accurate inspection data intelligent analysis; (4) Integration of IoT, big data, cloud computing will improve the multi-dimensional data integration, state monitoring full coverage, data stream and business flow integration coupling, and achieve intelligent equipment state evaluation and prediction; (5) Comprehensive application of the new generation of information technology; the construction of intelligent operation and maintenance system, and intelligent control platform for drone power inspection, will effectively improve management, and create a new situation of power inspection. [Conclusion] The rapid development of the new generation of information technology in the future will promote the development of remote sensing technology for drones, and also drive the power industry into a new era of intelligence.

Key words: unmanned aerial vehicle (UAV); artificial intelligence (AI); 5G communication; internet of things (IoT); power inspection

收稿日期: 2019-06-12 修回日期: 2019-09-11

基金项目: 中国南方电网有限责任公司广州供电局有限公司重点科技项目(080000KK52190001); 广东省科技计划项目(2017B010117008); 广州市科技计划项目(201806010106); 广东省科学院实施创新驱动发展能力建设专项(2016GDASRC-0211, 2018GDASCX-0403)

“十三五”期间,我国电网基础设施建设实现了高速发展,预计2020年输电线路总里程将达到159万km以上,并且将保持每年约5%的持续增长^[1],这对电网的巡检、维护与保养提出了更高的要求。随着机巡业务的不断推进和发展,无人机作为输电线路巡视的重要手段之一,已开展常态化作业,国家电网公司和南方电网公司相关部门都在不断深化无人机班组建设,完善各类保障支撑体系,逐步形成“机巡检为主,人巡为辅”输电线路巡检新模式^[2-4]。然而,不断增加的输电设备数量与运维人员不足之间的矛盾日益突出,输电线路巡检队伍面临总量缺员和结构性缺员并存的严峻局面。无人机巡检智能化程度不高,应用水平难以支撑输电巡检发展要求。

作为当今时代的主要特征,席卷全球的信息技术革命正在向集成化、泛在化、智能化方向演进,成为社会变革的主要推动力。在这一过程中,云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能等诸多新思想、新概念、新方法、新技术纷涌而出,新一代信息技术正逐渐成为智能电网的强大引擎,同时极大推动了无人机技术的创新和发展。

新一代信息技术与无人机的深度融合,势必将持续优化和重构无人机电力巡检技术体系与框架,推动无人机电力巡检进入智能化的新阶段,以“大云物移”现代信息技术为支撑的智能运检理念应运而生。本文结合无人机电网巡检技术的应用现状,从技术发展趋势和行业应用需求出发,畅想未来发展方向,为行业提供参考。

1 5G 网联无人机引领电力巡检新时代

移动通信技术是提升无人机视频实时传输、飞行状态监控、高精度定位和远程操控的关键。5G作为新一代移动通信技术,其在带宽、时延、连接密度、网络性能等方面的跃升,将为无人机电力行业应用带来革命性转变。在可预见的将来,无人机与5G通信技术的紧密结合,将引领以“网联无人机”为核心的电力巡检新时代。

5G 网联无人机终端和地面控制终端均通过5G网络进行数据传输和控制指令传输,并通过业务服务器加载各类场景的应用^[5]。未来5G 网联无人机系统组成如图1所示。

5G 通讯技术具有覆盖面积广、时延性低、超



图1 5G 网联无人机平台组成

Fig. 1 5G network connected drone platform

高带宽、大连接等特性,可满足无人机自动驾驶的需求和避障技术的升级,将赋予网联无人机实时超高清图传、状态监控、超远程低时延控制、通讯信号长期稳定在线、高精度定位、安全网络、自主避障及集群控制等重要功能,与网络切片、边缘计算能力结合,将加速无人机行业应用的创新和发展。同时,随着人工智能、边缘计算等技术的日趋成熟,其与5G技术的深入结合,将推动网联无人机在电力巡检中的应用由网联化向实时化发展,并在不久的将来实现向无人智能化巡检的跨越。

网联化阶段:即将无人机联入低空蜂窝移动通信网络,实现无人机互联互通、超视距控制、多机协同飞行、数据准实时回传等。目前,网联化技术已经在4G网络中实现了部分功能,但受制于4G网络在带宽、时延、干扰协同等方面的限制,要满足无人机电力巡检高速率、实时化的需求,与5G通讯技术的结合势在必行。

实时化阶段:即实现无人机、地面站、调度管理系统之间的实时联通,实现无人机状态的实时监控、实时定位、远程调度与控制。基于5G基站大规模的天线阵列及单站或者多站协同定位的方式,有效提高无人机的定位精度,保障超视距无人机作业安全;借助5G网络大带宽传输能力、端到端毫秒级时延及高可靠性传输等特性,打破现有无人机点对点通讯技术,数传和图传的距离瓶颈,可实时回传现场拍摄高清图像/视频,远程共享无人机拍摄场景,全面掌控作业现场状况;超远程低时延控制无人机飞行路线,开展集群协同作业,实现地面站与管理中心进行内外场协同作业,打通巡检现场和作业后方管理人员的信息壁垒。同时,支持超高移动速率下灵活和高效的5G网络技术,结合场景对双连接、协同多点传输等技术增强支持终端高移动性,保持巡检业务的持续性和较高的系统性能。

2 人工智能加速电力巡检创新发展

新一轮科技革命和产业变革正在萌发, 大数据的形成、理论算法的革新、计算能力的提升及网络设施的演进驱动人工智能发展进入新阶段, 智能化成为技术和产业发展的重要方向。2017年7月, 国务院发布《新一代人工智能发展规划》, 12月14日, 工业和信息化部印发《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018-2020年)》, 将人工智能上升到国家战略高度。网联无人机与新一代人工智能技术的深度融合, 推动无人机电力巡检进入智能化的新阶段。

无人机电网巡检技术的发展目前已经越过了人工操作阶段, 进入了自动化巡检阶段, 实现了基于手动示教/三维航线规划等预编程方式的无人机自动驾驶, 以及电力设备部分典型缺陷隐患辅助分析。随着人工智能的不断发展, 将驱动无人机电力巡检向由自动化向智能化跨越式发展。一方面, 推动电力巡检设备的智能化和作业自主化, 另一方面, 有效提升机巡大数据智能化处理水平, 开创无人机电力巡检新局面。

2.1 推动电力巡检设备的智能化和作业自主化

随着人工智能、5G通讯、大数据等信息技术及传感器技术等的不断发展和深度融合应用, 将攻克无人机自主巡检一系列关键技术, 全面突破复杂场景实时感知与避障、实时目标智能识别与跟踪、智能路径规划、智能飞行控制与自主决策、动态精准定位、环境自适应拍摄、多机多任务协同控制、协同语义交互等一系列制约无人机应用的技术瓶颈。通过无人机系统在线环境感知和信息处理, 全方位感知作业环境并规避障碍物, 实时智能避障和自主航线规划, 按照巡检任务要求, 自主决策并生成优化的巡检路线和控制策略, 实现开放、动态、复杂输变电工况环境下无人机电力巡检的智能化和多机协同巡检的智能化, 智能、安全、高效的开展电力巡检, 大幅提升电力巡检的智能化程度, 巡检效率和质量, 以及供电可靠性, 有效解决结构性缺陷等问题^[6-7]。并不断深化和扩展无人机电力行业应用, 探索开展智能化无人机异物清除、带电水冲洗等带电作业, 基于无人机的复合绝缘子憎水性检测等监测作业, 逐步推动无人机检测、检修智能化。

同时, 通过研制一体化无人机智慧机场, 攻克基于“固定平台”和“移动平台”的无人机自主巡检技术, 突破现有无人机续航能力限制, 形成无人机持续作业能力。无人机智慧机场是保障无人机持续自主运行的基础设施, 为无人机提供起降场地、存放、充电、数据传输等条件。无人机智慧机库可为无人机创造全天候恒温湿的存放空间, 具有精准降落引导系统、抓取机构和自主充电/自动电池更换系统, 保障无人机的续航能力^[8]。具有独立的环境监测系统自动判断试飞条件, 可支持太阳能供电、外接电源等多种供电模式, 同时, 可兼容多种无人机机型。通过部署网络化固定/移动无人机智慧机场, 可实现全天候、全天时、全自主多机协同智能巡检, 大大提高巡检效率。

2.2 提升机巡大数据智能化分析水平

目前, 巡检数据智能化处理程度低、与业务数据耦合度不高, 无法支撑基于数据流驱动的无人机为主的协同智能巡检模式。

随着机巡业务的不断扩大, 机巡设备的不断增加, 输电线路机巡数据的处理与分析应用必将进入“大数据”时代。当前, 无人机巡检数据量呈现指数增长的趋势, 为人工智能技术提供了海量学习样本。通过统一、完善影像标注规则, 利用人工智能深度图像识别技术, 构建并迭代缺陷识别算法, 实现电力设备缺陷隐患的快速智能化、标准化分析, 并自动生成缺陷隐患报告。同时, 探索研究基于AI的机载前端缺陷智能识别技术, 结合线路实物ID信息识别等交互式现场作业技术, 在巡检过程中可对缺陷及隐患进行实时智能诊断和识别, 提高缺陷识别的时效性。通过人工智能技术的引入, 全面提升巡检数据处理效率和智能化水平, 有效分析和掌握输电线路缺陷及外部安全隐患, 及时掌控线路设备运行状态, 保障隐患消缺及时, 提高线路运行的稳定性、安全性, 节省人力资源, 降低巡检成本。

3 物联网、大数据和云计算推动全域物联和态势感知

物联网是一种涉及信息技术多方领域的新兴科技, 成为全球进入信息化时代的标志之一, 被称为继计算机、互联网之后的第三次电子信息技术浪潮。物联网已成为智能电网建设与运行的重要组成部分, 也是。随着国家电网和南方电网全面部署泛

在电力物联网,电力系统正步入全新的物联网电力系统时代^[8]。云计算技术,作为一种新兴的计算模式,可以通过虚拟化、海量分布式数据存储、并行编程模型等技术,可以有效地解决海量数据的存储和大数据的并行计算问题,是支撑智能技术在电力生产领域应用的基础^[9]。引入大数据分析技术,可针对海量的生产运维数据进行深入挖掘,开展态势感知和全局分析,对电力生产运维管理与决策有非常重要的指导意义。这些新兴信息技术,正深刻改变这当前的电力运维方式。

利用物联网技术,协同多种监测手段,打破数据共享壁垒,构建全方位智能感知监测体系,实现在线监测系统、无人机平台、地面无人巡检平台,卫星遥感平台,以及气象、地质、水文等环境监测等海量多维数据全融合,状态监测全覆盖,实现电网的全域物联,数据流和业务流的深度融合,设备全生命周期数据的完整获取,全工况运行参数的感知测量,全场景影响要素的信息交换,为电网设备的精益化管控提供数据基础。

基于电网全域物联数据,及时全面掌控线路运维状态,利用大数据、云计算技术,采用系统性全局性分析手段,构建设备状态评价和趋势预测模型,对海量生产运维数据进行深入挖掘和多维度分析,开展态势感知,实现设备状态的实时全面评估评价,事前故障及安全风险预测预警、事中实时监测、事后全面分析的闭环管理,全面提高输电线路状态诊断能力,提高设备状态评价及趋势预测预测的智能化水平。同时,基于态势感知结果,针对线路、杆塔等不同电力设备的健康状况,制定科学的差异化巡检策略,辅助无人机的差异化巡检,降低运维成本,提高巡检效率,促进电网运维管理智能化升级。

4 全局一体化智能管控平台提升精益化管理水平

现阶段各地区无人机作业水平和管理水平参差不齐,设备精益化管理要求与业务发展水平不匹配。巡检作业无人机的有效监管,巡检设备存在依靠表单化的设备信息管理。巡检数据存储和管理分散,缺乏有效的整合与共享手段,内外业脱节,尚未形成统一应用和闭环管理,造成巡检数据无法开展多维度分析和综合应用,不能为输电线路运维部

门提供更为准确的决策依据^[10-11]。

利用人工智能、大数据、物联网、移动互联等技术优势,构建全网一体化无人机智能管控平台,推进业务规范化、管控信息化、作业智能化、管理精益化^[12]。管控平台作为输电运检管理的数据中心和智能化生产监控指挥中心,集成整合电力巡检、在线监测、电网资源数据及设备和人员等信息,设备运行状态、气象/微气象数据等多源运维数据,实现海量巡检数据深度融合和全网共享,利用全局化分析手段,对输电线路运行状态进行多维度智能分析、精准定位,清晰完整展示输电设备运行状态、巡视情况、消缺情况、周期执行情况等,为输电运检集约化指挥提供全面、实时、精确的决策依据。具有强大的可视化功能,实现机巡和人巡实时监控、记录回放、电网资源、巡检成果二维/三维可视化展示等功能;对无人机智能巡检设备以及巡检人员进行智能化立体协同管控,建立“人巡+机巡”的全业务流程的综合集中管控能力,实现运检全局可视可控,巡视采集、数据处理、成果管理、消缺管理各环节高效衔接,有效提高运检效率。实现运检工作内外业、前后端数据的互联互通,形成完整的输电运检工作闭环,全面规范无人机巡检作业,保障作业安全可控,安全、高效、务实地推进智能输电运维工作,提高运检工作效率和精益化管理水平,使输电运检由原来的粗放型管理模式到信息化精细化转变,实现生产指挥及决策的高度智能化和集约化。

5 结论

智能电网是电力行业发展的必然趋势,随着人工智能、物联网、大数据、云计算、移动通讯等新一代技术信息的不断迭代演进、融合创新,将为电力行业智能化发展提供强大驱动,重塑电力巡检新的产业时代。

本文面向无人机电力巡检全业务流程,从飞行平台智能化、巡检智能化、数据分析智能化、数据应用智能化等方面,阐述了新一代信息技术在无人机电力巡检中的应用,展望了电力巡检的智能化趋势。

未来将攻克一系列无人机智能巡检相关技术瓶颈,通过部署网络化移动/固定机巢,利用5G网联无人机,超远程低时延控制无人机或多机协同开展

全天候、全自主、无人智能化巡检,并同步开展缺陷的智能分析。并通过全局一体化管控平台,实现无人机的集中管控、数据的统一管理、深度挖掘、智能分析和综合应用,对输电线路运行状态开展多维度智能分析和预警。同时,推进业务规范化、管控信息化、作业智能化、管理精益化。改变传统的运维方式,提高作业安全、巡检效率和作业质量,持续提升输电智能化运检水平和输电专业精益化管理水平,开创输电运检新局面。

参考文献:

- [1] 涂洁,冯智慧,梁文勇,等.小型无人机在电力线路巡检中的应用分析[J].电气时代,2016(11):75-77.
TU J, FENG Z H, LIANG W Y, et al. Application analysis of small unmanned aerial vehicles in power line patrol inspection [J]. Electrical Age, 2016(11): 75-77.
- [2] 陈天添.无人机巡检输电线路技术的应用分析[J].科技与创新,2016,52(4):160-161.
CHEN T T. Application analysis of UAV inspection transmission line technology [J]. Science and Technology & Innovation, 2016, 52(4): 160-161.
- [3] 韦舒天,李龙,岳灵平,等.输电通道人机协同巡检方式的探索[J].浙江电力,2016,35(3):10-13.
WEI S T, LI L, YUE L P, et al. Research on human-UAV collaborative patrol mode of power transmission corridor [J]. Zhejiang Electric Power, 2016, 35(3): 10-13.
- [4] 陶承志,黄禹铭,李宇程,等.无人机在输电线路巡检中的应用[J].中国科技信息,2016(16):36-37.
TAO C Z, HUANG Y M, LI Y C, et al. Application of unmanned aerial vehicles in transmission line inspection [J]. China Science and Technology Information, 2016(16): 36-37.
- [5] 童伟.5G新空口技术在网联无人机的应用研究[J].通信电源技术,2019,36(4):212-213.
TONG W. Research on application scene of 5G new air interface technology in networked UAV [J]. Telecom Power Technology, 2019, 36(4): 212-213.
- [6] 樊邦奎,张瑞雨.无人机系统与人工智能[J].武汉大学学报(信息科学版),2017,42(11):1523-1529.
FAN B K, ZHANG R Y. UAV system and artificial intelligence [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2017, 42(11): 1523-1529.
- [7] 樊邦奎.樊邦奎院士:六大方向,知悉无人机的未来[J].机器人产业,2017(1):59-64.
FAN B K. Academician Fan Bangkui: Six directions, knowing the future of drones [J]. Robot Industry, 2017(1): 59-64.
- [8] 胡智敏,李凯,汤国锋,等.一种输电线路无人机“巢-巢”巡检新模式[J].江西电力,2018,42(12):13-15+25.
HU Z M, LI K, TANG G F, et al. A new mode of "nest-nest" inspection of UAVs for transmission lines [J]. Jiangxi Electric Power, 2018, 42(12): 13-15 +25.
- [9] 王坤.5G时代物联网技术在电力系统中的应用[J].通信电源技术,2018,35(5):187-188.
WANG K. The Application of the internet of things in the 5G Era in the power system [J]. Telecom Power Technology, 2018, 35(5): 187-188.
- [10] 宋亚奇.云平台下电力设备监测大数据存储优化与并行处理技术研究[D].华北电力大学(北京),2016.
SONG Y Q. Research on storage optimization and parallel processing of power equipment monitoring big data based on cloud platform [D]. School of Electrical and Electronic Engineering (Beijing), 2016.
- [11] 王越.基于ArcGIS的无人机电力巡检系统设计[D].天津大学,2016.
WANG Y. Design of UAV power line inspection system based on ArcGIS [D]. Tianjin University, 2016.
- [12] 冯申.无人机电力巡线支撑系统设计[D].天津大学,2016.
FENG S. Design of UAV power line inspection support system [D]. Tianjin University, 2016.

作者简介:



LIU Z Y

刘智勇

1972-,男,湖南衡阳人,广州供电局有限公司高级工程师,主要从事输配电线路设计、电网规划、工程咨询、生产运维、技术管理等相关工作(e-mail) lzyzhzh@163.com。

赵晓丹(通信作者)

1988-,女,河南平顶山人,助理研究员,河南大学地图制图学与地理信息工程硕士,主要从事遥感与地理信息系统、无人机行业应用等研究(e-mail) dan_de@foxmail.com。

祁宏昌

1985-,男,陕西宝鸡人,高级工程师,电气工程硕士研究生,主要从事输电运维管理工作(e-mail) qihong2008@163.com。

李艳飞

1986-,男,内蒙古赤峰人,高级工程师,硕士研究生,主要从事高压与绝缘技术工作(e-mail) liyfnedu@163.com。

(责任编辑 张春文)