

DOI: 10.7667/PSPC180795

基建现场巡检无人机智能感知系统的研究与应用

刘勇¹, 陈海滨¹, 刘方²

(1. 国网邯郸供电公司, 河北 邯郸 056000; 2. 国网洛阳供电公司, 河南 洛阳 471000)

摘要: 为了解决当前基建现场管控工作具有检查项多、内容复杂、参与方多、时间跨度大、问题发生不规律以及基建现场通信条件较差或无通信信号的问题, 构建了基于无人机巡检的智能感知系统。利用无人机充当基建现场巡检智能感知监测系统的“信息采集器”, 与由 3G/4G 通信网络、微波通信网络、激光通信装置组成的“信息传输网络”相结合, 构建基建现场巡检智能感知监测系统, 以达到基建现场远程实时视频、图像、温度、湿度、地理位置采集等一系列功能, 并可定期进行远程安全检查。实验测试结果表明, 该系统能够较好地监测基建的施工过程, 对促进施工规范化、保障施工安全具有重要意义。

关键词: 基建现场巡检; 无人机; 智能感知; 微波通信; 激光通信

Research and application of intelligent perception system for unmanned aerial vehicle inspection at construction site

LIU Yong¹, CHEN Haibin¹, LIU Fang²

(1. State Grid Handan Power Supply Company, Handan 056000, China;

2. State Grid Luoyang Power Supply Company, Luoyang 471000, China)

Abstract: In order to solve the problem that the current infrastructure construction and control work has many inspection items, complex content, many participants, large time span, irregular problems, and poor communication conditions on the infrastructure site or no communication signals, an intelligent sensing system based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) inspection is constructed in this paper. It uses UAV to act as the "information collector" of the intelligent sensing monitoring system of the construction site inspection, and combines the "information transmission network" composed of the 3G/4G communication network, the microwave communication network and the laser communication device to construct the intelligent sensing monitoring system for the inspection of the infrastructure on site. Remote security checks can be performed on a regular basis. The experimental test results show that the system can monitor the construction process of the infrastructure well, which is of great significance to promote the standardization of construction and ensure the safety of construction.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 60673072).

Key words: infrastructure inspection; UAV; intelligent perception; microwave communication; laser communication

0 引言

基建现场管控工作是电网公司基建管理的重点, 其具有检查项多、内容复杂、参与方多、时间跨度大、问题发生不规律等特点, 同时由于基建项目的类型、地区和主管部门不同也会导致项目出现差异化和变更性。针对电网基建工程项目的特殊性,

需要建立一套远程管控方式, 来强化基建项目的现场管控, 以便基建主管部门能及时掌握基建项目现场的安全风险、施工进度、施工人员到位情况等。其次, 基建项目建设现场区域分布广, 部分现场所处位置较为偏僻, 通信条件差或无通信信号, 如通过常规的无线通信方式, 无法及时与主管部门进行沟通交流达到远程管控目的^[1-6]。为此, 本文采用无人机充当基建现场管控的“信息采集器”, 并结合点对点激光通信装置, 解决了因基建项目现场通信条

基金项目: 国家自然科学基金(60673072)

件差或无通信信号时的远程管控问题, 实现基建现场无人机的远程实时视频、图像、温度、湿度、定位信息的多方采集, 以达到基建现场远程智能感知监测与远程管控的目的。

1 智能感知监测系统

智能感知技术根据分析形式的不同, 可以分为基于人体分析的感知技术、基于行为分析的感知技术和基于图像分析的感知技术。本文所开发的基建现场巡检无人机智能感知系统结合多种感知技术, 能够对电网基建现场数据进行全面的透彻感知与特征提取, 为基建现场管控工作提供更多有价值的信息。此外, 通过数据进一步构建现场远程管控体系, 使基建主管部门能够对基建现场进行远程管控。

智能感知监测系统主要分为感知层、传输层和应用层三个层次^[7-10], 如图1所示。感知层主要由无人机上所携带的各种传感设备组成, 其完成包括视频、图像、地理位置、温度、湿度等信息的采集, 该系统的感知层将采集信息转化为可识别的结构化数据。

传输层负责感知监测系统的网络接入、数据传输以及相关的控制管理等工作。其包括无线 3G/4G 通信传输链路、激光通信传输链路、微波通信传输链路等。应用层负责实现信息的处理、远程监测工作以及人机交互功能等。其由智能感知远程监测管控工作平台及移动端应用构成, 包括服务器采集数据监测分析程序以及用户应用软件等。

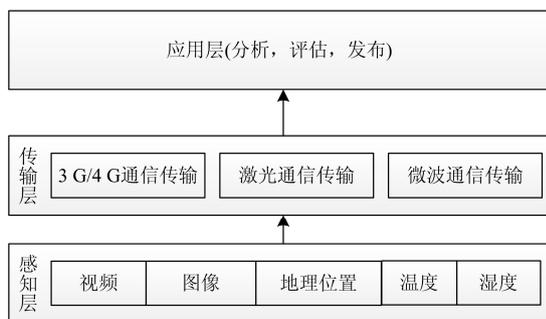


图 1 智能感知监测系统架构

Fig. 1 Architecture of intelligent sensing monitoring system

2 无人机智能感知监测系统设计

无人机具有飞行速度快、不受地域限制等特点, 适合在电力基建现场巡检工作中应用。同时, 其装配有高清数码摄像机、照相机以及 GPS 定位、温度、湿度等传感器, 可沿多个基建项目施工现场组成的特定区域进行巡航, 并实时传回采集到的视频、图像、地理位置、温度、湿度等信息。基建主管部门

工作人员可通过电脑或移动智能终端远程监控基建项目施工现场有无违章情况和安全隐患。同时, 还能够掌握施工进度、施工人员到位情况等。基建现场巡检无人机智能感知监测系统包含三部分内容, 即基建现场无人机巡检监测保障系统、智能感知远程监测管控工作平台、基建现场巡检监测移动端应用程序^[11-15]。

2.1 基建现场无人机巡检监测保障系统

如图 2 所示, 基建现场无人机巡检监测保障系统由飞行器、云台、地面站、传输网络四个部分组成。其能够对基建项目施工现场进行视频、图像、地理位置、温度、湿度等进行采集、编码、存储及上传。

飞行器由无人机机身、动力系统、起落架、飞控系统、定位系统、电源模块、图像发射装置和数据发射接收装置组成。电源模块可以为无人机飞行提供能源保证; 动力系统中螺旋桨可提供无人机升力, 通过改变四个电机的转速, 配合飞控系统中精密算法, 从而控制无人机前后、左右、升降和旋转动作; 定位模块可定位无人机当前位置, 温度、湿度传感器可以准确测量无人机当前环境的温湿度; 数传发射装置会将无人机的位置信息、温度信息、湿度信息和飞行数据信息发送到地面站; 云台中图像采集装置拍摄的视频, 通过飞行器的图像发射装置发送到地面站。

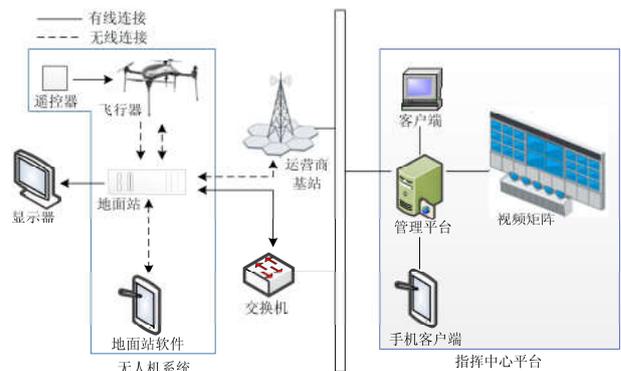


图 2 基建现场无人机巡检监测保障系统构成

Fig. 2 Composition of the on-site unmanned aerial vehicle inspection and monitoring support system

云台由三轴云台、图像采集装置、图像自稳定系统和视频存储模块组成。三轴云台可支持俯仰、横滚和旋转三个维度运动, 配合云台内置的姿态测量传感器和图像自稳定系统, 从而保证飞行过程中图像的稳定性。相机拍摄的视频除了可以实时传回到地面站以外, 还可以保存在相机内置的 SD 卡上, 确保在图传链路中断时的影像记录。

地面站的数据接收装置可以接收飞行器回传的飞行信息, 同时数据发射装置可向无人机发送控制信号。地面站内置的 WIFI 模块可作为热点连接移动设备, 通过移动设备中的地面站软件对飞行器进行操控。图像接收装置接收无人机传回的视频, 视频可以通过视频输出模块实时输出到显示器上进行显示。同时, 网络传输模块将视频及飞行信息实时传回指挥中心。地面站可以内置硬盘或 SD 卡, 对飞行器回传的视频进行录像。地面站既可通过外部电源供电, 也可以使用内置电池供电。

地面站软件可通过地面站实现无人机飞行控制、飞行参数及位置显示等功能。通过地面站软件即可随时掌握无人机的飞行动态信息。

飞行器发射装置利用微波图传和数字跳频传输技术将视频、图像、地理位置、温度、湿度等信息传到地面站, 地面站再通过传输网络将基建施工现场采集信息传输到智能感知远程监测管控工作平台。其传输网络包含无线 3G/4G 通信传输链路、激光通信传输链路以及微波通信传输链路组成。

链路由激光发射器、中继器、激光接收器组成, 其优点是通信容量大、保密性强、结构轻便、设备经济。激光通信链路如图 3 所示。

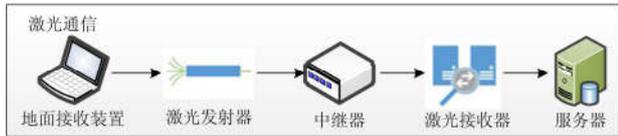


图 3 激光通信链路示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the laser communication link

微波通信链路由微波发射器、微波接收器组成, 其优点是: 通信频段的频带宽、传输信息容量大; 通信稳定、可靠; 天线增益高、方向性强。微波通信链路如图 4 所示。

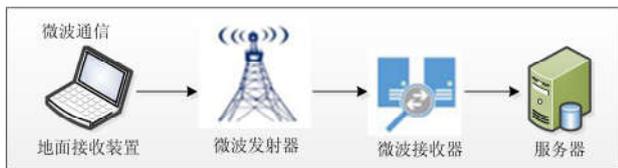


图 4 微波通信链路示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the microwave communication link

无线 3G/4G 通信链路无须其他设备, 由地面站通过无线网络或 3G/4G 移动通信网络直接链接到后端, 但信号受周围环境影响会导致不稳定现象, 传输速度较慢, 且有一定的有效距离。其通信链路如图 5 所示。

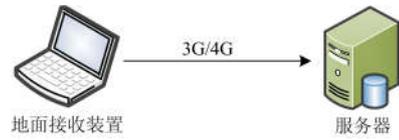


图 5 无线 3G/4G 通信链路示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the wireless 3G/4G communication link

后端通信基站接收到来自前端地面站发送的基建现场采集信息后, 经网络传送到智能感知远程监测管控工作平台服务器, 供基建主管部门工作人员使用。

2.2 智能感知远程监测管控工作平台

智能感知远程监测管控工作平台接收基建项目施工现场上传的视频、图像、地理位置、温度、湿度等采集数据后, 将数据发送至监控中心, 由基建主管部门管理人员进行远程管控。智能感知远程监测管控工作平台分为实时视频监控、图像信息远程采集、无人机定位电子地图展示、航迹规划、关键目标环绕飞行以及周边环境智能感知六大功能模块。

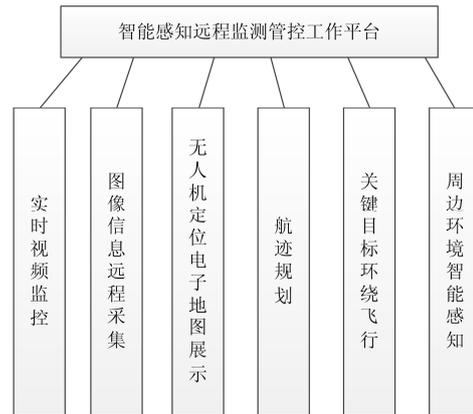


图 6 智能感知远程监测管控工作平台功能设计

Fig. 6 Functional design of intelligent sensing remote monitoring and control work platform

(1) 实时视频监控模块

智能感知远程监测管控工作平台采用 B/S 架构模式, 基建主管部门管理人员通过浏览器或视频监控端便可对无人机进行控制, 查看和接收实时视频信息, 为现场作业情况留底, 从而对工作检查提供依据。

(2) 图像信息远程采集

智能感知远程监测管控工作平台, 通过分析前端基建现场无人机巡检监测保障系统采集上传的图像信息实现检测管控。用无人机对在建工程进行全方位的实时数码照片采集, 由于无人机机动灵活, 能够采集到人工照相方式无法获取的角度图像信

息，并且可以同时多个施工现场进行管控。

(3) 无人机定位电子地图展示

智能感知远程监测管控工作平台将接收到的无人机 GPS 定位信息和电子地图相结合，在电网 GIS 地图上展示。其中，包括无人机飞行轨迹和电网 GIS 地图具体位置施工现场照片、视频信息的展示等。

(4) 航迹规划

智能感知远程监测管控工作平台可以预先添加和编辑航迹点，系统会按照航点的顺序自动生成一条航迹。航点可以在地图上点指，也可通过经纬度坐标设置。通过设置无人机飞抵各航点后的停留时间，可以在航点内对目标物体进行拍摄。航点之间飞行高度可在航点信息内设置，保证无人机在飞行过程中的安全，并实现基建项目施工现场自动巡检远程设置的功能。

(5) 关键目标环绕飞行

在重点基建项目施工现场，基建主管部门管理人员可通过智能感知远程监测管控工作平台，在基建现场巡检无人机智能感知监测系统地面站软件中设置关键点地理位置和无人机飞行环绕半径。无人机可按照设置的环绕半径围绕关键点飞行，镜头始终对准关键点拍摄。该功能可用于重点基建项目大型设备巡检，无人机可快速飞抵目标设备并围绕飞行，从而全方位地拍摄目标各个方向的细节。此外，其还能够协助管理人员掌握重点基建项目的施工进度和措施，以便排除安全隐患。

(6) 周边环境智能感知

智能感知远程监测管控工作平台将接收到的无人机周边环境地理位置、温度、湿度信息进行分析，并与系统中预设温度、湿度阈值进行比较，判断出当前基建现场是否具备施工条件。当温度高于或低于一定温度值不利于现场施工时，则向基建主管部门管理人员发送告警信息。基建主管部门管理人员也可根据系统中温度、湿度历史值，进行天气预测。周边环境智能感知模块能推动基建现场管控工作向“管理型”模式转变，这对于确保施工现场的安全具有重要意义。

2.3 基建现场巡检监测移动端应用

基建现场巡检监测移动端应用程序通过网络连接到智能感知远程监测管控工作平台服务器，接收平台推送的基建项目施工现场视频、图像、地理位置、温度、湿度等采集信息以及告警信息，在移动智能终端进行展示，满足基建主管部门管理人员外

出或出差时对基建现场管控的需求。其主要有以下几个功能：

(1) 实时视频监控

基建现场巡检监测移动端应用采用 C/S 架构模式，基建主管部门管理人员能够通过移动智能客户端，实时掌握施工现场的情况，并对所辖区域的无人机进行选择，查看无人机实时视频信息，实现任意位置的远程基建现场管控。

(2) 无人机定位电子地图展示

基建现场巡检监测移动端应用，将接收到的无人机 GPS 定位信息和飞行轨迹在移动智能客户端电子地图上展示。基建主管部门管理人员点击地图上具体基建现场位置，就能查看施工现场采集照片。该功能方便基建主管部门管理人员对施工现场真实情况做出准确判断。

(3) 周边环境智能感知告警

基建现场巡检监测移动端应用，接收到智能感知远程监测管控工作平台推送的无人机周边环境智能感知告警信息，便可快速进行基建项目施工过程中安全风险的管控，并查看无人机周边环境、温度、湿度、地理位置等实时采集信息。该功能方便基建主管部门管理人员能够及时处理施工现场的潜在安全风险。

3 系统测试

本文将系统应用于某地 220 kV 输变电工程的建设巡检。该输变电工程总长 50 km，平均海拔高达 300 m，最大高度差为 200 m，属于典型的山地地区，植被覆盖较密。该输变电工程覆盖范围广，且地区偏僻，通信信号较差，传统巡检方式无法满足工程管理要求，因而采用本文提出的基建现场巡检无人机智能感知系统。

首先对无人机的航线进行设置，如图 7 所示。在整个输变电工程线路上设置多个监测点，无人机可按照预设的航线对逐步到达预设的监测点进行监测。



图 7 航线布置图

Fig. 7 Route layout

无人机到达预设监测点后，对基建现场进行监

测。工作人员通过无人机传送回来的实时监测画面以及高清图像等监测现场施工状况, 图 8 所示为输变电工程货运索道的架设画面。从图中可以看到索道铺设的位置及完成情况。

此外, 通过无人机传回的高清图像, 可对每一处施工项目的施工进度进行统计, 输出工程进度图。图 9 为一处杆塔建设的施工进度展示。

系统能够监测施工人员的安全状态, 文中在某处工地上方进行模拟监测, 假设中间深色区域为危险区域, 当施工人员在危险区域范围外行走时, 如图 10(a), 则显示安全。而当施工人员进入危险区域或接近危险区域时, 如图 10(b), 则会发出报警, 并圈出处于危险状态的施工人员。对于未佩戴安全帽的人员, 系统同样能够发出警报, 如图 10(c)所示。

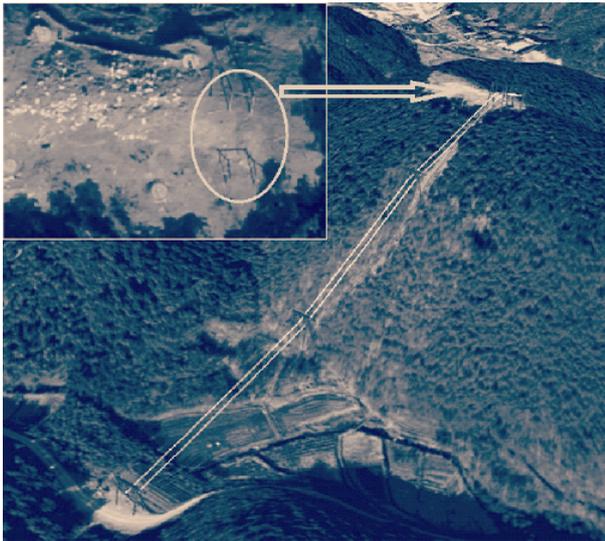


图 8 现场索道架设

Fig. 8 On-site cableway erection

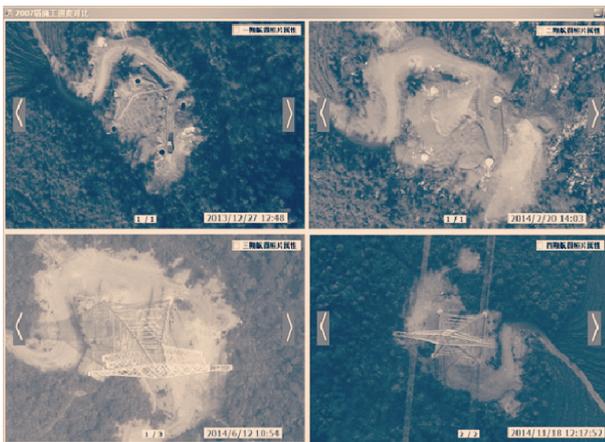
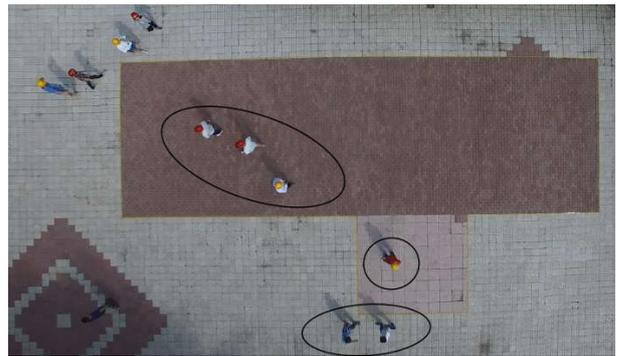


图 9 施工进度展示

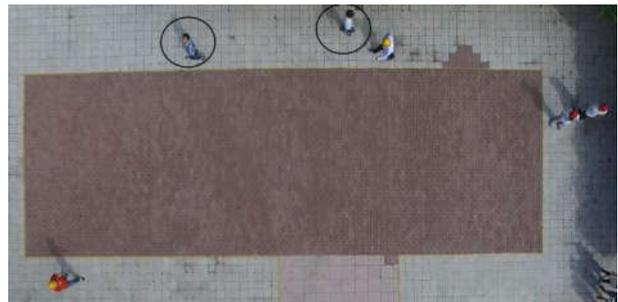
Fig. 9 Construction progress display



(a) 人员安全监测(全部安全)



(b) 人员安全监测(人员进入危险区域)



(c) 人员安全监测(未按要求佩戴安全帽)

图 10 人员安全监测

Fig. 10 Personnel safety monitoring

4 结语

针对当前基建现场管控工作检查项多、内容复杂、参与方多、时间跨度大、问题发生不规律以及基建现场通讯条件差的现状, 利用无人机作为基建现场巡检智能感知监测系统的“信息采集器”, 与由 3G/4G 通信网络、微波通信网络、激光通讯装置组成的“信息传输网络”相结合, 构建了基建现场巡检的智能感知监测系统, 实现了基建现场远程实时视频、图像、温度、湿度、地理位置等信息采集的功能。该基建现场巡检无人机智能感知监测系统建成后, 可定期进行远程安全检查, 对于促进施工规范化、保障施工安全均具有重要意义。

参考文献

- [1] 李钟. 基于回声状态网络的电力 EPON 业务感知技术[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 69-73.
LI Zhong. Echo-state-network based service-awareness technology of EPON for smart power grid[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 69-73.
- [2] 任晓辉. 电网调控自动化系统运行状态在线监视与智能诊断研究及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(11): 156-161.
REN Xiaohui. Research and application of operating states of grid dispatching and control system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(11): 156-161.
- [3] 肇启龙. 基于网络和 H.264 的视频监控系统设计[J]. 电子科技, 2015, 28(2): 116-118.
ZHAO Qilong. Design of video surveillance system based on internet and H.264[J]. Electronic Science and Technology, 2015, 28(2): 116-118.
- [4] 闫少春, 张庚生, 张永宁, 等. 基于级联架构的电网视频监控监控系统[J]. 电子科技, 2017, 30(7): 103-105, 109.
YAN Shaochun, ZHANG Gengsheng, ZHANG Yongning, et al. A video surveillance system for power grid based on the multi-stage cascade architecture[J]. Electronic Science and Technology, 2017, 30(7): 103-105, 109.
- [5] 张天航, 白金平. 旋翼式无人机的发展和趋势[J]. 人工智能与机器人研究, 2013(2): 16-23.
ZHANG Tianhang, BAI Jinping. Development and trend of unmanned rotorcraft[J]. Artificial Intelligence and Robotics Research, 2013(2): 16-23.
- [6] 蔡国玮. 无人驾驶旋翼飞行器系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [7] 蒋愈勇, 刁伟, 刘立斌, 等. 基于 IEC61850 的电子式互感器在线监测与校验系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(21): 117-122.
JIANG Yuyong, XI Wei, LIU Libin, et al. Design of online monitoring and calibration system for electronic transformer based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(21): 117-122.
- [8] 张州州, 任高峰, 张聪瑞, 等. 深部开采矿井通风智能感知及风机远程集中安全监控系统[J]. 武汉理工大学学报, 2015, 37(1): 104-108.
ZHANG Sasa, REN Gaofeng, ZHANG Congrui, et al. Intellisense and remote centralized security monitoring system for the ventilation system in deep mining[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2015, 37(1): 104-108.
- [9] 周开利, 张伟, 王旭. 基于蓝牙和智能手机的人体多生理参数无线监测系统[J]. 物联网技术, 2015, 39(6): 18-20.
ZHOU Kaili, ZHANG Wei, WANG Xu. Human body physiological parameter wireless monitoring system based on Bluetooth and smart phone[J]. Internet of Things Technologies, 2015, 39(6): 18-20.
- [10] 姜丽芬, 张丽伟. 基于 GIS 的市政设施智能感知系统设计[J]. 测绘, 2016, 39(1): 27-29.
JIANG Lifen, ZHANG Liwei. The design of municipal facilities intellisense system based on GIS[J]. Surveying and Mapping, 2016, 39(1): 27-29.
- [11] 孙朝阳, 李志斌, 林松, 等. 无人机航摄技术辅助特高压工程施工现场管控研究[J]. 北京测绘, 2015(6): 38-42.
SUN Chaoyang, LI Zhibin, LIN Song, et al. Research on application of UAV technology on management and control of extra-high voltage project construction site[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2015(6): 38-42.
- [12] 李彩霞. 无人机在建筑施工现场的应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
LI Caixia. Application research of UAV in construction site[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [13] 刘洋, 韩泉泉, 赵娜. 无人机地面综合监控系统设计与实现[J]. 电子设计工程, 2016, 24(14): 110-112.
LIU Yang, HAN Quanquan, ZHAO Na. Design and realization of ground synthetic monitor and control system for UAV[J]. Electronic Design Engineering, 2016, 24(14): 110-112.
- [14] 杨忠炯, 王卉, 董栋. 无人机输电线路巡线系统及应用研究[J]. 电子设计工程, 2017, 25(4): 162-166.
YANG Zhongjiong, WANG Hui, DONG Dong. The application and research of line communication system based on microwave transmission[J]. Electronic Design Engineering, 2017, 25(4): 162-166.
- [15] 李力. 无人机输电线路巡线技术及其应用研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2012.
LI Li. Research on UAV's transmission line inspection line technology and its application[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2012.
- [16] 林宇龙, 李冰, 王德宇, 等. 多旋翼无人机巡查系统在特高压基建工程中的应用[J]. 中国电力, 2017, 50(12):

- 141-147.
- LIN Yulong, LI Bing, WANG Deyu, et al. Application of multi-rotor UAV patrol system in UHV power grid construction[J]. Electric Power, 2017, 50(12): 141-147.
- [17] HE Yuqing, CHEN Yuehui, YANG Zhiqiang, et al. A review on the influence of intelligent power consumption technologies on the utilization rate of distribution network equipment[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2018, 3(3): 183-193. DOI: 10.1186/s41601-018-0092-2.
- [18] XIE Yuzheng, ZHANG Hengxu, LI Changgang, et al. Development approach of a programmable and open software package for power system frequency response calculation[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 189-198. DOI: 10.1186/s41601-017-0045-1.
- [19] 孙大陆, 何丹东. 超/特高压输电线路巡检四旋翼无人机的建模与回馈递推控制[J]. 自动化技术与应用, 2016, 35(11): 11-16.
- SUN Dalu, HE Dandong. Modeling and backstepping control of quadrotor UAV inspecting extra & ultra high voltage transmission lines[J]. Techniques of Automation and Applications, 2016, 35(11): 11-16.
- [20] 程凯. 电力巡线无人机智能地面监控系统研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.
- CHENG Kai. Research on intelligent ground monitoring system for power patrol UAV[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2016.

收稿日期: 2018-01-03

作者简介:

刘 勇(1971—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: 2256223605@qq.com

陈海滨(1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化;

刘 方(1982—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化。