

面向电力设施的无人机多目标监测与反制系统

陈兴, 邴超

(国网上海市电力公司 信息通信公司, 上海 200072)

摘 要:针对电力设施运行环境复杂、强电磁场和高电压给电力设施的监测和反制带来的诸多问题,提出一种基于智能感知系统的电力设施无人机多目标监测与反制方法。设计硬件系统和图像预处理、目标监测和反制的软件程序,并在程序中添加图像特征处理技术,获取目标图像的特征向量,将软件程序添加到硬件系统中完成电力设施的无人机多目标监测与反制。实验结果表明:该方法计算速度快、召回率高、平均交并比高。

关键词:无人机;航线规划;多目标监测;智能感知系统;离心点;环境感应

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)02-0220-05

UAV Multi-target Monitoring and Countermeasure System for Power Facilities

CHEN Xing, BING Chao

(Information & Telecommunication Company, State Grid Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200072, China)

Abstract: Aimed at the problems caused by the complex operating environment of power facilities, strong electromagnetic fields and high voltage to the monitoring and countermeasures of power facilities, a UAV multi-target monitoring and countermeasure method for power facilities based on the intelligent perception system was proposed. The software program for image preprocessing, target monitoring and reaction was designed, to which the image feature processing technology is added to obtain the feature vector of the target image, and the software program was added to the hardware system to complete the multi-target monitoring and countermeasures of UAV for power facilities. The experimental results show that the proposed method has the advantages of fast calculation speed, high recall rate and high average intersection merging ratio.

Keywords: UAV; route planning; multi-objective monitoring; intelligent perception system; centrifugal point; environmental induction

0 引言

随着科技水平的不断提升,电力设施被广泛应用在工程建设、道路监测、军事战争等领域^[1]。但电力设施所处环境复杂,需要时刻监测和修护,预防事故的发生。因此对电力设施多目标监测与反制系统实行加强改造一直是工作人员关注的重点问题。我国一直将电力设施安全问题作为重要研究方向,随着融合无人机的电力线路监测系统的研发,意味着我国在电力安全、智能监测和安全保障等方面将有重大突破。国外在电力设施的监测与反制方面也十分重视,不仅在基础设备的维护上作出相关战略,也通过构建综合直升机测绘系统等方面做出了有效的方案^[2]。由实验证明和理论依据可知,研究电力设施的多目标监测与反制方法具有重要意义。

陈飞等^[3]利用垂直固定机翼的无人机激光雷达系统对电力设施实行多目标监测和反制。首先对采集的激光雷达图像实行二维成分分析,然后将信息的多元特征传输到系统中,完成电力设施的无人机多目标监测与反制。但该方法没有对采集的图像实行增强处理,导致计算速度

慢。彭继慎等^[4]以深入浅出网络系统为基础,在主线网络中融入注意力机制,然后利用深层次分离卷积对采集的电力设施图像的特征区域实行卷积计算,最后利用模型收缩算法消除网络中的边缘信息,完成电力设施的多目标监测与反制。该方法没有对图像实行降噪处理,导致准确率较低。江亮等^[5]将电力设施的指定零件与无人机的运动特性相结合,融合视觉技术采集图像和GPS坐标系对无人机实行定位偏差计量,控制无人机的位姿坐标,然后对电力设施中类似部件实行巡回检查,最后将部件相似度作为定位指标,结合拍照系统为机器学习模型提供重要的数据,完成电力设施的无人机多目标监测与反制。该方法没有对电力设施图像实行特征提取处理,导致结果的平均交并比数值较低。

为了解决上述方法中存在的问题,提出基于智能感知的电力设施无人机多目标监测与反制系统。通过六大模块设计智能感知监测平台硬件系统,在此基础上,通过直方图均衡化对图像实行增强处理,制定目标监测与反制软件程序。实验验证结果表明,当电力设施图像数量较多时,所提方法的召回率数值没有发生明显变化,在对电力设施图像实行处理后,所提方法处理的图像色彩没发生变化、细节对比度高。

第一作者简介:陈兴(1976—),男,浙江上虞人,高级工程师,工程硕士,研究方向为电力设施安全防范、安全保卫、反恐及应急管理。

1 智能感知监测平台硬件系统设计

智能感知监测平台主要负责接收无人机传送的图像、目标位置、空气环境等数据,然后将数据发送到监控中枢,由工作人员实行远程管控。智能感知硬件监测平台由视频管控、图像采集、电子地图展示、航线规划、目标锁定、环境感应六大功能模块组成。系统的整体框架图如图1所示。

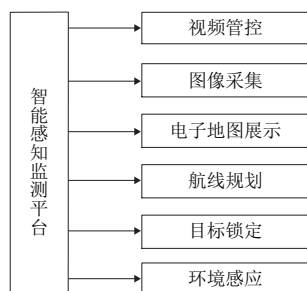


图1 智能感知监测平台

1) 视频管控模块。智能感知监测平台硬件系统中采用先进的浏览器-服务器融合模式,相关工作人员通过浏览器中枢控制器监控端便可对无人机实行操控,然后从服务器终端接收电力设施的视频信息,从而对无人机多目标监测和反制过程提供前提条件。

2) 图像采集模块。无人机可以对电力设施的全方位实行图像采集操作。对比传统的相机功能,无人机采集到的图像角度更加全面。

3) 电子地图展示。智能感知监测平台将接收到的无人机GPS定位信息与系统中预先输入的电子地图结合,得到无人机的航线位置和具体现场图像、视频,然后将这些信息在电网地图上展示。

4) 航线规划模块。智能感知监测平台事先添加无人机的航线点,系统会按照航线点的顺序自动生成航线轨迹,或者也可以通过空间三维坐标系生成航线轨迹。通过航线规划模块的应用,实现电力设施多目标监测的目的。

5) 目标锁定模块。在电力设施现场,监管部门的工作人员可以通过智能感知监测系统中预先设定的地理位置和航线半径锁定目标,然后无人机以目标点为圆心完成飞行,而且弧形的航线使采集图像的角度更加全面,还可以排除安全隐患。

6) 环境感应模块。电力设施所处环境复杂,受强电流高电压影响较大,智能感知监测平台将接收到的环境信息(地理位置、温度、空气质量等)与环境感应模块中预定的标准信息实行对比,从而判断出电力设施的环境是否发生变化,工作人员也可以根据环境感应模块中设定的数值推动模块进行变更,确保现场环境稳定。

2 软件设计

针对电力设施的无人机多目标监测与反制,仅仅设计出监测平台的模块不足以实现目标的监测和反制,需要在此基础上搭配软件系统完成监测与反制。

2.1 图像预处理

a) 图像增强与降噪

在无人机采集电力设施图像的过程中,由于受到光照强度的影响,导致采集的图像发暗、失真。通过直方图均衡化^[6]对图像实行增强处理。具体步骤如下。

1) 对采集的电力设施图像实行灰度级变化处理,根据图像中灰度级的概率密度计算出灰度级函数,公式如下所示。

$$R(t) = x = \int_0^t Z(t) \cdot a \quad (1)$$

式中: $R(t)$ 为归一化处理; x 为灰度级; t 为图像灰度; Z 为概率密度; a 为积分常量。

2) 保证图像输入与输出的灰度级大小一致。归一化处理图像后,输出概率密度函数,公式如下所示。

$$Z(x) = \left| \frac{d \cdot t}{ax} \right| Z(t) \quad (2)$$

式中 d 为归一化系数。

3) 变换变量的概率密度函数由电力设施图像的灰度级的变换函数决定。根据牛顿-莱布尼次定理可知图像灰度的导数如下所示。

$$Z(t) = \left| \frac{d \cdot t}{x} \right| = t \left(\int_0^t Z(w) \cdot dw \right) \quad (3)$$

式中 w 为图像颜色密度系数。

4) 图像的灰度级的范围是一定的,为了保证图像在灰度级范围中随机分布,就要通过灰度平衡处理^[7]获取电力设施的动态图像,从而获取满意度较高的对比度,即得到增强后的图像,公式如下所示。

$$\begin{cases} Z(x) = Z(t) \left| \frac{d \cdot t}{ax} \right| \\ Z(t) \left| \frac{1}{Z(t)} \right| = 1 \end{cases} \quad (4)$$

5) 通过高斯滤波器对增强后的电力设施图像实行降噪处理,滤波器传递函数公式如下所示。

$$f(l) = i^{-\frac{l}{2\mu}} \quad (5)$$

式中: $f(l)$ 为滤波器传递函数; i 为电力设施图像; μ 为高斯函数分布参数,决定着滤波器的深度。

6) 对电力设施图像实行降噪处理时,高斯滤波器通常采用三维均值分散高斯函数,在处理图像的频域上具备一定可行性,最大程度地完成图像降噪处理。公式如下所示。

$$f(a, b) = i^{-\left(\frac{a^2+b^2}{2\mu}\right)} \quad (6)$$

式中 a, b 为分散高斯函数。

b) 特征提取

预处理后的电力设施图像边缘信息消失,为目标特征提取过程打下良好基础。

1) 密集区域提取。假设无人机监测电力设施的区域密集度为 F ,公式如下所示。

$$F = c^2 \left(\frac{1}{4\pi T} \right) \quad (7)$$

式中: c 为区域周长; T 为区域面积。

2) 采集的电力设施图像的矩阵用如下公式表示,计

算出图像区域的中心距离。

$$\begin{cases} J = \sum_{m=0}^{O-1} \sum_{n=0}^{O-1} m^x n^\delta \\ M = \sum_m \sum_n (m - \bar{m})^x (n - \bar{n})^\delta \end{cases} \quad (8)$$

式中: J 为图像矩阵; O 为图像数量; m 、 n 分别为图像像素; $\bar{m}$ 、 $\bar{n}$ 为像素平均值; x 、 δ 分别为离心度一般系数; M 为区域的中心距离。

3)根据图像的中心距离计算出图像的离心度,在智能感知系统模块中设定相应的区域面积与离心度数值,公式如下所示:

$$\nu = \frac{(M_2 - M_1)^2 - 4M}{B} \quad (9)$$

式中: ν 为离心度; B 为系统设定的标准离心度。

4)利用提取出的图像特征,构建特征向量矩阵 E_i ,完成电力设施图像的特征提取。公式如下所示:

$$E_i = \{I_{i1}, I_{i2}, \dots, I_{iQ}\} \quad i=1, 2, \dots, Q \quad (10)$$

式中: I 为特征向量; i 为特征向量个数; Q 为图像总个数。

2.2 目标监测与反制软件程序

a) 目标监测

在电力设施图像目标点一致的情况下,提取的图像特征具有转换不变性。基于智能感知系统的电力设施无人机多目标监测具体步骤如下。

1)将电力设施周围的环境色彩部分实行指定和提取处理,将电力设施的大体轮廓整理出来,根据图像的特征向量矩阵确定监测目标。

2)计算出监测目标的坐标定位和取值范围。根据图像的离心点判断监测目标的离心点坐标是否为初始值。

3)更新离心点坐标,测量更新后的离心点坐标与原始离心点坐标的差变量,同时对下一个离心点的坐标实行评估计算。

4)继续采集电力设施图像,重复步骤1)到步骤3),直到监测目标的离心点坐标不发生变化。

b) 生成反制指令

1)将无人机和电力设施之间的距离作为整个智能感知系统的输出值。预先设定目标跟踪距离的目的是使输出值可以沿着一条曲线收敛到设定距离。

2)根据当前系统设定的输出值分层次给出输出轨迹,为了保证参考范围过程合理,最初参考轨迹的收敛末端采用前一时刻实际输出值的指数形式。计算出系统的输出值,公式如下所示:

$$s_{k+1} = \begin{cases} \delta s_k + \delta \\ s_k - \delta \end{cases} \quad (11)$$

式中: s_{k+1} 为 $k+1$ 时刻的输出值; δ 为参考轨迹常数; s_k 为 k 时刻的输出值。

3)参考轨迹常数可以减少不必要的反制过程,使系统的输出值可以顺利地达到设定值,并且,参考轨迹常数越大,输出值越大,系统的柔性越好。

4)反制原理是将无人机所处的位置向量方向作为无人机的航向控制量输入到系统中。与传统向量不同的是,智能感知系统中的等效函数传递速度更快,因此可以达到

更精准的反制。

5)当无人机相对距离与预期设定距离相差较多时,下一时刻的目标航向离心点取目标点为圆心,输出值为半径,此时目标点结合无人机的速度与距离都在设定的圆上。公式如下所示:

$$\theta_{k+1} = \begin{cases} \theta_k + 2 \times \arccos \frac{U}{2s_k} \\ \theta_k + \arcsin \frac{s_r}{s_k} \end{cases} \quad (12)$$

式中: θ_{k+1} 、 θ_k 为目标线与无人机的夹角; U 为反制指令; s_r 为预期跟踪距离。

6)根据夹角计算出反制指令,将指令作用于无人机运动方程式中,完成电力设施的无人机多目标反制。公式如下所示:

$$\Omega = \Delta s_k + \Delta F \cdot s_k \quad (13)$$

式中: Ω 为运动方程; ΔF 为无人机设定距离。

3 实验与分析

为了验证基于智能感知系统的电力设施无人机多目标监测与反制方法的整体有效性,需要对基于智能感知系统的电力设施无人机多目标监测与反制方法实行测试。利用 MATLAB 构建实验环境。无人机飞行速度为 30 m/s,飞行高度为 250 m。实验过程中,需要建立无人机多目标监测的环境,能够利用图 2 进行描述。



图2 无人机多目标监测环境

将方法的计算速度、准确率、平均交并比和图像处理效果作为评价指标,采用基于智能感知系统的电力设施无人机多目标监测与反制方法、文献[3]方法、文献[4]方法和文献[5]方法完成对比测试。

3.1 计算速度

计算速度是评价算法效率的指标,公式如下所示:

$$F = \frac{1}{T} \quad (14)$$

式中: F 为计算速度; T 为时间。

采用所提方法、文献[3]方法和文献[4]方法识别 100 张电力设施图像,对比不同方法的计算速度。速度越慢,效率越低;相反,速度越快,效率越高。不同方法的测试结果如表 1 所示。

表1 不同方法的计算速度

电力设施 图像/张	速度/(张·s ⁻¹)		
	所提方法	文献[3]方法	文献[4]方法
10	87	70	80
20	84	65	75
30	80	61	70
40	75	55	64
50	72	49	59
60	69	42	51
70	65	37	46
80	61	31	41
90	57	28	39
100	52	17	28

分析表1中的数据可知,计算速度与识别电力设施图像的数量成反比,随着电力设施图像数量的增加,所提方法、文献[3]方法和文献[4]方法所用的计算速度不断下降,在相同的电力设施数量下,所提方法的计算速度均高于文献[3]方法和文献[4]方法的计算速度,表明针对电力设施的多目标监测与反制,所提方法具有较高的效率。

3.2 召回率

召回率是用于评价算法准确性的指标,召回率越高,说明方法的准确率越高;召回率越低,说明算法的准确率越低。其计算公式如下:

$$S = \frac{T_p}{F_N + T_p} \quad (15)$$

式中: S 代表召回率; T_p 代表监测正确的图像占总样本的数量; F_N 代表监测错误的图像占总样本数量。

将所提方法、文献[3]方法和文献[5]方法的召回率测试结果绘制成柱形图,以方便分析,不同方法的召回率如图3所示。

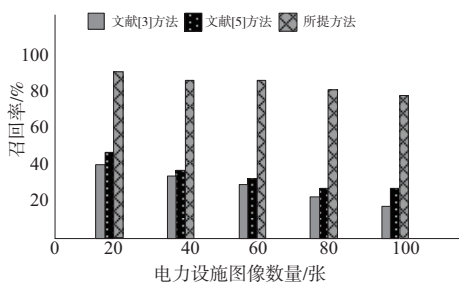


图3 不同方法的召回率

分析图3可知,当电力设施图像数量较多时,所提方法的召回率数值没有发生明显变化,而文献[3]方法和文献[5]方法的召回率大幅度下降,且无论是在哪组数量的电力设施图像情况下,所提方法的召回率均高于文献[3]方法和文献[5]方法的召回率。说明所提方法的准确性高于文献[3]方法和文献[5]方法的准确性。

3.3 平均交并比

平均交并比是用于评价算法的性能指标,平均交并比

数值越高,说明方法的性能越好;平均交并比数值越低,说明方法的性能越差。计算公式如下所示:

$$U = \frac{M \cap N}{M \cup N} \quad (16)$$

式中: U 代表平均交并比; M 、 N 分别代表图像合集的矩阵。

为保证测试结果的准确率,本次测试在大数量电力设施图像环境下完成,所提方法、文献[4]方法和文献[5]方法的测试结果如图4所示。

对图4分析可知,所提方法的平均交并比高于文献[4]方法和文献[5]方法的平均交并比,并且随着电力设施图像数量的增加,所提方法的平均交并比数值没有发生明显变动;而文献[4]方法和文献[5]方法的平均交并比数值下降幅度较大,说明针对电力设施的多目标监测和反制,所提方法的性能最好。

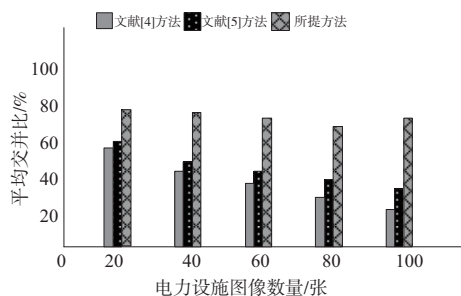


图4 不同方法的平均交并比

3.4 图像处理效果

针对采集的电力设施图像,利用所提方法、文献[3]方法和文献[4]方法处理图5(a),处理结果分别用图5(b)~图5(d)表示。分析图5可知,在对电力设施图像实行处理后,所提方法处理的图像色彩没发生变化、细节对比度高。文献[3]方法处理后图像颜色加深、亮度不自然;文献[4]方法处理图像后,图像发白、细节不清晰;说明所提方法处理图像的能量更高。所提方法对采集的电力设施图像实行了增强和去噪处理,预处理后的图像消除大量冗余信息,还保留着原图像的特征信息,进而在处理过程中不受噪声的影响,表明所提方法处理图像效果最佳。

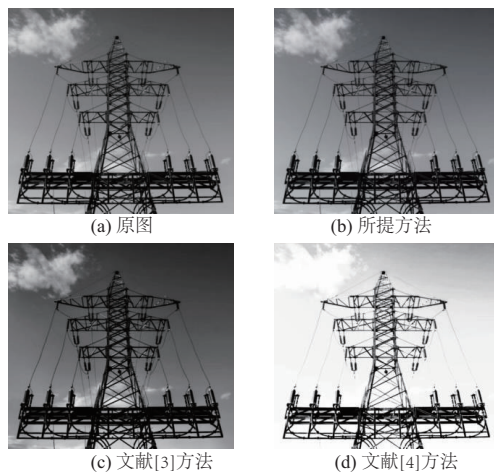


图5 图像处理效果

4 结语

经测试发现,目前电力设施的无人机多目标监测和反制方法存在计算速度慢、召回率低、平均交并比低等问题,为此提出基于智能感知系统的电力设施无人机多目标监测与反制方法。该方法首先设计出多个模块组成的硬件系统,其次设计出图像预处理、监测和反制程序。将其综合后实现电力设施的无人机多目标监测与反制,减少计算时间的同时提高了召回率和平均交并比。

参考文献:

- [1] 郎浩欣,夏黄蓉,李宝,等. 基于电力线载波技术的军工科研院所设备仪器智能化研究与应用[J]. 科技管理研究, 2020,40(13):55-61.

(上接第 215 页)

4 结语

本文基于 Android 设备,设计了某型燃气轮机监控系统,该系统与燃气轮机控制柜和遥控站进行数据通信,实现了燃气轮机机旁和遥控模式下的人机交互功能。利用 SQLite 数据库设计燃气轮机的参数记录和历史参数回调功能,并提出了燃气轮机参数偏离度概念,实现燃气轮机的故障诊断和健康管理。目前,基于 Android 的该型监控系统已用于燃气轮机的总装试验,运行稳定,操作便捷,为燃气轮机运行维护提供了科学保障。

参考文献:

- [1] 闻雪友,任兰学,祁龙,等. 舰船燃气轮机发展现状、方向及关键技术[J]. 推进技术,2020,41(11):2401-2407.
- [2] 王凤月. 燃气轮机故障诊断技术综述展望[J]. 内燃机与配件,2017(19):63.
- [3] 吴珊. Android 的系统及应用的架构[J]. 电子技术与软件工程,2019(3):148.

(上接第 196 页)

4 结语

本文设计的自补偿定位 J 型线夹安装工具独特的自补偿定位方法有效地保证了 J 型线夹在打击过程中打击套筒始终随拉紧螺母同步动作,直至线夹完全并沟夹紧,并同步确保线夹在整个并沟过程中的位置稳定性。

该工具能够有效可靠地替代人工手动操作,完成架空绝缘线缆的带电接火作业,极大地提高了工作效率,减少了人工上杆所带来的风险。

在 J 型线夹安装工具加上自动剥皮机构,可以自动完成主线的剥皮,这样可以和 J 型线夹安装工具配合直接完成主线和引流线的接火工作,更进一步地提高接火作业的安全性和装置的功能性。

参考文献:

- [1] 凌松,吴少雷,冯玉. 一种便携式架空配电线路带电剪接火自

- [2] 张继贤,刘飞,王坚. 轻小型无人机测绘遥感系统研究进展[J]. 遥感学报,2021,25(3):708-724.
- [3] 陈飞,崔健,王郑. 垂起固定翼无人机激光雷达的电力巡检应用[J]. 测绘科学,2020,45(12):77-80,125.
- [4] 彭继慎,孙礼鑫,王凯,等. 基于模型压缩的 ED-YOLO 电力巡检无人机避障目标检测算法[J]. 仪器仪表学报,2021,42(10):161-170.
- [5] 江亮,郑恩辉,童景哲. 基于电力杆塔巡检的无人机重定位拍照系统设计[J]. 科技通报,2020,36(10):33-35,40.
- [6] 吕侃微,张大兴. 基于自适应直方图均衡化耦合拉普拉斯变换的红外图像增强算法[J]. 光学技术,2021,47(6):747-753.
- [7] 王福斌,孙志林,王尚政. 飞秒激光烧蚀光斑灰度特征的小波处理与分析[J]. 激光与光电子学进展,2020,57(18):418-426.

收稿日期:2022-04-07

程,2019(3):148.

- [4] 张睿锐. Android 内核移植及在远程监控中的应用[J]. 中国新通信,2019,21(3):115.
- [5] 罗尹奇,刘力银. 基于 JNI 的 Java 串口通信系统的设计与实现——以 Windows 平台为例[J]. 电脑知识与技术,2017,13(34):51-56.
- [6] 李佐彬. Android 开发入门与实战体验[M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [7] 刘波. 基于 Android 的智能家居终端的设计与研究[J]. 移动通信,2016,40(10):88-90.
- [8] 史梦安,王志勃. 基于 Android 系统的 TCP/IP 客户端异步通信模块研究[J]. 软件导刊,2014,13(10):115-118.
- [9] 崔娜. Android 平台的 SQLite 数据库编程探析[J]. 信息与电脑(理论版),2014(6):147-148.
- [10] 孔祥宇. 燃气轮机气路故障诊断技术探讨[J]. 科学技术创新,2019(6):192-193.

收稿日期:2022-04-22

动装置的设计[J]. 机械工程师,2017(4):116-118.

- [2] 吴勤斌,马冬二,邹德华,等. 基于多物理场耦合的 J 型线夹仿真分析[J]. 南方电网技术,2021,15(5):115-121.
- [3] 宋清刚. 一起电缆穿刺线夹火灾的调查分析[J]. 消防科学与技术,2015,34(7):975-977.
- [4] 国家电网公司. 带电作业操作方法(第 1 分册):输电线路[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [5] 李二霞,亢超群,李玉凌,等. 基于设备状态评价和电网损失风险的配电网检修计划优化模型[J]. 高电压技术,2018,44(11):3751-3759.
- [6] 欧相林,邓鹤鸣,王力农,等. 10 kV 配电线路带电作业安全综合评价应用分析[J]. 高压电器,2013,49(2):55-60.
- [7] 张铜,张黎明,徐善军,等. 带电作业机器人 J 型线夹安装工具的研制与 TCP 位置标定方法[J]. 机械工程师,2021(2):105-107,110.

收稿日期:2021-11-17