|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | 申报编号： |  |

四川省重点研发

项目申报书

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 项目名称： | 变电站震害损毁智能检测与评估关键技术研究 |  |
| 研究领域： | 1.智能检测与分析控制关键技术 |
| 申报单位： | 电子科技大学 |
| 项目负责人： | 左琳 |
| 联系电话： |  |
| 推荐单位： | 电子科技大学 |
| 项目起止时间： | 2022-01-01至2023-12-31 |
|  |  |

四川省科学技术厅制

二〇 年 月

填 报 说 明

1. 项目负责人填写项目申报书应实事求是，表述明确。外来语要同时用原文和中文表达，第一次出现的缩略词，须注明全称。
2. 负责人不用填写“申报编号”栏。
3. 推荐单位是指项目申报单位所隶属的省级有关部门或所在市州科技局、扩权县科技部门。
4. 各级政府行政机构不得作为项目申报单位，也不可以作为合作单位参与研究。
5. 编写要求：  
   （1）项目符合申报指南的要求，目标定位准确，指标明确、可考核；  
   （2）项目任务明确，要充分考虑经济、技术等方面的可行性；
6. 项目负责人按申报通知规定的份数，用A4纸双面打印申报书，左侧装订，不得加用塑料等额外装订材料，按照申报通知要求报送。

**项目信息表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | | 变电站震害损毁智能检测与评估关键技术研究 | | |
| 起始时间 | | 2022年01月01日 | 终止时间 | 2023年12月31日 |
| 创新类型 | | □原始创新 ☑集成创新 □引进消化吸收再创新 | | |
| 项目概述 (500字以内) | | 地震对电网的安全稳定运行具有极其重大的影响。四川属于我国地震多发区，变电站作为电力系统的重要节点，其震后损毁情况的检测速度和评估的准确程度对变电站紧急通电决策具有极其重要意义。当前我国变电站震后损毁检测主要依靠人工，缺少智能检测装备和相关技术，这成为电力部门防灾、减灾的痛点。无人机和人工智能相关技术的出现，为变电站震后损毁检测和评估提供了新的手段。针对无人机检测面临的局部定位精度低、现场存在多种原因导致图像退化和变电站设备损毁检测算法缺失等问题，本项目将研究：（1）局部复杂空间环境下无人机自主建图定位和实时避障技术，克服无人机在变电站震后复杂环境下的自主定位和导航难题；（2）震后变电站场景的无人机图像复原与增强技术，解决在复杂天气和光照条件下无人机采集图像的退化问题；（3）基于无人机图像的变电站设备裂痕识别和倾斜检测算法研究，实现关键电气设备损毁情况的智能评估。本项目研究成果将为震后变电站紧急通电决策提供技术支撑，有利于震后抢险救灾工作的开展，具有重要理论与应用价值。 | | |
| 预期成果 | 成果形式 | ■专利 □技术标准 □新产品（或农业新品种） □新工艺  □新装置 □新材料 □计算机软件 ■论文论著 ■研究报告  □其他 | | |
| 知识产权 | 发明专利\_\_3\_\_项，实用新型专利\_\_0\_\_项，其他\_\_0\_\_项。 | | |
| 技术标准制定 | □国际标准 □国家、行业标准 □地方、企业标准 ■无 | | |
| 产学研联合 | | □是 ■否 | | |
| 知识产权状况 | | 申报单位独占（√） 相关单位共享（） | | |
| 经费概算 | | \_\_20\_\_万元，其中申请省级财政科技经费\_\_20\_\_万元。 | | |

|  |
| --- |
| 一、立项的必要性及国内外研究现状、发展趋势和知识产权状况分析(不超过2000字) |
| **1.1立项必要性**  地震对我国电网的安全稳定运行有着极其重大的影响，重大地震灾害下变电站的损坏情况如表1所示。根据“十四五”规划的要求，我国将建设9大清洁能源基地[1]，其中8个及其电力外送通道邻近南北地震带。在5.12大地震中，四川电网遭受重创，其中171座变电站损坏，405万用户停电，直接经济损失达106亿元。在地震29天后，损坏变电站中的155座才被修复恢复运行[2]。如果震后变电站能够尽快通电，则会极大地改善现场抢险救灾的条件，同时显著减少有关企业的经济损失。变电站损毁检测是震后变电站紧急通电决策的技术依据，与变电站日常巡检相比，震后损毁检测具有任务紧急、检测困难且地震次生灾害易对人员生命造成威胁的特点。**现有检测和分析依靠人工完成，效率低、风险高，甚至因交通阻断等原因导致长时间无法进行**。因此，研究更加高效、智能的检测技术，提高变电站设备损毁检测效率和准确程度，成为亟待解决的难题。  表1地震灾害下变电站受损情况   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **地震** | **时间** | **震级** | **变电站损坏数量** | | 唐山地震 | 1976.07 | 7.8 | **33** | | 汶川地震 | 2008.05 | 8.0 | **171** | | 芦山地震 | 2013.04 | 7.0 | **34** |   近些年来，无人机及其相关的检测技术已被广泛应用于电力巡检、农业、测绘和自然灾害防治等领域。虽然这些应用也涉及到无人机自主导航、定位和图像处理等技术，但现有技术无法直接应用于变电站震后损毁检测。变电站震后损毁检测对无人机自主导航定位的精度、图像识别算法的鲁棒性和检测内容提出了更高的要求（如图1所示）。因此，本项目研究成果也将进一步推动无人机拓展其应用领域，具有明显的技术价值和社会意义。    图1 震后损毁评估面临的难题  **1.2 国内外研究现状**  针对震后抢险救灾而言，变电站震后损毁检测是变电站紧急投运的主要技术依据。震后损毁检测主要是指变电站设备的外观检测，检测对象大致可以分为设备破损、姿态变化（主要是倾斜、移位）、裂痕和漏油四类。目前这些检测均由人工肉眼或手持简易测量工具完成。例如一个500kV电压等级的变电站，由于震后交通阻断等原因，大致需要4-6人、花费2-3天的时间才能获得变电站的损毁评估报告，这成为严重制约电力系统抢险救灾速度的瓶颈。无人机不存在交通阻断的问题，也应用于电力线路巡检中，但这些**常用巡检技术不足以支撑变电站的震后损毁检测**。下面从无人机定位导航和实时避障精度、无人机巡检图像处理算法鲁棒性、变电站震后损毁检测内容三个角度给出原因。  **（1）自主导航和实时避障是无人机自主巡检的基础。**变电站震后损毁检测内容中包含大量的柱状绝缘套管裂痕的视觉检测，要求搭载视觉系统的无人机定位精度在分米级。目前，用于输电线路巡检的无人机导航避障技术可以分为三类：基于全球定位系统/惯性导航系统(Global Positioning System，GPS/ Inertial Navigation System，INS)[3,4]、激光雷达（LiDAR）[5]、实时动态高精度定位（Real Time Kinematic，RTK）技术[6]。文献[6]采用单频GPS和嵌入式机载相机传感器，研制了使用GPS测量相机姿态的集成定位传感器，精度可达几厘米。但该方法对相机要求较高，在初始化时要对传感器进行繁琐的校准工作，且有效航程仅有数十米，局限性较大。通常，单独采用GPS/INS的导航定位精度在米级左右，非常依赖卫星信号，在丢失卫星信号时，严重影响无人机的定位精度[4]。文献[5]在GPS/INS的基础上，引入了三维激光雷达，提出一种改进迭代最近点算法（Iterative Closest Point，ICP）来解决稀疏非均匀点云中的配准问题，实现分米级定位，完成对桥梁进行重构。但是这种定位导航的方式离不开GPS/北斗的卫星信号。在我国西南山区，由于山高谷深，相当一部分变电站的卫星信号极其微弱，难以支撑无人机导航定位的功能，如果仅仅依靠激光雷达导航定位的话，则同时存在地图绘制等问题。此外，还有基于RTK的定位技术，虽然定位精度可以达到厘米级，但这种技术也离不开卫星信号。特别的，变电站中存在大量的不同种类设备，无人机在其中绕飞的时候，如何保证无人机和RTK基站之间的通信信号不被遮挡，也是一个极其复杂的问题。因此，现有无人机电力巡线中的定位和导航技术不能直接用于变电站的损毁检测。  **（2）缺陷检测技术是无人机线路巡检中的关键技术。**文献[7]提出一种通过颜色和空间特征识别目标所在空间然后对其进行形态学处理进而识别目标损毁情况，但该方法只研究了与目标本身纹路差别较大的裂痕的识别；文献[8]提出了一种特征金字塔层次增强网络用于检测路面裂缝。该方法能够较好的解决裂缝像素强度不均匀和裂缝背景相对复杂的问题，但该方法研究的缺陷问题主要是路面缺陷情况，与地震之后变电站设备的复杂缺陷特征差别较大。在识别准确率方面，国家电网于2018年分别进行了多旋翼无人机和直升机电力巡检航拍图像人工智能图像处理技术验证工作，两次技术验证均采用基于深度学习的目标检测算法，检测目标为 8～9 类常见且典型的架空线路缺陷，算法检测的最好成绩为30%～89%，不同类型缺陷的检测成绩有较大差异。同时，柱状设备倾斜测量方面，文献[9]提出了一种基于柱状设备结构知识模型和航拍方案相结合的柱状设备姿态倾斜检测算法，但其算法对无人机飞行方案有着严格的要求，并不适合变电站震害局部复杂环境的快速检测。文献[10]提出的广域网络柱状倾斜检测技术采用了一种基于ZigBee(紫蜂)通信和倾斜角度传感器的高精度柱状设备倾斜远程监控系统方案，但其系统规模较大，无法满足变电站震害快速检测的需求。  **（3）高质量的图像是提高缺陷检测准确率的前提**。现场光照条件、天气状况和无人机抖动都严重影响图像的质量。变电站震后损毁检测属于紧急检测的范畴，必须考虑所有影响图像质量的因素，这对图像识别算法的鲁棒性提出了更高的要求。目前，针对天气状况，文献[11]提出了一种带有融合鉴别器的生成对抗去雾网络，借助频率信息监督判别器，从而生成更加自然的去雾霾图像；文献[12]提出了用于单图像去雾的多尺度深度神经网络，利用模糊图像与其对应的透射图之间的映射关系实现去雾；文献[13]提出了基于cGAN网络的去雨框架，使用多尺度鉴别器，利用局部信息和全局信息来判断去雨图像的真伪；文献[14]提出了带注意力机制的对抗生成网络解决镜头雨滴附着问题，利用注意力映射图引导生成网络对雨滴区域集中处理。但这些方法都有固定的、单一的应用场景，不适用于天气状况不确定或多种气象情况叠加的震后变电站现场，同时没有考虑弱光照和无人机抖动对图像的影响。针对弱光照条件，文献[15]提出了一种基于深度自动编码器的方法来识别弱光图像中的信号特征，利用堆叠稀疏去噪自编码器对低光照有噪声图像进行增强和去噪；针对动态模糊，文献[16]提出了基于事件的循环卷积神经网络，利用方向性事件滤波算法得到清晰图像。这些方法仅能处理弱光照或动态模糊问题，无法处理天气状况造成的图像退化。变电站震后损毁检测需要能同时处理弱光照、恶劣天气状况及动态模糊的图像处理算法，但目前国内外暂无此方面的研究。  **1.4知识产权状况分析**  以国家知识产权局官方网站作为入口，在无人机领域，国内外申请的发明专利6万余件，其中有关无人机在变电站中应用的研究共60件，其主要创新点集中于对航拍图像的处理和测量装置的改进，通过专业操纵人员采集设备图像、对设备的状态进行检测。目前，针对震后变电站的损毁检测和评估问题，鲜见相应的专利。  **主要参考文献**   1. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[EB/OB].(2021-03-13) http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\_5592681.htm 2. 王昊昊,罗建裕,徐泰山,等. 中国电网自然灾害防御技术现状调查与分析[J]. 电力系统自动化,2010,34(23):5-10+118. 3. 吴和龙. 多旋翼无人机的低成本Inertial/GNSS/Vision组合导航关键技术研究[D].中国科学院大学,2020. 4. Daakir M, Pierrot-Deseilligny M, Bosser P, et al. Lightweight UAV with on-board photogrammetry and single-frequency GPS positioning for metrology applications[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2017, 127: 115-126. 5. Chiang K W, Tsai G J, Li Y H, et al. Development of LiDAR-based UAV system for environment reconstruction[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2017, 14(10): 1790-1794. 6. 邵瑰玮,刘壮,付晶,谈家英,陈怡,周立玮.架空输电线路无人机巡检技术研究进展[J].高电压技术,2020,46(01):14-22. 7. Yang X, Li H, Yu Y, et al. Automatic pixel‐level crack detection and measurement using fully convolutional network[J]. Computer‐Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2018, 33(12): 1090-1109. 8. Yang F, Zhang L, Yu S, et al. Feature pyramid and hierarchical boosting network for pavement crack detection[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2019, 21(4): 1525-1535. 9. Lai X, Cai Z, Xie Z, et al. A novel displacement and tilt detection method using passive uhf rfid technology[J]. [IEEE Transactions on Image Processing](https://www.aminer.cn/conference/5eeb1307b5261c744f15bdc0), 2018, 18(5): 1644. 10. Zhang X, Zhao Y, Zhou L, et al. Transmission tower tilt monitoring system using low-power wide-area network technology[J]. IEEE Sensors Journal, 2020, 21(2): 1100-1107. 11. Dong Y, Liu Y, Zhang H, et al. FD-GAN: Generative adversarial networks with fusion-discriminator for single image dehazing[C]//Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2020, 34(07): 10729-10736. 12. Ren W, Liu S, Zhang H, et al. Single image dehazing via multi-scale convolutional neural networks[C]//European conference computer vision. Springer, Cham, 2016: 154-169. 13. Zhang H, Sindagi V, Patel V M. Image de-raining using a conditional generative adversarial network[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2019, 30(11): 3943-3956. 14. Qian R, Tan R T, Yang W, et al. Attentive generative adversarial network for raindrop removal from a single image[C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2018: 2482-2491. 15. Lore K G, Akintayo A, Sarkar S. LLNet: A deep autoencoder approach to natural low-light image enhancement[J]. Pattern Recognition, 2017, 61: 650-662. 16. Tao X, Gao H, Shen X, et al. Scale-recurrent network for deep image deblurring[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018: 8174-8182. |
| 二、项目研究主要目标、研究内容、技术关键、技术路线和应用方案。(不超过3000字) |
| **2.1 研究主要目标**  本项目针对变电站震后损毁智能检测与分析问题，提出了基于无人机搭载机器视觉系统的检测方案，并研究其中的无人机高精度定位、自主导航、实时避障以及复杂光照条件下的图像复原和增强技术，实现对变电站震后设备破损、姿态、裂痕和漏油的智能检测评估，为地震灾害后变电站紧急通电决策提供技术依据。  **2.2研究内容**  本项目主要研究以下内容：  **（1）局部复杂空间环境下无人机自主建图定位和实时避障研究**  传统基于卫星定位的导航和避障技术存在定位精度不足、卫星信号弱等问题。本项目通过研究局部空间下融合视觉/惯性导航的同步建图和定位方法以及实时避障技术，提升无人机在局部复杂环境下的自主飞行能力。  **（2）震后变电站场景的无人机图像复原与增强技术研究**  无人机采集的震后变电站场景图像可能存在多种退化可能，如雾霾造成的图像雾化、弱光照造成的噪点及无人机抖动造成的动态模糊等，针对图像的多退化问题，研究基于生成对抗网络的综合图像处理算法，建立图像退化原因检测机制，实现对图像的自动复原及增强。  **（3）基于无人机图像的变电站设备裂痕识别和倾斜检测研究**  针对变电站震后损毁检测中存在的震后设备损毁样本量稀缺、样本特征存在领域偏移、自身纹路与裂痕相似度较高、现场干扰严重和设备倾斜等问题，研究基于无监督领域自适应和图像实时校正算法，提高设备裂痕、倾斜检测的准确率。  **2.3技术关键分析**  本项目涉及的技术关键和难点在于：无人机如何构建高精度建图以及导航避障、如何对多退化图像进行复原和增强以及实现关键设备裂痕检测和倾斜检测。具体体现在以下方面：  **(1)局部复杂空间环境下无人机自主建图定位和实时避障研究**  无人机在变电站中巡检时，缺少环境信息，必须建立局部地图。因此，如何将无人机观测到的环境信息进行配准，解算无人机的位姿，绘制局部地图是其中一个关键点。其次，进行定位时，相机或惯性测量元件可能发生观测失效的问题，如何在单个传感器失效时利用信息互补机制进行弥补，也是本项目的难题。此外，在多障碍物的环境中，构建合理的无人机避障规划策略，在避障的同时接近目标点，也是技术关键点。  **(2)震后变电站场景的无人机图像复原与增强技术**  本项目使用神经网络结构搜索技术搜索生成对抗网络结构，能够自动生成处理多种退化类型图像的网络，对震后变电站复杂图像具有较好的增强与复原效果。但由于生成器与判别器的学习能力可能不一致而导致网络更新缓慢，同时由于生成对抗网络对超参数的具有敏感性，因此这是需要解决的关键技术问题，使得自动生成的网络具有更强的鲁棒性和准确性。  **(3)基于无人机图像的变电站设备裂痕识别和倾斜检测研究**  震后变电站设备的损毁检测的核心问题，即变电站震害损毁样本稀缺，将模型学习到的知识迁移至震后变电站设备损毁图像中，准确识别震后产生的设备裂痕，对柱状设备倾斜的检测面临无人机飞行过程中相机本身存在角度倾斜问题，都是在研究中需要深入解决的方面。  **2.4技术路线**  为了达到快速评估变电站震害情况的目标，本项目采用无人机搭载视觉处理系统的方案进行震害评估，其基本流程是：对变电站关键电气元件的进行定点检测，无人机到达目标位置后围绕目标电气元件绕飞获取多个视角下的电气元件的图像信息；考虑到地震后的环境会对图像质量产生影响，必须在损毁检测前对图像进行智能复原与增强；再将处理后的高质量图像输入关键设备裂痕检测和倾斜检测模型并判断关键电气设备的损毁情况，最终得出较为准确的变电站震害损毁评估报告。本项目**总体技术路线**如图2所示。    图2 总体技术路线示意图  **（1）局部复杂空间环境下无人机自主建图定位和实时避障技术研究**  该部分包含了局部地图构建、多传感器融合定位和导航避障三个内容，其技术路线如图3所示。各部分的具体技术如下：    图3 复杂环境下无人机自主导和实时避障流程  ①局部地图构建：无人机利用深度相机（RGBD）收集环境的深度图像，通过PCL（Point Cloud Library）将其转化为点云数据，采用基于深度相机的同步定位与构图技术（RGBD-SLAM）重构变电站局部三维环境。首先利用图像特征（如SURF、SIFT、ORB特征）进行初始的点云配对，图像特征求解的位姿作为点云配准算法的初始解。然后利用ICP算法（算法流程如图4所示）进行点云配准，估计相邻两帧点云之间无人机位姿变化，构建位姿图（如图5所示）。    图4 ICP算法流程图  在位姿图中，“节点”表示无人机在某时刻的位姿，“边”表示不同时刻位姿之间的约束。位姿估计不可避免的会有累积误差，通过后端优化来获取最优位姿估计和地图，通常有基于滤波和图优化两种方法，但滤波的方法往往会求得次优解，本项目拟通过构建基于滑动窗口的位姿图优化算法，得到全局一致的轨迹和地图。    图5 位姿图  位姿图优化原理阐述如下：如图4中，表示不同的位姿，表示对位姿和位姿之间转换关系的观测，在数学上表现为一个约束方程。由于观测存在一定的误差，记为，如图4中，将所有的误差项相加得到总体误差函数通用形式为  . （2）  式（2）即为最终目标函数，其中表示观测的协方差，表示位姿图中所有节点之间存在约束的索引集合，通过如下方程求解位姿。  . （3）  ②多传感器融合定位：在已有地图的基础上，利用多个传感器收集的数据融合求解无人机的位姿。本项目拟采用基于时间驱动的数据融合方法，考虑了某时刻观测源的可得性，当某观测源不可得时，将通过内推或外推算法计算当前时间点时该观测源信息。与建图时相同，构建基于滑动窗的位姿图，对位姿图进行优化。基于滑动窗的位姿图优化可以维护一段时间内无人机的位姿，通过动态增加或移除优化变量，有效的平衡计算效率和计算精度，从而实现高精度地、实时地位姿估计。  ③导航避障：在避障策略上，利用深度相机为无人机建立“感知圆柱”，对所感知环境的三维点云的径向、高程方向进行可行性分析，构建逼近目标行为、避障行为的多行为避障算法，以确定无人机的航向与速度。  **（2）震后变电站场景的无人机图像复原与增强技术**  针对震后变电站图像的多种退化可能，本项目拟使用神经网络结构搜索技术结合生成对抗网络实现对图像的复原与增强。根据不同底层视觉任务对应的物理规则设计多个编码器，从子任务编码器获取的图像特征将被输入至特征搜索空间中处理以生成清晰图像，再由生成对抗网络的判别器鉴别生成图像的正确性，并对图像进行子任务分类，各分类的损失仅会反向传播至对应的子任务编码器。网络模型可以表示为公式（4）：  （4）  其中代表退化类型对应的编码器，代表具有退化类型的图像，代表通用解码器。以镜头附着雨滴的退化类型为例，给出背后的物理规则：  （5）  其中代表雨滴，代表二值模板，代表背景图像，K代表环境反射光形成的模糊图像。  特征搜索空间作为生成对抗网络的生成器，是本技术的核心，为避免加重网络训练的不稳定性，仅使用神经网络结构搜索技术（Neural Architecture Search，简称NAS）自行搜索构建生成器结构，不对判别器结构进行搜索。特征搜索空间的基本单元由多个块组成，项目组根据物理规则为各底层视觉任务设计不同的基础操作，每个块包含一个基础操作和多个卷积操作。NAS进行两个层次的搜索，分别探索特征搜索空间的基本单元结构以及搜索空间的整体网络结构。基本单元的每个块中，输出张量通过搜索操作与所有输入张量连接：  （6）  其中*H*代表对块的输出张量进行组合的方法，代表块中对输入张量进行处理的操作。  项目组将在大量公开数据集上对网络进行训练，通过控制器和搜索策略控制网络结构的搜索，限制其网络深度以保证技术的实时性，最终得到能处理多个底层视觉子任务的生成器结构。本技术的结构如图6所示。    图6 无人机图像复原与增强网络结构  **（3）基于无人机拍摄图像的设备裂痕识别和倾斜检测**  针对拍摄图像时无人机自身倾斜导致图像出现畸变问题，通过像素坐标系与物理坐标系联合校正，利用双线性插值重构图像从而消除无人机自身倾斜给图像造成的畸变。针对已有的数据集与震后变电站设备图像数据集存在领域偏移的问题，本项目设计一种基于梯度对齐领域自适应的实例分割算法，在有完备标签的源数据集上训练多个分类器，用训练好的分类器同时对源域和目标域进行分类，在源域与目标域之间设计对抗损失与梯度距离函数，通过迭代优化使得对抗损失和梯度距离达到最小，此时网络可以直接对震后变电站设备图像进行实例分割提取目标设备，具体为：  （7）  式中：为对抗损失，可以衡量多分类器输出概率的差异，为梯度距离函数，用于衡量算法反向传播梯度距离。  变电站震后损毁样本量稀缺、裂痕与设备纹路相似性高，而DDAE（深度去噪自编码器）网络可较好解决此类问题。通过正常设备样本训练的DDAE网络在接收到异常图像时可以得到重构异常分数，损失函数如公式（7）所示：  （8）  式中：是真实正常图像，是重构图像，训练时使式（8）最小化得到裂痕检测器，检测时即为异常分数。设计一个滑动窗口，在滑动窗口中运行DDAE算法进行编码解码重构图像，滑动窗口依次遍历整个目标，从而获得目标设备的重构异常分数图谱，通过分析异常分数图谱即可评估目标设备是否存在裂痕。  对于设备倾斜检测，在得到多个角度的目标设备分割图像之后提取目标中轴线，通过多视角的三角形法测量设备倾斜角度，从而判断目标设备是否倾斜。该方法结构图如图7所示。    图7 设备裂痕识别与倾斜检测结构图  **2.5应用方案**  该项成果的推广应用将沿着以下思路进行：  (1)首先做好知识产权方面的保护，在关键核心技术环节，如基于无人机与机器视觉损毁检测技术，申请国家发明专利；  (2)研究成果将在国家电网检修变电站的场景下进行应用，提升检修效率，保障人员安全，并对技术性能做进一步地测试、评估和完善，最后由省科技厅等有关单位组织专家鉴定，形成鉴定结论。 |
| 三、项目绩效目标 |
| 1. 技术创新目标（所有重点研发项目必须填写）  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 产品或技术名称 | 主要技术参数/性能参数 | 现有指标 | **项目完成时的**  **预期达到指标** | | 震害损毁检测 | 人员投入数 | 全人工评估，10-15人 | 减人率80% | | 震害损毁检测 | 无人机定位精度 | 无 | ±0.3米 | | 震害损毁检测 | 绝缘子裂痕检测准确率 | 85% | 95% | | 震害损毁检测 | 柱状设备倾斜检测阈值 | 无 | +5° | | 成果形式 | 专利（√） 技术标准（） 认证、许可（） 新工艺（） 新装置（）  新材料（） 论文专著（√） 其他（） | | | | 知识产权 | 发明专利授权\_\_0\_\_项，发明专利受理\_\_3\_\_项，实用新型专利授权\_\_0\_\_项，实用新型专利受理\_\_0\_\_项 | | | | 技术标准制定 | 国际标准\_\_0\_\_项，国家、行业标准\_\_0\_\_项，地方、企业标准\_\_0\_\_项 | | | | 认证、许可 | 新药证书\_\_0\_\_项，新品种审定证书\_\_0\_\_项，计算机软件著作权登记证书\_\_0\_\_项，新药临床批件\_\_0\_\_件，三类医疗器械注册受理证明\_\_0\_件，三类医疗器械临床试验许可\_\_0\_\_件。 | | | | 论文专著 | 公开发表\_\_3\_\_篇，其中：中文核心期刊论文1篇，国外学术论文2篇，论文引用\_\_0\_\_次；出版专著\_\_ 0 \_\_部，其中：中文专著0部，外文专著0部。 | | |     2、示范应用目标（所有重点研发项目，此项与经济效益指标、社会效益目标必须选填1项）   |  |  | | --- | --- | | 示范基地及规模 | 无 | | 中试线及规模 | 无 | | 推广应用目标 | 无 | | 培训（科技培训项目必填） | 办\_\_0\_\_期培训班，培训农村科技人员\_\_0\_\_人、培训企业科技人员\_\_0\_\_人、培训科技管理人员\_\_0\_\_人、培训医疗技术、推广人员\_\_0\_\_人。 |   3、经济效益目标（所有重点研发项目，此项与示范应用目标、社会效益目标必须选填1项）   |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | 现有指标 | 项目完成时的预期达到指标 | | 销售收入 | \_\_\_\_\_\_\_\_ 万元 | \_\_\_\_\_\_\_\_ 万元 | | 节创汇 | \_\_\_\_\_\_\_\_ 万元 | \_\_\_\_\_\_\_\_ 万元 |   4、平台建设目标   |  |  | | --- | --- | | 平台 | 四川省产业技术研究院（） 重点实验室（） 工程技术研究中心（） 产业技术创新联盟（） 科技企业孵化器（） 示范生产力促进中心（） 其他平台（） | | 平台建设内容 | 无 |   5、技术和人才合作目标     |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 引进关键技术 | \_\_\_0\_\_项 | 技术名称 |  | | 引进关键设备 | \_\_\_0\_\_台 | 设备名称 |  | | 引进特有资源 | \_\_\_0\_\_种 | 资源名称 |  |   6、人才培养目标（所有有高校参与的项目，必须填写）   |  |  | | --- | --- | | 高端人才 | 院士\_\_0\_\_ 人，享受国务院政府特殊津贴专家\_\_0\_\_人，国家杰出青年科学基金\_\_0\_\_人，全国杰出专业技术人才\_\_0\_\_人，长江学者\_\_0\_\_人，新世纪优秀人才\_\_0\_\_人，省有突出贡献的优秀专家\_\_0\_\_人，省学术和技术带头人\_\_0\_\_人，省学术和技术带头人后备人选\_\_0\_\_人，千人计划\_\_0\_\_人，万人计划\_\_0\_\_人 | | 职称晋升 | 高级\_\_0\_\_人，中级\_\_0\_\_人 | | 学位人才 | 博士后进站\_\_0\_\_人，在读博士研究生\_\_2\_\_人，在读硕士研究生\_\_3\_\_人，博士后出站\_\_0\_\_人，毕业博士研究生\_\_0\_\_人，毕业硕士研究生\_\_0\_\_人，毕业学士\_\_0\_\_人 | | 吸纳大学生就业 | 博士后\_\_0\_\_人，博士研究生\_\_0\_\_人，硕士研究生\_\_0\_\_人，本科生\_\_0\_\_人，专科生\_\_0\_\_人 |   7、社会效益目标（所有重点研发项目，此项与示范应用目标、经济效益目标必须选填1项）   |  |  | | --- | --- | | 技术及产品应用形成的公益性贡献和价值 | 研究成果将有利于提高变电站震害损毁智能检测与评估水平，降低人工巡检的工作强度和风险，为变电站紧急投运和维修决策提供技术支持，推动变电站震害损毁检测朝着智能化方向转型，提高抗灾水平。 |   8、科技报告   |  |  | | --- | --- | | **进展报告** | 年度报告\_\_0\_\_篇，中期报告\_\_1\_\_篇（系统自动填写：执行2年及以上，中期1篇，重大专项按年度年度报告） | | **最终报告** | \_\_1\_\_篇 | |

|  |
| --- |
| 四、项目的创新性(理论创新、应用创新、技术创新，不超过800字。) |
| 在电力系统中针对目前变电站震害评估的现有主要手段为人工现场调研法，其存在检测效率低、危险系数高等问题，本项目将在面向震后变电站损毁检测评估方面做出研究创新，以弥补行业对防灾减灾和应急处理的技术覆盖点，同时对无人机定位导航、智能检测与分析领域做一些有实际应用意义的研究，具体如下：  **技术创新**：1）采用时间驱动的滑动窗位姿图优化算法实现多传感器融合定位，通过构建滑动窗的位姿图，并使用图优化算法进行优化，实现无人机分米级定位。2）提出了一种面向震后变电站场景的无人机图像复原与增强技术，在震后变电站环境状况不确定的情况下，通过神经网络结构搜索技术自动搜索生成对抗网络具体结构，实现对无人机拍摄图像进行底层视觉任务分类，并进行复原与增强。3）针对震后变电站损毁设备图像样本量缺乏，且与已有数据集存在领域偏移问题，提出了一种基于梯度对齐的领域自适应算法，并设计了一种基于深度去噪自编码器重构图像算法，可有效解决无人机拍摄的电气设备损毁样本不足的小样本问题。  **应用创新**：变电站震后损毁检测在目前还没有专业的快速检测评估系统，基于本项目的研究可大幅提高变电站震害损毁的评估效率，减少损失成本，为变电站紧急通电决策提供依据，提高电力行业灾害应急处理能力，具有重要的应用创新价值。 |
| 五、项目应用前景和项目产品预期经济、社会效益(不超过500字。) |
| 防灾减灾与应急处理是国家高度重视的领域，我国是多地震国家之一，地震严重影响了电网的安全稳定运行。变电站作为电力系统的重要节点，实现其电力设备的快速损毁检测可加快供电速度，保障抗震救灾的用电需求，减小地震造成的国民经济损失。本项目研究在一定程度上将解决人工损毁检测“慢、难、险”的弊端，在真正意义上实现震后设备智能化检测。项目所研究的局部复杂环境无人机自主导航和避障技术、图像复原技术、设备损毁智能检测技术将为震后应急处理、快速复原提供技术支撑，有利于推动电网智能巡检技术的发展。  在经济效益方面，在大停电中，每提前一小时恢复供电，将减少上亿元的经济损失。本项目成果的有效应用将加快震后电力系统的恢复速度，为国民经济的正常运行提供电力保障，减少企业及群众因停电造成的经济损失。  在社会效益方面，尽早恢复电力供应是确保抗震救灾有效实施的重要条件，为救援行动提供支持，减少人员伤亡和生命威胁。同时，尽早供电也有助于恢复灾区通讯设施，维护社会稳定局面。 |
| 六、已有研究基础、承担优势和项目实施的风险及应对策略(研究基础、承担优势包括与项目有关的前期研究状况、实验设备及设备条件、前期获得的与本项目相关的科研成果、获奖及发表论文情况，产学研结合情况等。不超过1000字。) |
| **6.1 已有研究基础和承担优势**  智能学习科学与应用研究所是电子科技大学2017年成立的交叉学科创新平台。研究所整合了电子科技大学计算机科学与工程、软件工程、电气工程、机械工程、新能源材料的相关研究力量，以突破人工智能和智能学习中的关键基础理论为核心，结合国家制造业、新能源对人工智能技术的重大需求为导向，实现人工智能和智能学习新技术与新方法在跨学科领域中的应用研究，助力交叉学科的新知识的发现。研究所现有教授7人、副教授3人、博士后10人、博士生24人、硕士生90余人。教育部长江学者1人，国家优秀青年基金1人，国家青年千人计划1人，Elsevier中国高被引学者1人，教育部“新世纪优秀人才”2人，中国运筹学会青年科技奖1人，四川省青年科技奖1人，四川省“千人计划”2人，四川省杰出青年基金2人，IEEE Senior Member 2人。在智能学习及其相关应用领域的国际期刊IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems、IEEE Transactions on Cybernetics、IEEE Transactions on Industrial Informatics、Applied Soft Computing等发表SCI论文100余篇，被引6000余次，授权国家发明专利30余件。获教育部自然科学奖一等奖和二等奖共3项、四川省科学技术进步一等奖2项、多项国际学术会议最佳论文奖等，在相关智能学习、图像处理、机器视觉等领域积累了较好的科研成果和研究经验。  项目负责人一直从事人工智能、神经网络等方面的研究，主持包括自然基金面上项目、科技委重点项目、省重点研发计划项目等国家及省部级项目多项，主持企业横向项目多项，主研多个国家重点研发计划及国家重点单位合作项目，在国内外重要学术刊物和会议上发表论文40余篇。担任自然基金项目评议专家、教育部学位中心通讯评议专家以及多个国际学术期刊审稿人。  **与本课题有关的、主持的科研项目：**   1. 国家级重点项目：XXX技术研究，批准号2118Y13111A 2. 国家重点研发计划：XXX研究与示范，批准号2017YFC0821505-3 3. 国家自然科学基金面上项目：自适应人工智能在线教育关键技术研究，批准号61877009 4. 国家自然科学基金面上项目：具有时序处理能力的Spiking-Deep Learning(脉冲深度学习)方法研究，批准号61573081 5. 四川省科技厅：电缆隧道巡检智能机器人自主导航技术研究，批准号2018GZ0396 6. 四川省科技厅：智能工厂集成创新技术在军品X生产中的应用研究，批准号2019YFG0451   **与本课题有关的专利**  **授权专利**   1. 基于vanilla-R点对剔除策略的点云配准算法 专利号 ZL201710294425.1 授权日期2019.07.30 2. 密度自适应的激光点云特征检测方法 专利号ZL201810711625.7 授权日期 2021.07.02   **受理专利**   1. 一种变电站智能巡检机器人高精度定位方法，专利申请号201810934182.8 2. 一种基于点云分割匹配闭环校正的同步定位与构图算法，专利申请号201910604487.7 3. 基于卷积神经网络的视觉SLAM闭环检测算法，专利申请号201910605055.8 4. 基于LMD和脉冲神经网络的轴承故障诊断方法，专利申请号202010105681.3 5. 基于多层次地图匹配的移动机器人位姿纠正算法，专利申请号CN201810353637.7 6. 智能变电站辅助控制系统子设备模拟装置及测试方法，专利申请号CN201810921394.2 7. 一种基于图的栅格地图分割方法，专利申请号CN201810823381.1 8. 一种基于深度学习的指针式仪表读数方法，专利申请号CN201811413253.6 9. 基于多次位姿校正的移动机器人快速精确定位算法，专利申请号CN201910604608.8   **与本课题有关的论文：**   1. **Zuo L**, Jing M, Li J, et al. Challenging tough samples in unsupervised domain adaptation[J]. Pattern Recognition, 2021, 110: 107540. 2. **Zuo L**, He P, Zhang C, et al. A robust approach to reading recognition of pointer meters based on improved mask-RCNN[J]. Neurocomputing, 2020, 388: 90-101. 3. **Zuo L**, Zhang L, Zhang Z H, et al. A spiking neural network-based approach to bearing fault diagnosis[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2020. 10.1016 4. **Zuo L**, Chen Y, Zhang L, et al. A spiking neural network with probability information transmission[J]. Neurocomputing, 2020, 408: 1-12. 5. **Zuo L**, Xiahou T, Liu Y. Reliability assessment of systems subject to interval-valued probabilistic common cause failure by evidential networks[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2019, 36(4): 3711-3723. 6. **Zuo L**, Chen W, Qu H, et al. An Intelligent Knowledge Extraction Framework for Recognizing Identification Information From Real-World ID Card Images[J]. IEEE Access, 2019, 7: 165448-165457. 7. **Zuo L**, Xiahou T, Liu Y. Evidential network-based failure analysis for systems suffering common cause failure and model parameter uncertainty[J]. IMechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2019, 233(6): 2225-2235. 8. Wang Z, **Zuo L**, Ma J, et al. Exploring nonnegative and low-rank correlation for noise-resistant spectral clustering[J]. World Wide Web, 2020, 23(3): 2107-2127.   **6.2 项目实施的风险及应对策略**  项目研究的对象源于震后变电站设备快速检测中亟待解决的关键技术难题，属于国家支持的领域，不存在政策风险。本项目充分结合当前无人巡检技术、机器视觉发展前沿，从实际出发，经过深入探讨变电站震后应用场景中所面临的困难提炼而成，具有显著应用研究价值。所涉及的机器视觉、智能检测等技术，项目组前期已经开展过多项相关的科研项目、技术储备充分，具有较强的理论研究、设备平台和工程技术基础，能为本项目新理论与新方法的探索提供重要的借鉴和突破口，能够快速解决本项目具体实践过程当中遇到的该领域特有的问题。因此，本项目的研究内容和技术路线是切实可行的。 |
| 七、项目的年度进度及预期目标 |
| 7.1 项目的年度进度  2022.1～2022.6：对变电站进行实地调研，明确变电站震害损毁检测的主要目标和具体内容。结合相关经验和已有技术，提出技术要求和指标，细化变电站震害损毁智能检测技术方案。  2022.7～2022.12：在仿真环境下对无人机实时避障与导航算法进行验证与改进。在公开数据集上对拟采用的图像复原算法及损毁检测算法进行验证与改进，设计并搭建测试平台。  2023.01～2023.06：对无人机实时避障与导航算法进行实地调试，并使用无人机搭载相机采集变电站图像数据。在变电站数据集上对图像复原和损毁检测算法进行验证。  2023.07～2023.12：对试运行的数据进行分析，将对项目实施过程中所取得的成果和不足进行总结，进一步提炼，将相关设计思路与算法申报专利，并研讨下一阶段的研究计划，准备项目验收。  7.2 **项目的预期目标**  (1)解决局部复杂空间环境下无人机自主路径规划和实时避障、震后变电站场景的单幅无人机图像复原与增强、无人机航拍图像的柱状设备检测和裂纹识别等问题，推动变电站震后损毁检测评估技术的进步，达到国内领先水平，为震后变电站的损智能化检测提供解决方案，助力震后电力系统的抢险救灾；  (2)发表高水平论文3篇；  (3)培养研究生5名。 |

**八、经费概算**（按申报项目目标任务需要据实填报。）

**经费概算总表**

（单位：万元）

1. **经费来源**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 申请项目专项经费 | 自筹经费 | 项目总经费 |
| 20.00 | 0.00 | 20.00 |

1. **经费支出**

|  |  |
| --- | --- |
| **概算科目名称** | **项目专项经费** |
|
| （一）间接费用 | 2.30 |
| 其中：绩效支出 | 0.00 |
| （二）直接费用 | 17.70 |
| 1、设备费 | 2.70 |
| （1）购置设备费 | 2.70 |
| （2）设备试制、改造、租赁费 | 0.00 |
| 2、材料费 | 4.00 |
| 3、测试化验加工费 | 0.00 |
| 4、燃料动力费 | 0.00 |
| 5、差旅费/会议费/国际合作与交流费 | 2.00 |
| 6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费 | 2.00 |
| 7、劳务费 | 6.00 |
| 8、专家咨询费 | 1.00 |
| 9、其他费用 | 0.00 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **九、项目申报单位、合作单位及主要研究人员情况** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 项目名称 | | | | 变电站震害损毁智能检测与评估关键技术研究 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 申 申报单位 | 单位名称 | | | 电子科技大学 | | | | | | | | | 社会信用代码 | | | | 121000004507193117 | | | | | | | | |
| 地址 | | | 成都市高新西区西源大道2006号 | | | | | | | | | 邮编 | | | | | 610054 | | | | | | | |
| 单位类别 | | | 大专院校 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 负责人 | | | 曾勇 | | | | | | | | | 联系部门 | | | | |  | | | | | | | |
| 联系人 | | | 邓盈盈、陈瑶 | | | | 联系人座机 | | |  | | 联系人手机 | | | | | 13880926991 | | | | | | | |
| 职工人数 | | | 3800 人 | | | | 单位性质 | |  | | | 推荐单位 | | | | | | | 四川省科学技术厅 | | | | | |
| 成立时间（限企业填写） | | |  | | | | | | | | | 注册资本（限企业填写） | | | | | | |  | | | | | |
| 上年度资产状况(单位：万元)(限企业填写) | | | 资产总额 | | | | 0.00 | | | | | 负债总额 | | 0.00 | | | | | | | | | | |
| 所有者权益总额 | | | | 0.00 | | | | | 其中流动负债 | | | | | | | | 0.00 | | |
| 税后利润总额 | | | | 0.00 | | | | | 销售收入总额 | | 0.00 | | | | | | | | | | |
| 企业研发(R&D)投入 | | | | 0.00 | | | | | 主营业务收入 | | | | | | | | 0.00 | | |
| 合作单位 | 信用代码 | | | 名称 | | | | | | | | | 在本项目中分工 | | | | | | | | | | 自筹经费 | | |
|  | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | |
|  | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | |
|  | | |  | | | | | | | | |  | | | | | | | | | |  | | |
| 项目负责人 | | | 姓名 | | | 左琳 | | | 性别 | | | | 女 | | | 出生年月 | | | | | 1976.11 | | | | |
| 学历（学位） | | | 博士 | | | 职称 | | | | 教授 | | | 手机 | | | | | 18615709177 | | | | |
| 项目组人数 | | | | 7 | | | | 高级 | | | | 2 | 中级 | 0 | 初级 | | | | 0 | | | 其它 | | 5 |
| 主要研究人员 | | 姓名 | | | 性别 | | 年龄 | 学历 | | | | 职称 | 从事专业 | | 所在单位 | | | | | | | | | | |  |
| 吴云峰 | | | 男 | | 48 | 博士研究生 | | | | 副高 | 电气工程 | | 电子科技大学 | | | | | | | | | | |  |
| 薛志航 | | | 男 | | 34 | 博士研究生 | | | | 其他 | 电气设备可靠性 | | 电子科技大学 | | | | | | | | | | |  |
| 陈中舒 | | | 男 | | 25 | 博士研究生 | | | | 其他 | 工业机器视觉 | | 电子科技大学 | | | | | | | | | | |  |
| 胡建 | | | 男 | | 25 | 硕士 | | | | 其他 | 软件工程 | | 电子科技大学 | | | | | | | | | | |  |
| 罗茂林 | | | 男 | | 25 | 硕士 | | | | 其他 | 电气工程 | | 电子科技大学 | | | | | | | | | | |  |
| 李佳航 | | | 男 | | 25 | 硕士 | | | | 其他 | 软件工程 | | 电子科技大学 | | | | | | | | | | |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **十、审批情况** | | |
| 项 目 申 报 单 位 意 见 | 项 目 合 作 单 位 意 见 | |
| (盖章) | (盖章) | |
| 推荐单位意见 | | |
|  | | |
|  | | (盖章) |

|  |
| --- |
| **十一、申报人承诺** |
| **我保证申报书内容及附件材料的真实性、完整性、准确性。若填报失实、附件失真和违反规定，本人将承担全部责任。**  **项目负责人签字：** |

|  |
| --- |
| **十二、自筹资金承诺** |
| （单位全称）为     （项目名称）提供 万元的自筹资金，资金来源为：单位自有货币资金     特此证明！     申报单位（公章或财务章）：    年  月  日    **备注：**自筹经费是指项目承担单位或合作单位，在项目立项至结题验收的执行期间提供的货币资金；主要用于与项目研究任务完成相关的支出。  本表由提供自筹的单位填写，由多个单位共同提供的，每个法人单位在本表中分别填写、盖章 |