

T/EJCCCSE

团 体 标 准

T/EJCCCSE XXXX-XXXX

基于无人机巡查数据的电网基建设备缺陷 归档方法技术规范

Technical specification for defect filing method of power grid
infrastructure equipment based on drone inspection data

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国商业股份制经济联合会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 技术要求	2
5 归档方法流程	4
6 数据管理与记录	5
7 质量控制	5
8 报告与输出	5
9 培训与人员要求	5
10 安全要求	6

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由湖北科能电力电子有限公司提出。

本文件由中国商业股份制企业经济联合会归口。

本文件起草单位：湖北科能电力电子有限公司、.....。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX.....。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到第4章、第5章与我司公开专利《一种基于无人机巡查数据的电网基建设备缺陷归档方法》的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：湖北科能电力电子有限公司。

专利授权公告号：CN116363536B。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

基于无人机巡查数据的电网基建设备缺陷归档方法技术规范

1 范围

本文件规定了基于无人机巡查数据的电网基建设备缺陷归档方法技术规范的术语和定义、技术要求、归档方法流程、数据管理与记录、质量控制、报告与输出、培训与人员要求、安全要求。

本文件适用于采用无人机巡查对电网基建设备进行缺陷归档的相关工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 26859 电力安全工作规程 电力线路部分
DL/T 1578 架空输电线路无人直升机巡检系统

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人机巡检 drone inspection

以无人机为平台，搭载可见光、红外、紫外等任务传感器对线路本体、附属设施以及线路通道进行巡视和检测。

3.2

实时动态定位 (RTK) real-time dynamic positioning (RTK)

基于载波相位观测值的实时动态定位技术。可实时提供无人机在指定坐标系中的三维定位结果，到厘米级精度。

3.3

正常巡检 normal inspection

根据线路设备和通道环境特点，利用无人机搭载可见光相机针对易覆冰区、山火易发区、树竹速生区、地址灾害区、污秽区等进行的线路巡视。

3.4

故障巡检 fault inspection

线路发生非计划性停运（包括重合闸成功）后，采用无人机搭载可见光相机参与故障调查的巡视形式。

3.5

特殊巡检 special inspection

在特殊情况下（气候剧烈变化、自然灾害、外力影响、异常运行和对电网安全稳定运行有特殊要求时进行）或根据特殊需要，利用无人机搭载不同功能荷载所进行的线路巡视。

3.6

手动巡检 manual inspection

由操作人员通过遥控器直接控制姿态执行模块从而调整无人机飞行，实现对设备本体、附属设施及线路通道进行巡视的巡视形式。

3.7

自主巡检 autonomous inspection

在无人机的起飞、作业飞行和降落整个巡检作业过程中，无需人工手动操作无人机，根据预先设计的巡检航线和作业方案，无人机巡检系统以全自主飞行模式完成巡检作业。

3.8

自主精细巡检 autonomous fine inspection

采用 RTK 技术精确控制无人机机体位置、姿态，可预设航线、作业点、拍摄角度，可自主对输电线路本体设备进行巡检，可复现巡检作业点、拍摄角度。

3.9

样本图像库 sample image library

基于无人机巡查数据构建的，包含设备缺陷样本图像和设备正常样本图像的集合，且分属于不同应用场景。

3.10

应用场景 application scenario

包括导地线及附件场景、杆塔工程场景、塔基础及接地工程场景等。

4 技术要求

4.1 无人机巡查数据采集

应确保采集的巡查数据准确、完整，涵盖电网基建项目的各个区域，无人机巡检作业应符合DL/T 1482的要求。

4.2 样本图像库构建

4.2.1 基于无人机巡查数据构建多个分属于不同应用场景的样本图像库，如：

- a) 导地线及附件场景；
- b) 杆塔工程场景；
- c) 塔基础及接地工程场景等。

4.2.2 样本图像库应包含设备缺陷样本图像、设备正常样本图像。

4.3 细节重建模块

细节重建模块由两个细节信息处理块组成，每个细节信息处理块包括三个膨胀卷积单元和一个通道注意力单元。将图像依次通过各单元进行处理，以增强图像效果，提高图像的细节表现力和清晰度。

4.4 改进 U-Net 模型

采用自校准卷积层代替原 U-Net 模型中的卷积层，并引入空间注意力模块。对增强后的图像进行逐层特征提取，降低特征图维度，捕捉重点特征并对无关特征进行降噪，输出最终特征图。

4.5 算法要求

4.5.1 利用 KNN 算法进行应用场景归档，根据相似度公式计算待检测设备图像与样本图像的相似度，进行相似程度比较，判断是否发出缺陷警告。

4.5.2 相似度计算中，相似程度越高则相似度值越小，相似度根据特定公式计算得到。

4.6 归档效果评价指标体系

4.6.1 归档效果评价指标体系包括准确率、精确度、AUC 指标。

4.6.2 准确率按式（1）计算。

$$\text{准确率} = \frac{\text{TN} + \text{TP}}{\text{TN} + \text{TP} + \text{FN} + \text{FP}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

TP ——真归档正确的图像数量；

TN——真归档错误的图像数量；

FN ——假归档正确的图像数量；

FP ——假归档错误的图像数量。

4.6.3 精确度按式（2）计算。

$$\text{精确度} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \dots\dots\dots (2)$$

4.6.4 AUC 指标按式（3）计算。

$$\text{AUC} = \frac{\sum I(P_1, P_2)}{M \times N}, I(P_1, P_2) = \begin{cases} 1, & P_1 > P_2 \\ 0.5, & P_1 = P_2 \\ 0, & P_1 < P_2 \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

P_1 ——归档正确的概率；

P_2 ——归档错误的概率；

M ——归档正确的图像数量；

N ——归档错误的图像数量。

4.7 相似度计算公式

相似度按式（4）、式（5）计算。

$$D(P||Q) = \sum_{w \in W} P(w) \log \frac{P(w)}{M(w)} + \sum_{w \in W} Q(w) \log \frac{Q(w)}{M(w)} \dots\dots\dots (4)$$

$$M(w) = \frac{P(w) + Q(w)}{2} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$D(P||Q)$ ——待检测设备图像 P 与样本图像 Q 的相似度；

$P(w)$ ——待检测设备图像 P 中第 w 个特征的概率分布；

$Q(w)$ ——样本图像 Q 中第 w 个特征的概率分布；

$M(w)$ ——待检测设备图像 P 中第 w 个特征的概率分布平均值；

W ——所有特征的集合。

5 归档方法流程

5.1 构建样本图像库

基于无人机巡查数据构建样本图像库,包含不同应用场景的设备缺陷样本图像和设备正常样本图像,符合相关要求和实际需求。

5.2 特征提取

5.2.1 细节重建增强图像

5.2.1.1 利用细节重建模块增强图像效果,将图像输入第一个细节信息处理块,其处理结果输入第二个细节信息处理块,得到增强后的图像。

5.2.1.2 细节信息处理块中,将图像输入第一个膨胀卷积单元,其卷积结果依次输入第二个、第三个膨胀卷积单元,最后将第三个膨胀卷积单元的卷积结果输入到通道注意力单元作加权处理,得到处理结果。

5.2.2 改进 U - Net 模型处理

将增强后的图像输入改进 U-Net 模型,利用自校准卷积层提取特征得到特征图,通过池化层降低特征维度,利用空间注意力模块捕捉重点特征并降噪,输出最终特征图。

最终特征图按式(6)、式(7)计算得到。

$$F_k = M_k(F) \otimes F \dots\dots\dots (6)$$

$$M_k(F) = \delta\{F_{N \times M}[\text{avgP}(F), \text{maxP}(F)]\} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

F_k ——输出的最终特征图;

$M_k(F)$ ——空间注意力运算;

\otimes ——点乘;

δ ——ReLU 激活函数;

F ——输入至空间注意力模块的特征图;

$F_{N \times M}$ —— $N \times M$ 的卷积;

$\text{avgP}(F)$ ——全局平均池化;

$\text{maxP}(F)$ ——全局最大池化。

5.3 应用场景归档操作

基于提取的图像特征利用 KNN 算法对待检测设备图像进行应用场景归档,输出归档结果。

5.4 归档效果评估与调整

构建归档效果评价指标体系,计算归档结果的各指标值,判断是否均达到预期值。若未达到,将提取的图像特征输入 SVM 分类器再次进行分类归档,输出归档结果。

5.5 相似度计算过程

基于最终特征图计算待检测设备图像与所属应用场景对应样本数据库中每个样本图像的相似度。

5.6 缺陷判断与预警

5.6.1 根据相似度进行相似程度比较,相似程度越高则表示相似度值越小。

5.6.2 若待检测设备图像与设备缺陷样本图像的相似程度高于与设备正常样本图像的相似程度，则发出缺陷警告，协助施工单位按照典型施工流程与施工规范进行施工，实现日常巡查过程管控分析，提高巡查过程管控水平。

6 数据管理与记录

6.1 对采集的无人机巡查数据、构建的样本图像库、特征提取结果、归档结果等进行有效的管理和记录，确保数据的安全性、完整性和可追溯性。

6.2 数据应按照规定进行分类、存储和备份，以便后续查询和分析。

6.3 记录应是至少包括：

- a) 数据采集的时间、地点；
- b) 无人机型号；
- c) 操作人员信息；
- d) 特征提取和归档的过程和结果等。

7 质量控制

7.1 制定质量控制措施，包括对无人机设备的校准、数据采集过程的监控、特征提取和归档算法的验证等，以保证技术规范的有效实施和结果的准确性。

7.2 定期对无人机设备进行校准和维护，确保其性能稳定可靠。

7.3 在数据采集过程中，监控无人机的飞行状态、拍摄质量等，确保采集到的数据符合要求。

7.4 对特征提取和归档算法进行定期验证和优化，以适应不同的电网基建设备和环境条件。

7.5 宜建立质量审核机制，对归档结果进行审核和评估，及时发现和纠正可能存在的问题。

8 报告与输出

8.1 明确缺陷归档结果的报告形式和内容，包括但不限于：

- a) 归档结果；
- b) 相似程度比较结果；
- c) 各归档效果评价指标值等信息的呈现方式和要求。

8.2 报告应清晰、准确地反映电网基建设备的缺陷情况，为后续的维修和管理提供可靠的依据。

8.3 报告可采用纸质或电子形式，内容应至少包括：

- a) 设备的基本信息；
- b) 缺陷的描述和位置；
- c) 缺陷的严重程度评估、建议的处理措施等。

8.4 报告应具备可追溯性，能够与原始数据和处理过程相对应。

8.5 在输出归档结果时，应确保数据的准确性和完整性，避免信息丢失或错误。

8.6 宜根据需要提供相关的图像、图表等辅助信息，以便更直观地展示缺陷情况和分析结果。

9 培训与人员要求

- 9.1 从事基于无人机巡查数据的电网基建设备缺陷归档工作的人员应具备相应的专业知识和技能。
- 9.2 相关人员应接受过无人机操作、图像处理、数据分析等方面的培训，熟悉本文件的要求和操作流程。
- 9.3 培训内容应包括无人机的基本原理、操作方法、安全注意事项，以及特征提取和归档算法的原理和应用等。
- 9.4 人员应具备良好的责任心和安全意识，能够严格按照规范进行操作，确保工作的质量和安全。

10 安全要求

- 10.1 在操作过程中，应严格遵守 GB 26859 的安全规定，确保人员和设备的安全。
 - 10.2 在无人机巡检作业时，应注意飞行环境的安全，避免无人机与障碍物碰撞或进入危险区域。
 - 10.3 对于数据的传输、存储和处理，应采取适当的安全措施，防止数据泄露或被篡改。
-