

[开关设备]

基于最小二乘支持向量机的高压隔离开关分合状态检测方法

文/吴希¹ 王澄博²

1. 陕西思极科技有限公司; 2. 西安特种设备检验检测院

常规的高压隔离开关分合状态检测方法主要使用Canny\Hough边缘中心获取检测差异性图像, 易受运行描述表现动态变化影响, 导致检测评价指标不佳, 因此提出一种基于最小二乘支持向量机的高压隔离开关分合状态检测方法。实验结果表明设计的方法检测效果较好, 有一定的应用价值。

高压隔离开关是一种常见的电器开关, 具有丰富的运行功能, 其一, 可以隔离电源, 保证检修工作的有效执行; 其二, 可以完成倒闸操作, 切换线路母线; 其三, 可以进行小电流操作^[1], 切断小电流电路, 满足回路互感要求。研究表明, 高压隔离开关无灭弧装置, 无法在强大电弧切换操作中应用, 除此之外, 其触头暴露在空气中, 分合状态呈动态改变^[2]。常见的高压隔离开关包括多个类型, 例如单极、三极; 单柱、双柱、三柱等, 广泛应用在不同的供配电场景中, 因此, 为了有效完成电路连通与隔断操作^[3], 需要对高压隔离开关分合状态进行检测。

事实上, 高压隔离开关分合状态检测具有一定的多样性, 不仅可以通过开关柄的位置进行判断, 还可以进行电压检测^[4], 确定操作杆位置。除此之外, 在检测过程中可以利用红外测温、计算机视觉等先进的技术, 整体检测严格性要求较高。相关研究人员针对高压隔离开关运行状态设计几种常规的高压隔离开关分合状态检测方法。基于图像融合的高压隔离开关分合状态检测方法利用非下采样剪切波变换完成检测融合^[5], 提高融合识别的实时性, 但该方法涉及大量复杂计算步骤, 执行难度较高; 基于深度学习的高压隔离开关分合状态检测方法构

建了高收敛性检测函数^[6], 完成轻量化处理, 提高检测均值, 但该方法存在一定的检测风险, 不符合目前的检测要求, 因此, 本文基于最小二乘支持向量机设计一种有效的高压隔离开关分合状态检测方法。

隔离开关最小二乘支持向量机分合状态检测方法设计

1. 基于最小二乘支持向量机提取分合状态检测特征

最小二乘支持向量机可以优化原始约束条件与约束目标, 降低状态检测风险, 因此, 本文基于最小二乘支持向量机提取高压隔离开关分合状态检测特征。首先需要确定待检测目标位置^[7], 判定其视角变化状态, 生成SVM目标分类器, 计算此时的检测局部区域梯度, 生成的目标检测集合为

$$X = \{x_i, y_i\}, i = 1, 2, 3, \dots, l \quad (1)$$

式中, x_i, y_i 为检测样本在待检测空间的位置; l 为检测样本数量^[8]。

受检测空间的归一化像素连接作用影响, 可能存在特征向量维度变化问题, 可以进行梯度方向量化, 按照检测图像差异性处理步骤完成归一化处理, 处理式为

$$v = v_0 / \sqrt{\|v_0\|^2 + \varepsilon} \quad (2)$$

式中, v_0 代表归一化检测范数; ε 代表检测常数。

提取的状态检测特征具有一定的描述特性, 可以利用最小二乘支持向量机获取检测平衡点^[9], 示意图如图1所示。

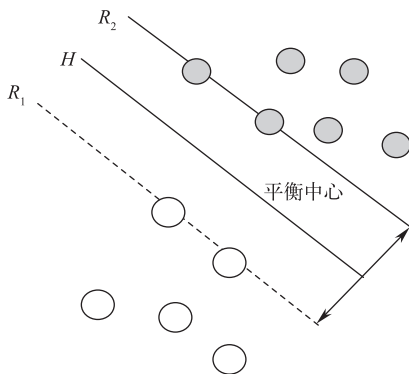


图1 最小二乘支持向量机平衡点

由图1可知, 在特征提取过程中获取的数据样本来自多个数据源, 为了保证数据的可靠性, 需要进行数据清洗处理, 去除异常数据值^[10], 完成特征选择。

在特征提取阶段, 可以通过其内部的核函数映射进行参数优化过程, 间接地完成特征降维。即利用核函数将数据映射到高维特征空间, 对原始数据进行了某种形式的特征变换, 得到的特征提取式为

$$M_w = W_i \cdot k(\varphi) + R(m, n) \quad (3)$$

式中, W_i 代表特征权重; $k(\varphi)$ 代表有限特征阈值; $R(m, n)$ 代表异常检测特征阈值。

变换完成后, 可以判断数据中的隐藏结构, 使用PCA对数据进行降维去噪, 将降维后的数据输入到LSSVM中进行分类回归, 去除数据中的冗余信噪声, 提高特征提取的准确性。在降维的同时还需要考虑自变量和因变量之间的关系, 实时完成特征提取回归任务, 进一步提高分合状态检测的准确性。

2. 设计高压隔离开关分合状态检测算法

在高压隔离开关分合状态检测特征提取网络中, 为提高检测实时性能, 需要设计有效的状态检测算法。本文采用下采样平均池化操作法处理检测损失信息, 进行独立特征采样。针对宽高信息维度, 可以进行残差组件调整, 与主干边结合, 降低梯度消失风险, 基于此, 可以得到分合状态检测算法的聚类流程, 如图2所示。

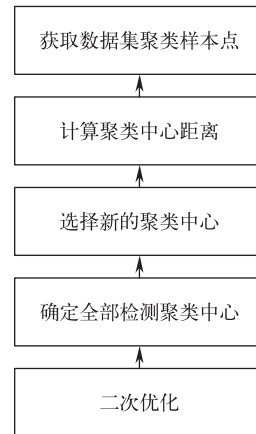


图2 高压隔离开关分合状态检测算法聚类流程

由图2可知, 此时可以根据上述获取的特征进行状态检测求解, 求解式为

$$f(b) = \min L(\omega) \cdot \|\omega\|^2 \quad (4)$$

式中, $L(\omega)$ 为检测惩罚系数; ω 为检测基础变量。

设计的算法可以从预处理后的数据中提取与隔离开关分合状态相关的属性权重。完成轮廓直线形态变换, 进而计算轮廓夹角, 再对提取的特征进行分类或回归, 识别隔离开关的分合状态, 设计的分合状态检测算法为

$$SituAwar = \sum_{k=1}^n Sit \times W_i \quad (5)$$

式中, Sit 为检测节点模糊参量; W_i 为异常分合状态常数。

利用上述算法可以将识别结果以可视化的方式展示给用户, 如显示隔离开关的分合状态图标或文本信息。如果识别结果与预期不符, 则提供反馈机制供用户进一步检查和确认, 最大程度上提高隔离开关分合状态的综合检测性能。

实验

为验证设计的基于最小二乘支持向量机的高压隔离开关分合状态检测方法的检测效果, 本文选取有效的实验指标, 将其与基于图像融合的高压隔离开关分合状态检测方法, 以及基于深度学习的高压隔离开关分合状态检测方法对比, 进行了实验。

1. 实验准备

根据高压隔离开关分合状态检测实验要求, 本文选取VS2015作为实验平台, 通过OpenCV进行实验开发, 此时的运行CPU为i7 3.1 GHz, 使用C++

语言完成编写，通过UNI258红外热像仪采集实验图像，完成NSST实验融合分解，构建的实验平台结构如图3所示。

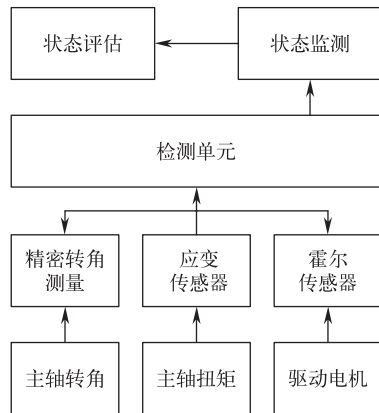


图3 实验平台结构

由图3可知，上述实验平台主要由传感中心、检测单元等组成，可以实时进行状态评估分析，实现A/D转换与数据高准确度处理。检测单元箱体尺寸为150 mm×120 mm×50 mm，利用TMS数据处理器进行扭矩测量。

根据高压隔离开关运行状态，本文选取Q检测信息保持度、IE检测信息熵、MI检测互信息、VSI检测视觉显著性及STD检测标准差作为实验指标，计算式为

$$Q = \frac{\sum \sum (Q_A(i, j) \cdot \omega(i, j))}{\sum \sum Q_A(i, j) + \omega(i, j)} \quad (6)$$

$$IE = -\sum p_i \log p_i \quad (7)$$

$$MI = MI_A + MI_B \quad (8)$$

$$VSI = \frac{\sum S_m(x) \cdot [S_G(x)] \cdot [S_c(x)]}{\sum S_v(x)} \quad (9)$$

$$STD = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum \sum F(i, j) - \bar{F}} \quad (10)$$

式中， $Q_A(i, j)$ 为原始检测图像像素点强度； $\omega(i, j)$ 为原始检测图像像素点方向值； p_i 为检测图像灰度概率； MI_A 为红外图像检测信息交集； MI_B 为可见光图像检测信息交集； $S_m(x)$ 为检测图像融合权重； $S_G(x)$ 为检测图像的初级对比度； $S_c(x)$ 为检测图像的融合对比度； $S_v(x)$ 为检测图像的像素空间指标； M 、 N 分别为不同的图像的边缘检测点； $F(i, j)$ 为相似度权值； $\bar{F}$ 为检测融合质量系数。其中Q检测信息保持度、IE检测信息熵、MI检测互信息、VSI检测视觉

显著性、STD检测标准差越高证明分合状态检测方法的检测效果越好，反之则证明分合状态检测方法的检测效果一般。

2. 实验结果与讨论

结合上述的实验准备，可以进行高压隔离开关分合状态检测实验，即设置有效的NSST分解层数，进行检测高频子带融合，在满足相似度阈值需求的基础上调整融合加权重，进行垂直投影处理，此时分别使用本文设计的基于最小二乘支持向量机的高压隔离开关分合状态检测方法，基于图像融合的高压隔离开关分合状态检测方法，以及基于深度学习的高压隔离开关分合状态检测方法进行检测，使用式（6）～（10）计算三种方法在不同检测编号下的Q检测信息保持度、IE检测信息熵、MI检测互信息、VSI检测视觉显著性和STD检测标准差，得到的实验结果见表1。

表1 实验结果

方法	编号	Q	IE	MI	VSI	STD
本文的基于最小二乘支持向量机的高压隔离开关分合状态检测方法	A01	9.525	6.532	-1.15e	10235	35.585
	B02	9.944	6.865	-1.41e	10574	36.458
	C03	9.858	6.496	-1.85e	10141	35.594
	D04	9.484	6.259	-1.23e	10253	34.285
	E05	9.541	6.448	-1.65e	10265	35.462
	F06	9.442	6.655	-1.84e	10846	32.533
基于图像融合的高压隔离开关分合状态检测方法	A01	6.215	3.224	-6.51e	9552	16.256
	B02	6.212	3.366	-5.11e	9486	15.344
	C03	7.453	3.652	-7.27e	8245	24.687
	D04	6.596	2.843	-5.35e	7653	12.848
	E05	7.889	3.826	-6.87e	8325	23.655
	F06	7.668	3.575	-5.15e	9538	16.822
基于深度学习的高压隔离开关分合状态检测方法	A01	6.335	4.684	-4.27e	9464	22.733
	B02	5.954	5.258	-5.55e	8598	12.566
	C03	5.846	3.425	-4.36e	8484	11.287
	D04	6.662	3.762	-5.84e	7255	27.448
	E05	7.525	5.896	-6.96e	8361	28.855
	F06	5.267	4.487	-2.24e	8542	15.264

由表1可知，基于最小二乘支持向量机的方法在多数指标上表现出较高的数值，尤其是在Q（和VSI）方面，显示出了良好的检测效果，在保持检测信息、视觉显著性检测上均具有较好的性能。基于图像融合的方法在部分指标上表现中等，但在STD上相对较低，可能表明其检测结果的稳定性不足。IE和MI的数值普遍较低，可能限制了其在信息量方面的评估基于深度学习的方法在IE和STD方面表现较

为突出，但在 Q 和 VSI 上相对其他方法有所不足，由此可知，本文设计的高压隔离开关分合状态检测方法具有明显优势，有一定的应用价值。

结束语

综上所述，全球智能电网飞速发展背景下，我国的智能变电站建设规模越来越大，电力需求越来越高。高压隔离开关是电力输配的重要设备，对执行电网倒闸、隔离等操作十分重要。受复杂的电力设备组成影响，高压隔离开关的分合状态始终在发生动态改变，容易引发电力机械故障，导致相关的运行事故。常规的检测方法受机械指标影响较大，难以满足目前的电网运行要求，因此，本文基于最小二乘支持向量机设计了一种有效的高压隔离开关分合状态检测方法。进行实验，结果表明，设计的状态检测方法的检测效果较好，检测指标均较高，具有可靠性，有一定的应用价值，为减少不必要的停电检修次数，降低运维成本，提高经济效益作出了一定的贡献。EA

(收稿日期：2024-08-20)

参考文献

- [1] 郝建，刘清松，彭华东，等. GIS三工位开关典型机械缺陷的特征量差异分析及辨识方法[J]. 高电压技术，2024，50(6)：2567-2579.
- [2] 王旭鹏，郝建，钟尧，等. 基于ILPSO-LSSVM的GIS设备隔离开关机械异响振动识别方法研究[J]. 高压电器，2023，59(11)：172-183.
- [3] 孙德洲，张全元，董占翔，等. 220kV线路空载合闸工频电压升高、母线侧隔离开关A相接地故障分析[J]. 农村电气化，2024(5)：46-52.
- [4] 施首健，陈文通，杨欢红，等. 基于PDEM的台风作用下柱式隔离开关随机可靠性及失效风险分析[J]. 机械强度，2024，46(2)：364-370.
- [5] 张靖，单长吉，周丽，等. 基于图像融合的高压隔离开关分合闸状态识别[J]. 红外技术，2024，46(5)：539-547.
- [6] 杜耀文，谢静，刘志坚，等. 基于深度学习的高压隔离开关分合状态检测算法研究[J]. 电力系统保护与控制，2023，51(19)：114-123.
- [7] 常波，张启哲，王胜辉，等. 动车组车顶隔离开关用支柱绝缘子污秽状态下的电场分布特性研究[J]. 电测与仪表，2024，61(4)：81-85.
- [8] 庄小亮，李乾坤，秦秉东，等. 基于MFCC和随机森林的GIS动作声纹特征辨识和操作机构异常分类[J]. 电机与控制应用，2024，51(3)：10-20.
- [9] 李旭，郝建，李滢，等. 变频电流激励下GIS隔离开关机械缺陷的振动非线性行为及其辨识方法[J]. 高电压技术，2024，50(2)：579-589.
- [10] 吴细秀，李园芳，杨馨，等. SF_6/N_2 介质条件下GIS隔离开关操作动态击穿特性研究及其操作过电压的计算[J]. 电网技术，2024，48(4)：1742-1755.

