

# 基于混合高斯模型的架空输电线路绝缘子缺陷检测

叶攀 卢波 刘卓 许晨

国网黄石供电公司

**摘要:** 现有的检测方法平均精度值低, 针对不同类型绝缘子的检测性能差, 为此研究基于混合高斯模型的架空输电线路绝缘子缺陷检测。建立高斯混合模型, 计算混合模型的概率密度函数。运用贝利叶斯估计方法在小波中的不同方向中进行去噪, 得到测试绝缘子图像不同分解层数图像。运用HOG变换方法将多维特征映射到低维中, 通过梯度直方图来描述绝缘子形状信息, 对绝缘子特征进行提取。将特征层聚合成多级特征金字塔, 设计损失函数反映模型中缺陷与实际值之间的误差, 利用图像变换结构进行图像映射与融合完成绝缘子缺陷检测。实验结果表明, 实验组的平均精度值为97.3%, 针对复合型绝缘子和玻璃型绝缘子的TF1结果在96.8%~98.3%之间, 符合预期范围, 提升了算法的性能, 达到了良好的检测效果。

**关键词:** 混合高斯模型; 架空输电线路; 绝缘子; 缺陷; 检测

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2023.08.209

## 引言

随着现代化社会的飞速发展, 架空输电线路的绝缘子在输电线路的运行过程中经常会出现缺陷。这些缺陷可能由于环境因素的影响而产生, 它们对电力系统的稳定性和安全性有着直接的影响, 从而能改变输电线路的运行状态。因此, 电力设备的正常运行问题受到了广泛的关注。通过设计多种绝缘子检测的方法来采集输电线路中的异常数据, 并且对数据进行处理与分析, 从而实现绝缘子的自动检测与分类<sup>[1]</sup>。在自动检测技术中, 通过使用高分辨率的摄像头来采集绝缘子图表数据, 并运用计算机图像进行识别, 通过识别准确标记绝缘子表面的缺陷, 并有针对性地进行修复, 这样能够促进电力资源合理分配与维护。通过准确识别架空输电线路的异常特征, 提升整个电力系统的稳定性。同时, 对输电线路的故障区域中的振动信号进行整合, 提高输电线路的运行可靠性, 保障输电线路的正常运行, 对于电力设备的维护具有重要作用。由于传统检测方法主要依靠人工巡检, 在检查过程中会产生较大误差, 使得分析过程中受到干扰, 方法效率低下。同时, 还受限于检测人员的技能水平, 检测过程中的全面性无法得到保证。这样会引起跳闸等问题, 严重时还会发生事故, 给检测工作带来不好的影响。导致结果难以符合预期<sup>[2]</sup>。因此现阶段, 以架空输电线路绝缘子缺陷检测为研究对象, 运用混合高斯模型, 结合实际情况进行实验与分析。

## 一、架空输电线路绝缘子缺陷检测

### 1. 混合高斯模型的绝缘子红外图像处理

建立高斯混合模型, 通过对多个高斯密度函数加权

来平滑地近似任意形状的密度分布<sup>[3]</sup>。设定小波系数数量为 $m$ , 这些小波系数来自不同概率密度分布。得到混合模型的概率密度函数为:

$$f(r) = \sum_{m=1}^k p f(r|\theta) \quad (1)$$

公式中:  $p$  为混合权值, 在此过程中需要满足

$\sum_{m=1}^k p = 1$ ;  $\theta$  为分布集参数。为了使得分布概率函数

与实际样本的分布相同, 运用高斯混合分布拟合函数, 经过傅里叶变换后, 估算稳定分布概率函数的值, 从而得到新的概率密度函数。这样就能够运用高斯混合模型拟合对称稳定分布对架空输电线路中的绝缘子红外图像在小波中的高频系数进行建模。运用贝利叶斯估计方法在小波中的不同方向中进行去噪<sup>[4]</sup>。根据观察图像的噪声概率密度函数, 设定噪声方差的估计值为 $\gamma$ 。通过概率统计知识得到无噪图像的概率密度函数为  $p_t = \sum p\theta(p_t)$ , 令高斯分量的取值为 $k$ , 则运用贝利叶斯估计方法进行去噪的公式为:

$$q = \frac{p(p_t|k) \cdot p(k)}{p(p_t)} \quad (2)$$

公式中:  $p_t$  为无噪图像的概率密度函数;  $k$  为高斯分量。通过估计无噪图像的小波系数, 并将其进行变换后能够得到去噪后的测试绝缘子图像不同分解层数图像。

### 2. 提取图像中绝缘子特征

将图像划分成 $n$ 个邻域, 统计邻域中的梯度直方图, 根据图像的边缘走向来确定目标形状与位置<sup>[5]</sup>。运

用HOG变换方法对绝缘子特征进行提取，将多维特征映射到低维中。其映射方向的选取公式为：

$$s = \frac{1}{n \sum_{i=1}^n w} \sum w f(x) \quad (3)$$

公式中： $w$ 为权重； $f(x)$ 为特征向量； $s$ 为样本加权协方差矩阵。先统计图像中所有像素点的梯度值，并计算检测窗口中的特征向量。初始化样本集的权值，构成HOG特征集，结合HOG具有良好的关联性特征，对样本图像进行训练，下图为可变块大小的HOG特征提取过程图：

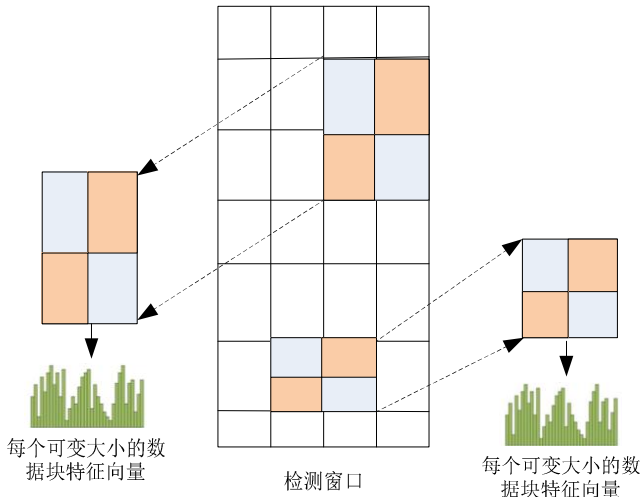


图1 可变块的特征提取过程

通过梯度直方图来描述绝缘子形状信息，降低复杂背景度，减少冗余计算，实现共同绝缘子特征提取。

### 3. 架空输电线路绝缘子缺陷检测

利用了混合高斯模型对输电线路视频背景的建模，比较视频帧与背景模型，检测出前景目标。从大量的像素点集合中选取绝缘子主体区域，将绝缘子特征识别后，设置边界区域为  $X1$ 、 $X2$ 、 $X3$ 、 $X4$ 。对于绝缘子图像中的任意一点  $(x, y)$ ，需要将特征层聚合成多级特征金字塔<sup>[6]</sup>。其聚合过程可以表示为：

$$X = [X1, X2, \dots, Xi] \quad (4)$$

公式中： $Xi$ 为不同层级中尺度堆叠后的特征层。需要根据多个尺度来对有效特征层进行注意力调整，从而得到各个通道中的最优权重值。在所有通道特征进行加权后，使得不同特征都会在操作下得到增强或者削弱。同时，根据聚合后特征结果，设计损失函数，其定义为：

$$t(x, y) = - \sum_{k=0}^c x \log(f(y)) \quad (5)$$

公式中： $f(y)$ 为检测值； $x$ 为样本真实值。通过损失函数来反映模型中缺陷与实际值之间的误差，当误差为0时，表示没有发生缺陷；当误差大于实际值时，表示发生缺陷<sup>[7]</sup>。利用图像变换结构进行图像的映射与融合，进行特征点匹配，从而完成绝缘子缺陷检测。这样运用损失函数来对绝缘子缺陷进行检测，能够适用于不同场景中，提升了模型的鲁棒性。

## 二、实验测试与分析

### 1. 搭建实验环境

搭建实验所需环境，其CPU为Intel i7四核处理器，内存为32G RAM。操作系统为windows11，编程语言为java。通过TensorFlow环境进行训练，设置初始学习率为0.001，迭代次数为350次，动量为0.3。采集多条高压输电线路中的绝缘子图像，通过数据增强技术对图像进行处理，并将处理后的图像进行训练。增强的方式如下表所示：

表1 图像数据增强标准

增强方式	参数设计
椒盐噪声	密度0.05
高斯噪声	方差0.01
图像翻转	镜像
敏感变换	25%、75%

采集线路上不同环境下的多种类型、尺度的绝缘子图片，并对图像进行标注，建成绝缘子样本库。为了验证本文检测方法的性能，需要计算检测算法的平均精度值。计算平均精度值的公式为：

$$AP = \sum (R - RI)P \quad (1)$$

公式中： $R$ 为调和平均数； $P$ 为精确度结果。随机选取一定数量的在可见光下拍摄的绝缘子图片进行实验测试。

### 2. 结果与分析

为了验证本文方法的可行性，随机对绝缘子图像进行测试。实验中设置四个小组，其中运用本文方法的小组为实验组，运用传统方法的小组为对照1-3组。在相同场景下，运用不同检测方法对测试集进行检测后，得到检测正确检测数量具体如下图所示：

由图中结果可以看出，不同方法检测出的正确绝缘子样本数量有所不同。通过上述公式对各个小组的平均精度值进行计算，得到的结果为：实验组的平均精度值为97.3%，对照1组的平均精度值为75.4%，对照2组的平

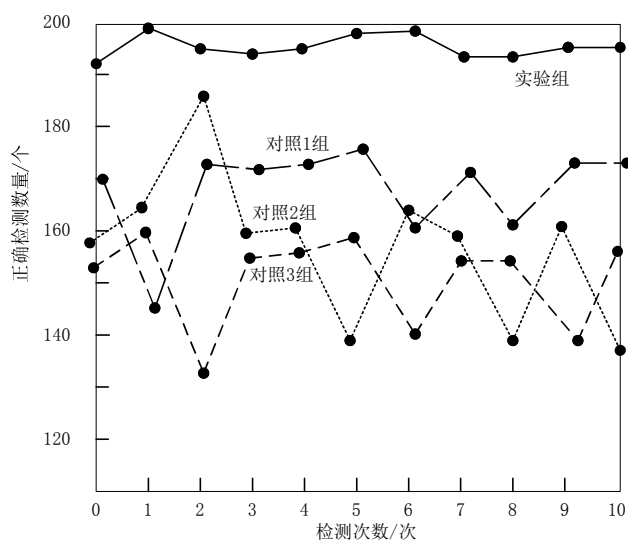


图2 同一场景下不同算法检测效果对比

均精度值为66.1%，对照3组的平均精度值为62.5%。通过比较各个小组的平均精度值发现，实验组的平均精度最高，说明运用本文方法在检测精度方面能够显著提升检测准确性，能够有效识别绝缘子。为了验证本文检测方法在检测识别过程中的优劣性，需要运用本文检测方法对不同类型的绝缘子进行检测，得到在10次检测过程中具体的检测性能结果（预期目标为95%以上能够达到算法最优效果），用TF1表示所有类F1值的平均数。具体检测性能结果如下表所示：

表2 检测性能结果对比

实验次数/次	复合型绝缘子TF1/%	玻璃型绝缘子TF1/%
第1次	97.6	97.1
第2次	97.3	97.1
第3次	96.8	97.1
第4次	96.4	97.2
第5次	97.3	97.1
第6次	97.2	97.1
第7次	96.5	97.1
第8次	97.3	97.2
第9次	98.0	97.3
第10次	98.3	97.1

由表中数据可知，经过10次实验后，针对复合型绝缘子和玻璃型绝缘子的TF1结果在96.8%~98.3%之间，符合预期范围，达到了良好的检测效果，使得算法能够更加精准，提升了算法的性能，增强了在不同尺度与遮挡环境下，本文检测方法对于绝缘子的识别与检测能力。

综上所述，运用本文检测方法针对绝缘子的尺度变化影响，具有较好的鲁棒性，增加了检测方法的识别准

确度，实现了本文方法的良好应用。

### 三、结束语

此次从架空输电线路绝缘子缺陷检测入手，运用混合高斯模型方式，研究了基于混合高斯模型的架空输电线路绝缘子缺陷检测及其应用成果。通过不断改进算法，实现对绝缘子缺陷的检测优化。但方法中还存在一些不足之处，例如背景像素的颜色问题，边缘检测问题，纹理分析问题。今后应更加完善算法，通过识别绝缘子缺陷，对输电线路运行中的缺陷进行定位，根据缺陷的类型制定修复计划，保证输电线路的安全运行。本文方法通过建立混合高斯模型，在架空输电线路绝缘子缺陷检测过程中提升了检测的准确性和实时性。并且通过对方法中的检测参数进行学习调整，以适应不同环境和不同类型的缺陷。

### 参考文献

- [1] 李斌, 曾筠婷, 朱新山等. 基于多尺度上下文感知的绝缘子缺陷检测网络[J]. 高电压技术, 2022, 48(08): 2905-2914.
- [2] 刘行谋, 田浩, 杨永明等. 复杂环境背景下绝缘子缺陷图像检测方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2022, 36(02): 57-67.
- [3] 杨永娇, 唐亮亮, 郑勇. 改进全卷积网络优化绝缘子缺陷检测[J]. 机械设计与制造, 2021(03): 177-180.
- [4] 汪权, 易本顺. 基于Gaussian YOLOv3的航拍图像绝缘子缺陷识别[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(12): 254-260.
- [5] 李斌, 屈璐瑶, 朱新山等. 基于多尺度特征融合的绝缘子缺陷检测[J]. 电工技术学报, 2023, 38(01): 60-70.
- [6] 高伟, 周宸, 郭谋发. 基于改进YOLOv4及SR-GAN的绝缘子缺陷辨识研究[J]. 电机与控制学报, 2021, 25(11): 93-104.
- [7] 刘逸凡, 王淑青, 庆毅辉等. 基于EfficientDet和双目摄像头的绝缘子缺陷检测[J]. 中国电力, 2021, 54(02): 156-163+196.

作者简介：叶攀（出生1987年4月8日），性别男；籍贯湖北省鄂州人；民族汉；学历 大学本科；职称 工程师；职务 国网黄石供电公司安监部专责；研究方向：电气工程及其自动化；单位 国网黄石供电公司。