

# 基于机器视觉的低压线路运行状态在线监测方法

冯仁强

扬州三新供电服务有限公司江都分公司

**摘要:** 常规的线路运行状态监测方法以模拟导线的模型监测为主, 受到环境因素的影响, 监测数据可能存在一定的误差, 影响线路状态监测效果。因此, 设计了基于机器视觉的低压线路运行状态在线监测方法。提取低压线路运行状态特征, 将线路负载特征、供电半径与负荷矩进行等效变换, 判断出低压线路的正常/异常状态。基于机器视觉监测低压线路三相负荷不平衡状态, 将单相线路引出的负荷等效为原线路相同的负荷, 从而对三相低压线路进行集中化监测。采用对比实验, 验证了该方法的监测效果更佳, 能够应用于实际生活中。

**关键词:** 机器视觉; 低压线路; 运行状态; 在线监测方法

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2023.08.073

## A Machine Vision Based Online Monitoring Method for Low Voltage Line Operation Status

**Abstract:** Conventional methods for monitoring the operation status of transmission lines mainly rely on model monitoring of simulated wires. Due to environmental factors, there may be some errors in the monitoring data, which may affect the effectiveness of line status monitoring. Therefore, a machine vision based online monitoring method for the operation status of low-voltage lines has been designed. Extract the operating status characteristics of low-voltage lines, and perform equivalent transformations on line load characteristics, power supply radius, and load moment to determine the normal/abnormal status of low-voltage lines. Based on machine vision monitoring of three-phase load imbalance in low-voltage lines, the load from single-phase lines is equivalent to the same load as the original line, thus centralized monitoring of three-phase low-voltage lines is carried out. Through comparative experiments, it was verified that the monitoring effect of this method is better and can be applied in practical life.

**Keywords:** machine vision; Low voltage lines; Operating status; Online monitoring methods

### 引言

现代电力系统中的电力设备种类较为复杂, 网络中的谐波干扰较为严重, 进行线路运行状态监测的过程中, 很容易受到谐波干扰出现监测误差的问题。针对此类问题, 研究人员设计了多种监测方法。其中, 基于激光测距的低压线路运行状态监测方法, 与基于防覆冰闪络的低压线路运行状态监测方法的应用较为广泛。

基于激光测距的低压线路运行状态监测方法, 主要是利用激光雷达, 将低压线路上的异常状态进行测距, 并将数据存储在4G通信模块中, 通过控制激光雷达的旋转角度, 获取不同角度的低压线路对地距离, 并将相关数据传输到在线监测上位机中, 从而获得对应角度的低压线路运行状态<sup>[1]</sup>。基于防覆冰闪络的低压线路运行状态监测方法, 主要是针对覆冰闪络的问题, 设计监测算法。通过分析监测节点的风力因素, 将线路的运行状态进行分析。根据电力网络的监测经验, 增加或减少线路的电力负荷, 从而获取线路的负荷状态<sup>[2]</sup>。以上两种

方法均能够对低压线路运行状态进行监测, 但是受到线路负荷变化、谐波变化的影响, 监测结果存在明显的误差<sup>[3]</sup>。因此, 本文结合机器视觉的优势, 设计了低压线路运行状态在线监测方法。

### 一、低压线路运行状态的机器视觉在线监测方法设计

#### (一) 提取低压线路运行状态特征

本文将低压线路的负载特征、供电半径与负荷矩进行等效变换, 由此判断出低压线路的正常/异常状态。低压线路运行负荷与周围环境的变化, 均会限制线路的监测效果<sup>[4]</sup>。影响线路运行状态的因素包括导线应力、传输容量、大气温度、风速、导线覆冰等, 将影响因素均考虑在内之后, 对线路负载率进行计算, 公式如下:

$$V = \frac{W}{S_c \cos \alpha T} \quad (1)$$

式(1)中,  $V$ 为低压线路的负载特征;  $W$ 为时间段 $T$ 的线路供电量;  $S_c$ 为线路额定容量;  $\cos \alpha$ 为功率

因数。根据  $V$  的变化情况，将低压线路到其他供电用户之间的线路距离，作为供电半径<sup>[5]</sup>。在同一电压等级下，负荷矩等效变换情况如下图1所示。

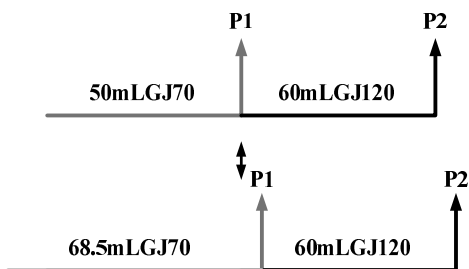


图1 负荷矩等效变换示意图

如图1所示，50mLGJ70与60mLGJ120为50m与60m的混接线路。负荷矩变换特征如下：

$$V_f = \sum_{i=1}^n V \beta_i P_i L_i \quad (2)$$

式(2)中， $V_f$ 为负荷矩变换特征； $\beta_i$ 为线路*i*变换到LGJ120线路的换算系数； $P_i$ 为线路*i*承载的负荷； $L_i$ 为线路*i*的长度； $n$ 为低压线路总数量。低压线路中负荷的总和就是负荷矩，其控制供电负荷与供电距离<sup>[6]</sup>。当实际负荷矩超出负荷矩允许范围，则判定为异常低电压运行状态。

(二) 基于机器视觉监测低压线路三相负荷不平衡状态

在低压线路运行的过程中，存在过负荷、谐波干扰、三相负载不平衡等电气火灾因素，影响线路的正常运行。本文将单相线路引出的负荷等效为原线路相同的负荷，从而对三相低压线路进行集中化监测。在机器视觉下，摄像机坐标系与世界坐标系的关系如下图2所示。

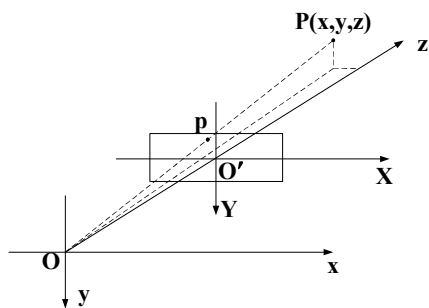


图2 摄像机坐标系与世界坐标系

如图2所示，本文将摄像机光轴与低压线路图像平面的角点定义为原点 $O'$ ，与X轴、Y轴分别与世界坐标系的x轴、y轴平行。坐标原点 $O$ 与 $O'$ 的距离设定为 $f$ ，坐标值为 $P(x, y, z)$ 。对于一般机器视觉，一阶径向畸变描述为：

$$\begin{cases} \delta_x = (X - u_0)k_1 r^2 \\ \delta_y = (Y - v_0)k_1 r^2 \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中， $\delta_x$ 为X轴方向的畸变值； $\delta_y$ 为Y轴方向的畸变值； $u_0, v_0$ 为像素坐标； $k_1$ 为非线性畸变参数； $r$ 为径向畸变。低压线路的运行状态主要是发现线路的缺陷，方便做进一步的优化。本文将线损考虑在内，得出理论线损率为：

$$V_s = \frac{\Delta A}{W} \quad (4)$$

式(4)中， $V_s$ 为低压线路的理论线损率； $\Delta A$ 为理论线损电量。当监测到的实际线损超出或低于 $V_s$ ，则证明低压线路运行状态异常，对此时的三相负荷不平衡度进行计算，公式如下：

$$V_b = \sqrt{\frac{(P_A - P_a)^2 + (P_B - P_a)^2 + (P_C - P_a)^2}{3P_a^2}} \quad (5)$$

式(5)中， $V_b$ 为低压线路的三相负荷不平衡度； $P_A, P_B, P_C$ 为三相线路中A相、B相、C相上的负荷大小； $P_a$ 为三相负荷的算术平均值。当 $V_b \leq 0.5$ 时，为低压线路正常运行状态；当 $V_b > 0.5$ 时，为低压线路异常运行状态。

## 二、实验

为了验证本文设计的在线监测方法是否满足低压线路监测需求，本文对上述方法进行了实验分析。最终的监测结果则以文献[1]基于激光测距的低压线路运行状态监测方法、文献[2]基于防覆冰闪络的低压线路运行状态监测方法，以及本文设计的基于机器视觉的低压线路运行状态监测方法进行对比的形式呈现。实验准备过程以及实验结果如下所示。

### (一) 实验过程

本次实验通过航拍获取某低压台区的地理位置实景图，并将地图中的用户、线路位置导入建模终端，构建低压台区的线路拓扑网络。低压台区线路拓扑结构如下图所示3所示。

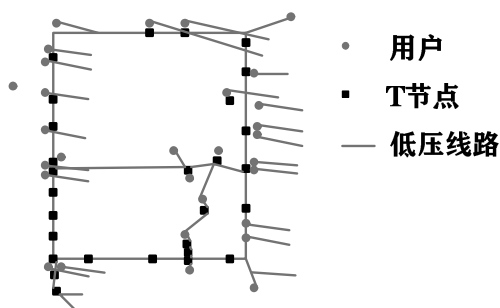


图3 低压台区线路拓扑图

如图3所示，本文在线路拓扑网络中增加了T节点的位置，将其作为视觉标记点。该低压台区的供电范围较小，供电用户数小于等于60户，用户编号仅显示最后八位，为47888318~79542590，电压在94.7%~106.9%的范围内变化，电压合格率超过了95%，可以满足在线监

测的实验环境。本文将低压台区线路进行简化，形成20条三相线路，对20条线路进行编号，随机选取3条三相线路，对线路的三相不平衡度进行监测，确定T节点的运行状态。

(二) 实验结果

在上述实验条件下，本文随机选取出视觉标记点 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ ，在每个视觉标记点处进行3次状态监测，将

在线监测的数据进行平衡化，确保实验的真实性。在其他条件均一致的情况下，将文献[1]基于激光测距的低压线路运行状态监测方法监测的三相不平衡度、文献[2]基于防覆冰闪络的低压线路运行状态监测方法监测的三相不平衡度，以及本文设计的基于机器视觉的低压线路运行状态监测方法监测的三相不平衡度进行对比。实验结果如下表1所示。

表1 实验结果

三维坐标	特征参数		文献[1]基于激光测距的低压线路运行状态监测方法监测的三相不平衡度	文献[2]基于防覆冰闪络的低压线路运行状态监测方法监测的三相不平衡度	本文设计的基于机器视觉的低压线路运行状态监测方法监测的三相不平衡度
X	线路编号	1	0.276	0.281	0.285
	视觉标记点	$P_1$	0.182	0.282	0.285
	集中化权重	0.008	0.293	0.279	0.285
Y	线路编号	2	0.201	0.210	0.214
	视觉标记点	$P_2$	0.110	0.211	0.214
	集中化权重	0.005	0.222	0.209	0.214
Z	线路编号	3	0.452	0.647	0.745
	视觉标记点	$P_3$	0.624	0.721	0.745
	集中化权重	0.007	0.502	0.734	0.745

如表1所示，三相不平衡度是衡量电压或电流幅值的关键指标，三相负载不均衡或三相参数不对称，则会导致三相不平衡度增加，影响低压线路的运行状态，出现线路故障隐患。已知，X的三维坐标为(-32.13, -24.24, 115.51)；Y的三维坐标为(-71.72, -19.23, 105.33)；Z的三维坐标为(126.43, -174.44, 96.32)。视觉标记点 $P_1$ 的实际三相不平衡度为0.285， $P_2$ 的实际三相不平衡度为0.214， $P_3$ 的实际三相不平衡度为0.745。由此可见，视觉标记点 $P_3$ 处为三相参数不对称的情况，线路状态不良，亟须对其进行处理。

在实际三相不平衡度已知的条件下，使用文献[1]基于激光测距的低压线路运行状态监测方法之后，监测到的三相不平衡度与实际三相不平衡度存在较大差异，在视觉标记点 $P_3$ 的位置上，甚至体现出一次三相不平衡度正常状态，很容易造成监测失误的问题，影响线路的正常运行。使用文献[2]基于防覆冰闪络的低压线路运行状态监测方法之后，监测到的三相不平衡度与实际三相不平衡度之间的差异有所减少，虽然能够保证视觉标记点的状态监测效果，但是三相不平衡度的监测值与实际值仍存在±0.1以内的差异，在异常运行的线路区域存在较大的监测波动，亟须进一步优化。而使用本文设计的基于机器视觉的低压线路运行状态监测方法之后，三相不平衡度的监测值与实际值完全一致，并未出现监测失误的问题，可以满足低压线路运行状态的在线监测需求，符合本文研究目的。

结束语

近些年来，电气火灾频发，用电设备种类较多，电力网络中的谐波干扰较为严重，不仅降低了电能质量，

还对线路的绝缘性造成了影响。为了保证线路的正常运行，本文利用机器视觉，设计了低压线路运行状态在线监测方法。从运行特征、监测三相不平衡度两个方面，将线路中存在的安全隐患进行监测，并得出本文设计的方法监测效果更佳，对于低压线路的安全运行具有重要作用。

参考文献

[1]毛先胤, 陈舸, 吕乾勇, 等. 基于激光测距的输电线路覆冰状态监测系统研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(03): 96-99+106.

[2]曲诺亚, 张红. 基于防覆冰闪络的输电杆塔运行状态监测及其LSD算法研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(01): 240-242.

[3]占亚波, 涂潜, 李俊, 等. 大规模输电线路状态监测传感器网络的周期性低功耗通信技术方案[J]. 电信科学, 2023, 39(02): 83-91.

[4]邹宇, 黄桦清, 宋殷冠, 等. 基于低压电杆分散式储能对径流式小水电随机并网平抑配网峰谷作用的探讨[J]. 物联网技术, 2021, 11(07): 79-80+85.

[5]黄国政, 黄孟哲, 吴洪波, 等. 基于IEC 61850的低压配电物联网监控系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2022, 22(09): 33-36.

[6]宰红斌, 刘建国, 唐保国, 等. 基于WSN的输电线路状态监测与数据采集跨层优化方法[J]. 电气工程学报, 2021, 16(03): 161-169.

作者简介: 冯仁强, 出生日期: 1970.02.23, 性别: 男, 籍贯: 江苏, 民族: 汉, 职称: 助工, 学历: 大学本科, 主要从事农村中低压供电服务工作。