

基于轻量级神经网络的配网检修不停电作业危险行为识别

赵张育 许 东

(国网陕西省电力有限公司咸阳市高新区供电公司)

摘要：配网检修不停电作业，即在用户不停电或少停电状态下，采用多种方式对设备进行检修、施工的作业。为保证检修作业的规范性，引进轻量级神经网络，以某配网为例，开展检修不停电作业危险行为识别方法的设计。通过光流法，结合图像序列中像素点的速度向量，进行配网检修不停电作业现场运动前景目标检测；利用检测到的前景目标，确定运动目标的数量、运动速度以及高宽比等基本信息，将检测信息作为轻量级神经网络的输入，实现行为特征的提取；根据目标特征，进行危险行为模板的匹配，实现对危险行为的准确识别。实验结果表明，设计方法不仅可以实现图像中目标对象数量的精准识别，还能在辨识作业人员安全行为与危险行为的基础上，提高检测结果的可靠性。

关键词：轻量级神经网络；特征提取；识别方法；危险行为；不停电作业；配网检修

0 引言

为了保障电力供应的连续性和稳定性，国网公司提出“能带不停”的原则，即大量配电网施工作业需要在不停电的情况下进行。此原则的实施确保了用电的连续性，但增加了现场作业的风险，如何在此种特殊作业环境下保障人员、设备和电网的安全，成为当前亟待解决的热点问题。

刘斌^[1]等人为了弥补轻量化带来的精确度损失，引入了坐标注意力机制和关节点补齐算法，显著提升了识别精度。但在复杂多变的井下环境中，光照条件、遮挡物等因素可能对识别效果产生干扰。戢晓峰^[2]等人利用无人机拍摄和视频轨迹提取技术获取车辆轨迹，通过人工少数类过采样法对不平衡数据进行处理，进而对驾驶行为进行聚类分析，将跟驰行为划分为危险和安

全两类。在此基础上，依据紧迫跟驰、偏移过大和车速变化大等诱因，确定险态跟驰行为的风险测度，包括碰撞时间倒数、相对横向偏移量和速度变异系数。通过轻量梯度提升机（LGBM）建立险态跟驰行为识别模型，并采用多种算法验证其有效性。模型的稳定性和精确率虽高，但在极端复杂或恶劣的交通环境下，其性能会受到影响。

人工巡视和监控在面对复杂多变的配电网不停电作业现场时，存在较大弊端。因此，本文将在此次研究中，引进轻量级神经网络，以某配网为例，开展检修不停电作业危险行为识别方法的设计。

1 配网检修不停电作业现场运动前景目标检测

在配网检修不停电作业现场，运动前景目标的精

准检测对于保障作业安全至关重要^[3]。检测过程可以通过光流法实现，该方法基于图像序列中像素点的速度向量（即光流）进行图像像素变化的描述^[4]。在此过程中，构建光流约束方程。方程表达式如下：

$$E(x, y, t) = E(x + \delta x, y + \delta y, t + \delta t) \quad (1)$$

式中， $E(x, y)$ 为图像中某一像素点； t 为时间点； δx 、 δy 为像素点在水平、垂直上的位移变化量； δt 为时间间隔。通过对上述方程的展开和化简，可以得到光流约束方程的基本形式。表达式如：

$$E_u u + E_v v + E_t = 0 \quad (2)$$

式中， E_u 、 E_v 、 E_t 为图像亮度关于 x 、 y 和 t 的偏导数； u 、 v 为像素点在水平和垂直方向上的光流分量。此方法能够对未知场景信息的运动目标进行检测，无需事先知道场景的结构或运动模型^[5]。但计算结果的实时性相对较差，因此，引进HS算法，构建全局能量函数，根据图像中的能量密度进行目标的辨识与检测。函数计算公式如下：

$$F = \iint \left[(E_u u + E_v v + E_t)^2 + \alpha (\Delta u^2 + \Delta v^2) \right] dx dy \quad (3)$$

式中， F 为全局能量函数； α 为平滑项系数，用于控制平滑性的权重； Δu 、 Δv 为光流分量 u 、 v 的拉普拉斯算子。通过最小化全局能量函数，可以得到满足光流约束方程和全局平滑性的光流场。在配网检修不停电作业现场，通过计算图像序列中每个像素点的光流分量，并根据光流矢量的差异，区分运动前景目标和背景^[6]。由于目标在连续两帧图像之间存在变化，因此，设定合适的阈值，检测出运动前景目标的位置和速度，从而实现对作业现场运动前景目标的精准检测，即通过全局能量的分布密度，输出检测目标在空间中的位置。

2 基于轻量级神经网络的行为特征提取

在配网检修不停电作业现场，为了高效且准确地提取运动前景目标的行为特征，利用上文检测到的

运动前景目标，确定运动目标的数量、运动速度以及高宽比等基本信息^[7]。引进轻量级神经网络，将检测信息作为输入，通过神经网络进行行为特征的深度提取。轻量级神经网络的首层为输入层，主要用于接收归一化后的特征向量，中间层为卷积层，在此层中，使用小尺寸的卷积核进行特征提取，减少参数数量^[8]。

卷积操作表示为下述计算公式：

$$Y = F(X) \times W + b \quad (4)$$

式中， Y 为特征数据的卷积操作； X 为输入的检测目标局部关键信息； W 为数据权重； b 为偏置量。在此基础上，采用最大池化或平均池化降低特征图的维度，同时保留重要信息^[9]。处理过程如下计算公式所示：

$$P = E\{A\hat{P} - T^2, Q(Y)\} \quad (5)$$

式中， P 为特征图像降维处理； A 为最大池化系数； $\hat{P}$ 为图像维度均值； T 为特征区域边界； Q 为干扰项。将卷积层输出的特征图展平为向量，并通过全连接层进行特征融合和分类。特征融合与分类过程如下计算公式所示：

$$M = (1 - K(H) \cdot P) \cdot \hat{P} \quad (6)$$

$$h = -\sum_i p(M_i) \log(p(M_i)) \quad (7)$$

式中， M 为特征融合； K 为特征图展平系数； H 为特征熵值； i 为图像中的第 i 个元素； h 为提取的特征类别； p 为元素的概率分布。在轻量级神经网络的输出层输出行为特征的向量表示，完成基于轻量级神经网络的行为特征提取。

3 基于运动目标跟踪的危险行为识别

基于运动目标跟踪的危险行为识别，旨在通过精确的特征提取与匹配，有效识别配网检修不停电作业中的潜在危险行为。在识别中，应遵循特征驱动的跟踪原则，根据上文提取的运动目标特征，进行危险行为模板的匹配，以此种方式，实现对危险行为的准确

识别。识别中，采用特征匹配算法，将当前帧的特征与前一帧的特征进行比对^[10]。通过设定匹配阈值，判断两帧之间的特征是否足够相似，从而决定目标是否持续被跟踪。特征匹配过程如下计算公式所示：

$$S(h_t, h_{t-1}) = \sum_{i=1}^N w_i \cdot \text{sim}(f_i^t, f_i^{t-1}) \quad (8)$$

式中， S 为特征匹配过程； h_t 、 h_{t-1} 为当前帧和前一帧的特征集合； w 为特征集合权重； N 为相似度函数； f_i^t 、 f_i^{t-1} 为特征的向量化表达。在连续跟踪的基础上，引入行为识别技术，通过分析目标的运动轨迹、速度变化、姿态转换等特征，结合预设的危险行为模式库，实现危险行为的实时识别。识别过程可以通过下述公式计算得到：

$$R = \arg \max_{O \in C} L(C|O) \cdot \sum S(h_t, h_{t-1}) \quad (9)$$

式中， R 为危险行为识别； L 为危险行为类别； C 为危险行为模式库； O 为观察到的特征序列。在此基础上，利用贝叶斯定理，计算后验概率，并选择最可能的危险行为类别作为识别结果。通过上述步骤，实时捕捉作业现场的运动目标，提取其典型特征，通过特征匹配实现目标跟踪，并基于跟踪结果和预设的危险行为模式，准确识别出作业中的危险行为。

4 对比实验

4.1 实验准备

选择某配网运检单位作为研究试点，该配网运检单位负责一定区域内的电力配网设备的运行维护和检修工作。近年来，社会对电力需求的增加，该单位承担着越来越重要的责任。其配网设备种类繁多，包括输电、变电、配电设备等，且设备分布广泛，运行环境复杂。

在配网检修方面，该单位积极探索不停电作业模式。在某次 10kV 配网设备检修中，该单位利用先进的绝缘升降平台、移动箱变车等设备，在不停电的情

况下完成了设备检修和故障抢修工作，保障了用户的正常用电。从某配网运检单位的作业记录系统中采集检修作业相关数据，如表 1 所示。

表 1 配网检修数据样本

序号	检修时间	检修项目	检修结果
1	2024-05-02	变压器油位检查	正常
2	2024-05-04	线路接头测温	偏高
3	2024-05-08	避雷器性能检测	合格
4	2024-05-12	断路器分合闸试验	成功
5	2024-05-16	电缆绝缘电阻测试	达标
6	2024-05-20	接地电阻测量	合格
7	2024-05-24	负荷开关状态检查	正常
8	2024-05-28	配电箱内部检查	清洁无异物
9	2024-06-01	变压器声音监听	正常
10	2024-06-05	线路走廊清理	完成

为实现对设计方法的检验，在检修现场，布置多个高清摄像头和姿态传感器，以确保能够全面、实时地捕捉作业人员的动作和带电体的状态。同时，设置安全警示标志和隔离带，以确保实验过程的安全。配网检修现场如图 1 所示。



图 1 配网检修现场

在应用本文方法时，需要进行轻量级神经网络模型的训练和优化，以提高其识别精度和响应速度。训练中，采集大量的配网检修作业数据，包括正常操作和危险行为，用于模型的训练和测试。

在此基础上，引进文献 [1] 提出的基于改进 Open Pose 算法的识别方法、文献 [2] 提出的不平衡数据驱动识别模型，将其作为对照。同时应用三种方法，进行配网检修不停电作业危险行为识别。

4.2 配网检修不停电作业现场运动目标识别结果

完成上述准备工作后，收集配网检修不停电作业现场图像，应用三种方法，进行现场运动目标的识别，已知现场中有4个近景人物目标与1个远景人物目标，对三种方法的识别结果进行分析，如图2所示。



图2 配网检修不停电作业现场运动目标识别结果

从图2所示的实验结果可以看出，应用本文设计的方法，可以准确识别4个近景人物目标与1个远景人物目标，基于改进OpenPose算法的识别方法可以识别到图像中的4个近景目标，但无法识别到远景人物目标，不平衡数据驱动的识别方法不仅识别远景人物目标，还无法识别近景目标中被局部遮挡的人物目标。由此可以证明，三种方法中，本文方法可以实现对检修作业场景中所有运动目标的精准识别。

4.3 危险行为与安全行为辨识

在上述测试内容的基础上，随机选择某存在危险行为的配网检修现场作业图像，应用三种方法，对图像中的危险行为与安全行为进行辨识，其结果如图3所示。

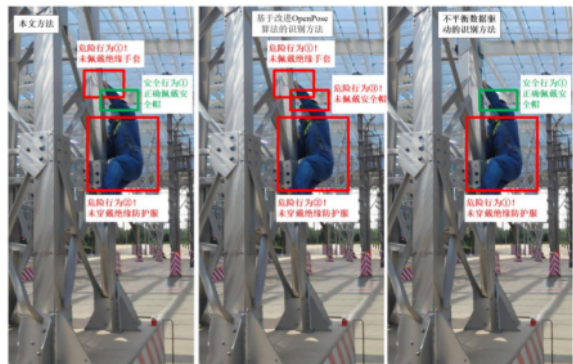


图3 配网检修不停电作业危险行为与安全行为辨识

从图3可以看出，本文方法识别到图像中的检修技术人员存在2处危险行为与1处安全行为，危险行为包括：未佩戴绝缘作业手段、未穿戴绝缘防护服，1处安全行为对应正确佩戴安全帽。通过技术人员的人工排查可以看出，本文方法的辨识结果与实际结果一致。基于改进OpenPose算法的识别方法识别到图像中人物存在3处危险行为，除前文提出的两种危险行为，该方法判定图像中人物未佩戴安全帽，与实际不符。不平衡数据驱动的识别方法只能识别到1处危险行为与1处安全行为，辨识的结果存在缺失。

4.4 危险行为识别训练次数检验

完成上述测试后，考虑到3种方法在进行行为识别中，均涉及算法或模型的迭代训练，对三种方法在不同训练次数下的识别准确度进行检验，其结果如图4所示。

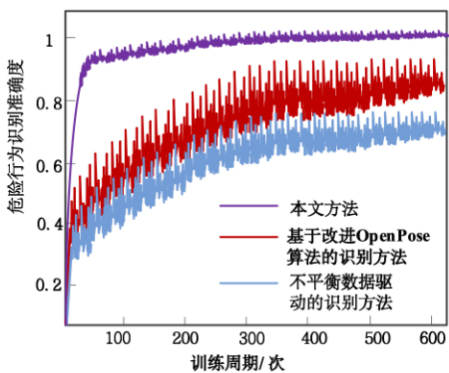


图4 危险行为识别训练次数检验

从图4中可以看出，在相同的训练周期下，本文方法的危险行为识别准确度最高，对比方法的危险行为识别准确度则相对较低。

5 结束语

轻量级神经网络算法通过简化模型结构、减少计算量等方式，实现了在有限计算资源下的高效运行。通过针对性的训练和优化，算法能够准确识别配电网

不停电作业中的各种危险行为，如未佩戴安全帽、未佩戴绝缘手套等，为现场作业的安全监管提供了有力的技术支持。本文方法在设计中，通过精确的运动前景目标检测，能够同时捕捉近景与远景人物目标，有效克服了对比方法在目标识别范围上的局限性。在行为特征提取方面，采用轻量级神经网络不仅提高了计算效率，还确保了特征提取的准确性和鲁棒性，特别是在处理局部遮挡等复杂情况时表现十分优秀。在危险行为识别阶段，本文方法依托精准的目标跟踪与行为分析，实现了对检修技术人员行为的全面、准确辨识，避免了误判和漏判。综上所述，本文方法通过技术上的创新与优化，显著提升了配网检修作业现场的安全管理效率与准确性。

参考文献

- [1] 刘斌，贾浩强，杨一，等. 基于改进 Open Pose 算法的矿工危险行为识别研究 [J]. 电视技术，2023，47（2）：20-23.
- [2] 戢晓峰，薛唯，卢梦媛，等. 不平衡数据驱动的山区公路货车移动遮断险态跟驰行为识别模型 [J]. 安全与环境学报，2024，24（8）：3015-3027.
- [3] 王志明，张佳，彭江南，等. Slow Fast 架构下

景区异常行为识别算法及预警研究 [J]. 南京理工大学学报，2024，48（3）：374-383.

- [4] 陈汉文，欧娟，杨道广. 组织内部的资源配置行为识别研究——来自会计师事务所的经验证据 [J]. 厦门大学学报（哲学社会科学版），2024，74（3）：129-140.
- [5] 蒲瞻星，葛永新. 基于多特征融合的小样本视频行为识别算法 [J]. 计算机学报，2023，46（3）：594-608.
- [6] 林静，黄量杰成，何耘丰，等. 基于成本最小化信息的社会性意图识别：来自脑电和行为的证据 [J]. 心理学报，2022，54（1）：12-25.
- [7] 刘通，徐磊，张学连，等. 基于多源参数的高速工况驾驶行为模式识别方法 [J]. 重庆交通大学学报：自然科学版，2023，42（11）：88-97.
- [8] 许桂芳 穆肃. 个性化学习资源推荐中文本情感识别的作用及关键技术 [J]. 中国电化教育，2023（5）：105-112.
- [9] 张社荣，梁斌杰，马重刚，等. 水利工程施工人员不安全行为识别方法 [J]. 水力发电学报，2023，42（8）：98-109.
- [10] 代金利，曹江涛，姬晓飞. 交互关系超图卷积模型的双人交互行为识别 [J]. 智能系统学报，2024，19（2）：316-324.

(收稿日期：2024-12-26)

(上接第87页)

- [3] 王保胜. 配电自动化设备 FTU 和 TTU 的维护管理策略研究 [J]. 装备维修技术，2024（5）：98-100.

- [4] 辛晓虎，王建慧，吴胜志，等. 开关柜机械特性试验接线装置 [J]. 农村电气化，2017（11）：54-55.

(收稿日期：2025-01-02)