

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.06.046

基于人机交互技术与决策树的电网巡检全过程远程监控

刘国徽¹, 李呈军¹, 刘磊¹, 黎礼飞¹, 薛国权²

(1. 广东电网有限责任公司 中山供电局, 广东 中山 528405;

2. 广州海颐软件有限公司, 广东 广州 510663)

摘 要: 巡检机器人的运行状态会受到各种因素的影响而发生变化, 因此实时监控巡检全过程对于保障电网的安全稳定运行至关重要。为此, 提出一种基于人机交互技术与决策树的电网巡检全过程远程监控方法。获取电网巡检全过程远程监控影像并实施增强处理, 利用决策树算法监测并识别目标或障碍, 基于监测并识别结果, 明确巡检机器人具体任务并通过人机交互技术控制巡检机器人, 进行相应人机交互操作。结果表明: 决策树算法监控出巡检路线上遇到障碍物, 证明了决策树的应用效果; 所提方法人机交互后, 每种手势重复 10 次均交互正确且平均响应延迟也相对更低, 说明该方法在人机交互方面确实表现出色。

关键词: 人机交互技术; 决策树; 电网巡检; 手势识别; 全过程远程监控方法

中图分类号: TP277 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2025)06-0251-04

Entire Process Remote Monitoring of Power Grid Inspection Based on Human-computer Interaction Technology and Decision Tree

LIU Guohui¹, LI Chengjun¹, LIU Lei¹, LI Lifei¹, XUE Guoquan²

(1. Zhongshan Power Supply Bureau, Guangdong Electric Power Co., Ltd., Zhongshan 528405 China;

2. Guangzhou Haiyi Software Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: As the operation status of inspection robots may change due to various factors, the real-time monitoring of the entire inspection process is crucial for ensuring the safe and stable operation of the power grid. To this end, a remote monitoring method for the entire process of power grid inspection based on human-computer interaction technology and decision tree is proposed. The remote monitoring images of entire process of power grid inspection are obtained and processed with enhancement. Decision tree algorithms are adopted to monitor and identify targets or obstacles. Based on monitoring and identification results, the specific tasks of the inspection robot are clarified and the robot is controlled by human-machine interaction technology. The results show that the decision tree algorithm can monitor the obstacles on route, proving the application effect of the decision tree. With the human-computer interaction by the proposed method, each gesture is repeated 10 times with correct interaction, and the average response delay is relatively lower, indicating that the method indeed works well in human-computer interaction.

Keywords: human-computer interaction technology; decision tree; power grid inspection; gesture recognition; remote monitoring method for entire process

0 引言

传统的电网巡检方式主要依赖于人工现场巡检, 这种方式不仅效率低下, 而且容易受到人为因素和自然环境的制约, 存在一定的安全隐患^[1]。因此, 随着科技的不断进步, 电网巡检主要通过远程控制巡检机器人来实现。此外, 在巡检过程中, 巡检机器人还可能遇到各种风险和障碍, 影响巡检工作的顺利进行。基于此, 电网巡检全过程远程监控成为研究的重点。

在上述背景下, 赵涛等^[2]提出一种基于卷积神经网络(CNN)的监控方法, 其原理是卷积神经网络在监控领域的应用。在电网巡检中, 如果监控场景中存在大量遮挡、光线变化或背景干扰, CNN可能无法准确监控出目标。杨静宜等^[3]通过摄像头获取环境信息并进行处理, 最后通过支持向量机(SVM)实现对环境的监控和管理, 但SVM的性能受到所选核函数以及相应参数设置的影响, 鲁棒性不足。丛玉华等^[4]提出融合注意力机制 Yolov4-Tiny 算法的人机交互技术, 使模型

基金项目: 2019 年中国南方电网重点基金项目(ZDKJXM20190018)

第一作者简介: 刘国徽(1984—), 男, 湖北孝感人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为安全监管, jameso7788@163.com。

能够学习并识别不同的手势。但根据识别出的手势描述,由于受到特征提取能力的限制,从而导致交互效果不佳。NIE 等^[5]基于机器学习技术的人机视觉交互技术,通过机器学习算法对这些特征进行学习和识别。但机器学习模型通常是在特定数据集上进行训练和测试的,因此它们可能无法很好地适应新的、未见过的人机视觉交互指令。

针对上述问题,本文研究一种基于人机交互技术与决策树的电网巡检全过程远程监控方法。通过该研究以期提高电网巡检工作的效率 and 安全性,同时降低巡检成本,为电力行业的可持续发展提供有力支持。

1 电网巡检全过程远程监控研究

1.1 获取电网巡检全过程远程监控影像与处理

巡检机器人上一般会安装高清摄像头,以捕捉并传输周围环境的详细影像和数据,然后针对得到的电网巡检全过程远程监控影像,进行影像增强处理^[6]。定义如下:

$$\xi(i,j) = \frac{1}{N} \cdot \sum \psi(n) \cdot \phi_n \quad (1)$$

式中: $\xi(i,j)$ 代表直方图均衡化后的 (i,j) 处的像素值; $\psi()$ 代表变换函数; n 代表灰度级; ϕ_n 代表灰度级为 n 的像素数目; N 代表总像素数^[7]。

1.2 基于决策树的目标监测与障碍识别

决策树可以通过对图像或视频帧中的特征进行学习,从而构建出一个能够区分不同目标/障碍的决策树模型。一旦模型构建完成,就可以将其应用于实时视频流中,对每一帧图像进行目标/障碍监测,并输出目标/障碍的位置、大小、类别等信息^[8-9]。基于上述分析,首先提取目标/障碍的特征,提取方法为 HOG 算子,具体过程如下。

1) 计算图像水平方向和竖直方向的梯度。

$$C_x = b(i+1,j) - b(i-1,j) \quad (2)$$

$$C_y = b(i,j+1) - b(i,j-1) \quad (3)$$

式中 $b(i,j)$ 代表原始影像 (i,j) 处的灰度值。

2) 根据 C_x 和 C_y 计算梯度强度 D 和方向 d 。

$$D = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} \quad (4)$$

$$d = \arctan \frac{C_y}{C_x} \quad (5)$$

3) 将图像分割成小的局部区域(称为 cell)并统计每个 cell 内像素点其梯度方向落入不同方向区间的数量^[10-12]。

4) 将每个块与其相邻的若干个块合并成一个

更大的块(block)。

5) cell 归一化并将连接块的梯度直方图作为该块的特征表示。

6) 将所有块的特征向量连接成一个大的特征向量,形成整个图像的特征描述子^[13-14]。

通过 HOG 特征进行样本描述,样本输入为 $x = \{H_{OG,1}, H_{OG,2}, \dots, H_{OG,n}\}$,输出记为 y ,利用 ID3 算法构建决策树,过程如下。

步骤 1: 准备包含多个特征和标签的数据集。假设共有 N 个训练样本,即 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\}$ 。

步骤 2: 对于数据集的标签,计算其信息熵。

$$E(x) = - \sum_{m=1}^M F_m \log_2 F_m \quad (6)$$

式中: x 代表输入的 HOG 特征数据集; M 代表类别标签的类别数; F_m 代表第 m 个类别在数据集中出现的概率。

步骤 3: 对于数据集中的每个特征,计算其信息增益^[15-16]。

$$G(H_{OG}, x) = E(x) - \sum_{g \in V(H_{OG})} \frac{|x_v|}{|x|} \cdot E(x_v) \quad (7)$$

式中: H_{OG} 代表特征向量; $V(H_{OG})$ 代表 HOG 特征向量所有可能的值; x_v 代表数据集中 HOG 特征向量取值为 v 的样本子集。

步骤 4: 选择信息增益最大的 HOG 特征作为当前节点的分裂特征。

步骤 5: 对于每个由分裂特征产生的子集,重复步骤 2—步骤 4,直到满足停止条件(没有特征可以分裂),生成决策树。

步骤 6: 为了避免过拟合,使用剪枝技术对生成的决策树进行优化。

将测试样本的 HOG 特征值从根节点开始,沿着决策树的路径向下移动,直到到达一个叶子节点,该叶子节点的标签就是该样本的监测结果。

1.3 基于人机交互技术的巡检操作控制

明确巡检机器人的具体任务,选择基于手势识别的人机交互技术,具体交互过程如下。

深度置信网络是由多个带有数值的层组成。每一层 RBM 都包含一个可视层和一个隐含层,可视层节点用于接收输入的手势图像,而隐含层节点用于提取特征,也被称为特征检测器。每一层 RBM 的特征提取公式如下:

$$u_i = \text{sigmoid}(\sum P_j \cdot Z_j) \quad (8)$$

式中; u_i 代表手势特征; P_j 代表卷积核函数; Z_j 代表输入的手势图像。

在深度置信网络中,低层RBM的输出会作为上一层RBM的输入,最后一层通过BP神经网络进行有监督学习,实现分类识别等任务。

$$Q_i = \sum_{i=1}^N f(w_i u_i + \delta_i) \quad (9)$$

式中; Q_i 代表第*i*种手势类别的概率输出; w_i 代表权值; δ_i 代表偏置; $f()$ 代表激励函数。

一旦手势被识别出来,识别结果就会被送入人机交互接口模块。这个模块将识别结果映射为相应的交互控制命令^[17-19]。最后,计算机系统会根据这些命令执行相应的操作或任务,从而完成人机交互过程^[20]。通过远程监控技术,实现对电网巡检全过程的远程监控。

2 算例测试

2.1 巡检环境

以某区域为例,利用移动机器人进行智能巡检,并对巡检全过程进行远程监控。移动巡检机器人配备了先进的定位技术(如GPS、激光雷达、视觉传感器等),其能够实现自主规划路径并在复杂环境中精确导航。同时,机器人还搭载了多种传感器和摄像头,进行实时监控。

2.2 工况设置

在移动巡检机器人的巡检路线上,设置不同的监测目标以及障碍物,如图1所示。

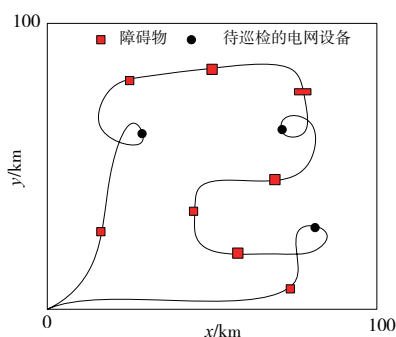


图1 巡检工况设置

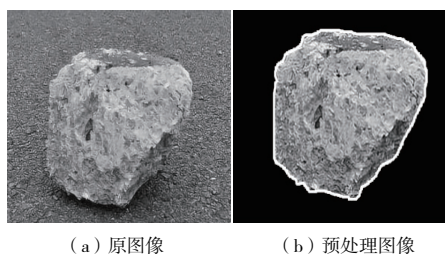
2.3 实验影像样本

移动巡检机器人共采集到25个远程监控影像样本,并实施预处理,示例如图2所示。

2.4 决策树监控测试

针对25个远程监控影像样本,利用决策树进

行监控,监控结果如图3所示。



(a) 原图像

(b) 预处理图像

图2 监控影像样本及处理示例



图3 决策树监控示例

从图3中可以看出,决策树算法监控出巡检路线上遇到障碍物,证明了此方法的有效性。

2.5 人机交互测试

设置不同的手势,对应不同的人机交互指令,基于手势设置,进行人机交互,现场如图4所示。

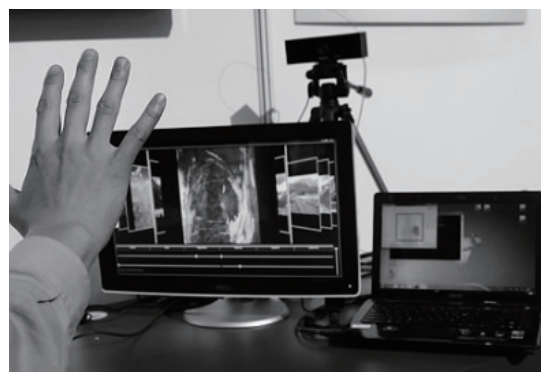


图4 人机交互现场

基于人机交互技术,运维人员可以方便地查看巡检状态,易于控制操作。手势识别技术的准确性和及时性对于电网巡检机器人的有效运行至关重要,因此在图4人机交互现场,重复做出不同交互手势,每种手势重复10次,以此验证人机交互的准确性和实时性,并与传统方法进行对比,结果如表1所示。

表 1 人机交互准确性和实时性对比

人机交互手势	所研究方法		文献[5]方法		文献[6]方法	
	准确次数	平均响应延迟/s	准确次数	平均响应延迟/s	准确次数	平均响应延迟/s
1	10	0.52	10	0.89	8	1.25
2	10	0.74	8	0.92	9	0.88
3	10	0.48	10	1.02	10	1.35
4	10	0.62	10	1.12	10	1.15
5	10	0.55	9	0.87	10	0.96
6	10	0.47	9	0.88	10	1.23
7	10	0.56	9	0.96	9	1.41
8	10	0.55	10	0.94	10	0.97
9	10	0.58	8	0.97	7	1.26
10	10	0.71	10	1.25	9	1.27
11	10	0.70	10	1.20	8	1.25
12	10	0.63	8	1.02	10	1.14
13	10	0.66	10	0.93	8	1.12
14	10	0.62	9	0.97	10	0.99
15	10	0.58	10	0.88	7	1.10

从表 1 中可以看出,与其他两种方法相比,所研究方法人机交互后,每种手势重复 10 次均交互正确且平均响应延迟也低于其他两种方法,说明该方法在人机交互方面确实表现出色。这种优势对于提高用户体验、降低错误率以及提升整体系统性能都具有重要意义。

3 结语

针对传统巡检方式中存在的问题,本研究运用决策树算法对增强后的影像进行分析,识别出巡检过程中需要特别关注的目标。根据识别结果,明确巡检机器人的具体任务,借助人机交互技术,对巡检机器人进行远程控制,以确保巡检任务的顺利完成,这有效提升了目标识别和障碍检测的准确性,提高了巡检的效率和准确性,大大减小了人工巡检的劳动强度和安全风险。未来,将继续优化和完善该远程监控方法,引入更多先进的智能算法和人机交互技术,以提升系统的智能化水平和用户体验。

参考文献:

[1] 廖逍,张弛,应国德,等. 基于背景差分法的电网巡检运动目标检测技术[J]. 沈阳工业大学学报,2023,45(1):78-83.

[2] 赵涛,张翼,赵贤文,等. 基于视觉的巡检机器人环境感知和导航避障研究[J]. 无线电工程,2023,53(8):

1883-1890.

[3] 杨静宜,赵莉娅,梁月肖. 基于机器视觉的矿用巡检机器人环境感知研究[J]. 煤炭技术,2023,42(9):227-229.

[4] 丛玉华,何啸,邢长达,等. 基于计算机视觉手势识别的人机交互技术研究[J]. 兵器装备工程学报,2022,43(1):152-160.

[5] NIE Z X, YU Y, BAO Y. Application of human - computer interaction system based on machine learning algorithm in artistic visual communication [J]. Soft Computing,2023,27(14):10199-10211.

[6] 张欣,陈玉权,张星炜,等. 基于双目视觉算法的无人机电力线路检测避障研究[J]. 制造业自动化,2023,45(9):22-25,35.

[7] 赵薛强,凌峻. 无人机自动巡检智慧监控系统研究与应用[J]. 人民长江,2022,53(6):235-241.

[8] 刘延钊,黄志球,沈国华,等. 基于决策树和 BN 的自动驾驶车辆行为决策方法[J]. 系统工程与电子技术,2022,44(10):3143-3154.

[9] 王莹莹,陈宏举,杨旭光,等. 基于决策树的水下控制模块液压系统故障诊断方法[J]. 船舶工程,2022,44(2):154-164.

[10] 宋爱国. 力觉临场感遥操作机器人技术研究进展[J]. 机械制造与自动化,2012,41(1):1-5,22.

[11] 赵山尧,张润贤,陈志新,等. 配电网无人机巡检系统的实时监控与数据传输[J]. 计算机应用文摘,2025,41(7):106-108.

[12] 白津阳,郭江震,李敏,等. 架空输电线路中巡检与监控技术的应用研究[J]. 光源与照明,2024(4):65-67.

[13] 何文滨. 光伏电站储能电站施工现场安全巡检与远程监控系统开发[J]. 电力设备管理,2024(14):146-148.

[14] 张浩,熊浩,崔占飞,等. 电网运维智能分析与控制系统设计[J]. 微型电脑应用,2025,41(2):136-139,148.

[15] 卢乾坤. 人工智能技术视角下变电站二次设备智能巡检技术[J]. 科技创新与应用,2024,14(19):171-174.

[16] 陶建华,龚江涛,高楠,等. 面向虚实融合的人机交互[J]. 中国图象图形学报,2023,28(6):1513-1542.

[17] 高满达,何宁,王文彬,等. 基于人工智能技术的巡检管控平台研发与应用[J]. 电力设备管理,2025(6):155-157.

[18] 顾镇镇. 基于 5G 的电力工程远程监控系统设计[J]. 通信电源技术,2025,42(5):37-39.

[19] 陈仁钧,费敏锐,杨傲雷. 面向人机交互的手势指向估计方法[J]. 仪器仪表学报,2023,44(3):200-208.

[20] 尚博文,邱奕天,张金帅,等. 基于嵌入式平台的多源监控系统设计与实现[J]. 电子器件,2024,47(1):241-247.

收稿日期:2024-07-15