

# 基于计算机视觉的电缆表面缺陷检测方法的研究

石华丽<sup>1</sup> 徐奇伟<sup>1</sup> 李昆袁<sup>2</sup> 范金鹏<sup>2</sup> 吴桂林<sup>3</sup>

1. 浙江高盛输变电设备股份有限公司 浙江 杭州 310000

2. 杭州知管家信息科技有限公司 浙江 杭州 310000

3. 杭州长勺智能科技有限公司 浙江 杭州 310000

**摘要:** 随着电力需求增长,保障电缆安全运行至关重要。本研究聚焦基于计算机视觉的电缆表面缺陷检测方法,通过构建全面的检测体系,提升检测的效率与准确性。利用图像采集设备获取电缆表面图像,运用灰度化、降噪等预处理技术优化图像质量,借助边缘检测、纹理分析等特征提取方法识别缺陷特征。基于传统算法与深度学习算法构建检测模型,并通过参数调整、模型融合等策略优化,提升算法鲁棒性与检测效率。搭建集图像采集、处理、检测与结果输出为一体的检测系统,经多指标评估验证其性能。研究成果对电力行业电缆运维意义重大,能有效保障电力稳定传输。

**关键词:** 计算机视觉; 电缆表面缺陷; 检测算法; 深度学习; 检测系统

## 1 引言

在现代电力传输网络中,电缆作为核心载体,其安全稳定运行直接关系到整个电力系统的可靠性。一旦电缆表面出现诸如裂纹、磨损、气泡等缺陷,就可能引发漏电、短路等严重故障,不仅会导致供电中断,影响生产生活,还可能造成巨大的经济损失甚至安全事故。传统的电缆缺陷检测方法多依赖人工巡检,效率低、主观性强,且难以发现细微隐患,无法满足当下电网智能化、高效化运维需求。计算机视觉技术凭借高精度图像采集、快速数据处理和智能分析能力,为电缆表面缺陷检测提供了新思路。通过图像采集设备获取电缆图像,运用图像处理与分析算法,能够精准识别各类缺陷。深入研究这一技术在电缆检测领域的应用,对提升电力系统运维水平、保障电力稳定供应具有重要的现实意义。

## 2 计算机视觉基础理论

### 2.1 图像采集原理与设备

图像采集是电缆表面缺陷检测的首要环节,其原理基于光电转换。相机中的图像传感器,如常见的CMOS或CCD传感器,将电缆表面反射的光信号转化为电信号,再经过模数转换变为数字图像信号。为确保采集到高质量图像,需选用合适设备。工业相机凭借高分辨率、高帧率和稳定性,成为电缆图像采集的理想选择。镜头的焦距、光圈等参数也十分关键,长焦距镜头适用于远距离电缆拍摄,大光圈则能在低光照环境下获取清晰图像。此外,光源的合理布置也不容忽视,侧光可突出电缆表面纹理,背光能有效检测内部缺陷,通过优化光源与相机的组合,为后续图像分析提供优质数据基础。

### 2.2 图像预处理技术

采集到的原始电缆图像常存在噪声干扰、光照不均等问题,图像预处理技术旨在改善图像质量,提升缺陷特征的可辨识度。灰度化是将彩色图像转化为灰度图像,简化后续处理计算量,常用加权平均法实现。降噪处理则运用均值滤波、中值滤波等算法,去除图像中的椒盐噪声、高斯噪声等,例如中值滤波能有效保留图像边缘信息的同时消除噪声点。图像增强通过直方图均衡化、对比度拉伸等方法,扩大图像灰度动态范围,使缺陷区域与正常区域的对比度更明显,便于后续缺陷特征提取,为准确检测电缆表面缺陷筑牢根基<sup>[1]</sup>。

### 2.3 特征提取与分析方法

特征提取是电缆表面缺陷检测的核心步骤之一。边缘检测算法,如Canny、Sobel算法,能敏锐捕捉电缆表面缺陷的边缘信息,因为缺陷与正常区域的灰度变化差异会在边缘处体现。纹理分析可采用灰度共生矩阵等方法,分析电缆表面纹理特征的变化,以此识别磨损、老化等缺陷。形状分析则针对圆形、矩形等规则形状的缺陷,利用几何特征参数进行判断。通过这些特征提取与分析方法,从电缆图像中提取出关键信息,将原始图像转化为可用于缺陷识别的特征向量,为后续基于特征匹配或机器学习算法的缺陷分类与判断提供有力支持,实现对电缆表面缺陷的精准检测<sup>[2]</sup>。

## 3 电缆表面缺陷检测算法设计

### 3.1 缺陷特征建模

电缆表面缺陷类型多样,每种都有独特视觉特征。裂纹表现为细长的线条状,可能是直线也可能呈不规则

蜿蜒，宽度和长度各有不同；磨损则体现为表面纹理模糊、不平整，局部颜色与正常区域存在差异；气泡常呈圆形或椭圆形，与周围材质在灰度和纹理上有明显区别。基于这些特征，采用数学方法建模。比如，利用边缘检测算法获取裂纹的边缘轮廓，通过轮廓的几何参数如长度、曲率来量化描述；对于磨损，借助理分析算法，计算纹理的粗糙度、方向性等特征参数；针对气泡，依据形状分析算法，提取其面积、周长、圆形度等指标，构建起能准确表征各类缺陷的数学模型，为后续检测算法提供特征依据。如图一所示：



图1 电缆故障测试图

### 3.2 检测算法构建

在检测算法构建上，融合传统计算机视觉算法与深度学习算法。传统算法中，阈值分割可依据电缆图像灰度特性，将缺陷区域从背景中分离，如对于灰度差异明显的气泡缺陷能快速分割定位；模板匹配则通过将预设的缺陷模板与图像进行比对，检测出形状规则的缺陷。深度学习算法方面，卷积神经网络（CNN）表现出色。搭建包含多个卷积层、池化层和全连接层的CNN模型，通过大量标注的电缆缺陷图像训练，让模型自动学习缺陷特征。卷积层提取图像局部特征，池化层降低特征维度，全连接层进行分类判断，实现对各种复杂电缆表面缺陷的高效检测，发挥不同算法优势，提升检测准确性和适应性<sup>[3]</sup>。

### 3.3 算法优化策略

为提高检测算法性能，采取多种优化策略。首先是算法改进，在传统算法中引入自适应阈值技术，使其能根据不同电缆图像特性自动调整分割阈值，提升分割准确性；对CNN模型，改进网络结构，如添加残差连接，解决深度网络训练中的梯度消失问题，增强模型对复杂特征的学习能力。参数优化方面，运用随机梯度下降、Adagrad等优化算法，调整模型参数，加快收敛速度，避免陷入局部最优解。还可采用模型融合策略，将多个不同结构或训练方式的模型预测结果进行融合，如加权平

均，综合各模型优势，降低误检率和漏检率，全方位提升检测算法性能。

## 4 检测系统架构与实现

### 4.1 系统总体架构设计

本检测系统采用分层模块化设计理念，主要由图像采集、数据处理、缺陷检测和结果输出四大模块构成。图像采集模块负责运用专业相机，在合适的光照条件下，全方位采集电缆表面图像，为后续分析提供原始数据。数据处理模块承接采集到的图像，进行灰度化、降噪、增强等预处理操作，提高图像质量，便于特征提取。缺陷检测模块是核心，集成了基于传统计算机视觉和深度学习的检测算法，对处理后的图像进行缺陷识别与分析。结果输出模块将检测结果以直观的形式呈现，如标记出缺陷位置、类别及严重程度等，并可生成检测报告，方便工作人员查看与决策。各模块分工明确又紧密协作，确保系统高效运行<sup>[4]</sup>。

### 4.2 硬件选型与搭建

硬件设备的合理选型与搭建是检测系统稳定运行的基础。相机选用高分辨率、高帧率工业相机，确保能清晰捕捉电缆表面细节，且可满足生产线快速移动电缆的拍摄需求。搭配合适的镜头，根据电缆尺寸和检测精度要求调整焦距与视野范围。工控机作为系统的数据处理和运算核心，需具备强大的计算能力和稳定的性能，以应对大量图像数据处理和复杂算法运算。同时，配备稳定的光源系统，采用漫反射光源，消除反光和阴影，保证图像采集质量均匀一致。在搭建过程中，严格按照设备安装手册，确保相机与电缆的相对位置准确，工控机与各设备连接稳定，保障硬件系统正常工作。

### 4.3 软件实现与调试

软件基于Python语言开发，借助OpenCV、TensorFlow等开源库实现各项功能。图像采集模块利用OpenCV的相机接口函数实现图像实时采集与传输。数据处理模块运用OpenCV的图像处理函数完成灰度化、降噪等操作。缺陷检测模块基于TensorFlow框架搭建深度学习模型，通过大量标注数据训练模型，实现缺陷精准识别。结果输出模块使用Python的图形界面库，将检测结果可视化展示。在软件调试阶段，通过单步调试、日志记录等方法，排查代码语法错误和逻辑漏洞。对不同类型电缆图像进行测试，不断优化参数，调整算法，解决图像识别不准确、系统运行卡顿等问题，确保软件稳定可靠运行<sup>[5]</sup>。

## 5 检测系统性能评估

### 5.1 评估指标确定

为科学衡量检测系统性能，需确定关键评估指标。

准确率体现正确检测出缺陷样本在所有检测样本中的占比,准确率越高,检测结果越可靠。召回率反映检测系统对实际存在的缺陷样本的覆盖程度,召回率高意味着较少遗漏真实缺陷。F1值则综合了准确率和召回率,更全面地评估系统性能,避免单一指标的片面性。检测速度关乎系统能否满足实际检测场景下的实时性需求,例如在电缆生产线上,快速检测能确保生产效率不受影响。这些指标相互关联又各有侧重,共同构成完整评估体系,帮助准确判断检测系统在不同方面的表现。

### 5.2 评估实验设计

评估实验设计需全面且严谨。首先,精心选取实验数据集,涵盖不同类型、程度的电缆表面缺陷图像,以及正常电缆图像,保证数据集的多样性和代表性。实验环境搭建时,确保硬件设备稳定运行,软件系统正常工作,模拟实际检测环境中的光照、噪声等因素。规划实验流程,多次重复检测操作,记录每次检测结果,以消除偶然误差。为使实验结果具有可比性,设置对照组,对比不同算法或参数设置下的检测性能。同时,采用交叉验证方法,将数据集划分成多个子集进行训练和测试,进一步提升实验结果的可靠性。

### 5.3 评估结果分析与改进

对评估实验结果进行深入分析,若准确率较低,可能是算法对缺陷特征提取不精准,需优化特征提取方法或调整算法参数;若召回率不理想,或许存在部分缺陷因特征不明显而被漏检,可考虑增加训练样本,强化模型对各类缺陷的学习能力。若检测速度慢,可能是硬件性能不足或算法复杂度高,可升级硬件设备,优化算法结构。根据分析结果,针对性地采取改进措施,重新进

行性能评估,不断迭代优化检测系统,使其性能达到最优,满足电缆表面缺陷检测的实际应用需求。

## 6 结语

本研究围绕基于计算机视觉的电缆表面缺陷检测方法,在算法设计、系统搭建及性能评估方面取得显著成果。成功构建了能精准提取缺陷特征的检测算法,搭建集图像采集、处理、检测于一体的高效系统,经多指标评估验证了其可靠性与实用性。展望未来,该检测方法在电力行业应用前景广阔,有望全面应用于电缆生产质量把控和运维巡检,极大提升电力系统运行的稳定性与安全性。后续研究可从进一步优化算法入手,提高检测效率与精度;拓展系统功能,实现缺陷分类与严重程度评估;加强实际场景测试,不断完善检测方法,为电力行业的智能化发展持续赋能。

## 参考文献

- [1]何维晟,吴照国,黄会贤,蒋拯,俞斌.用于电缆表面缺陷实时检测的计算机视觉系统研究[J].实验技术与管理,2022,39(5):123-128.
- [2]陈宝文,姜军.基于计算机视觉的冲压件表面缺陷检测方法[J].科技信息,2014(10):2-3+5.
- [3]向玉开,雷林建,张悦.基于计算机视觉的注塑零件表面缺陷在线检测研究[J].塑料工业,2019,47(A01):87-90+97.
- [4]周韦韦,刘淑华.计算机视觉方法的纸张表面缺陷检测系统[J].造纸科学与技术,2024,43(8):106-109.
- [5]韦玉科,曾贵,范鹏.基于计算机视觉的切膜机薄膜表面缺陷检测系统的设计[J].计算机测量与控制,2014,22(9):2752-2753+2757.