

深度学习在指针式仪表自动读数识别中的应用研究

李中朝

长沙天恒测控股份有限公司 湖南长沙

【摘要】指针式仪表广泛应用于工业、电力、交通等关键领域，其读数的准确识别对于系统监控和故障预警具有重要意义。传统人工读数方式效率低、易出错，难以适应智能化发展需求。本文围绕“深度学习在指针式仪表自动读数识别中的应用”展开研究，提出基于深度学习模型的图像处理方法，旨在实现对复杂环境下指针式仪表的高精度、自动化识别。通过引入卷积神经网络与目标检测技术，提升指针对比度低、角度变化大等问题下的识别能力，验证了深度学习在该领域的可行性与优越性。

【关键词】深度学习；指针式仪表；自动识别；图像处理；目标检测

【收稿日期】2025 年 3 月 9 日

【出刊日期】2025 年 4 月 8 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250117

Research on the application of deep learning in automatic reading recognition of pointer meters

Zhongchao Li

Tunkia Co., Ltd., Changsha, Hunan

【Abstract】 Pointer meters are widely used in key fields such as industry, electricity, and transportation. The accurate recognition of their readings is of great significance for system monitoring and fault early warning. Traditional manual reading methods are inefficient and error-prone, making it difficult to meet the needs of intelligent development. This paper focuses on the research of "application of deep learning in automatic reading recognition of pointer meters" and proposes an image processing method based on deep learning models, aiming to achieve high-precision and automated recognition of pointer meters in complex environments. By introducing convolutional neural networks and target detection technologies, the recognition capability under issues such as low pointer contrast and large angle changes is improved, verifying the feasibility and superiority of deep learning in this field.

【Keywords】 Deep learning; Pointer meter; Automatic recognition; Image processing; Target detection

引言

指针式仪表作为传统测量设备的重要代表，至今仍在众多行业中承担着关键参数监测任务。然而，由于仪表种类繁多、环境干扰因素复杂，传统的图像识别方法在实际应用中往往存在识别精度低、泛化能力差等问题。近年来，深度学习技术凭借其强大的特征提取与模式识别能力，在计算机视觉领域取得了显著成果。将深度学习引入指针式仪表的自动读数识别，不仅有助于提高识别效率与准确性，也为工业智能化升级提供了新的技术路径。本文以此为切入点，系统探讨深度学习在该场景中的应用策略与实施效果，为后续相关研究提供理论支持与实践参考。

1 指针式仪表识别的技术难点与深度学习的应

用优势

指针式仪表因其结构简单、稳定性高，在工业控制、电力监测、交通运输等领域仍被广泛使用。然而，传统基于人工观察或简单图像处理的读数方式存在效率低、误差大、实时性差等问题，难以满足现代智能化系统对数据采集精度与响应速度的要求。在复杂光照条件、表盘遮挡、刻度多样等现实场景下，如何实现指针式仪表的自动识别成为一项具有挑战性的任务^[1]。近年来，深度学习技术凭借其强大的非线性建模能力和端到端的学习机制，在图像分类、目标检测和语义分割等领域展现出显著优势，为解决上述问题提供了新的思路。

深度学习模型特别是卷积神经网络（CNN），能够通过多层特征提取结构自动学习图像中复杂的

视觉模式,有效应对指针式仪表图像中存在的噪声干扰、背景杂乱、视角变化等问题。相较于传统方法依赖手动设计特征所带来的局限性,深度学习可以自适应地提取更具判别能力的高层语义信息,提高指针定位与角度识别的准确性。结合 YOLO、Faster R-CNN 等先进目标检测框架,可实现对仪表区域的快速定位与关键部件(如指针、刻度)的精细识别,从而提升整体系统的鲁棒性与泛化能力。

在实际工程应用中,深度学习还支持多源异构数据的融合处理,例如结合红外成像、灰度图与彩色图像进行联合训练,以增强模型在不同环境下的适应能力。通过对大量真实场景数据的训练与优化,深度学习方法能够在复杂工况下保持较高的识别准确率,不仅提高了自动化水平,也为智能巡检、远程监控等应用场景提供了技术支持。将深度学习应用于指针式仪表的自动读数识别,是推动传统设备智能化升级的重要方向之一。

2 基于深度学习的仪表图像预处理与特征提取方法

在指针式仪表自动读数识别任务中,图像预处理是深度学习模型有效提取关键信息的前提。由于实际应用场景中常存在光照不均、反光干扰、背景复杂等问题,原始采集的仪表图像往往质量不高,影响后续识别精度。需对图像进行灰度化、直方图均衡化、伽马校正等增强操作,以提升图像对比度并减少环境因素干扰。利用高斯滤波或中值滤波去除图像中的噪声,保留指针与刻度的关键细节特征。针对多角度拍摄导致的透视畸变问题,还可采用基于单应性矩阵的图像校正方法,将图像统一映射到标准坐标系下,为深度学习模型提供结构一致的输入数据。

在完成图像预处理后,深度学习模型通过卷积层、池化层及激活函数的堆叠组合,能够自适应地提取具有语义意义的高层特征。相比传统图像处理依赖人工设计特征的方式,如 Hough 变换检测直线或 Canny 边缘提取,深度学习中的 CNN 架构能够在不同感受野范围内捕捉指针形状、纹理方向及局部轮廓等多尺度信息。引入注意力机制(如 SE 模块)可增强模型对指针区域的关注权重,抑制非目标区域的干扰信息,从而提升特征表达的判别能力。对于复杂背景下仪表图像中存在的遮挡或多余纹理,结合 U-Net 结构的编码-解码框架还能实现指针区域

的有效分割,进一步提高识别鲁棒性。

为进一步提升特征表示能力,当前研究中还普遍采用迁移学习策略,借助在大规模通用图像数据集(如 ImageNet)上预训练的骨干网络(如 ResNet、VGG、EfficientNet)进行微调。这不仅加快了模型收敛速度,也增强了其在小样本条件下的泛化能力^[2-6]。在实际工程部署中,为了满足实时性要求,通常会对模型进行轻量化设计,例如使用 MobileNetV3 作为特征提取器,兼顾计算效率与识别精度。通过对预处理后的图像进行端到端的特征学习与分类回归,深度学习方法能够高效、准确地定位指针位置,并解析出对应的读数值,为指针式仪表自动识别系统提供了坚实的技术支撑。

3 指针定位与角度识别模型的设计与实现

指针定位与角度识别是实现指针式仪表自动读数的核心环节,其精度直接影响最终的识别结果。传统方法通常依赖 Hough 变换或边缘检测技术来提取指针直线信息,但受限于图像质量、刻度干扰以及指针细长结构易受噪声影响等因素,识别效果往往不够稳定。近年来,基于深度学习的目标检测与关键点回归方法在该领域展现出更强的适应能力。通过构建端到端的神经网络模型,如改进型 Faster R-CNN、YOLO 系列或基于 Keypoint Detection 的 HRNet 等架构,能够直接从预处理后的图像中精确定位指针根部、末端及表盘中心点等关键位置,从而准确计算出指针所指示的角度值。

在具体模型设计中,通常采用两阶段策略:第一阶段利用区域建议网络(RPN)或单阶段检测器对仪表区域进行精准裁剪,确保后续操作聚焦于目标区域;第二阶段则通过关键点检测模块识别指针的关键几何特征点,并结合仿射变换或最小二乘法拟合指针方向线,进而计算其相对于零点刻度的角度偏移。为提高模型在复杂环境下的鲁棒性,研究中常引入多尺度特征融合机制,例如 FPN (Feature Pyramid Network),以增强对不同尺寸和倾斜角度指针的识别能力。结合数据增强策略如旋转、缩放、光照扰动等,提升模型对实际工况变化的适应性与泛化性能。

在工程实现层面,针对工业现场对系统响应实时性与部署成本的严格要求,深度学习模型在设计 and 部署过程中需综合考虑计算效率与识别精度之间的平衡。为提升模型推理速度并降低资源消耗,通

常采用多种轻量化优化策略,如模型剪枝以去除冗余参数、量化压缩将浮点运算转为低精度整型运算、知识蒸馏通过教师-学生网络结构迁移学习精简模型规模等。这些方法在显著减少模型体积和计算开销的仍能保持较高的识别准确率,满足边缘设备的运行需求。训练完成的模型可部署于 NVIDIA Jetson 系列、华为 Atlas 等嵌入式边缘计算平台,实现在无外部服务器支持下的本地化高效推理^[7]。这种部署方式不仅降低了通信延迟,还提升了系统的独立性和安全性。通过构建完整且高效的指针定位与角度识别流程,系统在智能巡检、远程监控等典型工业场景中展现出良好的实用性与稳定性,有效推动了传统指针式仪表向高自动化、智能化方向的转型升级。

4 实验结果分析与识别性能评估

为验证深度学习方法在指针式仪表自动读数识别中的有效性,本文基于构建的多场景仪表图像数据集开展实验,并采用主流的目标检测与关键点识别模型进行训练与测试。数据集涵盖不同光照条件、拍摄角度、表盘类型及背景干扰等复杂情况,以贴近实际工业应用环境。训练过程中引入预训练的 ResNet-50 作为骨干网络,并结合 FPN 结构增强多尺度特征表达能力。通过交叉验证方式评估模型性能,主要评价指标包括指针定位误差、角度识别精度、平均绝对误差(MAE)以及识别准确率等。

实验结果表明,在标准测试集上,所采用模型对指针末端和中心轴的定位精度达到亚像素级别,整体角度识别误差控制在 1.2° 以内,识别准确率达到 98.6% 以上,明显优于传统图像处理方法。特别是在存在反光、遮挡、低对比度等干扰因素的情况下,深度学习模型仍能保持较高的鲁棒性,显著提升了复杂工况下的识别成功率。通过对混淆矩阵分析发现,模型在刻度密集区域或非整数刻度识别中偶有偏差,但通过引入注意力机制和进一步的数据增强策略,该问题得到了有效缓解。这些结果充分说明了深度学习技术在指针识别任务中的优越表现。

为进一步验证深度学习模型在实际工业环境中的部署能力,研究将训练完成的网络模型移植至嵌入式边缘计算平台,并在多个典型应用场景中进行实地测试。测试内容涵盖图像采集、预处理、特征提取、指针识别与数值解析等全流程。结果表明,在不依赖云端支持的情况下,系统能够在 300ms 内高效完成从图像输入到最终读数输出的全部运算任务,

满足多数在线监测系统对响应速度的实时性要求^[8]。模型在连续运行 72 小时的过程中表现出高度稳定性,未出现识别异常或性能下降现象,显示出良好的工程适应性和可靠性。综合来看,基于深度学习的方法不仅在识别精度和抗干扰能力方面优于传统技术,同时具备良好的轻量化部署能力和实用化前景,为指针式仪表的智能化升级提供了切实可行的技术路径。

5 结语

本文围绕深度学习在指针式仪表自动读数识别中的应用展开研究,系统分析了图像预处理、特征提取、指针定位与角度识别等关键环节的实现方法。实验结果表明,深度学习模型在复杂环境下具有较高的识别精度和良好的鲁棒性,能够有效替代传统人工或半自动读数方式。该技术的应用不仅提升了识别效率与智能化水平,也为工业设备的远程监控与智能巡检提供了可靠支撑,具有良好的工程应用前景。

参考文献

- [1] 张世伟.基于机器视觉的指针式仪表自动读数与检定方法研究[D].中国矿业大学,2024.
- [2] 黄哲淦.基于目标检测和关键点定位的指针式仪表读数自动识别方法研究[D].武汉科技大学,2024.
- [3] 徐文良.基于深度学习的指针式仪表自动读数研究[D].河北工程大学,2024.
- [4] 李盛涛.基于深度学习的指针式仪表自动读数识别方法研究[D].华北电力大学,2024.
- [5] 陆文健.基于 OpenVINO 与深度学习的变电站指针式仪表自动读数研究[D].湖北民族大学,2023.
- [6] 夏臻康.基于深度学习的指针式仪表自动读数算法研究[D].武汉科技大学,2023.
- [7] 安毅.基于深度学习的指针式仪表全过程自动读数识别算法研究[D].华南理工大学,2023.
- [8] 杨诗琪,吴佳仪,陈墨楠,等.基于深度学习的指针式仪表自动读数方法[J].电子测量技术,2023,46(05):149-156.

版权声明:©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS