

变电站指针式仪表自动识别方法的深度探索与实践

一、引言

1.1 研究背景与意义

随着电力系统规模的不断扩大和智能化发展的推进，变电站作为电力传输和分配的关键环节，其运行的稳定性和可靠性至关重要。在变电站中，指针式仪表被广泛应用于测量各种电气参数，如电压、电流、功率等，这些仪表能够直观地反映电力系统的运行状态，是运维人员获取关键信息的重要依据。

传统的变电站指针式仪表读数方式依赖人工操作，运维人员需要定期巡检，逐个读取仪表的示数，并记录相关数据。这种人工读数方式存在诸多弊端。一方面，人工读数效率低下，难以满足现代电力系统对实时性和准确性的要求。在大规模的变电站中，仪表数量众多，人工巡检和读数需要耗费大量的时间和人力，且无法实现对仪表数据的实时监测和分析。另一方面，人工读数容易受到人为因素的干扰，如视觉疲劳、读数误差等，这些误差可能导致对电力系统运行状态的误判，进而影响电力系统的安全稳定运行。

此外，随着智能电网和电力物联网技术的发展，电力系统正朝着自动化、智能化的方向迈进。实现变电站指针式仪表的自动识别，是电力系统智能化运维的重要组成部分。通过自动识别技术，可以将仪表数据实时传输到监控中心，实现对电力系统运行状态的远程监控和实时分析，为电力系统的调度和决策提供更加准确、及时的数据支持。这不仅有助于提高运维效率，降低人力成本，还能及时发现电力系统中的潜在故障和异常情况，采取相应的措施进行处理，保障电力系统的稳定运行，减少因故障导致的停电事故，提高供电可靠性，为社会经济的发展提供可靠的电力保障。因此，研究变电站指针式仪表自动识别方法具有重要的现实意义和应用价值，是当前电力领域的研究热点之一。

1.2 国内外研究现状

指针式仪表自动识别技术作为图像处理与模式识别领域的重要研究方向，在国内外都受到了广泛关注。早期，相关研究主要集中在传统算法的应用上，随着深度学习技术的兴起，该领域的研究取得了显著进展。

在传统算法方面，研究人员主要通过图像处理和模式识别技术来实现指针式仪表的自动识别。常用的方法包括边缘检测、霍夫变换、模板匹配等。例如，利用边缘检测算法（如 **Canny** 算法、**Sobel** 算法）提取指针和刻度盘的边缘信息，再通过霍夫变换检测直线，从而确定指针的位置和角度。模板匹配则是将预先制作的模板与待识别图像进行匹配，以找到指针和刻度盘的位置。文献 [5] 利用尺度不变特征变换算法，在输入图像中提取仪表表盘区域，采用快速霍夫变换检测指针直线；文献 [6] 使用中心投影法定位指针；文献 [7] 提出一种改进的霍夫变换算法用于检测指针，提升了仪表读数精度。这些传统算法在一定程度上能够实现指针式仪表的自动识别，但对于复杂背景、光照变化、仪表倾斜等情况，其鲁棒性和准确性较差。

近年来，随着深度学习技术的快速发展，基于深度学习的指针式仪表自动识别方法逐渐成为研究热点。深度学习算法能够自动学习图像的特征，具有强大的特征提取和分类能力，在复杂环境下表现出更好的性能。在目标检测方面，**Faster R-CNN**、**YOLO** 系列等算法被广泛应用于检测指针式仪表的表盘位置。文献 [10] 使用基于卷积神经网络的目标检测算法 **Faster R-CNN** 检测表盘，使用连通域分析法定位指针；文献 [11] 使用 **Mask-RCNN** 分割表盘区域，并使用透视变换对仪表进行校正。在语义分割领域，**U-Net**、**DeepLab** 系列等模型可用于分割出指针区域，以便更准确地确定指针位置。此外，一些研究还将深度学习与传统算法相结合，充分发挥两者的优势，进一步提高识别准确率。如郭宇强等人提出一种基于深度学习的指针式仪表示数识别方法，首先使用目标检测算法 **YOLOv3** 检测图片中仪表和仪表刻度值的位置，并使用基于 **LeNet-5** 网络的字符识别算法识别刻度数值；然后使用语义分割算法 **DeepLabv3+** 分割出仪表指针区域；最后使用角度法读取仪表示数，实验结果表明该算法在不同光照、天气、背景环境中均可高效准确地读取指针式仪表示数，平均读数误差率小于 **3.5%**。

在国外，一些发达国家如美国、德国和日本等在指针式仪表自动读数识别技术方面处于领先地位，拥有多项专利和研究成果。例如，德国某公司研发了一种基于计算机视觉的指针式仪表自动读数识别系统，可以实现快速、准确地读取指针式仪表的测量值。

尽管国内外在变电站指针式仪表自动识别领域取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处。一方面，现有算法在复杂环境下的适应性有待提高，如在光照剧烈变化、仪表严重遮挡或变形等情况下，识别准确率会显著下降。另一方面，对于不同类型和规格的指针式仪表，缺乏通用性强的识别方法，大多数算法需要针对特定的仪表进行专门的训练和优化。此外，目前的研究主要集中在单一仪表的识别上，对于多个仪表同时存在的场景，如何实现高效准确的识别也是一个亟待解决的问题。同时，在实际应用中，还需要考虑算法的实时性、计算资源消耗等因素，以满足电力系统智能化运维的需求。

1.3 研究目标与创新点

本研究旨在深入探索并开发一套高效、精准且适应性强的变电站指针式仪表自动识别方法，以满足现代电力系统智能化运维的迫切需求。具体研究目标如下：

- **提高识别准确率**：通过深入研究和优化算法，针对复杂环境下的变电站指针式仪表图像，实现高精度的识别，显著降低识别误差，使识别准确率达到 **95%** 以上，确保能够准确获取仪表的示数，为电力系统的稳定运行提供可靠的数据支持。
- **增强抗干扰能力**：着重研究算法在复杂环境下的适应性，有效克服光照剧烈变化、仪表严重遮挡或变形、背景复杂等干扰因素对识别结果的影响，使算法能够在各种恶劣条件下稳定运行，保证识别的可靠性。例如，在光照强度变化范围达到 **500lux - 5000lux**、仪表遮挡面积不超过 **30%** 的情况下，仍能准确识别仪表读数。
- **提升算法通用性**：开发一种通用的识别方法，能够适应不同类型和规格的指针式仪表，减少针对特定仪表进行专门训练和优化的需求。无论是常见的圆形表盘、方形表盘，还是不同量程、刻度分布的仪表，都能实现准确识别，提高算法的适用范围和实用性。
- **满足实时性要求**：在保证识别精度的前提下，优化算法的计算效率，降低算法的运行时间，使其能够满足电力系统实时监测的需求。确保在处理单张仪表图像时，识别时间不超过 **0.5 秒**，实现对仪表数据的快速获取和分析。

在研究过程中，本研究提出了一系列创新思路和方法，以实现上述研究目标：

- **融合多模态信息**：创新性地融合图像的视觉信息（如颜色、纹理、形状等）与电气参数信息（如电压、电流、功率等），充分利用不同模态数据的互补性，提高识别的准确性和可

靠性。例如，通过分析仪表所在电路的电气参数，辅助判断仪表的工作状态和示数范围，从而更准确地识别指针位置。

- **改进深度学习模型**：对现有的深度学习模型进行针对性改进，引入注意力机制、多尺度特征融合等技术，增强模型对指针式仪表特征的提取能力，提高模型在复杂环境下的鲁棒性。以注意力机制为例，通过让模型自动关注图像中与指针式仪表相关的关键区域，忽略背景干扰，提升识别效果。
- **半监督学习与迁移学习结合**：采用半监督学习和迁移学习相结合的方法，利用少量标注数据和大量未标注数据进行模型训练，减少对大规模标注数据的依赖，同时加快模型的收敛速度，提高模型的泛化能力。例如，将在其他类似场景下训练好的模型参数迁移到变电站指针式仪表识别任务中，并结合少量变电站场景下的标注数据进行微调，快速构建出适用于变电站环境的识别模型。
- **构建自适应识别系统**：设计一个能够根据环境变化自动调整识别策略的自适应系统。该系统可以实时监测环境参数（如光照强度、温度、湿度等）和仪表状态，根据监测结果自动选择最合适的识别算法和参数，以保证在不同环境下都能实现最佳的识别效果。

二、变电站指针式仪表概述

2.1 指针式仪表的类型与结构

在变电站中，指针式仪表种类繁多，不同类型的仪表用于测量不同的电气参数，其结构和工作原理既有相似之处，又存在一定差异。以下是几种常见的指针式仪表：

- **电压表**：用于测量电路中的电压值，单位为伏特（V）。常见的指针式电压表一般由表头、刻度盘、指针、接线柱以及内部的测量电路等部分组成。表头是电压表的核心部件，通常采用灵敏电流计，内部包含永磁体和放置在磁场中的线圈。当有电流通过线圈时，线圈会在磁场力的作用下发生偏转，通过传动装置带动指针转动，指针的偏转角度与通过线圈的电流大小成正比。由于电压表需要与被测电阻并联，为了避免表头因电流过大而损坏，在电压表的内部电路中会串联一个很大的电阻，这样绝大部分电压都被该串联电阻分担，从而使通过表头的电流处于安全范围，保证电压表能够正常测量不同大小的电压。例如，在测量变电站中某段线路的电压时，将电压表并联在该线路两端，根据指针在刻度盘上的指示，即可读取该线路的电压值。

- 电流表

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/908017055132007044>

•