基于角度-距离的仪表读数识别技术研究

文/云南电网有限责任公司电力科学研究院　唐　标　沈映泉　黄绪勇　朱梦梦
云南电网有限责任公司红河供电局　刘　戬
云南电力技术有限责任公司　秦雄鹏

对基于距离法和基于角度法两种常见的仪表读数识别方法进行分析，提出了一种角度-距离改进仪表识别法，该方法融合了传统距离法和角度法的优点，对仪表读数进行识别。实验仿真结果表明，本改进方法相比传统单一仪表读数识别方法，其读数的精准度更高。

随着指针式仪表在电网应用范围的不断扩大，对电气设备仪表的动态变化情况进行实时监控越来越重要。传统人工识别读数的方式不再满足快速仪表检定的需求，如何充分发挥自动检测技术的作用，实现仪表数据的自动读取，对提升工作效率有重要意义，如何提升机器识别仪表读数的准确度是一个需要长期研究的问题。

化春键等人通过分别对模板和待测图像进行预处理操作，应用差影法对待测图像进行缺陷检测，提出了一种双掩模的图像差影策略，实验结果证实了所提策略在搜索仪表表面缺陷的有效性；王怡等人基于数字信号处理技术对被测仪表图像进行一系列预处理操作，包括灰度变换、边沿测试和Hough变换等，实现了对仪表读数的精准识别；石伟等人建立了基于图像处理技术的变电站指针式仪表自动检测系统，采用改进的Hough变换提取图像中的直线，计算指针角度和显示指针读数，并利用OpenCV函数库建立了指针式仪表图像的模型库。仿真结果表明，该指针式仪表自动判读系统在识别指针读数的准确度上远大于人工读数；施健等人将嵌入式机器视觉技术和物联网技术相结合，提出了一种新型自动读数策略，利用角度约束方法对霍夫变换进行了优化，并结合二值图像减影法识别出指针偏转角度，从而进行读数，利用无线传输实现远程自动抄表；于向阳等人基于Marker检测法定位仪表指针区域，提出了一种新型监测仪表指针抖动的策略，实际工程应用结果证实了该策略相比于原有策略在识别准确率和时效性方面具有优越性。

采用单一距离法或是单一角度法，对仪表读数进行识别的方法存在一定的误差，测量结果不够准确。为此，本文结合传统距离法和角度法的优点，提出了一种角度-距离改进仪表识别法，并通过实验仿真对本文所提的改进方法与传统单一仪表读数识别方法测量结果进行对比分析，以证明本文所提算法的精准度。

仪表的读数识别

1. 基于距离法的读数识别

基于距离法的读数识别的核心思想是：在获取仪表所有刻度像素坐标值的前提下，通过判断指针和不同刻度之间的相对位置，以获取指针读数。假定仪表盘上共有n条刻度线，指针所在直线的特性方程为$Ax+By+Cz=0$，那么各刻度线重心坐标（x_i，y_i）到指针所在直线的距离可通过下式计算得到

$$d_i=\frac{\left|Ax_i+By_i+C\right|}{\sqrt{A^2+B^2}}\quad i=1,2,3,...,n \tag{1}$$

进一步求解得到仪表读数S_n为

$$S_n = S_L + \frac{d_1}{d_0 + d_1} \times (S_H - S_L) \tag{2}$$

式中，S_H和S_L为与距离指针最近两个仪表刻度线的读数；d_0和d_1为这两条刻度线的重心坐标到直线$Ax+By+Cz=0$的距离。

综上所述，距离法的前提是需要知道仪表盘所有刻度的重心坐标及刻度线对应的读数值，而不同仪表盘的刻度线数量差异巨大，对于刻度线数量少的仪表盘，指针所在直线与相邻刻度线并不平行，得到的预估结果差异较大，而对于刻度线数量多的仪表盘，可达上百条，此方法的运算量巨大，难以满足时代发展的需要。

2. 基于角度法的读数识别

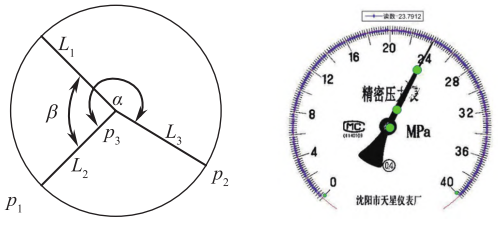
基于角度法的读数识别的核心思想是：基于仪表指针的转移角度，获取指针读数。基于角度法的读数识别的步骤如下：

1）基于重心法找到仪表盘的刻度重心，并找到仪表盘的零刻度线位置p_1以及满量程刻度线位置p_2，运用最小二乘圆拟合法确定仪表盘的中心点p_3。

2）基于最小二乘算法对仪表盘及指针图像进行直线拟合，绘制出指针所在直线L_1、仪表零刻度线与表盘中心点p_3所在直线L_2及满量程刻度线与表盘中心点p_3所在直线L_3。

3）度量直线L_2与L_3之间的夹角大小α以及直线L_2与L_1之间的夹角大小β，如图1a所示。假定该仪表的满量程刻度对应的数值为M，则基于式（3）求解得到此时的指针读数为

$$I = M\frac{\beta}{\alpha} \tag{3}$$



a）角度法原理　　b）测试仪表

图1　角度法仪表读数

需要说明的是，随着仪表盘被测指针角度的增大，该方法测量的相对误差会被进一步放大，进而导致准确度下降，因此，角度法具有一定的局限性。

角度-距离改进识别法的提出

经过上述分析可知，单一的距离法和角度法在对仪表指针读数进行测量时，在某些特定的条件下具有优势，但也存在一定的局限性。为此，本文将两种方法的优点进行结合，提出了一种基于角度-距离的改进读数识别方法（见图2）。

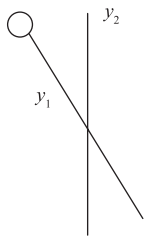


图2　改进角度法

基于图2对改进角度法进行分析，基于Hough变换求解得到待测指针所在直线y_2，圆点为该指针左侧接近刻度线的某点。以圆心和该像素点所在直线做基准直线y_1，通过直线y_2和直线y_1可以求解得到两直线方程的交点，即圆心坐标。进一步地，待测指针读数可以基于直线y_2和直线y_1的夹角求得。

假定直线y_1的特性函数式为

$$y_1 = b_1 x + a_1 \tag{4}$$

假定直线y_2的特性函数式为

$$y_2 = b_2 x + a_2 \tag{5}$$

将式（4）与式（5）结合，求解两条直线的交点坐标，即

$$\begin{cases} x_0 = \dfrac{a_1 - a_2}{b_2 - b_1} \\ y_0 = \dfrac{a_1 b_2 - a_2 b_1}{b_2 - b_1} \end{cases} \tag{6}$$

式（6）的计算结果即为仪表盘圆心的坐标。对于任一一条待测指针，根据待测指针所在的直线方程与基准直线方程，可求得其夹角θ。同理，圆点也可以是该指针右侧接近刻度线的某点，同样能够求解得到其与待测指针所在直线的夹角β。

综上，假定指针直线左侧距离最近的刻度点为$a_1, a_2, a_3, \cdots, a_{n1}$；指针直线右侧距离最近的刻度点为$b_1, b_2, b_3, \cdots, b_{n2}$。计算左右侧刻度点和仪表盘圆点的直线方程，再求解其与待测指针所在直线的夹角$\theta_1, \theta_2, \cdots, \theta_{n1}, \beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_{n2}$，可以得到此时指针

对应的仪表读数，即

$$D = D_L + \frac{\sum_{i=1}^{n_1}\theta_i}{\sum_{i=1}^{n_2}\beta_i}(D_R - D_L) \tag{7}$$

算例验证

图3为实验测量装置示意图。为验证本文方法的实际识别效果，选取了Y150-精密压力表进行实验与分析，电流表的参数为最大量程40 MPa，精度等级为0.4级，最大量程对应的角度为180°。

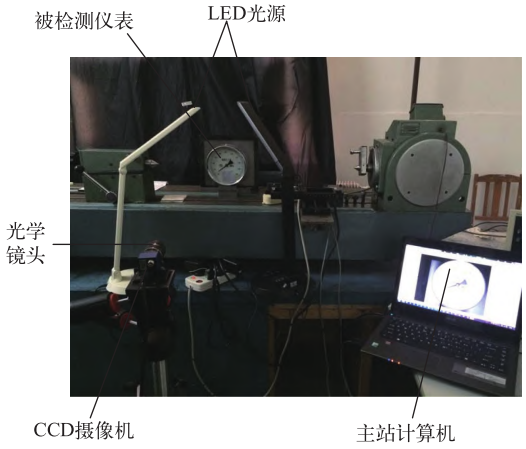


图3　实验测量装置示意图

为了验证本文所提出改进仪表读数识别方法的有效性，选择4组不同的仪表读数值，分别应用角度法、距离法以及本文所提方法进行仪表读数值的测量，每种方法均进行5次实验取平均值，实验测量结果见表1。

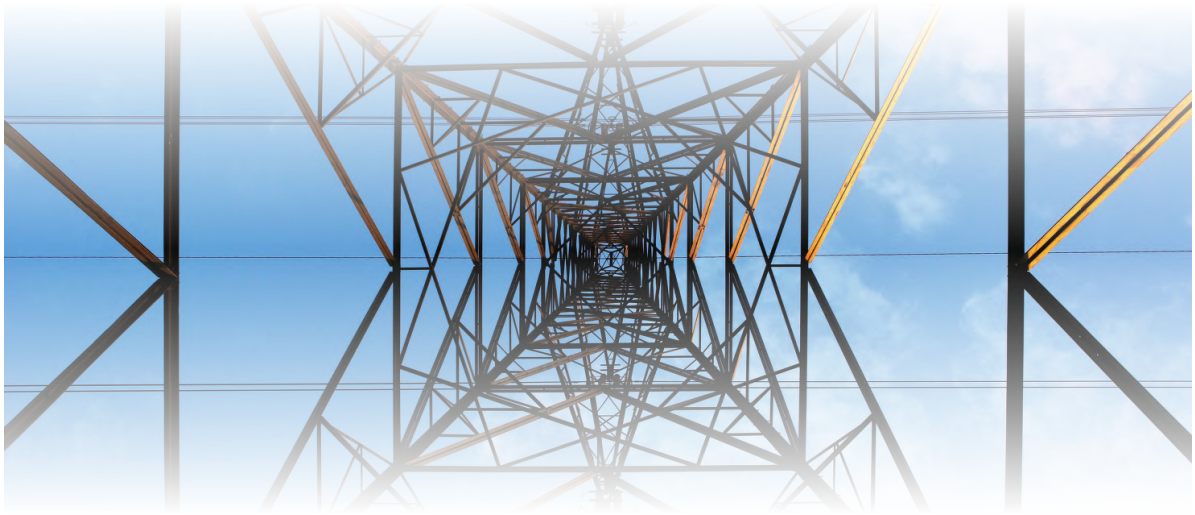
表1　不同算法下的计算机读数

（单位：MPa）

仪表值	角度法	距离法	改进法
10	9.878	9.956	9.989
18.6	18.411	18.489	18.577
28.5	28.306	28.359	28.458
35.6	35.878	35.609	35.601

基于上表的实验测量结果来看，改进法得到的仪表指针读数测量值更接近仪表盘指针读数的实际值，其测量误差相对于传统单一的角度法和距离法更小，结果更加准确。此外，由于本文所使用被测仪表的刻度线较密集，基本满足距离法对指针与相邻刻度线平行的要求，所以基于距离法得到的仪表盘指针读数测量值与实际值的误差尚在可以接受的范围内。而对于传统角度法，随着待测仪表指针值的增大，误差值也进一步增大。

结束语

充分应用计算机技术对仪表读数进行识别，一定程度上解决了传统人工读数低效、非智能的缺陷。采用单一距离法或是单一角度法对仪表读数进行识别的方法存在一定的误差，测量结果不够准确。本文提出了一种角度-距离改进仪表识别法，并通过实验仿真对本文所提的改进方法与传统单一仪表读数识别方法的测量结果进行了对比分析，结果表明，本文所提的改进方法与传统单一仪表读数识别方法相比，其读数的精准度更高。**EA**

（收稿日期：2021-06-17）