

基于 ORB 与改进区域生长法的指针式仪表 读数方法

张鹏程¹, 吐松江·卡日¹, 王海龙², 伊力哈木·亚尔买买提¹, 逯浩坦¹, 阮佳阳²

(1. 新疆大学 电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830046;

2. 北京智盟信通科技有限公司, 北京 100055)

摘要: 为进一步提高倾斜仪表图像自动读数的准确度, 提出了一种基于 ORB 和改进区域生长法的倾斜指针式仪表自动读数方法。首先, 采用 ORB 算法检测目标图像和模板图像的特征点, 根据匹配的特征点计算变换矩阵, 采用透视变换实现倾斜矫正; 然后, 利用最小二乘法检测模板图像圆心, 将逆变换后的圆心作为种子点, 采用基于指针面积的灰度自适应阈值作为生长准则检测指针区域; 最后, 采用投影法和霍夫变换提取指针角度, 根据量程与角度关系计算仪表读数。实验结果表明, 所提读数方法的最大相对误差为 2.96%, 平均花费时间为 400 ms, 读数精度与效率均能够满足实际工程的读数要求, 对推进能源物联网和数字化电网的建设有积极作用。

关键词: 图像处理; 倾斜仪表; 自动读数; 指针提取; 区域生长法

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqed24268

Reading Method of Pointer Meter Based on ORB and Improved Region Growing Algorithm

ZHANG Pengcheng¹, TUSONGJIANG Kari¹, WANG Hailong², YILIHAMU Yaermaimaiti¹, LU Haotan¹, RUAN Jiayang²

(1. School of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China;

2. Beijing Zhimeng Information & Telecommunication Tech. Co., Ltd., Beijing 100055, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of automatic reading of tilted meter images, a novel algorithm based on ORB and improved region growing method was presented. Firstly, the ORB algorithm was applied to detect the feature points of the target image and the template image, and the transformation matrix used to achieve tilt correction was calculated according to the matched feature points, the perspective transform was used to realize tilt correction. Then, the least square method was applied to detect the center of the template image, and the center after the inverse transform was used as the seed point. The gray scale adaptive threshold based on the pointer area was applied to detect the pointer area as the growth criterion. Finally, the projection method and Hough transform were adopted to extract the pointer rotation angle, and the meter reading was calculated according to the angle method. The experimental results suggest that the maximum relative error and the average consumed time of the proposed method are 2.96 % and 400 ms, respectively. Reading accuracy and calculation efficiency of the proposed approach can fully satisfy actual requirements for automatic reading of the analog meter on the spot. Therefore, the proposed method has a positive effect on boosting the construction of energy internet of things and digital power grids.

Key words: image processing; tilted meter; automatic reading; pointer extraction; region growing algorithm

随着工业发展和社会进步, 电力对人类社会
的稳定发展有着越来越重要的作用。因为指针
式仪表具有抗电磁干扰能力强、成本低、准确度
高、结构简单等优点, 目前仍是电网主要的测量

仪表^[1]。指针式仪表因结构限制, 其读数只能通
过人工读取, 而人工读数存在工作量大、效率
低、实时性差的缺点, 无法满足当前数字化电网
建设需求。由于能源物联网和数字化电网建设

基金项目: 新疆优秀青年科技人才培养项目(2019Q012); 自治区研究生创新项目(XJ2021G059); 国家自然科学基金项目(61866037);

2019 年乌鲁木齐市“人才工程”重点培养对象项目(202108120022)

作者简介: 张鹏程(1996—), 男, 硕士, Email: 1547894203@qq.com

通讯作者: 吐松江·卡日(1984—), 男, 博士, 副教授, Email: minyun229@163.com

的需要以及机器视觉和图像处理技术的快速发展,采用机器视觉与图像处理结合的机器人巡检并自动读数来代替人工巡检的方案越来越流行。自动读数技术具有智能读取、实时传输、读数方便的优点,能有效地解决人工读数存在的问题,及时准确地监测电网设备的运行状态,充分地保障了电网运行的稳定性,对实现电力设备智能化监测有重要意义。实际生产中得到的仪表图像由于拍摄位置限制、拍摄设备移位或其他原因不可避免地存在一定角度的倾斜和旋转,从而影响自动读数算法的有效性和准确性。

针对指针式仪表自动读数技术,国内外研究者先后从多个角度提出了一系列读数方法。其中CHI Jiannan等人^[2]提出了一种基于投影法和Hough变换的方法,该方法能有效地读取刻度线均匀或不均匀分布的仪表,但是未考虑可能出现的仪表倾斜情况,比如仪表自身倾斜或拍照角度不正等。颜友福等人^[3]提出了一种基于形态学处理和区域生长法相结合的识别多指针仪表的读数方法,将区域生长法引入了仪表读数领域,取得了较好的效果,但该方法存在不能自动选取单指针仪表的生长种子点、不能处理倾斜的仪表图片等不足。霍凤财等人^[4]将透视变换与Hough变换结合,通过人工选取特征点,实现了仪表图像读数。高建龙等人^[5]通过定向快速旋转(oriented FAST and rotated BRIEF, ORB)算法与Hough变换相结合,实现了对小角度倾斜仪表的自动读数研究,但没有考虑倾斜角度较大的仪表图像读数情况,同时需要较多的先验信息来实现读数。李娜等人^[6]基于特征融合金字塔和Faster R-CNN网络,提出了对光照和距离等因素有较好鲁棒性的方法,能识别一定倾角下的仪表图像,但存在建模复杂度高、计算量大等不足。

针对上述方法中存在的不足,为进一步提高倾斜仪表图像的读数效果,文中提出了一种基于ORB算法与改进区域生长法相结合的圆形倾斜指针式仪表读数方法。该方法采用ORB算法检测目标图像与模板图像的特征点,结合透视变换实现仪表图像倾斜矫正,利用最小二乘(least squares, LS)法与改进的区域生长法检测指针区域。实验结果表明,相比其他读数方法,文中所提方法能准确、高效地读取倾斜仪表示数,验证了该方法的有效性与可靠性。

1 仪表倾斜矫正方法

为了准确读取仪表示数,首先需要对待读数的倾斜仪表图像做倾斜矫正处理。针对倾斜的圆形指针式仪表,常用倾斜矫正方法包括基于特征提取与透视变换相结合的方法^[5]、深度学习与透视变换结合^[6]等方法。综合考虑到仪表图像获取途径、仪表图像规模及计算资源需求等,故本文采用基于特征提取算法与透视变换结合方法实现仪表图像倾斜矫正。该方法不需要收集大量仪表图像数据集及计算资源,获取仪表模板图像即可实现倾斜矫正。

常用特征点检测方法有SIFT(scale invariant feature transform)算法^[7]、SURF(speeded up robust features)算法^[8]和ORB算法^[9]等。由于ORB算法具有提取速度快、特征点检测较多、在一定程度上不受噪声和图像变换(例如旋转和缩放变换)影响等优点,同时兼顾了仪表读数实时性以及精确性的要求,因此文中采用ORB算法检测图像特征点。ORB算法采用oFAST(oriented FAST)快速兴趣点检测算子检测图像角点,用rBRIEF(rotated BRIEF)兴趣点描述算子对特征点进行二进制向量描述,然后将待测图像与模板图像的特征描述子以汉明距离为准则进行特征点匹配。

1.1 ORB算法检测特征点

图像特征点是指图中特别的像素点,比如图像轮廓点、角点、明亮点或暗点等。ORB算法检测到的特征点是图像角点,它采用oFAST算法提取特征点,相比传统的FAST算法检测出的特征点存在不具备方向性的缺点,oFAST算法检测出的特征点具有方向性,更有优势。需要注意的是,本文在检测特征点前采用高斯滤波进行平滑处理,以降低图像在拍摄及传输过程中潜在的噪声影响。

ORB算法提取角点的基本原理为:首先在图中随机选取一点 P ,然后比较像素点 P 与周围像素点的灰度差值,当差值超过阈值 T 时,即该邻域像素点满足条件;只有满足条件的邻域像素点个数达到一定数量时,才能判定像素点 P 为图像的一个特征点;最后采用灰度质心法计算特征点的方向。其中图像角点的灰度矩公式如下:

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x,y) \quad (1)$$

式中: x^p, y^q 为图像的 p 阶行坐标和 q 阶列坐标; $I(x,y)$ 为点 (x,y) 的灰度值; p, q 为灰度矩的阶数。

在获得图像角点之后,采用rBRIEF算法进行特征点描述,通过贪婪式搜索,设置阈值以剔除向量点对相关性较低的描述子,进而得到二进制比特串形式的特征点描述子^[5];最后通过暴力匹配(brute-force)筛选特征点,比较两个特征点的描述符,给出匹配结果的列表,每次比较都会给出一个距离值,距离越小的匹配度越好,最好的比较结果所对应的特征点对即为一个匹配。

1.2 倾斜矫正

透视变换^[10]是将倾斜图像和旋转图像变换为较标准图像的方法,其所需的变换矩阵 H 可通过匹配特征点,采用随机抽样一致算法(random sample consensus, RANSAC)^[11]计算得到。

待测图像与模板图像存在如下关系:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: x', y' 分别为待测图像的行、列坐标; x, y 分别为模板图像的行、列坐标; H 为变换矩阵,是一个3阶矩阵。

为了实现仪表图像倾斜矫正,文中将ORB与透视变换结合得到变换矩阵 H ,通过式(2)实现图像变换。

图1为部分设备仪表图像倾斜矫正效果。

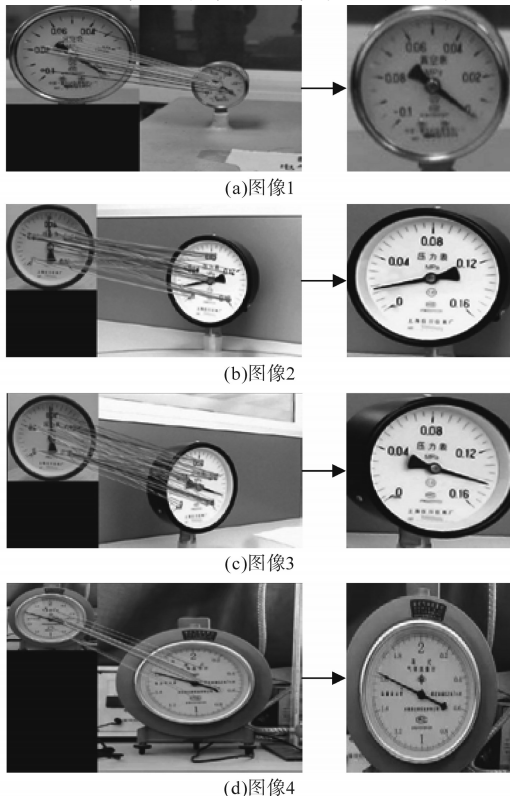


图1 倾斜矫正效果图

Fig.1 Effect drawing of tilt correction

图1中,左侧一列图像为模板图像与待测图像的匹配图,其中左侧图像为模板图像,右侧图像为待检测图像;右侧一列图像为矫正后的仪表盘图像。图像1的待测图像为俯视情况的图像;图像2和图像3的待测图像分别为仪表右侧视角和左侧视角下的图像;图像4的待测图像为正视情况下的图像。

由图1可以看出,较大倾斜度的仪表图像通过矫正方法处理后倾斜程度明显降低。但图像2和图像3中的矫正后图像仍然存在一定倾斜角度,且表盘图像呈现非标准圆形,这主要是透视变换误差所致。此类误差导致基于圆心位置的指针检测方法不能有效检测指针区域,限制了基于特征提取的倾斜仪表读数算法在生产实际中的运用。进一步通过实验发现,倾斜矫正处理后剩余的仪表图像倾斜角度不能通过再次运用ORB算法与透视变换结合的方法矫正。

2 基于改进区域生长法的读数计算方法

准确检测指针区域、获取指针中心线位置是计算仪表示数的前提。针对上述矫正过程中存在的问题,文中基于改进区域生长法,提出一种在矫正后的倾斜仪表图像中检测指针区域的方法。

2.1 区域生长法

区域生长法是根据图像区域特征,将具有相似特征的像素区域合并成一个大区域的图像分割方法,具有简单、快速的优点,其分割图像结果的好坏取决于种子像素点位置、生长准则以及终止条件3个方面^[12]。

区域生长算法选取种子点主要通过人工选取,无法实现自动区域生长,不能有效地应用到工程实际中。考虑到大多数圆形表盘的指针与刻度线相交于仪表圆心,文中将逆变换后的模板图像圆心位置作为种子点,实现种子点自动选取,有效提高了算法的自动化水平。

传统的区域生长法采用固定阈值进行判断,存在灵活性差、容易导致区域过生长或欠生长的缺点,过生长会导致不属于目标区域的像素被误检,欠生长会造成目标区域检测不完整等情况;此外,固定阈值对不同的仪表图片需要手动调整阈值的大小,不能自动适应仪表图像光照变化或表盘模糊等情况。

针对传统区域生长法存在的问题,文中对其

进行改进,提出了种子点自动选取方法和基于指针区域面积的自适应阈值生长准则两个方面。下面将介绍具体改进方法。

2.2 种子点自动选取方法

为了实现指针区域自动检测,文中提出一种新型自动选取种子点方法,其基本原理是:首先寻找模板图像的圆心位置;然后通过透视变换,将其从模板图像逆变换到矫正后的仪表图像中;将逆变换后的圆心位置作为初始生长种子点,以此实现种子点自动选取。

模板图像圆心位置可通过拟合仪表表盘轮廓得到。目前,常用的拟合方法包括模板匹配法^[13]、最小二乘法^[14]和 Hough 圆检测^[15]等方法。由于模板匹配对形变图像效果有待提高,而 Hough 圆检测需要输入较多参数以及计算成本较大等不足,因此文中选用最小二乘法进行模板图像的表盘拟合。最小二乘法是一种使拟合数据与真实数据的误差平方和最小,以此来寻找最佳函数匹配的数学优化技术。

文中以仪川 Y-100 压力表为研究对象,验证所提方法处理效果。基于上述拟合方法获得的圆形表盘模板图像拟合结果如图 2 所示,图中 x, y 分别表示图片像素点的列号和行号。为了更直观地显示拟合效果,图 2 中只描绘部分原始数据点,而拟合圆是根据所有数据点计算得到。

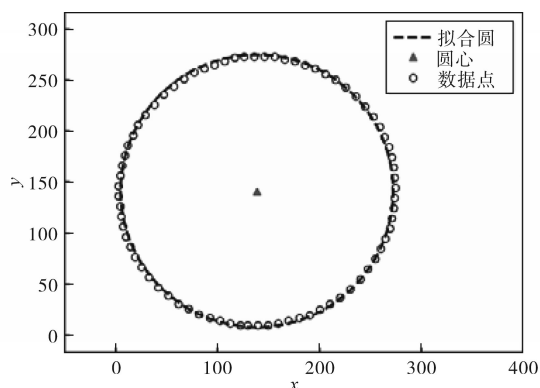


图2 最小二乘法拟合表盘效果图

Fig.2 Effect drawing of fitting dial with LS method

由图 2 可以看出,最小二乘法能较好地拟合圆形表盘,使得拟合出的与数据点完全重合,并能给出拟合的圆心位置。

通过 ORB 算法与 RANSAC 算法计算模板图像与矫正后仪表图像的透视变换矩阵,再对拟合出的模板圆心做逆变换,即可得到初始种子点位置。

文中所提种子点自动选取方法具体步骤如下:

步骤 1:采用最小二乘法拟合模板图像表盘,获得模板图像的圆心位置;

步骤 2:根据 ORB 算法和 RANSAC 算法,计算模板图像与矫正后图像的透视变换矩阵;

步骤 3:根据步骤 2 所得的变换矩阵,对步骤 1 得到的表盘圆心做透视逆变换,将其变换到矫正后的仪表图像中,并以此变换后的点为初始种子点。

文中所提方法自动选取的种子点位置如图 3 所示。



图3 种子点位置示意图

Fig.3 Schematic diagram of seed point location

由图 3 可以看出,模板图像圆心变换后,虽然没有与表盘圆心完全重合,但图像圆心仍在指针区域内,依然满足区域生长法种子点位置需处于指针区域内的要求。

2.3 基于指针区域面积的自适应阈值生长准则

针对区域生长法采用固定阈值生长所存在的不足,文中提出基于指针区域面积的自适应阈值生长准则,根据已检测出的指针面积自动调整生长阈值大小。在区域生长初始时,初始生长点附近像素点多属于指针区域,通过设置较大的生长阈值可以适应不同拍摄条件下的仪表图像,能防止图像欠生长;当生长过程快结束时,生长点附近属于指针区域的像素点较少,通过减小生长阈值可以防止非指针区域像素误生长,从而有效抑制过生长。因此,文中所提自适应阈值方法可以适应不同拍摄条件下的仪表图像,同时能有效防止过拟合和欠拟合。文中所提自适应阈值生长准则的计算公式如下:

$$T^* = T - T_a \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{n}{S-1}\right)^2} \quad (3)$$

式中: T^* 为自适应阈值; T, T_a 分别为与生长准则严格程度有关的预设数值量; n 为已生长指针区域的像素点数; S 为已知的完整指针区域面积。

为了保证指针区域检测的完整性,文中未设置终止条件,当指针区域检测完时程序会自动停止生长,生成检测出的指针区域二值图像。

当检测的邻域像素点满足生长条件时,将其作为后续的生长种子点;基于多次重复试验,本文取 $T=130$, $T_a=80$ 以获得最优指针检测效果。

文中所改进的区域生长法检测步骤如下:

步骤1:以逆变换的圆心作为初始种子点;

步骤2:将满足生长条件的点作为新的生长点,存入待生长的种子列表;

步骤3:依次从列表中取出种子点,并向其邻域进行生长,判断邻域点是否满足要求;

步骤4:当种子列表为空时,生长结束;否则,返回步骤2继续生长。

基于固定阈值与改进的自适应阈值区域生长法对比检测结果如图4所示,其中同一行的左右两列分别表示两种方法对同一图像的检测结果,图4a、图4c为固定阈值方法检测结果,图4b、图4d为自适应阈值方法检测结果。

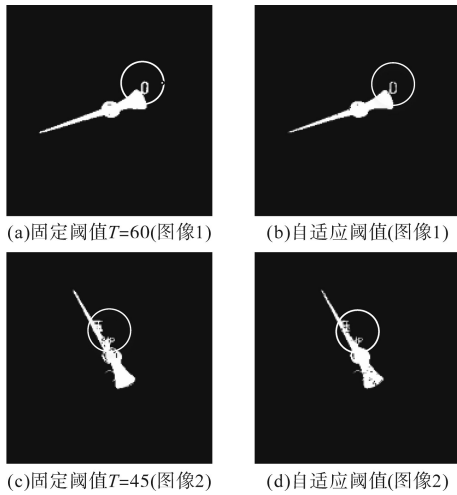


图4 固定阈值与自适应阈值对比图

Fig.4 Comparison between fixed threshold and adaptive threshold

由图4可以看出,固定阈值对不同的仪表图像需要手动调整阈值大小才能较好地检测出不同图像的指针区域,且检测结果存在较多的过生长区域;而文中所提的自适应阈值生长准则可以自动适应不同的仪表图像,无需手动调整阈值大小,对过生长现象有一定的抑制作用,如图4中圈出区域所示。上述实验结果进一步表明,文中所提方法可以充分检测出矫正后的倾斜仪表图像指针区域,一定程度上减小了透视变换产生的误差范围。

此外,为了进一步提高读数精度,采用提取指针中心线措施以获得准确的指针旋转角度。文中采用图像细化(image thinning)算法^[16]对区域生长法检测得到的指针区域提取中心骨架,具体

结果如图5所示。

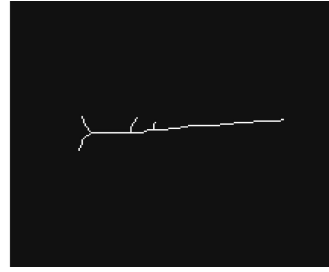


图5 细化后的指针骨架

Fig.5 Pointer skeleton after thinning

2.4 读数计算

指针式仪表读数识别方法主要有距离法^[17]和角度法^[18]两种。距离法需要获得仪表图像量程之间的距离,而该值对于倾斜仪表不易检测;而角度法只需提取指针的旋转角度,读数结果只与指针角度检测有关,表盘刻度线模糊不清或磨损缺失等问题均不会影响仪表读数结果的准确性与精确度,因此文中采用角度法计算指针读数。

角度法公式如下:

$$R = V_{\max} \times \frac{\theta}{\delta} \quad (4)$$

式中: R 为仪表读数; $V_{\max}$ 为仪表量程; θ 为指针从零刻度线起的旋转角; δ 为仪表的零刻度线与最大刻度线之间的旋转角度。

为获得仪表指针的旋转角度,文中对指针骨架采用投影法^[19]与Hough变换检测其旋转角度。因为Hough变换返回的不是直线的真实倾角,需要结合投影法判断指针的旋转方向。对于检测到的多条直线,取其旋转角度的平均值作为指针的旋转角度,根据角度法即可得到指针读数。

2.5 文中所提读数方法流程图

文中以圆形指针式仪表为研究对象,提出的倾斜仪表自动读数算法包括以下4个步骤:倾斜矫正、圆心变换、指针区域生长及读数计算,具体流程图如图6所示。

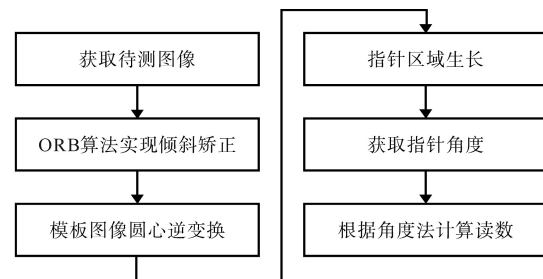


图6 文中所提算法流程图

Fig.6 Flow chart of the proposed algorithm

其具体步骤如下:

步骤1:拍摄仪表的模板图像和待测图像,模板图像与相机平面无倾斜、无旋转角度;

步骤2:采用ORB算法,分别提取模板图像和待测图像的特征点,用暴力匹配法进行特征点匹配,再根据匹配的特征点计算变换矩阵,对待测图像做透视变换,实现倾斜矫正;

步骤3:利用最小二乘法拟合模板图像的表盘,获得圆心位置;采用ORB算法和透视变换,将该圆心逆变换到矫正后的图像中;

步骤4:将逆变换后的圆心位置作为区域生长的种子点,采用改进区域生长法检测指针;

步骤5:对指针区域进行形态学处理、图像细化等操作提取指针骨架,采用投影法和霍夫变换提取指针的旋转角度,再根据角度法计算获得仪表读数。

3 实验分析

为了验证文中所提倾斜仪表图像读数方法的准确性,文中以仪川Y-100压力表为实验仪表开展读数实验,其量程为0~0.16 MPa,精度等级为1.6。本实验是使用基于Windows11操作系统的PC机下采用Python3.7和OpenCV4.2编写程序开展仿真计算,PC处理器为Intel(R) Core(TM) i5-11400H 2.70 GHz,内存为16 GB。

开展读数实验前,首先保持仪表平面与摄像头平面平行,拍摄距离设置为35 cm,在正常光照条件下获取模板图像;然后采集100张距离35 cm、正常光照条件下不同读数、不同倾斜角度的仪表图片,其角度值大于0表示摄像头逆时针旋转,小于0表示摄像头顺时针旋转,倾斜角度都在45°以内;以5人读数的平均值作为读数标准值,以工程中规定读数相对误差小于3%作为判断标准,进行读数测试。

为了验证文中所提基于指针区域面积的自适应阈值生长准则有效性,对矫正后的仪表图像分别采用基于固定阈值和自适应阈值的区域生长法进行读数对比实验,计算读数的相对误差。其中固定生长阈值 T 取能较完整检测指针区域同时不过度生长的阈值区间最小值,种子点通过文中所提种子点自动选取方法确定。部分试验结果如表1所示。

由表1可知,基于固定阈值区域生长法读数的最大相对误差为2.96%,10次读数平均相对误

表1 生长准则改进前后10次试验结果

Tab.1 Ten test results before and after improvement of growth criteria

序号	倾斜角度/ (°)	标准值/ MPa	固定阈值			文中方法	
			阈值 T	测量值/ MPa	相对误差/ %	测量值/ MPa	相对误差/ %
1	8	0.024	72	0.024	0.00	0.024	0.00
2	17	0.018	65	0.018	0.00	0.018	0.00
3	-18	0.043	61	0.044	2.27	0.043	0.00
4	23	0.082	60	0.083	1.20	0.083	1.20
5	24	0.151	63	0.154	1.95	0.154	1.95
6	-26	0.105	75	0.105	0.00	0.106	0.94
7	-30	0.057	58	0.057	0.00	0.057	0.00
8	30	0.057	53	0.056	1.79	0.056	1.79
9	-39	0.143	76	0.145	1.38	0.146	2.05
10	-40	0.131	66	0.135	2.96	0.135	2.96

差为1.16%,虽然满足工程实际读数要求,但不同的图像需要人工设置不同的阈值 T 来保证较好的读数效果,在一定程度上限制了自动读数模型在实际中的应用;而采用文中提出的自适应阈值进行改进后,读数的最大相对误差为2.96%,10次读数平均相对误差为1.09%,在满足实际读数要求的基础上,不需要人工调整不同图像的生长阈值,提高了算法的鲁棒性;同时不难发现,自适应阈值读数的平均相对误差相比固定阈值提升了6.03%,说明文中所提基于自适应生长阈值的读数方法具有更好的准确性和鲁棒性。总之,实验结果表明所提自适应阈值方法能准确有效地读取指针式仪表图像示数,并进一步提高了自动读数方法的准确性、鲁棒性以及智能水平。

为进一步地说明文中所提倾斜仪表读数方法的有效性和准确性,采用文献[4]和文献[20]读数方法,与文中所提方法进行读数对比实验,计算读数相对误差;其中,文献[4]采用透视变换与Hough变换相结合实现自动读数,文献[20]基于轮廓面积与Hough变换获取仪表读数。部分试验结果如表2所示。

从表2可以看出,文献[4]和文献[20]的读数相对误差最大值分别为10.94%和8.06%,不能较好地满足实际应用的读数要求,同时对部分倾斜图像不能有效地识别出仪表示数,例如文献[4]的第8张图像和文献[20]的第18张图像,说明上述两种方法对倾斜指针式仪表图像的读数效果有待提高;而文中所提方法读数结果的相对误差最大为2.96%,对45°倾角以内的图像能有效读取示数,对上述两种方法不能读取的仪表图像也能准确读出示数,相比上述两种读数方法具有更好的

表2 不同方法对比读数结果

Tab.2 Compare the reading results with different methods

序号	倾斜角度	标准值/MPa	测量值/MPa			相对误差/%		
			文献[4]	文献[20]	文中方法	文献[4]	文献[20]	文中方法
1	-2	0.018	0.017	0.018	0.018	5.88	0.00	0.00
2	-3	0.024	0.024	0.024	0.024	0.00	0.00	0.00
3	8	0.024	0.024	0.025	0.024	0.00	4.00	0.00
4	-10	0.032	0.034	0.033	0.032	5.88	3.03	0.00
5	-12	0.061	0.067	0.063	0.061	8.96	3.17	0.00
6	-13	0.082	0.083	0.084	0.082	1.20	2.38	0.00
7	17	0.018	0.019	0.019	0.018	5.26	5.26	0.00
8	-18	0.043	-	0.044	0.043	-	2.27	0.00
9	21	0.082	0.082	0.083	0.083	0.00	1.20	1.20
10	23	0.082	0.082	0.083	0.083	0.00	1.20	1.20
11	24	0.151	0.159	0.158	0.154	5.03	4.43	1.95
12	-26	0.105	0.099	0.105	0.106	6.06	0.00	0.94
13	-30	0.057	0.056	0.062	0.057	1.79	8.06	0.00
14	30	0.057	0.064	0.061	0.056	10.94	6.56	1.79
15	-34	0.105	0.111	0.103	0.105	5.41	1.94	0.00
16	-35	0.151	0.156	0.157	0.155	3.21	3.82	2.58
17	-39	0.143	0.14	0.147	0.146	2.14	2.72	2.05
18	40	0.131	0.144	-	0.132	9.03	-	0.76
19	-40	0.131	0.127	0.131	0.135	3.15	0.00	2.96
20	-45	0.043	-	-	0.044	-	-	2.27

准确性和鲁棒性,且读数结果能满足工程实际对自动读数方法的准确度要求。此外,本文所建方法在PC机上实现倾斜仪表图像矫正与示数读取,平均识别时间为400 ms,具有较快的识别速度。实验结果表明,倾斜的仪表图像经过文中所提方法处理后,能准确、有效地读取仪表示数,提高了倾斜仪表图像读数方法的准确性和鲁棒性,能较好地满足实际中对高精度仪表自动读数的准确性和实时性要求。

4 结论

针对现有倾斜仪表读数算法存在的不足,文中提出一种基于ORB算法和改进区域生长法的倾斜指针式仪表图像矫正与示数读数方法。该方法采用ORB算法与透视变换实现仪表图像倾斜矫正;采用改进的区域生长法检测指针区域,以逆变换后的圆心坐标作为初始种子点,无需手动选择种子点,选取基于指针区域面积的自适应阈值作为生长准则,能有效防止过生长和欠生长,可以自动适应不同拍摄条件下的仪表图像,不需要人工设置最佳阈值,可以完整、有效地检测出指针区域,提高了自动读数方法的准确性、

鲁棒性和智能水平。通过实验证明,文中提出的读数方法可以有效地读取45°倾角以内的指针式仪表图片,矫正后的读数相对误差最大为2.96%,平均花费时间是400 ms,相比其他读数方法具有较好的准确性和鲁棒性。本文所提算法可以部署在巡检机器人或者智能化变电站中,对推进能源物联网和数字化电网建设有一定的积极作用。下一步将重点研究多种图像示数识别方法、不同光线条件以及更大倾斜角度的仪表图像示数读取,提升算法的准确性和鲁棒性。

参考文献

- [1] 张平,丁永泽,王致芃,等. 变电站指针式仪表精准读数及可靠度估计模型[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(10): 125-134.
ZHANG Ping, DING Yongze, WANG Zhipeng, et al. Accurate reading and reliability estimation model of substation pointer meter[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(10): 125-134.
- [2] CHI Jiannan, LIU Lei, LIU Jiwei, et al. Machine vision based automatic detection method of indicating values of a pointer gauge[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2015(3): 1-19.
- [3] 颜友福,刘金清,吴庆祥. 基于区域生长的指针式仪表自动识别方法[J]. 计算机系统应用, 2015, 24(4): 164-170.
YAN Youfu, LIU Jinqing, WU Qingxiang. Automatic recognition of analog measuring instruments based on region growing [J]. Computer Systems & Applications, 2015, 24(4): 164-170.
- [4] 霍凤财,王迪,李政璋. 工业线性指针仪表识别改进方法[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2018, 36(4): 423-429.
HUO Fengcai, WANG Di, LI Zhengzhang. Improved recognition method of industrial linear pointer meter[J]. Journal of Jilin University (Information Science Edition), 2018, 36(4): 423-429.
- [5] 高建龙,郭亮,吕耀宇,等. 改进ORB和Hough变换的指针式仪表识读方法[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(23): 252-258.
GAO Jianlong, GUO Liang, LÜ Yaoyu, et al. Pointer meter reading method based on improved ORB and Hough algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2018, 54(23): 252-258.
- [6] 李娜,姜志,王军,等. 基于Faster R-CNN的仪表识别方法[J]. 液晶与显示, 2020, 35(12): 1291-1298.
LI Na, JIANG Zhi, WANG Jun, et al. Instrument recognition method based on Faster R-CNN[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2020, 35(12): 1291-1298.
- [7] 王昕平,张森林,刘妹琴,等. 基于多尺度图像融合和SIFT特征的水下图像拼接研究[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(5): 213-217, 230.
WANG Xinping, ZHANG Senlin, LIU Meiqin, et al. Underwa-