

文章编号:1007-2780(2021)08-1196-08

基于改进 Hough 变换的指针式仪表识别方法

李娜¹, 王军^{1,2}, 董兴法^{1*}, 石绍鹏¹

(1. 苏州科技大学 电子信息工程学院, 江苏 苏州 215009;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:为解决指针式仪表自动识别系统中,光照不均匀、精确度不高等问题,提出一种 Otsu 算法和改进的 Hough 算法对仪表图像进行处理。首先预处理仪表图像,增强仪表指针区域特征, Otsu 算法进行图像二值化,分割出仅属于指针的像素;再进行改进的 Hough 变换检测指针,通过快速提取表盘指针连通区域的中心像素点,结合表盘圆心约束,对提取过的像素点进行双阈值 Hough 变换直线检测。实验结果表明,提出的算法识别仪表读数最大相对误差为 4.76% 左右,满足系统精确度要求。

关键词:指针式仪表; Otsu 算法; 圆心约束; Hough 变换

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/CJLCD.2020-0179

Pointer meter recognition method based on improved Hough transform

LI Na¹, WANG Jun^{1,2}, DONG Xing-fa^{1*}, SHI Shao-peng¹

(1. School of Electronic and Information Engineering,
Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China;

2. Chinese Academy of Science, Changchun Institute of Optics,
Fine Mechanics and Physics, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to solve the problems of uneven illumination and low accuracy in the automatic recognition system of pointer instruments, an Otsu algorithm and an improved Hough algorithm are proposed to process the instrument image. Firstly, the instrument image is preprocessed to enhance the characteristics of the instrument pointer area, Otsu algorithm performs the image binarization to segment pixels that only belong to the pointer, and the improved Hough transform is performed to detect the pointer. By quickly extracting the center pixel point of the dial pointer's connected area, combined with the dial center constraint, the double threshold Hough is performed on the extracted pixel point transform straight line detection. Experimental results show that the proposed algorithm detects the meter reading error at about 4.76%, which meets the system accuracy requirements.

收稿日期: 2020-07-11; **修订日期:** 2021-01-09.

基金项目: “十三五”江苏省重点学科项目 (No.20168765); 江苏省研究生工作站项目 (No.2017272)

Supported by “Thirteenth Five-Year Plan” Jiangsu Province Key Discipline Project (No.20168765); Jiangsu Province Graduate Workstation Project (No.2017272)

* 通信联系人, E-mail: dongxfa@mail.usts.edu.cn

Key words: pointer instrument; Otsu algorithm; center constraint; Hough transform

1 引言

由于指针式仪表易实现、维护成本低等特点,所以常用于电力、化工、石油等行业。变电站电力系统常处于高压危险的环境中,人工读取仪表示数具有工作量大、容易疲劳的缺点,导致识别效率低、误差大、危险系数高,因此利用机器视觉、图像处理等手段,自动检测仪表位置和读取仪表示数,提高了读取仪表示数的准确度^[1-2]。目前国内仪表读数识别系统存在识别速度慢、识别数值不精确等问题,还需进一步完善。

目前研究人员对仪表识别提出了一些研究算法。李全鹏等提出一种基于三次样条插值的指针式仪表图像分割方法,提取包含指针的圆形区域作为信息图,对信息图进行图像分割,有效解决了指针阴影问题^[3]。Zheng 等提出一种基于 Hough 变换的读数识别方法,利用 Hough 变换读取角度识别的原理,对仪表指针角度与刻度的线性关系进行计算示数,但该方法 Hough 变换计算量大、识别速度慢的缺点^[4]。童伟圆等建议使用不同参数的模板来匹配指针,克服了不均匀照明、背景干扰、影响因素,但这种方法对实际应用没有优势,应用复杂,识别准确性不高^[5]。钟志伟等提出了累计概率霍夫变换方法识别仪表,较好地解决了光照不均匀问题,但还存在参数难调、计算量大、识别速度慢等问题^[6]。Yang 提出了一种基于圆的区域累积直方图(CRH)方法来精确定位指针,对照明具有鲁棒性^[7]。

本文提出一种改进的 Hough 变换算法提取仪表指针,采用 Otsu 算法自适应阈值分割仪表图像,舍弃较小像素值,反复计算分割阈值,从而获得最佳二值图像,能较好地解决不均匀光照问题,再通过改进 Hough 变换算法结合圆心约束检测仪表指针中心像素点。该算法对于指针式仪表检测识别具有准确性高和速度快的优点。

2 仪表图像识别算法流程

根据仪表图像特点,对采集到的图像进行预处理,排除仪表图像中其他物品干扰,增强仪表指

针区域特征。使用 Otsu 算法分割出仅属于指针区域的像素,再使用改进的 Hough 检测仪表指针,然后根据角度法计算输出仪表示数。具体算法流程如图 1 所示。



图1 算法流程图

Fig 1 Algorithm flow chart

2.1 仪表图像预处理

在变电站电力系统中,通过高清摄像头采集图像,通过无线传输将仪表图像传给电脑进行图像处理^[8],由于光照强度不同、背景干扰等外围环境的不定因素,采集到的图像中会包含大量噪声。



图2 高斯滤波后的图像

Fig.2 Gaussian filtered image

因此对采集的图像进行预处理,通过图像灰度、滤波、增强来突出仪表指针特征^[9]。图像滤波采用高斯滤波,对仪表图像有较好的滤波效果,如图 2 所示,采用灰度拉伸的形态学黑帽运算增强图像对比度,如图 3 所示。



图 3 形态学黑帽运算

Fig.3 Morphology black hat operation

2.2 仪表图像二值化

由于采集到的仪表图像受光照强度的影响,图片的明暗程度不一样,因此本文采用最大类间方差(Otsu)方法^[10]进行自适应二值化处理。

假设前景与后景的分割阈值为 T ,前景像素点数占图像像素比例为 ω_0 ,平均灰度为 μ_0 ,后景像素点数占图像像素比例为 ω_1 ,平均灰度为 μ_1 ,图像的总平均灰度为 μ ,前景与后景的类间方差为 δ ,表达式如公式(1)、(2)所示。

$$\mu = \omega_0 \times \mu_0 + \omega_1 \times \mu_1, \quad (1)$$

$$\delta = \omega_0 \times (\mu - \mu_0)^2 + \omega_1 \times (\mu - \mu_1)^2, \quad (2)$$

当式(2)中的 δ 达到最大值时,对应的 T 就是最佳分割阈值。

根据指针式仪表图像特点,指针区域与背景区域有明显区别,因此可以舍弃影响指针区域分割的背景区域像素值,重复使用 Otsu 算法,来获取最佳阈值,具体实施步骤如下:

(1)对于图像 $h \times w$,将图像的平均灰度值 μ 作为初始阈值 T ,进行图像分割。

(2)针对不同光线的图像使用 Otsu 分割处理,记录其最佳类间方差值,相近的类间方差计算平均值,这些平均值在一定区间内表示为 $d[d_1, d_2]$,如果类间方差在 d 范围内,则现在二值图像是最佳二值图像,否则做第三步。

(3)使用初始阈值 T 进行分割后,记录此时的前景 ω_0 和背景 ω_1 的像素位置,舍弃 ω_1 的像素值,将第一次分割后前景 ω_0 的图像,再次使用 Otsu 得到分割阈值 T 。重复步骤(2)直到 Otsu 值在 d 范围内,得到最佳二值图像,如图 4 所示。

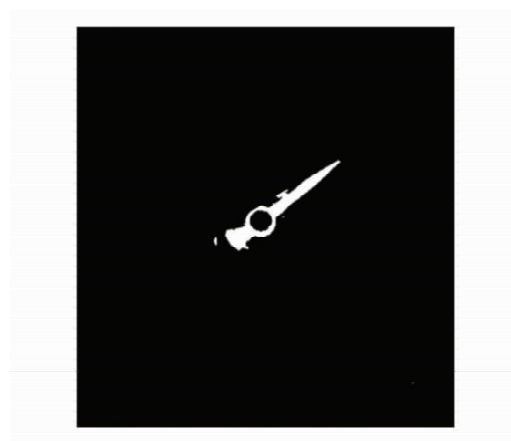


图 4 本文 Otsu 算法的二值化图像

Fig.4 Otsu algorithm binary image in this paper

3 基于 Hough 变换检测仪表指针

Hough 变换直线检测计算量较大,随着像素点数的增加,计算量也呈线性增加^[11],因此减少 Hough 变换检测的像素点数并对真正需要检测的像素点进行精准计算,是本文重点研究内容。

仪表读数以指针中心线对应的刻度数值为准^[12]。在 Hough 变换直线检测中,选取指针区域的中心点,指针经过表盘圆心,这些中心点与表盘圆心有共同的偏转角度,即在极坐标中将这中心点限定在圆点对应的曲线上。通过这些操作,可以极大地减少 Hough 变换计算量。

3.1 Hough 变换检测原理

Hough 变换直线检测的基本原理是:检测直线上一点对应极坐标的一条曲线,直线上所有点对应极坐标所有曲线都相交于一点,相交的这个点对应的直线就是要检测的直线^[13],如图 5 所示。

假设在原始图像空间 (x, y) 直线方程为:

$$y = kx + b, \quad (3)$$

图像空间和参数空间之间建立对偶变换:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad (4)$$

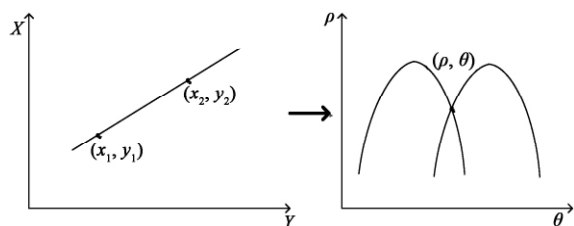


图 5 直角坐标到极坐标的转换。(a)直角坐标;(b)极坐标。

Fig.5 Conversion from rectangular coordinates to polar coordinates. (a) Cartesian coordinates; (b) Polar coordinates.

Hough 变换直线检测转换成极坐标点的检测,只要进行点个数累加就能实现直线检测。

3.2 表盘圆心定位

对表盘圆心坐标的计算,本文提出用垂直平分线来确定表盘圆心,首先在模板图像中确定仪表盘轮廓上 3 点分别是 A、B、C,模板图像的 3 个点对应实时采集图像的 3 点,原理如图 6 所示。

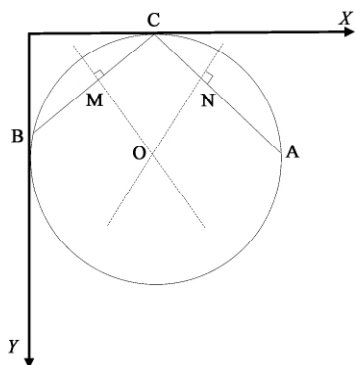


图 6 垂直平分线确定表盘中心原理

Fig.6 Principle of the vertical bisector to determine the center of the dial

连接 BC 和 AC,找这两条线的垂直平分线。BC 的垂直平分线与 BC 相交于点 M,AC 的垂直平分线与 AC 相交于点 N,两条垂直平分线相交于一点 O,这个点 O 就是仪表盘圆心,点 M 和 N 也是圆心分别在 BC 和 AC 线上的投影,记 A、B、C 坐标分别为 $A(A_X, A_Y)$, $B(B_X, B_Y)$, $C(C_X, C_Y)$ 。因此在参数空间中相交的这一点就是圆心 (ρ_0, α_0) ,计算 M 和 N 的坐标为:

$$M_X = \frac{1}{2}(A_X - C_X) + C_X, \quad (5)$$

$$M_Y = \frac{1}{2}(A_Y - C_Y) + C_Y, \quad (6)$$

$$N_X = \frac{1}{2}(B_X - C_X) + C_X, \quad (7)$$

$$N_Y = \frac{1}{2}(B_Y - C_Y) + C_Y, \quad (8)$$

根据垂直向量相乘等于零的方法计算出圆心坐标:

$$\overrightarrow{OM} * \overrightarrow{BC} = 0, \quad (9)$$

$$\overrightarrow{ON} * \overrightarrow{AC} = 0. \quad (10)$$

3.3 改进 Hough 变换检测指针

表盘圆心定位之后,将提取的指针区域二值化图像分成若干行,对每一行像素灰度值进行检测。表盘圆心定位后,将提取的指针连通区域分成若干行,然后对每一行像素灰度值进行检测,判断是否为连通区域特征点。将每一行的特征点检测完成后,取这一行连通区域中心点,中心点选取方法如下:

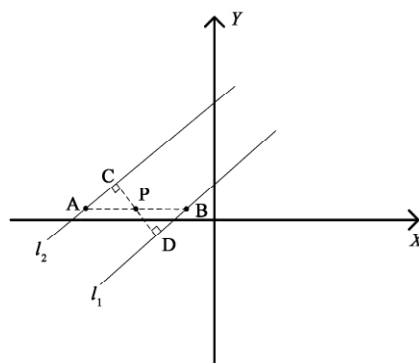


图 7 目标区域中心点示意图

Fig.7 Schematic diagram of the center point of the target area

如图 7 所示,假设有两条平行线 l_1, l_2 ,选取平行线两边同一水平线两点,分别为 A、B,取 AB 中点 P,过 P 点做一条分别垂直于 l_1, l_2 的垂线,垂线的交点为 C、D。 $PD = PC$,P 点到两条线的距离相等,因此 P 点就是我们要选取的中心点。

指针区域中心点选取之后,结果如图 8 所示。

改进的 Hough 变换检测指针连续区域线段的中心点,结合圆心共线的方法,极大地减少了计算量,提高了检测速度。

具体步骤:

(1)假设输入图像 $h \times w$,集合 $W \neq \varphi$ 。

(2)将前期处理过的仪表图像进检测,检测到前景的这个区域有 k 段,每段像素设为 $a_n \in (1, 2, \dots, w)$ 。

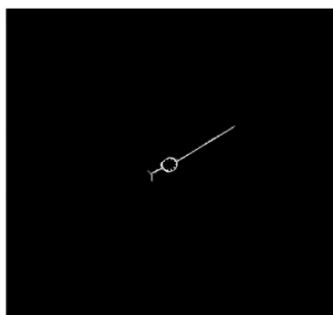


图 8 中心点选取结果图

Fig.8 Center point selection results

(3)将每段像素 a_n 与这段的指针宽度像素 A_n 比较,当 $a_n \leq A_n$ 时,标记第 n 段的像素中心点,将这些中心点记入集合 W 中。否则执行第二步。

(4)将 W 中的点限定在圆点对应的曲线上,进行 Hough 变换检测。

通过以上流程检测到指针后,获得指针偏转角度 α ,即指针与表盘零刻度的夹角。通过偏转角度与仪表示数的线性关系,计算仪表的读数。将表盘圆心设为图像直角坐标系的原点,如图 9 所示。

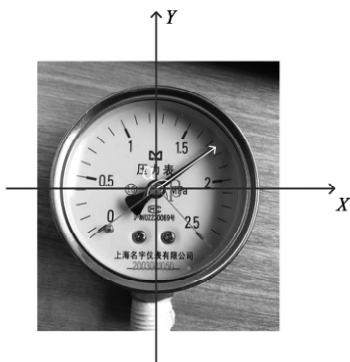


图 9 图像直角坐标系

Fig.9 Image rectangular coordinate system

压力表范围为 $0 \sim 2.5$ Pa,指针与 x 轴之间的夹角范围为 $-45^\circ \leq \alpha \leq 225^\circ$ 。假设指针读数获得的是 t ,得出以下线性关系:

$$\frac{t}{2.5} = \frac{\alpha}{270}, \quad (11)$$

根据线性关系求出即为指针示数 t 。

4 实验结果分析

本实验运行硬件环境为以运行内存 8 G,CPU 为 AMD FX-9800P,64 位 win10 操作系统。软件环

境为 Opencv 计算机视觉库 VS2019 运行环境。

4.1 表盘圆心定位误差因素分析

对于本文提出的方法,仪表示值准确度与圆心检测准确度相关。当拍摄角度不同时,表盘形状会更偏向于椭圆,会对表盘圆心定位的准确性产生一定影响。

假设表盘轮廓长轴为 a ,短轴为 b ,椭圆率设为 $R(R = \frac{a}{b})$, R 与圆心坐标误差关系如图 10 所示。

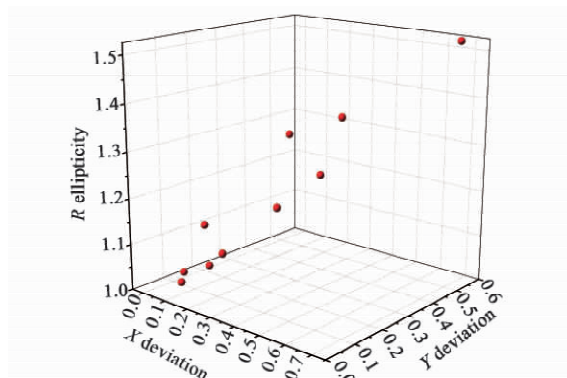


图 10 椭圆率对圆心坐标偏差的影响

Fig.10 Influence of ellipticity on the deviation of circle center coordinates

从图 10 可以看出, R 越接近于 1,圆心定位越准确, R 越大则圆心坐标偏差波动越大。对于这一影响因素,圆心坐标定位后期将考虑选取多个点进行计算从减小误差。

4.2 仪表识别实验结果

采用本文所提出的算法,使用 Otsu 算法进行图像二值化。分别在正常光照条件下不同角度拍摄仪表图像,光线暗亮程度都会影响仪表图像处理。图 11 是在光线暗的情况下,标准 Otsu 算

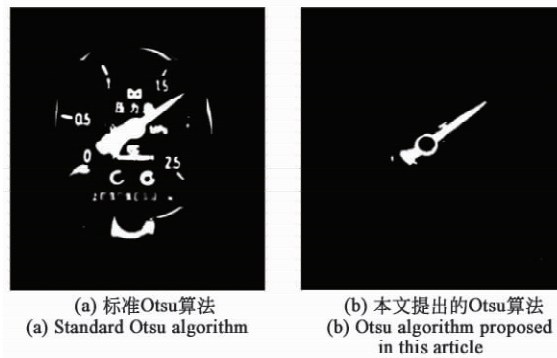


图 11 光线暗条件下两种算法对比图

Fig.11 Comparison of the two algorithms under dark conditions

法和本文提出的 Otsu 算法的二值化图像比较,图 12 是在光线亮的情况下,标准 Otsu 算法和本文提出的 Otsu 算法的二值图像比较。

经过仪表图像二值化之后,利用改进 Hough 变换结合圆心约束检测指针,结果如图 13 所示。

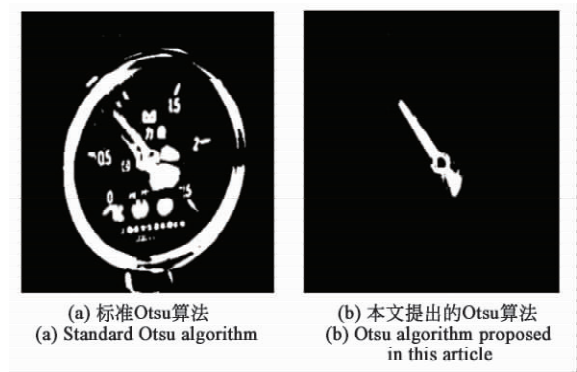


图 12 光线亮条件下两种算法对比图
Fig.12 Comparison of the two algorithms under bright light conditions

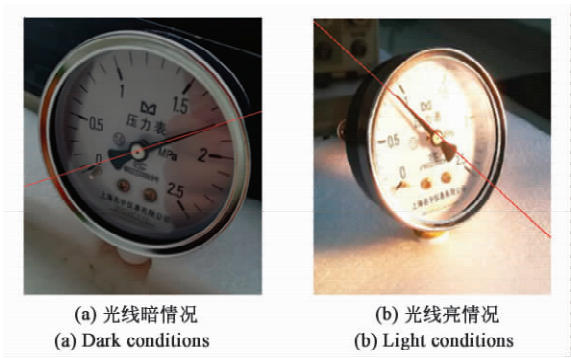


图 13 改进 Hough 变换检测结果图
Fig.13 Diagram of improved Hough transform detection result

仪表读数实验结果如表 1 所示。在系统中,对仪表角度识别误差要求在 3° 以内,相对于读数要求在 $\pm 0.0667\text{ MPa}$ 以内。改进算法的绝对误差在 0.02 MPa 左右,满足系统要求,也满足仪表最小刻度 0.1 MPa 的精度。

表 1 仪表读数实验结果
Tab.1 Meter reading experiment results

实验次数	人工读数/ MPa	标准 Hough 实验值/MPa	绝对误差/ MPa	相对误差/%	改进 Hough 检测值/MPa	绝对误差/ MPa	相对误差/%
1	0.20	0.23	0.03	13.04	0.21	0.01	4.76
2	0.25	0.21	0.04	19.05	0.25	0.00	0
3	0.31	0.27	0.04	14.81	0.30	0.01	3.33
4	0.50	0.52	0.02	3.85	0.52	0.02	3.85
5	0.65	0.68	0.03	4.41	0.66	0.01	1.52
6	0.89	0.83	0.06	7.23	0.87	0.02	2.30
7	1.25	1.28	0.03	2.34	1.26	0.01	0.79
8	1.50	1.46	0.04	2.74	1.49	0.01	0.68
9	1.80	1.75	0.05	2.86	1.78	0.02	1.12
10	2.15	2.13	0.02	0.94	2.14	0.01	0.47
11	2.30	2.34	0.04	1.71	2.33	0.03	1.29

本文对于目标区域中心点的选取,结合圆心约束的 Hough 变换,保证了本文算法的实时性。本文算法与常用于指针式仪表识别的两种算法和文

献[14]提出的算法进行了实时性比较,如表 2 所示。本文算法时间降低了大约 29.41% ,识别速度更快。

表 2 不同算法实时性

Tab.2 Real-time performance of different algorithms

(s)

算法	指针提取时间	指针定位时间	总时间
文献[14]算法	0.252	0.271	0.527
ORB 特征提取算法	0.316	0.252	0.573
最大稳定极值区域 (MSER) 算法	0.253	0.194	0.451
本文算法	0.194	0.163	0.372

5 结 论

本文利用 Otsu 算法获取仪表指针二值图像和改进的 Hough 变换处理图像。Otsu 自适应阈值分割仪表图像,放弃较小像素,通过对分割阈值的反复计算来分割出仅属于指针的像素。改进的

Hough 变换将分割出仅属于指针的图像分成若干行,提取每行前景区域的中心点,将中心点与表盘圆心共线进行表决统计。实验结果表明,本文算法比其他算法时间降低了大约 29.41%,仪表读数误差最大为 4.76%。改进算法减少了计算量,提高了检测速度,适用于在不同光照条件下对仪表进行均匀刻度识别,具有良好的实际应用前景。

参 考 文 献:

- [1] 孙婷,马磊.巡检机器人中指针式仪表表示数的自动识别方法[J].计算机应用,2019,39(1):287-291.
SUN T, MA L. Automatic recognition method of pointer meter for inspection robots [J]. *Journal of Computer Applications*, 2019, 39(1): 287-291. (in Chinese)
- [2] 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 N, JIANG Z, WANG J, et al. Instrument recognition method based on Faster R-CNN [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(12): 1291-1298. (in Chinese)
- [3] 李全鹏,苏士美,许永波.基于三次样条插值的指针式仪表识别方法研究[J].电测与仪表,2020,57(1):141-146.
LI Q P, SU S M, XU Y B. Research on pointer instrument recognition method based on cubic spline interpolation [J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2020, 57(1): 141-146. (in Chinese)
- [4] ZHENG W B, YIN H T, WANG A Q, et al. Development of an automatic reading method and software for pointer instruments [C]//*Proceedings of 2017 First International Conference on Electronics Instrumentation & Information Systems*. Harbin, China: IEEE, 2017: 1-6.
- [5] 童伟圆,葛一粟,杨程光,等.基于机器视觉的指针式仪表表示数识别方法研究[J].计算机测量与控制,2018,26(3):162-166.
TONG W Y, GE Y S, YANG C G, et al. Research on recognition method of pointer type meter based on machine vision [J]. *Computer Measurement & Control*, 2018, 26(3): 162-166. (in Chinese)
- [6] 钟志伟,张寿明.基于概率 Hough 变换的指针仪表去影算法[J].传感器与微系统,2018,37(6):126-128.
ZHONGZ W, ZHANG S M. Algorithm of pointer instrument shadow elimination based on probabilistic Hough transform [J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2018, 37(6): 126-128. (in Chinese)
- [7] YANG Z J, NIU W N, PENG X J, et al. An image-based intelligent system for pointer instrument reading [C]//*Proceedings of 2014 4th IEEE International Conference on Information Science and Technology*. Shenzhen, China: IEEE, 2014: 780-783.
- [8] 胡彬,江宁,潘雨.基于 KAZE 特征匹配的指针式仪表自动读数方法[J].仪表技术与传感器,2018(5):31-34.
HU B, JIANG N, PAN Y. Auto-reading method for pointer meter based on KAZE feature matching [J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2018(5): 31-34. (in Chinese)
- [9] 宋伟,张文杰,张家齐,等.基于指针区域特征的仪表读数识别算法[J].仪器仪表学报,2014,35(S12):50-58.

- SONG W, ZHANG W J, ZHANG J Q, *et al.* Meter reading recognition method via the pointer region feature [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2014, 35(S12): 50-58. (in Chinese)
- [10] 袁小翠, 吴禄慎, 陈华伟. 基于 Otsu 方法的钢轨图像分割[J]. *光学精密工程*, 2016, 24(7): 1772-1781.
YUAN X C, WU L S, CHEN H W. Rail image segmentation based on Otsu threshold method [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2016, 24(7): 1772-1781. (in Chinese)
- [11] WANG C, FANG Y S, JIA L. The comparison of Canny and structured forests edge detection application in precision identification of pointer instrument [C]//*Proceedings of 2018 Chinese Control And Decision Conference*. Shenyang, China: IEEE, 2018: 6361-6365.
- [12] MA Y F, QI J, WANG J J, *et al.* An automatic reading method of pointer instruments [C]//*Proceedings of 2017 Chinese Automation Congress*. Jinan, China: IEEE, 2017: 1448-1453.
- [13] HAN J L, LI E, TAO B J, *et al.* Reading recognition method of analog measuring instruments based on improved Hough transform [C]//*Proceedings of the IEEE 2011 10th International Conference on Electronic Measurement & Instruments*. Chengdu, China: IEEE, 2011: 337-340.
- [14] 施健, 张冬, 何建国, 等. 一种指针式化工仪表的远程抄表设计方法[J]. *自动化仪表*, 2014, 35(5): 77-79.
SHI J, ZHANG D, HE J G. *et al.* Design of remote meter reading method for pointer type chemical instruments [J]. *Process Automation Instrumentation*, 2014, 35(5): 77-79. (in Chinese)

作者简介:



李娜(1995—),女,安徽阜阳人,硕士,2021年于苏州科技大学获得硕士学位,主要从事数字图像处理和光电信息检测的研究。E-mail: 2421689534@qq.com



董兴法(1963—),男,江苏苏州人,博士,教授,2005于南开大学获得博士学位,主要从事光电信息技术与仪器方面的研究。E-mail: dongxfa@mail.usts.edu.cn