

DOI: 10.19650/j.cnki.cjsi.J1904695

基于双重霍夫空间投票的指针表自动读数方法^{*}

盛庆华, 李 竹, 邵展坚, 蒋 洁

(杭州电子科技大学电子信息学院 杭州 310018)

摘 要:针对现有指针式仪表自动读数算法对图像采集条件要求较为严格的缺陷,提出一种基于双重霍夫空间投票的指针式仪表自动读数方法。该方法根据仪表刻度和圆心在霍夫空间中的分布特性,自适应地计算仪表圆心,并在极坐标空间使用投影法对图像进行分割,提取刻度和指针信息,最后通过距离法对指针式仪表进行读数。实验证明,所提出算法的平均引用误差均在0.8%以下,有效提高了读数的正确率及鲁棒性。

关键词: 指针式仪表;自动读数;双重霍夫空间投票;投影法

中图分类号: TH86 TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Automatic reading method of pointer meter based on double Hough space voting

Sheng Qinghua, Li Zhu, Shao Zhanjian, Jiang Jie

(School of Electronics and Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the defect that existing automatic reading algorithm of the pointer meter has strict requirements on the image acquisition conditions. This paper proposes an automatic reading method of the pointer meter based on double Hough space voting. According to the distribution characteristics of the meter scale and the center of the circle in Hough space, the method adaptively calculates the center of the meter, divides the image in the polar coordinate space with the projection method, extracts the scale and pointer information, and finally reads the pointer meter with the distance method. Experiments show that the quoted error of the proposed algorithm is below 0.8%, which effectively improves the correct rate and robustness of the meter reading.

Keywords: pointer meter; automatic reading; double Hough space voting; projection method

0 引 言

随着科学的进步和技术的更新,数字式仪表正在各个领域逐渐得到普及,但模拟指针式仪表仍在一定的范围内被广泛使用。目前,绝大多数的指针式仪表没有数字接口,通常需要靠人工读数的方式来获取数据。当工厂中的指针表达到一定规模,人工读数不仅会消耗大量的人力成本,还会耗费大量的时间成本,并且其正确率极易受到工作强度、人员情绪等主观因素的影响。实现指针式模拟表读数的自动识别,既可以为工厂节省大量的人力和时间成本,又能极大地提高指针表读数的精度和速度。因此实现精密指针表自动读数具有重要的应用意

义和巨大的社会价值。

如今,机器视觉技术正处于迅猛发展的阶段。随着对这种技术的开发和应用,它正在逐渐融入生产制造业的各方各面。机器视觉技术有效地提高了生产制造业的自动化程度,同时克服了传统人工视觉效率低、精度差、易疲劳等缺陷。所以,通过机器视觉技术实现指针式仪表读数是一个行之有效的途径。在现有的机器视觉技术中,通过基于深度学习的方法可以实现高精度的仪表示数识别^[1-4]。但是,工业现场的仪表种类繁多,如果采用深度学习的方法,每增加一种需要识别的仪表目标需要采集大量的训练数据。这种方法在实际应用上需要较大的成本,往往无法实现。因此,不依赖于训练数据的高精度识别方法有着更高的实用性。现有的基于机器视觉

的指针式仪表自动读数方法主要可以分为以下几个部分:采集仪表图像、图像预处理、表盘图像分割、表盘读数识别。其中的算法主体主要为表盘图像分割和表盘读数识别这两个部分。

表盘图像分割的目的是将仪表指针和刻度从完整图像中提取出来。常用的方法主要有霍夫变换、图像前景提取。而表盘读数识别则是在提取出指针和刻度的基础上,根据特定关系进行仪表读数判读的过程,大致可分为角度判读法和距离判读法这两类。何智杰等^[5]采用霍夫圆变换来获取仪表的圆心和半径,再通过圆心中心投影的方式获得各个角度的灰度分布情况,获得刻度区域的连通域,最后通过距离判读法获得读数。罗钧等^[6]采用霍夫变换获取指针及其附近的刻度直线,然后通过计算两者间的刻度进行读数,还有一些通过霍夫变换进行图像分割的方法^[7-10]。这些方法均是对传统霍夫变换进行改进,来降低图像分割的运算速度和提高正确率。而图像前景提取的方法主要是将表盘区域包括刻度和指针视为前景,然后将前景和背景进行分割。张冀等^[11]通过最小灰度相减法来提取指针,然后利用霍夫变换获得指针角度加以读数。许丽等^[12]采用最大类间方差算法提取刻度区域,采用霍夫变换提取指针,然后根据指针的角度进行读数。上述的诸多方法对拍摄角度有一定要求,指针和表盘上产生的阴影以及表盘的倾斜均会对读数结果造成较大影响。因此,在使用前需要对图像采集设备进行标定,使之从仪表表盘正面拍摄。在实际使用过程中,这种方法对采集设备的方位、拍摄角度要求很高。

为了改善前述问题,将仪表图像进行极坐标变换后,再进行读数识别也是模拟仪表示数识别中的常用方法。孙琳等^[13]先采取极坐标变换的方式处理图像,使仪表的刻度区域分布在一个矩形区域,然后通过直线扫描法得到刻度线信息。张国军等^[14]通过图像形态学处理提取刻度区域,然后根据刻度区域的几何信息对刻度区域的图像进行极坐标变换,最后根据指针在刻度上的位置进行读数。在仪表刻度分布不均匀时,这种方法仍能实现有效地读数。

1 现有极坐标变换方法所存在的问题

基于图像识别的指针表自动读数方法的重点研究对象为仪表的表盘图像,如图1(a)所示;经极坐标变换后,其刻度区域图像如图1(b)所示。然而,前述的这类基于极坐标变换的方法还有一定缺陷,在读数前,需要对相机进行标定以获得用于极坐标变换的指针表圆弧的圆心坐标。若是使用的圆心坐标与真实值偏差过大,经由极坐标变换所产生的图像将会产生极大的误差,如图1(c)、(d)所示。因此文献[13-14]所述的方法在一些拍摄条

件恶劣的应用场景下很难保证极坐标变换后的图像质量,从而导致读数出错。

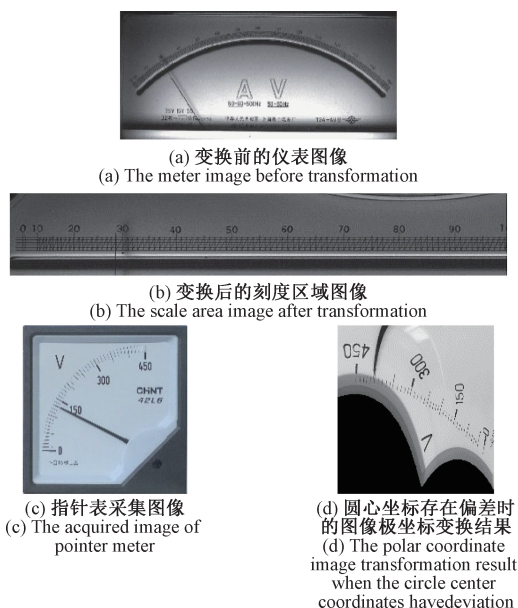


图1 极坐标变换结果对比图像

Fig.1 Comparison images of the polar coordinate transformation results

本文针对这一缺陷,提出一种新的无需训练数据的自适应仪表刻度圆心坐标的求解算法,降低对图像拍摄条件的要求,保证图像极坐标变换能达到预期的效果,从而实现指针式仪表的自动读数。

2 算法结构描述

指针式仪表盘上,仪表的刻度延长线交于一点,即仪表的圆心,如图2所示。因此,通过求解指针和刻度直线的交点可以确定极坐标变换的中心。本文所提出的完整算法结构如图3所示。

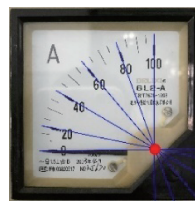


图2 仪表指针和刻度的交点位置

Fig.2 The intersection of the meter pointer and the scale

首先将相机采集的图像进行预处理,包括调节图像曝光度、图像二值化、图像形态学处理等。然后通过双重霍夫空间投票法计算仪表圆心。求得仪表圆心之后,将图像以仪表圆心为中心进行极坐标变换并在极坐标下将

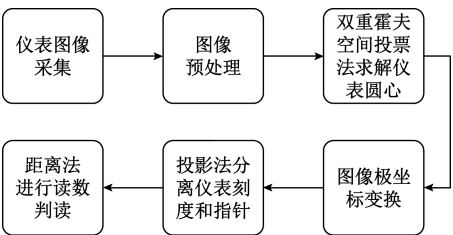


图 3 本文算法结构

Fig.3 The structure of the algorithm proposed in this paper

仪表的指针和刻度从图像中分割出来。最后,使用距离法进行仪表读数识别。

双重霍夫空间投票法的算法结构如图 4 所示。1)对经过图像预处理的仪表二值图像进行边缘检测,获得边缘点;2)将检测所获得的边缘点映射到霍夫空间;3)在霍夫空间进行第 1 次投票,检测出仪表图像中所包含的直线,即利用霍夫变换检测直线;4)根据刻度直线的角度特征,筛选出可能为刻度直线的直线;5)将筛选出的直线再次映射到霍夫空间;6)在霍夫空间进行第 2 次投票,通过随机抽样一致(random sample consensus,RANSAC)算法^[15]拟合出代表圆心的直线;7)将霍夫空间下的直线映射到笛卡尔坐标下,求得圆心的坐标。

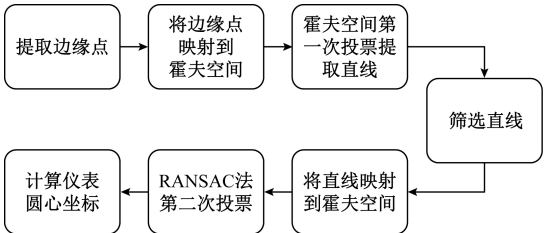


图 4 双重霍夫空间投票法算法结构

Fig.4 The algorithm structure of double Hough space voting method

本文采取霍夫空间投票法以求得指针式仪表的正确圆心,而不是通过标定相机获得固定圆心坐标。与文献[13-14]方法相比,本文的方法降低了对图像采集条件的依赖,提高了算法的应用范围。

3 指针表刻度圆心的提取

3.1 霍夫变换提取直线(霍夫空间第一重投票)

霍夫变换是图像处理中的一种特征提取技术,经典霍夫变换用来检测图像中的直线^[16]。

除垂直线外的任意直线在直角坐标系下可以用 $y=kx+b$ 表示,霍夫变换的主要思想是将该方程的参数和变量交换,即用 x,y 作为已知量, k,b 作为变量坐标,所以直角坐标系下的直线 $y=kx+b$ 在参数空间表示为点 (k,b) ,

而一个点 (x_1,y_1) 在直角坐标系下表示为一条直线 $y_1=x_1 \cdot k+b$,其中 (k,b) 是该直线上的任意点。这样的空间被称为霍夫空间。若要考虑垂直线的情况,则需在极坐标空间求解。而极坐标空间中,直角坐标下的一个点是由一条正弦曲线唯一确定的。其计算复杂度远大于求解一条直线。并且仪表的指针、刻度直线只有极少数的情况下会检测出垂直线,对于求解交点的过程影响很小。所以,本文忽略霍夫变换检测出的垂直线,而用其他角度的直线求解交点。

霍夫变换过后,可以得到表盘上的直线信息,其中不仅包含着表盘指针和刻度线的直线信息,还包含着一些干扰信息产生的直线,如仪表的边框或者表盘上的文字。

由于图像中的指针和刻度线的角度和长度与干扰信息相比具备一定特点。将霍夫变换的结果通过限制直线的角度和长度来进行筛选,可以有效减少干扰直线,以获得代表指针表刻度的直线。然后,将经过筛选的直线结果以霍夫空间的变量形式进行保存,所得直线在霍夫空间中的分布情况如图 5 所示。

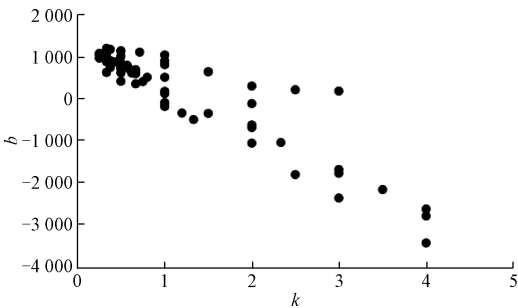


图 5 直线在霍夫空间中的分布情况

Fig.5 The distribution of the straight lines in Hough space

3.2 RANSAC 法求解仪表圆心(霍夫空间第二重投票)

直角坐标系下的指针和刻度线均交于一点,即指针表的原点。而在霍夫空间中,指针和刻度线所在直线由一些离散的点唯一表示,因此,本文将求取直角坐标系下的指针表原点的过程转化为在霍夫空间坐标系进行投票的过程。经过这次投票,筛选出霍夫空间中过点最多的一条直线。而求解直线的过程,采用了 RANSAC 算法。

RANSAC 算法进行直线拟合的过程具体可分为以下几个步骤。

- 1) 在数据中随机选择几个点设定为内群。
- 2) 对内群中的点进行直线拟合,计算直线的表达式。
- 3) 把其他刚才没有选到的点代入刚才建立的直线中,计算是否为内群,具体判定条件如式(1)所示。
$$|y - (k \cdot x + b)| < th \tag{1}$$
式中: th 为一个阈值,用于约束点偏离内群的程度。

4) 记下内群数量 C_i 。

5) 重复步骤 1)~4) n 次, 得到内群数量的集合 $C_{\text{set}} = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 。

6) 对 C_{set} 集合进行排序, 比较哪次计算中内群数量最多, 内群最多的那次所拟合的直线就是本文所需求的解, 并得到 $C = \max\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 。

求得直线的表达式过后, 即可以得出仪表圆心的坐标。圆心坐标与直线的相对关系如式(2)所示。

$$\begin{cases} C_x = -k \\ C_y = b \end{cases} \quad (2)$$

4 指针表的智能读数

4.1 仪表图像极坐标转换

将仪表图像转换至极坐标场景下主要有以下 3 个原因。

1) 常用的指针表刻度区域呈圆弧型分布。

2) 越精密的指针表, 其刻度分布越密集, 在圆弧区域中对单个刻度线进行分离就越难。通过角度法进行读数判读的难度也会大大增加。

3) 常用的指针式仪表中存在刻度分布不均匀的情况。这种情况下, 通过判断角度进行读数判读并不合理。

而转换至极坐标场景下, 指针表的刻度区域则呈矩形形状分布, 可以有效地解决以上 3 种问题。

极坐标转换的公式如式(3)、(4)所示。

$$\rho = \sqrt{(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2} \quad (3)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{y - C_y}{x - C_x}\right) \quad (4)$$

式中: ρ 和 θ 分别为极坐标下的极径和极角; x 和 y 则是直角坐标系下像素点的坐标。变换后的图像如图 6 所示。

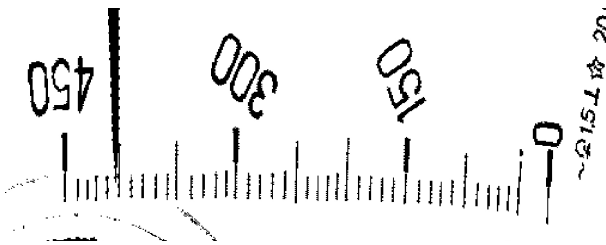


图6 极坐标变换后的指针和刻度区域

Fig.6 The pointer and scale area after polar coordinate transformation

4.2 投影法读数

得到仪表的极坐标图像后, 还需提取仪表的刻度区域。由于刻度直线两两间的距离相等, 距离的方差应是

一个很小并且近似接近于 0 的数值。根据这一特性, 本文采用水平投影法来检测仪表极坐标图像中的刻度区域。

假设连通域的距离为 $dis_i (i=0, 1, 2, \dots, n-1)$, 如图 7(b)所示, 计算图像每一行的连通域间距及方差。而刻度的总数为 n , 则刻度间距离的平均值 dis_{aver} 和方差 dis_{var} 为:

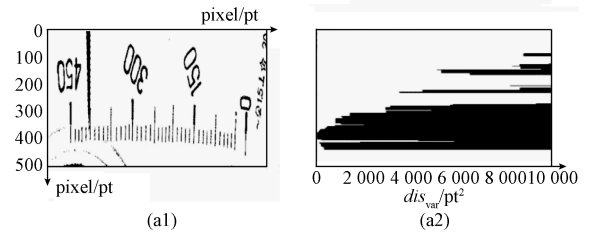
$$dis_{\text{aver}} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} dis_i}{n} \quad (3)$$

$$dis_{\text{var}} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (dis_i - dis_{\text{aver}})^2}{n} \quad (4)$$

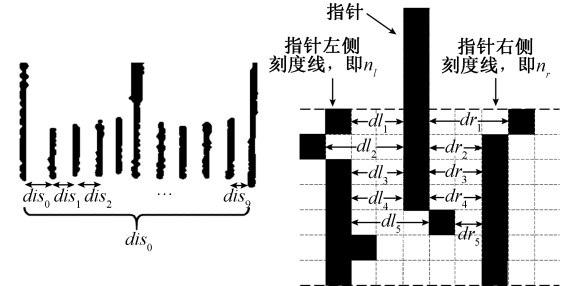
如图 7(a)所示, 其中左图的尺寸为 $500 \times 1\,000$ pixels, 单位为像素个数 (point, pt)。图 7(a2)为图 7(a1)的每一行像素对应的的方差投影值。由于表盘刻度间的距离近似相等, 因此距离方差较小, 当 dis_{var} 满足以下条件时, 这个图像区域则被判定为仪表刻度区域:

$$dis_{\text{var}} < th_{\text{var}} \quad (5)$$

式中: th_{var} 是一个阈值, 用于筛选仪表极坐标图像中的刻度区域。



(a) The scale image and its corresponding projection image of variance dis_{var}



(b) 连通域间距 dis_0 的获得方法
(b) The method for obtaining the connected component distance dis_0

(c) 指针在两刻度间的相对位置的获得方法
(c) The method for obtaining the relative position of the pointer between two scales

图7 刻度区域及指针位置的获得方法

Fig.7 The method for obtaining the scaleregion and pointer position

在提取出刻度区域图像后, 本文并不通过识别表盘上的数字进行实际读数的识别, 而是采用距离法^[17]进行数值的判读。由于本文提出的方法可以精确的提取圆心

坐标,并极大地消除极坐标转换中的倾斜、扭曲等误差,因此可以很大程度地提高距离法获得最终读数时的精度。距离法的核心思想是通过指针到两侧相邻刻度线的距离比值计算仪表读数。现假设指针左侧相邻刻度线上各像素点与指针的距离为 $dl_1, dl_2, dl_3, \cdots, dl_m$,指针右侧相邻刻度线上各像素点与指针的距离为: $dr_1, dr_2, dr_3, \cdots, dr_m$ 。则指针读数可以根据式(6)获得。

$$n = n_l + \frac{\sum_{i=1}^m dl_i}{\sum_{i=1}^m dl_i + \sum_{i=1}^m dr_i} (n_r - n_l) + \varepsilon \tag{6}$$

式中: n, n_l, n_r 分别代表仪表刻度的最终读数、指针左侧的刻度示数以及指针右侧的刻度示数。如图7(c)所示,根据指针的位置,可首先获得与指针距离最近的刻度读数,即 n_l 和 n_r 的距离,及指针在两刻度间的相对位置。其中 ε 为视点误差的修正项,采用了文献[17]的方法计算获得。

5 实验结果分析

为了验证本文所提算法的有效性,在 Visual Studio

2015 平台上,基于 OpenCV 3.0 视觉库将本文的算法实现,并使之运行在 Windows10 64 位操作系统的 PC 上。测试用指针表参数信息如表 1 所示。

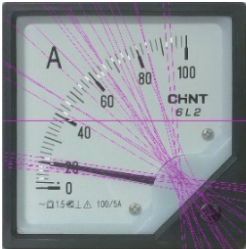
表 1 测试用指针表基本信息

Table 1 The basic information of the pointermeters under test

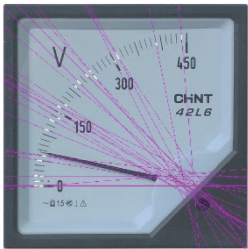
指针表种类	型号	量程	准确度等级
交流电流表	正泰 6L2-A	0~100 A	1.5 级
交流电压表	正泰 42L6-V	0~450 V	1.5 级
直流电压表	川崎 44C2-V	0~100 V	1.5 级

5.1 仪表圆心的求解

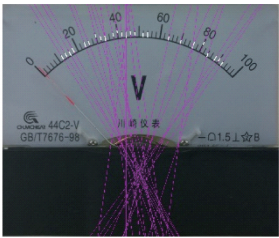
本文以图片的形式给出从检测出直线到求解圆心坐标整个过程的实验结果。仪表刻度区域的直线检测结果,即霍夫空间第 1 次投票结果如图 8(a)所示;将检测出的直线映射到霍夫空间后,其所对应点分布情况如图 8(b)所示;霍夫空间中的直线拟合结果如图 8(c)所示;仪表的圆心位置如图 8(d)所示。



(a1) 正泰6L2-A
(a1) CHNT 6L2-A

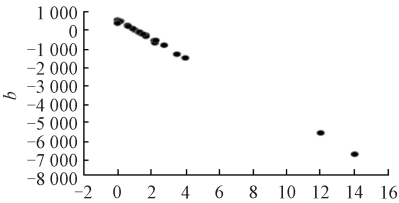


(a2) 正泰42L6-V
(a2) CHNT 42L6-V

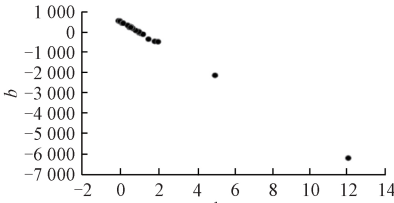


(a3) 川崎44C2-V
(a3) Kawasaki 44C2-V

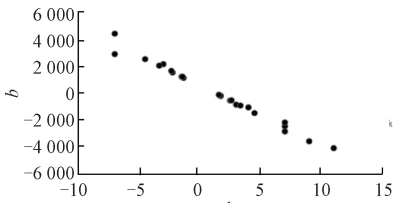
(a) 仪表刻度区域的直线检测结果
(a) The straightline detection results of the meter scale area



(b1) 正泰6L2-A
(b1) CHNT 6L2-A

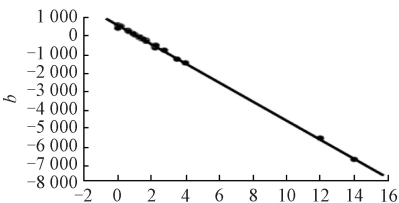


(b2) 正泰42L6-V
(b2) CHNT 42L6-V

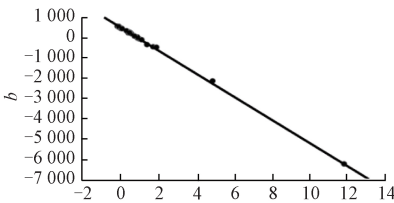


(b3) 川崎44C2-V
(b3) Kawasaki 44C2-V

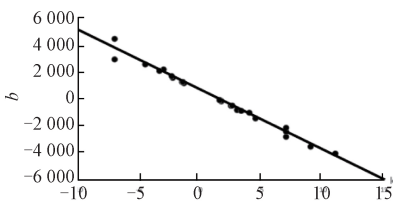
(b) 直线在霍夫空间中的分布情况
(b) The distribution of the straightlines in Hough space



(c1) 正泰6L2-A
(c1) CHNT 6L2-A



(c2) 正泰42L6-V
(c2) CHNT 42L6-V



(c3) 川崎44C2-V
(c3) Kawasaki 44C2-V

(c) 霍夫空间中的直线拟合结果
(c) The straightline fitting results in Hough space

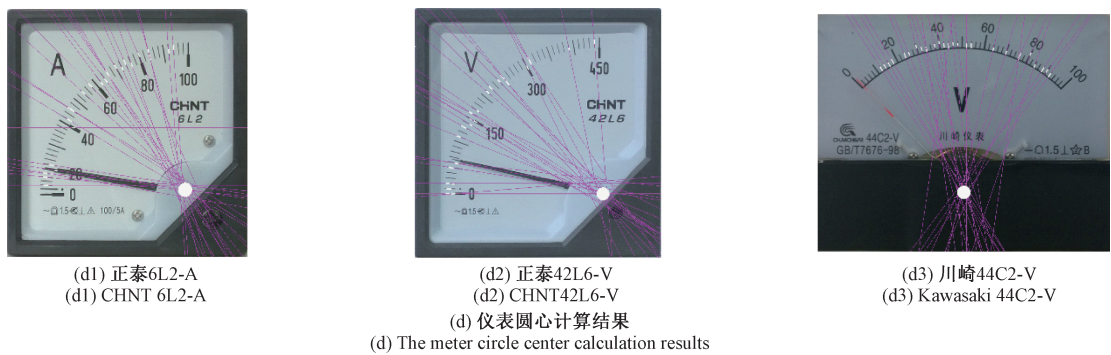


图 8 仪表圆心检测过程

Fig.8 The metercircle center detection process

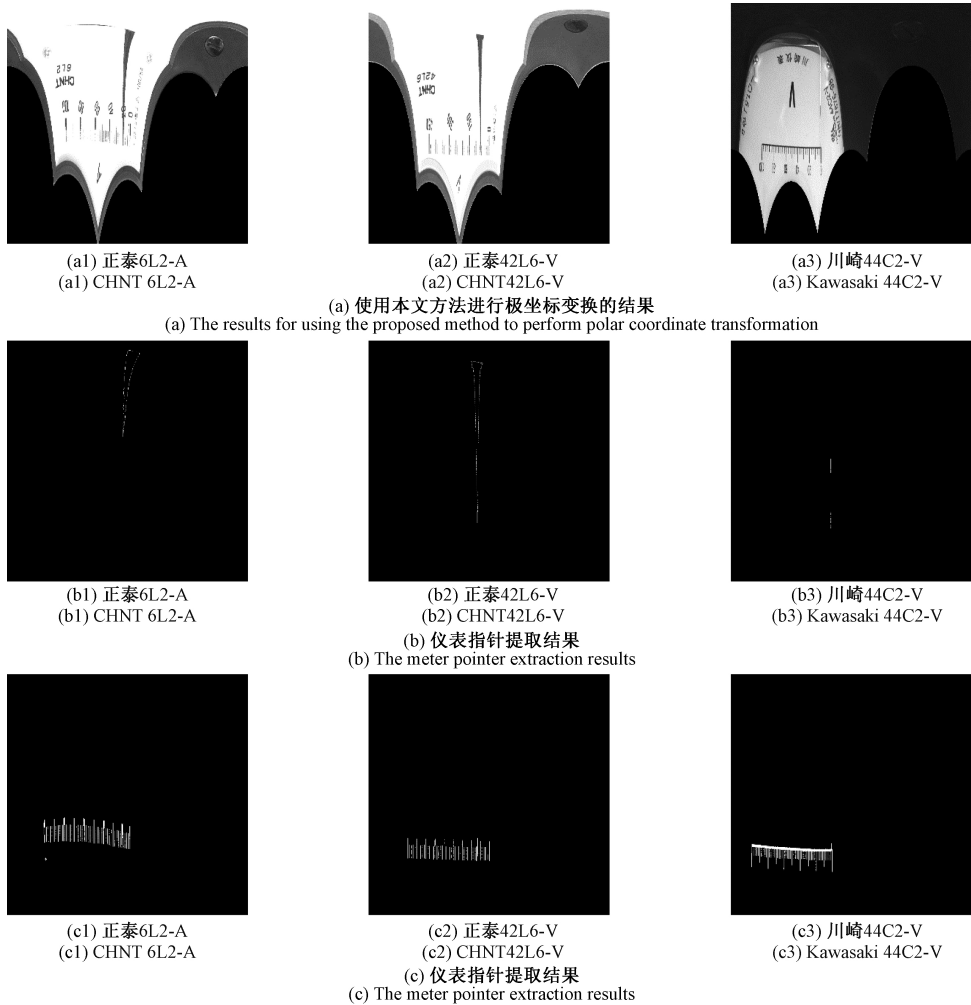
5.2 刻度、指针的分离和读数结果

首先,给出仪表图像的极坐标变换结果;接着,给出仪表指针的分离结果;然后,给出仪表刻度区域分离的结果;最后,给出算法进行仪表读数的结果以及分析。仪表极坐标变换结果以及指针和刻度区域的提取结果由图 9 所示。仪表读数结果如表 2 所示。本文提出的算法是为了通过图像识别算法替代人工读数,因此表 2 将人工判

读值与算法自动判读值进行了比较,并采用引用误差进行衡量。引用误差计算如下:

$$\gamma_m = \frac{x - x_0}{x_m} \times 100\% \tag{7}$$

式中: γ_m 为引用误差; x 为算法判读值; x_0 为人工判读值; x_m 为仪表满刻度值。



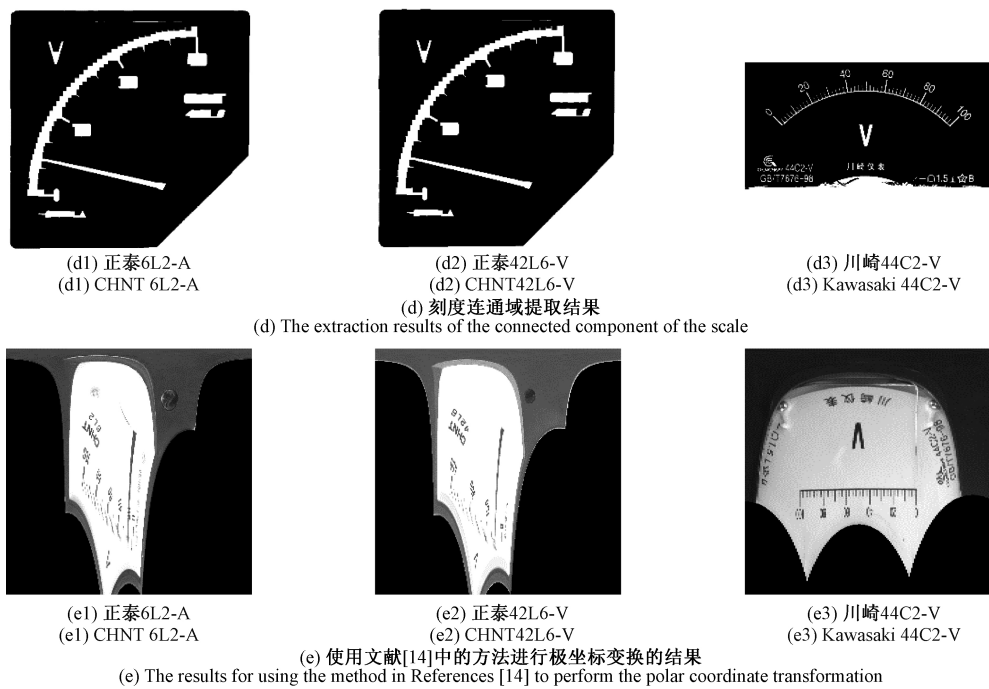


图 9 仪表指针和刻度区域的提取结果

Fig.9 The extraction results of the meter pointer and scale area

表 2 算法实验结果

Table 2 The experiment results of the algorithm

	人工判 读值/ A	自动判 读值/ A	引用 误差/ %		人工判 读值/ A	自动判 读值/ A	引用 误差/ %		人工判 读值/ A	自动判 读值/ A	引用 误差/ %
正泰 6L2-A 交流电流表	20.0	20.4	0.400	正泰 42L6-V 交流电压表	0.0	0.0	0.000	川崎 44C2-V 直流电压表	0.8	0.0	0.8
	26.0	24.8	1.200		66.0	67.3	0.289		12.0	12.0	0
	43.0	43.2	0.200		130.0	130.0	0.000		30.0	30.0	0
	51.5	51.6	0.100		222.0	222.6	0.133		52.5	52.1	0.4
	66.0	65.2	0.800		277.0	275.9	0.244		66.0	66.0	0
	76.0	75.3	0.700		321.0	323.0	0.444		80.0	81.0	1.0
	83.0	82.4	0.600		368.0	369.9	0.422		92.0	92.5	0.5
	98.0	100.4	2.400		419.0	418.9	0.022				
平均引用误差(%)		0.711	平均引用误差(%)		0.173	平均引用误差(%)		0.338			

由图 9 可见,其中图 9(a)分别是正泰 6L2-A 交流电表、正泰 42L6-V 交流电压表和川崎 44C2-V 直流电压表的极坐标变换结果。图 9(b)分别是 3 种指针表的指针提取结果。图 9(c)分别是 3 种指针表的刻度区域提取结果。根据指针头的位置,可以在刻度区域上准确地读取指针表的读数。由表 2 可见,算法在后两种指针表的读数精确度较高,引用误差均在 1% 及以下。第 1 种表的读数引用误差较高,主要是因为其物理尺寸较后两种表较小,故刻度线之间的间隔像素较小,导致相同大小的

计算误差造成的读数误差较大。

5.3 与其他算法的比较

文献[14]的常规图像形态学及连通域分析被初步用来提取仪表的大致刻度区域,然后通过 ICM 算法消除干扰得到刻度区域的精确位置。使用文献[14]的算法首先进行了连通域的提取,然后通过刻度所在的连通域所拟合的曲线圆心进行极坐标转换,其结果如图 9(d3)及(e3)所示。该算法对川崎 44C2-V 这一类型的电表具

有较好的效果,显然这是因为这类电表的刻度在同一连通域中。然而,对正泰 6L2-A 交流电流表、正泰 42L6-V 交流电压表这类刻度分离的电表通常在初步提取刻度区域这一处理步骤中就无法取得较好的效果,因为其所有刻度均不在同一连通域中,如图 9(d1)、(d2)及(e1)、(e2)所示。为了与文献[14]的方法进行比较,对其进行了进一步的图像形态学处理,通过闭运算使所有刻度连通,然后提取刻度所在连通域,通过曲线拟合获得圆心,并进行极坐标转换。其连通域提取结果和极坐标转换结果分别由如图 9(d1)、(d2)及(e1)、(e2)所示。可以看出由于闭运算使刻度所在连通域出现了误差,从而对曲线拟合及圆心提取造成了影响,而圆心提取的不准确又造成了极坐标转换的较大误差。

而本文提出的方法在进行极坐标变换之前,由于不依据连通域所拟合的曲线进行圆心的确定,因此完全不受刻度形态的影响,对各类仪表均能取得较好的效果。表 3 所示文献[14]的方法对 3 种指针表的平均引用误差率。从表 3 可以看出,文献[14]的方法,由于在极坐标变换步骤存在明显缺陷,导致对正泰 6L2-A 交流电流表、正泰 42L6-V 交流电压表判读误差较大,而川崎 44C2-V 的平均引用误差相对较低。而本文提出的方法,在 3 种表的平均引用误差率上均低于文献[14]的方法。

表 3 算法比较结果

Table 3 The algorithm result comparison

	平均引用误差/%	
	本文方法	文献[14]
正泰 6L2-A	0.711	14.3
正泰 42L6-V	0.173	12.3
川崎 44C2-V	0.338	2.7

5.4 误差分析

从表 2 的实验结果,可以看出存在着一些显著大误差,如正泰 6L2-A 交流电流表的读数为 98.0 的识别结果。大误差的原因是图像采集为仪表使用现场,当采集环境中出现较为强烈的光亮条件变化时,仪表指针出现了阴影。从而使指针提取出现了误差,从而导致了读数较大的误差。图 10(a)所示为实验原图的局部,从原图中可以看出,指针右侧有明显的阴影。图 10(b)所示为不受阴影影响的表盘局部图像。

表 4 所示为正泰 6L2-A 交流电流表的带有阴影及同样读数时不带阴影的对比实验的结果。从实验结果可以看出,当没有阴影时,由于指针提取较为准确,误差明显小于有阴影图片的测试结果。

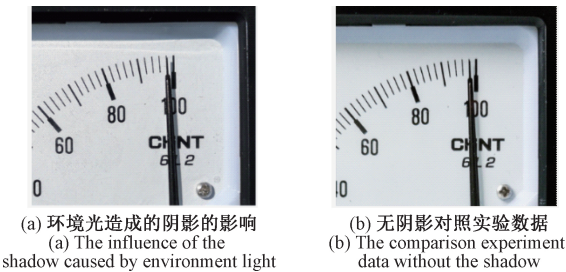


图 10 大误差原因示意

Fig.10 The schematic diagram of the reason of large error

表 4 误差分析
Table 4 Error analysis

人工判读值	实测阴影数据		无阴影对照数据	
	自动判读值	引用误差/%	自动判读值	引用误差/%
98.0	100.4	2.4	98.6	0.6
60.0	61.2	1.2	60.3	0.3
44.0	44.6	0.6	44.2	0.2

6 结 论

本文依据仪表刻度和圆心在霍夫空间中的分布特性,提出了一种基于霍夫空间双重投票的自动读数方法,整个方法可分为图像预处理、双重霍夫空间投票法、极坐标变换、投影法图像分割、距离法读数等 5 个部分。该方法以双重投票的方式自适应地计算仪表圆心,然后在极坐标空间分割仪表图像中的刻度区域和指针,获取刻度和指针的位置信息,最后通过距离法对指针式仪表进行读数。实验证明,本文提出算法的平均引用误差均在 0.8% 以下,算法稳定可靠,在现有自动读数算法的基础上,提高了系统自适应性。不过,仪表刻度线比较稀疏的情况下,本文算法计算仪表圆心的精度会大大下降,影响读数结果。此外,当环境中出现较强照明光线导致指针带有阴影时,指针提取会出现较大误差。在未来的研究中,改进的重心将放在提高圆心坐标的计算准确度、降低图像采集环境要求等方面。

参考文献

[1] 晁阳. 基于特征识别的指针式仪表自动识别研究[D]. 济南:山东大学, 2008.
CHAO Y. Automatic recognition research of the analogdisplay instrument based on the figure

- recognition[J]. Ji'Nan;Shandong University, 2008.
- [2] 邢浩强, 杜志岐, 苏波. 变电站指针式仪表检测与识别方法[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(11):2813-2821.
XING H Q, DU ZH Q, SU B, Detection and recognition method for pointer-type meter in transformer substation[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2017, 38(11):2813-2821.
- [3] 朱海霞. 基于改进 Hough 变换和 BP 网络的指针仪表识别[J]. 电测与仪表, 2015(5):11-14.
ZHU H X. Pointer instrument recognition based on BP network and improved Hough transform[J], Electrical Measurement & Instrumentation, 2015(5):11-14.
- [4] 刘全周, 贾鹏飞, 李占旗, 等. 基于深度学习的汽车仪表标识辨别系统设计[J]. 新型工业化, 2018, 8(6):90-98.
LIU Q ZH, JIA P F, LI ZH Q, et al. The design of automotive instrument cluster identification system based on deep learning [J]. The Journal of New Industrialization, 2018, 8(6):90-98.
- [5] 何智杰, 张彬, 金连文. 高精度指针仪表自动读数识别方法[J]. 计算机辅助工程, 2006, 15(3):9-12.
HE Z J, ZHANG B, JIN L W. Highly accurate automatic- dial recognition [J]. Computer Aided Engineering, 2006, 15(3):9-12.
- [6] 罗钧, 夏绪伟, 卢艳, 等. 基于图像处理的模拟指针表刻度自动对准[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(4): 425-424.
LUO J, XIA X W, LU Y, et al. Automatic alignment between analog pointer meter 's pointer and scale with image processing method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004, 25(4): 425-427.
- [7] 宋人杰, 赵立亚. Hough 变换的改进及其在电厂指针式仪表自动识别中的应用[J]. 东北电力大学学报, 2011, 31(3):42-46.
SONG R J, ZHAO L Y. Improved Hough transform and its application in automatic recognition on dial instrument in power plants [J]. Journal of North-east Dianli University, 2011, 31(3):42-46.
- [8] 刘薇, 苏俊源, 尚秋峰. 基于彩色区域识别快速报警指针识别算法[J]. 电测与仪表, 2014, 51(20):25-30.
LIU W, SU J Y, SHANG Q F. A fast alarm pointer recognition algorithm based on color region re-cognition[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014, 51(20):25-30.
- [9] 徐洋, 张清蓉. 基于图像处理的汽车指针仪表检测研究[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(8):219-221.
XU Y, ZHANG Q R. Research on image processing based automotive pointer instruments detection [J]. Computer Applications and Software, 2014, 31(8):219-221.
- [10] 陶冰洁, 韩佳乐, 李恩. 一种实用的指针式仪表读数识别方法[J]. 光电工程, 2011, 38(4):145-150.
TAO B J, HAN J L, LI E, An Applied Method for Reading Recognition of Index-instrument [J], Opto-Electronic Engineering, 2011, 38(4):145-150.
- [11] 张冀, 王俊宏, 尉迟明, 等. 基于计算机视觉的汽车仪表指针检测方法[J]. 计算机工程与科学, 2013, 35(3):134-139.
ZHANG J, WANG J H, YU CH M, et al. Novel automobile meter pointer detection algorithm based on computer vision [J]. Computer Engineering & Science, 2013, 35(3):134-139.
- [12] 许丽, 石伟, 方甜. 巡检机器人中的指针式仪表读数识别系统 [J]. 仪器仪表学报, 2017, 38 (7): 1782-1790.
XU L, SHI W, FANG T. Pointer meter reading recognition system used in patrol robot [J], Chinese Journal of Scientific Instrument, 2017, 38 (7): 1782-1790.
- [13] 孙琳, 王永东. 指针式仪表自动检定系统图像识别技术[J]. 现代电子技术, 2011(8):101-104.
SUN L, WANG Y D. Image recognition technology of index meter automatic verification system [J]. Modern Electronics Technique, 2011, 34(8):101-104.
- [14] 张军国, 石睿, 陈劭. 基于 ICM 的精密指针式仪表自动读数方法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37 (12): 2866-2872.
ZHANG G J, SHI R, CHEN SH. Autoreading method for precision pointer meter based on ICM [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37 (12): 2866-2872.
- [15] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications

to image analysis and automated cartography [J].
Communications of the ACM, 1981, 24(6): 381-395.

- [16] DUDA R, HART P. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures [J]. Graphics and Image Processing, 1972, 15(1): 11-15.

- [17] 李学聪. 基于机器视觉指针表检测的关键技术研究 [D]. 广州:广东工业大学, 2014.

LI X C. Key Technology research of point meter detection based on computer vision [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2014.

作者简介



盛庆华, 2000 年于陕西师范大学获得学士学位, 2003 年于西安电子科技大学获硕士学位, 现为杭州电子科技大学副教授, 主要研究方向为电子系统集成和工业机器视觉。
E-mail: sheng7@hdu.edu.cn

Sheng Qinghua received his B.Sc. degree from Shanxi Normal University in 2000 and M.Sc. degree from Xidian University in 2003. Now he is an associate professor in Hangzhou Dianzi University. His main research interests include electronic system integration and industrial machine vision.



李竹(通信作者), 2005 年于浙江工业大学获得学士学位, 2012 年于东京农工大学获博士学位, 现为杭州电子科技大学副教授, 主要研究方向为计算机视觉及数字图像处理。

E-mail: lz1126@hdu.edu.cn

Li Zhu (Corresponding author) received his B.Sc. degree from Zhejiang University of Technology in 2005 and Ph.D. degree from Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan in 2012. Now he is an associate professor in Hangzhou Dianzi University. His main research interests include computer vision and digital image processing.