

指针式仪表自动读数识别技术的研究现状与发展

韩绍超 徐遵义 尹中川 王俊雪

(山东建筑大学计算机科学与技术学院 济南 250101)

摘要 指针式仪表自动判读技术是当前机器视觉研究的热点,也是模式识别领域一项重要的研究内容和前沿技术。在对指针式仪表识别技术进行了一般性概述之后,详细介绍了基于机器视觉的指针式仪表自动读数识别技术的基本概念、基本原理和主要研究内容,介绍了该技术在国内外的研究现状,同时重点介绍了图像校正、圆形表盘轮廓检测、指针线检测和角度计算等主要研究内容的最新进展,最后给出了指针式仪表自动读数识别涉及的关键技术和发展方向。

关键词 指针式仪表,机器视觉,霍夫变换,读数识别,倾斜校正,图像细化

中图分类号 TP216+.1 文献标识码 A

Research Review and Development for Automatic Reading Recognition Technology of Pointer Instruments

HAN Shao-chao XU Zun-yi YIN Zhong-chuan WANG Jun-xue

(School of Computer Science and Technology, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract The technology of determining the reading of pointer instruments automatically is a hotspot of machine vision in recent years, which is also an important research content and advanced technology in the field of pattern recognition. After the general overview of the recognition technology of the pointer meters, the basic concept, fundamental and main research contents of automatic reading recognition technology of the pointer meters based on machine vision were introduced in this paper. The research status of this technology both at home and abroad was introduced. The latest progress of the image correction, detection of round contours, detection of the pointer and angle calculation was introduced. Finally, the key technology and the development direction of the automatic reading recognition technology were pointed out.

Keywords Pointer instruments, Machine vision, Hough transformation, Reading recognition, Tilt correction, Image refinement

1 引言

随着工业化和信息化的快速发展,工业生产的规模不断扩大,各种精密仪表(如电流表、电压表、温度表等测量设备)的数量也急剧增加,如何快速、准确地获取该类仪表的测量值成为了工业生产中亟需解决的问题^[1-5]。虽然数显式仪表技术已相当成熟,但由于电磁干扰等环境因素的影响,工业生产(如电厂等)不宜采用数显式仪表,指针式圆形或者方形仪表在未来相当长的时间内仍然是工业生产中主要的测量仪表。指针式仪表没有数据输出接口,需要人工手动录入读数,工作量大且易出错,严重影响了工业生产效率。

为解决上述问题,基于机器视觉的指针式仪表自动读数识别方案被广泛采纳。该方案通过对指针式仪表进行图像采集,经过图像预处理,采用机器视觉技术进行仪表自动读数的识别^[6-7]。随着高性能计算和移动通讯技术的发展,该技术已成为当前机器视觉与模式识别领域研究的新热点和前沿技术。

2 指针式仪表自动读数识别技术的基本原理

指针式仪表是工业中常用的测量仪表,常见的有圆形和

方形两种,如电流表、电压表、温度表等。

指针式仪表自动读数识别技术的基本原理是:利用摄像机等图像采集设备采集指针式仪表图像,将其输入计算机,首先对原始图像进行预处理,然后进行表盘区域的图像分割,从分割出的表盘区域图像中找到指针所在的直线并计算指针线角度,最后计算出当前指针式仪表读数。整个过程如图 1 所示。

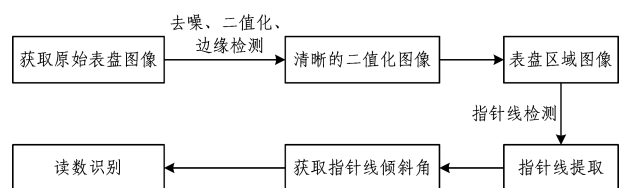


图 1 指针式仪表自动读数识别的过程

圆形指针式仪表自动读数识别技术的主要研究内容包括指针式仪表图像的处理和指针式仪表图像的读数识别两方面内容。其中,仪表图像的处理包括仪表图像的采集和指针式仪表的倾斜校正,指针式仪表的读数识别包括表盘轮廓检测和指针线检测及角度计算。

本文受山东省重点研发计划(2015GGX101047,2016GGX101024)资助。

韩绍超(1991—),男,硕士生,主要研究方向为数字图像处理与模式识别、信号处理、仪器仪表识别,E-mail:1209988712@qq.com;徐遵义(1969—),男,博士,副教授,硕士生导师,CCF会员,主要研究方向为图像处理与模式识别、知识管理与数据挖掘,E-mail:562852034@qq.com(通信作者);尹中川(1992—),男,硕士生,主要研究方向为数据挖掘、故障检测、人工智能、离群点挖掘;王俊雪(1992—),女,硕士生,主要研究方向为数据挖掘、人工智能。

一种精度较高的圆形指针式仪表自动读数识别方法^[1,8]是首先对由摄像机拍摄到的圆形指针式仪表图像进行中值滤波去噪,其做法是将图像中某个像素点 (x, y) 的值替换为与其相邻像素点值的中值,以起到滤波的作用;利用自适应阈值方法对图像进行二值化处理;利用 Canny 边缘检测算子对表盘的二值化图像进行边缘检测。利用霍夫变换算法对表盘圆进行检测。该算法利用笛卡尔坐标空间与极坐标空间的对应性进行圆的检测,两个坐标空间的对应关系为:

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

其中, (x, y) 为图像空间中的像素的横纵坐标, r 和 θ 为极坐标空间中的两个参数。利用统计学知识统计其中焦点汇集最多的曲线即为检测到的圆形表盘轮廓,由此得到表盘所在的圆的圆心和半径。在检测到的圆内,利用形态学中的腐蚀操作进行图像的细化,以得到指针线的骨架。利用霍夫变换算法在腐蚀后的图像中进行直线检测,得到较为准确的指针线,进而计算指针线所指的读数与最小读数之间的夹角,再利用公式:

$$v = v_{\min} + \frac{\theta_1}{\theta} (v_{\max} - v_{\min}) \quad (2)$$

计算当前指针式仪表的读数。其中, v_{\min} 为仪表的最小读数, v_{\max} 为仪表的最大读数, θ 为指针扫过的角度, θ_1 为指针线与最小刻度之间的夹角, v 为当前仪表的读数。

3 指针式仪表自动读数识别技术的研究现状

近年来,随着图像传感器(CCD)和信号处理技术(DSP)的发展,摄像机的拍摄性能和分辨率不断提高,指针式仪表自动读数识别技术利用摄像机进行仪表图像的采集,将指针式仪表图像输入计算机进行后续处理。

受摄像机拍摄角度等因素的影响,获取到的现场指针式仪表图像通常带有一定的倾斜角度。因此,在对原始图像进行前期的预处理之后,需要对图像进行适当的旋转校正。当前已有许多用于图像旋转校正的算法。对于矩形指针式仪表,利用图像坐标系与齐次坐标系之间的对应关系来校正矩形指针式仪表,最大限度地降低了矩形指针式仪表的旋转倾斜角度^[1]。圆形指针式仪表的倾斜校正一直是影响识别精度的重要因素;且由于其表盘轮廓中没有固定的稳定参考点,因此而难以进行旋转校正。通常采用匹配图像中的对光照、旋转、仿射变换等不变的关键点的方法来达到旋转校正图像的目的,如 SIFT, SURF, ORB 等算法^[9-12]。

最早提出的与图像倾斜校正有关的算法是尺度不变特征变换(Scale Invariant Feature Transform, SIFT)算法,该算法是 David 在 1999 年提出的,并且在 2004 得到了完善总结^[9]。它通过在空间尺度中寻找极值点提取出其位置、尺度、旋转不变量,以达到寻求图像特征的目的,是一种强大的图像恢复与三维重建算法。但是,该算法在校正圆形物体时,会得到很少的关键点,并且计算量大、耗时长,不利于对实时性要求较高的圆形仪表进行准确校正。

SURF(Speeded Up Robust Feature)算法是另一种图像校正算法,具有快速、鲁棒性的特征由 Bay 在 2006 年提出^[10],通常可以应用于计算机视觉的物体识别以及 3D 重构。该算法是从 SIFT 算法改进而来,采用了 harr 特征以及积分

图像的概念,极大地提高了运算速度。但是,其过于依赖局部区域像素的梯度方向,可能造成检测到的主方向不准确。因此,需要对以上两种算法进行综合考虑和改进,以求获取更好的图像校正方法。

ORB(Oriented Binary Robust Independent Elementary Features)算法是一种 FAST 特征点与 BRIEF^[11]特征描述子相结合的方法,是由 EPFL 的 Calonder 在 ECCV2010 上提出来的^[12]。该算法主要解决 BRIEF 算法描述子不具备旋转不变性的问题,具有较快的执行速度和匹配速度。

普遍采用的圆形表盘轮廓检测算法是 Hough 变换算法。通过设置适当的半径阈值,该算法可以检测出图像中半径处于设定阈值之间的所有圆。经典的 Hough 变换算法需要在两个坐标空间中频繁地进行坐标转换^[13,31],实时性不高。对此,研究者们提出了多种改进的 Hough 变换检测算法。包括随机的 Hough 变换算法和广义的 Hough 变换算法。利用改进的 Hough 变换算法检测圆形仪表轮廓^[13-14],其检测速度较传统的 Hough 变换算法提高了近 4 倍,检测效果更加接近于实时检测。

当前已有多多种在二维图像中检测直线的方法,包括 Hough 变换算法^[1-2]、剪影法^[15]、总体最小二乘法^[16-18]、Bresenham 画线法^[19-20]以及基于区域生长的算法^[21]等。Alegria 等采用剪影法将同一场景下的待测图像与指针线处于最小刻度处的模板图像进行相减,从而提取出指针线^[15]。最小二乘法、总体最小二乘法以及 Bresenham 画线法均属于直线拟合法,根据指针区域分散的像素点来拟合指针线。王琦等使用总体最小二乘法来定位指针线,检测到的指针线比传统的最小二乘法更加接近于真实的指针线^[16]。Belan 等采用 Bresenham 画线法来检测指针线^[20]。刘金庆等采用基于区域生长的方法来检测直线^[21],但该方法在噪声密度很大时的检测效果相对较差。相对于 Hough 变换算法,这些算法在检测速度上都有很大程度的提高,但精确度通常不是很高。

当前计算指针线角度的方法主要有两种:刻度识别法^[17]和指针角度算法^[21]。刻度识别法首先检测出所有刻度线,然后计算出相邻两个刻度线之间的夹角,并根据当前指针线所处的位置距离最小刻度的刻度数来计算指针线所占的角度比,最后通过检测圆形指针式仪表表盘的所有刻度线,根据刻度线所代表的仪表读数值和指针针尖的位置来读取仪表示数。由于指针式仪表的刻度可能非常密集,并且刻度线长度较短,因此不易检测和计算,而其优点是得到的角度值较为精确。指针角度算法是当前应用较为普遍的方法,即根据检测到的指针直线来计算指针的效率,进而得到指针所在直线的倾斜角度^[1,21-23]。该方法不再考虑刻度线,而是直接利用直线的几何关系进行计算,因此比较简单,得到了广泛的应用。

综合国内外基于机器视觉的指针式仪表自动读数识别技术的研究现状可知,国外对该技术的研究起步较早,发展迅速,已提出了多种面向该技术的算法^[25-30];国内创新性的工作相对较少,主要是对该技术所用算法的改进^[31-35],与国外相比存在一定差距。此外,国内外对于将摄像机标定技术应用到圆形指针式仪表的图像采集方面的研究较少,如何获得更高质量的指针式仪表图像对读数识别阶段有重要影响,因

此充分研究图像采集技术以获取高质量的指针式仪表图像已成为该技术发展过程中必须考虑的问题。

4 关键技术

指针式仪表自动读数识别技术是目前机器视觉与模式识别研究的热点,具有广阔的应用前景。该技术除了对原始图像进行必要的预处理操作,还包括以下几项关键技术。

4.1 指针式仪表图像采集

指针式仪表图像的拍摄质量是影响识别精确度的关键性因素。随着 CCD 技术和 DSP 技术的不断发展,摄像机的分辨率不断提高,因此普遍采用摄像机等图像采集设备进行指针式仪表图像的采集。但是由于受摄像机镜头制作材料的光学性质的影响,采集到的指针式仪表图像都带有一定的畸变效应,需要借助大量的实验和计算来获取摄像机的畸变参数,消除摄像机镜头畸变,从而获取高质量的仪表图像。

4.2 表盘旋转校正

由于摄像机拍摄角度、指针式仪表安装位置以及外界光照等因素的影响,采集到的表盘图像通常具有一定的倾斜角度,严重影响了检测精确度,因此需要对图像中的表盘进行旋转校正,以提高读数的精确度。除了利用空间坐标系与齐次坐标系的转换关系来校正方形表盘倾斜问题外,目前常用 SIFT 算法、SURF 算法以及 ORB 算法来解决该问题。这些算法需要提取关键点与模板匹配以达到图像校正,计算量较大,执行效率较低,在实时性检测中很难达到要求,需要继续对其进行改进,或研究新的检测算法来满足实时性需求。

4.3 表盘轮廓提取与指针线检测

对于圆形表盘,通常用霍夫变换算法进行轮廓的检测。通过设置半径阈值,该算法可以检测出任意大小的圆形物体,并且检测精度较高。但是,由于圆形指针式仪表所处的环境以及摄像头拍摄角度的不同,检测时其半径大小等参数不易控制,并且该算法涉及两个坐标空间之间的转换,涉及到图像中所有像素的运算,效率较低。

对仪表指针线进行检测的常用方法有: Hough 变换算法、最小二乘拟合法以及 Bresenham 画线。与霍夫变换算法检测圆一样,用该算法检测直线的检测精度较高,但效率较低。最小二乘拟合法与 Bresenham 画直线的方法类似,相比于霍夫变换算法,两者极大地提高了计算速度,但是两种画线算法在具有大量噪声的图像中仍然存在较大的检测误差。综上,需要结合多种画线算法以及相关的数学理论进行改进,才能在不同场景的图像中检测到准确度较高的指针线。

4.4 读数识别

由于刻度线较密集、长度较短,仪表刻度识别法的识别难度较大,不易实现;由于采用直线检测算法检测到的指针线存在一定的误差,指针角度计算的结果与实际读数也存在一定的差异。因此,需要充分结合仪表指针线和刻度线的几何关系进行误差分析,以提高指针线角度的计算精度,进一步提高读数的精确度。

结束语 指针式仪表自动读数识别技术具有可重复使用、精确度高、时效性好等优点,可以大大改善人工作业会造成重大误差的问题,极大地提高了工业效率。为了使该技术得到进一步的发展,可以从以下几方面进行探索。

1) 利用移动设备代替摄像机。当前,移动设备的运行速度越来越快,性能越来越高,完全可以进行复杂的处理工作。利用摄像机进行指针式仪表的图像采集工作时,由于摄像机不易携带,不利于满足实时采集要求。因此,可以开发移动端的指针式仪表读数识别系统,以便实时进行图像的采集并加以分析。

2) 轮廓及指针线检测。近几年,针对立体视觉的研究发展迅速,利用图像进行三维重建的技术也得到迅速发展。可以利用拍摄到的指针式仪表图像进行指针式仪表的三维重建,从而得到指针式仪表在世界坐标系中的位置,以便更好地进行表盘旋转校正以及指针线提取等,进一步提高识别精确度。

3) 探索新的读数识别方法。近几年,机器学习和深度学习深受广大研究者的关注,通过训练大量的数据来提取物体的特征,再利用提取到的特征进行目标物体的辨识。可以将指针式仪表的大量图像数据作为识别的训练集,用深度学习的方法进行自动读数的识别,以减少对机器视觉方法中复杂算法的使用,充分发挥计算机在计算速度方面的潜力。

参考文献

- [1] ZHENG C, WANG S, ZHANG Y, et al. A robust and automatic recognition system of analog instruments in power system by using computer vision[J]. *Measurement*, 2016, 9(2): 413-420.
- [2] HAN J, LI E, TAO B, et al. Reading recognition method of analog measuring instruments based on improved hough transform [C] // *International Conference on Electronic Measurement & Instruments*. IEEE, 2011: 337-340.
- [3] YANG B, LIN G, ZHANG W. Auto-recognition Method for Pointer-type Meter Based on Binocular Vision[J]. *Journal of Computers*, 2014, 9(4): 787-793.
- [4] 李勇. 指针式仪表的自动识别技术研究及实现[D]. 郑州: 郑州大学, 2015.
- [5] 王欣. 智能变电站指针式仪表自动识别方法的研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2016.
- [6] 黄颖怡, 汪仁煌, 岳利军. 机器视觉仪表识别方法的研究进展[J]. *自动化仪表*, 2009, 30(8): 58-60.
- [7] 邹俊贵, 陈以. 常用指针式仪表识别技术研究综述[J]. *仪器仪表与分析监测*, 2009(1): 1-3
- [8] CHI J, LIU L, LIU J, et al. Machine Vision Based Automatic Detection Method of Indicating Values of a Pointer Gauge[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 2015(3): 1-19.
- [9] LOWE D G, LOWE D G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91-110.
- [10] BAY H, TUYTELAARS T, GOOL L V. SURF: Speeded Up Robust Features [J]. *Computer Vision & Image Understanding*, 2006, 110(3): 404-417.
- [11] CALONDER M, LEPETIT V, STRECHA C, et al. BRIEF: binary robust independent elementary features [C] // *European Conference on Computer Vision*. Springer-Verlag, 2010: 778-792.
- [12] RUBLEE E, RABAU D V, KONOLIGE K, et al. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF [C] // *IEEE International Conference on Computer Vision*. IEEE, 2011: 2564-2571.
- [13] 陈小艳, 王强, 李柏林. 改进的 Hough 变换检测圆方法[J]. 计算

- 机系统应用,2015,24(8):197-201.
- [14] 朱桂英,张瑞林. 基于 Hough 变换的圆检测方法[J]. 计算机工程与设计,2008,29(6):1462-1464.
- [15] ALEGRIA F C, SERRA A C. Computer vision applied to the automatic calibration of measuring instruments[J]. *Measurement*, 2000, 28(3):185-195.
- [16] WANG Q, TANG X, DING C, et al. Automatic alignment system based on center point recognition of analog measuring instruments dial[C]//Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2013. New York:IEEE, 2013:5532-5536.
- [17] LI B, JIA Z. Some Results On Condition Numbers Of The Scaled Total Least Squares Problem[J]. *Linear Algebra & Its Applications*, 2009, 435(3):674-686.
- [18] 张远辉,张鼎,许昌,等. 指针式仪表总体最小二乘图像校验算法[J]. 自动化仪表,2015,36(5):75-79.
- [19] BRESENHAM J. A linear algorithm for incremental digital display of circular arcs[J]. *Communications of the Acm*, 1977, 20(2):100-106.
- [20] BELAN P A, ARAUJO S A, LIBRANTZ A F H. Segmentation-free approaches of computer vision for automatic calibration of digital and analog instruments[J]. *Measurement*, 2013, 46(1):177-184.
- [21] LIU J, LIU Y, YU L. Novel method of Automatic Recognition for Analog Measuring Instruments[C]//International Conference on Manufacturing Science and Engineering. 2015:67-74.
- [22] YANG Z, NIU W, PENG X, et al. An image-based intelligent system for pointer instrument reading[C]//IEEE International Conference on Information Science and Technology. IEEE, 2014:780-783.
- [23] YUE X F, MIN Z, ZHOU X D, et al. The Research on Auto-recognition Method for Analogy Measuring Instruments[C]//International Conference on Computer, mechatronics, Control and Electronic Engineering. 2010:207-210.
- [24] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理(第三版)[M]. 阮秋琦,阮宇智,译. 北京:电子工业出版社,2011.
- [25] SABLATNIG R, KROPATSCH W G. Automatic reading of analog display instruments[C]//Iapr International Conference on Pattern Recognition. New York:IEEE, 1994:794-797.
- [26] ALEGRIA E C, SERRA A C. Automatic calibration of analog and digital measuring instruments using computer vision[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement*, 2000, 49(1):94-99.
- [27] HEMMING B, LEHTO H. Calculation of uncertainty of measurement in machine vision case; a system for the calibration of dial indicators[C]//Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Budapest, Hungary:IEEE, 2001:665-670.
- [28] HEMMING B, FAGERLUND A, LASSILA A. High-accuracy automatic machine vision based calibration of micrometers[J]. *Measurement Science & Technology*, 2007, 18(18):1655-1660.
- [29] DATTA A, KIM J S, KANADE T. Accurate camera calibration using iterative refinement of control points[C]//IEEE International Conference on Computer Vision Workshops. IEEE, 2009:1201-1208.
- [30] TSAI C Y, TSAO A H, WANG C W. Real-Time Feature Descriptor Matching via a Multi-Resolution Exhaustive Search Method[J]. *Journal of Software*, 2013, 8(9):2197-2201.
- [31] HOUGH P V C. Method and means for recognizing complex patterns; U. S. Patent 3069654[P]. 1962.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 李祖贺,刘嘉,薛冰,等. 面向自动校验系统的指针式压力表读数识别[J]. 计算机工程与应用,2016,52(23):213-219.
- [35] 张春雪. 图像的边缘检测方法研究[D]. 江苏:江南大学,2011.
- (上接第 27 页)
- [33] 李雄飞,李军,董元方,等. 一种新的不平衡数据学习算法 PC-Boost[J]. 计算机学报,2012,35(2):202-209.
- [34] 袁兴梅,杨明,杨杨. 一种面向不平衡数据的结构化 SVM 集成分类器[J]. 模式识别与人工智能,2013,26(3):315-320.
- [35] ARUNASALAM B, CHAWLA S. CCCS: a top-down associative classifier for imbalanced class distribution [C] // 12th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. ACM, 2006:517-522.
- [36] PATEL H, THAKUR G S. A Hybrid Weighted Nearest Neighbor Approach to Mine Imbalanced Data[C]//International Conference on Data Mining (DMIN). 2016:106.
- [37] IMAM T, KAI M T, KAMRUZZAMAN J. z-SVM: An SVM for Improved Classification of Imbalanced Data[C]//Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence. Springer Berlin Heidelberg, 2006:264-273.
- [38] KUBAT M, HOLTE R C, MATWIN S. Machine learning for the detection of oil spills in satellite radar images[J]. *Machine Learning*, 1998, 30(2):195-215.
- [39] BRADLEY A P. The use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms[M]. Elsevier Science Inc., 1997.
- [40] FAWCETT T. An introduction to ROC analysis[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27(8):861-874.
- [41] PROVOST F, DOMINGOS P. Tree induction for probability-based ranking[J]. *Machine Learning*, 2003, 52(3):199-215.
- [42] HAND D J, TILL R J. A simple generalisation of the area under the ROC curve for multiple class classification problems[J]. *Machine Learning*, 2001, 45(2):171-186.
- [43] DAVIS J, GOADRICH M. The relationship between Precision-Recall and ROC curves[C]//23rd International Conference on Machine Learning. ACM, 2006:233-240.
- [44] DRUMMOND C, HOLTE R C. Cost curves: An improved method for visualizing classifier performance [J]. *Machine Learning*, 2006, 65(1):95-130.