

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2022.01.020

# 基于机器视觉的自动仪表盘指针检测研究\*

郝永飞,唐旭晟\*,程良利

(福州大学 机械工程及自动化学院,福建 福州 350108)

**摘要:**传统的汽车仪表检测方法主要是依靠人工进行检测,该方法存在着检测效率低下且检测精度不高的问题,针对这些问题,设计了一种基于机器视觉的汽车仪表检测系统。首先,介绍了该检测系统的整体组成,然后主要介绍了该系统中的软件,以及仪表指针的检测算法和流程;并且根据指针与背景是否易于分离,将汽车仪表分为两类;接着,采用阈值分割法对指针进行了粗定位,随后根据仪表类型,分别采用骨架提取和灰度法对指针进行了细化,采用基于 Tukey 权重函数的迭代加权最小二乘法拟合了指针直线,对指针进行了精定位;提出了一种最小距离和的交点法对指针的回转中心进行了定位;采用角度法对指针读数进行了识别;最后,将 A、B 两款仪表分别在该检测系统中进行了指针检测的实验。研究结果表明:系统检测值与理论偏转值之间的误差,即该系统指针检测的读数误差均小于 1%,该算法具有较好的精度;并且其平均识别时间约为 200 ms,可见该检测系统的识别精度和速度均能够满足仪表指针检测的实际需求。

**关键词:**自动仪表盘;指针检测;机器视觉;最小二乘法

**中图分类号:**TH712;TP391.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-4551(2022)01-0134-07

## Auto dashboard pointer detection based on machine vision

HAO Yong-fei, TANG Xu-sheng, CHENG Liang-li

(College of Mechanical Engineering and Automation,  
Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** Traditional dashboard detection mainly relied on manual labor, so the efficiency and accuracy of the detection were not high. Aiming at these problems, a dashboard detection system was designed based on machine vision. Firstly, the overall composition and software of the detection system was introduced. The pointer detection algorithm technological process of the system was introduced in detail. According to whether the pointer and the background were easy to separate, car instruments were divided into two categories. Then, the threshold segmentation method was used to roughly locate the pointer. According to the type of the dashboard, the skeleton extraction and gray scale method were used to refine the pointer. To finely locate the pointer, the iterative weighted least square method based on the Tukey weight function was used to fit the pointer straight line. A method that minimized the sum of the distances between center and intersections was proposed to locate the pointer rotation center. The angle method was used to identify pointer readings. Finally, instruments A and B were tested in the detection system. The results show that the error between the system detection value and the theoretical deflection value, that is, the reading error of the system pointer detection is less than 1%, the algorithm has good accuracy. And the average recognition time of the detection system is about 200 ms, which proves that the recognition accuracy and speed can meet the actual detection requirements.

**Key words:** auto dashboard; pointer detection; machine vision; least squares method

收稿日期:2021-07-17

基金项目:福建省自然科学基金资助项目(2018J01534)

作者简介:郝永飞(1997-),男,山西朔州人,硕士研究生,主要从事机器视觉方面的研究。E-mail:286026534@qq.com

通信联系人:唐旭晟,男,博士,副研究员。E-mail:tribology@163.com

## 0 引言

作为汽车的信息显示中心,汽车仪表负责将汽车的状态实时反馈给驾驶员,因此,汽车仪表的检测对于汽车驾驶的安全性和正确性至关重要<sup>[1]</sup>。其中,指针检测是汽车仪表检测的重要环节,如速度表、转速表、油量表等都是通过指针来显示。

传统的汽车仪表检测主要还是由人眼目测,存在效率低、易出错的缺陷。而将机器视觉技术应用于仪表检测中,无疑能够克服人工检测的不足,实现仪表的自动化检测。目前,国内外学者在指针识别方面做了许多研究。

SELVATHAI T 等人<sup>[2]</sup>使用 Hough 圆变换提取了仪表中心坐标,通过 Hough 累加空间中峰值的位置定位指针,并利用其相对坐标系的角度识别读数;Hough 变换的鲁棒性强,但其计算量大,且需要较大的存储空间。周泓等人<sup>[3]</sup>根据指针颜色特征信息,把仪表图像从 RGB 模型转换到 HSI 模型,将色调和饱和度分量作为特征参数,提取了指针区域,采用 Hough 变换提取了指针直线,并识别了其读数。吴欢欢等人<sup>[4]</sup>利用图像减法获取了指针区域,随后通过定位圆法确定了指针位置,并对读数进行了识别;但该图像减法受图像噪声的影响较大。郑文学等人<sup>[5]</sup>采用模板匹配和极坐标变换等方法对指针读数进行了识别;但其模板的匹配需要预先标定仪表模板,因此,模板的好坏直接影响着指针检测的效率。

笔者基于迭代加权的最小二乘法拟合指针直线,通过最小距离和的交点法定位回转中心后,实现对指针读数的识别。

## 1 仪表检测系统组成

### 1.1 总体组成

仪表检测系统主要由 4 个部分组成:检测软件、仪表驱动系统、机器视觉系统和仪表工装系统。

系统总体框架如图 1 所示。

该系统的计算机采用 i7-9700K 处理器,处理速度为 3.60 GHz,能够满足实时采集需求。基于 Visual Studio 2015 平台,笔者采用 MFC 作为图形界面开发框架,开发了仪表检测软件;同时采用 OpenCV 视觉算法库,实现了对仪表图像的预处理和识别判定。系统中的检测软件主要负责控制驱动信号的发送、仪表图像的采集和仪表检测算法的执行等操作。

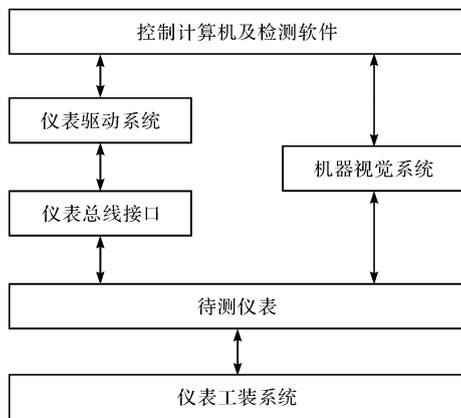


图1 检测系统总体框架

仪表驱动系统的作用是代替汽车实现对仪表的驱动,即在检测软件的控制下,通过输出驱动信号,来模拟汽车仪表在实际工作时的各类状况信息。该系统主要包含脉冲信号、三态门信号、电压信号和电机驱动信号等,以满足大部分仪表的信号需求。

机器视觉系统采用德国 The Imaging Source 公司的 DFK 33GP006 彩色工业相机,该相机遵循 Gige 接口标准,支持外触发以及数字 I/O 输入,最高分辨率可达到  $2\ 592 \times 1\ 944$ ,能够满足仪表检测的实际需求。

镜头选用 OptoEngineering 镜头,型号为 EN5MP1216,最大畸变 0.35%。相机结合固定焦距镜头形成图像采集模块,通过网卡接口与工控机进行图像信息传输。相机通过开关式磁力座固定在设备顶部,并使镜头竖直向下正对仪表工装。该系统在封闭的室内检测仪表,利用仪表自带的背景光作为光源,获取的图像质量能够满足检测的需要,并安装碗型 LED 光源为没有背景光的仪表补充照明。

仪表工装系统主要用于对仪表进行固定,防止仪表在检测过程中移动或偏转,且能使仪表每次被放下时都正面竖直向上。针对不同的表型,需设计特定的工装,以保证仪表放置的一致性。同时,笔者在工装上安装传感器来判断是否存在仪表、仪表是否被检测。

### 1.2 检测软件

检测软件主界面如图 2 所示。

图 2 中,界面主要分为操作区、图像显示区、测试点显示区、检测报告显示区和状态显示区 5 个部分。操作区主要负责仪表检测的启动,设备启动后,在图像显示区可实时显示仪表状态,设备按照测试点显示区中配置好的检测项对当前仪表进行检测,并将检测结果显示在检测报告显示区。

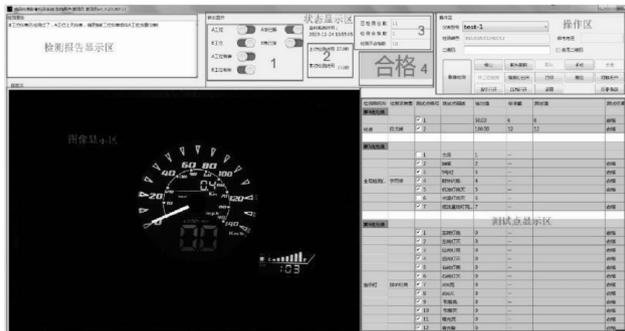


图 2 软件主界面

仪表检测之前,首先要在参数配置界面中配置被检仪表的基本参数和检测项参数。表型基本参数主要为:表型名称、表型类型、供电电压等。检测项参数则是根据仪表特性来定义的检测项目,如指示灯检测、指针检测、段式计数识别等。

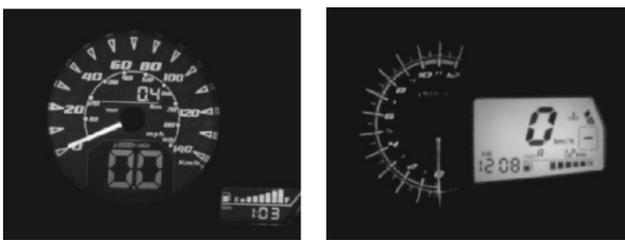
笔者主要介绍仪表的指针检测。

## 2 仪表指针检测流程

汽车仪表形式多样,而且仪表指针的类型也各不相同。为了实现指针检测的通用性,在该系统中,笔者依据仪表指针颜色与其背景的关系,将各类仪表分为如下两类:

- (1)A 类。指针颜色与背景色差异明显;
- (2)B 类。指针的颜色与背景色相近,对比度不明显。

该系统采集的 A、B 类仪表图像如图 3 所示。



(a) A 类指针仪表 (b) B 类指针仪表

图 3 指针仪表图像

仪表指针检测前,首先由人工确定该类仪表的指针类型,并在软件中预先配置相应的仪表参数。

指针检测流程如图 4 所示。

## 3 指针定位与识别

### 3.1 A 类仪表指针定位

#### 3.1.1 指针粗定位

指针粗定位是将指针从背景中分离出来,得到清晰完整的指针区域。其详细算法步骤如下:

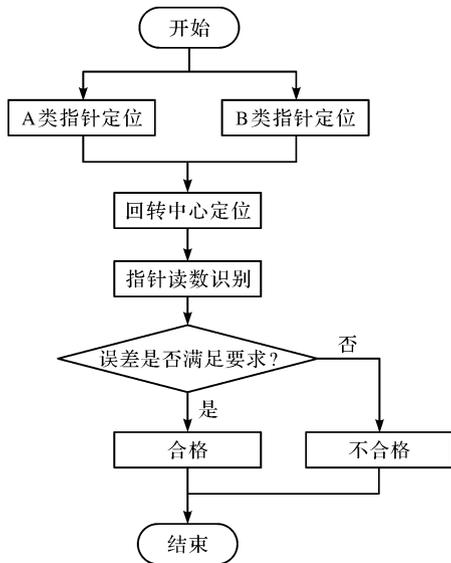


图 4 指针检测流程图

(1)图像灰度化。为减少处理的数据量,笔者首先将采集的仪表图像转为灰度图像,即基于心理学对彩色图像的 RGB 3 个分量进行加权平均,选取 3 个分量的权值比为 3 : 6 : 1<sup>[6]</sup>,即:

$$Gray = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

式中:Gray—加权平均后的灰度值;R—彩色图像的红色分量;G—彩色图像的绿色分量;B—彩色图像的蓝色分量。

(2)图像滤波。由于采集到的仪表图像可能含有脉冲噪声,采用中值滤波处理图像,滤波模板选用尺寸大小为 3 \* 3 正方形模板;

(3)对比度拉伸。对比度拉伸<sup>[7]</sup>是通过缩放图像的灰度值来提高目标区域与背景区域的对比度。此处笔者采用线性灰度拉伸,其定义如下:

$$g = G * Mult + Add \quad (2)$$

式中:g—缩放后的灰度值;G—原图像灰度值;Mult—灰度值缩放因子;Add—灰度值偏移量。

(4)图像二值化。笔者采用最大类间方差法<sup>[8]</sup>来进行图像二值化处理。其基本思想是将目标与背景的分割阈值记作 T,则类间方差可表述为:

$$g = \omega_0\omega_1(\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (3)$$

式中:g—类间方差; $\omega_0$ —目标像素点在整幅图像的分布概率; $\omega_1$ —背景像素点在整幅图像的分布概率; $\mu_0$ —目标像素点的平均灰度; $\mu_1$ —背景像素点的平均灰度。

笔者通过遍历的方式求得使类间方差 g 最大的分割阈值 T。

二值化后的图像如图 5 所示。



图5 二值图像

(5)特征选择。笔者采用连通域标记算法<sup>[9]</sup>提取二值图像的连通成分。指针区域与背景区域在长度和面积特征上区别明显,选取合适的阈值即可提取指针区域。此时指针边缘不平整,存在凸起和凹坑,笔者采用凸包<sup>[10]</sup>来平滑指针边缘。

凸包前后的指针区域如图6所示。

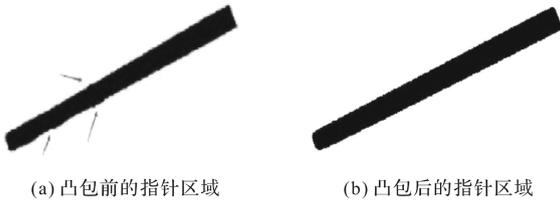


图6 凸包前后指针区域

### 3.1.2 指针精定位

长条状的指针不利于后续的读数识别,因此通过精定位将指针拟合为一条直线,主要分为两步来实现,即指针细化和拟合指针直线。

(1)指针细化。即在粗提取的指针区域中去掉一些点,得到指针的中心轴。

设粗提取的指针像素集合为 $A$ ,用结构元 $B$ 腐蚀和开操作,完成集合 $A$ 的骨架提取<sup>[11]</sup>。提取集合 $A$ 的骨架 $S(A)$ 的算法定义如下:

$$S(A) = \bigcup_{i=0}^i S_i(A) \quad (4)$$

式中: $S(A)$ —指针像素集合 $A$ 的骨架; $A$ —指针像素集合; $i$ —集合 $A$ 被腐蚀为空集前的迭代次数。

其中: $S_i(A) = (A \ominus iB) - (A \ominus iB) \circ B$ 。

细化后的指针骨架如图7所示。



图7 指针骨架

(2)拟合指针直线。拟合直线最常用的方法是最小二乘法<sup>[12]</sup>,其通过求取样本点偏差平方和的最小值来确定最佳拟合直线。

其直线的截距式公式为:

$$y = ax + b \quad (5)$$

式中: $a$ —直线斜率; $b$ — $y$ 轴上的截距。

则平方差之和定义如下:

$$S(a, b) = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i - b)]^2 \quad (6)$$

式中: $(x_i, y_i)$ —指针细化后的样本点。

但对于大的离群点而言,最小二乘法的鲁棒性不强。为减少这些离群点的影响,笔者为每个样本点引入权重,则加权后的平方差之和定义如下:

$$S(a, b) = \sum_{i=1}^n W_i [y_i - (ax_i - b)]^2 \quad (7)$$

式中: $W_i$ —每个样本点的权重。

应用加权最小二乘法时,权重 $W$ 的取值不同,解出的参数 $a$ 和 $b$ 也会不同,拟合出的直线也不一样,因此,权重 $W$ 的合理选取至关重要。

为了确定权重 $W$ ,以便拟合出比较理想的指针直线,笔者在此引入Tukey权重函数,即先计算样本点到直线的距离,再由各点距离来分配权重大小的鲁棒性的方法。它可以有效剔除异常点,且能让其他样本点的权重得到合理分配。

Tukey权重函数 $W(\delta)$ 定义如下:

$$W(\delta) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{|\delta|}{\gamma}\right)^2\right)^2, & |\delta| \leq \gamma \\ 0, & |\delta| > \gamma \end{cases} \quad (8)$$

式中: $\delta$ —样本点到直线的距离; $\gamma$ —削波因数。

经试验,笔者选取 $\gamma$ 为2。由式(8)可得, $\delta$ 大于 $\gamma$ 的点为离群值点,其权重 $W(\delta)$ 为0,这些点被剔除,不参与直线拟合;其他点的权重 $W(\delta)$ 在0~1之间,越接近理想拟合直线的样本点,其所分配到的权重也就越大。因此,该方法可以将离群值点所产生的影响降到最低。

在引入Tukey权重函数后,通过迭代法拟合指针直线的步骤如下:

(1)第一次迭代,使用权重 $W(i) = 1 (i = 1, 2, 3 \dots n)$ ,即采用标准的最小的二乘法拟合得到一条近似指针直线 $y$ ;

(2)计算所有样本点到近似直线 $y$ 的距离 $\delta(i)$ ,再由Tukey权重函数计算每一点的权重 $W(i)$ ;

(3)将步骤(2)求出的每一点的权重 $W(i)$ 代入式(7),通过加权最小二乘法拟合出一条新的近似指针直线 $y$ ;

(4)重复步骤(2,3),反复求取权重 $W(i)$ 和近似指针直线 $y$ ;当获得理想的指针直线时,则迭代结束。

改进最小二乘法拟合的指针直线如图 8 所示。



图 8 改进最小二乘法拟合直线

图 8 中,指针直线与骨架中间的所有点几乎重合,这表明拟合效果的比较理想。

### 3.2 B 类仪表指针定位

用上述指针粗定位算法提取 B 类仪表指针时,由于指针与背景对比度不明显,提取的指针上端部分与刻度区域有粘连,这不利于采用 4.2 节中的算法实现指针的精定位。因此,笔者设计了一种结合灰度法和基于 Tukey 权重函数的迭代加权最小二乘法的新方法,以此来实现 B 类仪表的指针精定位。

首先,笔者同样采用上述指针粗定位算法对 ROI 区域截取的 B 类仪表图像进行了处理,得到了有粘连的指针区域,求取了该粘连指针区域的最小外接旋转矩形,并进行了膨胀处理,随后沿长轴方向均匀地取  $n$  条平行于短轴的线段。

粘连指针区域最小外接矩形如图 9 所示。

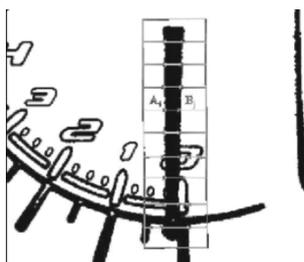


图 9 粘连指针区域最小外接矩形

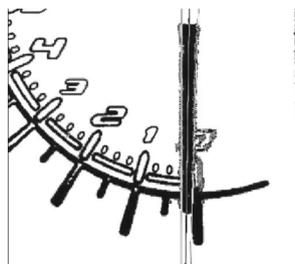
若某根线段划过指针,则沿该线段可得到对应区域像素点的灰度值依次为  $255, 255, \dots, 0, \dots, 0, 255, 255, \dots$ 。设灰度值  $255, 255, \dots, 0$  变化,产生的边缘点为第一类边缘点 A,即由白到黑产生的边缘点;设灰度值  $0, 255, 255, \dots$  变化,产生的边缘点为第二类边缘点 B,即由黑到白产生的边缘点。

笔者将得到的 A、B 两类边缘点,分别作为拟合指针两边缘直线的样本点,其中的离群点在后续拟合指针直线的算法中予以去除。

拟合的指针直线如图 10 所示。

图 10(a)中,指针直线为两边缘直线所形成夹角的角平分线。图 10(b,c)中,为 A、B 两类边缘点拟合的边缘直线。

由此可以看出,求取的指针直线效果理想;若拟合



(a) 拟合的指针直线



(b) 左侧边缘直线

(c) 右侧边缘直线

图 10 拟合的 B 类仪表指针直线

得到的两边缘直线是平行线,则取它们的中心线作为指针直线。

### 3.3 指针回转中心定位

精准定位指针的回转中心对后续指针读数起着关键的作用。目前常用的两种方法为交点法<sup>[13]</sup>和刻度圆心法<sup>[14]</sup>。

交点法通过拟合指针处于两个刻度位置的直线方程,将求得的交点坐标作为指针回转中心。但若仪表有轻微移动,或拟合的指针直线方程有误差时,求得的指针回转中心就会有误差。

刻度圆心法直接把刻度的外接圆圆心或者刻度点的拟合圆圆心作为指针回转中心。该方法对刻度提取的精度要求高,稳定性和通用性比较差。

笔者提出一种最小距离和的交点法,即求出一点与多个指针直线交点的距离和最小,把该点作为指针回转中心。该算法的具体步骤如下:

- (1) 采集仪表指针在不同刻度位置的多幅图像;
- (2) 利用上述改进的最小二乘法拟合这些图像中的指针直线;
- (3) 计算两条直线的交点,设不同刻度位置的图像数量是  $m$ ,则交点个数为  $n = m * (m - 1) / 2$ ;
- (4) 则所有交点到回转中心的距离和  $L$  为:

$$L = \sum_{i=1}^n \sqrt{[(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2]} \quad (9)$$

式中:  $(a, b)$ —回转中心;  $(x_i, y_i)$ —两两直线的交点。

当距离和  $L$  为最小时,求得回转中心横坐标  $a$  为:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (10)$$

式中: $x_i$ —两两直线相交点的横坐标。

同样,求得回转中心纵坐标  $b$  为:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (11)$$

式中: $y_i$ —两两直线相交点的纵坐标。

(5) 回转中心修正。由步骤(4)求出初定的回转中心坐标  $(a, b)$  后,则可以求出每一个交点到回转中心的距离  $D_i$ 。设置距离阈值  $d$ ,当有交点距离  $D_i > d$  时,该点予以剔除,不参与后续计算。

设排除误差交点后,剩余交点数量为  $k$ ,则修正的

回转中心坐标为:  $\left( \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k}, \frac{\sum_{i=1}^k y_i}{k} \right)$ 。

改进的交点法可以降低仅两条指针直线相交带来的随机误差,提高回转中心的定位精度,以便于后续的阅读准确识别。

### 3.4 指针读数识别

此处笔者采用角度法<sup>[15]</sup>来识别指针读数。笔者首先计算当前指针直线与基准直线的角度,再将该角度与整体量程的角度进行比例换算,得出指针的读数。其具体过程如下:

首先以已求得的指针回转中心为原点,水平向右为  $X$  轴正向,竖直向上为  $Y$  轴正向,建立直角坐标系;

以坐标轴  $X$  正方向为起始,逆时针旋转,角度在第一、二象限时为正角度,角度范围为  $0^\circ \sim 180^\circ$ ;顺时针旋转,角度在第三、四象限为负角度,角度范围为  $0^\circ \sim -180^\circ$ ;

设零刻度时指针直线为基准直线,角度为  $\alpha_1$ ,指针偏转后的角度为  $\alpha_2$ 。根据起始刻度所在象限的不同,可分别确定指针偏转角度的计算公式。

起始刻度在第三象限的指针转角如表 1 所示。

表 1 起始刻度在第三象限的指针转角

指针位置	指针与基准位置夹角
第一、二、四象限、 $X$ 轴正方向、 $X$ 轴负方向( $\alpha_2 = 180^\circ$ )、 $Y$ 轴正方向	$\alpha = 360 + \alpha_1 - \alpha_2$
第三象限	$\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$

起始刻度在第四象限的指针转角如表 2 所示。

表 2 起始刻度在第四象限的指针转角

指针位置	指针与基准位置夹角
第三、四象限、 $Y$ 轴负方向、 $X$ 轴负方向( $\alpha_2 = -180^\circ$ )	$\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$
第一、二象限、 $Y$ 轴正方向	$\alpha = 360 + \alpha_1 - \alpha_2$

则指针读数  $V$  为:

$$V = \frac{\alpha}{\beta} * R \quad (12)$$

式中: $V$ —指针读数; $\alpha$ —指针偏转角度; $\beta$ —整体量程对应的角度范围; $R$ —仪表的整体量程。

## 4 实验与结果分析

笔者将图 3 中的两款仪表分别放在该检测系统中进行指针检测,即通过对被检仪表施加不同的驱动信号,使得仪表指针偏转,并由系统中的检测算法获取对应的测试值,同时根据驱动信号的大小查得被检仪表相应的理论偏转值,偏差为二者相减所得。偏差若在规定的范围内,则认定该仪表合格。

A 类仪表检测结果如表 3 所示。

表 3 A 类仪表检测结果

理论偏转值 /( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	系统检测值 /( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	偏差 /( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	时间 /ms
0	0	0	175
20	20.265	0.265	182
40	40.172	0.172	201
60	60.240	0.240	179
80	80.102	0.102	224
100	100.126	0.126	216
120	120.164	0.164	205
140	140.212	0.212	192

B 类仪表检测结果如表 4 所示。

表 4 B 类仪表检测结果

理论偏转值 /( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ )	系统检测值 /( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ )	偏差 /( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ )	时间 /ms
0	0	0	181
2 000	1 982	18	211
4 000	4 012	12	215
6 000	5 987	13	196
8 000	8 015	15	207
10 000	9 984	16	189
12 000	12 014	14	209

实验结果显示:该系统检测值与理论偏转值之间的误差均在 1% 以内,并且读数识别时间约为 200 ms 左右。该结果证明,该算法具有较好的精度,能够满足汽车仪表指针检测的实际需求。

## 5 结束语

针对传统的汽车仪表检测中存在的效率低、精度不高等问题,笔者将机器视觉应用于汽车仪表的检测,设计出了一种通用型的指针检测算法及其检测系统,并采用该仪表检测系统对 A、B 两类仪表进行了检测实验,并得出了以下结论:

(1)将仪表指针分为两类,分别采用骨架提取和灰度法获得拟合指针的样本点,在迭代加权的最小二乘法中引入 Tukey 权重函数,取得了理想的拟合效果;

(2)实验结果表明,该算法可以准确地识别指针的示数,其检测值与理论偏转值的误差在 1% 以内,同时识别速度也能满足实际检测的需要。

采用该检测系统进行仪表检测之前,需要预先配置较多的参数,这给检测带来了一定的麻烦。因此,在后续的研究中,笔者将在算法参数自适应方面进行研究,以尽量减少检测系统需要配置的参数数目。

### 参考文献 (References):

[1] 焦圣喜,刘永权,冀辰宇. 基于颜色特征提取方法的汽车仪表指针识别研究[J]. 工业控制计算机,2013,26(12): 18-19.

[2] SELVATHAI T, JAYAA S S, RAMESH S, et al. Automatic interpretation of analog dials in driver's instrumentation panel [C]. 2017 Third International Conference on Advances in Electrical Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics. Chennai: India, 2017.

[3] 周泓,徐海儿,耿晨歌. 基于 HSI 模型和 Hough 变换的指针式汽车仪表自动校验[J]. 浙江大学学报:工学版,

2010,44(6):1108-1112.

[4] 吴欢欢,游有鹏. 基于 LabVIEW 软件和 ActiveX 技术的指针仪表检测系统[J]. 电工电气,2009,2(7):40-42.

[5] 郑文学,岳智珉,唐旭晟,等. 基于机器视觉的水表检定方法研究[J]. 机电工程,2019,36(3):271-274.

[6] GOOCH A A, OLSEN C S, TUMBLIN J, et al. Color-to-gray[J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2005, 24(3):634-637.

[7] 魏华,何对燕. 低对比度图像边缘增强算法的研究与应用[J]. 科学技术与工程,2014,14(34):246-252.

[8] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. *IEEE Transactions on SMC*, 1979, 9(5):62-69.

[9] TIAN Hong-mu, YUN Yang. A method for binary image component parallel labeling algorithm based on CUDA[J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 2690(1622):538-542.

[10] LEE Jin-sung, LEE Young-shin. A study on applications of convex hull algorithm in the SPH[J]. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 2011, 14(2):313-320.

[11] 张九龙,王夏妮,张镇东,等. 一种书法字骨架提取优化方法[J]. 西安理工大学学报,2016,32(1):35-38.

[12] 唐振富,黄宏成,刘泽. 基于图像处理的汽车指针式仪表自动检测设计[J]. 传动技术,2016,30(4):9-14.

[13] 曹宇杰,杨俊杰. 基于交点法的高精度指针式仪表自动检定系统设计[J]. 自动化与仪器仪表,2019(1):132-135.

[14] 王明凯. 基于计算机视觉的汽车仪表检测方法的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学机电工程学院,2019.

[15] 崔行臣,段会川. 指针式仪表读数识别系统研究[J]. 信息技术与信息化,2009(5):63-65.

[编辑:李辉]

### 本文引用格式:

郝永飞,唐旭晟,程良利. 基于机器视觉的自动仪表盘指针检测研究[J]. 机电工程,2022,39(1):134-140.

HAO Yong-fei, TANG Xu-sheng, CHENG Liang-li. Auto dashboard pointer detection based on machine vision[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2022,39(1):134-140.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>