

基于机器视觉技术的出租车计价器数字识别系统设计

张志宏 马婷婷 张力玲 蔡永洪 黄 锋

(广州计量检测技术研究院 广州 510663)

摘 要: 本文设计了一套出租车计价器数字识别系统,用于代替人工来进行计价器的无人检定工作。通过 SIFT 模板匹配算法,准确定位出视频画面中计价器的位置并将目标图像矫正成正视图。最后根据模板图像的标签定位出跳变数字的位置。针对计价器显示的数字类型,开发一个基于七段码原理的数字识别算法。通过现场试验表明,在数字定位准确的情况下,单帧图像的识别率达到 100%。在连续视频中,当数字跳变过程中,图像被抓取到,会造成识别错误。经过优化,将这种错误判断成发生数字跳变,检测到计价器里程发生跳变后,立刻给检定台发送信号并记录。实验表明视频处理的 FPS 达到 25 帧,远超过人眼分辨的极限,可以代替人工进行计价器数字跳变的检定。

关键词: 机器视觉;计价器检定;数字跳变;检定系统

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Design of digital recognition system of taxi meter based on machine vision technology

Zhang Zhihong Ma Tingting Zhang Liling Cai Yonghong Huang Feng
(Guangzhou Institute of Metrology and Testing Technology, Guangzhou 510663, China)

Abstract: This paper designs a set of digital identification system for the taxi meter, which is used to replace the manual work of unmanned verification of the meter. Through the SIFT template matching algorithm, the position of the meter in the video screen is accurately located and the target image is corrected into a front view. Finally, locate the position of the jump number according to the label of the template image. Aiming at the number type displayed by the meter, a number recognition algorithm based on the seven-segment code principle is developed. Field tests show that the recognition rate of a single frame image reaches 100% when the digital positioning is accurate. In continuous video, when the digital transition process, the image is captured, which will cause recognition errors. After optimization, this error is judged as a digital jump. After detecting the jump of the meter's mileage, it immediately sends a signal to the verification station and records it. Experiments show that the video processing speed reaches 25 fps, which far exceeds the limit of human eye resolution, and can replace the manual verification of the digital jump of the meter.

Keywords: machine vision; meter verification; digital jump; verification system

0 引 言

出租车计价器是一种计量器具,用于测量出租持续时间及依据里程传感器传送的信号测量里程,并以测得的计时时间及里程为依据,计算并显示乘客出租车应付的费用。随着科学技术的发展和生产技术的提高,出租车计价器从传统的机械式过渡到电子式,这为计量检定的准确性提供了可靠保证。按中国现行 JJG 517-2009《出租汽车计价器》计量检定规程的规定:计价器安装到出租车汽车上以后,必须在专门场所连同车辆一起,进行使用误差检定^[1-3]。带有计价器的出租车开上检定台,将出租车的驱动轮放在两个

滚筒之间。在检定过程中,电机驱动滚筒从而带动车轮转动,模拟出租车在地面行驶,要求车速控制在 40~60 km/h 之间,检定人员坐在出租车上或站车厢外,眼睛紧盯计价表显示屏,当计价器分别在 3、5 以及 7 km 发生跳变时,记录检定台上滚筒的标准行驶里程并与之比较,如果没有超出误差范围,则判定合格,反之,则不合格^[4]。在实际检定过程中,据观察所得,一般检定人员从计价器跳变到取样的时间约需 0.5 s 左右,在 60 km/h 下检定计价器,则手动误差为: $60 \text{ km/h} \times 0.5 \text{ s} \times \frac{1}{3600} = 8.33 \text{ m}$,这对处于里程合格临界点附近的出租车来说,无疑增加了不合格的因

素,导致检定结论的错误。而且长时间的检定工作会使检定员疲惫,检定员反应时间变长而导致不合格率增加^[5 6]。

为了减轻检定员的工作强度和提高检定结果的准确度,很多学者也做出了各种研究^[7]。文献[8]提出采用电子技术手段,先采集计价器芯片中价格跳变时的信号,经小电路将信号改为脉冲波形,再将波形放大,驱动电子开关(如CMOS电路等)或继电器,从而在价格跳变时触发控制器上的采样键采样。那么整个系统的误差来源将来自于两部分:一个是计数器对键盘的扫描时间,另一个是从接头到电子开关或继电器的时间。计数器的CPU对键盘的扫描时间一般为1 ms,从信号接头经整形电路到电子开关或继电器的时间是1~10 ms。相对于手动误差,这一微小误差可忽略。虽然该方式误差小,但需要改动计价器本身的电子线路,从价格跳变信号线连接到对应的硬件电路才能实现自动判断数字的变化。在实际检定工作中,更改出租车上的计价器电路板耗费时间,检定效率低下^[9]。文献[10]通过放置在出租车上的高精度定位装置,可以连接计价器读取计价器的计价里程,可以实时定位所述出租车的起始位置和结束位置,出租车外的中心处理器根据从定位装置无线模块接收到的所述出租车计价器的计价里程和起始位置、结束位置,计算出所述出租车行驶的实际里程,并得到与计价里程的差值,根据差值是否在限定范围内确定该所述出租车上的计价器是否检定合格。该方式检定结果也比较精确,但脱离了常规检定方式,需要在公路上或开阔场地使车子发生位移,这无形中又增加了事故发生的概率。

针对上述计价器检定方式出现的问题,本文提出使用机器视觉代替人眼进行计价器检定。通过图像处理的技术实时识别计价器屏幕上的数字,当系统检测到计价器上公里数发生改变后,记录并判断检定结果是否合格。

1 装置结构及功能特性

检定装置是由硬件电路和软件两部分组成。如图1所示,硬件控制电路实现滚轮电机无极调速,升降板步进电机的正反转以及标准行驶里程的检测。软件程序包括检定程序与数字检测程序,出租车开上检测台后,检定程序控制升降板减低,使出租车驱动轮卡在主滚轮与副滚轮之间,然后主滚轮电机带动驱动轮旋转并记录行驶里程。数字检测程序用来识别计价器上里程数,在检测到指定里程数后记录,最后根据计价器上检测出的里程数与标准器上的里程数做比较,得出计价器是否合格。

检测装置方案设计框图如图2所示。检定系统的电控主要由单片机AT89C52控制电路、HA12-M8NA霍尔传感器、M35SP-7步进电机、FR-S500变频器以及电源电路组成。

在检定过程中,检定员在检定系统中按下“开始”按键,单片机AT89C52启动检测台上的步进电机,使其正转两周,车轮胎下降到检测位置,然后由单片机控制变频器启

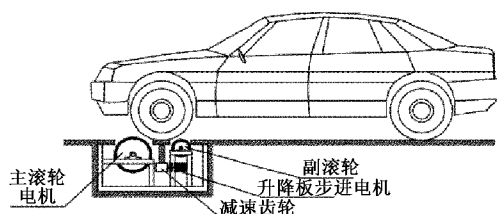


图1 出租车计价器检定机构示意图^[11]

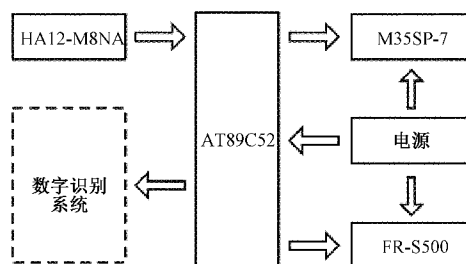


图2 整体结构框图

动,通过变频器设置的频率控制伺服电机转动,电机转动时即可通过霍尔传感器计数。单片机根据主滚轮的直径、主滚轮每转一周单片机接受霍尔传感器的脉冲数计算出出租车的标准里程数 K 。开始检定后,检定系统通过TCP/IP给数字检测系统发送指令开始检测计价器屏幕上的里程数 W 。如果 W 值在 K 值的误差范围内,说明被检测出租车计价器合格。

2 数字检测系统设计

数字检测系统主要是由摄像机和个人电脑(PC)组成。数字检测系统检测到计价器屏幕上数目发生变化后,通过TCP/IP传输给检定系统进行检定结果的判定^[12]。数字识别软件是这个系统的核心,主要实现图像处理、计算、滤波、TCP/IP通信等功能。这个软件是用PyQT5开发完成的,是一个高效率开发图像上位机系统的软件系统。

2.1 计价器定位及型号识别

出租车驾驶室里环境复杂,靠传统的颜色识别定位数字往往会出现定位错误,从而造成数字的误识别^[13]。本文采用基于尺度不变特征变换(scale-invariant feature transform, SIFT)的角点检测进行计价器定位及型号识别,如图3(a)所示为计价器中SIFT角点检测图。系统运行后,会立刻读取模板图像并进行SIFT角点计算,以及对模板图像中数字的位置信息。系统开始检定后,相机采集图像进行SIFT角点计算,将相机采集图像中的SIFT角点与模板图像中的SIFT角点进行FLANN单应性匹配,找出图像中计价器的位置^[14]。然后,将图像中的计价器透射变换成规则矩形,分割出来并归一化成与模板图像尺寸大小一样。最后,根据模板图像中数字位置信息提取相机采集图像中的数字图像,进行下一步处理。图3(b)为模板图像,图3(c)为相机中匹配出来的计价器,用方框框出。从图3(c)中可以看出,即使模板图像中的数字与相机采集

图像中的数字不完全一样,算法也能准确找出计价器的位置。这是因为不论是模板图像还是相机采集的图像,通过SIFT计算后,都会算出大量的角点,FLANN单应性匹配时只选择匹配度最高的10个角点进行匹配。



图3 特征匹配过程

2.2 图像矫正

如图3所示,由于相机在放置的时候,不会总是正视计价器,因此通过特征匹配的方法找到计价器后,方框框出的部分不是规则的矩形,原本平行的两条线现在不平行了。这时要想把计价器完整的分割出来,就必须先对图像进行透视变换,使计价器像模板图像那样变成规则矩形。透视变换是指利用透视中心、像点、目标点3点共线的条件,按透视旋转定律使承影面(透视面)绕迹线(透视轴)旋转某一角度,破坏原有的投影光线束,仍能保持承影面上投影几何图形不变的变换^[15-16]。通用的变换公式如式(1)所示。

$$[x', y', w'] = [u, v, w] \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

u, v 是原始图像坐标,对应得到透视变换后的图像坐标为 x, y , 其中 $x = x'/w', y = y'/w', a_{33} = 1$ 。变换矩阵 $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ 可以拆成4部分, $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ 表示线性变换,比如缩放、旋转、切变。 $\begin{bmatrix} a_{31} & a_{32} \end{bmatrix}$ 用于平移, $\begin{bmatrix} a_{13} & a_{23} \end{bmatrix}^T$ 产生透视变换。重写之前的变换公式可以得到:

$$x = \frac{x'}{w'} = \frac{a_{11}u + a_{12}v + a_{13}}{a_{31}u + a_{32}v + a_{33}} \quad (2)$$

$$y = \frac{y'}{w'} = \frac{a_{21}u + a_{22}v + a_{23}}{a_{31}u + a_{32}v + a_{33}} \quad (3)$$

所以,已知变换对应的几个点就可以求取变换公式。反之,特定的变换公式也能得出新的变换后的图像。简单的看一个正方形到四边形的变换:变换的4组对应点可以表示成: $(0,0) \rightarrow (x_0, y_0), (1,0) \rightarrow (x_1, y_1), (1,1) \rightarrow (x_2, y_2), (0,1) \rightarrow (x_3, y_3)$ 。根据变换公式得到:

$$a_{31} = x_0 \quad (4)$$

$$a_{11} + a_{31} + a_{13}x_1 = x_1 \quad (5)$$

$$a_{11} + a_{21} + a_{31} - a_{13}x_2 - a_{23}x_2 = x_2 \quad (6)$$

$$a_{21} + a_{31} - a_{23}x_3 = x_3 \quad (7)$$

$$a_{32} = y_0 \quad (8)$$

$$a_{12} + a_{32} - a_{13}y_1 = y_1 \quad (9)$$

$$a_{12} + a_{22} + a_{32} - a_{23}y_2 - a_{23}y_2 = y_2 \quad (10)$$

$$a_{22} + a_{32} - a_{23}y_3 = y_3 \quad (11)$$

定义几个辅助变量:

$$\Delta x_1 = x_1 - x_2, \Delta x_2 = x_3 - x_2, \Delta x_3 = x_0 - x_1 + x_2 - x_3 \quad (12)$$

$$\Delta y_1 = y_1 - y_2, \Delta y_2 = y_3 - y_2, \Delta y_3 = y_0 - y_1 + y_2 - y_3 \quad (13)$$

$\Delta x_3, \Delta y_3$ 都为0时变换平面与原来是平行的,可以得到:

$$a_{11} = x_1 - x_0 \quad (14)$$

$$a_{21} = x_2 - x_1 \quad (15)$$

$$a_{31} = x_0 \quad (16)$$

$$a_{12} = y_1 - y_0 \quad (17)$$

$$a_{22} = y_2 - y_1 \quad (18)$$

$$a_{32} = y_0 \quad (19)$$

$$a_{13} = 0 \quad (20)$$

$$a_{23} = 0 \quad (21)$$

$\Delta x_3, \Delta y_3$ 不为0时,得到:

$$a_{11} = x_1 - x_0 + a_{13}x_1 \quad (22)$$

$$a_{21} = x_3 - x_0 + a_{13}x_2 \quad (23)$$

$$a_{31} = x_0 \quad (24)$$

$$a_{12} = y_1 - y_0 + a_{13}y_1 \quad (25)$$

$$a_{22} = y_3 - y_0 + a_{13}y_3 \quad (26)$$

$$a_{32} = y_0 \quad (27)$$

$$a_{13} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta x_3 & \Delta x_2 \\ \Delta y_3 & \Delta y_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \Delta x_1 & \Delta x_2 \\ \Delta y_1 & \Delta y_2 \end{vmatrix}} \quad (28)$$

$$a_{23} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta x_1 & \Delta x_3 \\ \Delta y_1 & \Delta y_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \Delta x_1 & \Delta x_2 \\ \Delta y_1 & \Delta y_2 \end{vmatrix}} \quad (29)$$

求解出的变换矩阵就可以将一个正方形转换成四边形。反之,四边形变换到正方形也是一样的。同理,通过两次变换:四边形变换到正方形,然后正方形变换到四边形,就可以将任意一个四边形变换成另一个四边形。

根据上面理论可知,投影变换的矩阵是 8 个未知数,所以要 4 组不同的坐标点才可以计算出来。根据 SIFT 角点匹配,算法找到了图像中计价器的位置,并用方框定位出计价器。由于相机没有正视计价器,即使方框定位出计价器位置,也不能直接分割出只有计价器的像素点。将方框框出四边形的 4 个顶点做输入,标准模板图像的 4 个顶点做输出,进行透射矩阵计算。最后将采集的图像都以透射矩阵做变换计算出矫正后的图像。

2.3 图像识别

分割出计价器屏幕后,将目标图像归一化成与模板图像尺寸大小一样的。根据存储的数字位置信息将计价器屏幕中的数字分割出来,然后进行高斯滤波以及图像二值化等图像预处理操作,并将图像归一化成高 200 pixel 的图像,处理结果如图 4(a)、(b)所示。在预处理后的图像中有几个数字和 1 个小数点等需要被识别,在识别之前首先应该先把它们分别分割出来,由于每个字符之间存在间隔,因此采用竖直投影的方式将其分割独立字符,然后每个字符水平投影,将顶部和底部多余的背景剔除,得到每张图像中只包含一个字符,处理结果如图 4(c)所示。

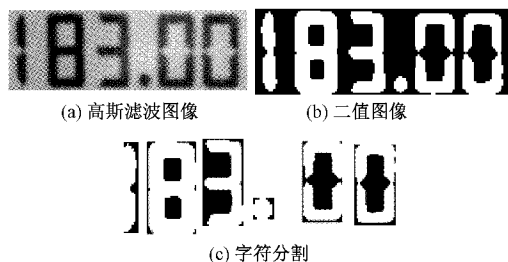


图 4 图像预处理

下面对单独图片里的字符进行识别,所有字符图片一共分成 11 类,分别是数字 0~9 以及 1 个小数点。观察这 11 类字符图片可以发现,根据图像的宽度、高度以及宽高比,又可以将 11 类字符图像分成 3 大类。

1) 字符 1 图像的宽高比最小,且远小于其他字符图像;计算图像的宽高比,如果图像的宽高比小于 0.3,则算法判断该字符图像为数字 1。

2) 小数点字符图像宽高比最大,且远大于其他字符图像,并且图像的高度也是最小的,远小于其他字符图像;在字符分割之前,已经把图像的高度归一化成 200 pixel,因此分割出的小数点图像的高度要远小于 200 pixel。为了增加算法的容错率,将高度小于 100 pixel 的字符图像判断成小数点。

3) 字符 0 图像和字符 2~9 图像的宽高比在 0.4~0.6 之间,并且高度都几乎相等。该类字符图像显示数字的原理类似于电子学上七段码数字显示,可以根据这一特性来进行数字识别。如图 5 所示,首先把字符图像分成 7 个区域,分别有 a、b、c、d、e、f 和 g 来标记。然后计算每个区域中“亮”像素点与总区域的像素点的比值,比值大于 50%,则

认为该区域为全亮,标志设置成 1,否则,标志设置成 0。最后,可以通过图像中每个区域的标志值来判断字符图像的数值,如表 1 所示。

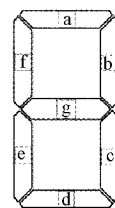


图 5 七段码数字图像^[17]

表 1 数字编码表

数字	a	b	c	d	e	f	g
2	1	1	0	1	1	0	1
3	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	1	0	0	1	1
5	1	0	1	1	0	1	1
6	1	0	1	1	1	1	1
7	1	1	1	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	1	1	1	0

如果字符图像不属于表 1 中任何一种情况,则判断为非数字图像,丢弃该帧图像,抓取下帧图像进行识别,最后将所有字符图像中数字识别出来并组合在一起,得到图像的完整数字。当前帧图像识别的数字与上一帧图像识别的数字进行比较,如果数字发生改变,则系统读取 HA12-M8NA 霍尔传感器的数值,最后进行检定结果判断。

3 实验结果

如图 6 所示,为了方便现场调试,出租车计价器检定系统在神州 ZX7-CT5DA 型号手提电脑运行测试,使用 CY-UB300 工业相机进行图像采集,相机三脚架用于固定相机。出租车开上检定台后,检定系统开始运行。



图 6 出租车计价器检定系统测试现场图

当检定系统运行后,首先要做一些准备工作,首先配置好 TCP 的 IP 地址与端口,使检定系统可以与检定台进行通信,然后根据出租车里的计价器型号选择模板,进行检定。经过现场试验发现:计价器数字每次跳变,只有小数点前的 1 位数字发生改变,由于部分计价器分辨率低,数字在跳变的时会产生图像混淆,如图 7(a)~(b)所示,小数点前面的数字,由数字 1 跳变成数字 3 的时候,经过图像预处理后出现了既不是数字 1 也不是数字 3 的情况。由上小节可知,系统在处理这种字符图像时,会把它当做非数字图像处理进行丢弃。但理论上,这种情况计价器已经发生跳变,所以将这种情况也做跳变处理。

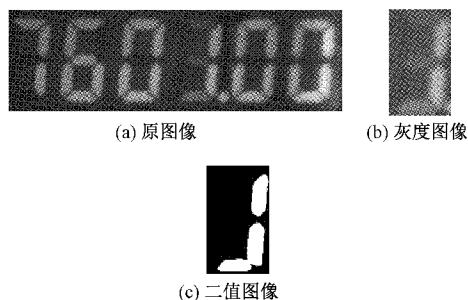


图7 显示过程

对系统进行了 100 组现场测试实验,出租车开上检定台,滚轮机以 60 km/h 速度带动车轮转动。100 组实验中有 3 中类型的计价器,分别对其进行表型识别测试,实验结果如表 2 所示。

表2 表型识别测试结果

种类	测试次数	表型正确识别次数	数字正确识别次数	表型识别准确率/%
表型 1	35	32	32	91.43
表型 2	46	44	44	95.65
表型 3	19	18	18	94.74

从系统中导出误识别表型的图像,分析造成误差的原因主要有两个:1)图像采集模糊。由于相机焦距没有调到最好,导致采集的图像模糊,计算的角点较少,与模板图像匹配不上,造成表型定位误差,影响识别率。2)模板图像中的数字内容与采集图像中的数字内容差距过大。算法检测出的角点位置大部分在数字旁边,如果模板中的数字与采集图像中的数字差距过大,容易造成角点匹配不上。由于出租车在刚开始行驶时,计价器都有起步价,且只有行驶超过 3 km 后,价钱数字才会发生跳变。因此,将起步价的图像作为模板图像,提高匹配的准确度。当计价器型号识别成功后,根据识别的计价器型号确定跳变数字的位置,最后进行数字识别。由于确定出的跳变数字只有目标数字,没有其他背景干扰,所以直接滤波后进行二值化处理,运用数字识别算法进行处理,运算逻辑简单,不容易出错,所以识

别准确率很高,数字正确识别的次数与表型识别的次数相同。

4 结 论

本文针对七段码类别的图像数字,提出了一种高速、高准确率的识别方式,在数字定位准确的情况下,数字识别的准确率达到 100% (数字在跳变过程中除外)。采用 SIFT 特征匹配算法进行计价器型号识别,为了减小因镜头放置而造成的视角形变,对匹配出来的计价器图像进行图像矫正,使其成为正视图,然后进行跳表数字定位与识别,极大提高了识别的准确率。通过代码测试,单张图像处理的时间是 33 ms,对跳变数字检测的反应速度远超过人眼,可以取代人工检定。

参考文献

- [1] 鲍家文. 出租车计价器的计量检定问题及对策[J]. 科技经济导刊, 2018, 26(11): 229.
- [2] 周敏. 出租车计价器的计量检定问题及分析[J]. 科技与创新, 2017(2): 74-75.
- [3] 赵琳杰. 出租车计价器检定工作问题研究[J]. 中国设备工程, 2020(9): 138-139.
- [4] 朱震. 出租车计价器检定中存在的问题及对策分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2019, 9(4): 122-123.
- [5] 宋月超, 蔡永洪, 王海燕, 等. 出租车计价器检定、管理问题汇总和解决方法研究[J]. 计量与测试技术, 2014, 41(8): 37-39.
- [6] 张林. 出租车计价器检定中存在的问题及改进建议[J]. 技术应用, 2019, 26(2): 101-103.
- [7] 周恩伟. 出租车计价器检定工作中的问题及对策分析[J]. 计量与测试技术, 2016, 43(3): 42-43.
- [8] 王立忠, 王慧林, 贺五洋, 等. 基于单片机的出租车计价器检定装置的设计[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2014, 32(6): 624-631.
- [9] 吕丹, 刘旗峰. 移动式出租车计价器自动检定装置的研究[J]. 质量技术监督研究, 2020(4): 20-22.
- [10] 汪滨璋. 谈移动式出租车计价器检测用光栅测距传感器[J]. 计量与测试技术, 2016, 43(6): 88-89.
- [11] 赵云丽, 柏红梅. 出租车计价器检定系统的设计[J]. 河南科技, 2016(13): 35-37.
- [12] 蔡佩征, 牟星辰. 基于 DHNN 的化工厂数显式仪表的数值识别[J]. 电子测量技术, 2020, 43(19): 107-111.
- [13] 宋帅帅, 黄锋, 江燕斌. 基于机器视觉几何量测量技术研究进展分析[J]. 电子测量技术, 2021, 44(3): 22-26.
- [14] 胡柳, 邓杰, 肖瑶星, 等. 基于改进的 SIFT 特征的图像匹配算法研究[J]. 智能计算机与应用, 2020, 10(8):

- 231-233.
- [15] 刘自金,石玉英. 基于信息熵的改进 SIFT 图像快速匹配算法[J]. 激光杂志, 2021: 1-10.
- [16] 刘泽,王嵬,王平. 钢轨表面缺陷检测机器视觉系统的设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(11): 1012-1017.
- [17] HE W, XU G H, RONG Z C, et al. Automatic calibration system for digital-display vibrometers based on machine vision[J]. Metrology and Measurement Systems, 2014, 21(2): 317-328.

作者简介

张志宏,工学硕士,助理工程师,主要研究方向为机器视觉在计量检测方向的应用研究。

E-mail:754556079@qq.com