

计量检定实验室仪表读数自动识别系统设计*

张鑫 张家洪 许晓平 赵振刚

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院 昆明 650500)

摘要: 针对计量检定实验室对仪表进行检定时人工检定方式效率低下,读数识别系统开发成本高的问题,设计了一套基于树莓派的计量检定实验室仪表读数自动识别系统。系统采用树莓派 4B 控制摄像头采集仪表读数的图片,然后采用 SSDA 算法定位图像读数区域,并进行字符分割,再使用 BP 神经网络和特征匹配算法识别分割出的字符,最后通过 SSH 方式将识别结果发送给 PC 端进行存储。实验结果表明,系统运行时间为 500~600 ms,读数识别的正确率在 92% 以上,证明系统可用于计量检定实验室仪表读数的自动识别。

关键词: 实验室仪表读数自动识别;树莓派;SSDA 读数区域定位;字符分割;BP 神经网络

中图分类号: TP23 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8090

Design of automatic recognition system for meter reading in
metrological verification laboratory

Zhang Xin Zhang Jiahong Xu Xiaoping Zhao Zhengang

(School of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: Aiming at the problems of low efficiency of manual verification methods and high development cost of reading recognition system when the measurement verification laboratory verifies meters, a Raspberry Pi-based automatic measurement verification laboratory meter reading recognition system was designed. The system uses the Raspberry Pi 4B to control the camera to collect the picture of the meter reading, and then uses the SSDA algorithm to locate the image reading area, and perform character segmentation, and then use the BP neural network and feature matching algorithm to recognize the segmented characters, and finally use the SSH method to recognize the results send to PC for storage. The experimental results show that the running time of the system is 500~600 ms, and the accuracy of reading recognition is above 92%, which proves that the system can be used for automatic recognition of meter readings in metrological verification laboratories.

Keywords: automatic recognition of laboratory meter readings; Raspberry Pi; SSDA reading area positioning; character segmentation; BP neural network

0 引言

电力仪表是检测和监测系统设备的重要工具,计量检定实验室工作人员需要对仪表进行检定确保其准确性,但人工检定方式效率低下^[1-2]并且现有的电表检定装置要么精度高价格昂贵,要么识别准确率低。检定设备位置在实验室中相对固定,检定时需要将仪表搬运至检定设备处,过程繁琐。因此研发一种识别率高、体积小、成本低的仪表读数自动识别系统的需求很迫切。

光学字符识别相关原理在 1930 年就被学者提出,并取得了一系列研究成果^[3],其中仪表读数识别也被广泛研究,

在读数识别方法研究上,Yue 等^[4]提出基于霍夫变换和中心投影数识别方法;Lu 等^[5]提出了基于查表法的识别方法;王臣等^[6]提出 TM-MSER 算法对字符进行定位和分割,邢浩强等^[7]采用卷积神经网络和霍夫变换的方法识别读数,这些方法在测试中都取得了很好的效果,但仅仅在上位机软件中对算法进行了验证,并没有进行相应的硬件设计与实现。在读数自动识别系统设计上,郭永彩等^[8]设计了一套基于图像传感器的仪表自动读数系统;天津电力公司电力科学研究院设计了用于检定单相电能表的智能检测流水线系统^[9];Edward^[10]设计了基于 SVM 的电表读数识别系统。但现有系统大多采用形态学变换对读数区域定

收稿日期:2020-11-18

* 基金项目:国家自然科学基金(61765009,51667011)、云南省应用基础研究项目(2018FB106)资助

位,高度依赖仪表读数区域的特征属性,普适性较弱,并且系统结构相对复杂,不便于管理与维护。

本文以树莓派^[11]作为硬件核心,用 python 语言进行系统软件设计,开发了一套计量检定实验室仪表读数自动识别系统,系统采用 SSDA 算法定位读数区域,减小了对读数区域特征属性的依赖度,具有较强的普适性,同时具有结构简单、开发周期短、成本低和便于维护等优点,能够满足计量检定实验室仪表读数自动识别工作的需求。

1 系统总体设计

本文设计的计量检定实验室仪表读数自动识别系统包含补光单元、拍摄设备、主控单元、PC 端。选择合适功率的灯泡作为补光单位控制仪表背光环境,树莓派控制摄像头采集仪表读数的图像,通过读数识别系统对图像读数进行识别,PC 端通过 SSH^[12]方法远程登陆控制树莓派,无线接收识别结果并保存。系统组成如图 1 所示。

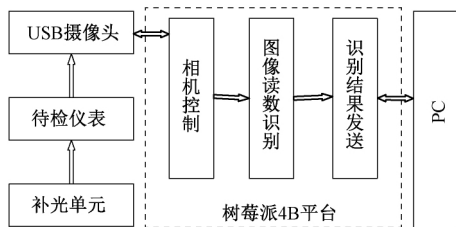


图 1 系统组成

2 图像处理系统

图像处理算法包括图像预处理与字符识别两个部分,第 1 部分为图像灰度化,基于序贯相似性检测(sequential similarity detection algorithm, SSDA)算法的图像字符区域定位,使用自适应阈值对灰度图像进行二值化,高斯去噪,投影法对字符进行分割得到单个字符图像。第 2 部分字符识别,首先特征匹配法识别小数点,然后用 BP 神经网络进行数字识别。图像处理算法流程如图 2 所示。

2.1 图像预处理

1) 基于 SSDA 算法的字符区域定位

首先为了减少算法运行时间,先对图像进行灰度化。由于传统字符区域定位的方法以形态学变化为基础,筛选字符区域时通过连通域的宽高比值或其他特征属性确立目标,高度依赖仪表读数区域的特征属性,普适性较差。因此采用 SSDA 算法对读数区域定位,SSDA 算法是一种改进型的模板匹配算法,它的速度是传统模板匹配算法的几百倍^[13],识别不同的仪表读数采用预先制作好的模板即可提高系统的普适性。式(3)为绝对误差公式,式(4)为累加次数 H 统计公式。

$$S = S_{i,j}(s,t) - \frac{1}{M \times N} \sum_{s=1}^M \sum_{t=1}^N S_{i,j}(s,t) \quad (1)$$

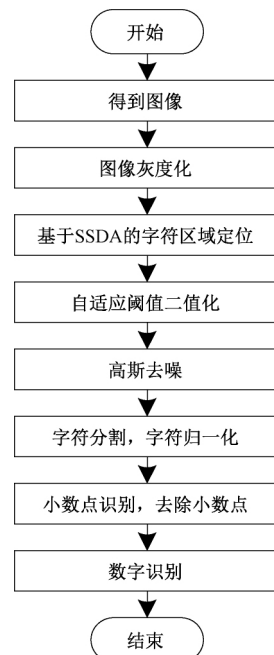


图 2 图像处理算法流程

$$T = T(s,t) - \frac{1}{M \times N} \sum_{s=1}^M \sum_{t=1}^N T(s,t) \quad (2)$$

$$\epsilon(i,j,s,t) = |S - T| \quad (3)$$

$$R(i,j) = \{H \mid \min_{1 \leq H \leq M \times N} [\sum_{h=1}^H \epsilon(i,j,s,t) \geq Th]\} \quad (4)$$

式中: (i,j) 为检测图子图滑动时左上角坐标; (s,t) 为图像像素坐标; $S_{i,j}(s,t)$ 为检测图子图像素; (M,N) 为模板尺寸; $T(s,t)$ 为模板像素; Th 为阈值。

在模板图中随机选取不重复的像素点,计算与当前子图的绝对误差,将误差累加,当误差累加值超过了 Th 时,记下累加次数 H ,所有子图的累加次数记录在 $R(i,j)$ 中。然后选取最大 Th 对应的 $R(i,j)$ 即可,由于随机点累加值超过阈值 Th 后便结束当前子图的计算,所以不需要计算子图所有像素,大大提高了算法速度。图 3 所示为交流调压源,直流稳压源和万用表的字符区域定位结果。

2) 二值化与高斯去噪

得到字符区域图像后对图像进行二值化,由于字符与背景色彩区分度很高,采用自适应阈值二值化就可以取得很好的效果。由于有些仪表的字符区域字符的灰度值比背景灰度值更小,二值化后字符像素为 0,背景为 255,不利于后续的切割与识别操作,因此对这些仪表的二值图像进行像素翻转操作,即对二值图像进行像素遍历,像素为 0 的点设置为 255,为 255 的像素点翻转为 0。翻转后二值图像如图 4(b) 所示。然后对 4(b) 进行高斯滤波,得到图 4(c) 更加平滑的二值图。

3) 基于投影法的字符分割

图像像素翻转后,使用投影法^[14]将图像分割为单个字



图 3 仪表字符区域定位



图 4 字符区域二值图

符,对图 4(c)分别进行像素的垂直投影和水平投影操作,即将像素分别沿高和沿宽方向进行累加,累加后得到的像素沿宽方向分布图如图 5(a)所示,像素沿高方向分布图如图 5(b)所示。由上图可以看到,波谷表示字符与字符之间的分界位置,利用此特性将单个字符分割开来,由于分割出来的字符尺寸不同并且为了不失真,将分割出来的字符进行归一化处理,图片大小为 40×20 ,归一化后的字符图像如图 6 所示。

2.2 字符识别

字符识别程序流程如图 7 所示。得到归一化字符后按顺序对每个字符进行识别。先判断字符是否存在小数点,如果存在小数点则去掉小数点,下一步对数字进行识别,同时将标志位 F_g 置 1。反之直接对数字进行识别,标志位不变。循环下去直到所有字符识别完毕。

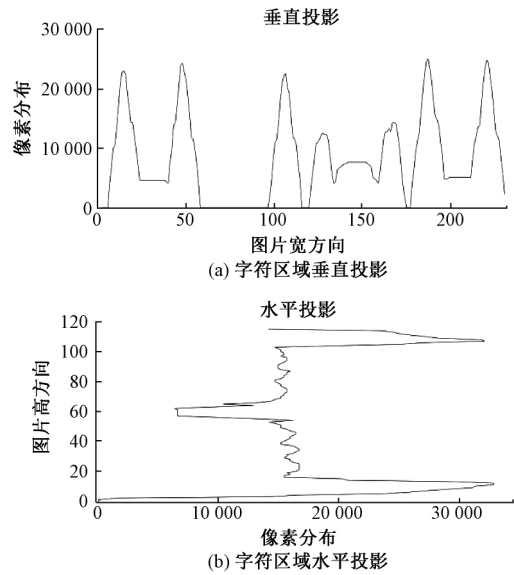


图 5 像素投影

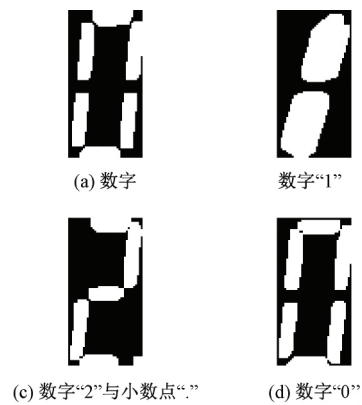


图 6 归一化后的字符

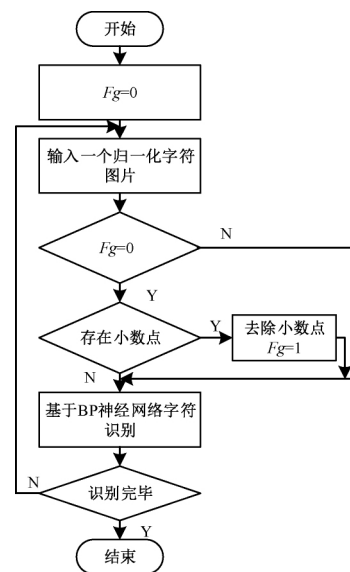


图 7 字符识别程序流程

1) 基于特征匹配的小数点识别

使用特征匹配法^[15]识别小数点, 如上图 6(c) 所示字符与小数点分割在同一张图片中, 仔细观察图 6 每张图片, 含有小数点的图右下角为白色阴影, 没有小数点的图右下角为黑色阴影, 并且小数点白色区域与数字白色区域是两个单独的区域, 通过多次试验观察小数点的白色阴影区域像素是一个 4×4 的矩阵, 因此识别小数点时对归一化图片右下角 4×4 矩阵像素点进行像素累加, 如果累计值大于某个阈值, 则认为图片中有小数点, 否则认为没有小数点。

2) 基于 BP 神经网络的数字识别

为了提高字符识别的正确率, 设计三层 BP 神经网络识别数字, 并采用两种激活函数, 其建模流程如下:

(1) 制作数据集: 选择 500 张切割出来的图片, 并将所有的图片转成一维向量的形式保存在 txt 文件中, 得到 500×800 的矩阵列表, 将标签以独热码的形式保存在 txt 文件中, 得到一个 500×10 的矩阵列表。

(2) 设置 BP 神经网络层数与偏置矩阵: 输入层矩阵 $L0_{1 \times 800}$, 隐藏层矩阵 $L1_{1 \times 800}$, 隐藏层偏置 $B1_{1 \times 800}$, 输出层矩阵 $L2_{800 \times 10}$, 输出层权重 $W_{800 \times 10}$, 输出层偏置 $B2_{1 \times 10}$ 。初始化模型参数。

(3) 求损失函数 E 根据正向传播原理得到误差函数如式(5)所示。

$$\begin{cases} L1 = \tanh(L0 + B1) \\ L2 = \text{softmax}(L1 \cdot W + B2) \\ E = \frac{1}{2}(L2 - L0)^2 \end{cases} \quad (5)$$

式中: 激活函数 $\tanh = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$

$$\text{激活函数 } \text{softmax} = \frac{e^{x_i}}{\sum_{j=1}^n e^{x_j}}$$

(4) 对模型参数进行更新: 根据反向传播原理对网络参数更新, 更新公式为式(6)。

$$\begin{cases} B1^1 = B1^0 - \alpha \frac{\partial E}{\partial L2} \cdot \frac{\partial L2}{\partial L1} \cdot \frac{\partial L1}{\partial B1^0} \\ B2^1 = B2^0 - \alpha \frac{\partial E}{\partial L2} \cdot \frac{\partial L2}{\partial B2^0} \\ W^1 = W^0 - \alpha \frac{\partial E}{\partial L2} \cdot \frac{\partial L2}{\partial W^0} \end{cases} \quad (6)$$

式中: $B1^1$, $B2^1$, W^1 为更新一次后模型参数, $B1^0$, $B2^0$, W^0 为更新前模型参数, α 为模型学习率。

(5) 训练模型: 设置迭代次数和学习率, 训练网络模型, 观察损失函数的数值, 如果损失函数数值在可接受范围内则认为模型收敛, 训练结束。否则重新设置迭代次数和学习率, 再次进行训练直到模型收敛。图 8 所示为迭代 200 次学习率为 0.5 时训练集的准确率。可以看到当迭代次数在 180 次的时候正确率稳定在 96% 附近。

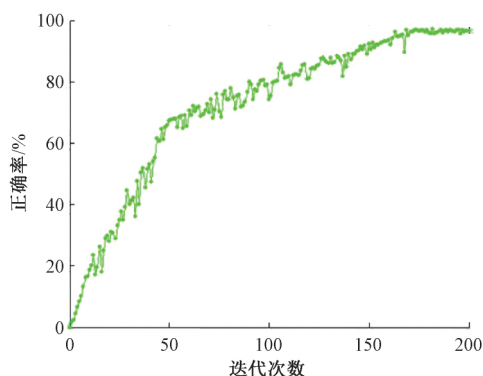


图 8 迭代次数与训练集的准确率

3 硬件设计

为了降低经济成本, 缩短开发周期, 提高程序的运行速度和便于后期各种 python 库的安装, 选择 8 GB+32 GB 的树莓派 4B 作为硬件控制中心, 装载图像读数识别程序, 实现对计量检定实验室仪表读数自动识别与传输的功能。树莓派 4B 是一款基于 ARM Cortex-A72 BCM2711 的卡片式微型计算机, 兼容外扩 USB3.0 接口, 支持 WiFi 上网功能, 支持 SSH 远程登陆功能, 可以方便的配置成远程服务器。CMOS 摄像头具有成本低, 体积小, 功耗低, 寿命长等优点被广泛应用于工业领域中, 系统使用骆日出品的 LRCP7650_720P 型号工业级摄像头, 具有 100 万 pixel, 多分辨率可调, 将摄像头布置在上下左右前后可调的支架上。以 25 W 灯泡作为补光单元。

设置树莓派静态 IP 地址, PC 远程登录树莓派得到识别结果并保存, 树莓派连接免驱的 USB 接口摄像头。研发的计量检定实验室仪表读数自动识别系统硬件实物如图 9 所示。



图 9 计量检定实验室仪表读数自动识别系统硬件实物

4 实验结果与分析

通过引进 python 的第三方库 Thinker 设计了计量检

定实验室仪表读数识别系统 GUI 界面。选择万用表、数字电压源、和交流调压源 3 种仪表进行实验, 对不同仪表读数进行识别时要加载提前制作好的不同的模板, 图 10 所示为 3 种仪表读数识别实验结果。



图 10 3 种仪表读数识别结果

表 1 所示为系统对 3 种仪表进行多次实验的结果参数。其中识别错误的主要原因是字符区域定位失败, 得到缺损的单个字符, 针对这一点可以采用机器视觉^[16]或者深度学习^[17]的方法定位字符区域。同时可以看到识别率达到 92.0%, 识别时间在 500~600 ms, 证明了设计具有可行性。

表 1 系统识别结果参数

测试对象	测试次数	识别正确次数	识别错误次数	正确率/ (%)	运行/ (ms/次)
万用表	500	460	40	92.0	500~600
数字电压源	500	471	23	94.6	500~600
交流调压电源	500	466	34	93.2	500~600

5 结 论

本文针对计量实验室人工读数工作效率低下, 经济成本高的问题, 设计了一种基于树莓派的计量检定实验室仪表读数自动识别系统。采用 SSDA 算法定位读数区域提高系统的普适性, 设计软件识别程序, 并开发硬件系统, 最终实现对仪表读数的自动识别与保存, 系统识别的正确率在 90% 以上, 提升了工作人员的工作效率, 降低了系统开发成本, 为以后智能化实验室创建提供技术支撑。在后续的工作中, 可以采用编译型语言设计程序, 采用 DSP 或者 FPGA 研发硬件系统, 减少系统运行时间, 提高工作效率。

参考文献

[1] 熊勋, 陈新度, 吴磊, 等. 基于卷积记忆神经网络的数字表盘读数识别[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019(7): 72-75.

[2] 王凌燕. 中文字符识别系统的研究与实现[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2020, 38(2): 199-205.

[3] 王逸铭, 于永洲, 孙光桥. 基于神经网络模型的扫描自动化电镜图像字符识别方法[J]. 制造业自动化, 2020, 42(7): 18-20, 39.

[4] YUE X F, ZHANG M, ZHOU X D, et al. The research on auto-recognition method for analogy measuring instruments [C]. 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering, 2010: 207-210.

[5] LU G J, PEI L Q, HUANG Q D, et al. Designation of automatic pointer meter calibration system based on machine vision[C]. 2015 Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control, 2015: 1310-1315.

[6] 王臣, 严军, 朱静, 等. 基于图像的数字仪表字轮定位分割算法的研究[J]. 电子测量技术, 2017, 40(9): 132-135.

[7] 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.

[8] 郭永彩, 刘丽君, 高潮. 基于图像传感器的仪表自动读数系统[J]. 传感器与微系统, 2012, 31(11): 115-117, 121.

[9] 李野, 滕永兴, 曹国瑞. 单相电表的智能化检测流水线系统研究[J]. 科技资讯, 2014, (30): 88-89.

[10] EDWARD V C P. Support vector machine based automatic electric meter reading system [C]. 2013 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, 2013: 1-5.

[11] 陈卓, 赵建华. 基于 Raspberry Pi 的 Web 温度监测系统应用[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(10): 115-118.

[12] 卢肖霞. SSH 框架在 Web 项目开发中的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(10): 1122-127.

[13] 张维琪, 樊斐. 自适应 SSDA 图像匹配并行算法设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2014, (20): 64-67.

[14] 杨峰, 潘越, 李建奇. 用改进的投影法实现车牌字符分割[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2017, 29(4): 34-35.

[15] 陈超, 牛王强, 杜芃. 基于模板匹配和特征匹配的集装箱箱号识别算法[J]. 上海海事大学学报, 2019, 40(1): 65-70.

[16] 郭振黎, 邢飞, 姜小平, 等. 基于机器视觉的启动器外观缺陷检测[J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 32(2): 1-8.

[17] 朱立倩. 基于深度学习的数显仪表字符识别[J]. 计算机技术与发展, 2020, 30(6): 141-144.

作者简介

张鑫, 硕士研究生, 主要研究方向为智能信息处理与智能系统。

E-mail: 2062137795@qq.com

张家洪(通信作者), 博士, 副教授, 主要研究方向为智能信息处理与智能系统等。

E-mail: zjh_mit@163.com