

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.09.018

漏电断路器试验按钮视觉检测研究^{*}

谢德茂, 吴自然^{*}, 吴桂初, 赵 升

(温州大学 物理与电子信息工程学院, 浙江 温州 325000)

摘要:针对漏电断路器试验按钮安装方向自动检测的问题,设计了漏电断路器试验按钮视觉检测系统。根据现场环境和检测要求,确定了合适的相机、镜头和照明方式,得到了适合进行进一步处理的图像;对漏电断路器图像的RGB彩色图像空间和连通域标记算法进行了研究,以解决传送带抖动严重的问题,引入了一种对彩色差分图像进行连通域标记的试验按钮定位算法,实现了试验按钮图像的自动提取;提出了基于归一化的二值化算法,以解决常用二值化算法无法对试验按钮实现较好地分割,算法利用了图像的最大和最小像素值信息,具有一定自适应性;最后通过使用字符模板匹配算法对试验按钮的安装方向进行了检测。研究表明:系统可靠性好、检测效率高,准确率达到99%,误检率低于1%,能够满足实际生产需求。

关键词:机器视觉;漏电断路器;试验按钮;定位;连通域标记

中图分类号:TM561;TP24

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)09-1044-05

Vision inspection of test button of electric leakage circuit breaker

XIE De-mao, WU Zi-ran, WU Gui-chu, ZHAO Sheng

(College of Physics and Electronic Information Engineering, Wenzhou University, Wenzhou 325000, China)

Abstract: Aiming at automatic detection of leakage circuit breakers' T-button (test button) installation direction, an inspection system was designed. According to the environment and detection requirements, the appropriate camera, lens and light mode were determined, which obtain proper image that suitable for further processing. To solve the belt seriously jitter problem, the RGB color image space of the leakage circuit breaker and component labeling algorithm was studied, and a T-button location algorithm about labeling color difference image was introduced. Automatic extraction of T-button image is realized. For the sake of common binarization algorithm cannot achieve better segmentation of the T-button, a binarization method based on normalization was proposed. The algorithm, which utilizes the maximum and minimum pixel values of the image, is adaptive. Finally, character template matching was utilized to detect the installation direction of the T-button. The results indicate that the system achieves high reliability and efficiency, the detection accuracy rate reaches 99% and the false detection rate is lower than 1%, which meets the practical production requirement.

Key words: machine vision; leakage circuit breaker; test button; connected-region labeling

0 引言

漏电断路器是预防漏电、触电事故的一种保护类电器^[1]。每个漏电断路器上都会安装一个试验按钮,方形的测试按钮可安装的方向有4个,也就是安装错误的概率为3/4。部分企业在断路器装配完成后加一

名工人专门检查测试按钮是否安装错误,这样无疑增加了人工成本。采用机器视觉代替人工视觉进行检测可以有效提高检测效率。目前,机器视觉技术广泛应用于电子设备^[2-3]、汽车^[4-5]、制药^[6]、食品与包装机械^[7]、印刷机械等行业^[8-10]。

针对剩余电流动作断路器检测现场环境恶劣,抖动

收稿日期:2016-12-21

基金项目:浙江省重点研发计划资助项目(2017C01008);浙江省新苗人才计划资助项目(KZS1609056)

作者简介:谢德茂(1992-),男,江西赣州人,硕士研究生,主要从事机器视觉方面的研究。E-mail: xiedemao23@gmail.com

通信联系人:吴自然,男,助理研究员,硕士生导师。E-mail: nature.nano@mail.com

严重,难以通过手动设置感兴趣区域(region of interest, ROI)的方法获取漏电断路器试验按钮图像,因此笔者对车牌识别中车牌定位问题进行研究^[11-12],提出一种基于连通域标记的试验按钮定位方法来获取试验按钮图像。

1 视觉检测系统的设计

为满足实际生产需求,需要每次同时检测 4 个漏电断路器,一个断路器宽度为 35 mm 左右,4 个断路器排成一排,加上中间可能存在空隙,那么总宽度约为 160 mm。因此,本研究搭建的漏电断路器试验按钮检测系统如图 1 所示。

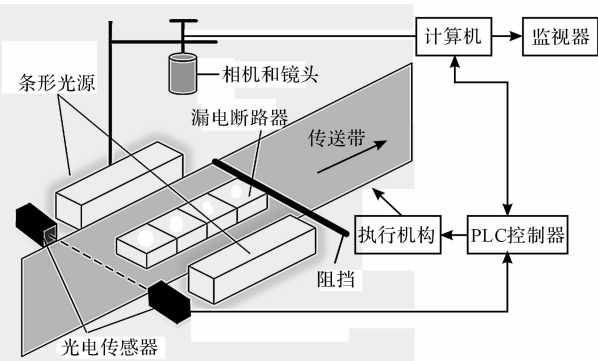


图 1 漏电断路器试验按钮检测系统

图 1 中系统工作流程如下:光电传感器感知漏电断路器到来,PLC 控制器接受光电信号,驱动阻挡装置工作挡住漏电断路器,并发消息到计算机;计算机接收到 PLC 控制器的信号开始对此刻采集到的图像进行处理,处理完毕后,计算机向控制器发出处理结果,然后控制器释放阻挡,并根据结果驱动执行机构动作,将不合格的产品剔除。

图 1 中相机、镜头和光源组成机器视觉系统的图像采集模块。由于系统是对试验按钮安装方向的检测,对精度要求较低,因此相机和镜头选型主要考虑成本和可靠性问题。本研究的相机采用德国 Basler 公司的 acA640-120uc 型 CCD 彩色工业相机,分辨率为 659 × 494,该相机特点是图像质量稳定、采集速度快、传输能力高、抗干扰能力强。镜头采用国产中联科创(ZLKC)的 VM06012MP 的变焦镜头,镜头的焦距为 6 mm ~ 12 mm,光圈 F1.6,具有低畸变成像、景深大、抗震性能好等特点。光源在机器视觉系统中起照明作用,是影响机器视觉系统的重要因素^[13]。由于检测目标由 4 个断路器组成,宽度较大,不适宜使用环形光源,且试验按钮上的字符 T 是凹陷的,笔者使用条形光源以低角度照射,环形光源适合大面积物体照明且

安装方便,以低角度照射可以提高字符 T 和背景的对比度,方便对图像进行分割。图像采集模块采集到的图像整体亮度均匀、明亮,试验按钮突显效果明显,字符 T 可以明显与背景区分。

2 试验按钮检测算法研究

采集到图像后,本研究使用 OpenCV 计算机视觉函数库,编写 C++ 程序对图像进行处理,使用微软基础类库(microsoft foundation class, MFC)编写系统软件界面。由于流水线上机械振动导致传送带上的产品不停抖动,无法通过预先设置 ROI 的位置来获得试验按钮图像,为此,笔者在每个断路器图像上预设一个大的 ROI 获取窗口(实际是一个矩形框),该窗口将试验按钮包含在内,并且窗口大小可以确保试验按钮不会因设备振动偏出窗口导致无法得到试验按钮图像。对 ROI 窗口图像进行处理,设计了试验按钮定位算法,该算法可以实时、快速地提取试验按钮图像,最后使用模板匹配算法来识别试验按钮的安装方向。

2.1 试验按钮定位算法研究

2.1.1 RGB 彩色图像的预处理

RGB 彩色空间图像的一个像素点是由 R、G、B,3 个分量构成的,其中 R、G、B 是由不同的灰度级描述,通过对 R、G、B,3 个颜色通道的变化和相互之间的叠加来得到各式各样的颜色。当图像中某个区域呈现为红色时,其红色分量必然大于其他两个分量,那么只要将红色通道的图像减去蓝色和绿色通道的图像就可以将红色区域图像提取出来。剩余电流动作断路器的试验按钮为橙黄色,产品其他区域不存在相同的颜色,将试验按钮区域图像按 R、G、B,3 个通道分离,所截取的图像大小为 96 × 96 像素。区域图像如图 2 所示。

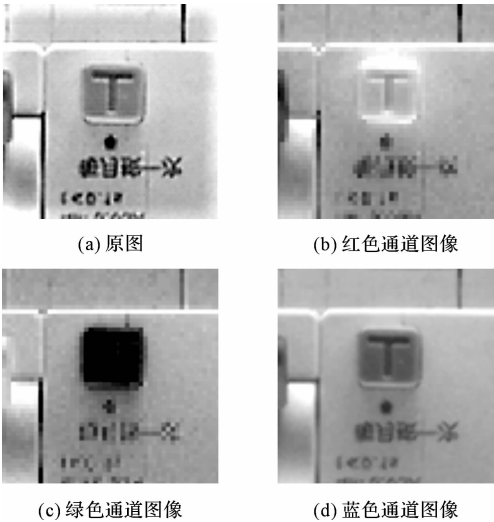


图 2 感兴趣区域图像

差分图像的处理如图 3 所示。

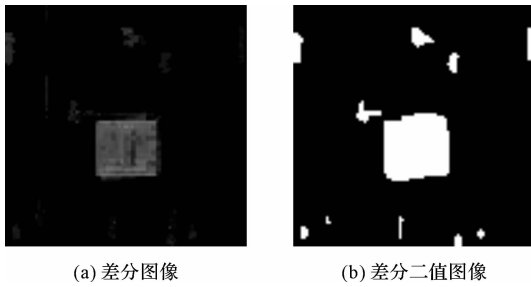


图 3 差分图像的处理

从各通道图像可以看出,测试按钮红色通道的图像像素值明显高于绿色通道和蓝色通道,而背景区域部分 3 个通道图像像素值相近,因此笔者在 RGB 彩色图像空间中做差分运算,用红色通道图像减去绿色通道和蓝色通道,结果得到差分图像,虽然差分的结果基本上将试验按钮从背景图像分割出来,但是仍然存在大量噪声,接着再对差分图像做滤波、闭运算滤除干扰,再使用均值二值化算法进行分割得到差分的二值图像。

2.1.2 连通域标记算法

连通域标记以二值图像(前景像素灰度值为 1,背景像素灰度值为 0)为基础,根据像素在图像中具有某种连通规则,将同一连通域的像素用相同的标号表示,达到区分连通区域的目的^[14]。图 3(b)中差分图像经二值化分割后形成了若干连通区域,以试验按钮所在区域面积最大,使用连通域标记算法对二值图进行标记,再找出最大标记区域就可以实现试验按钮的定位。本研究采用两步扫描法^[15-17],该算法对图像进行两次遍历,在第一次遍历时,赋予每个非零像素位置一个标记,同一连通区域内的像素可能被赋予一个或多个不同的标记,并将这些标记值(称为等价对)记录在查找表中,第二次遍历时,根据等价对查找表对连通域进行标记值更新,确保每一个连通区域使用唯一的标记值。算法描述如下(假设图像像素为“0”、“1”二值图像,采用 4 邻接判断“1”值的连通性):

第一次扫描,如果当前像素值等于 1:

(1)如果上方和左侧的邻域像素仅有一个临时标记,则复制这一标记;

(2)如果上方和左侧有不同的标记,则复制最小的标记给该像素,并且将两个临时标记作为等价对,输入一个存储等价对的表数组;

(3)如果上方和左侧都没有标记,则给该像素分配一个新的标记。

第二次扫描,如果当前像素非 0,则用表数组中等价对的最小标记取代这一临时标记。

本研究对二值图像进行标记后,在标记结果中找出标记数量最多的区域,便可从感兴趣区域图像中定位得到试验按钮。

2.2 试验按钮图像的二值化算法研究

为了检测出字符 T,必须对试验按钮图像进行图像分割处理。

试验按钮预处理如图 4 所示。



图 4 试验按钮预处理

分割前对原图进行灰度化,灰度化后的试验按钮如图 4(a)所示,可以看出,图像整体对比度较低,整体不够清晰,不适宜进行分割。采用直方图均衡化算法提高图像对比度和灰度变化范围,均衡化后图像如图 4(b)所示。经均衡化后图像明显更加清晰,字符 T 轮廓更为明显,但是在字符 T 左右两侧的阴影区域也更加明显。常见的二值化算法如 OTSU、均值二值化等将会受阴影影响。因此本研究提出基于归一化的二值化算法对试验按钮进行分割。

算法首先计算图 4(b)直方图均衡化后图像进行均值化,所谓均值化是将图像的均值赋给图像中大于均值的像素点,目的是降低图像的动态范围,因为测试按钮的字符 T 是凹陷的,条光照过去后凹陷的 T 会有阴影,于是它的亮度要比非 T 区域要低。然后使用下式对均值化后图像进行归一化,图像归一化范围 $[0, 1]$ 。均值化图像如图 4(c)所示。

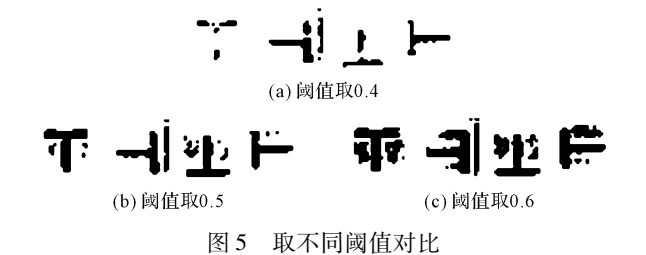
计算过程如下式所示:

$$dst(i, j) = \frac{(src(i, j) - \min(src)) * (b' - a')}{\max(src) - \min(src) + a'} \quad (1)$$

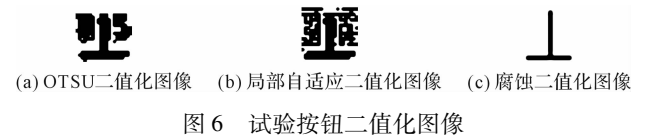
式中:dst—目标图像;src—原图像; i —行; j —列; $\min(src)$ —图像最小像素值; $\max(src)$ —图像最大像素值; $b' = \max(a, b)$; $a' = \min(a, b)$; a, b —要归一化的范围, $a = 1, b = 0$ 。

归一化后图像的像素值为浮点数,本研究取阈值为 0.5,从而实现试验按钮图像的二值化。基于归一化的二值化算法本质上仍是全局二值化,令式(1)左边等于阈值 0.5,反过来求得图像真实阈值为 $0.5 * \max(src) + 0.5 * \min(src)$,该阈值利用图像最大值和最小值信息,阈值随图像的最大和最小像素值变化。

归一化后的阈值之所以取为 0.5 是因为经过实验测得此时效果最佳。阈值分别取 0.4、0.5 和 0.6 时不同方向 T 的分割结果分别如图 5(a~c) 所示。图 5(a) 的真实阈值为 $0.4 * \max(\text{src}) + 0.6 * \min(\text{src})$, 显然此时阈值偏小导致字符 T 部分被分为背景;图 5(c) 的真实阈值为 $0.6 * \max(\text{src}) + 0.4 * \min(\text{src})$, 此时 T 两侧的阴影没有被去除;图 5(b) 中虽然字符 T 两侧仍有部分阴影, 但是后面可以使用腐蚀进行滤除。



作为对比使用 OTSU 算法和局部自适应二值化算法对试验按钮图像进行分割, 结果如图 6(a)、6(b) 所示, OTSU 和局部自适应算法对 T 两侧的阴影均无法处理。本研究对分割后图像做腐蚀操作, 结果如图 6(c) 所示, 可以看出算法基本实现完美的分割。



2.3 字符 T 的模板匹配算法

模板是一幅已知大小的小图像, 模板匹配就是在 一幅大图像中搜索目标^[18]。定位得到的试验按钮图像大小通常为 28 pixel × 28 pixel, 凹陷的字符 T 大小约为 18 pixel × 18 pixel, 因此使用传统的模板匹配算法也不会带来太大的计算量, 且实现简单, 可以满足系统实时性的要求, 实现试验按钮的快速检测。

本研究建立的试验按钮模板如图 7 所示。



匹配方法为异或, 利用已建立的试验按钮模板在待检测图像中遍历进行异或运算^[19], 结果为一个矩阵, 如果矩阵中存在小于预设阈值的值, 则认为测试按钮安装正确, 否则认为安装错误。

3 实 验

为验证系统质量, 本研究在现场对 100 个漏电断路器进行测试试验, 其中正确安装的 80 个, 安装错误的 20 个, 错误安装的产品中包括 16 个有按钮和 4 个无按钮。

现作如下假设:
事件 $A = \{\text{测试按钮安装正确}\}$; 事件 $\bar{A} = \{\text{测试按钮安装错误}\}$; 事件 $E = \{\text{检测结果为安装正确}\}$; 事件 $\bar{E} = \{\text{检测结果为安装错误}\}$ 。

针对以上假设存在测试结果有以下 4 种概率表示:

- (1) $P\{E|A\}$ 。测试按钮安装正确, 检测结果为安装正确;
- (2) $P\{\bar{E}|A\}$ 。测试按钮安装正确, 检测结果为安装错误;
- (3) $P\{E|\bar{A}\}$ 。测试按钮安装错误, 检测结果为安装正确;
- (4) $P\{\bar{E}|\bar{A}\}$ 。测试按钮安装错误, 检测结果为安装错误。

正确检测的有 (1)、(4), 错误检测为 (2)、(3), 那么检测结果的准确率等于 $P\{E|A\} + P\{\bar{E}|\bar{A}\}$, 误判率为 $P\{\bar{E}|A\} + P\{E|\bar{A}\}$ 。

本研究总共进行 5 次测试, 测试结果如表 1 所示。

表 1 测试结果

测试序号	安装正确, 检测结果为正确个数	安装正确, 检测结果为错误个数	安装错误, 检测结果为正确个数	安装错误, 检测结果为错误个数	准确率/ (%)	误判率/ (%)	时间/s
1	79	1	1	19	98	2	225
2	80	0	0	20	100	0	220
3	80	0	1	19	99	1	213
4	79	1	0	20	99	1	226
5	79	1	0	20	99	1	224
平均	79.4	0.6	0.4	19.6	99	1	221.6

从表 1 实验结果可以看出,漏电断路器测试按钮视觉检测系统的检测准确率达 99%,误判率只有 1%。系统已在温州正泰电器漏电断路器漏电检测台中运行 3 个月,据企业反馈,该系统取得了良好的效果。

4 结束语

本研究根据现场检测环境搭建了漏电断路器试验按钮视觉检测系统,系统结构简单、易于实现,针对设备抖动和图像分割受阴影影响的问题,笔者分别提出连通域标记的试验按钮定位算法,以及基于归一化的二值化算法。实验和实际应用表明,系统可以实现试验按钮安装方向的检测,并为以后的研究提供了重要参考依据。

参考文献(References):

- [1] 武志刚. 漏电断路器可靠性及其失效机理分析[D]. 天津:河北工业大学电气工程学院,2012.
- [2] WU W Y, WANG M J, LIU C M. Automated inspection of printed circuit boards through machine vision[J]. **Computers in Industry**, 1996, 28(2): 103-111.
- [3] GUO Feng-lin, GUAN Shu-an. Research of the machine vision based PCB defect inspection system[C]. International Conference on Intelligence Science and Information Engineering, Wuhan: IEEE, 2011.
- [4] 王 欢. 机器视觉在汽车零部件生产线中的应用研究[D]. 沈阳:沈阳理工大学信息科学与工程学院,2015.
- [5] 刘春晓,胡 鹏,常祖鹏. 某型侦察车伺服精度的数字化检测设计[J]. 兵工自动化, 2015, 34(10): 15-17.
- [6] AHMAD N B, SULAIMAN M B, ARIPI N M K B. Quality inspection of engraved image using shape-based matching approach[C]. International Conference On Mechatronics, Kuala Lumpur: IEEE, 2011.

- [7] 朱作付,徐 超,葛红美. 机器视觉技术在包装领域的应用[J]. 包装工程, 2010, 31(3): 124-127.
- [8] 徐 浪,曾 忠,刘金赞,等. 机器视觉在印刷缺陷在线检测中的应用与研究[J]. 计算机系统应用, 2013, 22(3): 186-190.
- [9] 张立凡. 基于机器视觉的图文印刷缺陷检测研究[D]. 北京:北京印刷学院机电工程学院,2010.
- [10] 付 泰,王林棠,程书豪,等. 基于机器视觉的复杂平面零件尺寸精密检测[J]. 机电工程技术, 2016, 45(8): 7-9, 84.
- [11] 刘 濛,吴成东,樊玉泉,等. 复杂背景图像中的车牌定位算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 31(8): 1357-1362.
- [12] 郑成勇. 一种 RGB 颜色空间中的车牌定位新方法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(11): 1623-1628.
- [13] 贾云德. 机器视觉检测技术[M]. 北京:科学出版社, 2000.
- [14] 马益杭,占利军,谢传节,等. 连通域标记算法的并行化研究[J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(4): 67-71.
- [15] SUZUKI K, HORIBA I, SUGIE N. Linear-time connected-component labeling based on sequential local operations[J]. **Computer Vision and Image Understanding**, 2003, 89(1): 1-23.
- [16] GOTOH T, OHTA Y, YOSHIDA M. Component labeling algorithm for video rate processing[J]. **Proceedings of the SPIE**, 1987, 804(10): 217-224.
- [17] HARALICK R M, LINDA G S. Computer and robot vision volume I[J]. **IEEE Robotics and Automation Magazine**, 1992, 18(2): 121-122.
- [18] 唐 进,李 青. 一种快速的模板匹配算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(6): 1559-1564.
- [19] 何 利,李伯全. 复杂背景中奶粉罐内配件数量检测研究[J]. 机电工程, 2014, 31(8): 1098-1102.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

谢德茂,吴自然,吴桂初,等. 漏电断路器试验按钮视觉检测研究[J]. 机电工程, 2017, 34(9): 1044-1048.

XIE De-mao, WU Zi-ran, WU Gui-chu, et al. Vision inspection of test button of electric leakage circuit breaker[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(9): 1044-1048.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>