

基于 SURF 和 FLANN 算法的 变电所仪表定位与读数识别

巩方超^{1,2}, 王硕禾¹, 周后斌³, 韩帅¹, 巩思洋⁴

(1. 石家庄铁道大学 电气与工程学院, 河北 石家庄 050043; 2. 威海海洋职业学院, 山东 威海 264300;
3. 中铁电气化局集团有限公司设计研究院, 北京 100071; 4. 烟台市龙口公路管理局, 山东 烟台 265700)

摘要: 为了实现对变电所指针仪表的自动定位与读数识别, 建立了自动图像识别系统, 并对采用的 SURF、FLANN、累计概率霍夫变换等算法进行研究。首先针对基本 SURF 算法在目标设备检测中的精度问题, 提出了 SURF 联合 FLANN 的交叉验证算法。接着, 利用透视变换选定目标区域。最后利用 LOG 变换对目标区域图像进行增强并利用累计概率霍夫变换对仪表指针进行检测。实验结果表明: 角度识别检测误差范围小于 3%。在保证运算速度的基础上提高了特征匹配精度、指针识别的精度与鲁棒性。

关键词: 机器视觉; SURF+FLANN 算法; 透视变换; 累计概率霍夫变换

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2020)01-0110-06

随着国家“建设坚强智能电网”的发展目标的提出^[1], 利用机器视觉技术代替人力巡检已经广泛应用于电力行业。除了传统的巡视系统外, 随着电力系统巡检机器人、无人机等移动设备的广泛应用, 在处理获取的图像资料时, 对检测过程中处理速度、精度、尺度变换、角度变化等也提出了更高要求。因此, 提高变电所设备的识别定位的精度和快速、智能分析等具有重要意义。本文对变电站配置的许多指针仪表, 如气压表、温度表、油温表、避雷器表在多种巡检环境下的匹配和读数识别问题进行深入应用研究。

基于 SIFT、SURF 的算法, 在目标检测中应用广泛, 并且广泛应用于电力系统中目标检测与研究中。文献[2]结合 SIFT 算法, 经过国内某 500 kV 智能变电站巡检机器人实地测试, 在输入图像中匹配提取仪表表盘区域子图像^[2], 并利用智能机器人能够自动实现对仪表设备的状态识别, 此算法精度较高, 但速度较慢, 不满足实时性要求。SURF 算法^[3-5]借鉴了 SIFT^[6]简化近似思想, 将 DOH 中的高阶二阶微分模板进行了近似简化, 可以采用积分图像计算, 实验证明 SURF 算法综合性能优于 SIFT 算法。文献[7]通过模板匹配或椭圆拟合确定仪表表盘在图像中的基本位置及区域范围^[5], 虽然其算法特定条件下有一定实时性和鲁棒性, 但对于移动状态的巡检机器人、无人机系统中采集到的图像不适用。文献[8]提到把刻度作为小段的直线, 利用 Hough 变换同时识别指针与刻度, 虽然可以保证一定的精度, 但对一些多符号、多条纹的干扰的仪表并不适用。另外文献中的减影法对拍摄平面角度要求严格, 如果两幅图像角度差异大, 则不适合当前多距离多角度图像的分析^[8]。

本文针对变电所设备匹配的精度与速度问题, 采取 SURF+FLANN 结合算法提高特征匹配速度与精度; 针对仪表指针识别精度与鲁棒性问题, 利用 log 变换对图像增强, 结合累计概率霍夫变换对指针进行检测, 提高指针识别的精度与鲁棒性。

收稿日期: 2018-08-26 责任编辑: 车轩玉 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxxbzrb.20180826001

基金项目: 中国铁路总公司科技研究开发计划课题(P2018G006); 河北省教育厅重点科研项目(ZD2018217)

作者简介: 巩方超(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为输配电工程、电力网及电力系统。E-mail: 1061988366@qq.com

巩方超, 王硕禾, 周后斌, 等. 基于 SURF 和 FLANN 算法的变电所仪表定位与读数识别[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2020, 33(1): 110-115.

1 SURF 算法基本原理

SURF 算法于 2006 年由 Bay 等人提出,在特征检测领域应用广泛。SURF 算法是一种快速的特征匹配算法,不仅具有 SIFT 算法尺度不变、旋转不变的特性(如图 1(a)、图 1(b)),而且运算速度又大大优于 SIFT 算法^[9]。SURF 算法的实现主要有以下 4 个步骤。

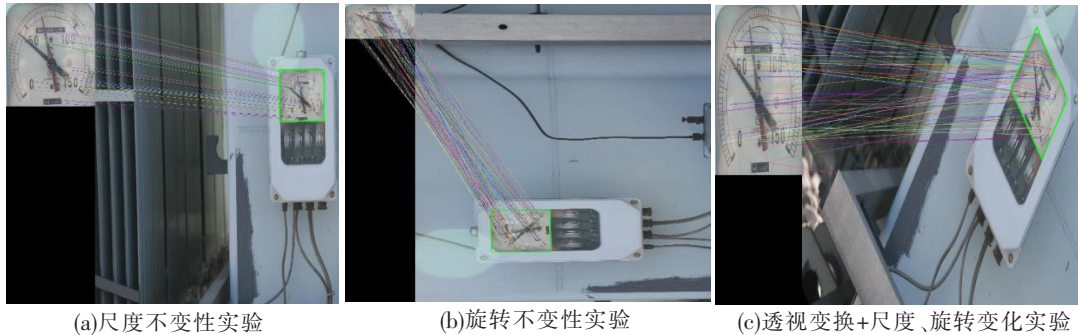


图 1 尺度不变性、旋转不变性、透视变换结果图

(1)特征点检测。利用不同盒子滤波器(Box Fliter)建立尺度空间金字塔,应用 Hessian 矩阵检测不同尺度空间的极值点。以 3×3 滤波器为例,对该点与邻近的 $3 \times 3 \times 3$ 尺度空间进行非极大值抑制,若响应值大于本层 8 个点和上下尺度层的各 9 个点的响应值,则该点为特征点。在图像 I 中的点 $x(i, j)$ 处,尺度为 σ 的 Hessian 矩阵 $H(x, \sigma)$ 表示为

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $L_{xx}(x, \sigma)$ 为高斯二阶微分 $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma)$ 在点 x 处与图像 I 的卷积; $L_{xy}(x, \sigma)$ 和 $L_{yy}(x, \sigma)$ 具有类似的含义。Hessian 矩阵判别式的简化形式,推导详见文献[3]。

$$Det(H_{approx}) = D_{xx}D_{yy} - (0.912D_{xy})^2 \quad (2)$$

判别式的值是 H 矩阵的特征值,利用判别式的正负,判别该点是否为极值点。

(2)选取特征点主方向。在特征点半径为 6σ (σ 是该点所在的尺度)内统计 60° 扇形区内 x 和 y 方向的 Haar 小波特征总和,然后一定的间隔旋转扇形区,将响应值最大的那个扇形区方向作为特征点主方向。

(3)生成 SURF 特征描述算子。以特征点为中心,沿主方向将 $20\sigma \times 20\sigma$ 的图像划分为 4×4 个子块,每个子块利用尺寸 2σ 的 Harr 模板进行响应值计算^[10],然后对响应值进行统计, $\sum dx$ 、 $\sum |dx|$ 、 $\sum dy$ 、 $\sum |dy|$ 形成特征矢量(dx , dy 分别表示水平垂直方向的响应)。然后统计子块的响应值,从而得到如式(3)的每个子块矢量,最后形成 64 维特征描述子。

$$V_{子块} = [\sum dx, \sum |dx|, \sum dy, \sum |dy|] \quad (3)$$

(4)特征点匹配。采用最小欧氏距离衡量特征点相似性,将 2 幅图像中描述子进行比较,把距离最近的特征描述子作为最佳匹配。

2 针对变电所设备图像处理算法改进与过程优化

2.1 设备配准定位优化

2.1.1 结合 FLANN 交叉验证算法的匹配改进

FLANN 实现快速高效匹配(快速最近邻逼近搜索函数库(Fast Approximate Nearest Neighbor Search Library)来解决 SURF 高维特征向量空间中的最近邻搜索问题,由于高维空间的计算量较大,为了提高性能,采用分层 K-均值和多重随机 KD 树。在计算机视觉和机器学习领域中高维特征训练问题是一个复杂性难题,目前最有效的高维数据特征查找常采用 FLANN 最近邻算法^[11]。

FLANN 中多重随机数采用随机 KD 树算法, KD 树是一棵二叉树, 树中存储的是一些 K 维数据。在一个 K 维数据集上构建一棵 KD 树代表了对该 K 维数据集空间的一个划分, 即树中的每个节点对应了一个 K 维超矩形区域。KD 树构造首先在数据集中找到方差最高维度, 根据这个最高维度数值将数据集划分为 2 个部分, 对符合特征的每个子集进行上述操作, 如果当前子集不能再划分时, 则该子集中数据的据点将保存在叶子节点; 然后建立随机 KD 树, 从具有最高方差维度的数据集中选取若干维度用于划分, 然后对随机 KD 树进行遍历搜索, 其中所有的随机 KD 树将共享一个优先队列。

实验目标图像大小 $4\ 368 \times 2\ 912$, 模板图像大小 434×365 , 本文方法在目标图像缩小至 25% ($1\ 092 \times 728$) 时, Debug 版时间 3.5 s, Release 版时间 0.9 s。本文方法在目标图像缩小至 10% (437×292) 时, Debug 版时间 2.0 s, Release 版时间 0.68 s。一般国内使用的高清图像为 ($1\ 024 \times 720$ p)、标清图像为 (640×480), 硬件实验平台为 Intel(R) Celeron(R) CPU 1.5 GHz, 内存 4 G, Windows7 32 位操作系统, 处理器 CPU 是赛扬系列 CPU, 主频仅有 1.5 GHz, 但在 1 s 内 Release 版仍然可以同时完成模板图像和目标高清图像的特征提取匹配。编程语言采用 C++ 语言, Debug 版为调试版本含有调试信息; Release 版为发布版本代码效率最优。

实验结果如表 1, 分析数据可以看出, 同大小的图像, SIFT 算法检测出的模板图像和目标图像特征点数最多, 描述矩阵维数最大为 128, 但耗时最长, 约是 SURF 算法的 3 倍, 同时内存消耗大; 本文改进方法中不仅检测出较多特征点数, 还应用交叉验证精匹配筛选剔除了基本 SURF 算法的误匹配点, 剔除错误匹配点后使得检测更加精准。匹配交叉验证就是不仅在模板图像到目标图像做符合阈值条件的匹配点配对, 在目标图像到模板图像也做符合阈值条件的匹配点配对, 选取相互匹配过程中相等的匹配点作为精匹配点, 从实际算法处理时间上可以看出, 改进方法目标图像缩小 50% 时 ($2\ 184 \times 1\ 456$ 仍远大于高清图像的像素要求), Release 版耗时仅仅多耗时 0.1 s。实验结果如图 2。尺度与角度不变性验证如图 1(a)、图 1(b)。

表 1 SIFT、SURF 算法、SURF+FLANN 交叉验证算法实验效果对比

算法	目标 图像大小	模板图像特 征点检测数	目标图像特 征点检测数	描述矩阵 维数	粗匹 配数	交叉验证后 精匹配数	Debug 版 耗时/s	Release 版 耗时/s
SIFT	原图	内存耗尽	—	—	—	—	—	—
SIFT	小 50%	1 324	2 189	128	80	—	24.7	6.8
SURF	原图	328	1 519	64	328	—	14.1	5.7
SURF	小 50%	328	866	64	328	—	4.9	1.8
本文	原图	501	2 706	64	501	97	18.1	5.4
本文	小 50%	501	1 411	64	501	8	6.6	1.9

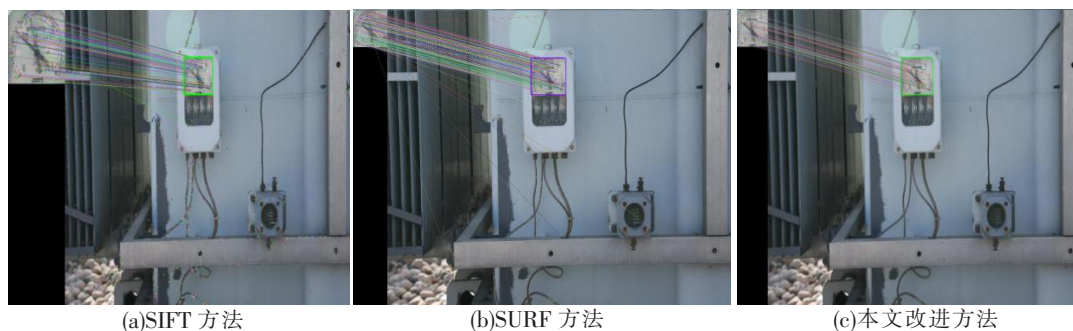


图 2 SIFT、SURF 算法、SURF+FLANN 交叉验证算法目标识别匹配结果

2.1.2 利用透视变换确定目标区域

透视变换(Perspective Transformation)是将图片投影到一个新的视平面(Viewing Plane), 也称作投影映射(Projective Mapping)。通用的变换公式为

$$[x', y', w'] = [u, v, w] \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, u, v 是原始图片左边, 第二项为变换矩阵, 对应得到变换后的图片坐标 x, y , 其中 $x = x'/w', y = y'/w'$ 。寻找透视变换时应用到 opencv 开源视觉库中 findHomography() 函数, 并设置其中基于 RANSAC (“Random Sample Consensus (随机抽样一致)”) 的鲁棒性方法用于计算单应矩阵的方法。也可以应用最小中值鲁棒性方法。透视变换如图 2(c) 所示。

2.2 指针识别过程优化

指针识别流程: (1) 对 SURF+FLANN 交叉验证算法匹配的目标仪表图像, 进行 canny 边缘检测。(2) 利用霍夫圆变换进行表盘圆检测、圆心检测, 并筛选符合条件的圆^[12]。(3) 利用霍夫变换检测并筛选符合条件的直线。(4) 直线归类分组。(5) 根据对应角度映射对应刻度值。

2.2.1 对数变换的图像增强

对数变换可以将图像的低灰度值部分扩展, 压缩高灰度值部分, 从而显示出低灰度部分更多的细节, 达到强调图像低灰度部分的目的。通过 log 变换的图像增强可以提高指针检测的鲁棒性。变换公式如下(5), r, s 分别为输入、输出灰度级, c 常数。

$$s = c \cdot \lg(1+r) \quad r \geq 0 \quad (5)$$

2.2.2 累计概率霍夫变换 PPHT

累计概率霍夫变换执行效率很高相比于 HoughLines 函数, 更倾向使用 HoughLinesP 函数。累计概率霍夫变换(PPHT)算法^[13]是标准霍夫变换(SHT)算法的一个改进, 它在一定的范围内进行霍夫变换, 计算单独线段的方向以及范围, 从而减少计算量, 缩短计算时间。PPHT 因为并不将累加器平面内的所有可能的点累加, 而只是累加其中的一部分, 该想法是如果峰值足够高, 仅用少部分时间去寻找, 从而减少计算时间。

3 指针识别实验与分析

实验中以 Visual Studio 2010+Opencv 计算机视觉的函数库为平台进行算法编程实验, Opencv 中采用了 C++/python 语言函数库, 本文选取 C++ 语言。对 SURF+FLANN 交叉验证算法定位的目标仪表(温度表、油位计)图像进行指针识别。下面对算法改进前后、目标尺度变化 50%、油位计表及整体环境下的实验结果进行分析。

本实验在牵引变电所获取现场图像进行分析。变压器温度仪表型号为 BWY-804A(TH)(量程 0~150°)。通过实验对比分析验证了本文算法的综合性能与良好实际应用性。

图 3(a)~图 3(c)分别是变压器温度表指针检测原图、改进前检测图、改进后检测图。改进前, 每幅图像都有较多的指针误检测, 背景处理效果也不理想。改进后检测到的线段角度可由 PPHT 函数输出的线段端点与圆心坐标关系计算得到, 程序编写时最好封装 1 个线段类, 以便于计算检测到的指针角度、长度和指针角度与实际表盘面刻度的映射关系。

图 3(a)~图 3(c)温度表指针检测改进前, 有 1 根指针没有检测出, 漏掉其 2 条边线。指针 1 角度(检测出 2 条)分别为 105°、109°; 指针 2 角度(检测出 3 条)144°、148°、149°; 平均值分别为 107°、147°。图 3(d)~图 3(f)温度表尺度变化 50%图, 改进前也有 1 条指针未能检测出, 其中有 1 条检测错误。表的原图尺度变化 50%时, 指针 1 角度(检测出 2 条)104°、109°; 指针 2 角度(检测出 3 条)144°、148°、149°, 平均值分别为 106.5°、147°, 对应的角度与刻度映射为 30°、72°。与实际指针指示角度相符, 且在一定的尺度变化内也能准确地识别指针。

为了验证该算法的广泛适用性, 本文又选取了变压器用 BWY-803 型温度仪表(量程 0~100°)进行原图与尺度变化后的实验验证。另外对变电所内, YZF3-250 型油位计进行读数识别, 0 位置表示为最低油位, 10 表示为最高油位, 指针若超出 0~10 之间的数字, 就证明进入了油位警戒区(±45°)。

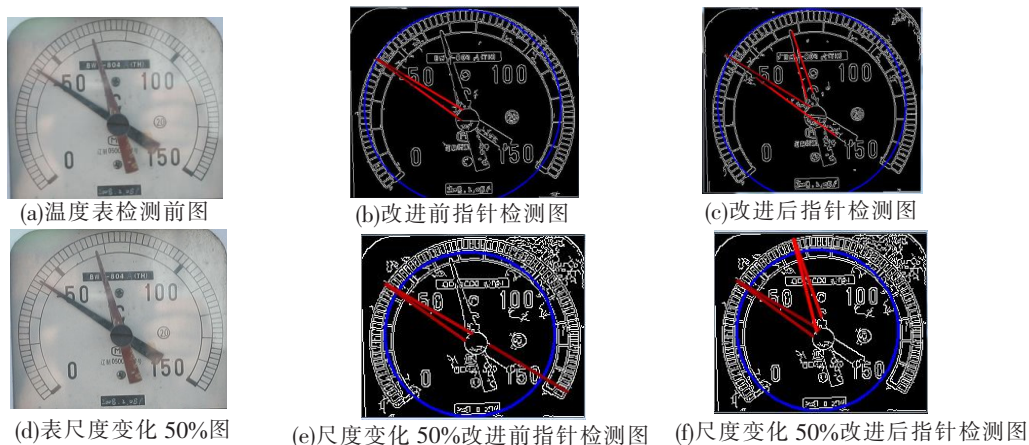


图 3 仪表指针检测图

实验结果如图 4, 下面分析改进后检测到的指针角度变化情况。温度表原图, 指针 1 角度(检测出 2 条)分别为 28° 、 31° ; 指针 2 角度(检测出 3 条) 145° 、 146° 、 146° ; 平均值分别为 29° 、 145.7° 。原图尺度变化 50% 时, 指针 1 角度(检测出 1 条) 31° ; 指针 2 角度(检测出 4 条) 140° 、 146° 、 146° 、 147° , 平均值分别为 31° 、 144.7° 。油表图, 指针角度(检测出 2 条)为 215° 、 220° ; 平均值为 217.5° 。图 4(g) 可以看出整体测试环境下也能较好检测到指针, 验证算法良好的鲁棒性。在霍夫圆检测确定圆心的条件下, 角度识别检测误差范围小于 3%, 对于量程为 300° 的仪表映射识别准确率大于 99%, 进行角度与实际刻度映射换算时, 注意水平 0° 对应的刻度值, 提前加减相应的角度值, 油位计指针角度为 217.5° , 不在 $\pm 45^\circ$ 内属于正常范围。

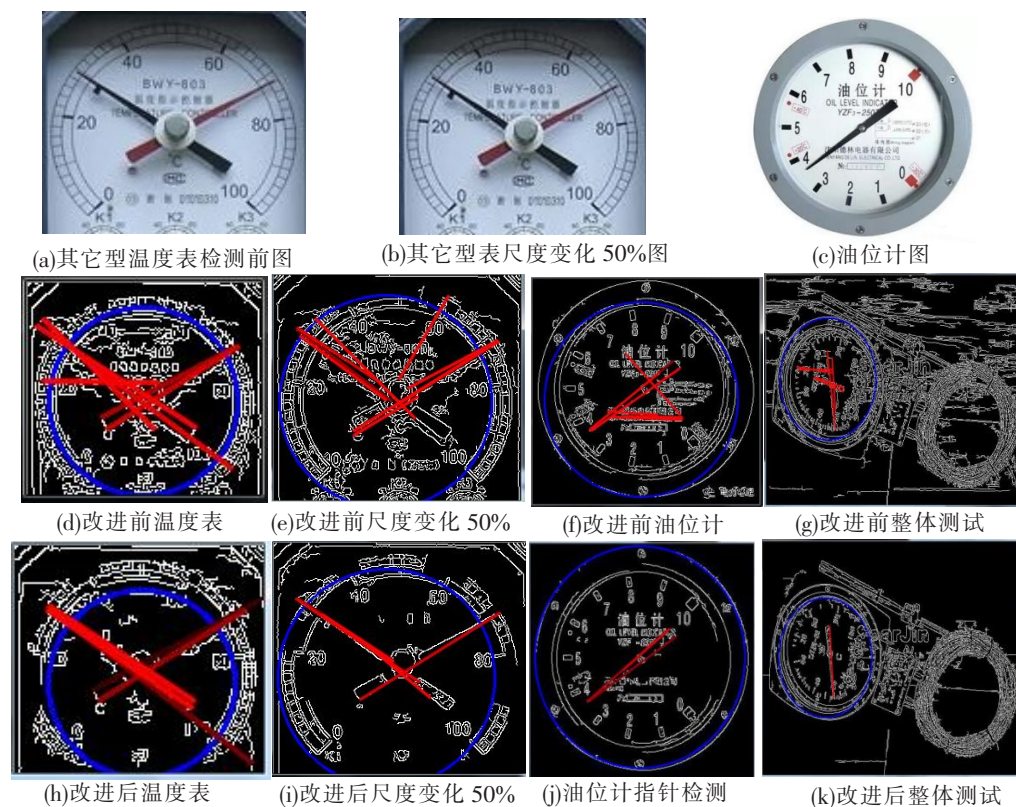


图 4 其他型仪表指针检测图

在文中图像处理算法改进与过程优化中, 重点对耗时较长的设备配准定位算法(SIFT、SURF 算法、SURF+FLANN 交叉验证算法)进行了时间效果比较。在指针识别步骤中, 应用的累计概率霍夫变换(PPHT)算法相对于标准霍夫变换(SHT)算法的效率问题, 在相关参考文献已经给出解释与论证, 且在实际应用中, 其他环节对算法运行时间的影响较小, 并且算法运行时间和 OpenCV 函数库中参数设置相

关,缺乏比较意义,因此未对算法的整体运行时间进行统计。

4 结论

本文建立了变电所指针仪表自动图像识别系统,介绍系统各环节使用的主要方法,并利用实际现场图像进行实验,验证了本文算法相比于其他传统算法的匹配准确率更高;系统角度识别检测误差范围小于 3%。基本满足了仪表定位与读数识别的速度与精度要求,具有较好的实际应用价值和研究意义。

参 考 文 献

- [1]国家电网公司. 国家电网智能化规划总报告[R]. [S. l]:[s. n.], 2010.
- [2]房桦,蒋涛,李红玉,罗浩,李健,杨国庆. 一种适用于智能变电站巡检机器人的双针仪表读数的识别算法[J]. 山东电力技术,2013(3):9-13,69.
- [3]Vinay A, Vikram Vasuki, Shreyas Bhat K S. et al. Two dimensionality reduction techniques for SURF based face recognition[J]. Procedia Computer Science, 2016, 85: 370-379.
- [4]Li Junfei, Wang Geng, Li Qiang. Improved SURF detection combined with dual FLANN matching and clustering analysis [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 3207: 2792-2796.
- [5]Bay H, Tuytelaars T, Gool L V. SURF: Speeded Up Robust Features[J]. Computer Vision & Image Understanding, 2006, 110(3): 404-417.
- [6]Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[M]. Holland: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [7]戴亚文,王三武,王晓良. 基于灰度信息的多特征模板匹配法[J]. 电测与仪表, 2004(4): 56-58.
- [8]何智杰,张彬,金连文. 高精度指针仪表自动读数识别方法[J]. 计算机辅助工程, 2006(3): 9-12, 18.
- [9]李佳,盛业华,张卡,段平. 变圆域罗盘特征图像匹配[J]. 光学精密工程, 2014(5): 1339-1346.
- [10]陈小丹. 图像配准与拼接技术的研究[D]. 扬州:扬州大学, 2013.
- [11]Wang Yaru, Li Hongxin, Wang Longkui. Similar image retrieval using color histogram in HSV space and SIFT descriptor with FLANN[M]. Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- [12]Fu Hudai, Wang Hua, Gao Jingang. Multicircle-finding probabilistic hough transform based on incorporating gradient estimations[J]. Advanced Materials Research, 2012, 1586: 24-28.
- [13]Qiu Shubo. The improved progressive probabilistic hough transform for paper wrinkle detection[C]// IEEE Beijing Section. Proceedings of 2012 IEEE 11th International Conference on Signal Processing (ICSP 2012). Beijing: IEEE Beijing Section, 2012.

Location and Readout Identification of Instrument in Transformer Substation Based on SURF and FLANN Algorithm

Gong Fangchao^{1,2}, Wang Shuohe¹, Zhou Qibin³, Han Shuai¹, Gong Siyang⁴

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. Weihai Ocean Vocational College, Weihai 264300, China;

3. Design and Research Institute of China Railway Electrification Bureau Group Co., Ltd, Beijing 100071, China;

4. Longkou Highway Administration Bureau of Yantai, Yantai 265700, China)

Abstract: In order to realize the automatic location and reading recognition of the pointer meters in substations, an automatic image recognition system has been established, and the SURF, FLANN, and progressive Probabilistic Hough transform (PPHT) algorithms have been studied. First of all, in order to solve the accuracy problem of the basic SURF algorithm in target device detection, a cross validation algorithm based on SURF and FLANN is proposed. Next, the target area is selected using perspective transformation. Finally, the image of target area is enhanced by LOG transform, and the instrument pointer is detected by PPHT. The experiment results show that the detection range of angle identification is less than 3%. The accuracy of feature matching and the accuracy and robustness of pointer recognition are improved on the basis of guaranteeing the speed of operation.

Key words: machine vision; SURF+FLANN algorithm; perspective transform; PPHT