

文章编号: 1002-1582(2015)06-0537-06

电力线路相位标志牌的检测和识别^{*}

何思远^{1,2,3}, 蔺兰^{1,2}, 李文涛¹, 唐延东¹

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所机器人学国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110016)

(2. 中国科学院大学, 北京 100049)

(3. 沈阳工程学院自动化学院, 辽宁 沈阳 110136)

摘 要: 相位标志牌是重要的电力设施, 通常安装在输电线挂点附近的显著位置上, 准确地检测和识别相位标志牌对输电线路巡检具有非常重要的实际意义。应用图像处理与模式识别技术, 提出了一种相位标志牌的检测和识别方法。首先采用灰度化、中值滤波、膨胀和腐蚀的方法对相位标志牌图像进行预处理; 然后采用基于区域一致性算子的显著性目标检测方法对预处理后的图像进行相位标志牌检测; 最后采用基于仿射 SIFT 算子的匹配方法对检测到的相位标志牌进行识别。实验结果表明, 所提出的方法能够有效地对相位标志牌进行检测和识别, 具有较好的鲁棒性、准确性和有效性。

关 键 词: 相位标志牌; 区域一致性; 仿射 SIFT; 目标检测; 目标识别

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A

DOI:10.13741/j.cnki.11-1879/o4.2015.06.014

Detection and recognition method of power phase sign

HE Siyuan^{1,2,3}, LIN Lan^{1,2}, LI Wentao¹, TANG Yandong¹

(1. State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation,
Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

(2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(3. School of Automation, Shenyang Institute of Engineering, Shenyang 110136, China)

Abstract: Power phase sign is an important power transmission equipment, and it is usually hung nearby the ending point of power transmission line. Detection and recognition of power phase sign is very important to power transmission line inspection. A method of power phase sign detection and recognition based on image processing and pattern recognition is put forward. At first, the power phase sign image is preprocessed by graying, median filtering, dilating and eroding. Then, a saliency object detection method based on region conformance operator is used to detect the power phase sign in the preprocessed image. Finally, a matching method based on ASIFT operator is used to recognize the power phase sign. The results of experiments show that this method can detect and recognize the power phase sign, and it has better robustness, accuracy and validity.

Key words: power phase sign; region conformance; ASIFT; object detection; object recognition

0 引 言

随着电力事业的快速发展,我国已经形成华北、东北、华东等六大跨省区电网,其中 110 千伏的输电

线路总长度已经超过 50 万公里。由于受到外界的各种侵袭,如污秽、雷击、强风、滑坡、沉陷、危险地物、鸟害等,以及输电线路设备自身质量不稳定等因素的影响,定期对高压输电线路进行巡检、维护和管

* 收稿日期: 2015-02-05; 收到修改稿日期: 2015-03-30

E-mail: hesiyuan@sia.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(61102116)

作者简介: 何思远(1981—),男,博士研究生,主要从事目标识别和异常检测方面的研究。

导师简介: 唐延东(1962—),男,研究员,博士生导师,主要从事计算机视觉和图像处理方面的研究。E-mail: ytang@sia.cn

理,以保障输电线路安全和稳定的运行是十分必要的^[1]。

相位标志牌是电力设施中的重要组成部分,其作用是显示相位标志牌所处位置输电线路的电力相位。按照国家电网公司的规定,相位标志牌应安装在导线挂点附近的显著位置上,其材质可以选用搪瓷、铝板、不锈钢等三种材料^[2]。在强电场和风吹日晒等外界因素的共同作用下,相位标志牌经常出现缺失、腐蚀、锈蚀等现象,这给电力设施的检修和施工带来了极大的困难。因此,准确的检测和识别相位标志牌对输电线路巡检具有非常重要的实际意义,为后续的输电线路缺陷定位及故障检测和修复都提供了及时准确的辅助决策。

本文应用图像处理和模式识别技术,实现了对相位标志牌的检测和识别。通过对拍摄的图像进行测试,提出的方法具有较好的鲁棒性、准确性和有效性。

1 检测和识别算法

检测和识别相位标志牌的步骤如下:

(1)利用图像预处理技术将拍摄的 RGB 图像转换成灰度图像,并消除干扰线条和噪声点。

(2)利用基于区域一致性算子的显著性目标检测方法对相位标志牌进行检测。

(3)利用基于 ASIFT 算子的匹配方法对检测到的相位标志牌进行识别。

算法流程图如图 1 所示。

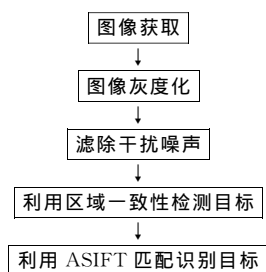


图 1 检测和识别算法流程图

2 图像预处理

在相位标志牌的拍摄过程中,采集到的图像通常受到光照和拍摄角度等不确定因素的影响,其图像存在不同程度的模糊现象,图像质量较差。其具体原因如下^[1]:

(1)光学系统的像差、衍射、带宽受限等造成的图像失真。

(2)成像器件的拍摄姿态、光电转换器件的非线性引起的图像几何失真。

(3)图像在成像、数字化、采集和处理过程中引入了各种噪声。

(4)采集图像的背景环境复杂,对比度较低,造成图像分辨率较低。

为了准确地检测和识别相位标志牌,这里我们首先要对采集到的图像进行预处理,其目的主要有^[3,4]:提高对比度;提升清晰度;滤除噪声干扰;突出目标特征。

针对采集到的相位标志牌图像特点,我们采取的预处理步骤如下:

(1)灰度化。采用加权平均的灰度化方法将彩色图像转换为灰度图像,以便后续处理。

根据人眼对绿色的敏感度最高,对蓝色的敏感度最低,将彩色图像中 RGB 三个分量按照式(1)的方式进行加权平均,得到灰度图像。

$$Gray = 0.29900 \times R + 0.58700 \times G + 0.11400 \times B \quad (1)$$

(2)滤波。采用中值滤波的方法进行滤波,以消除噪声干扰。

取灰度图像中以某个像素为中心点的邻域作为窗口,对该窗口中各像素的灰度值进行排序,取其中间值作为中心像素灰度的新值,移动该窗口,得到平滑处理后的灰度图像。

(3)闭运算。对图像进行先膨胀后腐蚀处理,以进一步滤除亮点和噪声等干扰^[5]。

膨胀是将与目标物接触的所有背景点合并到该目标物中,使其边界向外扩张,定义为式(2)所示;腐蚀是将目标物的边界点消除,使其边界向内收缩,定义为式(3)所示。

$$A \oplus B = \{z \mid (B)_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (2)$$

$$A \odot B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (3)$$

式中 A 和 B 是图像 z 中的集合区域,其中 B 为结构元素。

预处理后的结果如图 2 所示,从图像中可以看出,预处理去掉了许多干扰噪声,平滑掉了一些亮点,使图像的前景更加突出。

3 相位标志牌检测

我们采用基于区域一致性(Region Conform-ance)算子的显著性目标检测方法来实现相位标志牌的检测。预处理后的相位标志牌图像可以写为一个二维矩阵,该矩阵每个元素值的大小反映了图像中各像素之间的一致性关系,通过检测这种关系即可检测到显著性目标,从而检测到图像中的相位标志牌^[6-7]。

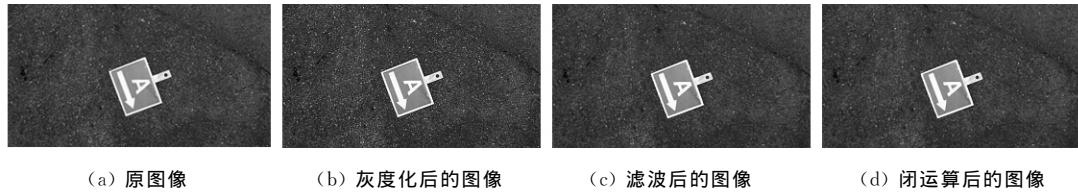


图 2 预处理后的图像

3.1 区域一致性

假设 $I_{p \times q}$ 为图像矩阵,其对应的图像为 p 行 q 列, $R_{h \times w}(x, y)$ 为该图像中高为 h , 宽为 w 的区域, 其中 (x, y) 表示该区域左上角的坐标。以图 3 为例, 其对应的图像矩阵为 $I_{32 \times 32}$, 图中各区域分别表示 $A_{8 \times 8}(0, 0)$ 、 $B_{8 \times 8}(16, 0)$ 、 $C_{8 \times 8}(13, 13)$ 、 $D_{8 \times 8}(24, 4)$ 、 $E_{8 \times 8}(24, 24)$ 。

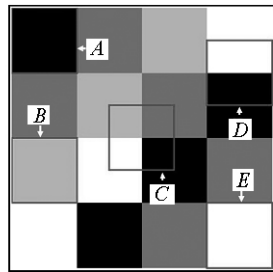


图 3 区域一致性图像

区域一致性作为一种图像属性,它反映了 $R_{h \times w}(x, y)$ 中各元素之间的关系,该矩阵的秩 $r(R)$ 反映了区域的一致性。

为了估计区域 $R_{h \times w}(x, y)$ 的一致性,定义区域一致性函数为

$$F_r[R_{h \times w}(x, y)] = r[R_{h \times w}(x, y)] \quad (4)$$

式中 F_r 反映了区域的一致性,该值越小表示区域的一致性越高。

图 3 中, $C_{8 \times 8}(13, 13)$ 、 $D_{8 \times 8}(24, 4)$ 、 $A_{8 \times 8}(0, 0)$ 的秩分别为 2、1、0。但由于 F_r 只能取离散值,其范围为 $\{0, 1, \dots, \min(h, w)\}$, 这将影响检测的精度。为此,提出了更有效的区域一致性函数为

$$F_{tr}[R_{h \times w}(x, y)] = \|R_{h \times w}(x, y)\|_tr \quad (5)$$

式中 $\|R_{h \times w}(x, y)\|_tr$ 表示矩阵的迹,它是矩阵秩的近似^[8-10]。由于 F_{tr} 为连续值,具有更好的区分度,这将大大提高检测的精度。图 3 中, $D_{8 \times 8}(24, 4)$ 、 $E_{8 \times 8}(24, 24)$ 的迹分别为 16 和 10.58。

3.2 显著性目标检测

显著性(Saliency)的概念来源于人类视觉研究领域,是指目标区域的像素点与其邻域相比更加突出,从而引起人们的注意,它可以简单地描述为场景中的元素吸引视觉注意力的能力^[11]。显著性建模的一般过程如图 4 所示。

显著性在揭示视觉观察机制方面有着重要的意

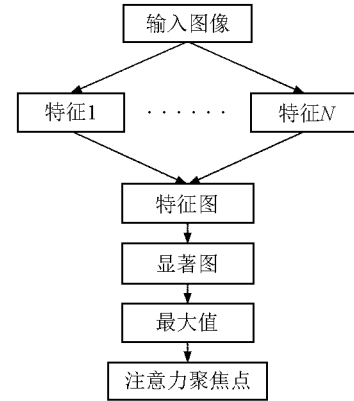


图 4 显著性建模通用框架

义,可以将其应用于目标检测中。由于一幅灰度图像的各点像素值对应为一个二维矩阵,该矩阵反映了图像像素值之间的一致性关系,通过检测这种关系即可实现对显著性目标的检测。因此,我们可以用区域一致性函数来检测显著性目标。

3.3 基于区域一致性的显著性目标检测

在显著性目标检测中,其背景具有较高的一致性,因此式(5)不能满足要求。针对这一问题,我们提出了新的一致性函数。

假设图像的二维矩阵为 M ,对其做奇异值分解,得

$$M = \sum_{i=1}^r \sigma_i u_i v_i^T \quad (6)$$

将式(6)两边同时乘以 $\frac{1}{\|M\|_tr}$, 得

$$\begin{aligned} \frac{M}{\|M\|_tr} &= \frac{\sum_{i=1}^r \sigma_i u_i v_i^T}{\sum_{i=1}^r \sigma_i} \\ &= \frac{\sigma_1}{\sum_{i=1}^r \sigma_i} u_1 v_1^T + \frac{\sigma_2}{\sum_{i=1}^r \sigma_i} u_2 v_2^T + \dots + \frac{\sigma_r}{\sum_{i=1}^r \sigma_i} u_r v_r^T \end{aligned} \quad (7)$$

令 $f_r(i) = \frac{\sigma_i}{\sum_{i=1}^r \sigma_i}$, 则 $f_r(i)$ 反映了第 i 个特征向

量出现的概率,其中 $f_r(1)$ 对应的特征向量出现的概率最大,该特征向量在图像矩阵中占最主要地位,它最能代表图像矩阵的一致性特征,因此我们用 $f_r(1)$ 来表征图像的一致性特征。

利用上述方法来衡量图像中每一个正方形区域的一致性,我们用大小为 n 的方阵区域遍历整个图像矩阵,即可得到整个图像的一致性描述矩阵,也就是一致特征图,如图 5 所示。图 5 中高亮度区域对应原始图像中的显著性目标。

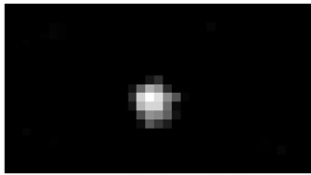


图 5 一致特征图

为了从原图中检测到相位标志牌,需对一致特征图进行阈值分割。我们采用 OTSU 算法进行阈值分割,具体算法如下^[12]:

假设目标区域与背景区域的分割阈值为 t ,目标区域像素点数占图像总像素点数的比例为 w_0 ,目标区域像素点的平均灰度值为 u_0 ,背景区域像素点数占图像总像素点数的比例为 w_1 ,背景区域像素点的平均灰度值为 u_1 ,那么图像的总平均灰度值为

$$u = w_0 u_0 + w_1 u_1 \quad (8)$$

建立如下目标函数

$$g(t) = w_0 (u_0 - u)^2 + w_1 (u_1 - u)^2 \quad (9)$$

当 $g(t)$ 取得全局最大值时,所对应的 t 值为 OTSU 分割阈值。

通过对一致特征图进行阈值分割,我们检测到的显著性目标如图 6 所示,该目标即为相位标志牌。



图 6 检测结果图

4 相位标志牌识别

我们采用基于 ASIFT (Affine Scale Invariant Feature Transform) 算子的匹配方法来实现相位标志牌的识别。在拍摄相位标志牌时,由于拍摄的角度、远近会发生变化,因此相位标志牌会产生相应的旋转、缩放、仿射等变化。为了使检测到的相位标志牌与标准相位模板进行匹配,从而准确地识别相位标志牌所显示的相位,我们采用 ASIFT 的方法进行匹配^[13,14]。

ASIFT 是在 SIFT 的基础上由 Guoshen Yu 和 Jean-Michel Morel 于 2009 年提出的算法,该算法具有完全的尺度不变性。ASIFT 通过模拟摄像机

的光轴旋转,从而对目标倾斜的图像进行很好的匹配,它是完全意义上的仿射不变。相对于 SIFT 算法,它不仅能够检测到更多的特征点,而且其误匹配也相对较少。

ASIFT 匹配方法的实现步骤如下^[15]:

(1) 模拟由于摄像机视轴起点变化而出现的各种仿射造成的畸变,获得模拟图像。

假设仿射变换矩阵为 $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$, 它可以分解为

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \\ &= \lambda \begin{bmatrix} \cos \Psi & -\sin \Psi \\ \sin \Psi & \cos \Psi \end{bmatrix} \times \\ &\quad \begin{bmatrix} t & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \\ &= \lambda R(\Psi) T_t R(\phi) \end{aligned} \quad (10)$$

式中 $\lambda > 0$; $\phi \in [0, \pi)$, 其分解的几何解释如图 7 所示。

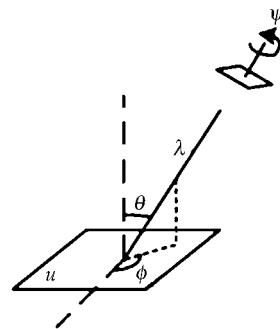


图 7 对式(10)分解的几何解释

图 7 中右上方的矩形框表示摄像机, u 为被拍摄的物体, λ 为缩放的倍数, $\theta = \arccos \frac{1}{t}$ 为摄像机的纬度, ϕ 为摄像机的经度, Ψ 为摄像机绕自身光轴旋转的角度。

(2) 对所获得的模拟图像根据 SIFT 算法进行特征点检测和匹配。匹配所使用的标准模板如图 8 所示,其尺寸为 95×75 。



图 8 标准模板图

利用上述方法对检测到的相位标志牌与标准模板进行匹配识别,其结果如图 9 所示。其中图 9 (a) 的匹配点对数为 48 对,图 9 (b) 的匹配点对数为 15 对,图 9 (c) 的匹配点对数为 0 对。因此,检测到的相位标志牌为 A 相位标志牌。

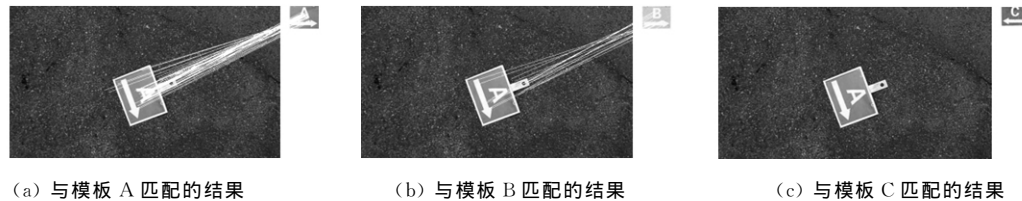


图 9 识别结果图

5 实验结果及分析

根据上述相位标志牌的检测和识别方法,在 Windows 7 操作系统环境下,用 Matlab R2013b 对其进行实验验证,实验计算机的配置是 Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU,主频为 2.50GHz,内存为 4.00GB。

实验中我们以矩形形状相位标志牌作为实验样本,并在晴天条件下以不同角度对其进行拍摄,拍摄背景分别为柏油路地面、草地、泥土地等。此外,我们对某些拍摄图像人为的加入噪声。实验中样本图像一共为 30 张,其中 A 相、B 相、C 相图像各 10 张,部分样本图像如图 10 所示。

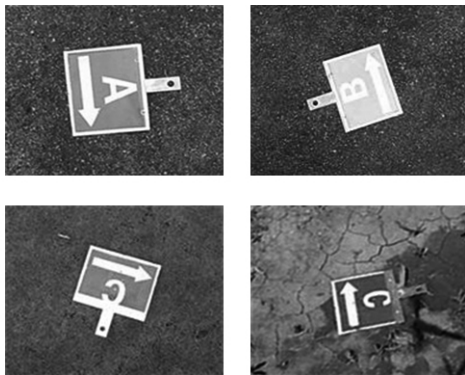


图 10 样本图像

我们以正确识别个数 T (True), 错误识别个数 F (False), 以及准确率 $ACC = \frac{T}{T+F} \times 100\%$ 作为我们提出方法的性能评价准则。实验测试结果部分样图如图 6 和图 9 所示,全部测试数据如表 1 所示。

表 1 实验测试结果

标志牌种类	3	标志牌总数	30
正确检测数	28	错误检测数	2
检测准确率(%)	93.333	正确识别数	26
错误识别数	4	识别准确率(%)	86.667

从实验结果可以看出,我们提出的方法对相位标志牌的检测准确率在 90% 以上,识别准确率在 85% 以上。误检测图像多为背景过于复杂的图像,比如以泥土地、草地为背景;而误识别图像多为前面检测时不准确以及拍摄时偏转角度过大所导致的。

6 结论

本文应用图像处理和模式识别技术提出了一种检测和识别电力线路相位标志牌的方法。首先对采集到的图像进行预处理,然后使用基于区域一致性算子的显著性目标检测方法对相位标志牌进行检测定位,最后使用基于 ASIFT 算子的匹配方法对检测到的相位标志牌进行识别。从实验结果来看,我们提出的方法具有较好的检测和识别效果。但由于实验中的测试样本数目较少,并且样本中相位标志牌都是放在地面上进行拍摄的,所以如需实际应用该方法,还需做更多的实际实验,并在实验中对方法进行改进。本文的研究工作为后续的实际应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 全卫国,等. 图像处理技术在直升机巡检输电线路中的应用综述[J]. 电网技术, 2010, 34(12): 204—208.
Tong W G, et al. Application of image processing in patrol inspection of overhead transmission line by helicopter[J]. Power System Technology, 2010, 34(12): 204—208.
- [2] 王引航. 10kV 及以下线路相序牌改进建议[J]. 农村电工, 2012, (9): 35.
Wang Y H. Improvement proposal on power phase sign of 10kV power transmission line[J]. Rural Electrician, 2012, (9): 35.
- [3] 朱琳琳,等. 基于阴影图像本征值的室外目标跟踪[J]. 信息与控制, 2014, 43(5): 604—611.
Zhu L L, et al. Outdoor target tracking based on intrinsic values of shadow images[J]. Information and Control, 2014, 43(5): 604—611.
- [4] Gonzalez R, et al. Digital image processing[M]. 3rd ed. US: Prentice Hall, 2008.
- [5] 姚春羽,等. 电网巡检图像中绝缘子的识别[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(9): 1818—1822.
Yao C Y, et al. Recognition of insulator string in power grid patrol images[J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(9): 1818—1822.
- [6] 肖传民,等. 一种基于视觉显著性的边缘检测算法[J]. 信息与控制, 2014, 43(1): 9—13.
Xiao C M, et al. Edge-detection algorithm based on visual saliency[J]. Information and Control, 2014, 43(1): 9—13.
- [7] Li N, et al. Saliency detection on light field[C]// Proceedings of IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Columbus OH: IEEE Computer Society, 2014: 2806—2813.

- [8] Recht B, et al. Guaranteed minimum-rank solutions of linear matrix equations via nuclear norm minimization[J]. Proceedings of SIAM Rev, 2010, 52(3): 471—501.
- [9] Candes E, et al. Exact matrix completion via convex optimization[J]. Foundations of Computational Math, 2009, 9(6): 717—772.
- [10] Candes E, et al. The power of convex relaxation: near-optimal matrix completion[J]. IEEE Transaction on Information Theory, 2010, 56(5): 2053—2080.
- [11] Harel J, et al. Graph-based visual saliency[C]// Proceedings of the 21st annual conference on neural information processing systems. Vancouver BC, 2007: 545—552.
- [12] Mizushima A, et al. An image segmentation method for apple sorting and grading using support vector machine and Otsu's method[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 94(6): 29—37.
- [13] 陈龙,等. 利用 ASIFT 算法实现多视角静态交通标志识别[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2013, 8(5): 553—556.
- Chen L, et al. Multi-view traffic sign recognition based on ASIFT[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013, 8(5): 553—556.
- [14] Brese C L, et al. Affine invariant matching based on orientation estimation[C]// Proceedings of the 7th international conference on signal processing and communication systems. Carrara VIC: IEEE Communications Society, 2013: 1—6.
- [15] Yu G S, et al. ASIFT: an algorithm for fully affine invariant comparison[J]. Image Processing on Line Journal, 2011, (1).