

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.02.016

基于红外成像技术的零值绝缘子检测

苑利¹, 赵锐¹, 谭孝元², 苟先太²

(1. 国网山西省电力公司大同供电公司, 山西 大同 037000; 2. 西南交通大学电气工程学院, 成都 610031)

摘要: 提出使用绝缘子红外图像和支持向量机相结合的方法对不同污秽程度、空气湿度和空气温度下的零值绝缘子进行自动检测。首先对现场得到的绝缘子串红外图像进行预处理操作。在对绝缘子串红外图像进行预处理后,利用二维Otsu算法对红外图像进行分割,得到标记了绝缘子串的二值图像。利用边缘检测算法提取出绝缘子串的边缘图像。采用最小二乘法对绝缘子盘面边缘图像进行拟合,得到盘面椭圆方程,利用椭圆方程提取出单个绝缘子盘面。对单个绝缘子盘面进行温度特征提取,利用三因素方差分析方法对特征参数进行显著性检验,挑选受绝缘子污秽程度、环境湿度和环境温度影响较小的参数作为特征参数。选取径向基核函数作为支持向量机的核函数,利用LibVSM工具中基于交叉验证的网格搜索的参数选择方法和训练集数据进行实验确定核函数参数 γ 和错误代价 C 。最后,使用测试数据对整个识别模型进行测试,识别率较高,满足预设要求。

关键词: 零值绝缘子; 红外图像; 特征提取; 核函数; 支持向量机; 训练; 识别

Zero Insulator Detection based on the Infrared Imaging Technology

YUAN Li¹, ZHAO Rui¹, TAN Xiaoyuan², GOU Xiantai²

(1. State Grid Shanxi Province Datong Power Supply Company, Shanxi Datong 037000, China;

2. College of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: A method is proposed to identify zero resistance insulators under various pollution levels, humidity and temperature conditions by combining the insulator infrared image and the support vector machine(SVM). First of all, the insulator string infrared images got from power system are preprocessed. After the insulator string infrared image preprocessing, the two-dimensional Otsu algorithm is used to segment the infrared image, obtaining the binary image. The edge detection algorithm is used to extract the edge image of insulator string. The least square method is used to fit the insulator disk edge image, getting the disk elliptic equations. Then the elliptic equation is used to extract the single insulator disk. Temperature features of single insulator disk are extracted. The method of three factor analysis of variance is used to select features not affected by the insulator polluted degree, environmental humidity and temperature affected parameters as characteristic parameters. Radial basis kernel function is selected as the kernel function of support vector machines(SVM). The LibVSM tools based on cross validation in the grid search method of parameter selection and training set data are used to determine the kernel function parameter and error price. Finally, the test data are used to test the identification model. The recognition rate obtained is higher, satisfying the requirement of the preset.

Key words: zero insulator; infrared image; feature extraction; kernel function; support vector machine(SVM); training; identify

0 引言

绝缘子是电力系统中使用范围较广、数量较大

的重要电工原件,其能否正常运行直接关系到电网能否稳定运行。然而,由于绝缘子本身的工艺缺陷和长期处在复杂的环境条件中,时间久了,绝缘子很容易出现劣化,劣化后的绝缘子则更容易成为零

收稿日期:2017-09-03; 修回日期:2017-11-12

值绝缘子,零值绝缘子容易使绝缘子串发生闪络或者掉串。一旦绝缘子串发生闪络或者掉串,电网将出现大面积停电^[1-3]。所以,对零值绝缘子的检测一直是电力部门电力检修中重要的组成部分。随着红外诊断技术的不断发展,电力部门也逐渐使用红外探测技术诊断电气设备故障。红外诊断技术具有不接触、安全、高效的优点。根据正常绝缘子和零值绝缘子发热现象的不同,目前许多电力公司逐步使用红外成像技术对零值绝缘子进行检测。电力巡检人员通过手持红外—热像仪对绝缘子进行拍照,得到绝缘子串的红外图像。根据经验和肉眼判断,甄别出零值绝缘子。但是,目前零值绝缘子的红外诊断还存在许多缺陷,诊断结果严重依靠巡检人员的经验和感官,容易产生误判;绝缘子数量较大,单靠人眼判断,费时费力;拍摄的红外图像外部环境的影响不容忽视^[4-5]。

为了解决目前零值绝缘子红外检测的缺陷,文中将红外成像技术和模式识别技术结合起来进行零值绝缘子的自动检测,提高绝缘子的检测精度,减少零值绝缘子检测的人力输出。首先对红外图像进行预处理和分割,然后提取出单个的绝缘子盘面,进而提取有效的温度特征参数作为支持向量机的输入,设计合适的分类器,利用训练集数据对分类器进行训练优化,最后利用测试集数据对识别模型进行验证,能够识别出绝缘子串中的零值绝缘子且识别率较高,可为零值绝缘子的自动检测提高参考和借鉴。

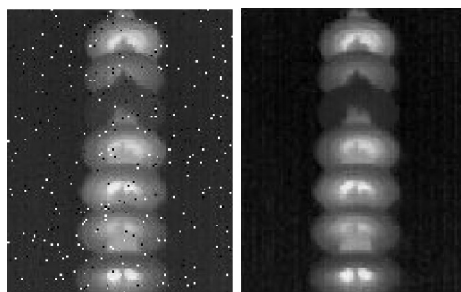
1 绝缘子串红外图像的预处理和分割

该节主要包括对绝缘子串红外图像的去噪和增强、分割、边缘提取以及单个绝缘子盘面的提取。

红外图像有着对比度低、目标边缘模糊的特点,为了能够正确地分割出绝缘子串整体目标,需要对绝缘子串红外图像进行去噪和增强。文中采用自适应中值滤波器对红外图像进行去噪,自适应中值滤波器具有学习和跟踪的性能,能够在滤出噪声的情况下保持图像的对比度和目标边缘的清晰度^[6-8]。去噪以后,图像质量得到提高,信噪比增大。滤波前后的效果对比图见图1。

去噪后的红外图像对比度依旧很低,不利于图像的分割。文中采用双阈值自适应增强算法对图像进行增强,对灰度值低于下限阈值和高于上限阈值的图像进行线性压缩,对灰度值位于两个阈值之间的图像进行灰度线性拉伸,最后得到增强后的图像。

两个阈值选择决定了增强效果的好坏。下限阈值 t_1 的选取方法是使用文[9]提出的实时阈值提取



(a) 原图像 (b) 去噪后的图像

图1 自适应中值滤波器去噪效果图

Fig. 1 The adaptive median filter denoising results

方法。寻找直方图包络上的最大凹度,选取凹度处所对应的灰度级作为目标与背景的分界阈值。设 min 为图像的最小灰度级, max 为图像的最大灰度级, i 代表图像中的任意灰度级,将 i 遍历所有大于 min 且小于 max 的灰度级,根据式(1)的斜率公式求取斜率值最大,求得的最大值对应的灰度级即为背景峰值所对应的灰度级 B_p 。

$$s(i) = \frac{his(i) - his(min)}{i - min} \quad i \in [min, max] \quad (1)$$

式(1)中, $his(i)$ 和 $his(min)$ 分别为灰度级 i 和 min 对应的像素数。最终采用 B_p 作为下限值 t_1 进行图像增强,考虑到需要增强的部分主要是目标较暗的部分,所以取 t_1 到图像最大灰度级之间的图像灰度平均值作为上限阈值。具体计算式为

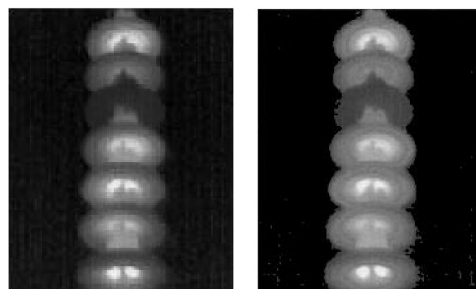
$$t_2 = \frac{sum(a(i,j))}{count} \quad (2)$$

式(2)中: $a(i,j)$ 代表图像的灰度值,且 $a(i,j) > t_1$; $count$ 为图像灰度级大于 t_1 对应的像素点的总和。

采用下面的分段线性变换公式对绝缘子串红外图像进行灰度拉伸和压缩

$$a'(i,j) = \begin{cases} [a(i,j) - t_1]k + t_1 & t_1 < a(i,j) < t_2 \\ a(i,j) & a(i,j) > t_2 \\ 0 & a(i,j) < t_1 \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中: $a(i,j)$ 为原图像的灰度值; $a'(i,j)$ 为变换后的图像灰度值; k 为可调参数,根据具体情况设定。增强前后的效果对比图见图2。



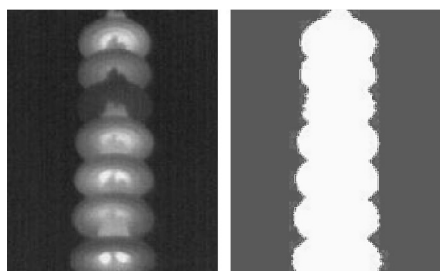
(a) 原图像 (b) 增强后的图像

图2 增强效果图

Fig. 2 The rendering after strengthening

对绝缘子串红外图像的分割主要包括对绝缘子串整体目标的分割、对绝缘子串边缘的提取以及对单个绝缘子盘面的提取。

首先利用二维最大类间方差(Otsu)算法对增强后的图像进行分割^[10-12],然后利用形态学中的开闭运算去除图像背景中孤立的像素点,填充目标中出现的空缺,并对目标边缘进行平滑。最终得到的分割效果见图3。

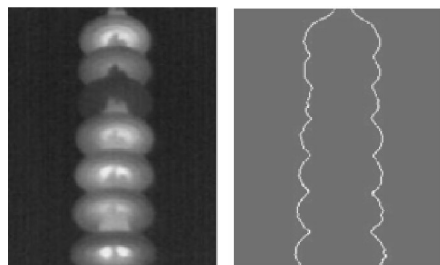


(a) 原图像 (b) 分割得到的二值图像

图3 分割效果图

Fig. 3 The result after segmentation

为方便后期对单个绝缘子盘面的提取,需要得到绝缘子串的边缘图像。选取Sobel算子对得到的二值图像进行边缘检测,最终获取了绝缘子的边缘见图4。



(a) 原图像 (b) 边缘图像

图4 边缘检测效果图

Fig. 4 Edge detection result

采用最小二乘法对绝缘子盘面进行椭圆拟合,获取盘面边缘椭圆方程,根据椭圆方程得到单个的绝缘子盘面。为实现盘面的自动提取,设定绝缘子串中的盘面是固定不变的7个,图像拍摄的大小方向是固定的。随机在边缘图像上选取6个不同的点进行椭圆拟合,得到椭圆方程的一般参数,根据一般参数得到椭圆的长轴、短轴、圆心以及倾角。根据椭圆的预设值,判定是否是需要的椭圆以及是否与已求椭圆重复。具体的椭圆检测流程见图5。

在进行绝缘子串红外图像拍摄时,镜头与绝缘子串之间存在一定的夹角,最终拍摄得到的绝缘子串红外图像中每个绝缘子盘面部分区域会被相邻的绝缘子盘面遮挡,且遮挡部分的大小又不一致,

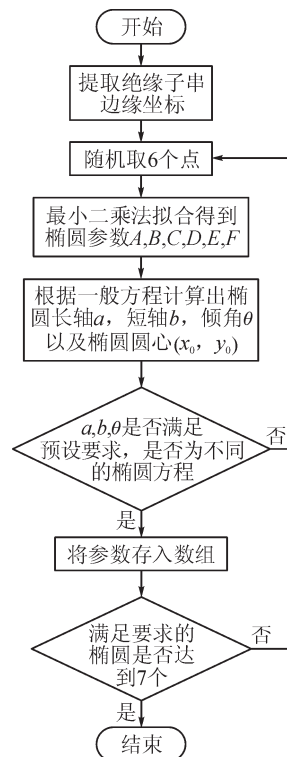


图5 绝缘子盘面具体检测流程图

Fig. 5 The flow chart of insulator disk specific detection

为了能够进行有效的特征提取,需要提取每个绝缘子相同部分的图像,且要求该部分图像能够代表整体绝缘子图像的特征。通过对多张绝缘子串红外图像统计分析后发现,每片绝缘子有半个以上的椭圆部分是未被遮挡的^[13]。而且半个盘面的特征基本能够代表整个盘面的特征。因此,文中统一提取绝缘子半盘面作为特征分析的对象。最终每个绝缘子半盘面提取出来见图6。

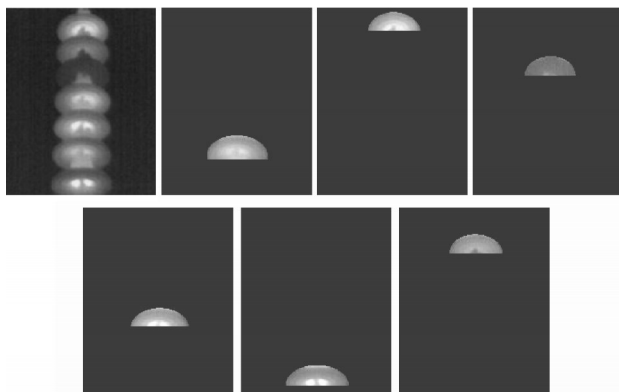


图6 绝缘子半盘面提取效果图

Fig. 6 The insulator half disk extraction rendering

2 特征提取与显著性检验

绝缘子串温度分布受到绝缘子污秽程度、环境湿度、环境温度的影响。初步选取绝缘子盘面温度最小值 $t_{\min}$ 、盘面温度最大值 $t_{\max}$ 、盘面温度平均值

t_{aver} 、盘面温度分布方差 t_{pvari} 、背景温度最大值 b_{max} 、背景温度最小值 b_{min} 、背景温度平均值 b_{aver} 、盘面温度最大差值 $t_{max-min}$ ($t_{max}-t_{min}$)、盘面相对温度最大值 T_{max} ($t_{max}-t_{aver}$)、盘面平均相对温度 T_{aver} ($t_{aver}-b_{aver}$)共10个温度特征参数。上述温度参数均以红外灰度图像的灰度值表示。对绝缘子盘面温度最小值 t_{min} 、盘面温度最大值 t_{max} 、温度平均值 t_{aver} 、盘面温度分布方差 t_{pvari} 、盘面温度最大差值 $t_{max-min}$ ($t_{max}-t_{min}$)、盘面相对温度最大值 T_{max} ($t_{max}-t_{aver}$)、盘面平均相对温度 T_{aver} ($t_{aver}-b_{aver}$)利用三因素方差分析,进行显著性检验,排除受绝缘子串污秽程度、环境湿度、环境温度影响较大的参数,最终选取能够有效反映绝缘子热像本质特性的参数。

方差分析又称为“变异数分析”或“F检验”,它是数理统计中非常重要的内容。方差分析是由 R A Fisher发明的,主要用于对两个及两个以上样本进行均数差别的显著性检验的方法。三因素方差分析法是用于检验在3种不同因素影响下,验证3个以上总体的均值彼此是否相等的一种统计方法。三因素方差分析包括无交互影响的三因素方差分析和有交互影响的三因素方差分析^[14]。文中忽略绝缘子污秽程度、环境湿度以及环境温度之间的相互影响,采用无交互影响的三因素方差分析模型进行显著性检验,最终选用盘面温度最大差值 $t_{max-min}$ 、盘面温度方差 t_{pvari} 、盘面最大相对温度值 T_{max} 以及盘面温度相对平均值 T_{aver} 作为特征参数。

3 数据的规格化

数据规格化是指将特征向量的某一维的数据值映射到一个特定的范围内。进行数据的规格化一是为了避免计算过程中因数值过大产生的计算结果超过计算机的表示范围而溢出;二是为了防止处在进行分类时,分类器倾向于比较相对较大的数字范围的特征而忽视相对较小的数字范围的特征^[15]。文中采用最大最小规格化方法对数据进行规格化,计算式见(4)

$$v' = \frac{v - \min_A}{\max_A - \min_A} (\text{new_max}_A - \text{new_min}_A) + \text{new_min}_A \quad (4)$$

式(4)中: $\max_A$ 和 $\min_A$ 分别为属性A的最大值和最小值; v 为属性A的原始值; v' 为映射后得到的映射值,且 $v' \in [\text{new_max}_A, \text{new_min}_A]$, $[\text{new_max}_A, \text{new_min}_A]$ 为映射区间。

4 支持向量机分类器设计

构造出一个具有良好性能的分类器,关键是选择合适的核函数。核函数的选择包括核函数类型的选择和确定核函数类型后相关参数的选择。

常用的核函数有:多项式核函数 $K(x,y) = (x \cdot y + 1)^d, d=1,2,\dots$ 、线性核函数 $K(x,y) = x \cdot y$ 、Sigmoid核函数以及径向基核函数(RBF) $K(x,y) = \exp(-\gamma \|x - y\|^2)$ ^[15-17]。

从时间消耗来讲:线性核函数消耗时间最少,非线性核函数消耗时间基本在一个数量级;从时间特征拐点来看,线性核函数最大,特征数为30万,其次是Sigmoid核函数,特征数为9万,多项式核函数的拐点特征数次之,径向基核函数的拐点特征数为8.1万,是核函数中最小的。拐点之前训练时间和特征数基本成线性关系,拐点之后训练时间与特征数成指数增长关系,所以当特征数低于30万个时,线性核函数的训练时间最短。

从识别率方面来讲:当特征向量维数较低时,径向基核函数具有最好的识别率,线性核函数与Sigmoid的识别率相当;当特征向量维数较高时,最优线性核函数识别率最高,径向基核函数次之,Sigmoid核函数较低。无论在低维还是高维,多项式核函数表现最差,准确率低于平均水平,并且随着阶数的增加而降低^[18-20]。

该次选取的特征向量维数为4维,维数较小,训练的特征向量不会超过8万,考虑了准确率和时间消耗的情况下,选取径向基核函数作为该次识别模型的核函数。

选择了径向基核函数后需要设定两个参数,一个是径向基核函数自身的参数 γ ,另一个是错误代价 C 。这是一个以 C 和 γ 作为变量,以SVM对于训练集的识别率作为目标函数的最优化问题。使用 LibSVM 工具中林智仁博士提供的基于交叉验证的网格搜索的参数选择方法和训练集数据进行实验确定参数 γ 和错误代价 C ^[21]。选取100组训练数据进行实验,最终得到最佳的 C 值为32 768.0和最佳 γ 为0.001 953 125,训练集上交叉验证的识别率为98.571 4,实验结果见图7。

在得到了RBF核自身的参数 γ 以及错误代价 C 后,便可以使用训练集数据对模型进行训练,最后用得到的分类器进行零值绝缘子的检测。

5 识别模型的测试与验证

为证明整体算法的有效性,挑选50张110 kV下

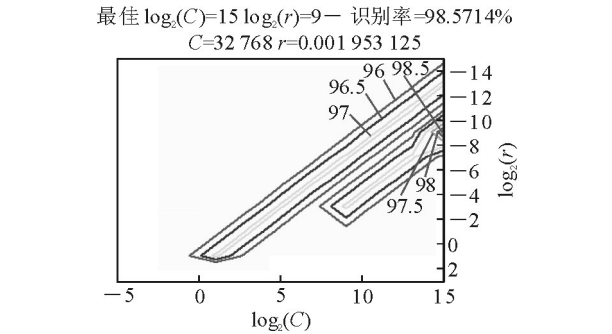


图7 LibSVM交叉验证结果

Fig. 7 Cross validation results of LibSVM
不同污秽程度和环境条件下的绝缘子串红外图像进行验证性实验。分别对 50 张图片进行去噪、增强、边缘提取、盘面提取、温度特征提取,最后对 50 张图片中的绝缘子进行检测,标记出零值绝缘子,并与实际情况作对比,统计检测正确与错误的绝缘子盘数,计算正确率。实验效果图见图 8。部分测试图片以及输出结果列表见表 1。

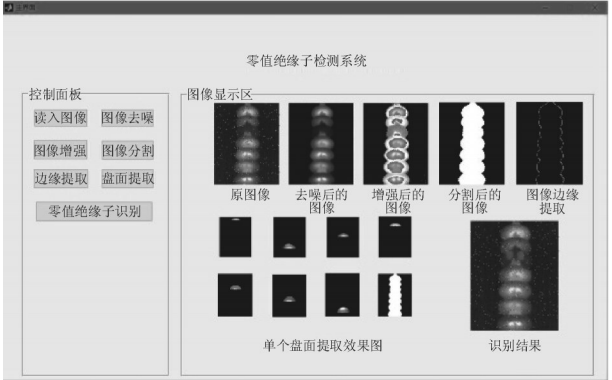


图8 实验效果图

Fig. 8 The experiment result

根据实验结果,50张绝缘子串图片,每张图片7个绝缘子盘面,一共350个绝缘子盘面。其中153个为零值绝缘子,197个为正常绝缘子。最终153个零值绝缘子识别出142个,197个正常绝缘子识别出178个,错误识别的绝缘子个数为30个,最终得到的识别正确率为91.426%,错误率低于10%,满足预设要求。整个绝缘子串检测系统算法是有效的。

6 结论

- 1)在不同污秽等级、不同相对湿度条件下的绝缘子串相对温度分布特征能够反映其绝缘性能,文中选取的相对温度分布参数作为识别零值绝缘子的特征信息是可行的。
- 2)使用支持向量机,采用径向基作为核函数得到的识别模型是有效的,识别率较高。
- 3)文中使用红外图像和支持向量机相结合的方法能够识别不同环境条件下的零值绝缘子并对零

表1 部分测试图片及输出列表
Table 1 Part of the test image and the output list

原图像		输出结果
	第3片为零值绝缘子,其他绝缘子为正常绝缘子	第3片为零值绝缘子,其他绝缘子为正常绝缘子
	第3片和第5片为零值绝缘子,其他为正常绝缘子	第3片和第5片为零值绝缘子,其他为正常绝缘子
	不存在零值绝缘子	不存在零值绝缘子
	第1片、第4片、第6片为零值绝缘子,其他为正常绝缘子	第1片、第4片、第6片为零值绝缘子,其他为正常绝缘子
	第4片为零值绝缘子	第4片为零值绝缘子

值绝缘子的具体位置进行定位,能够为自动检测零值绝缘子提供参考。

参考文献:

[1] 卢明,姚德贵,张国民,等.劣化绝缘子检测方法的对比分析[J].电瓷避雷器,2006(5):9-13.
LU Ming, YAO Degui, ZHANG Guomin, et al. Study on methods of detection of faulty insulators[J]. Insulators and Surge Arresters, 2006(5):9-13.

[2] 张斌.劣化绝缘子检测技术的国内外研究现状[J].电网技术,2006,30(s1):275-278.
ZHANG Bin. Current study situation of faulty insulator detection method home and abroad[J]. Power System Technology, 2006, 30(s1):275-278.

[3] 陈勇,郭俊峰,郭小均.基于红外测温的零值和污秽绝缘子快速检测试验研究[J].高压电器,2015,51(6):191-194.
CHEN Yong, GUO Junfeng, WU Xiaojun. Fast detection of zero insulator and polluted insulator based on infrared temperature measurement[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(6):191-194.

[4] 谢利英,周羽生.红外监测特高压输电线路绝缘子技术的探讨[J].绝缘材料,2009(3):56-59.
XIE Liying, ZHOU Yusheng. Infrared monitoring of UHV transmission line insulator[J]. Insulating Materials, 2009(3):56-59.

- [5] 聂一雄,尹项根. 绝缘子在线检测方法的探讨[J]. 电瓷避雷器, 2000(2): 3-8.
NIE Yixiong, YIN Xianggen. Approaching to on-line detection methods for Insulators[J]. Insulators and Surge Arresters, 2000(2): 3-8.
 - [6] 刘颖,陈谨女. 自适应中值滤波算法在图像处理中的应用[J]. 物联网技术, 2013, 3(3): 51-52.
LIU Ying, CHEN Jinnü. Application of adaptive median filtering algorithm in image processing[J]. Internet of Things Technologies, 2013, 3(3): 51-52.
 - [7] 肖蕾,何坤,周激流,等. 改进自适应中值滤波的图像去噪[J]. 激光杂志, 2009(2): 44-46.
XIAO Lei, HE Kun, ZHOU Jiliu, et al. Image noise removal on improvement adaptive medium filter[J]. Laser Journal, 2009(2): 44-46.
 - [8] 宁春玉,赵春华. 自适应中值滤波算法滤除医学图像脉冲噪声[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(24): 153-156.
NING Chunyu, ZHAO Chunhua. Removing impulse noise in medical images using adaptive median filtering algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(24): 153-156.
 - [9] LEE C K, CHOY F W, LAM H C. 直方图凹面实时阈值提取(图像处理)[C]//IEEE国际关于工业电子的研讨会论文集. [S.l.]: IEEE, 1992: 500-503.
LEE C K, CHOY F W, LAM H C. Real-time thresholding using histogram concavity image processing[C]//Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics. [S.l.]: IEEE, 1992: 500-503.
 - [10] 刘健庄,栗文青. 灰度图象的二维 Otsu 自动阈值分割法[J]. 自动化学报, 1993, 19(1): 101-105.
LIU Jianzhuang, LI Wenqing. Gray scale image automatic-segmentation based on two-dimensional Otsu threshold method[J]. Acta Automatica Sinica, 1993, 19(1): 101-105.
 - [11] 徐长新,彭国华. 二维 Otsu 阈值法的快速算法[J]. 计算机应用, 2012, 32(5): 1258-1260.
XU Changxin, PENG Guohua. Fast algorithm for 2D Otsu thresholding algorithm[J]. Journal of Computer Applications, 2012, 32(5): 1258-1260.
 - [12] 杨新华,吕意飞. 差分算子和改进 Otsu 算法结合的灰度图像阈值分割研究与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2015(3): 32.
YANG Xinhua, LYU Yifei. Research and implementation of grayscale image threshold segmentation based on difference operators combined with instrument technique and sensor improved Otsu algorithm[J]. Instrument Technique and Sensor, 2015(3): 32.
 - [13] 陈芳,姚建刚,李佐胜,等. 绝缘子串红外图像中单个绝缘子盘面的提取方法[J]. 电网技术, 2010, 34(5): 220-224.
CHEN Fang, YAO Jiangang, LI Zuosheng, et al. The method to extract shed surface image of a single insulator from infrared image of a insulator string[J]. Power System Technology, 2010, 34(5): 220-224.
 - [14] 郭萍. 三因素方差分析的原理及应用[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2015, 27(1): 40-43.
GUO Ping. The principle and application of three factor analysis of variance[J]. Journal of Shenyang University(Natural Science), 2015, 27(1): 40-43.
 - [15] 张铮,王艳平,薛贵香. 数字图像处理与机器视觉: Visual C++与 MATLAB 实现[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
ZHANG Zheng, WANG Yanping, XUE Guixiang. Digital image processing and machine vision: Visual C++ and MATLAB[M]. Beijing: People's Posts & Telecommunications Publishing House, 2010.
 - [16] 张学工. 关于统计学习理论与支持向量机[J]. 自动化学报, 2000, 26(1): 32-42.
ZHANG Xuegong. Introduction to statistical learning theory and support vector machines[J]. Acta Automatica Sinica, 2000, 26(1): 32-42.
 - [17] 丁世飞,齐丙娟,谭红艳. 支持向量机理论与算法研究综述[J]. 电子科技大学学报, 2011, 40(1): 1-10.
DING Shifei, QI Bingjuan, TAN Hongyan. An overview on theory and algorithm of support vector machines[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2011, 40(1): 1-10.
 - [18] 郭小明. 支持向量机中核函数的选取方法的研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2008.
GUO Xiaoming. The study on selection of kernel function in support vector machine[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2008.
 - [19] DAI L, HUANG H, CHEN Z. 基于三元序贯分析优化算法的支持向量机分类器设计[J]. 亚洲信息技术杂志, 2005, 4(3): 2-8.
DAI L, HUANG H, CHEN Z. Ternary sequential analytic optimization algorithm for SVM classifier design[J]. Asian Journal of Information Technology, 2005, 4(3): 2-8.
 - [20] 郭建林,戴国强. 表情识别中支持向量机核函数选取研究[J]. 电脑知识与技术, 2009, 5(20): 5495-5497.
GUO Jianlin, DAI Guoqiang. SVM kernel function selection in emotion recognition[J]. Computer Knowledge and Technology, 2009, 5(20): 5495-5497.
 - [21] CHANG C C, LIN C J. LIBSVM: A library for support vector machines[EB/OL]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>, 2010-05-24.
- 苑利(1985—),女,经济师,主要研究领域为供电领域提供优质服务等。
- 赵锐(1976—),男,工程师,主要研究领域为高电压技术及绝缘。
- 谭孝元(1991—),男,硕士研究生,主要研究领域为电气设备状态监测与诊断技术。
- 苟先太(1971—),男,副教授,硕士研究生导师,主要研究领域为系统仿真、计算机网络。