

试
验
检
测基于 SIFT 的高速列车车顶
瓷瓶识别方法

林 萍, 王 黎, 罗 林

(西南交通大学 光电工程研究所, 四川 成都 610031)



作者简介: 林 萍 (1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向为光电检测及信息处理。

摘 要: 针对高速列车车顶瓷瓶定位, 研究了一种基于 SIFT 的瓷瓶定位方法。首先分别提取瓷瓶图像和瓷瓶样本库中适应尺度变化的不变特征点, 然后通过关键点的欧氏距离匹配特征点, 最后得到瓷瓶特征点, 正确定位瓷瓶。试验结果表明: 该方法能准确定位瓷瓶, 并提高了定位瓷瓶的速度。

关键词: 瓷瓶; 绝缘子; SIFT; 特征点; 定位; 高速列车

中图分类号: U225.4⁺3; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2012)05-0087-03

High-speed Locomotive Porcelain Positioning Method Based on SIFT

LIN Ping, WANG Li, LUO Lin

(Institute of Photoelectricity Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: A porcelain positioning method based on SIFT was proposed. First, the scale invariant features of image and porcelain were extracted respectively, then, feature points were matched through Euclidean Distance of the key points, finally, the porcelain feature points were obtained and porcelain was positioned correctly. Experimental results showed that the method could accurately locate porcelain insulator and improve the computing speed.

Key words: porcelain; insulator; SIFT; feature points; position; high speed locomotive

0 引言

高速列车车顶受电弓瓷瓶是支持受电弓高压设备的部件, 其作用是保证车顶绝缘, 并且是保证机车正常运行的关键部件之一。瓷瓶的好坏对线路的安全运行十分重要, 然而, 瓷瓶绝缘子在高压输电线路中又是极易损坏的一个重要元件^[1]。因此, 瓷瓶的故障检测, 尤其是裂纹检测十分重要。如果能及早掌握瓷瓶的运行状态, 将会减少或避免很多铁路运输线上的故障。

瓷瓶定位属于计算机视觉和模式识别研究范围。图像记录的是三维世界的二维投影信息, 计算机视觉算法的研究的目标就是通过二维图像或二维图像序列来得到三维世界的信息。对人来说理所当然的识别结果, 对计算机来说则是一件非常困难的事情。传统的目标识别技术基于目标的全局特征(如灰度分布统计

特征、几何形状、矩特征等), 这些特征在目标被部分遮挡或发生形变时不再适用, 而基于局部特征的目标识别能有效克服上述不足。2004 年提出的一种提取局部特征的 SIFT (Scale Invariant Feature Transform, 即尺度不变特征变换) 算法^[2,3], 该算法将尺度空间的极值点作为特征点, 并通过计算特征点局部邻域内的梯度方向直方图, 来构建特征描述符。目前, SIFT 特征匹配算法是国内外特征点匹配研究领域的热点与难点, 其匹配能力较强, 可以处理 2 幅图像之间发生平移、旋转、仿射变换情况下的匹配问题, 甚至在某种程度上对任意角度拍摄的图像也具备较为稳定的特征匹配能力。因此 SIFT 在目标识别领域, 实现特征点的提取、特征点信息的表达和特征点匹配等领域有很广泛的应用。

本文提出利用 SIFT 算法提取瓷瓶特征点的方法, 从研究的方法上可以分为 2 个方面: ①理论方法研究, 主要集中在使用最新的图像识别方法基于 SIFT 的图像识别技术, 研究适合于高速列车车顶瓷瓶配准定位的

收稿日期: 2011-12-12; 收修稿日期: 2012-06-01

算法的理论模型和需求问题的解决算法；②将理论模型和算法用软件实现，实现一套能应用于高速列车车顶瓷瓶配准的图像识别系统。

1 SIFT 瓷瓶识别理论

SIFT由D.G.Lowe 1999年提出,2004年完善总结。SIFT特征是图像的局部特征,其对旋转、尺度缩放、亮度变化保持不变性,对视角变化、仿射变换、噪声也保持一定程度的稳定性。SIFT算法是一种提取局部特征的算法,在尺度空间寻找极值点,提取位置尺度,旋转不变量。

SIFT 识别瓷瓶主要包括以下4个步骤:

1) 构建瓷瓶图像的尺度空间

尺度空间理论目的是模拟图像数据的多尺度特征。Koendetink在文献中证明高斯卷积核是实现尺度变换的唯一变换核,而Linderberg等人则进一步证明高斯卷积核是实现尺度变换的唯一线性核,于是一幅二维图像的尺度空间定义为:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \cdot I(x, y) \quad (1)$$

式中: $G(x, y, \sigma)$ 为尺度可变高斯函数。

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2)$$

式(2)中, (x, y) 是空间坐标, σ 是尺度坐标, $I(x, y)$ 是瓷瓶二维图像。

为了有效地在尺度空间检测到稳定的关键点,提出了高斯差分尺度空间(DOG scale-space)。利用不同尺度的高斯差分核与图像卷积生成。

$$D(x, y, \sigma) = [G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)] \cdot I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (3)$$

DOG 算子计算简单,是尺度归一化的 LoG 算子的近似。

2) 瓷瓶图像尺度空间极值点检测,精确确定极值点位置

为了寻找瓷瓶图像尺度空间的极值点^[4,5],每一个采样点要和它所有的相邻点比较,看其是否比它的图像域和尺度域的相邻点大或者小。如图1所示,中间的检测点和它同尺度的8个相邻点及上下相邻尺度对应的 9×2 个点共26个点比较,以确保在尺度空间和二维图像空间都检测到极值点。

对于检测到的极值点,通过拟合三维二次函数以确定关键点的位置和尺度,同时去除低对比度的关键点和不稳定的边缘响应。

本文采用Hessian 矩阵去除不稳定的边缘响应。一个定义不好的高斯差分算子的极值在横跨边缘的地方有较大的主曲率,而在垂直边缘的方向有较小的主曲率。主曲率通过一个 2×2 的 Hessian 矩阵 H 求出:

$$H = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{bmatrix} \quad (4)$$

D 值通过求取相邻点像元的差分得到。

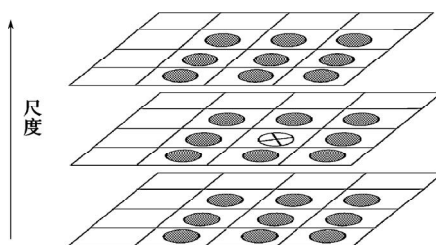


图1 DoG 尺度空间局部极值点检测

D 的主曲率和 H 的特征值成正比,令 α 为最大特征值, β 为最小的特征值,则

$$\left. \begin{aligned} Tr(H) &= D_{xx} + D_{yy} = \alpha + \beta \\ Det(H) &= D_{xx}D_{yy} - (D_{xy})^2 = \alpha\beta \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

令 $\alpha = \gamma\beta$, 则:

$$\frac{Tr(H)^2}{Det(H)} = \frac{(\alpha + \beta)^2}{\alpha\beta} = \frac{(r\beta + \beta)^2}{r\beta^2} = \frac{(r+1)^2}{r} \quad (6)$$

$(r+1)^2/r$ 的值在2个特征值相等的时候最小,随着 r 的增大而增大,因此,为了检测主曲率是否小于某域值 r ,只需检测

$$\frac{Tr(H)^2}{Det(H)} < \frac{(r+1)^2}{r} \quad (7)$$

本文选取 $r=10$ 。

3) 瓷瓶图像特征点的方向值分配

利用关键点邻域像素的梯度方向分布特性为每个关键点指定方向参数,使算子具备旋转不变性。

$$\left. \begin{aligned} m(x, y) &= \sqrt{[L(x+1, y) - L(x-1, y)]^2 + [L(x, y+1) - L(x, y-1)]^2} \\ \theta(x, y) &= \arctan \{ [L(x, y+1) - L(x, y-1)] / [L(x+1, y) - L(x-1, y)] \} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式(8)为 (x, y) 处梯度的模值和方向公式。其中 L 所用的尺度为每个关键点各自所在的尺度。

4) 瓷瓶图像关键点描述符^[6]的生成

首先将坐标轴旋转为关键点的方向,以确保旋转不变性。接下来以关键点为中心取 8×8 的窗口。图2左部分的中央黑点为当前关键点的位置,每个小格代表关键点邻域所在尺度空间的一个像素,箭头方向代表该像素的梯度方向,箭头长度代表梯度模值,图中大圆圈代表高斯加权的范围(越靠近关键点的像素梯度方向信息贡献越大)。然后在 4×4 的小块上计算8个方向的梯度方向直方图,绘制每个梯度方向的累加值,即可形成一个种子点,如图2右部分所示。此图中一个关键点由 2×2 共4个种子点组成,每个种子点有8个方向向量信息。这种邻域方向性信息联合的思想增强了算法抗噪声的能力,同时对于含有定位误差的特征匹配也提供了较好的容错性。

实际计算过程中,为了增强匹配的稳健性,对每个关键点使用 4×4 共16个种子点来描述,这样对于一个关键点就可以产生128个数据,即最终形成128维的

瓷瓶图像SIFT特征向量。此时瓷瓶图像的SIFT特征向量已经去除了尺度变化、旋转等几何变形因素的影响,再继续将此特征向量的长度归一化,则可以进一步去除光照变化的影响。

当瓷瓶样本图像和待检测瓷瓶图像的SIFT特征向量生成后,采用关键点特征向量的欧式距离^[7]作为2幅图像中关键点的相似性判定度量。在瓷瓶图像中取出某个关键点,并通过遍历找出其与瓷瓶样本图像中欧式距离最近的前2个关键点。如果最近的距离与次近的距离比值小于某个阈值(本文选取0.8),则接受这一对匹配点。

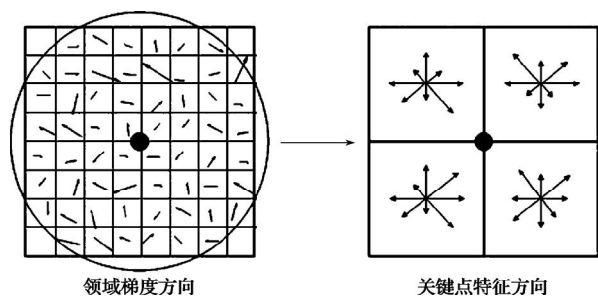


图2 由关键点邻域梯度信息生成特征向量

2 试验结果及分析

由于在亮度较高、拍摄角度较垂直、无遮挡物的瓷瓶图像中能很好地检测瓷瓶SIFT特征点,而在夜间拍摄的瓷瓶图像和因拍摄角度的倾斜造成瓷瓶遮挡的瓷瓶图

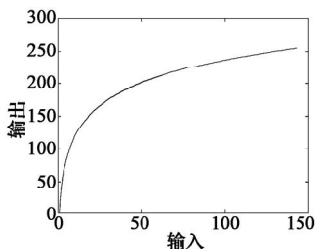
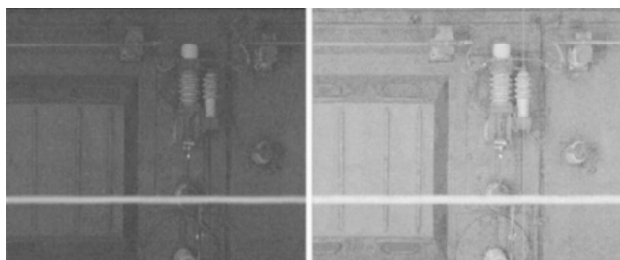


图3 变换曲线

像中,势必造成特征点检测存在一定误差。因此,本文采用对数变换图像增强的方法,对拍摄的瓷瓶图像进行亮度 and 对比度调整,其变换曲线如图3所示,原始图像和变换结果如图4所示。



(a) 原始图像 (b) 变化结果图像

图4 对数变换的效果图

图5为瓷瓶样本库SIFT特征点提取结果,作为瓷瓶的标准特征点库。若待测瓷瓶图像中存在与特征点库相似的特征点,则标记为瓷瓶特征点。

图6为基于SIFT特征2幅瓷瓶图像定位信息计算实例。2幅结果图中用不同颜色标记不同尺度下的SIFT特

征点。

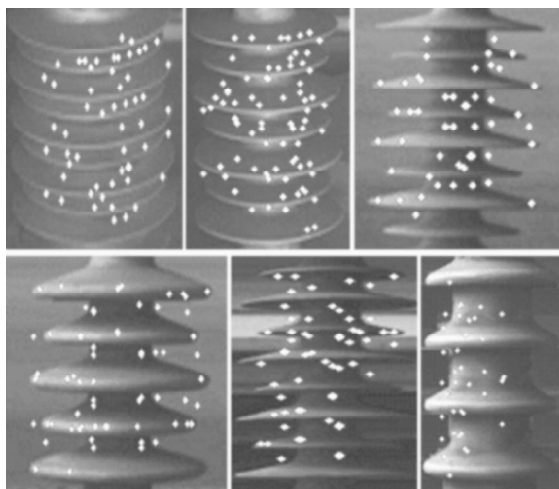


图5 瓷瓶样本库 SIFT 特征点

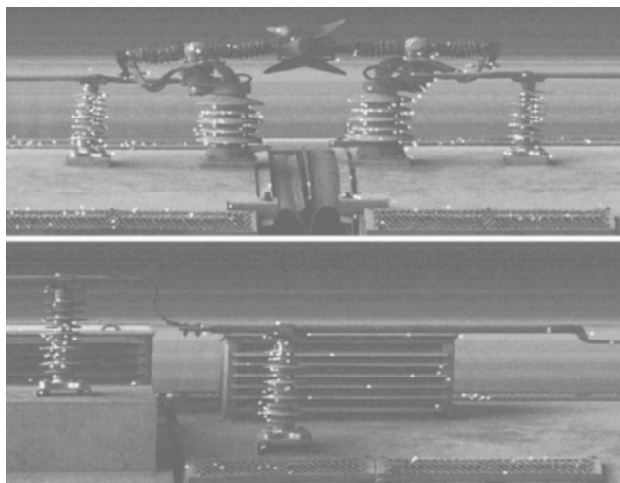


图6 基于 SIFT 特征瓷瓶定位信息计算实例

从瓷瓶图像SIFT特征点检测结果图看出,在瓷瓶图像上聚集了大量与瓷瓶样本特征点相同的特征,SIFT获取图像局部特征是十分稳定的。SIFT特征描述图像的局部结构性信息,虽不如角点、边缘特征那样有显而易见的视觉意义,但因它估算了特征点的尺度和方向,从而对几何形变较大的瓷瓶图像也有较强的识别能力。对不同实验特征点检测结果,当拍摄的瓷瓶图像存在尺度变化、旋转和平移时,用SIFT方法能得出误差小、精度高的计算值。

在整个识别过程中,采用的基于SIFT的瓷瓶识别运行速度很快,使算法具有实时性,且能取得准确度较高的计算结果。

需要注意的是,光线问题和图像采集问题是影响检测精度下降的主要原因。提高系统检测精度的方法是避免和减少上述非理想情况的发生,例如选用优质的光源和相机,这样可以有效提高系统检测精度。软件方面,改进检测定位条件、进一步增强对比度也可以改善上述问题。

(下转第92页)

表明：橡胶自由端面倒角越大，其偏转变形就越大，刚度就越小。偏转性能分析见图9，偏转刚度试验曲线与FEA曲线比对见图10。

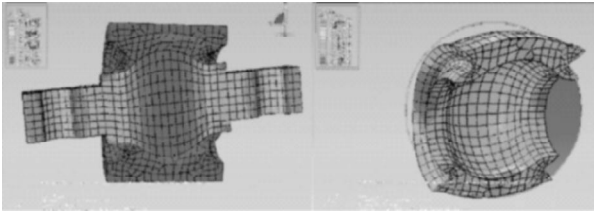


图 9 偏转性能分析图

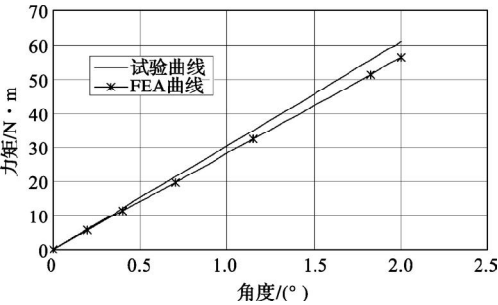


图 10 偏转刚度试验曲线与 FEA 曲线比对

3.4.5 结果分析

FEA 分析结果与试验结果比对见表1。由表1可知，FEA 分析结果与试验结果尽管存在一定误差，但其误差在允许范围内，其主要原因有：①分析模型是将产品处于理想状态，没有考虑产品的缺陷、预加载、安装位置偏差等因素，从而产生一定的误差。②由于 Mullins 效应的存在，橡胶材料会出现应力软化现象，对径向刚度分析结果影响较大^[2]。③选择用不同的本构模型和橡胶材料仿真分析参数，对分析结果也会产

生一定的误差。

表1 FEA分析结果与试验结果比对

项目	FEA 分析结果	试验结果
径向刚度 / $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$	32.31	35.13
轴向刚度 / $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$	3.22	3.50
偏转刚度 / $\text{N}\cdot\text{m}(\text{ }^{\circ})^{-1}$	28.14	30.56

4 结论

通过对多种不同种类的橡胶关节进行试验和分析比较，总结出橡胶层厚度、内部结构、橡胶自由面倒角是影响产品刚度性能的主要因素，分析结果与试验结果一致，相应的试验方法和分析结果，可为橡胶关节类产品开发和试验起一定指导作用。模块化试验工装通用性强、装配方便、工作效率提高了35%、加工成本降低了30%，达到了降本增效的目的，该设计理念可为试验室同类试验方案的设计起指导作用。

参考文献：

[1] 王 进, 彭立群. 轨道交通用橡胶关节的结构与特性 [J]. 世界橡胶工业, 2006, 33(8): 22-25.
[2] 卜继玲, 黄友剑. 轨道车辆橡胶弹性元件设计计算方法 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
[3] 李 心, 付茂海, 林达文, 王 进. 电机传动工况下吊杆球铰试验载荷分析 [J]. 机车电传动, 2011(3): 65-67.
[4] 张春良, 许呈祥, 唐先贺. SS7E 机车新轴箱拉杆设计 [J]. 机车电传动, 2012(2): 18-20.
[5] 董黎生, 雷 成. 提速车辆转向架橡胶金属关节刚度分析 [J]. 铁道车辆, 2008, 46(10): 4-7.
[6] 王 进, 彭立群. 机车车辆用轴箱弹簧 [J]. 铁道机车车辆, 2008, 28(6): 41-42.

(上接第89页)

3 结语

文中给出了一种基于SIFT特征点检测实现高速列车车顶瓷瓶识别的方法。该方法能够实现瓷瓶定位的准确度要求，节约了整个瓷瓶识别过程的时间，为高速列车瓷瓶识别提供了一种新的途径，具有可行性和有效性。该方法具有如下特点：采用对数图像增强法，提高了检测瓷瓶的环境适应能力；采用SIFT特征点识别瓷瓶具有尺度不变性，降低了瓷瓶识别的误差率。对采集图像数据库中大量车顶瓷瓶图像进行检测，对大多数试验都能达到预期效果，特征点检测大多聚集在瓷瓶上。对于拍摄效果良好、瓷瓶外观标准的图像，系统能很好地检测并得到结果；在存在泥沙等噪声干扰时效果较好，在拍摄光线不佳时，效果一般，而在瓷瓶表面不平整、釉层不均匀时检测效果相对较差。总体来说，通过对瓷瓶图像进行实际SIFT特征点检测结果统计，该方法可以实现列车车顶瓷瓶识别，具有实用性。

参考文献：

[1] 王立新, 卫志刚, 孙丙新, 等. 变电站支柱绝缘子超声波检测工艺方法的选择和试验分析 [J]. 无损检测, 2006, 28(12): 636-640.
[2] David G Lowe. Object recognition from local scale-invariant features [J]. Proceedings of the International Conference on Computer Vision, 1999, 2: 1150-1157.
[3] David G Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Key points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
[4] Brown M, Lowe D G. Invariant features from interest point groups [M]. Cardiff, Wales: British Machine Vision Conference, 2002: 656-665.
[5] Matthew Toews, William M Wells III, D Louis Collins. Feature-based Morphometry: Discovering Group-related Anatomical Patterns [J]. NeuroImage, 2009, 49 (3): 2318-2327. doi:10.1016/j.neuroimage.2009.10.032. PMID 19853047.
[6] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors [J], IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 10(27): 1615-1630.
[7] 康燕妮, 黄 欢, 朱玉艳, 来沛剑. 基于SIFT的超分辨率图像配准及MATLAB实现 [J]. 电脑知识与技术, 2009, 5(28): 8031-8033.