

# An Improved Hough Transform-Based Method for Transformer Blower Target Recognition

SUN Fengjie, LIAO Huifen, FAN Jieqing

Dept. of Electrics and Electronic Institute NCEPU, Beijing, China

e-mail: sfj@ncepu.edu.cn, xfentuo@163.com, fanjieqing@ncepu.edu.cn

**Abstract:** To solve the problems that Hough transform for the circle detection operates slowly and needs much memory, a parameter-detecting method at different levels based on improved Hough transform for circle center parameters and radius parameters is proposed. After parameter space dimension being reduced, improved Hough transform is used to obtain the accurate circle center data, and then a concentric circle seeking method regarding the circle center parameter as datum is brought forward to determine the radius. Furthermore, extraction and target recognition of power transformer blower in a complicated background is realized ultimately. The results show that improved Hough transform algorithm, which greatly reduced the amount of calculation and memory requirement in the process of circle detecting, worked fast and steadily.

**Keywords:** transformer blower; Hough transform; circle detection

## 基于改进 Hough 变换的变压器风机目标识别方法

孙凤杰, 廖卉芬, 范杰清

华北电力大学电气与电子工程学院, 北京, 中国, 102206

e-mail: sfj@ncepu.edu.cn, xfentuo@163.com, fanjieqing@ncepu.edu.cn

**【摘要】**为解决 Hough 变换圆检测算法中计算量和内存需求太大的问题, 提出了基于改进 Hough 变换分层检测变压器风机圆心和半径的方法。该方法对参数空间进行降维处理后, 利用改进 Hough 变换计算出风机的圆心参数, 在此基础上, 以圆心坐标为基准进行圆环搜索确定风机半径参数, 进而实现从复杂背景中提取和识别风机目标。实验结果表明, 改进的 Hough 变换检测算法大大减少了计算圆心和半径的运算量, 并减小了内存需求, 检测精度高, 具有快速、可靠的特点。

**【关键词】**变压器风机; Hough 变换; 圆检测

### 1 引言

风机是预防变压器过热故障的基础散热设备, 对其进行视频监控能有效保障变压器的正常寿命和安全运行。变压器风机处于室外环境中, 视频图像较复杂, 风机外观呈圆形。实现风机状态自动监控的首要问题是如何从复杂背景中检测出感兴趣的风机目标。Hough 变换是常用的检测形状特征的方法<sup>[1]</sup>, Hough 变换对图像噪声不敏感, 具有抗噪性、抗遮挡性、抗目标不连续性、高准确度的优势, 已经广泛应用于车牌定位<sup>[2]</sup>、油库目标识别<sup>[3]</sup>、道路边缘提取<sup>[4]</sup>等。利用 Hough 变换检测出风机外观的圆参数并构建掩膜可以实现目标的快速识别, 但是, 对复杂图像直接进行传统的 Hough 圆检测时, 计算量和内存需求太大, 几乎得不到结果。Xu<sup>[5,6]</sup>等提出了广义 Hough 变换 (Randomized Hough Transform,

RHT), 从图像上随机选取不共线的三个点映射为参数空间的一个点, 仅对映射所得圆参数进行累计, 计算量大大减少。但是对复杂图像进行 RHT 圆检测时, 随机采样过程引入了大量无效单元, 性能下降, 准确度不高。

综合考虑 Hough 变换准确度与计算量的矛盾, 本文提出了一种分层检测圆参数的风机目标识别方法以减少计算量。第一层, 基于改进的 Hough 变换圆检测提取目标的圆心参数, 以保证风机位置信息的准确度; 第二层, 在图像空间中进行圆环搜索提取半径参数, 确定出风机的尺寸。在此基础上构建掩膜, 实现风机目标识别。

### 2 Hough 变换圆检测

Hough 变换的基本思想是, 将图像空间中具有一定解析关系的像元映射到参数空间进行聚类, 寻找这些像元的累积对应点<sup>[7]</sup>。像元间的解析关系的一般表达式为:

$$f(x, c) = 0 \quad (1)$$

式中,  $x$  为像元坐标 (二维矢量),  $c$  为参数空间的点 (矢量)。Hough 变换进行圆检测时, 圆心坐标为  $(a_0, b_0)$ , 半径为  $r_0$ , 那么, 图像空间的点映射到参数空间的表达式为:

$$(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 = r^2 \quad (2)$$

此时,  $c = [a, b, r]^T$ , 图像空间的圆曲线对应着三维参数空间的一个独立圆锥, 并且约束于共有的圆参数点  $(a_0, b_0, c_0)$ 。本文将图像空间中参与映射的像元简称为映射元, 假设图像空间大小为  $m \times n$ , 每个映射元平均映射参数空间为  $N_a$  个像点, 映射元总数为  $K$ , 参数空间的坐标量化步长为  $s$ , 那么, 参数空间大小为  $m \times n \times \max(m, n)$ , 其内存需求为

$$\frac{m \times n \times \max(m, n)}{s^3},$$

算法需要执行乘法运算和加法运算各大约  $3N_a^k$  次, 计算的时间和空间开销极其巨大, 约束点检测非常困难。

### 3 风机目标识别

风机圆心和半径作为风机工作状态识别算法的重要参数, 能直接影响识别的准确率。因此, 圆心参数和半径参数的精确检测是识别风机运行状态的重要前提。很明显, 制约 Hough 变换圆检测的主要因素有映射元数目、参数空间的维数和量化精度。通过约束映射元范围、降低参数空间维数等措施, 可有效改善 Hough 变换圆检测的性能。因此, 本文设计了基于改进 Hough 变换的风机目标识别方法, 主要包括预处理 (粗定位)、风机圆心检测和半径检测三个部分。

#### 3.1 预处理

预处理的目的是通过少量运算粗略估计出风机所处区域, 以减少映射元数目。图 1(a)为不同状态下风机灰度图, 从图中可以看出, 风机处于大范围的金属外壳背景中, 其内部灰度均值 (大约为 200) 远大于周围背景, 而且风机附近的横向噪声边缘明显少于纵向噪声边缘。预处理过程以工作状态下风机灰度图为例。对图像采用灰度值为 150 的固定阈值分割后, 很多黑色像元便集中分布于风机区域, 如图 1(b)所示。通过对二值图中黑色像元的数量统计, 形成的行分布图如图 1(c)所示; 令窗口宽度为 500, 平移步长为 100, 在图中利用平移窗口依次计算出各窗口覆盖区间内的黑色像元总数; 再选取

像元总数最大的峰值区间, 对区间进行双向延伸, 最终估计出风机行所处的粗略范围。经计算, 图 1(c)中的峰值区间为(800,1300), 因而推导出风机大约所处行区间为(650,1450)。风机的粗定位结果如图 1(d)所示, 可见效果较为理想。

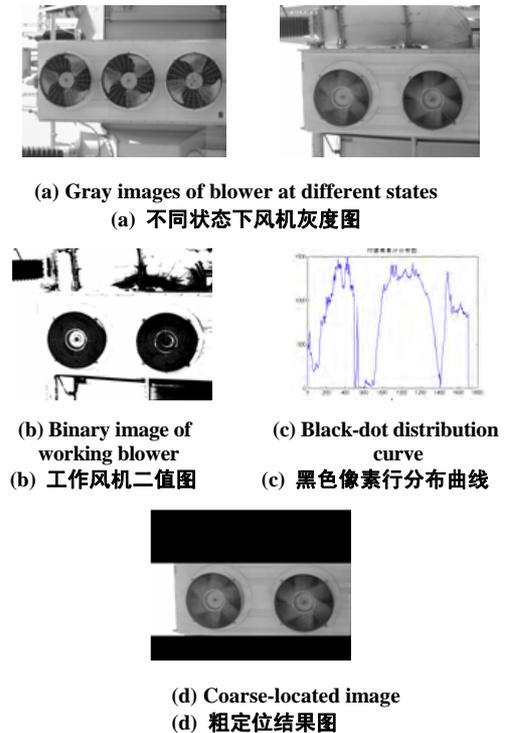


Figure 1. Results of image pretreatment

图 1. 图像预处理过程图

#### 3.2 风机圆心检测

为了遏止 Hough 变换算法的内存需求、计算量随参数维数急剧增长的趋势, 设计了一种 Hough 变换圆检测的改进算法, 用于降维检测风机圆心参数。

##### 3.2.1 改进 Hough 变换圆检测

改进 Hough 变换圆检测延续了对偶映射思想, 采用消参法来降低参数空间的维数, 建立关于余下参数的新映射规则, 将单点与线的对偶扩展为相关两点与线的对偶。由于映射元间仍具有特定的解析关系, 在这一规则下映射到参数空间的像集会产生聚类峰值, 通过检测峰值从而确定出目标的参数。具体推导过程如下:

选取某圆弧上两点组  $[(x_i, y_i), (x_j, y_j)]$ , 采用消参法去式(2)中半径参数  $r$ , 建立关于圆心参数的映射规则为:

$$2 \times (x_i - x_j)a + 2 \times (y_i - y_j)b - (x_i^2 - x_j^2) - (y_i^2 - y_j^2) = 0 \quad (3)$$

此时,  $c = [a, b]^T$ 。式 (3) 的物理意义是, 图像空间中同一圆弧上的两点共同映射为新参数空间中的一条直线, 并且该圆弧上所有二点组对应的直线簇受约于共享的圆心坐标  $(a_0, b_0)$ 。如图 2 所示, 圆上任意六点组成三个映射元(A,B),(C,E),(D,F), 与它们对偶的三条直线  $l_1, l_2, l_3$  在参数空间必交于一点 P, 该点坐标即为圆心坐标  $(a_0, b_0)$ 。因此, 圆弧上大量二点组参与映射后必然在参数空间 P 点产生峰值。倘若待测目标中存在大量同心圆边缘, 对其进行改进 Hough 变换时, 每条圆边缘都对偶产生交于圆心坐标的直线簇, 该处峰值得到累加, 凝聚效果尤其明显。

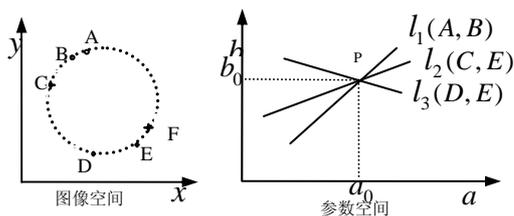


Figure 2. Improved Hough transform

图 2. 改进的 Hough 变换

根据这一聚类特点, 采用合适的量化等级将参数空间转换为网格空间, 令映射产生的直线簇在网格内投票, 累计各网格票数, 检测票数的局部峰值就可以确定出目标精确的圆心坐标。在图像空间可靠点较少, 局部峰值不太突出的情况下, 折中考虑检测误差和约束点处的凝聚效果, 引入松弛变量  $\varepsilon$ , 那么, 映射规则变成:

$$|2 \times (x_i - x_j)a + 2 \times (y_i - y_j)b - (x_i^2 - x_j^2) - (y_i^2 - y_j^2)| < \varepsilon \quad (4)$$

其中,  $0 \leq \varepsilon \leq n$ 。此时, 映射元对应的平行直线簇在网格内的投票加倍, 既补偿了对图像的量化误差, 又在圆心坐标处聚拢峰值以待检测。

### 3.2.2 相关映射元的选取

映射元由两个点组成, 改进 Hough 变换圆检测的原理限定了映射元必须同为某圆弧上两点。为了满足这一要求, 对映射元采取跟踪赋值的方式。在图像中进行边缘跟踪连续获取同一边缘上的点, 依次顺序写入输入数组, 这样, 就实现了输入空间是由同圆弧边缘上的相邻二点组组成。考虑到跟踪采集得到的相邻点具有较大的相关误差, 通过等间隔重排数组以获取更为有效的映射元数据。

Canny 算子<sup>[8]</sup>是常用边缘检测方法, 主要包括四个部分为: (1)滤波; (2)边缘初始点选取; (3)自适应阈值跟踪准则; (4)可能边界点选取。该算子有效减少了噪声

的干扰, 对每个边缘点做出惟一响应, 而且基于调节尺度参数能够提取出任意细致程度稳定连续的单边缘。

通过采用 Canny 算子检测风机边缘, 在跟踪过程中可获取符合条件的相关元。在目标区域, 因风机防护网投影产生较大梯度的同心圆组边缘, 故选取的 Canny 算子参数为: 低阈值与高阈值之比为 0.7, 高阈值占图像像素总数为 0.9。根据这些映射元间的解析关系进行对偶映射寻找累积对应点, 就能实现 Hough 变换对圆心坐标的检测。

### 3.2.3 算法步骤及结果

本文提出的算法可概括为以下主要步骤:

(1) 建立输入空间。对原始风机灰度图进行 Canny 边缘检测, 跟踪采集相关映射元集。

(2) 建立变换空间。令参数空间的大小等于预处理过程获得的风机粗定位区间的大小, 将其量化为多个  $5 \times 5$  网格单元, 初始化变换域数组。

(3) 进行对偶映射。以式 (3) 为准则将输入空间的数据逐个对偶映射到参数空间, 并按参数  $b$  的量化值逐点投票, 累加各网格投票值。

(4) 检测票数峰值得到圆心坐标。

将图 1 (d) 粗定位结果作为原始图像, 对其进行改进 Hough 变换圆心检测的过程如图 3 所示。图 3 (a) 为采用 Canny 算子进行边缘检测的结果图, Hough 变换的映射元由其中连续边缘的点组成; 图 3 (b) 为映射元经过 Hough 变换后在变换域投票结果的网格图。由该图可见, 图中呈现明显双峰现象, 效果较好。通过峰值坐标计算出窗口圆心参数为 (1035, 696) (1051, 1718)。算法语言采用 VC++, 在内存为 1024M 的双核计算机上多次执行的平均时间为 1173ms。

### 3.3 风机半径检测

检测出风机圆心参数后, 即可确定风机目标的中心。在此基础上, 风机半径检测的方法是: 针对风机边缘检测结果, 在圆心坐标周围进行宽度为 3 像素的圆环搜索, 计算搜索环内边缘点数目占搜索环总像素的比例。若该比例处于 22% 到 35% 之间, 则判断该搜索环处存在圆边缘, 同时也确定了该圆的半径参数, 否则继续搜索。若搜索失败, 则判断圆心检测出错, 舍弃该圆心参数。该方法增加了整个目标检测算法的可靠性。

由于风机目标内部存在大量圆边缘, 将最大搜索半径设置为预处理结果中风机所处行区间宽度的一半, 令搜索路径由外至内移动, 检测出来的第一个半径参数作为风机半径。

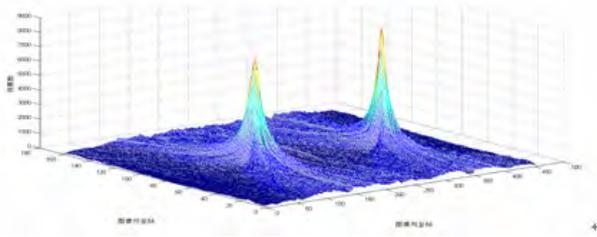


Figure 3. Voting graph in blower-circle-center-detection

图 3. 风机圆心检测过程投票结果图

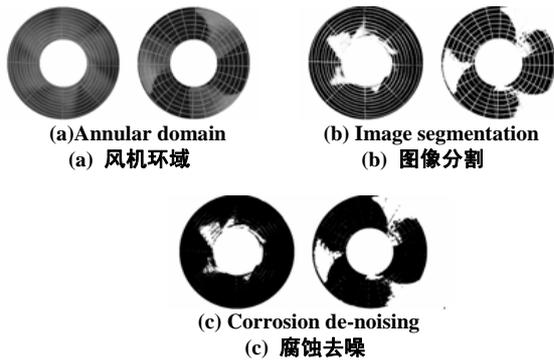


Figure 4. Result images of blower-states-recognition

图 4. 风机运行状态识别过程图

Table 1. Blower-parameter-detecting results of blower

表 1. 风机参数检测结果

单位：像素

检测目标	圆心参数	半径参数
停运时左风机	(861, 468)	324
停运时中风机	(868, 1157)	318
停运时右风机	(858, 1884)	326
工作时左风机	(1035, 696)	346
工作时右风机	(1051, 1718)	338

## 4 实验结果

针对图 1(a)中不同状态下风机灰度图，进行基于改进 Hough 变换的风机圆心和半径的参数计算。图中五个风机的参数计算结果如表 1 所示。

由于与风机运转状态相关的像元主要分布在风机目标图像的圆环区域内，根据已计算出的风机圆心参数和半径参数，以图 1(a)原始灰度图中提取的风机目标为例，在圆环区域内，采用最大类间方差法进行分割，对二值图进行两次的腐蚀处理，以削弱网状边缘噪声，效果

如图 4 所示。

图 4(c)中，环域内白色像元分布位置具有明显的差异。风机工作时，白色像元主要分布于圆环域内侧；风机停运时，其主要分布于圆环域外侧。将环域分为等宽的内外两个子环域，分别统计各子环域内白色像元占子环域像素总数的比例，将内外子环域中该比例的差值作为判据，可识别出风机的运行状态。

## 5 结束语

本文改进了 Hough 变换圆检测算法，利用消参法对参数空间进行降维处理，大大削减了传统算法的计算量和内存需求，提出了基于 Hough 变换的分层检测风机目标参数的方法，用于从复杂背景图像中快速而准确地提取出变压器风机目标，为实现风机状态识别奠定了良好的基础。实验结果表明，该方法简单有效，运算时间满足实时性要求，而且对多目标圆的圆心和半径的检测精度较高。

## References (参考文献)

- [1] Sun Fengjie, Guo Fengshun, Fan Jieqing, Studies of the Recognition of Pointer Angle of Dial Based On Image Processing [J], Proceedings of the Csee, 2005, 25(16), 73-78. 孙凤杰, 郭凤顺, 范杰清, 等. 基于图像处理技术的表盘指针角度识别研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(16), 73-78.
- [2] Su Yixin, Luo Jiajia, License Location Technology Based on Edge Detection and Image Subtraction Methods [J], Instrumentation Technology, 2008, (4), 40-44. 苏义鑫, 罗佳佳. 基于边缘检测和 Hough 变换的车牌定位技术 [J]. 仪表技术, 2008, (4): 40-44
- [3] Li Bin, Yindong, Yuan Xun, LI Guiqin, Oilcan Recognition Method Based on Improved Hough Transform [J], Opto-Electronic Engineering, 2008, 35(3), 30-34. 李斌, 尹东, 袁勋, 等. 改进的 Hough 变换对油库目标识别 [J]. 光电工程, 2008, 35(3), 30-34.
- [4] Kang Chuanli; Yao Lianbi, Computing Road Line Type Parameters with Hough Transform and Robust Estimation [J], Highway Engineering, 2007, 32(6), 7-13. 康传利, 姚连璧. 利用 Hough 变换和稳健估计计算道路线形参数 [J]. 公路工程, 2007, 32(6), 7-13.
- [5] Xu L, Oja E, Kultanen P. A new curve detection method: randomized Hough transform (RHT) [J]. Pattern Recognition Letters, 1990, 11(5): 331-338.
- [6] Xu L, Oja E. Randomized Hough transform (RHT): basic mechanisms, algorithms, and computational complexities [J]. Computer Vision Graphics Image Process: Image Understanding, 1993, 57(2): 131-154.
- [7] Jiang Lianyuan, Su Qin, Zhu Yingjun, Fast multi-circle detection algorithm with randomized Hough transform [J], Computer Engineering and Applications, 2009, 45(17), 163-166. 蒋联源, 苏勤, 祝英俊. 快速随机 Hough 变换多圆检测算法 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(17): 163-166.
- [8] Zhang Yujin, Image processing and analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999: 187-192. 章毓晋. 图象处理和分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 187-192.