

基于图像处理和 Hough 变换的 轮对踏面轮廓检测方法

徐志军¹ 陈建政²

(西南交通大学牵引动力国家重点实验室 成都 610031)

摘要: 轮对作为列车走行部的重要组成部分,对其踏面轮廓的在线实时检测意义重大。为实现非接触式在线测量,基于图像处理的自动检测方案可以实时准确的检测轮对踏面轮廓,以激光作为光源照射轮对,同时用面阵 CCD 采集踏面光带图像,通过分析光带图像特点以及 Hough 变换获取轮对轮廓,提出了对 Hough 变换方法的改进,包括前期图像预处理、边缘检测和直线圆弧信息聚类存储算法。在实验室模拟了现场试验,分别对改进方法和未改进方法进行了对比试验,同时将基于该方法下提取的轮廓测量的几何参数与传统测量的几何参数结果进行了对比,结果证明提出的方法有效地提高了测量的效率、实时性和准确性。

关键词: 轮对轮廓;轮对几何参数;图像处理;Hough 变换

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 460.40

Tread profile of wheel detection method based image processing and Hough transform

Xu Zhijun¹ Chen Jianzheng²

(State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Wheel is an important part of the vehicle, the wheel tread profile of the online real-time detection is of great significance. To realize the non-contact on-line measurement, automatic detection scheme based on image processing can measure wheel tread profile and geometric parameters timely and accurately. The laser irradiate the wheel, there is a band on the tread of the wheel. It is the wheel tread profile. Through analyzing the image taken by CCD, it can achieve the line and curve information in the tread profile with image processing and Hough transform. Some steps are proposed to improve the method, including image pro-processing, edge detection and clustering storage algorithm. To analyzing the method, taking experiments compare with traditional method. The result proves the method in this paper can detect the wheel tread profile and geometric parameter accurately and effectively.

Keywords: wheel tread profile; geometric parameters; image processing; Hough transform

1 引言

轮对是列车走行部的重要组成部分,在与轨道接触运行后轮对几何参数会发生变化,对列车的安全运行具有重要影响,特别是随着列车速度的不断提升,列车车轮几何参数变化的速度也在加快^[1]。目前,对轮对几何参数的传统测量方法有振动测量法、加速度法、平行四边形机构法等,这类方法都是接触式,不具备实时性,而一种利用 CCD 图像处理拍摄车轮轮廓曲线的方法很好的解决了这一难题^[2]。因此研究具有一定抗干扰能力和准确提取车轮踏面轮廓曲线的方法,具有重大意义。

对于列车轮对踏面轮廓的图像测量技术的方法是以一束激光射向驶来的轮对,在踏面形成一条光带,在轮对下方布置一台 CCD 摄影采集图像,对图像的处理主要是基于各种算子的边缘检测、跟踪算法等。加之铁路现场环境复杂,使得简单易行的方法并不能获得理想的简单,复杂的算法又不能满足实时作用要求。

为克服上述问题,考虑到 Hough 变换在提取直线和曲线时的强抗噪性能以及易于实现的特点,本文提出了利用 Hough 变换提取轮对轮廓曲线的方法。并针对轮对轮廓图像特点,提出了图像处理改善像素点、边缘检测和聚类存储,实现 Hough 变换的直线圆弧检测方法的优化,现场模

拟实验证明了该方法的有效性。

2 轮对踏面轮廓检测

2.1 踏面轮廓检测过程

对列车轮对踏面轮廓的检测原理如图 1 所示,线光源沿轮心方向投射到车轮踏面,形成一条轮廓曲线,在与激光入射方向成一定角度的位置处布置 CCD 摄像机进行图像采集,采集的图像如图 2 所示。

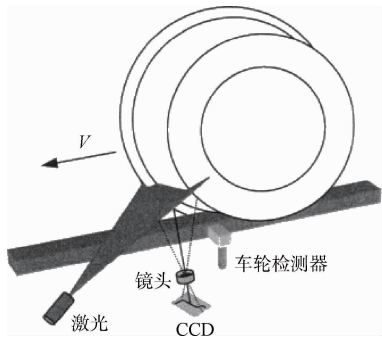


图 1 测原理



图 2 采集图像

列车轮对踏面检测过程分为 5 个阶段,如图 3 所示。第 1 阶段:图像的采集,产生踏面轮廓处理的原始数据;第 2 阶段:对采集图像进行预处理,并初步分割出轮廓区域;第 3 阶段:对二值图像实现边缘检测,用于突出轮廓的特征;第 4 阶段:Hough 变换,提出轮廓里的直线和曲线信息;第 5 阶段:对轮廓线直线、曲线目标进行坐标定位,进行位置描述,合成轮廓图像。

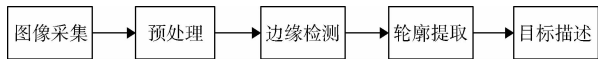


图 3 检测过程

2.2 预处理和边缘检测

轮对踏面图像质量受环境的影响比较大,通常伴有强烈的噪声干扰,所以对图像进行合理的预处理,对轮廓边缘检测和 Hough 变换提取轮廓有很大的帮助。本文主要采用最大类间方差阈值分割和高斯滤波完成处理,如图 4 所示。接着采用了 Canny 算子边缘检测。

边缘检测是图像处理的重要环节,可以大幅度的减少数据。目前,研究常用的边缘检测法没有一种具有绝对的

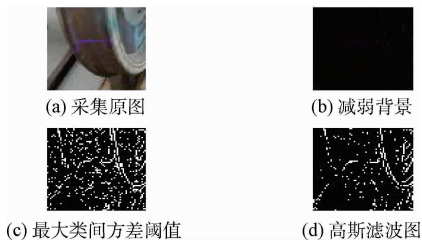


图 4 预处理过程

优势。本文实验了 Log 算子、Prewitt 算子、Soble 算子、Canny 算子,对 4 种算子的性能进行了比较分析如图 5、表 1 所示。结合后期对边缘直线提取的准确性,本文选择了 Canny 算子进行边缘检测。

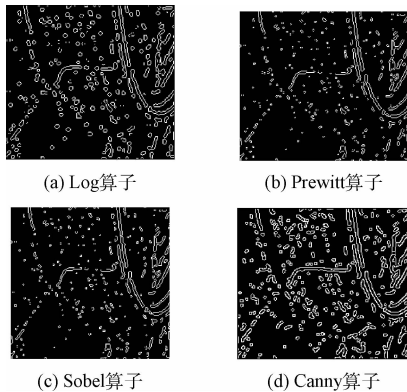


图 5 4 种检测算子结果

表 1 4 种边缘检测算子的性能比较

算子名称	高斯噪声	椒盐噪声	泊松噪声	检测后图像轮廓	细节完整性能效果	运算速度
Log	较好	较好	较好	较粗	粗略	快
Prewitt	较好	差	较好	细	较准确	快
Sobel	较好	较差	较好	细	较准确	快
Canny	差	较差	较好	粗	准确	较慢

3 Hough 变换与改进方法

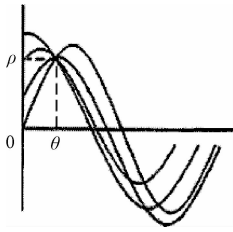
3.1 Hough 变换原理

Hough 变换的基本思想是将图像空间的一点变换到参数空间的一条曲线或者一个曲面,而具有同一参数特征的点经过 Hough 变换后在参数空间中相交,通过判断交点处的累积程度来完成特征曲线的检测。

基本的 Hough 变换采用的直线的极坐标方程:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

式中: x, y 为图像空间坐标值, ρ 为坐标原点到直线的垂直距离(垂线段的长度), θ 为 x 轴与垂线段的的夹角。对于图像中的 n 个点,对应于参数空间中的 n 条正弦曲线,如图 6 所示。

图 6 $\rho-\theta$ 参数空间

直线 Hough 变换实现如下:

1) 参数空间离散化, θ 在 $[0, \pi)$ 上均匀取 N 个离散值, ρ 的采样个数为 P 。

2) 设置并初始化累加器:

$$H(\rho_i, \theta_j) = 0; i = 0, 1, \dots, N-1; j = 0, 1, \dots, P-1; \quad (2)$$

3) 计算获得每一个需要检测的像素点 (x_m, y_m) 对应的 (ρ_i, θ_j)

$$\rho_i = x_m \cos \theta_j + y_m \sin \theta_j \quad (3)$$

4) 根据 (ρ_i, θ_j) 递加对应累加器:

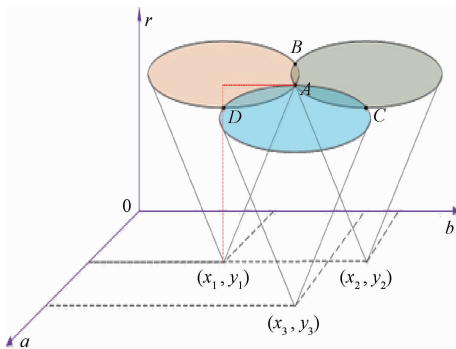
$$H(\rho_i, \theta_j) = H(\rho_i, \theta_j) + 1; \quad (4)$$

5) 求取累加器里的峰值, 此峰值参数对应图像空间中提取的直线。

基本的 Hough 变换采用的圆方程:

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (5)$$

式中: (a, b) 为圆心, r 为半径。接着把空间坐标系的圆转换到 $a-b-r$ 参数空间, 那么图像空间中的经过任意一点的圆对应于参数空间里的一个三维锥面, 同一个圆上的点对应于参数空间中三维锥面相交的一点, 通过投票累积求出这一点的圆参数, 参数映射如图 7 所示。

图 7 $a-b-r$ 参数空间

圆 Hough 变换主要过程如下:

1) 设置基元参数的累加器链表, 并初始化;

2) 从特征点中随机寻找一个最小点集, 在此集合基础上计算出基元参数;

3) 相应地对基元参数的累加器链表累加;

4) 设定阈值, 基元参数的累加器链表最大值超过阈值时, 验证该基元参数, 如果该基元参数包含足够的图像特

征点, 则输出该基元, 并清除所有该基元的特征点, 执行步骤 1);

5) 重复执行步骤 2)~4), 设置循环次数阈值, 直到达到阈值后无法找到新基元为止。

3.2 Hough 变换改进

Hough 变换是检测直线与圆弧的一种主要办法, 但是计算量大, 参数空间存储量大、运算量大, 不利于实现实时监测。针对这些问题, 除了图 2 提出的图像预处理之外, 利用邻近像素投射到参数空间内信息相似这一特点将图像边缘像素点根据邻近关系聚集为不同类别, 顺序储存在数组中, 然后将每一类的所有像素映射到参数空间中, 分别进行检测识别, 从而使得检测目标更加明确, 尽量避免无效采样计算。

聚类存储算法如下:

1) 逐行扫描图像中的像素点, 第一个寻找到的像素点, 标记为 P , 并置零, 初始化检测方向, 为上方, 继续步骤 2);

2) 检测像素点 P 的 8 邻域中间上方左中右的 3 个像素点, 若有记为 q , 坐标存储数组, 并置零, 接着检测 q 的左右两个位置是否有像素点, 若无继续检测 P 的上面两个位置处左中右方向有无像素点, 如果有, 标记方向; 如果没有, 退出聚类;

3) 检测像素点 P 的 8 邻域中下方位置左中右的 3 个像素点, 若有记为 q , 坐标存储数组, 并置零, 接着检测 q 的左右方位置有无像素点, 若无继续检测 P 的下面两个位置处左中右方向有无像素点, 如果有, 标记方向; 如果没有, 退出聚类;

4) 检测 P 左侧位置处像素点, 若有记为 q , 坐标存储数组, 并置零, 接着检测 q 的上方位置处左中右有无像素点, 若无继续检测 P 的下方位置处左中右有无像素点, 如果有, 标记方向; 如果没有, 退出聚类;

5) 检测 P 的右侧位置处像素点, 若有记为 q , 坐标存储数组, 并置零, 接着检测 q 的上方位置处左中右有无像素点, 若无继续检测 P 的下方位置处左中右位置有无像素点, 如果有, 标记方向; 如果没有, 退出聚类;

6) 查询标记方向, 若为上方, 执行步骤 2), 若为下方, 执行步骤 3), 若为左侧, 执行步骤 4), 若为右侧, 执行步骤 5)。

以上算法处理后的图像相近的像素点聚类, 并存储数组, 这样既加快了检测速度, 又对孤立且少量像素点进行了一次滤波。

4 实验验证与分析

为了验证改进方法的性能与可行性, 本文模拟现场进行实验, 轮对以在线 18 km/h 的速度通过检测区域, 轮对踏面型号为 LMA(出厂, 未使用)。根据本文提供的方法处理 CCD 采集像素点信息, 获得轮廓采集图像。至于计算轮廓

各个点空间位置,继而通过旋转变换,采用差影法计算各个轮对几何参数,不在本文讨论范围。

4.1 轮廓提取结果与对比

利用本文 Hough 变换后提取的直线结果如图 8 所示,同时,利用检测的圆弧圆心和半径信息,进行图像的旋转、平移和比例的放大,再进行反色,本文提取的踏面轮廓图像如图 9 所示。

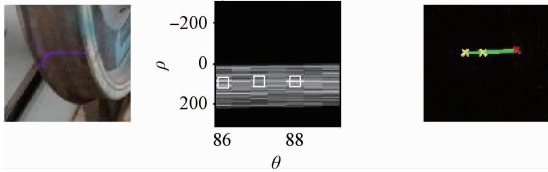


图 8 本文 Hough 变换提取直线信息

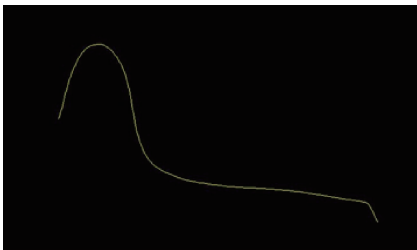


图 9 本文圆弧信息处理提取轮廓图像

建立坐标系后,最后获得轮廓曲线如图 10 所示。为了验证,本文对同一轮对踏面,使用传统接触式轮廓外形测量仪手动测量,结果如图 11 所示。比较图 10 和图 11,本文方法获得踏面轮廓曲线包含的信息要多于传统方法。

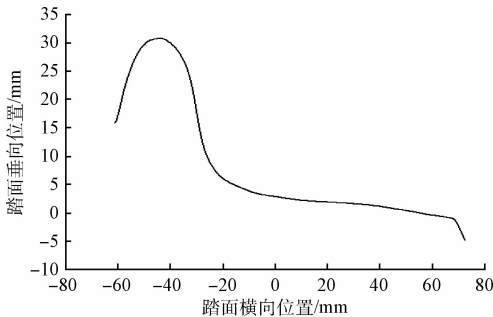


图 10 踏面轮廓

4.2 本文轮廓提取算法分析

为了考察本文针对 Hough 变换提出的改进,设计实验与传统的 Hough 变换进行了比较。抽取实验过程拍摄的图片作为样本,分别用两种方法进行了 5 组实验,每组 100 张图像,像素 640 × 480。同一环境下,比较两种的性能。实验的硬件环境为: Core I5, 4 G 内存, 软件平台: Windows10, MATLAB2013。测试结果如图 12、图 13 所示。本文针对 Hough 变换作出改进后,性能有了明显改善。

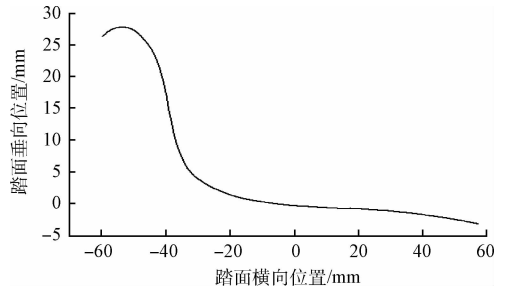


图 11 传统方法获得踏面轮廓

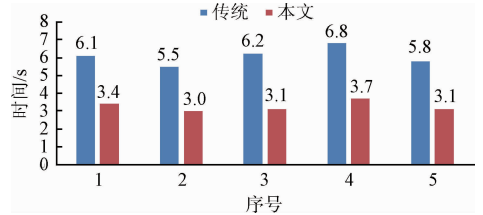


图 12 传统 Hough 变换与本文 Hough 变换时间性能比较

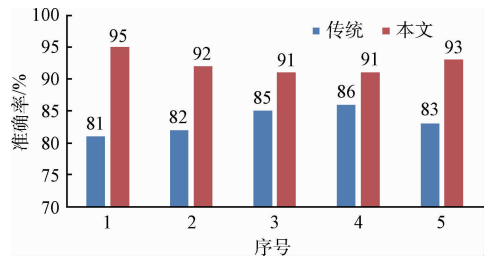


图 13 传统 Hough 变换与本文 Hough 变换检测准确率比较

4.3 本文几何参数检测结果对比分析

本文基于图像处理和 Hough 变换提取轮对踏面轮廓,在此基础上检测轮对几何参数,实现了自动化实时在线测量。另外,为作比较,利用传统接触式轮廓测量仪手动测量了轮对几何参数。测量参数包括轮缘厚度 T 、轮缘高度 H 、轮辋厚度 W ,测量对象为出厂未在现场运行的 LMA 型踏面轮对。本文方法和手动测量了 5 组,每组测量 6 次均值作为结果。同时,利用特征点匹配将实测的踏面轮廓与标准踏面轮廓进行对比,如图 14 所示。

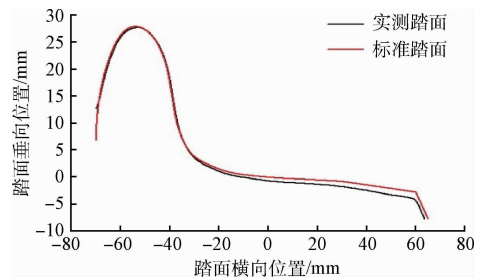


图 14 检测踏面轮廓与标准踏面对比(LMA)

从表 2 可以看出,基于图像处理和 Hough 变换技术,提取踏面轮廓,检测的几何参数,与传统手动测量的结果差值:轮缘厚度 T 差值最大为 0.280 mm,轮缘高度 H 差值最大为 0.277 mm,轮辋宽度差值最大值为 0.15 mm。而极限

误差,本文分别为:轮缘厚度 T 为 0.65 mm,轮缘高度为 0.17 mm,轮辋宽度为 0.20 mm,小于传统手动测量结果:轮缘厚度 T 为 1.00 mm,轮缘高度为 0.26 mm,轮辋宽度为 0.30 mm,符合铁道部相关标准的要求

表 2 本文方法与传统方法几何参数测量平均值比较

项目/mm	方法	1	2	3	4	5
轮缘厚度 T	本文	32.125	31.900	31.975	32.025	32.058
	传统	32.320	31.620	32.220	32.310	31.820
	差值 $ \Delta $	0.195	0.280	0.245	0.285	0.238
轮缘高度 H	本文	28.181	28.204	28.203	28.137	28.187
	传统	28.320	28.410	28.380	27.900	27.910
	差值 $ \Delta $	0.139	0.206	0.177	0.237	0.277
项目/mm	方法	1	2	3	4	5
轮辋宽度 W	本文	135.150	135.161	135.155	135.165	135.125
	传统	135.000	135.250	135.020	135.200	135.100
	差值 $ \Delta $	0.15	0.089	0.135	0.035	0.025

表 3 本文方法与传统方法几何参数测量结果极限误差比较

项目/mm	方法	1	2	3	4	5
轮缘厚度 T	本文	0.65	0.28	0.39	0.32	0.31
	传统	0.26	0.30	0.51	1.00	0.71
轮缘高度 H	本文	0.17	0.12	0.12	0.14	0.10
	传统	0.21	0.26	0.15	0.17	0.20
轮辋宽度 w	本文	0.12	0.10	0.18	0.12	0.20
	传统	0.16	0.23	0.30	0.20	0.25

5 结 论

基于图像处理的自动检测方案实现了实时在线非接触式的轮对几何测量,针对现场采集图像特点,同时针对传统 Hough 变换提取直线和圆弧信息的局限性,本文提出的前期图像预处理,边缘检测,直线圆弧信息聚类存储的改善策略,既节省了计算时间,又提高了图像提取信息的准确性。现场轮对踏面实测试验也验证了使用改进方法后轮对几何参数检测的实用性和有效性。同时,也验证了改善的检测方案优越于传统的接触式手动测量。

参考文献

- [1] BERNAL E J, MARTINOD R M, BETANCUR G R, et al. Partial profile gram reconstruction method to measure the geometric parameters of wheels in dynamic condition [J]. *Vehicle System Dynamics*, 54(5):606-616.
- [2] 张志峰 轮对几何参数在线动态测量方法与系统的研

究[D]. 北京:北京交通大学博士论文,2008.

- [3] 周封,杨超,王晨光,等. 基于随机 Hough 变换的复杂条件下圆的检测与数目识别[J]. *仪器仪表学报*, 2013, 34(3):622-628.
- [4] HILAIRE X. Robust and accurate vectorization of line drawings [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, 28(6):890-904.
- [5] 段汝娇,段伟. 一种基于改进 Hough 变换的直线快速检测算法[J]. *仪器仪表学报*, 2010, 31(12):2773-2780.
- [6] 宋晓宇,袁帅,郭寒冰,等. 基于自适应阈值区间的广义 Hough 变换图形识别算法[J]. *仪器仪表学报*, 2014, 35(5):1109-1117.
- [7] 刘国峰. 基于边缘检测和 Hough 变换的车牌定位系统的研究与实现[D]. 北京:中国地质大学,2007.
- [8] 曾文静,张铁栋,万磊,等. 基于 Hough 变换的水下管道检测方法[J]. *仪器仪表学报*, 2012, 33(1):76-83.
- [9] 彭明星,桂预风. 分快平均的噪声图像边缘检测[J]. *电子测量技术*, 2009, 32(2):128-130.
- [10] 熊显明,马蓓,张文韬. 一种改进的去除灰度图像椒盐噪声方法的研究[J]. *国外电子测量技术*, 2010, 29(5):32-34.
- [11] 严国萍,何俊峰. 高斯-拉普拉斯边缘检测算子的扩展研究[J]. *华中科技大学学报:自然科学报*, 2006, 34(10):21-23.
- [12] 周晓明,马秋禾,肖蓉,等. 一种改进的 Canny 算子边缘检测算法[J]. *测绘工程*, 2009, 17(1):28-31.

(下转第 131 页)