

基于 Hough 变换的挡键丢失故障识别方法

艾 广¹, 张金敏¹, 王思明², 冯映科¹

(1 兰州交通大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730070;

2 兰州交通大学 自动化与电气工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 为了检测货车运行故障动态检测系统(Trouble of Moving Freight Car Detection System, TFDS)中的挡键丢失故障, 提出一种基于 Hough 变换的挡键丢失故障识别方法. 首先采用改进的随机 Hough 变换提取轮轴和端点的特征, 依据轮轴、端点、挡键之间的几何关系建立数学模型标定感兴趣区域(ROI), 然后计算 ROI 的相对梯度直方图特征, 利用角度距离相似性度量实现挡键丢失故障的识别. 实验结果表明, 该方法可以识别不同类型转向架的挡键丢失故障, 同时平均故障识别率达到 94%.

关键词: TFDS; 挡键; Hough 变换; 相对梯度直方图特征; 故障识别

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2017)03—0090—05

Fault Recognition Method for Bogie Block Key Losing Based on Hough Transform

AI Guang¹, ZHANG Jin-min¹, WANG Si-ming², FENG Ying-ke¹

(1 School of Mechatronic Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;

2 School of Automation and Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to detect the losing fault of the bogie block key(BBK) in trouble of moving freight car detection system (TFDS), an fault recognition method for BBK losing was proposed based on Hough transform. Firstly, the improved randomized Hough transform is used to extract the feature of the axle and the endpoint. Based on the geometric relationship between the axle, the endpoint and the BBK, the mathematical model is established to calibrate the region of interest (ROI). Then the relative gradient histogram features of ROI are calculated, and the recognition of the losing fault of the BBK is realized by using the angular distance similarity measure. Experiment results demonstrate that the proposed method can recognize the fault of BBK losing on different types of bogie, and the average fault recognition accuracy reaches 94%.

Key words: TFDS; BBK; Hough transform; relative gradient histogram feature; fault recognition

1 引言

随着货运列车不断提速, 传统的人工检测方式已不能满足实际的检测要求. 为此, 铁道部开发了 TFDS, 该系统利用设备拍摄快速运行的货车, 然后采集图像, 再利用计算机进行图像识别从中挑选出故障^[1]. 挡键是转向架上轴承附近的一个小零件, 形状像一个三角块. 若挡键丢失, 则会在车辆脱轨时导致轮对和转向架分离, 从而不能降低车辆损伤程度,

而且还容易造成人员伤亡^[1]. 因此, 研究挡键丢失故障对提高货车的运行安全检查质量具有重要意义.

文献[2]提出一种基于区域特征的挡键丢失故障识别算法, 但该算法没能真正实现挡键丢失故障的识别. 文献[1]提出一种基于形状上下文的列车挡键丢失图像识别算法, 但该算法实质上是模板匹配算法, 运行效率低. 转向架按侧架结构大致上可分为二类: 一类是侧架有小圆, 类似 K5 转向架(如图 1(a)所示); 另一类是侧架没有小圆, 类似 K2 转向架

(如图 1(b)所示)。文献[3]提出一种挡键丢失故障自动识别方法,但该方法受特殊几何模型的限制,有些转向架挡键丢失故障无法识别。

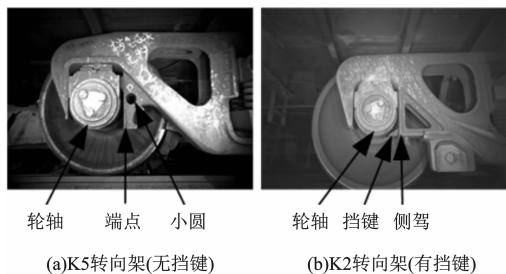


图 1 转向架类型

为了解决挡键丢失故障识别问题与上述的困难,本文提出一种基于 Hough 变换的方法,实现挡键丢失故障的识别。

2 本文方法

针对挡键外观小,不易直接定位的特点,本文提出的故障识别方法主要包括三个部分:轮轴与端点的特征提取;建立数学模型标定 ROI;故障识别。流程如图 2 所示。

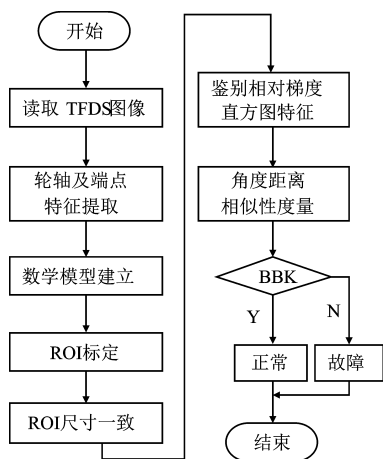


图 2 挡键丢失故障识别方法流程图

2.1 滤波处理

TFDS 采集的图像受天气、光等因素影响图像质量不好,故需进行去噪处理。为保证检测速度,采用均值滤波进行图像去噪,结果如图 3 所示。

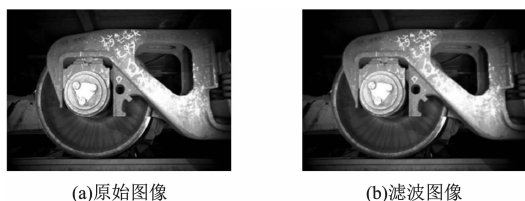


图 3 均值滤波

2.2 轮轴及端点特征提取

如图 1 所示,转向架轮轴是圆,端点是侧架两直线交点,圆和直线的特征通常采用 Hough 变换来获得^[4-5]。本文采用随机 Hough 变换 (randomized Hough transform, RHT) 进行圆检测,然而 RHT 检测效率受多种因素影响^[6],其中无效累计是最主要的影响因素,为提高检测效率,需做如下改进。

(1) 利用感兴趣区域减少无效积累

感兴趣区域 (ROI) 是要研究对象所在目标区域,选取恰当 ROI 可以很好减小图像数据量^[7]。经多次观察转向架挡键图像可知:轮轴和侧架处在距原图像边界上下左右各 1/6 所包含的区间内 (记为 S),通过先验知识选定 S 进而缩小检测区域,减少无效积累。

(2) 利用改进的抽样方法减少无效积累

假设边缘图像有 n 个点,记为 $d_1, d_2 \dots d_n$,对于每个点,采集位于其附近 $m \times m$ 区域内的点,并由 $q_1, q_2 \dots q_n$ 相应表示。在每次采样时, $d_i (1 \leq i \leq n)$ 点被抽样的概率 Q_i 为

$$Q_i = q_i + s / \sum_{j=1}^n (q_j + s) \quad (1)$$

在实际处理为了方便,本文取 $S = 1$,则:

$$Q_i = q_i + 1 / \sum_{j=1}^n (q_j + 1)$$

具体采样步骤如下^[8]:

① 定义一个一维数组 H , H 中元素的结构类型都是含有水平坐标和垂直坐标值的点;

② 保存 H 中所有 $d_i (d_{ix}, d_{iy}) (1 \leq i \leq n)$ 点的坐标并按顺序排列。由于点 $q_i (1 \leq i \leq n)$ 在 d_i 附近,因此需连续保存坐标 $q_i + 1$ 次。故该阵列由 $\overbrace{(d_{1x}, d_{1y}), \dots, (d_{1x}, d_{1y}), \dots}^{q_1+1}, \overbrace{(d_{nx}, d_{ny}), \dots, (d_{nx}, d_{ny}), \dots}^{q_n+1}$ 组成,而 $\overbrace{(d_{ix}, d_{iy}), \dots, (d_{ix}, d_{iy}), \dots}^{q_i+1} (1 \leq i \leq n)$ 意味着有 $q_i + 1$ 个连续元素 (d_{ix}, d_{iy}) ;

③ 在采样过程中,设定一个距离阈值 ϵ ,随机选取一个元素作为采样点,计算三个采样点的两点距离 D ,若 $D < \epsilon$,则需再次采样三个点。

(3) 利用半径减少无效积累

经多次实验可知:轮轴圆半径 $r \in [120, 150]$,故在程序运行前设置半径最大值 $r_{\max}$ 、最小值 $r_{\min}$,设计算一次参数时间为 t ,则每一个半径 r 值的步进计算时间是 $2\pi r$,若步进范围是 R ,则每个像素计算时间为

$$\sum_{r=1}^R 2\pi r = R(R+1) \quad (2)$$

当有 N 个像素需要计算,则计算时间是 $NR(R$

$+1)t$. 所以在小范围中进行圆形搜索,可大大减少计算时间^[9].

采用上述改进的 RHT 进行圆检测,可以准确的得到轮轴所在圆 O . 利用 RHT 进行直线检测时做如下改进.

如图 1 所示,侧架直线一条近似水平线,梯度角 θ 接近 0° ,一条近似垂直线, θ 接近 90° . 采用极角约束的思想^[10] 来约束 GHT 直线检测的角度. 实际过程中直线可能倾斜,因此,设定近似垂直线 $\theta \in 90^\circ \pm 10^\circ$,近似水平线 $\theta \in 0^\circ \pm 10^\circ$. 这样就可以在较小范围内进行检测,提高检测效率.

记水平方向梯度为 G_x , 竖直方向梯度为 G_y , 则梯度方向角^[11]:

$$\alpha(x, y) = \arctan(G_y/G_x) \quad (3)$$

计算 $\alpha(x, y)$, 将其均匀分为 K 个区间, $\alpha_i(x, y) \in [-\pi/2 + \pi i/k, \dots -\pi/2 + \pi(i+1)/k] i = 0, 1 \dots k-1$, 其中, α_i 是边缘像素点的不同集合, 定义统计量 $H(\alpha_i)$:

$$H(\alpha_i) = \begin{cases} \sum_{x,y} 1, \alpha(x, y) \in \alpha_i \\ 0, \text{other} \end{cases}$$

式中, $H(\alpha_i)$ 是每个角度区间像素点个数. 把边缘像素点按照相似梯度方向分成不同子集合 $A_i, i = 0, 1 \dots k-1$, 设定一个阈值 φ , 删除不合适的像素点集合, 就可在很小的二维累加器来记录, 也能减少投票过程所需时间和计算量, 提高了任意选取两点组成真实直线的概率.

因为 GHT 检测到的是许多直线段, 而实际需要的是大尺度线条, 因此需要进行直线拟合. 设置直线拟合^[12] 条件:

(1) 两条直线段的角度差小于 5° ;

(2) 一条直线段的两个端点到另一条直线段的距离小于 15 个像素.

故 GHT 检测直线的步骤如下.

Step1: 计算梯度角 θ , 如果 $\theta \in 90^\circ \pm 10^\circ$ 或 $\theta \in 0^\circ \pm 10^\circ$, 则参与 GHT 直线检测, 否则不参与检测.

Step2: 计算 $\alpha(x, y)$, GHT 直线检测.

Step3: 直线拟合.

Step4: 利用直线夹角接近 90° , 求出侧架的两条直线.

采用上述改进 RHT 进行直线检测, 可以准确得到侧架二直线, 进而求得端点 A .

2.3 构建数学模型标定挡键区域

针对文献[3]构建的几何模型(如图 4 所示)不

能定位类似 K2 转向架的挡键所在区域, 本文提出构建一个更为通用的数学模型. 由于挡键处在轮轴与端点之间, 且靠近端点, 故利用轮轴、端点、挡键之间的几何关系建立数学模型, 如图 5 所示.

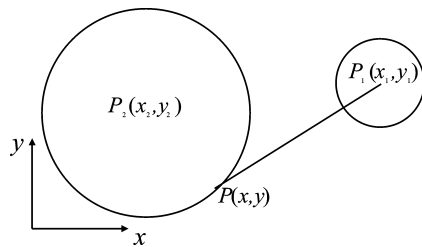


图 4 文献[3]简化的几何模型

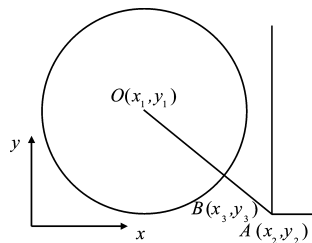


图 5 本文轮轴、端点与挡键简化的数学模型

其中, 轮轴圆的圆心 $O(x_1, y_1)$, 半径 $R = r$, 端点坐标 $A(x_2, y_2)$.

在该模型中, 直线 OA 的斜率 k 可以表示为

$$k = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) \quad (4)$$

一般直线的方程形式可以表示为

$$y = kx + b \quad (5)$$

将 A 点坐标带入式(5) 可得到 b .

故直线 OA 的方程可以表示为

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} + \frac{x_2 y_1 - x_1 y_2}{x_2 - x_1} \quad (6)$$

圆的方程可表示为

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 = r^2 \quad (7)$$

联立式(6)、(7) 可得到圆与直线的唯一的交点坐标 $B(x_3, y_3)$.

由于 A, B 与 BBK 非常接近, 故可以考虑以 A, B 两点为矩形对角线两点标定 ROI. 考虑到不同类型的转向架 BBK 大小是不同的. 在实际处理过程中, 需将 B 点平移 10 个像素点得到 C , 以 A, C 两点作为矩形对角线两点标定 ROI.

2.4 故障识别

2.4.1 鉴别相对梯度直方图特征

由于 TFDS 拍摄角度的原因会最终导致标定 ROI 大小不一致, 为方便后续处理, 需将 ROI 图片放大/缩小为一致尺寸. TFDS 在室外拍摄图片, 受

光照变换影响较大.文献[13]提出的鉴别相对梯度直方图特征提取与分类方法不单对光照变化具有较好的健壮性,而且可以很好的进行特征提取与分类,处理流程如图6所示.将该方法用于本文 ROI 图片中最终可得到低维特征,如图7所示.

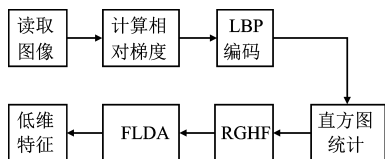


图6 相对梯度直方图特征流程图

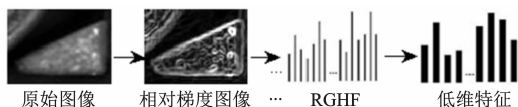


图7 ROI 相对梯度直方图特征

2.4.2 角度距离相似性度量

文献[13]采用了一种角度距离相似性度量方法来比较特征向量的相似性.定义向量 m 和 n 之间的相似性:

$$\delta(m, n) = \frac{|m'n|}{\|m\| \|n\| (\|m-n\|_p + \epsilon)^0} \quad (8)$$

式中, $\|\cdot\|_p$ 表示向量 p 的范数; $|\cdot|$ 表示向量的绝对值; ϵ 表示一个很小的正数.

获得 ROI 图像的鉴别相对梯度直方图特征后,利用角度距离相似性计算特征的相似性,实现挡键丢失故障的识别.

3 实验结果与分析

为了验证本文方法,从兰州铁路局货检部获取挡键图片做为测试样本.在 Intel Core3 2.40 GHz 的 CPU、2 GB 内存配置的电脑上,在 Windows XP 操作系统下用 Matlab R2009b 进行测试,并对检测结果进行分析.

3.1 可行性验证

在本文中相对梯度幅值图像分解的数目和形成直方图特征的图像分块数都取 4.从已有样本中随机选取 2 张类似 K5 转向架的挡键图片,1 张是故障图片(记为 A),1 张是无故障图片(记为 B)进行方法的可行性验证.首先采用改进的随机 Hough 变换进行轮轴与端点的特征提取,如图8所示;从图8可知,采用改进的随机 Hough 变换可准确获得轮轴与端点的特征.根据已经获取的轮轴与端点特征,采用

2.3 节所提方法建立数学模型标定 ROI,如图9所示;从图9可知,所提数学模型可准确标定 ROI;然后求鉴别相对梯度直方图特征,最后利用角度距离相似性计算特征的相似性可知:A 相似度很低,即挡键丢失;B 相似度很高,即挡键未丢失;这与实际情况相符.由此可以得出,本文方法可以有效的识别出挡键丢失故障.



图8 A和B轮轴及端点的特征提取



图9 A和B的 ROI 标定

3.2 优越性验证

为了说明本文方法的适用性,采用本文方法来检测类似 K2 转向架挡键丢失故障,其检测结果如图10所示.



图10 类似 K2 转向架的 ROI 标定

通过查看图10可知,本文方法可以准确获得类似 K2 转向架的轮轴与端点的特征,也可以准确标定 ROI,然后利用角度距离相似性计算特征的相似性实现挡键丢失与否的判读.结合图9、图10可知:本文方法可以识别类似 K2、类似 K5 转向架挡键丢失故障,对比文献[3]方法只能识别 K5 转向架挡键丢失故障可知:本文方法适用性好.

为了说明本文方法的实时性,将文献[1]方法与本文方法进行对比测试,其结果如表1所示.

对比表1中文献[1]方法与本文方法的平均识别时间可知:文献[1]的识别时间很长,实时性差;而本文方法相较于文献[1]方法识别速度提高了 1.7

倍,故实时性好.

表 1 实时性比较

方法	故障 图片	正确 识别	平均识别 时间/s
文献[1]方法	100	92	2.3
本文方法	100	94	0.85

为了说明本文方法检测的准确性,选取兰州铁路局所管辖区域的 3 个不同地点获取图像样本构建 3 个图像数据库并进行故障检测. 检测结果统计见表 2.

表 2 识别率

图像库	图片 数量	故障 图片	正确 识别	平均识别 率/%
A	2 000	400	380	95
B	2 000	500	470	94
C	2 000	600	558	93

从表 2 可知:本文方法的平均识别率是 94%,结合表 1 可知:在保证方法适用性好的情况下,本文方法同时具有较好的检测准确性和检测实时性.

4 结束语

本文提出了一种基于 Hough 变换的挡键丢失故障识别方法. 该方法不但实现了不同类型转向架挡键区域的快速精确定位,还对故障进行了识别. 为提高检测的效率,利用感兴趣区域,抽样方法,半径和梯度方向角减少无效累计提高 RHT 检测效率. 首先,利用改进 RHT 检测得到轮轴和端点,从而建立数学模型标定 ROI,然后利用鉴别相对梯度直方图特征和角度距离相似性度量实现故障判读. 实验结果表明,该方法具有较高的检测准确性和较好的检测实时性,表现良好,且方法适用性好,具有很好的实用价值.

参考文献:

[1] 孙国栋,徐威,梁永强,等. 基于形状上下文的列车挡键丢失图像识别算法[J]. 铁道科学与工程学报, 2014,11(6):127-131.

[2] 胡彦冰. 货车故障图像显著特征识别算法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2012.

[3] Guodong Sun, Wei Feng, Daxing Zhao, et al. An au-

tomatic fault recognition method for side frame key in TFDS[J]. The Open Mechanical Engineering Journal, 2015,9(1):22-27.

[4] 王红茹,丁文. 一种改进的基于对称性的 Hough 变换圆检测算法[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(6): 121-124.

[5] 蒋宜勤,周基贤,闵涛,等. 基于 Hough 变换的矿物薄片图像线特征检测方法[J]. 微电子学与计算机, 2015,32(8):120-124.

[6] Priyanka M, Bidyut B C. A survey of Hough transform[J]. Pattern Recognit,2015,3(48):993 -1010.

[7] 孟德欣,谢二莲. 基于 Hough 变换的汽车零件中圆形检测的改进算法[J]. 计算机工程与应用,2015, 51(11):172-174.

[8] Lianyuan Jiang. Efficient randomized Hough transform for circle detection using novel probability sampling and feature points [J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics,2012,123(20):1834-1840.

[9] 周封,杨超,王晨光,等. 基于随机 Hough 变换的复杂条件下圆检测与数目辨识[J]. 仪器仪表学报,2013, 34(3):622-628.

[10] 康文静,丁雪梅,崔继文,等. 基于改进 Hough 变换的直线图形快速提取算法[J]. 光电工程, 2007,34(3): 105-108.

[11] 张江鑫,沈小兰,王辉,等. 快速随机 Hough 变换多直线检测算法[J]. 浙江工业大学学报,2013, 41(3): 346-350.

[12] 王敏. 货车底部手把和拉杆的故障识别算法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2012.

[13] 杨利平,李丙海. 鉴别相对梯度直方图特征提提取与分类方法[J]. 中国科技论文在线, 2014, 9(1): 108-116.

作者简介:

艾 广 男,(1990-),硕士. 研究方向为机器视觉与模式识别. E-mail:lz1966z@163.com.

张金敏 女,(1966-),副教授. 研究方向为机器视觉与模式识别.

王思明 男,(1964-),教授. 研究方向为机器视觉与模式识别.

冯映科 男,(1984-),硕士. 研究方向为机器视觉与模式识别.