

试
验
检
测边缘不变矩匹配算法的列车
闸瓦图像识别试验

高向东, 伍世全, 王 腾

(广东工业大学 机电工程学院, 广东 广州 510006)



作者简介: 高向东 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向为机器视觉及自动控制。

摘 要: 研究一种基于边缘不变矩匹配算法的列车闸瓦图像识别新方法。在列车运动过程中, 应用视觉传感器摄取闸瓦图像, 根据闸瓦轮廓经图像旋转、缩放和平移变换后边缘特征点保持不变的统计特性, 以其作为主要特征参数来自动识别具有复杂背景的闸瓦目标。针对闸瓦表面图像特征与轮对相近、图像灰度分布不均匀和存在遮挡等特点, 研究改进的边缘不变矩匹配算法对闸瓦轮廓进行分析 and 特征提取, 实现列车运动过程中闸瓦图像的识别。在传统不变矩算法计算的基础上, 用原点矩代替中心矩, 并且选用 4 个低阶矩作为特征分量, 减少计算误差。试验结果表明, 新方法可以解决闸瓦灰度与轮对相近和存在遮挡等问题, 能够有效地识别闸瓦, 为解决长期存在的闸瓦动态识别的技术难题提供一条新的途径。

关键词: 边缘不变矩; 列车闸瓦; 图像识别; 匹配

中图分类号: U260.351; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2011)01-0066-04

Experiment of Image Recognition of Railway Vehicle Brake Shoe Based on Edge Moment Invariants Matching Algorithm

GAO Xiang-dong, WU Shi-quan, WANG Teng

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510006, China)

Abstract: A new method for image recognition of train brake shoe based on edge moment invariants matching algorithm had been researched. The dynamic brake shoe images were taken by a vision sensor while the vehicle was moving. Then the statistic of brake shoe image invariant characteristics of rotation, scaling, and shift transformation were applied as the main features to automatically recognize the brake shoes with complicated background. With the presence of the characteristic similarity between the brake shoe surface and the wheel of vehicle, asymmetry of gray distribution of brake shoe images, object variation and occlusion of vehicle brake shoes, an improved moment invariants based on the edge-matching algorithm was proposed to recognize the brake shoe shape and analyze the brake shoe characteristics. The existing moment invariants algorithm was modified using the origin moment instead of central moments, and selected four lower order moments as the feature variable to reduce the calculation error. The experimental results show that the proposed method is effective for solving the above problems. The proposed algorithm can recognize the vehicle brake shoe automatically and can provide an effective way to solve the technical problems in long-standing recognition of the moving brake shoes.

Key words: edge moment invariants; vehicle brake shoe; image recognition; matching

0 引言

列车制动技术直接影响到列车的运行安全, 其中闸瓦制动方式以其较大的制动力和较低的成本在铁路运输中被普遍采用, 并在今后一段时期内仍将是主要的制动方式, 因此对闸瓦的状况进行及时有效的检测

十分重要。目前铁路部门主要以人工方法进行检查, 由于列车数量多, 因而需要大量人力, 且检测时间长、效率低。

机器视觉系统已广泛用于物体的测量和识别, 其优点是非接触及采集信息量大^[1], 将其应用于闸瓦的检测, 有望解决人工检测闸瓦所存在的问题。为此设计并建立了闸瓦检测系统, 该系统主要由两部分组成: 其一是图像采集装置, 根据传感器探测轮对到位

收稿日期: 2010-04-20; 收修改稿日期: 2010-09-17

基金项目: 广东省自然科学基金项目 (915100901000020, 07001764)

信号, 实时控制高速相机准确拍摄每一幅闸瓦图像信息; 其二是图像分析处理系统, 对整列车闸瓦图像进行识别及处理。

快速准确地识别闸瓦是闸瓦图像检测的技术难点^[2], 也是闸瓦自动检测系统的关键内容。针对闸瓦图像可能存在遮挡、表面灰度不均、灰度与车轮相近等特点, 利用闸瓦图像轮廓边缘信息, 提出用改进的边缘不变矩匹配方法, 试验分析在复杂的背景中准确地识别闸瓦。

1 不变矩理论

不变矩是一种经典的特征提取方法^[3], 可用于解决几何失真问题, 在机器视觉和模式识别等领域占有重要地位。这种方法利用中心矩构造出 7 个不变量, 并且对于平移、旋转和尺度缩放具有不变性, 奠定了矩不变量研究的基础^[4]。

由不变矩理论, 对于任意非负整数 p 和 q , 二维灰度图像 $f(x, y)$ 的 $p+q$ 阶原点矩和中心矩分别定义为

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

式中: $(\bar{x}, \bar{y})$ 是图像的灰度质心, 其表达式为

$$\bar{x} = m_{10} / m_{00}, \bar{y} = m_{01} / m_{00}。$$

归一化中心矩为

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{(p+q)/2}}, \quad p+q = 2, 3, \dots \quad (3)$$

不变矩针对区域像素计算, 不能用于边界的检测, 为使其可用于边界形状的检测, 对其进行改进^[5], 采用几何中心矩并定义为

$$\mu_{pq} = \int_C (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) ds \quad (4)$$

式中: C 代表一平滑曲线; $\bar{x} = m_{10} / m_{00}$; $\bar{y} = m_{01} / m_{00}$; p, q 为 $0, 1, 2, 3, \dots$ 。

归一化处理得规格化的中心矩为

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{(\mu_{00})^{p+q+1}}, \quad p+q = 2, 3, \dots \quad (5)$$

对于数字图像, C 为离散点边界, 积分用求和代

替, 故离散情况下二值边缘图像 $p+q$ 阶原点矩和中心矩分别定义为^[5]

$$m_{pq} = \sum_{(x,y) \in C} x^p y^q \quad (6)$$

$$\mu_{pq} = \sum_{(x,y) \in C} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q \quad (7)$$

则用于边界检测的 7 个不变矩可表述为

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \varphi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \varphi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \varphi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ \varphi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ &\quad (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ \varphi_6 &= (\eta_{30} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \varphi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] - \\ &\quad (\eta_{30} - 3\eta_{12}) \times (\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

由于区域边界的信息量少于区域整体信息量, 该算法能加快计算区域不变矩的速度, 同时 7 个不变矩仍具有平移、旋转和尺度变化的不变性。

2 边缘不变矩匹配

2.1 不变矩特征分析

分别用基于区域和基于边缘 2 种不变矩算法, 对几个变形的闸瓦样本进行分析比较, 样本图如图 1 所示。基于区域和基于边界的不变矩分量见表 1。

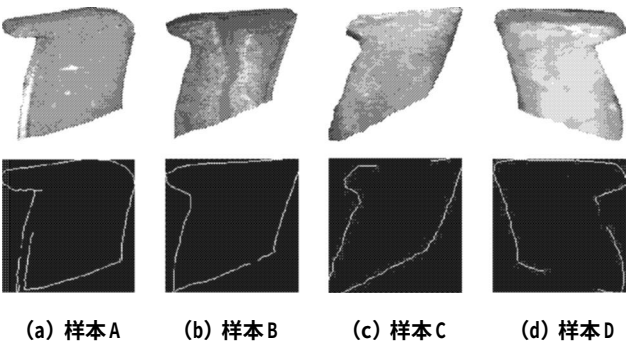


图 1 闸瓦样本图

表 1 4 个闸瓦样本分别基于区域与边界的不变矩分量

不变矩		φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7
基于区域	A	6.925 2	19.568 3	26.915 7	26.776 7	55.526 9	37.175 0	54.014 7
	B	6.885 8	18.198 6	28.867 6	25.257 8	52.548 7	35.154 6	52.796 1
	C	7.020 8	18.355 2	27.336 6	27.835 3	56.051 3	37.017 5	55.524 5
	D	7.127 1	19.808 4	29.711 2	28.083 3	57.158 6	38.210 6	57.987 1
基于边界	A	4.167 8	12.327 0	14.953 6	16.283 8	33.468 8	23.256 7	32.210 8
	B	3.810 7	10.486 8	13.581 8	16.896 8	33.011 8	22.576 0	32.289 3
	C	3.405 5	8.894 30	12.483 3	14.027 6	28.197 4	18.501 3	27.283 7
	D	3.748 4	10.582 0	13.652 5	14.101 9	28.604 5	20.989 5	28.385 2

观察以上图表中数据可知,虽然样本间存在不同的污损和变形,但基于区域和边界的不变矩数据基本相近。因此,可利用不变矩描述物体特征来判别相似物体的特性。给定一特征模板,即可对变形闸瓦目标进行匹配识别。

2.2 边缘不变矩匹配方法

设模式 X 与 Y 所包含的特征有 m 个,即

$$X=(x_1, x_2, \dots, x_m), Y=(y_1, y_2, \dots, y_m)$$

定义 X 与 Y 的欧氏距离为^[6]

$$D(x, y) = \|X - Y\| = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2} \quad (9)$$

若 $D(x, y)$ 小于设定的阈值即可断定为两物体相似。在此,将模板和目标图像的边缘不变矩作为特征向量求欧氏距离,作为两者相似性准则,理论上 $D(x, y)$ 为最小值时,两者准确匹配。

2.3 改进的边缘不变矩匹配方法

边缘不变矩计算在理论上要求图像中目标的边界是单像素宽且连续的封闭曲线,实际应用图像边界可能不封闭,或非单像素宽,还有可能是分段连续等,若直接对提取的图像边缘求不变矩,则计算边缘不变矩时会引入误差,所以实际计算的图像边缘矩与理论计算的图像边缘矩存在一个误差带^[7]。若采用边缘不变矩进行图像匹配,模板与子图像最相似时不能保证该子图像就是要寻找的目标,为此引入匹配误差修正的方法,弥补误差影响。

由于图像匹配过程为特征模板在待匹配图像中移动,平移不变性没有存在的必要,而且还会增加计算量,造成较大的计算误差。且因为非平移不变性,使得当匹配到正确位置时,才能得出与边缘模板不变矩最相似的矩值^[7],因此修改原有公式,用原点矩代替中心矩,则有

$$\eta'_{pq} = \frac{m_{pq}}{(m_{00})^{p+q+1}}, \quad p+q=2,3 \quad (10)$$

则只有旋转和尺度不变性的边界矩特征为

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= (m_{20} + m_{02})/m_{00}^3 \\ \varphi_2 &= [(m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2]/m_{00}^6 \\ \varphi_3 &= [(m_{30} - 3m_{12})^2 + (3m_{21} - m_{03})^2]/m_{00}^8 \\ \varphi_4 &= [(m_{30} + m_{12})^2 + (m_{21} + m_{03})^2]/m_{00}^8 \\ \varphi_5 &= \{(m_{30} - 3m_{12})(m_{30} + m_{12})[(m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})^2] + \\ &\quad (3m_{21} - m_{03})(m_{21} + m_{03})[3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2]\}/m_{00}^{16} \\ \varphi_6 &= \{(m_{20} - m_{02})[(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2] + \\ &\quad 4m_{11}(m_{30} + m_{12})(m_{21} + m_{03})\}/m_{00}^{11} \\ \varphi_7 &= \{(3m_{21} - m_{03})(m_{30} + m_{12})[(m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})^2] + \\ &\quad (3m_{12} - m_{30})(m_{21} + m_{03})[3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2]\}/m_{00}^{16} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

一般来说,不变矩方法中选取4个低阶矩的组合即可用于物体的识别和分类^[8],而且高阶矩计算复杂,不仅耗时,还将放大计算误差,故选用4个低阶矩作为特征分量。

进行闸瓦图像匹配时,闸瓦模板图尺寸应略大于或等于场景图中闸瓦目标图像尺寸,同时对闸瓦目标图像进行图像预处理,这样确保闸瓦目标图像包含完整的不变矩特征,又排除过多的干扰信息。

考虑到误差影响,求取欧氏距离 $D(x, y)$ 最小的前 N 个值,这些值对应位置作为可能准确的候选位置,然后对这 N 个候选位置的待匹配图与模板图再行比较,得出最相似的匹配区域。这里, N 作为精度控制参数, N 越大精度越高,然而计算量也越大,需视情况选择合适的值。本试验选取 $N=5$ 可取得较好的配准结果,具体的实现步骤如下。

Step1 对初始目标图像和闸瓦模板图像进行预处理,用 Sobel 边缘检测算子得出边缘曲线。

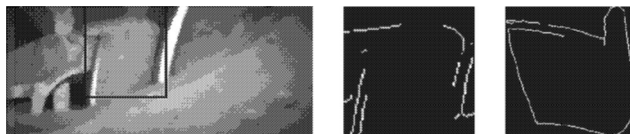
Step2 计算边缘闸瓦模板图像的4个边缘不变矩共同组成特征向量,用数组 Template 存储。

Step3 在闸瓦模板匹配过程中,计算待匹配边缘子图像的4个边缘不变矩,存入数组 Recognition 中,并计算 Recognition 和 Template 之间的欧氏距离,求取最小的5个值,按升序压入5个元素的栈 Min 中,同时把对应该值的区域左上角坐标值分别存储在 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 、 (x_4, y_4) 、 (x_5, y_5) 中。

Step4 依次对这5个值对应的图像灰度图和闸瓦模板灰度图进行直方图比较,得出最相似的匹配区域。

3 试验结果及分析

根据改进的边缘不变矩方法对闸瓦目标图像进行匹配运算,其匹配结果如图2所示。



(a) 改进边缘不变矩方法匹配结果之一 (b) 方框区域边缘 (c) 给定边缘模板

图2 改进边缘不变矩方法匹配结果分析

图2中,(c)为给定边缘模板;(a)为改进边缘不变矩方法匹配结果之一,用方框标示;(b)为方框区域对应的边缘图像。分别计算图2中(b)和(c)传统边缘不变矩、改进边缘不变矩和对应欧氏距离,计算结果如表2所示。

表2 传统和改进的边缘不变矩分量及欧氏距离

边缘不变矩量	分量1	分量2	分量3	分量4	欧氏距离
传统方法 a	3.327 8	8.542 3	11.551 6	14.076 7	3.391 1
传统方法 b	3.548 8	11.677 0	12.681 7	14.665 9	
改进方法 c	2.281 8	5.765 1	8.976 0	6.804 6	0.354 5
改进方法 d	2.423 3	5.726 7	8.851 4	7.102 3	

观察图2中(b)、(c)子图和表2数据, (b)比(c)缺少一定的特征点, 但总体轮廓相似。对比传统方法, 改进方法的不变矩量较相近, 欧氏距离也较小, 可见改进方法利用一定量的特征点即可提取形状特征作为相似性判断, 误差得到一定的修正。其中(c)模板图对应改进算法的4个最小欧氏距离图见图3所示。

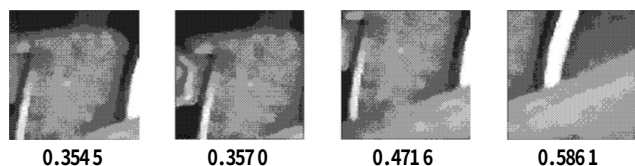


图3 改进算法的4个最小欧氏距离及对应图

为了进一步验证试验过程, 对一组30幅图的闸瓦场景图进行匹配识别。部分待匹配图如图4中各子图所示。为了进行边缘不变矩匹配, 需对图4的各子图进行边缘检测, 边缘检测结果见图5所示。

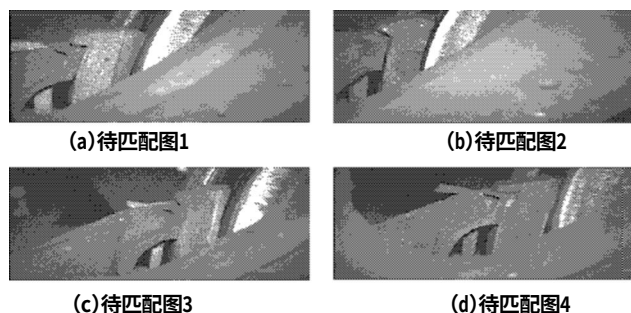


图4 闸瓦待匹配图

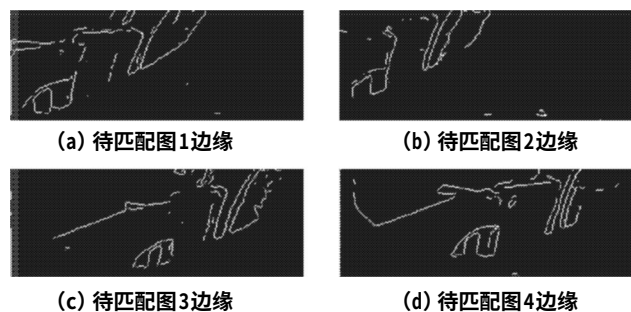


图5 待匹配图边缘检测

在特征匹配过程中, 采用10像素/步的步进速度, 计算窗口内的图像不变矩与模板图像不变矩的欧氏距离, 绘制步长和欧氏距离的关系图见图6所示。其中, 横坐标为步进次数, 纵坐标为欧氏距离。

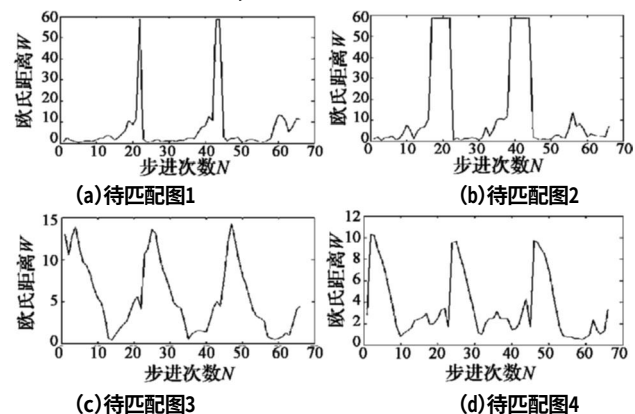


图6 闸瓦步进匹配时的欧氏距离示意图

观察图6发现, 当匹配窗口移动到闸瓦目标附近时, 欧氏距离数值比较接近。其中曲线大致呈现3个波谷的形状, 是因为本行扫描结束, 下行扫描到闸瓦附近的结果。子图(c)和(d)有3个较突出的极小值, 对应了闸瓦最近似的位置。一般来说, 它们在前 N 个最小值的范围之中, 然而, 如图6(a)、(b)所示, 波谷部分比较宽, 是因为有干扰曲线的影响和欧氏距离仅反应总体特征的特性, 使得计算值相近, 这也是选用前 N 个最小值和全部极小值的原因。

定义当匹配窗口中闸瓦面积占实际闸瓦面积70%以上时, 认为匹配正确。部分匹配结果如图7所示。试验表明, 当采集的图像具有较好的边缘质量时, 对于解决闸瓦灰度与轮对相近、灰度分布不均匀和存在遮挡的问题, 该方法具有其可行性。

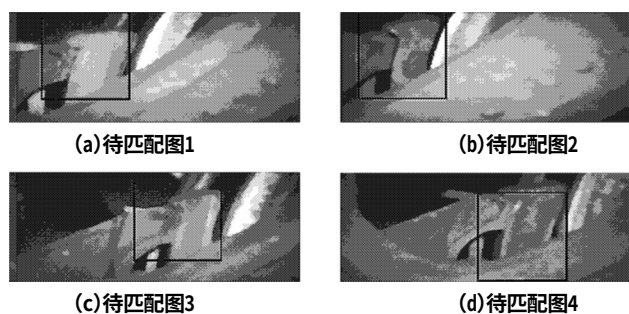


图7 正确匹配结果图

4 结论

本文提出一种基于改进的边缘不变矩匹配算法的闸瓦图像识别新方法。该匹配算法具有较强的抗灰度失真、噪声以及目标变形能力, 其边缘特征相对于图像灰度特征具有较强的稳定性。边缘不变矩匹配方法是采用边缘特征点不变矩匹配, 不易受灰度背景及遮挡的影响, 其优点是当边缘特征点突出时, 即使受到少量外来信息的干扰也能够正确匹配并准确地识别出闸瓦目标。

参考文献:

- [1] 高向东, 谢子方, 赵传敏, 等. 基于结构光视觉传感的轮对踏面擦伤快速检测[J]. 铁道学报, 2008, 30(2): 23-27.
- [2] 林海, 姚蓓, 张工力, 等. 闸瓦磨耗的图像检测方法[J]. 计算机工程与科学, 2005, 27(8): 38-40.
- [3] BALSLEV IVAR. Noise tolerance of moment invariants in pattern recognition[J]. Pattern Recognition Letters, 1998, 19(13): 1183-1189.
- [4] HU M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. IRE Trans. Inform. Theory, 1962, 8: 179-187.
- [5] CHEN C C. Improved moment invariants for shape discrimination[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(5): 683-686.
- [6] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [7] 王俊卿, 史泽林, 黄莎白. 一种改进的基于不变矩的图像匹配算法[J]. 模式识别与人工智能, 2005, 18(2): 228-233.
- [8] 许红平. 基于不变矩理论的字符串图像识别方法研究[J]. 浙江工业大学学报, 2007, 35(2): 210-213.