

文章编号: 1005-5630(2015)05-0387-05

轮对轮辋厚度检测中图像配准方法研究

邵完全, 吴开华, 陈强元

(杭州电子科技大学 生命信息与仪器工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对轮辋厚度参数的在线检测, 提出了基于双相机的轮辋厚度参数检测方法, 其中图像配准是影响该参数计算的重要因素。在分析轮对轮廓线图像特点的基础上, 提出了利用配准板特征点的图像配准方法, 设计了图像配准步骤, 采用仿射变换作为图像配准中的变换模型。为保证配准精度, 在综合考虑配准板上特征点的数量和特征点的分布的基础上设计了配准板。通过图像配准实验, 提取了配准板特征点坐标, 求解了仿射变换矩阵。实验表明, 该方法的配准精度为 2 个像素。

关键词: 轮辋厚度检测; 图像配准; 配准板; 仿射变换

中图分类号: TP 751.1 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2015.05.003

Research on image registration method for detecting wheel set rim thickness

SHAO Xianquan, WU Kaihua, CHEN Qiangyuan

(College of Life Information Science & Instrument Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The method about detection of rim thickness parameter based on dual camera is proposed. Image registration is an important factor affecting the parameter calculation. Based on analyzing the characteristics of images of wheel contour, an image registration method is proposed, which relies on the feature point on registration plate. The image registration steps are designed. The affine transformation model is determined. The registration plate is designed for the consideration of the distribution and the number of feature points on the registration plate. The accuracy can be guaranteed. Through the experiment of image registration, the coordinates of feature points is extracted. The affine transformation matrix is solved. In the experiment, the accuracy is 2 pixels.

Keywords: rim thickness detection; image registration; registration plate; affine transformation

引 言

车辆轮对作为与轨道直接接触的部件, 是影响车辆安全行驶的一个重要因素, 对其各项参数进行在线检测是保障行车安全的重要措施^[1], 其中轮辋厚度是轮对在线检测中的一项重要参数。目前基于机器视觉^[2]

收稿日期: 2015-02-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61372155)

作者简介: 邵完全(1989—), 男, 硕士研究生, 主要从事光电检测技术及仪器方面的研究。E-mail: beyond0516@126.com

的轮对轮辋厚度检测方法在国内外已经开展了一定的研究,文献[3]基于三角法测量原理,通过图像采集处理实现了轮辋厚度参数的检测,其在线检测误差 $\leq \pm 0.84$ mm。文献[4]提出了一种基于单相机双激光源的检测方法,通过图像处理算法提取轮对轮辋轮廓线并进行参数计算,在线检测误差 $\leq \pm 0.76$ mm。

图像配准是机器视觉检测中非常重要的技术,其中基于特征的图像配准方法应用广泛^[5-9]。本文提出将基于特征的图像配准方法应用于轮对轮辋厚度参数的检测中,通过增加配准板提供特征点以实现图像配准。

1 轮对轮辋厚度参数图像配准方法

轮辋厚度即轮辋内侧面和内径面交线到踏面滚动圆的径向距离,如图 1 中 MN 所示,定义图 1 中点 M 为轮辋厚度的外端点,点 N 为轮辋厚度的内端点。因为轮辋位置的特殊性,为了确保能准确获取到内端点的位置从而提高检测精度,本文提出了基于双相机双激光源的检测方法,检测模型如图 2 所示。

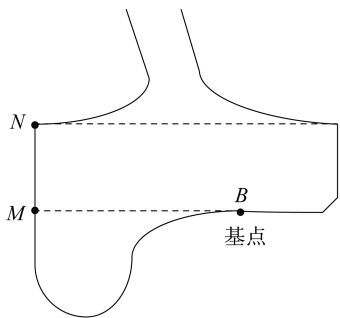


图 1 轮辋厚度参数定义

Fig. 1 The definition of rim thickness parameter

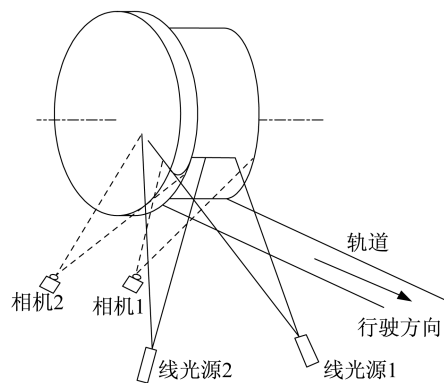


图 2 轮辋厚度检测模型

Fig. 2 The model of rim thickness detection

通过相机位置、图像采集视场的合理设计,相机 1 和相机 2 采集轮对轮廓的图像示意图如图 3 所示。

为了求取轮辋厚度参数,需要对图 3 中的两幅图像进行配准。定义图 3(a)为参考图像,即作为配准中提供参考坐标系的图像;图 3(b)为待配准图像,即需要根据变换矩阵变换到参考坐标系中的图像。

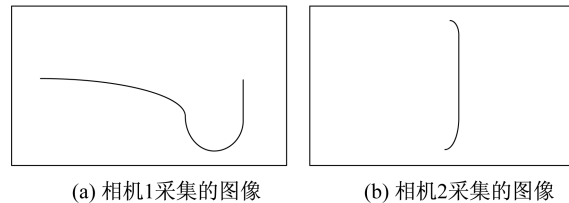


图 3 轮对轮廓图像示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the wheel set contour images

由图 3 可知,两幅图像重合的比重小,且图像曲线圆滑,角点、拐点数量少且不明显,因此难以直接在图像中提取特征点。本文利用配准板提供特征点来实现空间变换关系的求解进而实现配准,主要步骤为:

- (1) 按照设计位置固定相机 1 和相机 2,标定相机 1,确定相机 1 内外部参数。
- (2) 根据相机采集图像之间的变换关系选择空间变换模型。
- (3) 综合考虑特征点的分布和数量设计配准板。
- (4) 安装配准板,触发相机 1 和相机 2 采集配准板图像,分别提取两幅图像上特征点坐标并根据特征点的排列进行配对,即两幅图像中同一个特征点的坐标为一对。
- (5) 带入空间变换模型对应的变换公式,求解变换矩阵。
- (6) 采集两幅轮对轮廓曲线图像,根据变换矩阵进行图像配准。
- (7) 处理配准后图像,根据轮辋厚度参数定义和相机内外部参数进行参数求解。

2 变换模型

图像配准的本质就是寻找参考图像和待配准图像之间的变换关系,因此建立变换模型是图像配准技

术中很重要的一个组成部分。本文通过不同的相机从不同的角度对同一物体成像,获取的参考图像和待配准图像之间的变换关系为仿射变换,因此建立仿射变换模型进行图像配准。定义参考图像中点的坐标为 $p(x, y)$, 待配准图像中点的坐标为 $p'(x', y')$, 则仿射变换公式为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{H} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 x' + a_2 y' + a_3 \\ a_4 x' + a_5 y' + a_6 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ 为仿射变换参数; \mathbf{H} 为变换矩阵。

3 配准板设计

该配准方法利用配准板提供特征点, 因此特征点的分布和数量是影响图像配准效果和精度的重要因素。特征点分布方面, 根据图 3 可知轮对轮廓图像存在以下特点: 首先是轮对轮廓线像素占据图像总像素个数的比例较小; 其次是因为轮对磨耗以及检测环境影响等因素, 轮廓线在图像中的位置会发生改变, 因此需要确定轮廓线位置的变化范围, 保证其出现在特征点的分布范围之内。

特征点数量方面, 根据式(1)可知, 存在 6 个仿射变换参数, 因此至少需要建立一个包含 6 个方程的方程组, 所以至少需要 3 个特征点。但是特征点数量太少, 会使求取的转换矩阵难以满足精度要求, 数量太多对于提高精度也没有明显的作用, 反而使运算复杂化。经过实验验证, 大于 25 个特征点即可满足精度要求。

综合考虑特征点的分布和特征点的数量, 设计配准板上特征点的数量为 36, 且特征点分布中行与行之间等间距, 列于列之间等间距。配准板尺寸和特征点分布图如图 4 所示。

图 4 中十字叉为特征点的位置, 标号①~⑩标记的是精度验证实验中的特征点, 标号本身不作为配准板的一部分。

4 配准方法实现

触发相机 1 和相机 2 采集配准板的图像, 采集示意图如图 5 所示, 得到图 6 所示图像, 其中图 6(a) 为相机 1 采集的配准板图像, 定为参考图像, 图 6(b) 为相机 2 采集的配准板图像, 定为待配准图像。

分别提取图 6(a) 和图 6(b) 中的特征点的坐标, 并根据特征点的排列进行配对, 得到一组特征点对, 将特征点对的坐标代入式(1)建立多维方程组, 解方程组即可以求得变换矩阵。当车辆经过时, 触发相机 1 和相机 2 采集两幅轮对轮廓曲线图 P1 和 P2 (P1 为参考图像, P2 为待配准图像), 同时定义图 P3。首先取出变换矩阵并对 P2 进行逐坐标变换, 将变换后的图像信息保存在图 P3 中, 此时 P3 为 P1 坐标下 P2 的变换图。根据灰度合并 P1 和 P3 并将最后的结果保存在 P1 中, 得到完整的轮对轮廓曲线图。

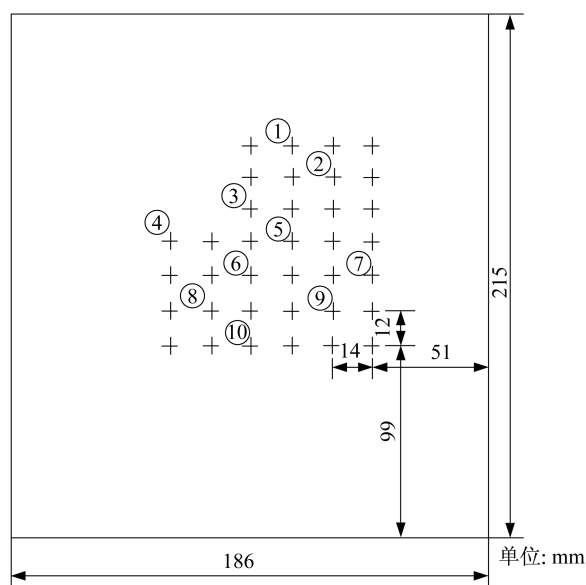


图 4 配准板尺寸及特征点分布图

Fig. 4 Size of registration board and distribution of feature points

5 图像配准实验

5.1 变换矩阵求解实验

针对图像配准效果和图像配准精度验证进行了实验, 实验设备包括 JAI CM-140GE 相机(分辨率为 $1\ 392 \times 1\ 040$, CCD 像元尺寸为 $4.65\ \mu\text{m} \times 4.65\ \mu\text{m}$)、配准板以及其它支架和固定装置。实验步骤如下:

(1) 根据视场分析, 确定相机位置、俯仰角和偏角以及配准板安装底座的位置。以铁轨上表面为参考平面, 相机 1 和相机 2 的位置以及相机俯仰角和偏转角如图 7 所示。相机 1 的偏转角为 19° , 俯仰角为

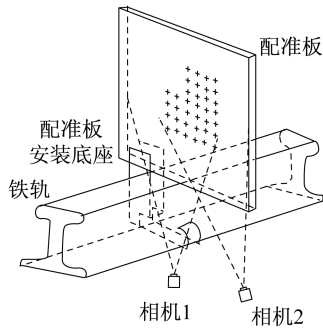
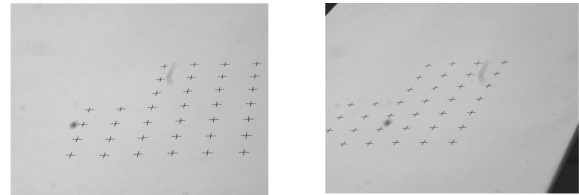


图 5 采集示意图

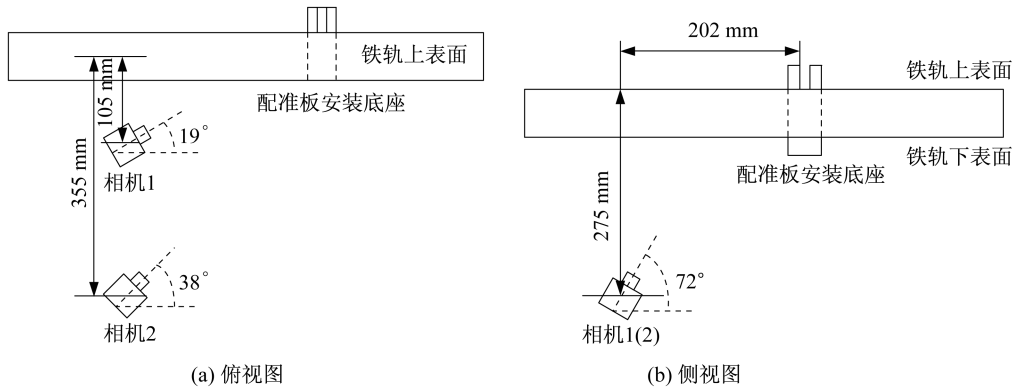
Fig. 5 Schematic diagram of acquisition



(a) 相机1采集的配准板图像 (b) 相机2采集的配准板图像

图 6 相机采集配准板所得图像

Fig. 6 Images of registration plate acquired by cameras



(a) 俯视图

(b) 侧视图

图 7 相机安装示意图

Fig. 7 Installation of cameras

72°, 相机 2 的偏转角为 38°, 俯仰角为 72°。标定相机 1 及求解其内外部参数的工作已经完成, 参见文献[10]。

(2) 将配准板安装在底座上, 触发相机 1 和相机 2 采集配准板图像, 如图 6 所示。

(3) 提取图 6(a) 和图 6(b) 中的特征点的坐标 (以左上方第一个像素为图像坐标原点, 横向为 x 轴, 纵向为 y 轴)。根据图 4 将点进行分类, 其中标号①~⑩的特征点用来验证配准精度, 其余特征点用来求解变换矩阵。按照行自上而下, 每一行从左向右的顺序分别提取图 6(a) 和图 6(b) 中未标号的 25 对来求解变换矩阵的特征点的坐标, 将同一个特征点在两幅图像中的坐标标记为一个特征点坐标对, 结果见表 1。

(4) 将表 1 中的 25 对特征点对的坐标代入式 (1), 得到超定方程组。采用最小二乘法解方程组, 求得仿射变换参数, 得到变换矩阵 H 为

$$H = \begin{bmatrix} 0.8835 & 0.5257 & 151.7487 \\ 0.4219 & -0.0238 & 135.9715 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

5.2 配准精度分析

为了验证该配准方法的配准精度, 根据图 4 中

表 1 变换矩阵计算点坐标

Tab. 1 The coordinate of points for calculating transformation matrix

序号	图 6(a)	图 6(b)	序号	图 6(a)	图 6(b)
1	(830,340)	(563,344)	14	(392,653)	(80,626)
2	(1158,329)	(837,332)	15	(566,650)	(217,620)
3	(1329,326)	(983,326)	16	(916,635)	(498,610)
4	(809,411)	(513,409)	17	(1097,628)	(644,603)
5	(975,400)	(649,398)	18	(358,734)	(19,696)
6	(1318,393)	(939,389)	19	(715,725)	(300,690)
7	(956,475)	(601,466)	20	(892,720)	(443,684)
8	(1128,467)	(745,458)	21	(1272,713)	(751,680)
9	(1308,464)	(894,454)	22	(506,820)	(98,771)
10	(594,571)	(275,554)	23	(873,808)	(388,762)
11	(764,562)	(411,546)	24	(1062,807)	(839,763)
12	(1113,545)	(693,508)	25	(1259,803)	(699,761)
13	(1296,542)	(848,525)			

的标号①~⑩分别从图 6(a)和 6(b)中提取相应位置特征点的坐标。图 6(b)中特征点的坐标根据变换矩阵进行坐标变换,将得到的图 6(b)变换后的坐标与图 6(a)中相同特征点的坐标进行比对,结果如表 2 所示。

表 2 配准精度验证实验

Tab. 2 Experimental verification of the accuracy of registration

取点顺序	图 6(b)	图 6(b)变换后	图 6(a)	坐标误差
1	(696,335)	(993,329)	(993,330)	(0,-1)
2	(790,394)	(1 143,396)	(1 143,396)	(0,0)
3	(462,475)	(789,484)	(788,484)	(1,0)
4	(139,558)	(422,567)	(424,576)	(-2,0)
5	(551,537)	(937,553)	(937,553)	(0,0)
6	(365,618)	(740,642)	(740,642)	(0,0)
7	(800,602)	(1 284,621)	(1 284,622)	(0,-1)
8	(159,695)	(536,735)	(536,733)	(0,2)
9	(593,653)	(1 080,715)	(1 080,715)	(0,0)
10	(240,766)	(688,813)	(688,814)	(0,-1)

经过 10 组数据比较,图 6(b)中特征点坐标转换后的像素坐标与图 6(a)中相同特征点像素坐标误差不超过 2 个像素。

以上变换矩阵求解实验和配准精度分析实验各重复 20 组,每一组得到的配准误差均小于 2 个像素。

6 结 论

本文主要研究了轮对轮辋厚度参数检测中图像配准的方法,根据轮对轮廓曲线图像的特点选择了基于特征法的图像配准方法,并增加配准板提供特征点进行图像配准。根据图像变换类型确定了仿射变换模型,并根据特征点的分布和数量设计了配准板。最后进行了变换矩阵求解实验和配准精度验证实验,实验表明,该配准方法的配准精度为 2 个像素。

参考文献:

- [1] 成文凭. 基于机器视觉的车辆轮对尺寸检测技术研究[D]. 北京:北京交通大学,2011.
- [2] 谢珺,黄伟. 机器视觉在轮胎检测领域的应用研究[J]. 光学仪器,2013,35(3):32-35.
- [3] 张志峰,高岩,任宇芬,等. 非接触测量在轮对参数检测技术的应用[J]. 激光与红外,2010,40(10):1125-1130.
- [4] 郭琼. 激光视觉技术在轮对几何参数检测中的应用研究[D]. 北京:北京交通大学,2007.
- [5] 王玉亮,沈建新,廖文和. 基于 SIFT 特征的眼底图像自动拼接[J]. 中国图象图形学报,2011,16(4):654-659.
- [6] 陈硕,吴成东,陈东岳. 基于视觉显著性特征的快速场景配准方法[J]. 中国图象图形学报,2011,16(7):1241-1247.
- [7] 赵明,林长青. 基于改进 SIFT 特征的红外与可见光图像配准方法[J]. 光电工程,2011,38(9):130-136.
- [8] 陈华. 基于特征的图像配准方法综述[J]. 数字化用户,2014(9):143-144.
- [9] 李茜,郭佳,郭小云. 基于边缘检测小波变换的红外与可见光图像融合方法[J]. 光学仪器,2013,35(1):18-21.
- [10] 肖帆. 轮对磨损检测中的标定方法与技术研究[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2012.

(编辑:刘铁英)