

基于机器视觉的激光焊缝余高检测技术

李 凯¹ 何广忠¹ 王春生¹ 王洪潇¹ 王丽萍²

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司工程技术中心, 130062, 长春;

2. 中车长春轨道客车股份有限公司质量保证部, 130062, 长春//第一作者, 高级工程师)

摘 要 激光焊技术的应用促进了轨道车辆产品的档次提升,而在搭接接头焊接过程中,由于间隙影响会出现焊缝表面余高不足,直接影响焊缝质量。传统的表面余高测量方法无法满足检测精度及交检节拍要求。针对这一检测需求,研究开发了基于机器视觉的激光焊缝余高检测技术。该技术通过重建焊缝表面点云,进行图像校正与分析,获取特征点并计算余高。通过试验验证了该方法的可靠性及检测精度。所测余高值与破坏性金相检测方法测量余高值之间的差异对比结果表明,其检测精度优于 0.05 mm,能够满足激光焊质量评估要求。

关键词 轨道交通车辆; 激光焊缝; 余高检测; 机器视觉

中图分类号 U270.6⁺7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.02.031

Remaining-height Detection Technology of Laser Weld Bead based on Machine Vision

LI Kai, HE Guangzhong, WANG Chunsheng, WANG Hongxiao, WANG Liping

Abstract The application of laser welding technology has promoted the upgrading of railway vehicle products. However in the process of lap laser welding, due to the existence of gaps, the remaining-height of weld bead is insufficient, which directly affects the welding quality. The traditional remaining-height measuring method cannot meet the requirements of the detection accuracy and the hand over deadline. Targeting this measuring demand, a laser weld remaining-height detection technology based on machine vision was developed. By reconstructing the point cloud on the weld surface, image correction and analysis was carried out to obtain the feature points and to calculate the value of remaining-height. The reliability and detection accuracy of this method was verified by experiments. The difference comparison result between remaining-height measured by this method and that by destructive metallographic method has shown that the detection accuracy of the machine vision method was better than 0.05 mm, which was sufficient to meet the requirements of laser welding quality evaluation.

Key words rail transit vehicle; laser weld bead; remaining-

height; machine vision

Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

近年来,随着轨道交通车辆激光焊技术的发展,相关公司逐步推出了多款激光焊车辆产品。激光焊技术的引入显著改善了产品的外观及侧墙变形,使产品档次得到了提升。在轨道车辆应用中,激光焊主要焊接接头形式为对接及搭接。对于搭接接头,搭接间隙是影响接头熔合的关键因素,在生产中需要通过工装及设备压紧的方式保证把搭接间隙控制在合理范围。但也存在少部分因料件精度不足造成间隙超标进而引起搭接接头焊接熔合不良问题。研究发现,搭接焊缝表面下凹量与间隙存在一定关系,通过检测表面余高或下凹量可以判断出接头熔合情况。因此在批量生产中,如何快速、精确获得该值,成为质量检测工程师的研究重点。

由于车体不锈钢薄板搭接激光焊缝表面余高或凹陷尺度较小,采用传统百分表测量方法,既难以满足测量精度的要求,也无法适应生产交检节拍的需求。随着机器视觉技术的发展,越来越多的非接触测量方法应用于工业化领域,例如在农产品质量分级中^[1-4],已经实现了种类瓜果基于尺寸、颜色、损伤情况等特征的分级应用,检测质量与效率均明显高于人工。针对微小尺寸检测方面,机器视觉技术也具有效率与精度的良好平衡。文献[5]应用机器视觉技术构建了齿轮加工质量手动检测系统,通过滤波、边缘检测等算法实现了检测精度优于 0.008 mm。文献[6]研究了铝型材出现的水泡和刮伤两类表面缺陷的检测和分类,采用人工神经网络及梯度的共生矩阵技术来检测和分类缺陷,实现 98.6%的总测试精度。文献[7]基于光度立体三维测量方法对轧制铝带表面微小缺陷进行了研究,

采用二维、三维信息融合测量方法,实现了缺陷的在线检测。文献[8]针对管板焊缝典型表面缺陷,构建了机器视觉检测试验平台,采用基于深度卷积神经网络的缺陷识别的算法,实现了 96.34% 的准确率。

本文围绕激光焊缝表面微小尺寸检测需求,基于机器视觉检测技术,开发了高效、准确的自动化焊缝余高检测系统,实现了非接触式的检测评估,可为激光焊技术在轨道车辆制造领域的应用提供有效支撑。

1 机器视觉识别系统

不锈钢车体激光焊缝长度一般在 30~50 mm,焊缝宽度在 2 mm 以内,焊缝余高小于 1.5 mm,当余高为负值时即为下凹。一般认为,下凹量超过一定值时即判定为缺陷焊缝,本文中要求焊缝余高不低于 -0.1 mm。根据上述被测对象,构建基于单点激光测距传感器的视觉识别系统,其主要组成如图 1 所示。

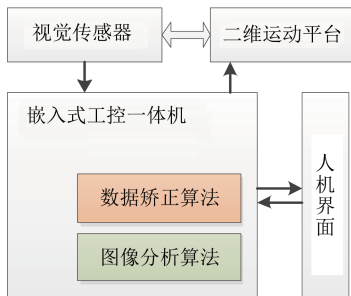


图1 视觉识别系统组成示意图

如图 1 所示:通过视觉传感器采集焊缝表面单点的位置信息,在二维运动平台的带动下,能够完成焊缝所在兴趣区域内的扫描测量;视觉传感器与二维运动平台通过数字接口与嵌入式工控机进行通信;嵌入式工控机内置数据矫正算法、图像分析算法,外部与触摸屏等输入输出设备连接,可根据需要通过人机界面进行参数的输入与检测结果的输出。

由于被测对象的测量精度相对视觉识别系统要求较高,且尺寸不大,因此视觉传感器选型时优先考虑了单点光斑的激光测距传感器。其型号为松下 HL-G103-A-C5,焦距为 30 mm,量程为 -4~4 mm,光斑直径为 0.1 mm,采样周期为 200 μ s,非常适合于小尺度几何形态的快速测量。二维运动平台采用紧凑型滚珠丝杠,焊缝宽度方向量程为

10 mm,焊缝长度方向量程为 60 mm,重复运动定位精度小于 50 μ m。控制器采用一体化的嵌入式工控机,带有触摸屏模块,能够实现较好的便携性。

2 数据校正与图像分析

焊缝区域通过上述系统完成扫查后,能够重建焊缝表面点云信息,但在实际应用过程中,可能会出现如下情况:扫查平面与工件表面未能平行,可能沿某一个轴或几个轴存在一定的夹角,这将会引起扫查点云整体位置的倾斜及旋转,从而会影响后续图像分析。针对这一情况,采用三维坐标变换的方式予以校正。图 2 为点云中的坐标变换示意图。

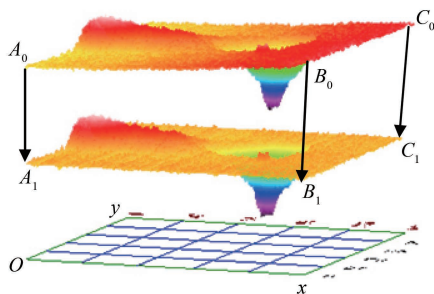


图2 点云中的坐标变换示意图

如图 2 所示,首先在初始点云中确定工件表面平面位置,例如工件平面可由 $A_0B_0C_0$ 表示,且基坐标中的 xoy 平面与其不平行。为简化后续算法中有点云相对位置的计算,需要将点云整体旋转变换至目标位置,以满足变换后的点云工件平面 $A_1B_1C_1$ 平行于 xoy 平面。在 oxy 笛卡尔直角坐标系中,目标点云平面可以通过如下方法获得:矩阵 0_1R 表示从原位置 0 变换至目标位置 1 时的旋转矩阵,可简化为分别绕 3 个轴的旋转的累积,以 R_x 、 R_y 、 R_z 分别表示绕 x 轴、 y 轴、 z 轴旋转的变换矩阵。则有:

$${}^0_1R = R_x R_y R_z \quad (1)$$

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中:

γ ——绕 z 轴旋转角度;
 β ——绕 y 轴旋转角度;
 α ——绕 x 轴旋转角度。

因此,只要求得目标位置所需要 γ, β, α ,即可通过坐标变换算法将点云中的所有点旋转至目标位置。设原位置任意一点 0S_i 表示为:

$${}^0S_i = [{}^0x_i, {}^0y_i, {}^0z_i]^T \quad (5)$$

根据坐标变换,对应目标位置 1S_i 通过坐标变换可得:

$${}^1S_i = {}^1R {}^0S_i \quad (6)$$

即得出矫正后的点云图像。

随后进一步对图像进行分析,以获取焊缝轮廓特征点及计算焊缝余高。所设计的图像分析算法中,首先对点云数据延焊缝方向取截面,并进行光滑处理,结果如图3所示。

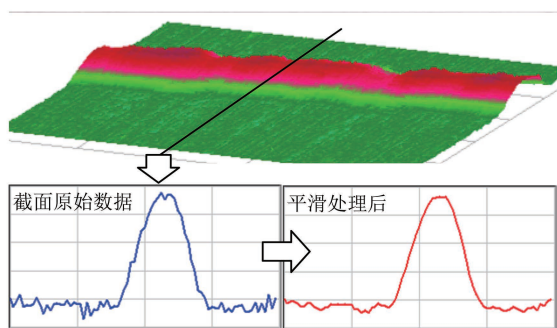


图3 点云截面图像处理截图

焊缝轮廓特征点的识别采取了如下方法:首先确定轮廓线的最大值(或最小值) T 点,计算轮廓线的中值点 K_1, K_2 的位置;然后分别计算轮廓线在 K_1, K_2 点的切线,该两条切线与工件表面的水平线相交,交点为焊缝的边缘点 D_1, D_2 ;最后计算求得 T 点与 D_1, D_2 沿纵坐标方向距离的平均值 ΔH ,即为该截面处的焊缝余高或凹陷值。进而可通过该值判断焊缝质量。图4为截面轮廓特征点的识别与余高计算示意图。

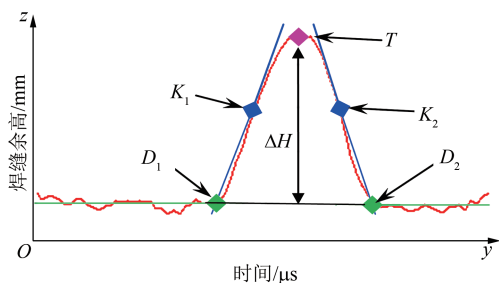


图4 截面轮廓特征点的识别与余高计算示意图

3 检测结果验证

基于嵌入式工控机与触摸屏,开发了显示实时状态的人机界面,可实现检测点云的实时显示,便于结合焊缝状态,判断缺陷产生位置及原因。图5为针对某条焊缝端部的检测结果,由图5可见,在焊缝结束处存在凹陷。该凹陷深度不得大于质量控制标准的最低值,否则将判定为缺陷焊缝。基于视觉传感的上述非接触式检测设备能够较好地检测这类细微的凹陷,具有较好的可靠性。

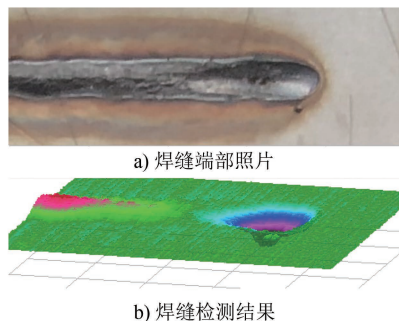


图5 激光焊缝端部照片与检测结果对比

为了验证检测精度,通过激光焊试验预制了5组不同表面余高状态的试验试样,每组10片,搭接接头板厚组合为 $1.0 \text{ mm} + 0.6 \text{ mm}$ 。采用上述检测设备对其焊缝表面余高进行测试,同时采用破坏性检验对每个试验片的3个位置进行金相检测以实测余高,将两者进行对比验证该非接触式检测方法的效率及有效性,结果如图6所示。

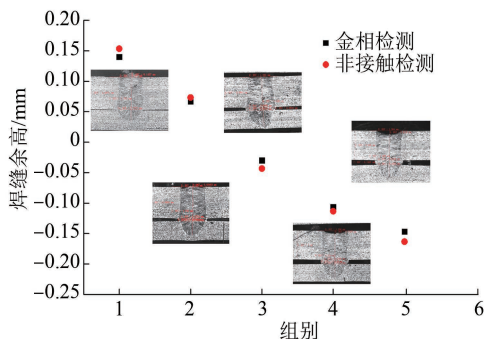


图6 激光焊缝余高检测结果对比

由图6可见,随着搭接接头两板层间预置间隙的增大,焊缝的余高随之下降。金相检测结果及非接触式检测结果对比分析表明,基于视觉传感器的非接触式检测装置能精确地反映焊缝表面轮廓几何特征,检测精度优于 0.05 mm ,能够满足不锈钢车体激光焊缝表面质量的检验需求。单条焊缝测量

点密度可根据需要进行增加或减少,相比传统百分表检验方法,效率提高 10 倍以上。

4 结论

1) 基于机器视觉技术构建了激光焊缝下凹量检测系统,通过数据校正与图像分析算法,实现三位点云图像的校正、特征点的判断与提取、余高的自动测量。

2) 通过试验验证了该检测技术的可靠性及检测精度。对比金相结果可知,其检测精度优于 0.05 mm。

参考文献

[1] CUBERO S,ALEIXOS N,ENRIQUE M,et al.Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables[J].Food and Bioprocess Technology,2011,4(4): 487.

[2] 李运志,ZHANG Q,陈弘毅,等.基于机器视觉的半干枣病害和裂纹识别研究[J].农机化研究,2016,38(8): 120.
[3] 王干,孙力,李雪梅,等.基于机器视觉的脐橙采后田间分级系统设计[J].江苏大学学报(自然科学版),2017(6): 57.
[4] 王风云,封文杰,郑纪业,等.基于机器视觉的双孢蘑菇在线自动分级系统设计与试验[J].农业工程学报,2018, 34 (7): 256.
[5] 丁红昌,程远.基于机器视觉检测齿轮加工质量的研究[J].长春师范大学学报,2019(6): 24.
[6] CHONDRONASIOS A,POPOV I,JORDANOV I.Feature selection for surface defect classification of extruded aluminum profiles [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2016,83(1): 33.
[7] 王磊.基于光度立体的金属板带表面缺陷三维检测方法[D].北京: 北京科技大学,2019.
[8] 褚慧慧.基于视觉的焊缝质量检测技术研究[D].哈尔滨: 哈尔滨工程大学,2017.

(收稿日期:2019-08-25)

(上接第 124 页)

出的牵引和制动指令继电器的触点传入到车辆牵引制动指令硬线电路的冗余设计。经过改进,此故障得到了消除,并且已经通过现车的测试。由此可见,牵引制动指令的原理图要结合项目牵引制动指令输出\读入原理来设计,结合信号系统与网络系统之间的指令传输方式来确定外围电路的合理性,不必要的设计非但不能增加车辆的可靠性还会带来系统不必要的报警以及车辆的故障点^[3-4]。

参考文献

[1] 陈恒宇.CBTC 信号系统下的驾驶模式及转换原则[J].铁路

通信信号工程技术,2010,7(6): 58.

[2] 张哲,南景宏,李亮,等.地铁车辆牵引与制动系统研究[J].工程技术,2017(3): 17.
[3] 魏红梅,段利娟.沈阳地铁 1 号线列车牵引/制动指令输出故障的分析及解决方案[J].电力机车与城轨车辆,2012, 35 (5): 77.
[4] 朱鹏举.广州地铁牵引制动指令同时存在故障分析及解决措施[J].机车电传动,2013(4): 63.

(收稿日期:2019-08-25)

(上接第 126 页)

进行了简要介绍;同时通过对防滑速度传感器的测速原理研究,得出传感器的测速算法;结合车辆高级修调试故障分析,总结出 2 种清除制动系统故障代码的方法,使用该方法可提高车辆调试效率。

参考文献

[1] 王新祥.高速动车组速度传感器解析[J].科技创新与应用,

2017(5): 84.

[2] 张长青.CRH3C 动车组轴速度传感器检测原理及代码分析[J].高速铁路技术,2016(1): 15.

(收稿日期:2019-08-25)