

客车地板骨架单片智能 AI 视觉弧焊工作站的研发

郑建兴, 赵国龙, 赵 涛

(厦门金龙汽车智能科技有限公司, 福建 厦门 361023)

摘要:分析焊接机器人的发展和客车骨架焊接行业的现状,提出智能 AI 视觉弧焊工作站解决方案。拓展了 AI 视觉在焊接领域的应用范围。

关键词:客车; 地板骨架; AI 视觉; 弧焊工作站

中图分类号: TP24; U466

文献标志码: A

DOI: 10.15917/j.cnki.1006-3331.2025.02.010

Development of Intelligent AI Vision Arc Welding Workstation for Single Piece of Bus Floor Skeleton

ZHENG Jianxing, ZHAO Guolong, ZHAO Tao

(Xiamen Jinlong Automobile Automotive Intelligent Co., Ltd., Xiamen 361023, China)

Abstract: The authors analyze the development of welding robots and the current situation of the bus skeleton welding industry. They propose an intelligent AI vision arc welding workstation that expands the application scope of AI vision in welding field.

Key words: bus; floor skeleton; AI vision; arc welding work station

车身骨架焊接是客车制造流程中的关键环节,其质量与效率直接关系到整车品质。客车车身骨架结构复杂,由多类型杆件构成,焊接要求各异。采用传统弧焊方法焊接客车车身骨架时,因过度依赖人工、精度提升难问题,已难以满足产业发展需求。鉴于此,研发智能 AI 视觉弧焊工作站很有必要。一般弧焊工作站由机器人系统、焊接电源系统、工装夹具和控制系统^[1]等组成,其中机器人系统最为关键。智能 AI 视觉工作站是在一般弧焊工作站的基础上融合 AI 视觉技术,通过智能识别与自动控制,实现高效精准的焊接,从而推动客车制造升级。

目前,已有多位学者对机器人焊接工作站进行了研究,其中,文献[2]对视觉技术的水下焊接机器人系统进行研究;文献[3]对 3D 视觉机器人焊接智能轨迹规划关键技术进行研究;文献[4]对视觉伺服的弧焊机器人焊接路径获取方法进行研究;文献[5]对主动视觉的激光焊接焊缝跟踪系统进行研究;文献[6]通过 3D 视觉对窄隙焊接进行跟踪;文献[7]通过

2D、图像匹配和三角测量的方法,识别出焊缝特征点;文献[8]对自适应管道焊接系统进行研究,针对机器人焊接过程中轨迹一致性差问题,提供了验证和缩小系统误差的标定方法。

从机器人焊接工作站现状来看,主要在焊缝跟踪技术、多台焊接机器人及外围设备的协调控制技术、机器人专用弧焊电源技术、焊接机器人系统仿真技术、机器人焊接工艺方法等方面开展研究^[9]。本文重点对机器人系统 AI 焊缝识别和路径规划进行研究。

1 客车骨架焊接行业现状

随着客户对车型定制化要求的增多,车型也越来越多。在大中型客车骨架焊接生产领域,焊接的工序也越来越多,存在工装多、杂、乱,场地占用面积大,维护成本高,利用率低,精度低等问题。最早的焊接方式是工人根据焊接经验进行手工焊接,自动化水平低^[10]。这种方式不仅效率低下,产品的质量也难以保证。经过发展,传统弧焊机器人焊接技术得到了一

收稿日期: 2024-08-21。

第一作者: 郑建兴(1988—),男,工程师,主要从事汽车智能装备研发工作。E-mail: jianxing.zheng@mail.king-long.com.cn。

定程度的应用,焊接质量明显提高。但是现有的传统弧焊机器人焊接轨迹通常需要人工示教,且其工作站上的配套工装复杂,能够完成的焊接类型及零部件数量有限。

基于以上原因及现状,我司新研发一套智能 AI 视觉弧焊工作站,对组成客车地板骨架的单片进行焊接。其技术方案是应用自动控制技术、3D 视觉技术、AI 自学习技术,实现免示教、免编程、自主决策(自主确定焊缝、自主规划焊接路径)和自动焊接等功能。旨在解决配套工装多、杂、乱问题,工装切换后机器人需要人工示教问题,焊接质量差和效率低问题。

2 智能 AI 视觉弧焊工作站设计

智能 AI 视觉弧焊工作站由焊接机器人、焊接系统、视觉系统、电控系统、滑台和柔性平台等构成。在项目初期(即本文内容)先构建一个“单机机器人双工位单滑台”的小型工作站,后续再扩展到双机器人协同系统工作站。初期工作站示意图如图 1 所示。

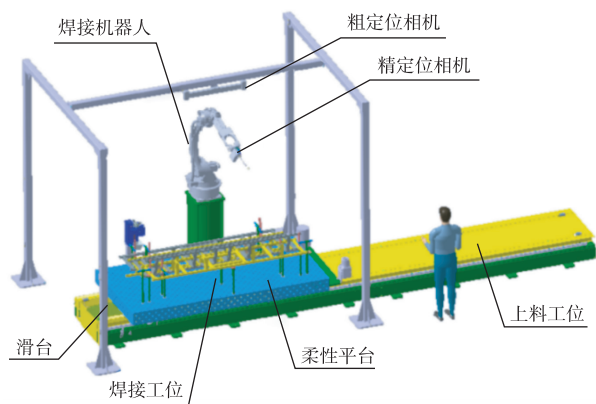


图 1 初期工作站示意图

初期工作站配置一台安川 AR2010 焊接机器人,带外部轴控制滑台,实现上料工位和焊接工位的双工位切换,上料方式为人工上下料。滑台上安装柔性平台,柔性平台上配置快速夹钳。柔性平台首先在滑台的右端进行上料,然后滑到滑台的左端(即图中位置)进行焊接。滑台行程 4 000 mm,平台尺寸为 3 000 mm×1 500 mm。配一套焊接系统和一套视觉系统,焊接系统包含电源、送丝机、空冷焊枪及清枪送丝机等;视觉系统包含粗定位相机和精定位相机。整个工作站由工控机控制,工作站功率为 30 kW,工作

站占地面积为 10 500 mm×4 500 mm。

2.1 工作站关键技术

本工作站通过视觉系统进行 3D 逆向建模,得到工件的位置信息;通过焊缝 AI 自适应模块对焊缝进行精准识别;通过路径规划算法生成机器人运行轨迹,实现焊缝的精确定位,并调用相应的焊接工艺包完成焊缝焊接。

2.1.1 机器人视觉系统

机器人视觉系统通常由图像采集设备、图像处理单元和相关算法软件等组成。

1) 本工作站中的图像采集设备是粗定位和精定位两个 3D 结构光相机。粗定位相机负责获取整个工件的图像信息,精定位相机负责获取焊缝的图像信息。在拍照过程中,根据不同的曝光时间,一次性可拍摄 13 张、20 张或 24 张,然后合成点云图像信息。

2) 图像处理单元对采集到的点云图像进行预处理。本工作站采用的方法有两种:①基于点云统计分析,通过计算局部邻域内点的密度分布特征,识别并剔除偏离正态分布的离群噪声点。②设定一个半径范围,本工作站中半径可设置在 1~5 mm 之间,若该范围内点的数量小于 500 点,则当作噪声去除。本工作站先用第一种方法处理,再用第二种方法优化,以此来提高点云数据的质量,使后续处理更准确。

3) 通过 SIFT 算法进行特征点、轮廓线特征提取,根据提取的特征信息和相机参数信息进行 3D 逆向建模,3D 模型再通过 SFM 算法完善精度和细节。

通过机器人视觉系统,再结合 AI 焊缝模型,可精确得到焊缝的位置信息,包括是否是焊缝、焊缝起点和终点定位、焊缝的宽度等。

2.1.2 AI 精准识别焊缝

通过迭代式 AI 训练,精确识别焊缝信息。迭代式 AI 训练是一种逐步改进和优化模型的方法。在训练前,不断地用 3D 结构光相机从不同角度对不同工件进行拍照,获取工件的大量图像信息。然后把工件图像按若干张一批的方法进行分批。第一次迭代在第一批中选取图像数据和焊缝标签,作为 AI 焊缝模型的初始化参数,之后把第一批中的其他图像信息传给 AI 焊缝模型,计算出每个图像中的某些特征点是焊缝的概率,根据算法识别结果和真实标签,使

用损失函数计算出损失值。损失函数是衡量模型识别结果与真实标签之间差异的函数。通过损失值的反向传播来计算损失函数对每个参数的梯度,利用 Adam 优化算法自适应地调整学习率,帮助 AI 焊缝模型更快、更稳定地收敛,再根据梯度和学习率更新模型参数。调整焊缝标签的权重,使 AI 焊缝模型在下次看到类似的图片时,能够做出更准确的识别。其他批次重复第一批次的步骤,随着迭代次数的增加,模型的识别能力逐渐提高,对焊缝识别的准确率也不断上升。

本工作站设定 100 张工件图片为一批,最大迭代次数是 100 次。当模型完成 100 次迭代后,结束训练过程,目前准确率是 68%。为提高识别焊缝的准确率,后续可继续重复迭代过程,直至准确率达到 95% 以上。

工作站中的 AI 自适应焊接模块是基于 AI 焊缝模型,根据工件焊缝类型进行焊接工艺包的调试。焊接工艺包包含焊接的电流、电压、焊枪角度等参数。焊缝类型包括 T 字形工件焊缝(含有 1 条平焊缝和 2 条竖焊缝)、十字形工件焊缝(含有 2 条平焊缝和 4 条竖焊缝)、L 字形工件焊缝(含有 1 条平面焊缝和 1 条竖焊缝)等。不同的焊缝调用不同的焊接工艺包。

2.1.3 路径规划

机器人路径规划是在工作区域内,为机器人规划一条从起始位置到目标位置无碰撞且最优或较优的运动路径。

路径规划是先把整个工作站模型划分为规则的栅格(本工作站栅格尺寸设定为 100 mm),然后根据每个栅格的不同状态(如可通行栅格、有障碍物栅格),通过 Dijkstra 算法和 PRM 算法在栅格地图上寻找最优路径。最后将得到的最优路径转化成焊接机器人的坐标和角度,下发给焊接机器人控制器。

工作站中的焊接机器人、焊接电源、滑台、柔性工装平台等实际环境中的实物要先转化成适合算法处理的数学模型。视觉系统提供工件的定位信息,AI 精准识别焊接模块提供的焊缝信息,路径规划算法根据这些信息规划机器人行走的精定位拍照轨迹和焊接轨迹,实现客车地板骨架单片的焊接。

3 工作站操作流程

该工作站采用快速夹钳柔性平台,操作流程如下:首先,操作员需在站外完成客车地板骨架单片的预点焊定位;随后,上料工位将预定位工件转移至柔性平台;经快速夹钳初步固定后,即可选择相应模式启动系统。

若为首件,进入焊接工位后进行工艺注册。注册顺序如下:①通过粗定位相机对车身骨架进行粗定位拍照,对工件进行 3D 逆向建模;②AI 识别焊缝,路径规划生成精定位相机拍照轨迹,进行精定位拍照;③AI 精准识别焊缝,路径规划生成焊接轨迹,调用工艺参数并保存程序;④空走确认焊缝轨迹,正常则开始焊接作业。

若非首件,则进行纠偏焊接。选择对应车身骨架焊接程序,进入焊接工位后,系统先对工件进行粗定位拍照,再对工件进行局部的精定位拍照,把偏移量补偿到之前保存的程序中,然后进行焊接。

焊接完成后,柔性平台退到上料工位进行下料。工作站操作流程如图 2 所示。

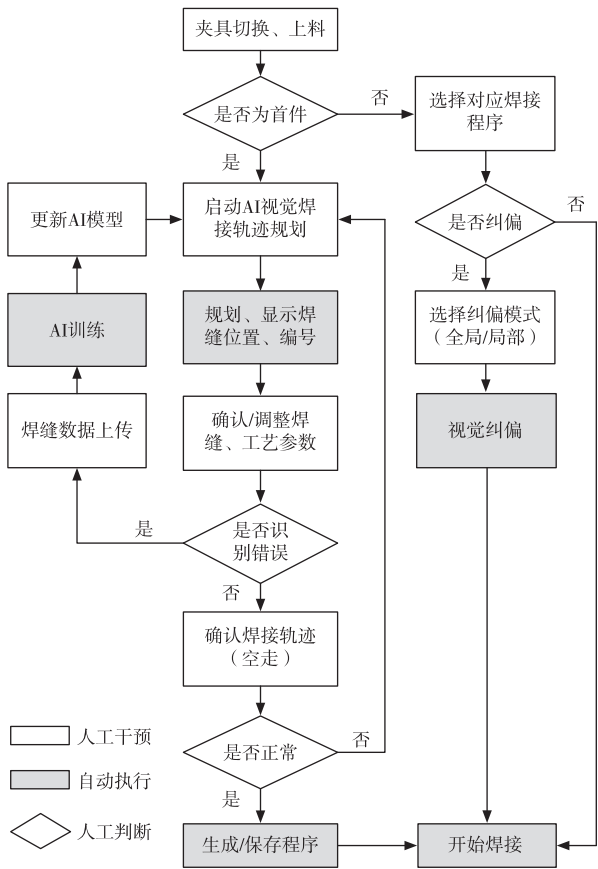


图 2 工作站操作流程

4 智能 AI 视觉弧焊工作站优缺点

4.1 显著优点

与传统的焊接工艺和机器人弧焊工作站相比, 智能 AI 视觉弧焊工作站具有以下显著优点:

1) 工装简易, 场地占用少。柔性平台配快速夹钳, 适合各种类型工件的固定和支撑, 避免设计多类型工装夹具。因此快速夹钳占用场地小, 维护成本低。

2) 材料利用率高。凭借精准的焊接控制, 减少了因焊接缺陷导致的材料浪费, 降低了生产成本。

3) 高精度和高质量焊接, 提高生产效率。AI 视觉系统能够精确识别焊缝位置和形状, 从而实现高精度的焊接操作, 确保焊缝质量的一致性、可靠性和美观性。同时减少了焊接过程中的准备时间和调整时间, 大幅提高了生产效率。

4) 自动化水平提升。AI 视觉系统和机器人焊接系统, 结合智能化的编程界面, 让操作人员能够相对容易地设置焊接参数和路径。

5) 无示教编程。机器人路径规划结合 AI 视觉系统, 可自动生成机器人轨迹, 真正做到无示教编程。

4.2 缺点及解决方案

4.2.1 点云温漂

在对焊缝进行精准定位拍照时, 由于焊接高温, 导致拍照的点云出现漂移现象。这使得逆向成型的数据相对于机器人的坐标出现偏移, 进而在规划路径时出现位置不精确、无法准确找准位置的现象。

解决方案: ①与相机厂家进行技术交流, 对相机进行升级, 优化相机内部电子元器件的耐温性; ②增加相机盖板, 可在保护镜头的同时减少焊接过程中温度的传导。

4.2.2 焊缝识别不准

粗定位相机采集工件图像后, 焊缝识别环节的误差(包括误识别和漏识别)将显著影响后续焊接质量, 可能导致工件整体焊接精度下降。

解决方案: ①对各种焊缝工艺进行多次数据采集, 利用 AI 进行学习, 提高焊缝识别率; ②在规划路径前进行人工干预, 删除识别错误的焊缝, 增加未识别出的焊缝。

4.2.3 立体工件阴影

对立体工件来说, 固定的粗定位相机拍照不全面, 俯视拍照时会出现阴影, 无法进行三维数模的逆向成型。可在焊接前输入工件的三维数模, 将拍照的点云与三维数模进行比较, 再利用算法对机器人路径进行规划。立体工件的焊接未放到本次研发中。

5 结束语

本文成功研发了定制化车身骨架智能 AI 视觉弧焊工作站, 能够满足不同车型车身骨架的焊接需求, 实现了高精度、高质量的焊接。该工作站已在我司使用, 替代了传统的车身骨架人工焊接和机器人现场示教焊接作业, 使产品焊接质量得到了进一步提升。

参考文献:

- [1] 吴国荣. 弧焊机器人工作站的组建及应用[J]. 机械工人(热加工), 2004(5): 50-52.
- [2] 李盛前. 基于视觉技术的水下焊接机器人系统研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [3] 方伟华. 基于 3D 视觉的机器人焊接智能轨迹规划关键技术研究[D]. 济南: 山东大学, 2023.
- [4] 周律. 基于视觉伺服的弧焊机器人焊接路径获取方法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [5] 蒙禹舟. 基于主动视觉的激光焊接焊缝跟踪系统研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2022.
- [6] DU X, ZHAO X G. Robot tracking by color image[J]. Geospatial Information Science, 2007, 10(1): 33-36.
- [7] DINHAM M, FANG G. Autonomous weld seam identification and localisation using eye-in-hand stereo vision for robotic arc welding[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2013, 29(5): 288-301.
- [8] GONÇALVES E SILVA R H, GALEAZZI D, SCHWEDER-SKY B M, et al. An adaptive orbital system based on laser vision sensor for pipeline GMAW welding[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2021, 43(7): 1-17.
- [9] 谭一炯, 周方明, 王江超, 等. 焊接机器人技术现状与发展趋势[J]. 电焊机, 2006(3): 6-10.
- [10] 喻红梅, 钟月红, 刘海琼, 等. 国内客车顶盖骨架焊装技术现状研究[J]. 成都工业学院学报, 2020, 23(4): 13-16.