

Research on Robot Welding Technology Based on Laser Seam Tracking

Jianlong Sun Hairui Zhao Liyuan Zhu Guojun Xing

Beijing Aerospace Xinli Technology Co., Ltd., Beijing, 102629, China

Abstract

Aiming at the lack of adaptability of programmable teaching and reproducing welding robot in practical application due to environmental changes, an automatic welding seam tracking technology based on laser vision sensing is proposed in this paper. Based on the in-depth discussion of the principle of laser vision sensing welding seam tracking technology, the experimental application scenario is designed and built in detail. On the basis of ensuring the accurate calibration between the robot and the laser vision sensor, several welding experiments were carried out. The experimental results show that the technology has shown excellent application effect on many types of welds, such as plane straight line, curve, arc and space fold line, which verifies the effectiveness and practicability of laser vision sensing welding seam tracking technology.

Keywords

robot welding; laser; weld tracking

基于激光焊缝跟踪的机器人焊接技术研究

孙见龙 赵海瑞 朱利远 邢国军

北京航天新立科技有限公司, 中国·北京 102629

摘要

论文针对可编程示教再现焊接机器人在实际应用中因环境变化导致的适应性不足问题, 提出了基于激光视觉传感的焊缝自动跟踪技术。通过对激光视觉传感焊缝跟踪技术原理的深入探讨, 详细设计并搭建了实验应用场景。在确保机器人与激光视觉传感器之间精确标定的基础上, 进行了多组焊接实验。实验结果表明, 该技术在平面直线、曲线、圆弧及空间折线等多种焊缝类型上均展现了优异的应用效果, 验证了激光视觉传感焊缝跟踪技术的有效性和实用性。

关键词

机器人焊接; 激光; 焊缝跟踪

1 引言

随着工业化和智能制造技术的持续演进, 机器人焊接技术在现代制造业的应用范围不断扩大。当前, 多数焊接机器人采用的是可编程示教再现方式, 这意味着它们的焊接质量很大程度上取决于精密的加工和定位技术。在焊接环境保持不变的情况下, 这些机器人可以在限定的工作区域内重复执行预先设定的路径, 确保焊接的一致性和高质量。然而, 在实际的生产过程中, 会遇到一系列不可预见的因素, 如坡口的状态、加工过程中的尺寸误差、组件装配时的位置偏差以及工件在焊接过程中的热变形等, 这些因素都可能导致焊缝的实际位置与预期位置有所偏离。这样的偏离会使原先设定的焊接程序失效, 进而影响焊接的质量和整个生产线的效率。

为应对这些挑战, 激光焊缝跟踪技术等先进的解决方案应运而生, 使焊接机器人能够具备检测焊缝位置变化的能力, 并根据检测结果实时调整焊接路径及参数, 从而实现自适应焊接。这种自适应焊接能力不仅提升了焊接的精度和可靠性, 也是焊接机器人技术未来发展的关键趋势之一^[1]。

2 激光焊缝跟踪技术原理

2.1 激光焊缝跟踪传感器组成

激光焊缝跟踪系统通常由传感器、控制系统和执行机构三部分组成。传感器是系统的核心, 目前广泛使用的是激光视觉传感器, 如图1所示, 它具有高精度和实时性的特点。控制系统根据传感器提供的数据分析焊缝的位置, 并指挥执行机构(如焊接机器人或机械手)进行相应的调整, 以确保焊枪能够准确地跟随焊缝进行焊接。当前市场上广州宾采尔、北京创想智控、唐山英莱科技、宁波博士达、西安万象、加拿大赛融等企业都在激光焊缝跟踪展示出了自身的研发实力。

【作者简介】孙见龙(1988-), 男, 中国河北石家庄人, 高级工程师, 从事智能制造研究。

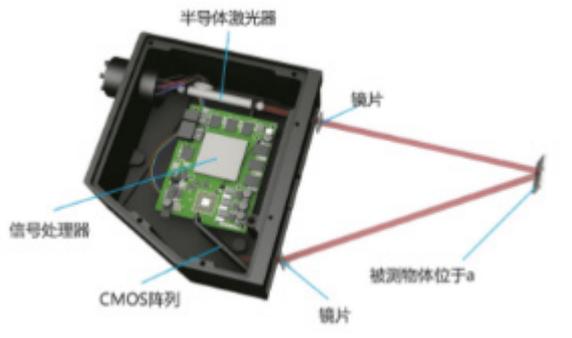


图1 激光焊缝跟踪传感器组成

2.2 激光焊缝跟踪系统原理

激光焊缝跟踪系统在焊接过程中确定焊缝位置是通过激光传感器发射激光束，该激光束照射在待焊接的工件表面上，并被反射回来。传感器内部的高速摄像机捕捉这些反射光线，并将其转换为电信号。图像处理系统对这些信号进行实时处理，通过特定的算法分析焊缝的位置和形状^[2]。根据这些信息，传感器可以引导焊接设备自动调整焊接参数和路径，实现精确的焊缝跟踪和自动焊接。激光焊缝跟踪系统原理图如图2所示。

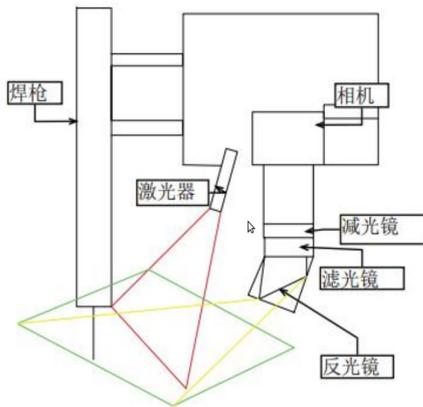


图2 激光焊缝跟踪系统原理图

3 实验方案设计

3.1 场景搭建

本次实验选取了安川 Yaskawa 2010 六轴弧焊机器人作为焊接主体，并配备了 DX200 控制系统、MOTOWELD-RD500 焊机以及一系列外围设备，其中包括通用焊接平台和创想智控 CXZK-S-RBT-G 激光焊缝跟踪传感器。为了确保焊接过程中的焊达率不下降，并且能够适应不同焊缝的焊接需求，对场景进行了详细的规划与设计，如图3所示。

①安川 Yaskawa 2010 六轴弧焊机器人：该机器人具备高精度和灵活性，适用于多种焊接任务。

②DX200 控制系统：作为机器人的核心控制单元，DX200 系统能够精确控制机器人的动作，并提供强大的编程和通信功能。

③ MOTOWELD-RD500 焊机：提供稳定的焊接电流和电压，确保焊接过程的质量。

④通用焊接平台：为工件提供了一个稳定的支撑面，可以根据不同的工件尺寸进行调整。

⑤创想智控 CXZK-S-RBT-G 激光焊缝跟踪传感器：用于实时检测焊缝的位置和形状，提高焊接精度。

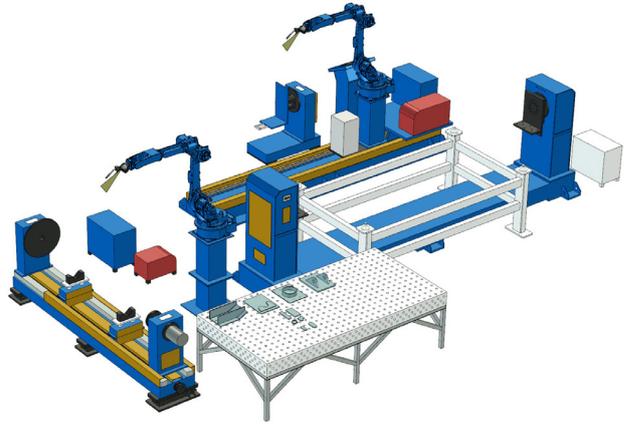


图3 机器人焊接场景

3.2 焊缝方案设计

为了测试激光焊缝跟踪的有效性，设计了4种类型焊缝，分别是平面直线、平面曲线、平面圆弧、空间折线，如图4所示。

①平面直线焊缝：作为基准测试，验证传感器在最简单焊缝上的跟踪精度和稳定性。

②平面曲线焊缝：用于评估传感器在非直线焊缝上的跟踪能力，尤其是在曲率较大的情况下。

③平面圆弧焊缝：通过圆形或半圆形的焊缝测试传感器在连续曲面变化中的表现。

④空间折线焊缝：模拟复杂三维结构中的焊缝，测试激光传感器在空间变化中的跟踪性能。

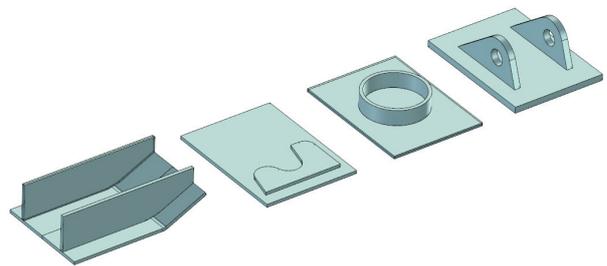


图4 四种焊缝类型

3.3 激光焊缝跟踪传感器安装与标定

为了确保激光焊缝跟踪传感器能够准确地跟踪焊缝并提供高精度的焊接效果，其安装和标定是至关重要的步骤^[1]。根据激光器的推荐安装高度（350mm），确定激光器相对于焊枪的最佳位置。标定是确保激光焊缝跟踪传感器能够准

确跟踪焊缝的关键步骤。为了确保机器人 TCP 的精度，需要将焊枪尖端放在外部尖端上旋转 X、Y、Z 轴，确保 TCP 始终绕外部尖端旋转，精度误差超过 1mm 需重校 TCP。（校准 TCP 时确定焊接所需干伸长度）。找一块 3mm 厚的板材作为标定板使用，该板材要求边缘切口平整，如图 5 所示，将激光照射到标定板上，调取标定需要使用的参数编号，在参数号里面设置标定使用的模式，AX1、AX2 的最大值等，设置完成之后开始标定。

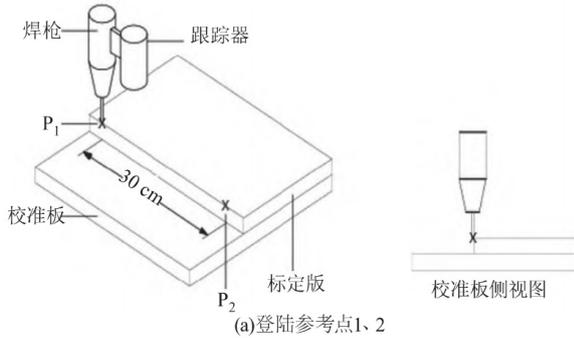


图 5 激光焊缝跟踪传感器标定

4 实例程序

这段程序是一个典型的工业机器人程序片段，包含了移动指令（MOVJ/MOVL）、定时器（TIMER）、宏调用（MACRO1）以及焊枪控制指令（SETE/SFTON/SFTOF）。这些指令按照一定的顺序排列，形成了一个完整的焊接过程。下面一空间折线为例，展示机器人部分焊接路径。

```

NOP
MOVJ C00000 VJ=30.00
MOVJ C00001 VJ=30.00
MOVJ C00002 VJ=5.00
TIMER T=1.00
MACRO1 MJ#(0) ARGF2 ARGF50 ARGF0 ARGFC00003
ARGF0 ARGF0 ARGF0
MOVJ C00004 VJ=5.00
TIMER T=1.00
MACRO1 MJ#(0) ARGF2 ARGF51 ARGF0 ARGFC00005
ARGF0 ARGF0 ARGF0
    
```

```

MOVJ C00006 VJ=5.00
TIMER T=1.00
MACRO1 MJ#(0) ARGF2 ARGF53 ARGF0 ARGFC00007
ARGF0 ARGF0 ARGF0
MOVJ C00008 VJ=5.00
TIMER T=1.00
MACRO1 MJ#(0) ARGF2 ARGF54 ARGF0 ARGFC00009
ARGF0 ARGF0 ARGF0
MACRO1 MJ#(3) ARGF50 ARGF51 ARGF53 ARGF54
ARGF52 ARGFC00010 ARGF0 ARGF0 ARGF0
// 初始化焊枪
SETE P127 (1) 0
SETE P127 (2) 0
SETE P127 (3) 0
SFTON P127 TF// 关闭焊枪
MOVL P054 V=23.0
MOVL P052 V=23.0
MOVL P050 V=23.0
SFTOF// 关闭焊枪
MOVJ C00011 VJ=5.00
MOVJ C00012 VJ=30.00
END
    
```

5 结论

论文全面展示了如何在焊接机器人中运用激光视觉传感技术来实现焊缝的精确识别与跟踪。借助这项先进的激光跟踪技术，焊接机器人的适应能力得到了显著增强。研究表明，采用激光视觉传感技术不仅可以大幅提升焊接质量和生产效率，还能减少生产成本，为企业创造显著的经济效益。同时，这项研究也为激光视觉传感技术的未来发展提供了实践经验和理论参考。

参考文献

- [1] 顾俊,张玲玲,王健超.机器视觉在自动化焊接中的应用[J].应用激光,2018,38(6):1038-1043.
- [2] 朱传辉,朱志明,柯攀捷,等.基于组合激光结构光的视觉传感器内参一体化标定方法[J].清华大学学报(自然科学版),2022,62(9):1516-1523.
- [3] 贺红林,雷修才,龚焯飞,等.基于激光视觉检测的焊缝自动跟踪系统研究[J].控制工程,2013,20(5):869-872.