

玻璃幕墙涂胶机器人自动编程技术的研究与实现

徐友露

广州江河幕墙系统工程有限公司，广州 增城 511300

摘 要： 解决传统玻璃幕墙涂胶机器人编程效率低、精度难以保障等系列问题，提升涂胶施工效能，文章以自动编程技术为切入点，通过构建人机交互、涂胶路径点获取及涂胶轨迹规划等模块，通过系列技术的合理应用，强化编程能力，完善系统运行架构，为建筑施工自动化发展提供有力技术支撑。

关 键 词： 玻璃幕墙；涂胶机器人；自动编程；技术应用

Research and Realization of Automatic Programming Technology of Glass Curtain Wall Coating Robot

Xu Youlu

Guangzhou River Curtain Wall System Engineering Co., Ltd. Zengcheng, Guangzhou 511300

Abstract： Solve the traditional glass curtain wall glue robot programming such as low efficiency, precision is difficult to guarantee series problems, improve glue construction efficiency, the article with automatic programming technology as the breakthrough point, through the construction of human-computer interaction, glue path point acquisition and glue trajectory planning module, through the series of technology application, strengthen the programming ability, improve the system operation architecture, provide strong technical support for construction automation development.

Keywords： glass curtain wall; glue coating robot; automatic programming; technology application

引言

涂胶作为玻璃幕墙安装的关键环节，其质量直接影响幕墙的密封性、防水性及整体稳定性。传统的玻璃幕墙涂胶作业主要依赖人工编程控制涂胶机器人，不仅编程过程繁琐、耗时费力，而且受人为因素影响，编程精度难以保证，导致涂胶质量参差不齐。研发高效、精准的玻璃幕墙涂胶机器人自动编程技术具有重要的现实意义，能够有效提高玻璃幕墙的施工质量与效率，推动建筑施工行业向智能化、自动化方向发展。

一、玻璃幕墙涂胶机器人自动编程系统主要构成

（一）人机交互模块

人机交互模块是用户与涂胶机器人自动编程系统沟通的桥梁。该模块采用直观、友好的图形用户界面设计，方便操作人员进行操作。在界面上，操作人员可通过下拉菜单、按钮点击等方式，输入幕墙尺寸、形状、玻璃板块数量及布局等玻璃幕墙的基本参数，交互界面如图1所示：

系统能够实时显示机器人的工作状态、编程进度以及错误提示等信息，便于操作人员及时了解系统运行情况^[1]。例如，当操作人员输入错误参数时，系统会弹出醒目的提示框，告知错误类型及正确输入方式，引导操作人员进行修正。人机交互模块还支持操作记录的保存与查询功能，方便操作人员回顾以往的编程操

作，总结经验，优化后续编程流程。

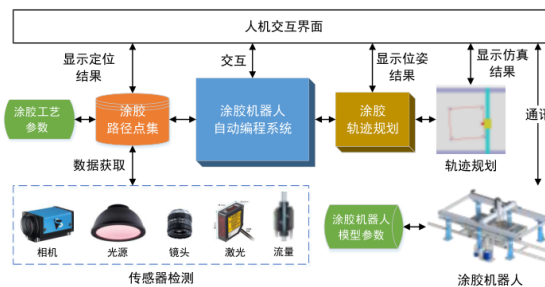


图1 涂胶机器人人机界面示意图

（二）涂胶路径点获取模块

涂胶路径点获取模块是实现自动编程的基础。该模块主要通过视觉传感器，如工业相机，对玻璃幕墙施工现场进行图像采

作者简介：徐友露（1989.02-），男，汉族，籍贯：重庆市涪陵区，现就职于：广州江河幕墙系统工程有限公司，中级工程师，本科，研究方向提供：AI机器人应用于幕墙加工；通过智能化、数字化技术对现场管理等。

集。为了提高图像采集的准确性和稳定性,工业相机通常配备高分辨率镜头,并采用特殊的安装支架,确保相机能够清晰、全面地拍摄到玻璃幕墙的待涂胶区域^[2]。在图像采集完成后,利用图像处理算法对采集到的图像进行分析处理。运用图像增强技术,如直方图均衡化、高斯滤波等方法,提高图像的对比度和清晰度,使玻璃幕墙的边缘、缝隙等特征更加明显,便于后续的认识与处理。采用标记板识别技术,在玻璃幕墙的特定位置预先设置标记板,通过识别标记板在图像中的位置和姿态,建立图像坐标系与实际世界坐标系之间的映射关系,从而精确获取玻璃幕墙在实际空间中的位置信息。利用 LSD (Line Segment Detector) 直线检测技术,准确识别玻璃幕墙的缝隙、边缘等直线特征,确定涂胶路径的起始点、终止点以及中间关键节点,为后续的涂胶轨迹规划提供准确的数据基础。

(三) 涂胶轨迹规划模块

涂胶轨迹规划模块是自动编程系统的核心部分,其任务是根据涂胶路径点获取模块提供的路径点信息,规划出机器人末端执行器(涂胶枪)的最优运动轨迹。在规划过程中,对机器人的运动状态进行全面分析,考虑机器人的关节运动范围、速度限制、加速度限制以及动力学特性等因素,确保规划出的运动轨迹在机器人的可操作范围内,且能够保证机器人运动的平稳性和安全性^[3]。进行末端位置规划,根据玻璃幕墙的结构特点和涂胶工艺要求,确定涂胶枪在每个路径点处的空间位置和姿态,保证涂胶枪能够始终垂直于待涂胶表面,且与表面保持合适的距离,以确保涂胶均匀、美观。结合机器人的运动状态和涂胶工艺要求,进行涂胶速度规划。在直线段涂胶时,根据胶的流动性和涂胶厚度要求,设定合适的匀速运动速度;在曲线段或转角处,适当降低速度,避免因速度过快导致涂胶不均匀或出现漏胶现象。通过合理的涂胶速度规划,不仅能够保证涂胶质量,还能提高涂胶效率^[4]。

二、玻璃幕墙涂胶机器人自动编程技术实现路径

(一) 涂胶路径自动编程技术

1. 图像增强技术

图像增强技术在涂胶路径自动编程中起着至关重要的作用。由于施工现场环境复杂,光线条件多变,采集到的玻璃幕墙图像往往存在对比度低、噪声干扰大等问题,影响后续对幕墙特征的识别与分析。直方图均衡化是一种常用的图像增强方法,它通过对图像的灰度直方图进行统计分析,将图像的灰度值重新分布,扩展图像的灰度动态范围,提高图像的对比度^[5]。例如,对于一幅整体偏暗的玻璃幕墙图像,经过直方图均衡化处理后,玻璃幕墙的边缘、缝隙等细节部分能够更加清晰地展现出来。高斯滤波也是一种有效的图像增强手段,它通过对图像进行加权平均,平滑图像中的噪声,使图像更加平滑、清晰。

2. 标记板识别技术

标记板识别技术是实现涂胶路径自动编程的关键步骤之一。在玻璃幕墙施工前,在幕墙的特定位置安装具有独特图案和编码

的标记板。工业相机采集图像后,利用图像处理算法对图像中的标记板进行识别。通过图像分割算法将标记板从复杂的背景图像中分离出来,对标记板的图案进行特征提取和匹配,识别出标记板的类型和编码信息^[6]。根据标记板的已知位置和姿态信息,以及在图像中的成像位置和姿态,运用坐标变换算法,计算出图像坐标系与实际世界坐标系之间的转换关系,从而实现从图像空间到实际物理空间的映射。通过标记板识别技术,能够准确获取玻璃幕墙在实际空间中的位置和姿态信息,为后续精确确定涂胶路径点提供重要依据,大大提高了涂胶路径自动编程的精度和可靠性。

3. LSD 直线检测技术

LSD 直线检测技术是一种高效、准确的直线检测算法,在玻璃幕墙涂胶路径自动编程中用于识别玻璃幕墙的缝隙、边缘等直线特征。LSD 算法基于图像的局部梯度信息,通过对图像进行多尺度分析,能够快速、准确地检测出图像中的直线段。在实际应用中,首对经过图像增强处理后的玻璃幕墙图像进行 LSD 直线检测,算法会输出检测到的直线段的起点、终点坐标以及直线的方向信息^[7]。根据玻璃幕墙的结构特点和涂胶工艺要求,对检测到的直线段进行筛选和分类,去除不符合涂胶路径要求的直线段,保留玻璃幕墙的缝隙、边缘等关键直线特征。通过 LSD 直线检测技术,能够自动、准确地获取玻璃幕墙的涂胶路径信息,为后续的涂胶轨迹规划提供可靠的数据支持,极大地提高了涂胶路径自动编程的效率和准确性。

(二) 涂胶轨迹自动编程技术

1. 运动状态分析

在规划涂胶机器人的运动轨迹之前,需要对机器人的运动状态进行全面、深入地分析。考虑机器人的关节运动范围,每个关节都有其特定的转动角度范围,规划的运动轨迹不能超出关节的极限位置,否则可能导致机器人损坏或无法正常工作^[8]。机器人的速度和加速度限制也是需要重点考虑的因素。过快的速度或过大的加速度可能会使机器人在运动过程中产生振动,影响涂胶质量,甚至可能导致机器人失控。还需要分析机器人的质量分布、惯性力、摩擦力等机器人的动力学特性,这些因素会影响机器人的运动稳定性和控制精度。通过对机器人运动状态的详细分析,能够为后续的末端位置规划和涂胶速度规划提供重要的约束条件,确保规划出的涂胶轨迹既满足玻璃幕墙涂胶工艺要求,又能保证机器人运动的安全、平稳和高效。

2. 末端位置规划

在玻璃幕墙涂胶过程中,为了保证涂胶质量,涂胶枪需要始终垂直于待涂胶表面,且与表面保持合适的距离(一般为 5-10mm)。根据玻璃幕墙的结构特点和涂胶路径点信息,运用机器人运动学算法,计算机器人各关节的角度,从而确定涂胶枪在空间中的位置和姿态^[9]。对于复杂形状的玻璃幕墙,如异形幕墙,需要采用更加复杂的算法,如基于样条曲线的插值算法,对涂胶路径进行拟合和优化,确保涂胶枪能够沿着平滑、连续的轨迹运动,避免出现突变或卡顿现象,保证涂胶的均匀性和美观性。同时,在末端位置规划过程中,还需要考虑机器人的避障需

求，避免涂胶枪在运动过程中与周围的障碍物发生碰撞，确保涂胶作业的安全进行。

3. 涂胶速度规划

在玻璃幕墙涂胶过程中，涂胶速度需要根据胶的性质、涂胶厚度要求以及涂胶路径的特点进行合理规划。对于流动性较好的胶，涂胶速度可以适当加快，以提高涂胶效率，但同时要保证涂胶厚度符合要求；对于流动性较差的胶，涂胶速度则需要适当降低，以确保胶能够均匀地覆盖在玻璃幕墙表面^[10]。在直线段涂胶时，通常采用匀速运动，根据涂胶工艺要求设定合适的速度，一般为50–150mm/s。在曲线段或转角处，由于机器人的运动需要进行加减速，为了避免因速度变化过快导致涂胶不均匀，需要适当降低速度，一般将速度控制在20–50mm/s。此外，还可以根据实际涂胶情况，通过传感器实时监测涂胶厚度和胶的流量，对涂

胶速度进行动态调整，以保证涂胶质量的稳定性。通过合理的涂胶速度规划，能够在保证涂胶质量的前提下，最大限度地提高涂胶效率，实现玻璃幕墙涂胶作业的高效、精准完成。

三、结语

玻璃幕墙涂胶机器人自动编程技术的研究与实现，为玻璃幕墙涂胶作业带来了创新性的解决方案。通过构建完善的自动编程系统，运用先进的图像增强、标记板识别、LSD 直线检测、运动状态分析、末端位置规划和涂胶速度规划等技术，实现了涂胶路径与轨迹的自动化编程，显著提高了玻璃幕墙涂胶作业的精度、质量和效率。

参考文献

- [1] 李琰，刘欢庆，高建设等. 基于 MATLAB 的机器人涂胶离线仿真与编程研究 [J]. 机床与液压，2023（1）：47–51.
- [2] 王郑拓，杨波，林志伟等. 机器人三维视觉实验平台坐标系标定实验设计 [J]. 实验室研究与探索，2024（8）：52–56.
- [3] 陈照春. 基于十字交叉激光法的机器人 TCP 校准系统开发 [J]. 自动化与仪表，2024（1）：79–83.
- [4] 郭丽娜. 基于 ABB 机器人实训平台的开发应用 [J]. 中国集成电路，2023（10）：68–70.
- [5] 叶兴右，杨颖. 基于 Wizard 简易编程的工业机器人涂胶路径仿真研究 [J]. 装备制造技术，2023（11）：54–58.
- [6] 梁钊涛. 基于工业机器人的自动化生产技术应用 [J]. 科海故事博览，2023（6）：16–18.
- [7] 高攀，邹胤，汤超等. 虚实结合的工业机器人实训教学平台和方法 [J]. 机电工程技术，2022（9）：116–121.
- [8] 邓华军，段月红，左伟平等. 基于 RobotStudio 的机器人涂胶路径仿真研究 [J]. 装备制造技术，2022（10）：72–75.
- [9] 姚宇，张秋菊，陈肖燕等. 复杂空间曲面焊接机器人自动编程系统 [J]. 焊接学报，2023（5）：122–128.
- [10] 韦加业. 工业机器人离线编程技术有效落地应用的关键流程探讨 [J]. 装备制造技术，2024（7）：117–120.