

幕墙安装建筑机器人系统关键技术研究

徐友露

广州江河幕墙系统工程有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i1.4614

[摘要] 传统幕墙安装效率低、危险性高,难以满足实际施工要求。本研究聚焦幕墙安装建筑机器人系统关键技术,通过完善人机系统、设置并联平台结构和优化三自由度移动结构构建系统,从运动状态分析、振动抑制等维度出发,细化技术应用路径,创新技术路径,为幕墙安装智能化提供技术支持,提高幕墙安装质量和效率,降低施工风险。

[关键词] 幕墙安装; 建筑机器人; 关键技术; 应用路径

中图分类号: TP242.2 **文献标识码:** A

Research on the key technology of building robot system for curtain wall installation

Youlu Xu

Guangzhou River Curtain Wall System Engineering Co., Ltd.

[Abstract] The traditional curtain wall installation has low efficiency and high risk, and it is difficult to meet the actual construction requirements. This study focuses on curtain wall installation building robot system key technology, by perfecting the man-machine system, set the parallel platform structure and optimize the three degrees of freedom mobile structure construction system, from the motion state analysis, vibration suppression, etc, refining technology application path, innovation technology path, provide technical support for intelligent curtain wall installation, improve the quality and efficiency of curtain wall installation, reduce the construction risk.

[Key words] curtain wall installation; building robot; key technology; application path

前言

幕墙作为现代建筑的重要外围护结构,其安装质量和效率对建筑整体性能和外观至关重要。幕墙安装作业通常处于高空,施工环境复杂,人工操作不仅劳动强度大、效率低,还存在较高的安全风险。建筑机器人技术的发展为幕墙安装提供了新的解决方案。研究幕墙安装建筑机器人系统关键技术,对于提升建筑施工智能化水平、保障施工人员安全、提高幕墙安装质量和效率具有重要的现实意义。

1 幕墙安装建筑机器人系统构建思路

1.1 完善人机系统

人机系统是幕墙安装建筑机器人系统的核心组成部分,其完善程度直接影响机器人的操作性能和施工效果^[1]。在硬件方面,采用高精度力传感器、视觉传感器等先进的传感器技术,实现对机器人运动状态和周围环境的实时感知。力传感器安装在机器人的机械臂关节和末端执行器上,能够精确测量抓取幕墙板材时的力度,避免因用力过大造成板材损坏或因力度不足导致板材掉落。视觉传感器则用于识别幕墙的安装位置、板材的形状和尺寸,以及周围障碍物的信息,为机器人的运动规划提供

准确的数据支持^[2]。在软件方面,开发智能化的人机交互界面,使操作人员能够直观、便捷地与机器人进行交互。通过图形化编程界面,操作人员可以轻松地编写机器人的运动程序,设置各种参数,如运动速度、加速度、抓取力度等。

1.2 设置并联平台结构

并联平台结构具有刚度大、承载能力强、精度高和运动惯性小等优点,适用于幕墙安装建筑机器人系统。在设计并联平台结构时,采用多杆并联的方式,通过合理选择杆件的长度、关节的类型和布局,优化平台的运动学和动力学性能。例如,采用六自由度并联平台,由六个可伸缩杆件连接固定平台和移动平台,通过控制杆件的伸缩长度,实现移动平台在空间中的六个自由度运动^[3]。并联平台结构的运动控制采用基于模型的自适应控制算法等先进的控制算法,实时反馈的传感器数据,自动调整控制参数,以适应不同的工作条件和负载变化,确保平台运动的精度和稳定性。

1.3 优化三自由度移动结构

三自由度移动结构是幕墙安装建筑机器人实现灵活移动的关键部件。为了满足幕墙安装的实际需求,对三自由度移动结构

进行优化设计。在结构设计上,采用轮式或履带式移动底盘,根据施工现场的地形条件和工作要求选择合适的移动方式^[4]。轮式移动底盘具有移动速度快、转向灵活的优点,适用于较为平坦的施工现场;履带式移动底盘则具有更好的通过性和稳定性,能够在复杂地形上行驶。在驱动系统方面,采用高性能的电机和减速机,为移动结构提供足够的驱动力和扭矩。同时,配备先进的运动控制系统,实现对移动结构的精确控制。通过激光雷达、超声波传感器等导航设备,获取周围环境信息,结合路径规划算法,实现机器人的自主导航和避障功能。

2 幕墙安装建筑机器人系统关键技术应用路径

2.1 运动状态分析技术

2.1.1 姿态传感检测

姿态传感检测是获取幕墙安装建筑机器人运动状态信息的关键手段。在机器人关节处与机械臂末端,精准安装高精度惯性测量单元(IMU),其作为核心姿态传感器,由加速度计、陀螺仪和磁力计紧密协同工作^[5]。加速度计可精确测量机器人在三维空间中各轴向的加速度,范围通常为 $\pm 2g$ 至 $\pm 16g$,能敏锐捕捉机器人运动时的加速、减速及振动情况;陀螺仪则负责测量机器人的角速度,测量范围一般为 $\pm 250^\circ/s$ 至 $\pm 2000^\circ/s$,确保对机器人的旋转动作进行实时、精准监测;磁力计用于感知地球磁场,辅助确定机器人的方位,精度可达 $\pm 0.1^\circ$ 。为进一步提升姿态传感检测的精度与可靠性,采用先进的数据融合算法,如扩展卡尔曼滤波(EKF)算法^[6]。该算法充分利用IMU数据和视觉传感器数据,通过对多源数据的融合处理,有效抑制传感器噪声,将姿态估计误差降低至 $\pm 0.5^\circ$ 以内。同时,依据机器人的运动学模型,对姿态传感器数据进行校验与修正,进一步提高姿态检测的精准度,确保机器人在复杂幕墙安装环境下,始终能保持对自身姿态的精确感知。

2.1.2 运动形态评估

运动形态评估依托姿态传感检测获取的数据,对机器人的运动状态展开深入分析与评估。借助建立的机器人运动学和动力学模型,结合姿态传感器数据,精确计算机器人的关节角度、速度、加速度以及末端执行器的位置和姿态等关键参数。以常见的六自由度串联机器人为例,通过正向运动学计算,可将各关节角度转换为末端执行器在笛卡尔坐标系下的位置和姿态,位置精度可达 $\pm 0.5mm$,姿态精度可达 $\pm 0.1^\circ$;利用反向运动学,能根据末端执行器的期望位置和姿态,反解出各关节应转动的角度^[7]。运用可视化技术直观展示运动形态评估结果,通过三维动画实时呈现机器人的运动轨迹、关节运动状态以及末端执行器的姿态变化。同时,构建完善的预警机制,预先设定机器人运动状态的安全范围与精度标准,当机器人的运动状态超出预设阈值时,如关节速度超过安全转速、末端执行器位置偏差大于允许误差,系统立即发出警报,提醒操作人员及时进行调整与处理,保障幕墙安装作业的安全与质量。

2.2 振动抑制技术

幕墙安装建筑机器人在运行过程中,受机械结构不平衡、电

机振动及外部干扰等因素影响,易产生振动。振动不仅降低机器人的运动精度与稳定性,还可能导致幕墙板材受损。深入分析机器人的振动特性至关重要。采用有限元分析软件对机器人的机械结构进行详细动力学建模,精确计算结构的固有频率和模态振型。以某型号幕墙安装机器人为例,经分析其机械臂的一阶固有频率为35Hz,二阶固有频率为80Hz,通过对固有频率和模态振型的研究,明确机械结构易产生振动的部位与频率范围^[8]。引入主动振动控制技术,在机器人机械臂末端安装压电陶瓷片作为振动执行器,利用加速度传感器实时监测振动信号。当传感器检测到振动时,控制器依据振动信号产生控制信号,驱动压电陶瓷片产生与振动相反的作用力,抵消振动。

2.3 幕墙定位技术

幕墙定位技术首要任务是全面检测与分析安装环境,为保证定位的准确性,工作人员按照既定流程,搭建空间定位,如图1所示:

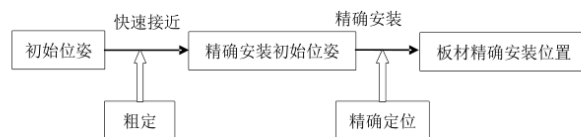


图1 幕墙空间定位技术流程

在定位过程中,利用高精度激光雷达,其扫描范围可达 360° ,测距精度可达 $\pm 5mm$,快速扫描施工现场,生成高精度三维点云模型,清晰呈现建筑物轮廓、幕墙位置及周围障碍物分布^[9]。同时,结合视觉传感器,配备分辨率为 1920×1080 的高清摄像头,运用图像处理算法,识别幕墙边缘、特征点及安装标记等信息。将激光雷达与视觉传感器数据融合,构建详细环境模型,为幕墙定位提供精准基础数据。运用数据分析算法对环境数据进行深入分析,判断施工现场复杂程度,预测可能影响定位的干扰因素,如光线变化、遮挡物等。

2.4 板材安装技术

2.4.1 板材抓取

板材抓取环节采用专为幕墙板材设计的专用末端执行器。针对不同类型幕墙板材,如玻璃幕墙板材、石材幕墙板材,设计相应抓取机构。对于玻璃幕墙板材,采用真空吸盘式抓取机构,每个吸盘直径为 $100mm$,单个吸盘吸附力可达 $500N$,确保牢固抓取板材。在吸盘架上安装压力传感器,实时监测吸盘吸附力,当吸附力低于设定阈值时,自动启动备用吸盘,保证板材抓取安全可靠。对于石材幕墙板材,设计机械夹爪式抓取机构,夹爪采用高强度合金钢材质,表面进行防滑处理,增大与板材摩擦力。夹爪开合范围可根据板材尺寸进行调整,最大可夹持边长为 $2m$ 的石材板材。通过电机驱动夹爪运动,实现对板材的精准抓取与释放,确保在搬运与安装过程中板材稳固。

2.4.2 板材搬运

板材搬运过程中,依据机器人运动规划与定位结果,精准控制机器人机械臂将板材搬运至安装位置。在运动规划方面,采用

基于A*算法的路径规划方法,结合施工现场环境模型,规划出一条安全、高效的运动路径,避免机器人与障碍物碰撞^[10]。同时,考虑板材易碎性与重量分布,采用平稳运动控制策略,如梯形速度规划,在启动与停止阶段,缓慢增加与减小速度,减少加速度冲击,将加速度控制在 0.5m/s^2 以内,避免板材受到过大冲击力与振动。

2.4.3 板材安装

利用机器人视觉传感器与激光测距传感器,对板材安装位置进行精确测量,与预设安装位置对比,计算偏差值。例如,通过视觉传感器识别板材上的安装标记点,结合激光测距传感器测量的距离信息,计算板材在X、Y、Z方向的位置偏差与绕X、Y、Z轴的姿态角偏差。通过机器人控制系统,驱动机械臂对板材进行微调,采用PID控制算法,根据偏差值实时调整机械臂运动,使板材位置与姿态满足安装要求。在安装过程中,严格控制板材拼接缝隙,缝隙宽度误差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内;确保板材平整度,平面度误差控制在 $\pm 1\text{mm/m}$ 以内。

3 结语

幕墙安装建筑机器人系统关键技术的研究对于推动建筑行业的智能化发展具有重要意义。通过构建完善的系统架构,研究和应用运动状态分析、振动抑制、幕墙定位和板材安装等关键技术,为幕墙安装提供了高效、安全、精准的解决方案。

[参考文献]

[1]王万金,袁玉,闫海鹏.基于爬墙机器人搭载高频雷达外墙保温装饰连接构造成像技术研究[J].工程建设与设

计,2024(7):18-20.

[2]母构菲.基于BIM+AR的建筑机器人交互研究[J].自动化与仪器仪表,2022(7):270-275.

[3]鄢鹏.基于自抗扰控制的幕墙清洗机器人姿态控制研究[J].计算机与数字工程,2023(12):3050-3054.

[4]田红路,高森林,彭雯静,等.基于TRIZ理论的玻璃面巡检清洁机器人[J].数字技术与应用,2023(4):59-61.

[5]张立宁,李壮,迟明,等.幕墙清洁机器人真空吸附装置的研究[J].建设机械技术与管理,2023(5):64-66.

[6]徐邦国,张博宇,吴华贵.新型爬壁机器人的优化设计研究[J].科学技术创新,2022(32):165-168.

[7]鄢鹏,吴明晖,钱莉.多涵道幕墙清洗机器人的设计与实现[J].智能计算机与应用,2022(6):127-130.

[8]徐桦.浅谈智能化技术在既有建筑幕墙后维护领域的应用与发展[J].中国建设,2022(6):104-106.

[9]李林琛,张春芝,秦绪杰.考虑风载因素的玻璃幕墙清洁机器人设计[J].电子器件,2024(2):557-563.

[10]薄悦,赵玉凯,王磊,等.直立工作面柔索驱动检测机器人的设计研究[J].机械设计,2022(5):72-78.

作者简介:

徐友露(1989--),男,汉族,重庆市涪陵区人,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。