

文章编号: 2095-2163(2022)06-0127-05

中图分类号: TP242

文献标志码: A

多涵道幕墙清洗机器人的设计与实现

鄢 鹏, 吴明晖, 钱 莉

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要:为解决高楼玻璃幕墙清洗成本高、工作量大和危险性高三大问题,受四旋翼模型在空中保持平稳飞行的启迪,研制了一款多涵道控制的玻璃幕墙清洗机器人。该机器人本体采用多涵道驱动方式为机器人本体提供清洗压力、越障升力及抗风阻力,具有良好的稳定性;清洗机构采用污水回收循环利用装置,可提高清洗效率,有效避免二次污染;控制系统由上位机和以STM32F103单片机为核心的底层控制系统组成,采用无线蓝牙通信可实现远程操控。试验结果表明,该机器人生产成本低,具有良好的自主清洗和稳定性能,为商业化生产提供了理论参考。

关键词: 幕墙清洗机器人; 多涵道; 清洗机构; 越障; 控制系统

Design and realization of multi-channel curtain-wall cleaning robot

YAN Peng, WU Minghui, QIAN Li

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] In order to solve the three common problems of high cost, heavy workload and high risk of glass curtain-wall cleaning of high-rise buildings, inspired by the quadrotor model's stable flight in the air, a glass curtain-wall cleaning robot with multi-channel control is developed. The robot body adopts a multi-channel drive method to provide cleaning pressure, obstacle lift and wind resistance for the robot body, and has good stability. The cleaning mechanism adopts a sewage recycling device, which can improve the cleaning efficiency and effectively avoid secondary pollution. The control system is composed of the upper computer and the underlying control system with STM32F103 single-chip microcomputer as the core, and remote control could be realized by using wireless bluetooth communication. The test results show that the robot has low production cost and good autonomous cleaning and stability performance, which provides a theoretical reference for commercial production.

[Key words] curtain-wall cleaning robot; multiple ducts; cleaning mechanism; obstacle crossing; control system

0 引言

在现代城市中,大多数的高层楼宇都使用外形美观、保温效果较好的玻璃幕墙作为建筑材料之一。然而,具有大面积玻璃幕墙的定期清洗工作逐渐成为日常生活中的一大难题。目前,国内高楼玻璃幕墙的清洗方式主要是吊篮清洗和升降机清洗^[1-2]。这2种传统的清洁方式不仅效率低、成本高,而且容易出现安全事故,远远不能满足社会的需求。设计一款幕墙清洗机器人来智能完成清洗工作已然成为一项迫切需求。

钱志源等人^[3]设计了2个自身无行走机构并依靠壁面牵引移动的清洗机器人系统,通过双负压吸盘交替完成跨越窗框障碍物。Tun等人^[4]提出一种由自锁导螺杆驱动的被吸盘,用于将玻璃幕墙清洗机器人接合到玻璃壁面。哈尔滨工业大学深圳研究生院研发的幕墙清洗机器人通过螺旋桨转动产生

推力将清洗机器人贴合在玻璃幕墙表面,由楼顶提升装置驱动绳索带动清洗机器人完成上下清洗工作^[5]。

本文以国内玻璃幕墙清洗工作的迫切需要和玻璃幕墙清洗机器人的现状为导向,针对现有幕墙清洗机器人的不足,研发了一类多涵道的高楼幕墙清洗机器人,利用涵道电机为机器人提供清洗压力、越障升力和抗风阻力。通过清洗和越障实验证明,该机器人清洗效率高,能平稳跨越障碍物,将极大降低清洗作业的成本,降低事故风险,具有一定的社会效益和应用前景。

1 幕墙清洗机器人的机械结构设计

1.1 机械结构总体方案设计

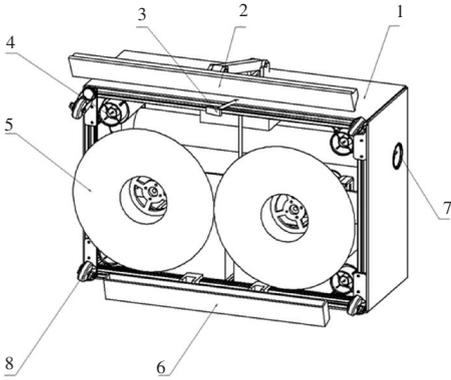
根据玻璃幕墙清洗机器人实际作业情景的功能需求和技术要求,玻璃幕墙清洗机器人在完成对高楼幕墙清洗任务的同时,需要实现跨越窗框等障碍

作者简介: 鄢 鹏(1997-),男,硕士研究生,主要研究方向:机械工程、机器人控制技术。

通讯作者: 鄢 鹏 Email:1182176418@qq.com

收稿日期: 2021-08-23

物的功能和贴合在玻璃幕墙表面的功能。因此,采用模块化设计理念,多涵道幕墙清洗机器人本体结构主要包含用于承载的支撑机构、对幕墙进行清洗作业的清洗机构和跨越障碍物与抗横风的运动越障机构。机身由主支撑架和壳体组成,总长 0.9 m,宽 0.6 m,高 0.45 m,其整体结构示意图如图 1 所示。



1-支撑支架; 2-上刮板组件; 3-喷头; 4-垂直涵道组件; 5-盘刷;
6-污水收集箱; 7-水平涵道组件; 8-脚轮

图 1 机器人本体机械结构

Fig. 1 Robot body mechanical structure

1.2 清洗机构设计

清洗装置包含清洗单元和污水回收单元,用于机器人清洗玻璃幕墙和污水过滤循环利用。机器人清洗作业采用喷嘴和盘刷联合作业的工作方式,通过喷嘴对幕墙表面进行湿润,在清洗液和机械力的双重作用下将表面污渍分离,利用刮板将多余的清洗液擦拭干净,实现玻璃幕墙表面的清洗。机器人清洗机构如图 2 所示。由图 2 可知,机器人清洗作业采用双清洗盘相向转动的机械清洗方式,依靠双调速电机反向转动,可精确控制洗刷装置的启动停止,同时针对不同的玻璃幕墙表面材料和不同的表面污染程度,可设定不同的转速进行清洗作业;两洗刷盘向内转动,将污水在中间收集,可有效避免幕墙的二次污染。

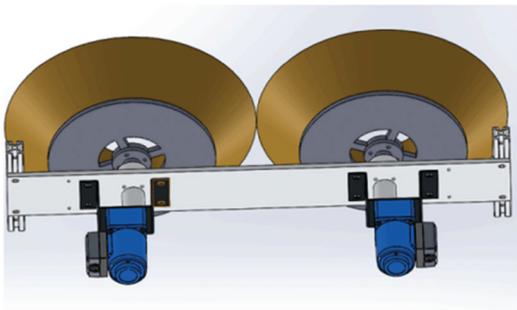


图 2 机器人清洗机构

Fig. 2 Robot cleaning mechanism

为减少一再添水带来的繁琐,实现对水资源的

高效利用,污水回收单元也是极为重要的一部分。污水回收装置主要由喷嘴、过滤器、水泵、电磁阀、水箱和刮板组成。净水从水箱经水泵由喷嘴喷洒在幕墙表面,清洗完毕后,在双向清洗盘和刮板的作用下,污水收集在污水箱中,再经过过滤器过滤后,由水泵抽取进入水箱,实现清洗用水循环利用。

1.3 运动越障装置设计

受四旋翼飞行器运动升降的启迪,运动越障装置采用涵道风扇式螺旋桨作为动力源。相比于自由螺旋桨,由于扇叶受涵道尺寸大小限制,对外界气流产生冲击造成的噪音有所减小,同时在相同的功率下,涵道风扇螺旋桨可产生更大的推力,由于其安全性较高、产生推力较大,可为玻璃幕墙清洗机器人提供清洗压力、越障升力和抗风阻力。

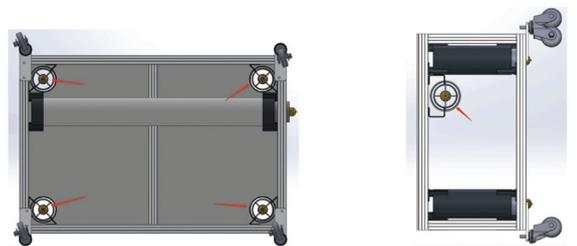
在匀速清洗工作过程中,机器人本体由 2 根高强度绳索悬吊,始终与玻璃幕墙壁面保持平行,靠近玻璃壁面的四涵道风扇转动时,所产生的推力驱动机器人本体远离壁面,提供越障升力;远离壁面另一侧四涵道风扇转动时,所产生的推力为机器人本体提供清洗压力。这里,设 α 为清洗机器人本体在牵引时与玻璃幕墙壁面的夹角,机器人在向下降过程中,夹角逐渐变小,在最高点时机器人清洗和越障时所需的推力最大,此处需用到的数学公式为:

$$Mg \tan(\alpha) = 4F \quad (1)$$

$$\tan(\alpha) = \frac{y}{x} \quad (2)$$

其中, M 表示清洗机器人本体的质量; α 表示清洗机器人与玻璃幕墙壁面的夹角; F 表示一个涵道风扇工作时所提供的推力; y 表示清洗机器人本体与提升点的竖直距离; x 表示清洗机器人本体与提升点的水平距离。

因此,机器人本体前后 2 侧各布置 4 个涵道风扇,有利于提升机器人运动和越障过程中的平稳性,2 侧各布置一个涵道风扇有利于抵抗外界环境变化,维持机器人本体的横向稳态,如图 3 所示。



(a) 涵道风扇前后侧安装位置 (b) 涵道风扇侧面安装位置

图 3 涵道风扇安装位置

Fig. 3 Installation position of ducted fans

2 幕墙清洗机器人控制系统设计

控制系统是幕墙清洗机器人的主要核心部件,其性能直接决定该系统的表现、能否实现清洗功能和能否越过障碍物。该清洗机器人控制系统采用 STM32F103 单片机,对清洗装置和移动越障装置发出控制信号,同时从传感器获取机器人本体姿态信息;采用无线蓝牙模块,实现远程监督机器人本体姿态信息,并发出相应的控制信号,维持机器人正常清洗作业和稳态。

依据清洗机器人功能需求设计整体硬件系统,主要包含 STM32F103 控制器、清洗结构硬件驱动装置、传感器数据采集装置、无线通讯硬件结构等,机器人硬件系统设计如图 4 所示。

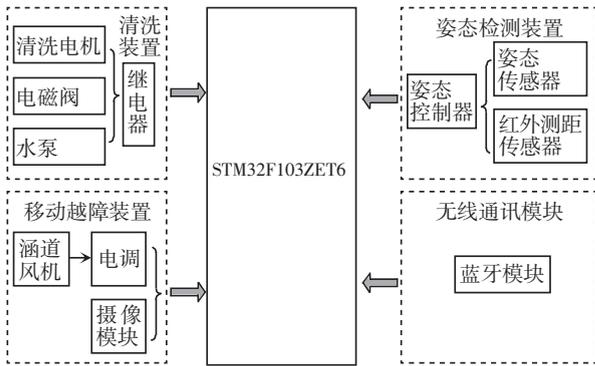


图 4 清洗机器人硬件系统

Fig. 4 Cleaning robot hardware system

幕墙清洗机器人清洗过程中姿态的稳定是确保清洗效率的关键因素。利用陀螺仪、加速度计传感器获取各轴的角速度和加速度原始数据,进行滤波、

融合处理后,通过 IIC 接口向 STM32 主控器输出姿态角度信息,通过无线蓝牙模块,利用安卓控制端对机器人姿态进行监控,同时对主控制器发出控制信号,实现对机器人本体姿态的控制。文中给出的姿态控制流程如图 5 所示。

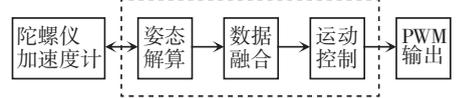


图 5 姿态控制流程图

Fig. 5 Attitude control flow chart

3 上位机控制界面设计

上位机控制面板作为幕墙清洗机器人远程的控制终端,需具备接收机器人本体传感器数据信息和解析并发送机器人控制指令两大功能。

机器人底层控制系统采用 STM32F103 为主控制器,包含继电器、超声波传感器、姿态传感器、蓝牙和无刷电调等外部元件。启动后,主控制器通过输出不同高低电平时间的 PWM 信号来控制涵道风扇的转速,进而达到控制机器人本体的姿态、提供清洗压力和抗风阻的目的。主控制器通过低功耗蓝牙与人机交互界面实现传感器数据传输和控制指令的解析发送。工作人员可根据人机交互界面观察机器人本体的实时姿态等数据信息,并发出相应的控制信号,从而实现远程的“监”和“控”。

控制软件界面示意如图 6 所示。由图 6 可知,人机交互界面包括清洗机器人姿态显示区域、蓝牙搜索连接区域和清洗机器人远程控制区域三大部分。对此,拟做研究分述如下。



图 6 控制软件界面示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the control software interface

(1) 无线通讯模块。采用低功耗蓝牙数传模块,最大有效传输距离可达 80 m,主要负责各项传感器数据和控制指令的传输。

(2) 姿态检测模块。采用 MPU6050 对机器人本体的姿态进行实时测量收集,经姿态解算后的数据输出为偏航角(*yaw*)、俯仰角(*pitch*)和滚动角(*roll*),实现对机器人本体姿态实时监测。

(3) 运动控制模块。根据机器人本体姿态数据

显示,设计人机交互的控制输出指令,便于操控清洗机器人水泵、电磁阀的启停,控制清洗机器人的清洗、提升越障和抗横风动作。

4 样机试验

根据上文对幕墙清洗机器人机械结构与控制硬件的详细介绍,搭建出整套清洗机器人系统,如图 7 所示。



(a) 清洗机器人样机结构



(b) 清洗机器人清洗作业

图 7 幕墙清洗机器人样机

Fig. 7 Curtain-wall cleaning robot prototype

为验证清洗机器人的可行性,根据实验室的现有条件,对机器人进行了清洗实验、越障实验和抗横风实验。实验时,清洗机器人本体的 STM32 主控制器利用无线蓝牙通信实现与人机交互界面的通信,从而控制机器人本体清洗和越障等功能。这里将展开研究论述如下。

(1) 清洗实验。实验平台搭建完毕后,在室内外分别进行清洗测试。将灰尘随机撒在待清洗玻璃幕墙表面,当机器人到达清洗位置时,上位机发出清洗指令,机器人本体执行盘刷清洗去尘动作,同时提高外涵道风扇转速,为机器人提供清洗压力。在双绳索悬吊装置牵引下,机器人匀速下降,对玻璃幕墙壁面进行清洗,清洗结束后,对机器人本体断电并将机器人提升至安全位置等待。

实验结果表明,该机器人清洗后的玻璃壁面干净程度良好,幕墙表面灰尘冲洗干净,在上刮板的刮擦下,清洗残留液流入污水收集箱,有效避免清洗污渍残留。

(2) 越障实验。清洗机器人在清洗过程中,容易碰撞窗框的水平障碍物。为验证机器人实际的越障效果,在机器人清洗过程中,将内侧涵道风扇转速调至最大安全转速,实验测得机器人本体的最大提升高度为 10 cm,能满足不同窗框的越障需求。二次测试时,将目标提升高度设置在 8 cm 位置,记录此时超声波传感器初始数据,在机器人完成提升后让其悬停,记录超声波传感器返回数据,计算 2 次传感

器返回数据差值。

实验结果表明,提升高度的误差值大致保持在 0.8 cm 范围内,提升高度数据稳定性较好,满足控制要求。

(3) 抗横风实验。抗横风实验目的是检验清洗机器人对横风的抵抗能力,机器人清洗过程中,在机器人本体左右两侧用风扇模拟空中作业受自然风吹动的环境,观察机器人在左、右涵道风扇的作用下抵抗横风的实验结果。实验表明左、右两侧涵道风扇能够在有外界风力干扰下开始工作,产生反作用力抵消外部风力影响。实验测得,机器人最大能在 4 级和风作用下,稳定贴合在玻璃幕墙表面。

5 结束语

该新型玻璃幕墙清洗机器人主要包含清洗装置、支撑装置、移动越障装置和控制系统四个组成部分。本次研究中,以 STM32 为控制核心,MPU6050 为姿态传感器,低功耗蓝牙为无线通讯模块,集清洗、移动和越障功能于一体,开发了机器人控制系统。设计了人机交互界面,还进行了机器人清洗、越障和抗横风实验。实验结果表明,该高楼玻璃幕墙清洗机器人能够正常在玻璃幕墙上实施清洗作业、进行移动、并跨越障碍物,不易掉落,且能够有效应对外界环境对机器人本体姿态产生的影响。

实验数据表明,越障高度仍存在一定的数据误

(下转第 136 页)