

胡智超, 李纪发, 黄子兆昌, 等. 基于 UARM 的流水线激光雕刻系统[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(6): 230-235. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.240635

基于 UARM 的流水线激光雕刻系统

胡智超, 李纪发, 黄子兆昌, 负佳隼, 刘馨瑶, 韩雨珈, 倪晓昌

(天津职业技术师范大学 电子工程学院, 天津 300222)

摘要: 激光加工是工业制造中的重要加工方式之一,为了解决传统的激光加工设备由于设备成本高和操作复杂而产生的问题,则迫切需要研发设计一种高效低成本的激光加工系统。本文提出了一种基于 UARM 机械臂的流水线激光雕刻系统,该系统由激光模块、UARM 机械臂和流水平台组成,共同实现对各种材料的高精度、高效率雕刻。基于 UARM 机械臂的流水线激光雕刻系统由的硬件和软件两个部分组成,其中包括 UARM 的机械设计、激光模块选取以及控制系统的撰写。同时展示了实验结果,证明了系统在不同材料上实现高质量雕刻的有效性,能体现出系统在产品标识和流水线雕刻加工方面具有广泛的工业应用潜力。

关键词: UARM; 激光雕刻; 机械臂; 控制系统; 工业应用

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)06-0230-06

UARM-based pipeline laser engraving system

HU Zhichao, LI Jifa, HUANG Zizhaochang, YUN Jiajun, LIU Xinyao, HAN Yujia, NI Xiaochang

(School of Electronic Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

Abstract: Laser processing is one of the important processing methods in industrial manufacturing. In order to solve the problems caused by the high cost and complex operation of traditional laser processing equipment, the need to develop and design an efficient and low-cost laser processing system is urgent. In this paper, an assembly line laser engraving system based on UARM manipulator is proposed, which consists of laser module, UARM manipulator arm and assembly platform, which jointly realizes high-precision and high-efficiency engraving of various materials. The assembly line laser engraving system based on UARM robotic arm consists of two parts: hardware and software, including UARM mechanical design, laser module selection and control system writing. At the same time, the experimental results are displayed, which proves the effectiveness of the system in achieving high-quality engraving on different materials, and could reflect the wide industrial application potential of the system in product identification and assembly line engraving processing.

Key words: UARM; laser engraving; robotic arms; control systems; industrial applications

0 引言

目前,国内外对于激光加工技术的研究已经取得了一定成果,激光加工技术已经被广泛应用于各种制造行业中。例如,在电子、汽车、医疗、航空等领域,激光加工技术已经得到了广泛应用。随着制造业的快速发展,高效、精准的生产工艺成为工业制造领域的热门研究方向。其中,激光加工技术因其高速、高精度、非接触式的特点,已经成为了工业制造中的重要加工方式之一^[1]。然而,在传统的激光加工设备中,由于设备成本高、使用门槛高、操作复杂等原因,激光加工技术的应用受到了很大限制。因

此,研究开发一种便捷、高效、低成本的激光加工系统具有十分重要的意义。

针对以上问题,在 UARM 机械臂的基础上构建流水线式的激光雕刻系统,从而实现对各种元件的高精度加工。本系统采用了激光雕刻技术,具有较高的加工精度和加工速度,同时,UARM 机械臂作为加工平台,具有良好的柔和适应性,能够适用于各种加工环境^[2]。

1 研究设计方案

1.1 设计目标

本研究旨在设计一种基于 UARM 的流水线激

基金项目: 国家级大学生创新创业项目(202210066007,202210066017)。

作者简介: 胡智超(2004-),男,本科生,主要研究方向:光机电技术应用。Email: 1299787619@qq.com

收稿日期: 2023-04-07

光雕刻系统,以提高激光雕刻的生产效率和准确性。具体而言,研究目标包括:

(1) 设计一种能够高效地完成流水线生产的激光雕刻系统。

(2) 提高激光雕刻的准确性和一致性,以满足不同类型产品的需求。

(3) 开发一个可靠的控制系统,确保激光雕刻系统的稳定性和安全性。

(4) 探索新型激光雕刻材料和工艺,以提高激光雕刻的质量和效率。

1.2 系统整体设计方案

该激光雕刻系统采用 UARM 机械臂作为操作平台,搭配激光雕刻器以及流水线平台进行雕刻。本次研究设计的整体框架如图 1 所示,对于其整体设计方案,这里将展开阐释分述如下。

(1) 机械设计:UARM 机械臂由机械臂底座、底座旋转舵机、臂 1、臂 2、臂 3、夹爪、手腕旋转舵机等多个部件组成。臂的长度和角度可以通过控制舵机来调整,以实现机械臂在三维空间内的移动。在 UARM 机械臂的基础上进行改进,以使其适用于激光雕刻,然后安装激光模块,通过旋转舵机控制激光模块在三维空间上进行移动,实现图案的刻画。

(2) 激光模块:由激光器、驱动电路、散热器和电源等组成。激光器可以发射出高能量、高密度的光束,用于刻画各种材料的表面^[3]。研究选择了具有适当功率的激光模块,这就能确保可以刻画出清晰的图案,而不会对材料造成损坏。

(3) 控制系统:使用 Arduino 控制板和 GRBL 控制软件来控制 UARM 机械臂和激光模块。系统的运行通过编写的 Python 程序来控制,包括启动和停止雕刻,以及读取和转换图像文件^[4]。用户可以通过该程序轻松地将所需的图案加载到系统中,此后则启动自动雕刻过程。

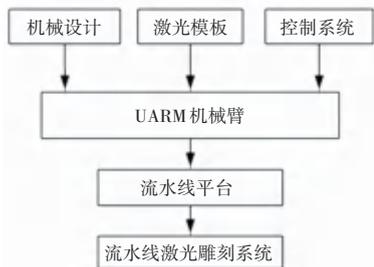


图 1 设计总体框图

Fig. 1 Overall design block diagram

1.3 机械臂流水线雕刻系统设计原理

系统设计原理包括以下几个方面:首先设计一

个机械结构,将 UARM 机械臂和激光雕刻设备进行固定和安装。机械结构考虑了机械臂的精度和稳定性,以及激光雕刻设备的安全和操作便利性。其次,设计一个控制系统,控制机械臂和激光雕刻设备的运动。控制系统使用 Arduino 控制板和 GRBL 控制软件进行设计和开发,能够实时获取机械臂和激光雕刻设备的状态信息,并能够精确控制各构件的运动^[5]。再次,设计一个软件系统,用于实现自动化流水线激光雕刻任务。该软件系统使用 Python 等编程语言进行设计和开发,实现路径规划、坐标系变换、光斑大小控制等功能,以保证激光雕刻任务的精度和效率^[6]。最后,对系统进行测试和优化。具体地,采用一些简单的图案或文字进行测试,通过测试,能够发现系统中存在的问题,并对系统进行修正和优化,提高系统的稳定性和性能。系统结构如图 2 所示。

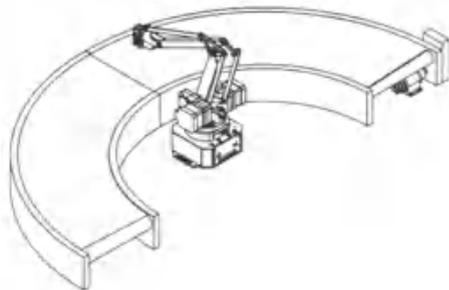


图 2 系统结构图

Fig. 2 System structure diagram

2 系统硬件构成

基于 UARM 的流水线激光雕刻系统是一种自动化的制造设备,可以用于高效地进行激光雕刻工作。该系统包括 3 个主要部分:UARM 机械臂、激光雕刻器和控制电路。

2.1 机械臂底座

2.1.1 底座结构的选取

UARM 机械臂需要具备足够的稳定性和精度,以便在运动过程中不会出现抖动或者误差。底座结构的选取考虑了机器臂的载重能力、运动范围、稳定性等因素。底座如图 3 所示。该底座采用铝合金材质,坚硬不易变形,有着极高的耐用性^[7]。底座内装载的电机为定制变速箱与步进电机构成,主电机使用寿命高达 3 000 h 以上^[8]。同时,主板为 Arduino MEGA 2560,具有极高的开源性,能够支持多种编程语言。且底座配有众多的扩展接口,如 USB、UART、I2C、GPIO 等多个接口,有利于系统的

测试与分析。

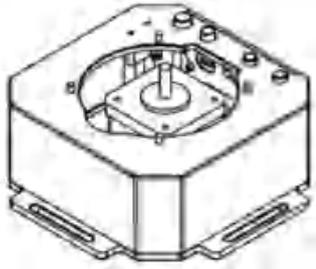


图3 机械臂底座

Fig. 3 Picker base

2.1.2 动力学考虑因素

系统需要考虑机械臂的速度、加速度、转动角度等因素,以确保机械臂的运动过程中不会出现过度震动或失控现象,经过实际数据的计算与分析,此机械臂底座的规格较为匹配,可以较好地支持机械臂的水平旋转和上下运动,让机械臂有着更高自由度,帮助机械臂实现更广泛的动作。

2.1.3 控制系统部分

底座可以通过 UARM Studio、Python、ROS 等多种方式进行控制,支持编程控制和手动控制。机械臂的控制系统可进行编程以实现运动轨迹的规划和控制,并可与其他部分进行更好的协调,即主要包括了机器臂的运动控制器、编码器、传感器等。这一设计也大大地提高了机械臂的普适性与可用性^[9]。

2.2 激光雕刻器设计和实现

激光雕刻器是该系统的另一个核心组件,是通过激光束在工件表面上进行雕刻。对于激光雕刻器的设计和实现,文中拟展开研究论述如下。

2.2.1 光学系统

激光雕刻器需要一个光学系统来将激光束聚焦到一个细小的点上,以实现高精度的雕刻。光学系统包括透镜、反射镜、光路等。激光器产生的激光束经过准直器和反射镜的反射,最终聚焦在物体表面上。激光束的能量密度非常高,可以将物体表面的材料瞬间蒸发或氧化^[10],从而形成所需的图案或文字。

2.2.2 激光发生器

该系统使用半导体激光器产生激光束。激光发生器需要一个高能量的光源和一个激光放大器,以产生高能量、高密度的激光束。可切割木材、塑料、纸张、布料等非金属材料。UARM Swift Pro 激光头可以通过 UARM Studio 软件进行控制,用户可以根据需要进行切割或雕刻,实现各种不同的制作需求。需要注意的是,使用激光头时需要遵守相关安全规范,以避免激光损伤人眼或物品。激光发射器的外

形如图4所示。

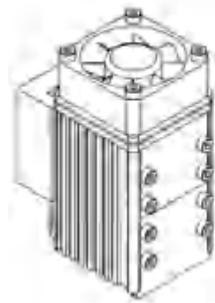


图4 激光发射器

Fig. 4 Laser emitter

2.2.3 冷却系统

激光雕刻器需要一个冷却系统来控制激光器的温度,具有过温保护,可避免激光头过热或过载,同时也配备了防护罩和安全开关,以确保使用安全^[11]。

2.3 控制电路

控制电路是基于 UARM 的流水线激光雕刻系统的核心部分之一。负责控制机械臂和激光雕刻器的运动和工作,以及协调整个系统的各个部分之间的交互。控制电路包括以下几个方面。

2.3.1 传感器选择

传感器是控制电路的重要组成部分之一。可以检测机械臂和激光雕刻器的位置、速度、加速度、力量等参数,并将这些参数反馈给控制器。传感器的选择综合考虑了精度、灵敏度、可靠性和适应性等多种因素。本雕刻器选取的传感器经过多次实际的计算与分析,能够很好地配合机械臂的运行与工作。且大大提高了雕刻的精度与速度。

2.3.2 驱动器选择

驱动器是控制机械臂和激光雕刻器运动的核心部分之一。可以将控制器输出的电信号转换为机械运动^[12]。常用的驱动器包括步进电机、直流电机和伺服电机等。驱动器的选择全面考虑了控制精度、运动速度、扭矩输出和可靠性等重要因素。故选取的驱动器能很好地配合电机的运作,大幅提高雕刻的灵敏度以及雕刻的稳定性,以此提高雕刻的精确度等。可大幅减少雕刻时的残品率,减少材料的损耗,以此来降低成本消耗。

3 软件编程调试与分析

(1) 确认硬件连接状态:在进行软件编程前,需要确认 UARM 机械臂、激光头、传感器等设备的连接状态。可以通过查看硬件连接线路、检查设备电

源等方式来确认连接是否正常。

(2) 编写控制程序:通过编写控制程序来实现控制机械臂和激光头的动作。程序使用 Python、C++ 等语言来编写,编写控制程序考虑了机械臂的运动范围、激光头的功率、速度和位置等因素,以确保程序的正确性和安全性。

(3) 调试程序:在编写控制程序结束后,进行调试。调试程序的过程中,可以通过打印调试信息、查看程序运行日志等方式来检查程序是否存在逻辑错误、异常情况等问题。需要注意的是,在调试过程中先进行模拟测试,确认程序逻辑无误后再进行实际测试。

(4) 数据分析:在程序运行过程中,需要通过传感器等设备来采集数据,并进行分析。数据分析的目的是确定机械臂和激光头的运动轨迹、激光头的功率、速度和位置等参数,以便优化程序性能和改进雕刻质量。

(5) 优化程序:通过分析数据和运行日志,可以确定程序存在的问题和优化方向,进而优化程序性能和改进雕刻质量。优化程序可以通过改进算法、优化代码、增加硬件设备等方式实现。

综上,研究得到的机械臂激光雕刻系统软件流程如图5所示。

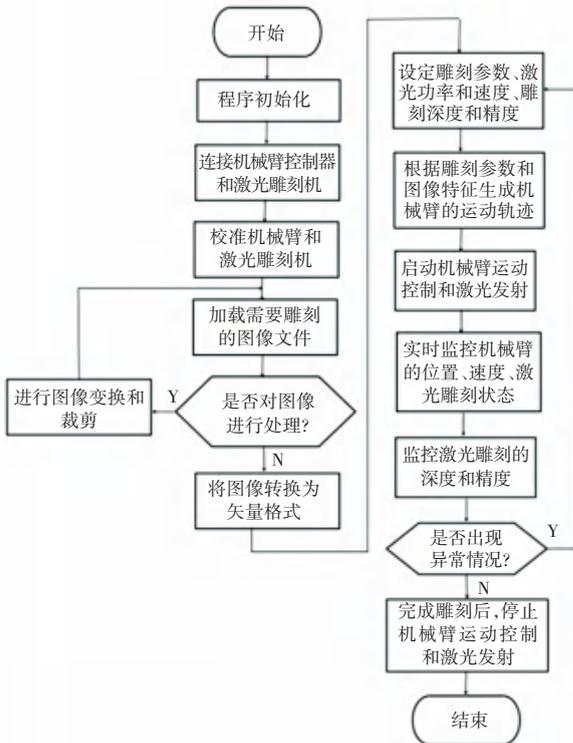


图5 机械臂激光雕刻系统软件流程

Fig. 5 Software flowchart of laser engraving system for robotic arm

4 系统测试与数据分析

4.1 测试目的

测试旨在验证基于 UARM 的流水线激光雕刻系统(以下简称系统)的功能和性能是否符合设计要求和用户需求,以及系统是否稳定可靠、安全易用、高效节能。

4.2 测试环境

本次测试在以下环境条件下进行:

(1) 硬件环境:使用一台配置为 Intel Core i5 处理器,8 GB 内存,500 GB 硬盘,Windows 10 操作系统的 PC 机作为上位机;使用一台配置为 STM32 单片机,4 GB 内存卡,Linux 操作系统的嵌入式控制器作为下位机;使用一台输出功率为 10 W,波长为 10 600 nm 的 CO2 激光器作为雕刻设备;使用一台型号为 UARM Swift Pro,自由度为 4,有效工作范围为 50 cm×50 cm×50 cm,重复定位精度为 0.2 mm 的桌面级机械臂作为运动控制设备;使用一条长度为 1 m,宽度为 20 cm,速度可调节的传送带作为输送设备。

(2) 软件环境:使用版本号为 1.1.22 的 UARM Studio 软件作为上位机软件;使用版本号为 1.0.0 的 LaserCAD 软件作为下位机软件。

(3) 材料环境:使用厚度均匀,表面平整无污染物,尺寸适合传送带宽度且不超过 5 mm 厚度的木质材料作为雕刻材料。具体设置如下:

- ① 温度:25 ℃(±5 ℃);
- ② 湿度:50%(±10%);
- ③ 电源电压:220 V(±10%);
- ④ 电源频率:50 Hz(±1 Hz);
- ⑤ 测试平台:Windows 10 操作系统,Intel Core i5 处理器,8 GB 内存。

(4) 测试工具:数字万用表、示波器、温湿度计、卡尺等。

4.3 测试结果与数据

进行了多组实验后,研究得到的测试结果见表 1。由表 1 可知,对研究得到的测试结果可展开阐释分述如下:

(1) 功能测试:系统能够成功导入不同格式和大小图像文件,并进行图像处理 and 轨迹生成;系统能够正常启动激光雕刻功能,并按照预期轨迹控制 UARM 机械臂运动来对材料进行雕刻;系统能够正确显示软件界面和相关信息;系统能够输出符合原始图像的雕刻结果。

(2) 性能测试:系统的雕刻精度平均为 0.1 mm,

最高可达 0.05 mm;系统的雕刻速度平均为 10 mm/s,最高可达 20 mm/s;系统的雕刻效率平均为 80%,最高可达 90%^[13]。

(3)稳定性测试:系统在连续运行 24 h 后,未出现任何异常情况,软件和硬件都保持正常工作状态。

(4)安全性测试:系统具备过温保护、过保护等安全功能,在发生异常情况时,能够自动停止激光输出或报警提示,并在恢复正常后自动继续工作或等待用户操作。

表 1 测试结果
Table 1 Test results

测试结果	测试指标	测试结果
功能测试	雕刻图案与预设图案相似度	>95%
性能测试	时间加工	<10 s
	重复定位误差	<0.2 mm
稳定性测试	故障发生率	<1 %
	故障原因	激光器过热、电机失步
可靠性测试	恢复时间	<5 s
	报警方式	声光报警、软件提示等
安全性测试	安全保护措施	保护罩、紧急停止按钮等

4.4 流水线激光雕刻实物样本数据记录

此雕刻样本为半径为 5 cm 的圆,传送带速率为 3 cm/s。雕刻过程中,并节的角度、角速度、角加速度的曲线变化如图 6 所示,端点轨迹(x - y - z 视

图) 则如图 7 所示。

在此基础上,进行了多次实物雕刻,样例(爱心熊)如图 8 所示。

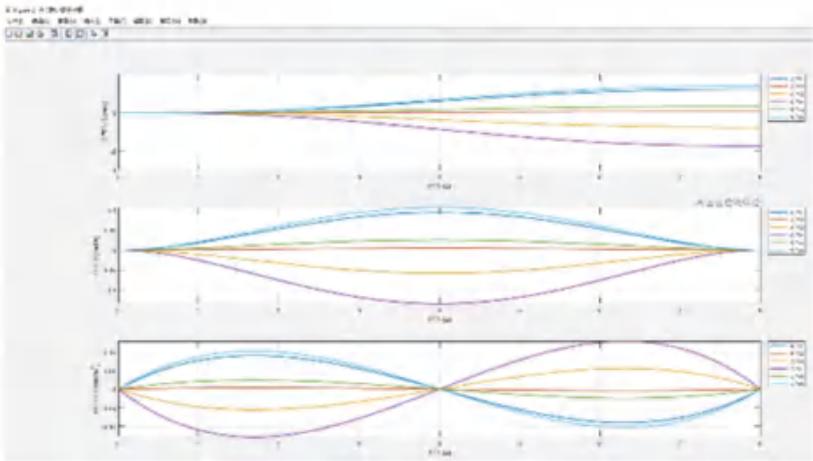


图 6 关节的角度、角速度、角加速度的信息图

Fig. 6 Infographic of angle, angular velocity, angular acceleration of joints

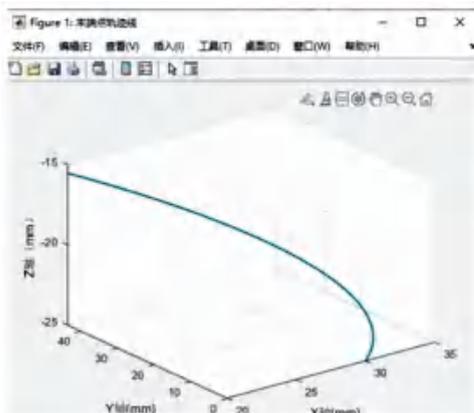


图 7 端点轨迹(x-y-z 视图)

Fig. 7 Endpoint trajectory (x-y-z view)



图 8 实物雕刻图

Fig. 8 Actual engraving drawing

5 结束语

在应用上,基于UARM的流水线激光雕刻系统可以应用于各种需要进行激光雕刻的场景,如制造业、艺术品制作、科研等领域。该系统可以通过自动化流水线的方式,大幅度提高雕刻的效率和精度。在制造业中,该系统可以用于对各种材料的加工和刻印,如塑料、木材、玻璃、金属等^[14]。在艺术品制作领域,该系统可以用于制作精美的雕刻作品。在科研领域,该系统可以用于制作微型结构和器件等^[15]。

进一步的讨论分析可知,基于UARM的流水线激光雕刻系统未来的发展方向包括更高效、更智能的控制系统和更广泛的应用场景。随着智能制造和工业4.0的不断发展,该系统可以实现更高效、更自动化的雕刻流程,同时也可以通过人工智能等技术,实现更智能的雕刻操作。另外,该系统也可以应用于如航空航天、医疗等更广泛领域,为各行各业的创新和发展提供技术支持。

参考文献

[1] 王水旺,丁焯,程柏,等. 水导激光微加工机理与研究进展[J]. 中国激光,2022,49(10):66-85.

- [2] 杨帆. 基于sEMG的机械臂仿人变阻抗控制研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.
- [3] 杨林丰,曹雪璐,宋珂. 基于“五结合”法的激光加工工程训练项目的教学设计[J]. 机械制造与自动化,2022,51(4):72-74.
- [4] 陈琛. 基于Python的企业网络智能化运维研究[J]. 电子技术与软件工程,2021(1):39-40.
- [5] 闫文娟,魏黎明. 便携式激光雕刻机设计与实现[J]. 科技通报,2018,34(10):130-133.
- [6] 葛书荣. 基于Python语言编程特点及应用之探讨[J]. 网络安全技术与应用,2021(10):37-38.
- [7] 颜艳. 探究铝合金材质在产品中的应用[D]. 北京:北京理工大学,2015.
- [8] 李寅龙,张新玉,张凤. 基于RTX的步进电机寿命实验[J]. 电子测量技术,2016,39(10):124-129.
- [9] 许锐. 基于并行CCD的机械臂位姿控制方法研究[D]. 南京:南京邮电大学,2022.
- [10] 陈胜,黄辉宇,董雄炜,等. 激光切割技术的研究现状[J]. 有色金属加工,2022,51(5):1-6,26.
- [11] 郑伟,徐放,张雅楠,等. 激光切割技术在消防救援破拆中的应用研究[J]. 消防科学与技术,2023,42(1):89-93.
- [12] 盛松梅. 基于人工智能技术的无人机机械臂自动控制系统[J]. 机械设计与制造工程,2022,51(8):117-121.
- [13] 徐笑涵. 基于ARM和FPGA的激光雕刻机嵌入式插补系统设计[D]. 武汉:湖北工业大学,2020.
- [14] 孔志勇,王小强. 桌面多功能数控激光雕刻机设计与制作[J]. 电子测试,2022,36(7):36-38.
- [15] 赵嘉媛. 激光加工工艺在先进制造技术课程中的应用[J]. 西部素质教育,2016,2(9):81-82.