

基于机器视觉的多规格螺丝锁付系统

张雷^{1,3}, 陆东^{2*}, 刘申¹, 张金辉¹, 秦亚敏¹, 李欣¹

(1. 河北省机电一体化中试基地有限公司, 河北 石家庄 050081;

2. 河北轨道交通职业技术学院 机电工程学院, 河北 石家庄 050801;

3. 河北省智能测控技术创新中心, 河北 石家庄 050081)

摘要:针对小批量、变种类、多规格及小体积工件装配时螺丝锁付作业效率低、精度差的问题, 研发了基于机器视觉的多规格螺丝锁付系统, 通过机器视觉单元对工件表面螺纹孔进行识别定位, 通过运动控制单元、螺丝锁付单元、供压单元、质量检测单元以及通信单元的协同作业, 完成螺丝锁付及质检作业。搭建了实验平台, 并以表面螺纹孔为 M2 的工件为实验对象进行实验, 结果表明, 该系统可满足小型螺纹孔锁付的装配要求, 有效地解决了人工作业时遗漏等问题, 对机器视觉技术应用小型工件装配工序提供了一定的实用价值。

关键词:多规格; 装配; 螺丝锁付; 机器视觉; 识别定位

中图分类号: TP29

文章编号: 1000-0682(2025)05-0012-06

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.05.003

Multi-specification screw locking system based on machine vision

ZHANG Lei^{1,3}, LU Dong^{2*}, LIU Shen¹, ZHANG Jinhui¹, QIN Yamin¹, LI Xin¹

(1. Hebei Mechatronics Intermediate Pilot Production Base, Hebei Shijiazhuang 050081, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Hebei Vocational College of Rail Transportation, Hebei Shijiazhuang 050801, China;

3. Hebei Intelligent Measurement and Control Technology Innovation Center, Hebei Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: In order to solve the problem of low efficiency and poor precision of screw locking operations during the assembly of small batches, variable types, multiple specifications, and small volume workpieces, a multi-specification screw locking system based on machine vision was proposed. The threaded holes on the surface were identified and located by machine vision unit, the screw locking and quality inspection operations were completed through the collaboration among the motion control unit, screw locking unit, pressure supply unit, quality inspection unit, and communication unit. Finally, an experimental platform was built, and the surface with a threaded hole of M2 was used as the experimental object, the experimental result shows that, this system can meet the assembly requirements of small threaded hole locking, it can effectively solve problems such as omissions during manual operations. This paper provides practical value for the application of machine vision technology in the assembly process of small workpieces.

Keywords: variable types; assembly; screw locking operations; machine vision; identified and located

收稿日期: 2025-03-18

基金项目: 河北省科学院科技计划项目“基于机器视觉的多规格螺丝锁付系统研发”(2022G21); 石家庄市中试熟化平台项目—数智化装备制造中试熟化平台(234790134A)

第一作者: 张雷(1987—), 男, 河北石家庄人, 本科, 高级工程师, 研究方向为机电一体化技术。E-mail: zhangleij1987@126.com

0 引言

随着工业自动化及智能化水平的不断提高, 各行各业对零部件的装配工艺提出了更高的要求^[1-3]。

目前传统的装配生产线中, 大多是采用手持型和示教型 2 种螺丝锁付装配工序^[4-5]。手持型局限于锁付螺孔数量较少且螺钉规格大于 M3 的产品,

当产品中螺孔数量庞大且螺丝钉尺寸为1~3 mm时,工人将大量时间耗费在取螺丝钉、放螺丝钉或者对准螺丝钉等过程中,人工成本高,锁付效率低下,容易产生锁付不紧或刮花等问题。示教型虽可节约大量人工,但若产品种类多样化,就需要多次录入螺丝孔坐标信息,操作繁琐,定位精度较差,难以保证质量^[6]。

近年来,已有学者研究自动紧钉技术。郝欣妮等^[7]设计了面向多规格螺母的自动拧紧机系统,实现了不同型号的汽车保险丝盒螺母定扭拧紧;王凯等^[8]研发了1种多规格转台轴承组件的自动紧钉装置,该装置由于转台轴承组件上的螺钉孔沿圆周均匀分布,相机只需识别1个螺钉孔的位置,实现了多规格转台轴承组件的自动定位夹紧以及装钉紧钉作业;田永成等^[9]设计了在线式轮装制动盘螺栓自动拧紧机,实现了不同规格的轮盘拧紧。上述装置均是对特定对象进行作业,柔性度和通用性相对较低,且未将质量检测工序引入系统中。

为提高小批量、变种类、多规格及小体积工件装

配时螺丝锁付的自动化程度,将机器视觉技术、多轴运动控制技术、螺丝锁付技术以及通信技术等多方面技术进行融合,研发了基于机器视觉的多规格螺丝锁付系统,实现了螺纹精密装配工艺的数字化、智能化管理。

1 系统方案设计

基于机器视觉的多规格螺丝锁付系统的基本框架如图1所示。系统主要由主控单元、机器视觉单元、运动控制单元、螺丝锁付单元、质量检测单元、供压单元和通信单元7部分组成^[10]。机器视觉单元采集待装配工件的表面图像,经图像识别、定位后获取螺丝锁付世界坐标,经通信单元将坐标信息传输给主控单元,主控单元根据三维坐标信息指使运动控制单元带动螺丝锁付单元到达螺钉拾取位置和螺丝位置,并经供压单元提供的正负压实时供给完成螺钉的拾取和锁付作业,最后,质量检测单元完成螺丝锁付质量的检测^[11]。



图1 系统基本框架图

2 系统整体结构设计

系统总体结构如图2所示。

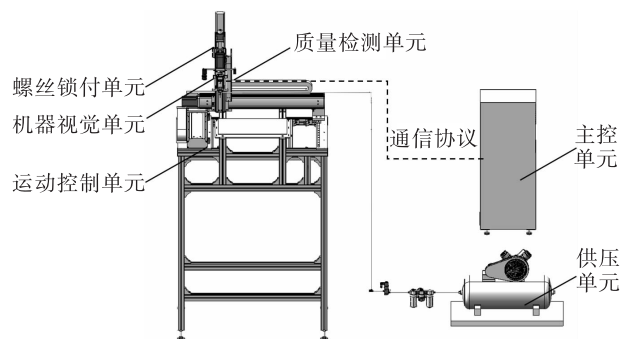


图2 系统总体结构图

运动控制单元固定安装在工作台上,螺丝锁付单元通过滑动机构安装在运动控制单元的Z轴直线模组上,机器视觉单元和质量检测单元固定安装

在螺丝锁付单元两侧,供压单元的吸气管和排气管分别与螺丝锁付单元的真空吸嘴管接头连接,主控单元通过各种接口与系统的其他单元进行数据交互,实现对各单元的控制。

2.1 运动控制单元设计

运动控制单元根据主控单元下发的指令,带动螺丝锁付单元完成螺丝拾取、螺丝锁付作业,以及带动质量检测单元完成已锁付螺丝的质量检测。为适应不同尺寸的工件锁付作业,设计的运动控制单元如图3所示,包括X轴直线模组、Y轴直线模组和Z轴直线模组,直线模组为半封闭式丝杆传动线性模组,分别由3个伺服电机驱动^[12]。X轴直线模组固定安装在工作台上,Y轴直线模组安装在X轴直线模组的滑台上,Z轴直线模组安装在Y轴直线模组滑台上,为保证稳定性,在Y轴直线模组的另一端设置有与X轴直线模组平行的直线导轨。

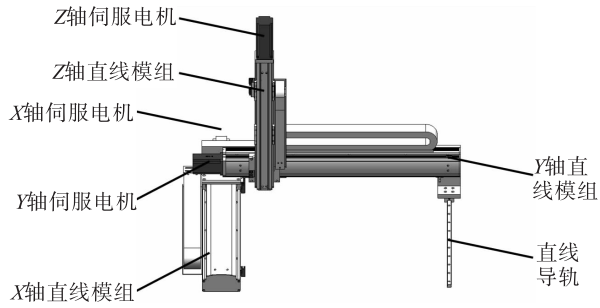


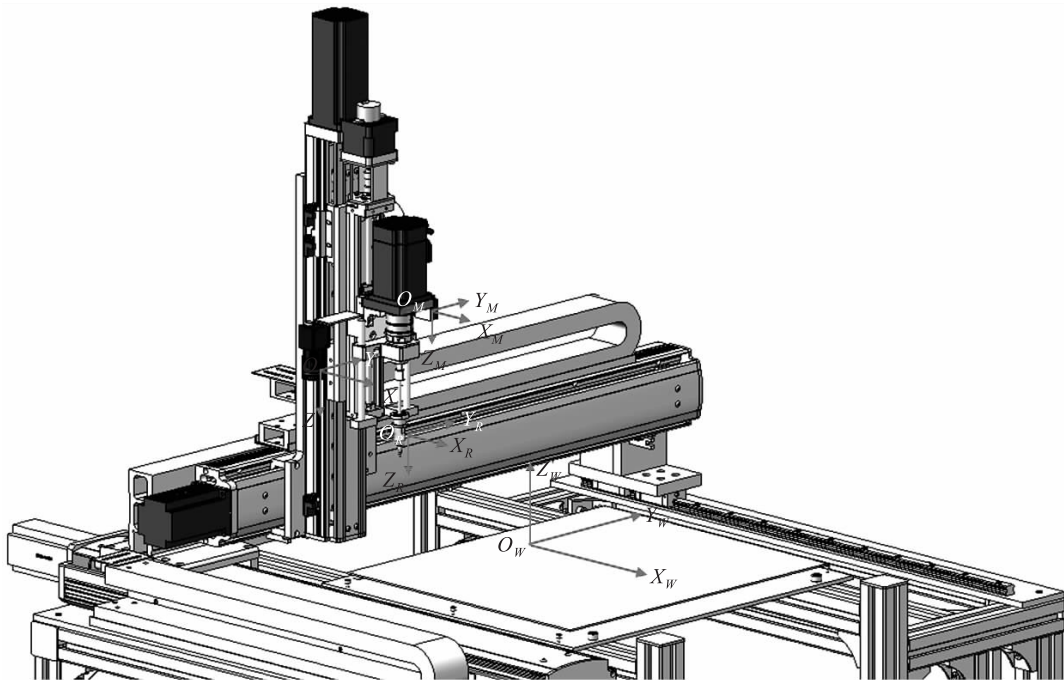
图3 运动控制单元

2.2 机器视觉单元设计

机器视觉单元主要完成工件上螺纹孔的识别与定位。系统中机器视觉单元主要包括 3 部分：(1) 图像采集模块，主要由 CCD 工业相机、图像采集卡和光照设备等组成，负责完成工件表面螺纹孔图像的采集；(2) 图像识别和处理模块，包括计算机和图像处理软件，负责螺纹孔特征识别及提取；(3) 机器视觉定位模块，其核心部件为标定板，负责完成不同

坐标系之间的转换。

由系统工作原理可知，完成螺丝锁付和质量检测的前提是需要确定像素坐标系、图像坐标系、相机坐标系、世界坐标系、螺丝锁付坐标系以及质量检测坐标系之间的转化关系。机器视觉定位具体流程为：(1) 相机标定^[13-16]：建立世界坐标系，利用机器视觉标定技术确定像素坐标系与相机坐标系的转换关系，以及相机坐标系与世界坐标系的坐标转换关系；(2) 位置补偿^[17]：分别建立螺丝锁付坐标系和质量检测坐标系，分别确定世界坐标系与螺丝锁付坐标系和质量检测坐标系的位置补偿关系；(3) 二次转换：将待锁付螺纹孔中心点的相机坐标值分别转换为螺丝锁付坐标系和质量检测坐标系，从而为锁付作业和质检作业提供位姿信息。图 4 为相机坐标系、世界坐标系、螺丝锁付坐标系和质量检测坐标系四者之间的关系图。



$O-XYZ$ —图像坐标系； $O_W-X_W Y_W Z_W$ —世界坐标系； $O_R-X_R Y_R Z_R$ —螺丝锁付坐标系； $O_M-X_M Y_M Z_M$ —质量检测坐标系

图4 各坐标之间关系图

2.3 螺丝锁付单元设计

图 5 为螺丝锁付单元，主要包括直线导轨模块、锁付电机、带有扭矩检测模块的联轴器和螺丝批头通用杆、真空吸嘴组件^[18-19]。直线导轨模块安装在 Z 轴直线模组的滑台上，螺丝批头通用杆一端通过带有扭矩检测模块的联轴器与锁付电机，另一端为图 6 所示的锁紧机构。当执行换刀作业时，螺丝批

头通用杆的锁紧机构与真空吸嘴组件(如图 7 所示)的螺丝批头锁紧并通过磁力二次固定，定位吸嘴组件通过其内的上下限定位机构防止螺丝批头脱落，不同规格的螺丝批头头部设置有尺寸相同的锁紧机构；当执行锁付作业时，联轴器上的扭矩检测模块实时检测其扭矩，当到达设定扭矩时，表明当前螺纹孔的螺丝锁付作业完成。

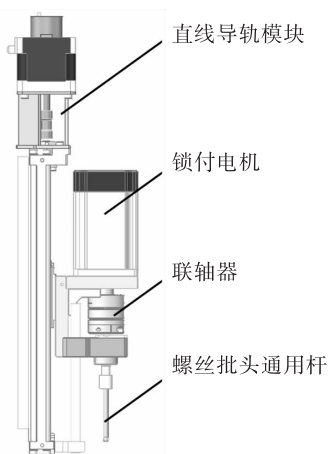


图 5 螺丝锁付单元示意图

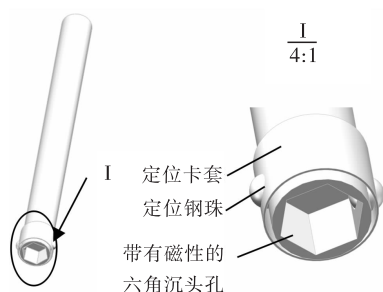


图 6 螺丝批头通用杆及锁紧机构示意图

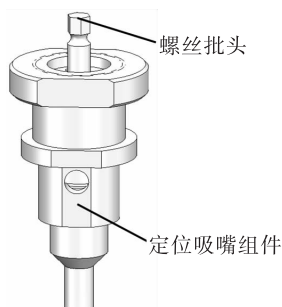


图 7 真空吸嘴组件

2.4 供压单元设计

进行螺丝锁付作业时,需要通过供压单元提供的负压完成螺钉的吸取作业。图 8 为供压单元气路图,供压单元主要由空气压缩机、气动三联件、二位三通电磁阀和真空发生器组成。吸取螺钉时,二位三通电磁阀得电,气路接通,高压气体通过相应的真空发生器变为负压,并传递至相应的真空吸嘴组件使得能够完成取钉作业;螺丝锁付时,当扭矩到达预设值表明锁付作业完成,二位三通电磁阀失电,气路断开。

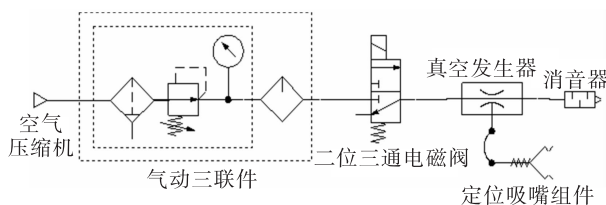


图 8 供压单元气路图

2.5 质量检测单元设计

质量检测单元主要是检测已锁付螺钉锁付是否到位,其核心部件为激光位移传感器。将激光位移传感器固定在螺丝锁付机构上,保证激光位移传感器的激光中心发射的激光线与 Z 轴平行,当某一螺紋孔锁付作业完成后,通过激光位移传感器对该螺紋孔中的螺钉进行高度测量,判断该螺紋孔锁付质量是否合格。

质量检测单元的具体工作流程为:(1) 提前预设标准高度差 H 和最大高度误差 Δh :将机器人坐标系的 Z 轴坐标调整为 0,利用激光位移传感器测量出多个合格的已锁付螺钉距激光位移传感器激光中心的高度,并确定出激光位移传感器距合格的已锁付螺钉的标准高度差 H 和最大高度误差 Δh ;(2) 某一螺紋孔完成锁付作业后,锁付信号置 0,运动控制单元带动质量检测单元移动,当到达质检位后,质检信号置 1,激光位移传感器对已锁付螺钉进行高度测量。设质检的已锁付螺钉距激光位移传感器的高度差为 H_m ,当 $|H_m - H| \leq \Delta h$ 时,说明质检合格,当 $|H_m - H| > \Delta h$ 时,说明质检不合格,然后激光位移传感器将反馈信号传递给主控单元,主控单元接收到反馈信号后,质检信号置 0,锁付信号置 1,开启下一螺紋孔的锁付作业。

3 基于机器视觉的多规格螺丝锁付系统控制系统设计

基于机器视觉的多规格螺丝锁付系统的主控单元采用上、下位机的两级分布式结构,基于 MATLAB 编程软件开发上位机软件,下位机以 PLC 控制器为核心,采用西门子 PLC S7-200 PC Access Smart 进行西门子 S7-200 Smart 与 MATLAB 编程软件之间的数据传输^[20]。

系统具体控制流程为:运动控制单元带动机器视觉单元到位拍照位,通过机器视觉单元完成螺紋孔规格识别和中心点定位,基于通信单元完成机器视觉单元与主控单元之间的数据交互,为运动控制单元提供位姿引导,主控单元根据待拧

螺纹孔规格指使螺丝锁付单元进行换刀作业,并指使运动控制单元带动螺丝锁付单元对当前规格螺纹孔进行螺丝锁付作业,带动质量检测单元对当前已锁付螺钉进行质检作业,判断当前规格螺纹孔剩余数量是否为 0,若不为 0,则对当前规格下 1 个螺纹孔进行锁付作业;若为 0,则判断待锁付螺纹孔剩余规格数量是否为 0,若不为 0,根据下一规格螺纹孔进行换刀作业,并循环执行螺丝锁付和质检作业,若为 0,则表明当前工件螺丝锁付作业完成,循环执行下一工件螺丝锁付作业。图 9~图 12 分别为控制系统主程序流程、换刀子程序、螺丝锁付子程序和质检子程序。

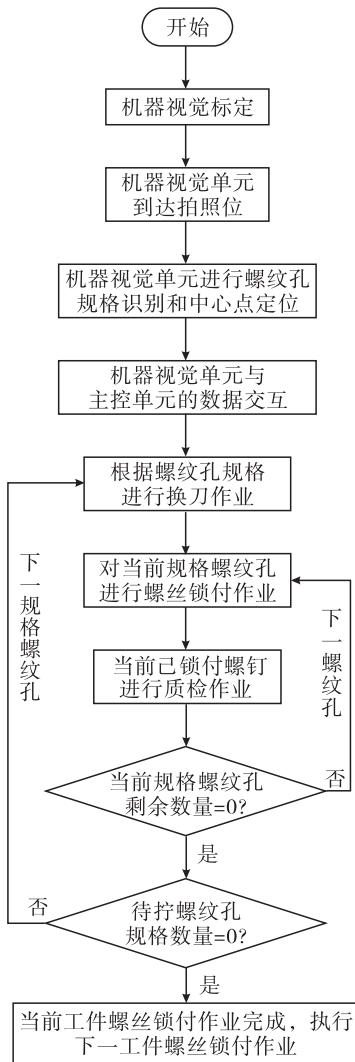


图 9 控制系统主程序

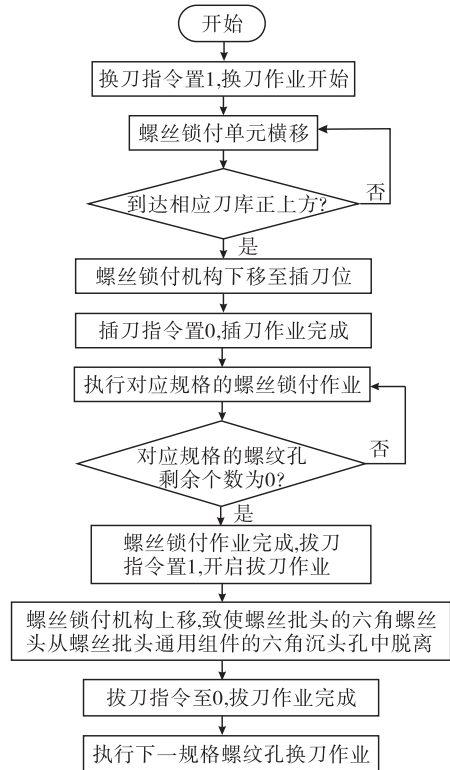


图 10 换刀子程序

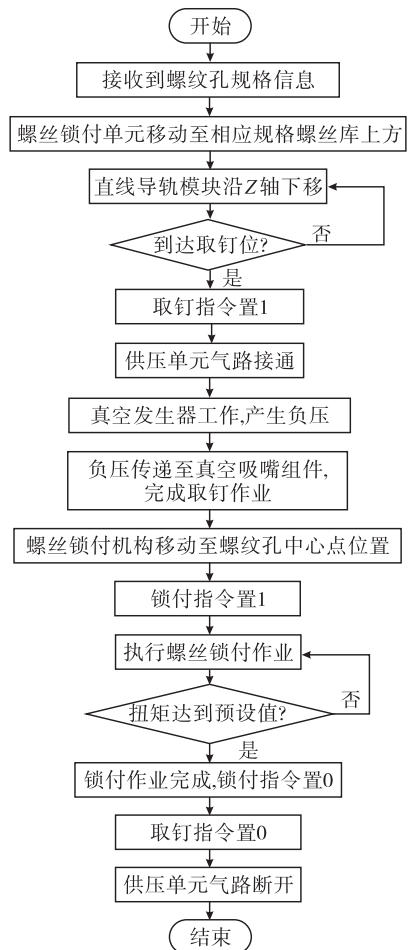


图 11 螺丝锁付子程序

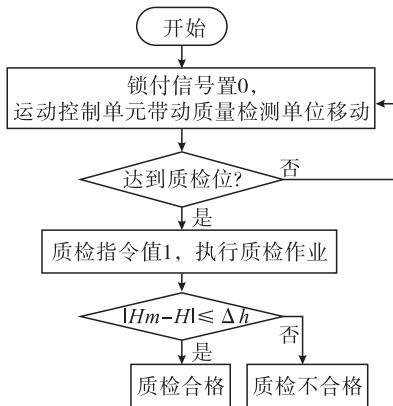


图 12 质检子程序

4 系统测试分析

为验证系统的可行性,搭建了试验系统,编写了 PLC 程序。图 13 为部分 PLC 程序梯形图,图 14 为上位机人机交互界面^[21]。最后,对某一待装配工件进行试验,该工件表面螺纹孔为 M2,试验过程如图 15 所示,图 15(a)为螺丝锁付作业图,图 15(b)为质量检测作业图。

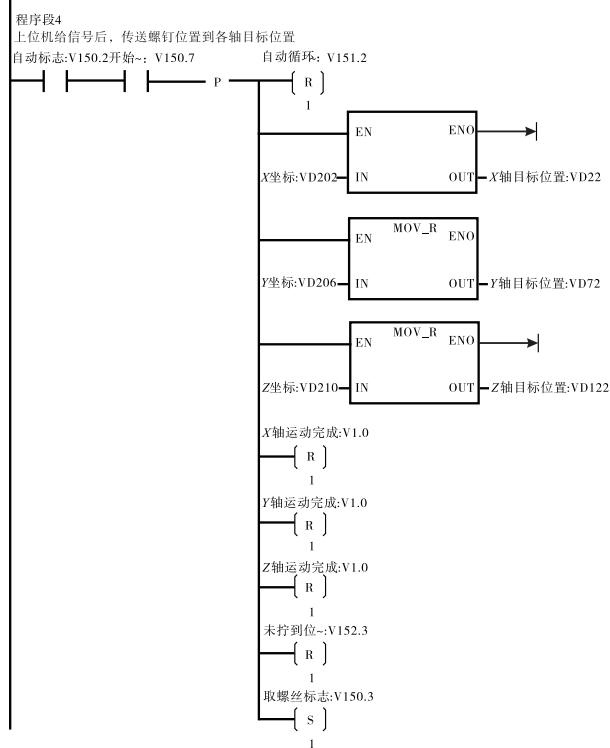


图 13 部分 PLC 程序图

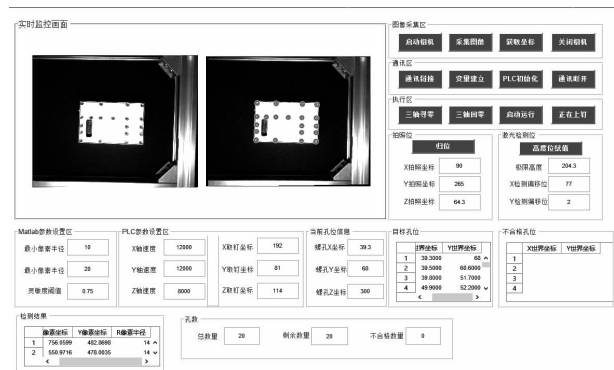
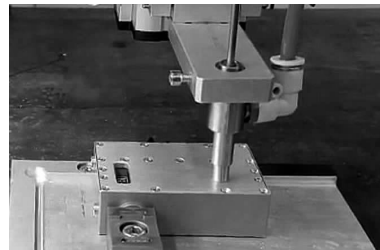


图 14 上位机人机交互界面



(a) 螺丝锁付作业图



(b) 质量检测作业图

图 15 试验过程图

5 结语

该文设计并实现了 1 套基于机器视觉的多规格螺丝锁付系统,该系统基于机器视觉识别技术实现了不同种类工件表面待锁付螺纹孔的识别,结合机器视觉标定技术获取待锁付螺纹孔的锁付位置和质检位置信息,基于数据通信技术完成机器视觉单元与运动控制单元的数据交互,利用多轴运动控制技术和螺丝锁付技术实现专用螺丝自动拾取、自动换刀及自动锁付功能,并应用激光传感技术实现对螺丝锁付质量的检测。实验结果表明,该系统识别准确率高、通用性强,在小批量、变种类、多规格的小型工件装配工序中具有较高的应用前景。

参考文献:

[1] 方凯悦,王超,武占魁,等. 面向多品种零件结构的机器人自动夹持定位技术[J]. 现代制造工程, 2024 (09): 60 - 64 + 11.

