

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.03.024

视觉跟踪在数控加工智能产线中的应用研究

胡伟锋, 韩伟, 颜建, 刘建光

(广州城市理工学院 机械工程学院, 广东 广州 510800)

摘 要: 针对汽车发动机柔性数控加工产线运转过程中机器人如何准确抓取传送带上随机无序摆放零件的问题, 研究 FANUC 视觉系统的视觉控制位置跟踪和机器人快速定位抓取零件的技术方法。分析通过多个相机对传送带上无序摆放的零件视觉检测图像数据生成过程以及视觉系统相机零点标定和成像参数设置方法; 阐述运用 FANUC 宏程序对 2 个相机的成像数据拟合生成零件位置坐标系, 并根据标准定位模板比对计算确定随机摆放零件的位置偏移数据, 编制机器人坐标系跟踪、手爪位置调整和零件抓取程序, 提高数控加工产线定位的精准度和可靠性。

关键词: 智能产线; 机器人; 视觉标定; 坐标跟踪; 偏移补偿。

中图分类号: TP242.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2025)03-0121-05

Research on Application of Visual Tracking in Intelligent Production Line of CNC Machining

HU Weifeng, HAN Wei, YAN Jian, LIU Jianguang

(School of Mechanical Engineering, Guangzhou City University of Technology, Guangzhou 510800, China)

Abstract: Concerning the know-how of robots accurately grasping parts randomly and disorderly placed on the conveyor belt during the operation of flexible CNC machining production lines for automotive engines, the visual control position tracking of FANUC vision system and the technical methods of robot rapid positioning and grasping of parts were studied. The process of generating visual inspection image data for parts placed in disorder on the conveyor belt through multiple cameras and the method of zero point calibration and imaging parameter setting for the visual system camera were analyzed. The FANUC macro program was used to fit the imaging data of two cameras and generate a part position coordinate system, and the position offset data of randomly placed parts was determined by comparing and calculating the standard positioning template, so that the robot coordinate system tracking, gripper position adjustment, and part grasping program were developed, which improves the accuracy and reliability of CNC machining production line positioning.

Keywords: intelligent production line; robot; vision calibration; coordinate tracking; offset compensation

0 引言

为了提高汽车制造企业的生产效率和智能化水平,在大批量的汽车发动机缸盖、缸体和减速箱盖等铝合金零件的柔性数控加工过程中,正在推广使用机器人自动上下料的方法,将传送带上的零件抓取送入或取出机床工作台。传统的机器人上料方式需要人工将拟抓取的零件在传送带上逐个准确定位、同一方向放置在传送带托盘或固定位置上,机器人按照示教程序到达程序指定的位置完成抓取。这种方式会使产线辅助设备只能局限于特定加工对象,限制了加工对象的快速灵活柔性变化,并增加了托盘设备成本和机床的辅助加工时间。而通过视觉系统的快速拍照定位和偏移补偿调整,能对传送带上无序随机摆放的零件

直接进行准确定位、抓取和送料操作,并节省了托盘及固定零件装置的投资成本^[1]。图 1 所示为用于汽车发动机缸盖、缸体和减速箱盖等铝合金压铸件的柔性加工产线,采用 FANUC iRVision 3DL 视觉技术自动补偿位置跟踪功能,控制机器人关节轴调整角度补偿和位置偏差,使机器人准确定位抓取随机无序摆放的缸体零件^[2],再通过机器人关节轴调整对准机床上的相应位置,实现无定位零件的快速上料。具体过程以铝合金缸体的机器人上下料视觉控制应用详述如下。

1 柔性产线视觉控制机器人上下料的系统组成

基于视觉控制的智能产线比传统的专机上下料方式更容易进行发动机缸盖和缸体等铝合金零

第一作者简介: 胡伟锋(1985—),男,广东汕头人,实验师,学士,研究方向为数控技术及自动化技术,315988737@qq.com。

件之间的更换,增加了产线适应不同加工对象的柔性,减少了机床的辅助加工时间和辅助托盘设备成本,具有更高的开放性及自动化程度,同时系统的组成单元更为复杂,产线变成了能够进行视觉跟踪和动作调整的智能加工产线。

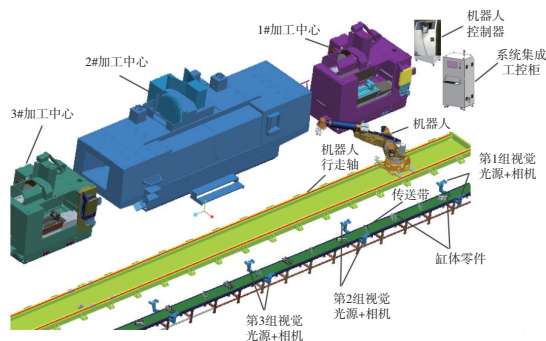


图1 铝合金缸体零件数控加工线布局图

1.1 数控机床机器人上下料系统组成

加工智能产线由3台加工中心、机器人、视觉相机、输送链、R-30iA 控制器、PLC 控制器和通信网络系统组成。智能产线系统使用1台 FANUC R-2000iB /165F 机器人服务3台数控机床进行上下料的作业,3台数控加工中心分别完成V形斜面孔的精铣加工,侧面、底面几何形状精铣以及钻孔和攻牙等加工内容。机器人安装在35 m 长的直线轨道上,伺服电动机驱动机器人在轨道上往返,最大运动速度为1.5 m/s,运动范围覆盖3台数控机床以及上下料区域^[3-4]。图2所示为机器人上下料数控加工单元结构组成,其中 FANUC R-2000iB /165F 机器人共有6个关节轴 J1—J6 坐标系。抓取动作位姿调整由机器人的“臂转”、“手转”和“腕摆”组合而成,机器人根据视觉系统传送的偏移数据,通过关节轴的回转调整动作从两侧准确夹持缸体^[5-6]。

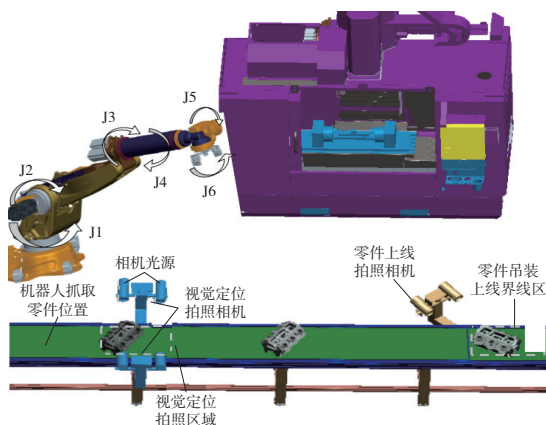


图2 机器人上下料数控加工单元组成

1.2 视觉跟踪系统结构组成

在传送带的侧面上方,安装了3组视觉系统的光源和相机,采用康耐视 In-Sight 8000 摄像机和 Proficient 双总线框架通信模式。同时,工控系统根据视觉系统的数据信息,运用西门子 PLC 控制机器人动作、输送带传送速度、停顿时序和每台数控机床加工时段节拍协调,集成在触摸屏内以人机对话形式进行监控和控制。系统的通信连接框架如图3所示,西门子 PLC 通过简单链接的 IO 控制器之间实时通信,将计算容量分发到各子系统控制设备,利用局部组件设备处理过程数据,降低 Proficient 双总线框架的通信负载,提高数据交换的速度和处理效率^[7-8]。

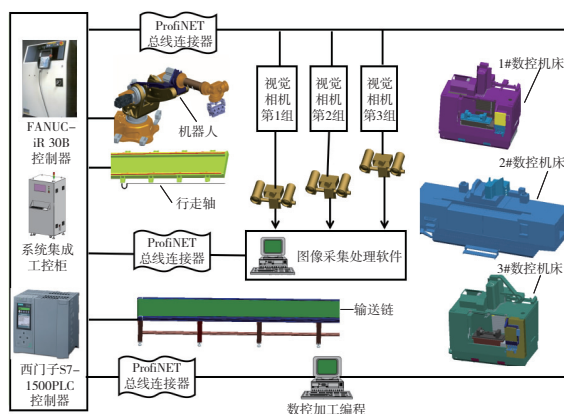


图3 系统的双总线通信框架图

机器人 R-30iA 控制柜子系统的主板上设有多个照相机复用连接接口 JRL6A、JRL6B 和 JRL6C 等,连接多路视频切换器和图像处理平台等进行零件位置图像跟踪控制。系统采用康耐视 In-Sight 8000 双目彩色编码视觉传感器捕获图像,能自动适应周围环境光线强度的变化从而调节曝光时间,对表面高亮反光、暗色、锈迹、油污的工件实现高质量成像,克服铝合金缸体零件表面覆油膜反光和环境光干扰,取得与示教模板良好图象类似的成像效果^[9]。

2 视觉相机零点标定及零件的视觉成像模板设置

通过 FANUC 的 iRVision 视觉软件控制两个相机拍摄目标零件后,再运用视觉标定板标定零件坐标系中心位置,并与零件几何特征模板中心比对,通过运行拟合校正计算及视觉跟踪程序,产生零件偏移数据传递给机器人,才能引导机器人调整偏移手爪位姿准确抓取零件。

2.1 视觉标定及复数相机成像数据拟合

为了实现相机对零件位置进行拍照及机器人坐标系的准确跟踪,首先需要运用视觉零点标定功能进行机器人工具坐标系标定。如图4所示,先在传送带侧上方安装好两个相机、光源、支架和视觉标定板等,并通过以太网将相机、光源和机器人示教器进行连接。选择相机的类型为康耐视 In-Sight 8000,分别调整两个相机的光轴对准视觉标定板的中心,相机与机器人 J6 轴法兰的工具坐标系中心距离控制在 100 mm 的安全高度以上。每个相机和光源的接线连接后,进入 iRVision 软件视觉跟踪标定设置界面,逐次对每个相机的焦距、点阵板间距、曝光时间和视野明暗度等参数进行设定,完成对定位相机、目标零点和机器人工具坐标系之间的位置标定和成像参数的设置^[10-11]。

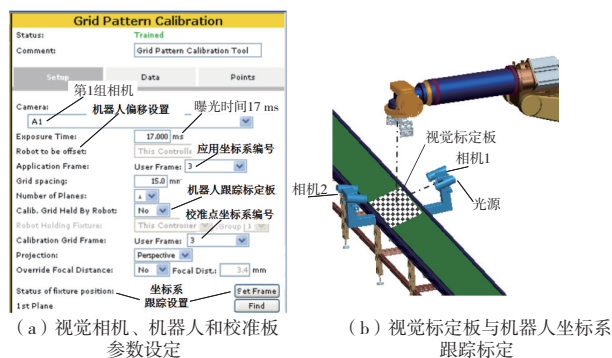


图4 视觉相机参数设置和坐标系跟踪标定

2.2 机器人坐标系的视觉跟踪设定

视觉系统二维坐标系模板标定操作如图5所示。首先用手动示教的方式生成机器人抓取缸体零件的校准位置模板。手动控制传送带移动,将缸体零件移动到光源校准板的标定中心位置,尽量使零件特征中心位于标定板的中心点。然后手动调整示教机器人手爪,使其能准确地抓取到缸体零件^[12],并确保在此位置机器人抓取着零件进行旋转时,能够完全自由运动不与其它构件干涉。在机器人视觉跟踪程序中记录此位置,并将此校准点位置设置为相机触发的拍照点 P1。每当有缸体零件到达标定板定义的校准拍照位置 P1 点,则触发视觉系统对零件进行拍照,生成当前零件的二维位置与校准板中心的偏移量坐标数据^[13-14]。

在视觉系统拍照并生成图像偏移数据的同时,零件在传送带上继续移动到达机器人抓取位置 P2 点,此时传送带根据系统设定的暂停时间停

顿几秒,供机器人手爪偏转角度抓取零件。P2 点也就是机器人坐标跟踪的目标点,机器人启动视觉跟踪程序调整偏移手爪对准此点进行抓取。在传送带运转零件进行直线移动的同时,机器人在视觉系统的指引下跟踪移动并生成相应的工作坐标系^[16]。如图6所示,通过 P1 点和 P2 点两个二维坐标系之间的跟踪移动变换程序运行,就能实现机器人对工件位置的连续准确跟踪抓取。

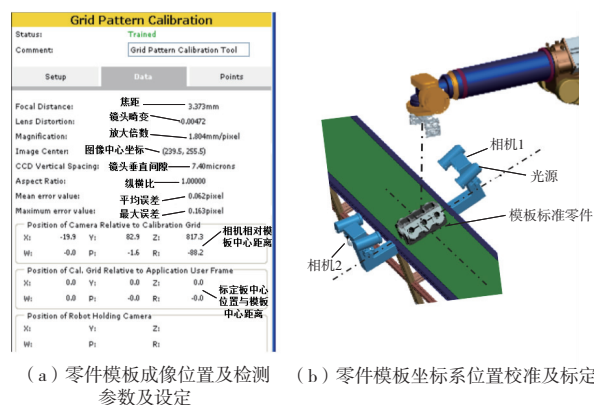


图5 视觉相机成像参数设定和零件模板坐标系示教标定

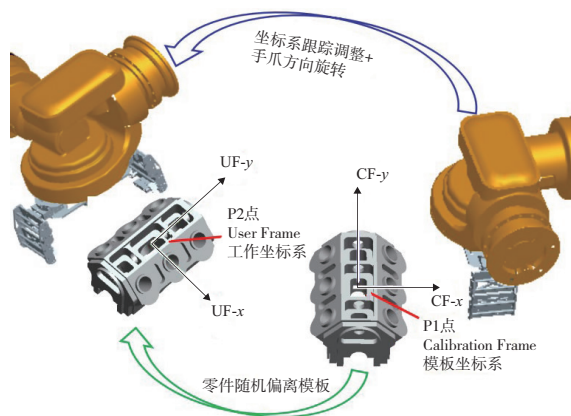


图6 机器人坐标系跟踪和手爪旋转变换

2.3 拟合补正计算及视觉跟踪程序的运用

使用两个相机进行拍摄的标定板中心坐标系还需要运用特定的算法对两个相机的成像数据进行拟合及补正计算,并通过示教使机器人确认跟踪标定板中心坐标系,具体通过在 FANUC 示教器中运行如下视觉跟踪程序完成。

```
1: CALL VCRSM CHECK('START'); //零点标定测试开始
2: UTOOL NUI=9; //启用补正坐标系
3: UFRAME NUM=0; //启用基准用户坐标系
4: IF $ VCRSM_CFG.$ STEP_NUM)= 2; //开始零点标定测量
第2步
5: JMP LBL[2]; //机器人夹持器手爪到位确认
```

```

6:CALL VCRSM_CHECK(1); //相机1拍照零点坐标位置识别检查
7:JP[28] 30% FINE; //夹持器以30%的进给速率到达指定标定位置
8:LP[1] 500nm/sec FINE; //机器人进给速率设定
9:CALL VCMT_VT(1,1); //第1个相机的零点坐标传递至机器人坐标系
10:LBL[2]; //系统确认
11:IF $ VCRSM_CFG.$ STEP_NUM>=3; //开始零点标定测量第3步
12:JMP LBL[3]; //机器人夹持器手爪到位确认
13:CALL VCRSM_CHECK(2); //相机2拍照零点坐标位置识别检查
14:LP[28] 500mm/sec CNT0; //机器人夹持器手爪移动前往
15:CALL VCMT_VT(2,1); //第2个相机的零点坐标传递至机器人坐标系
16:IF $ VCRSM_CFG.$ STEP_NUM>=4; //2个相机零点坐标校正计算
17:LP[2] 500mm/sec FINE; //示教驱动机器人移动至坐标系零点验证
18:END; //程序结束

```

通过以上程序的运行,机器人学习确认了工作任务的零件模板中心位置,在机器人的工作坐标被定义在夹爪中心的情况下,在后续的抓取过程中就不再需要计算旋转中心,为下一步在视觉系统的指引下执行运动、偏移和抓取等程序指令奠定了基础^[16]。

3 视觉控制机器人坐标跟踪及抓取缸体零件编程

经过压铸模具生产的缸体零件,每个零件的相互间高度一致。因此无序摆放的零件与标准模板之间的偏差就可以简化成两个二维坐标系之间的位置和角度偏差,从而使视觉系统识别零件位置的过程变得更加简洁,使机器人的坐标系跟踪和手爪旋转调整变得更加方便快捷。

3.1 缸体零件的成像模板中心设定和偏移数据检测

在完成两台相机与机器人之间的基准坐标系位置设定后,还需设定缸体零件的标准模板位置信息传送给机器人,再以此为标准检测传送带上其他随机摆放的零件偏离的位置数据。如图7所示,选择缸体零件中3个以上的孔和键槽作为定位子特征,在视觉软件中框选指定这3个子特征的视觉图像进行追踪,通过目标零件子特征表面阶梯状的光线强度分布变化,检测靶标零件整体的偏移与旋转。经过图像处理及拟合计算,计算

出靶标零件与模板零件的角度位置之差^[17]。其中 Model ID 指令将视觉寄存器中找到的靶标零件子特征图像测量值复制到寄存器中,并根据 Score Threshold 阈值设定将视觉拍照的工件特征数据复制到寄存器中与模板进行比对,再将视觉寄存器中找到的工件位置补偿数据传递给机器人。Scale 和 Aspect ration 设置可根据柔性产线上不同零件的大小和形状变化,调整视觉检测的比例和纵横尺寸比,保证拍摄图像的清晰度。通过 degree of freedom 选项可以设定传送带上工件的角度最大偏移范围极限,如果视觉系统检测到传送带上的个别零件放置角度超出了事先设定的工件最大偏转角度,视觉系统将视为有非正常零件进入并报警提示。

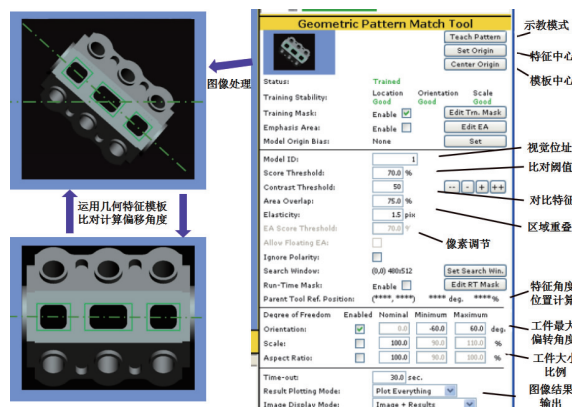


图7 工件特征角度位置检测设定

完成零件检测特征中心的模板设定,并规定零件的拍照区域和机器人的抓取点位后,就使视觉系统、缸体零件、传送带和机器人之间的位置和动作之间建立了稳定的时空连接,便于进行产线零件传送的速度节拍控制和管理^[10]。

3.2 机器人读取零件偏差的补偿调整及抓取零件编程

机器人接受到图7中的缸盖特征中心位置信息后,再通过宏程序驱动夹持手爪,根据标定的模板调整角度和位置,按照手动示教时约定的高度将缸体零件夹持起来,运动至上料预备位置 P3 点,并发出上料请求。经视觉系统再次检测已对准机床夹具的方向位置正确无误后,机器人将缸体零件放入机床夹具中,具体设置和应用程序如下。

```

1:UFRAME_NUM=1; //用户坐标系设定
2:UTOOL_NUM=1; //工具坐标系设定
3:R[1:Notfound]=0; //成像启动
4:L P[1] 2000mm/sec FINE; //夹持器到达指定成像点 P1

```

```

5: VISION RUN_FIND'A'; //调用视觉模板程序
6: VISION GET_OFFSET VISION1 VR[1]; // 获取当前拍摄
零件偏移值 VR[1]
JMP, LBL[99]; //如视觉错误,跳转至 LBL[99]
7: CALL HANDOPEN; //确认手爪处于放开
8: VOFFSET, VR[1] Tool_Offset, PR[1]; //把视觉偏差的位
置数据补偿赋值给 R1
9: CALL INVERSE(1,2); //读取目标零件坐标系
10: CALL INVERSE(2,1); //切换机器人坐标系
11: L P[2:Approach] 500mm/sec FINE VOFFSET VR[1]; //
机器人接近点 P2,并按补偿值 VR[1]进行坐标系偏差调整
12: CALL HAND_CLOSE; //机器人手爪关闭抓取零件
13: L P[3:Approach] 500mm/sec FINE VOFFSET VR[2]; //
夹持零件转至 P3 点,并按补偿值 VR[2]进行偏差调整对准机床
工作台
14: L P[4] 2000mm/sec FINE; //夹持零件到达机床夹具上
方 P4 点
15: CALL HANDOPEN; //手爪释放放入零件
16: L P[1] 2000mm/sec FINE; //夹持器回到 P1
17: END; //程序结束

```

上述程序运转过程的同时,系统传送带根据 PLC 的节拍控制程序,同步执行前进、暂停和等待动作的配合。其中在机器人执行手爪关闭抓取零件时,传送带则配合暂停等待 5 s,从而方便机器人准确执行抓取动作。

4 结语

通过产线设计研究和在广州花都某汽车零件加工企业的验证应用,得出以下结论:

1) 随着视觉相机的图像处理技术日益先进,机器人能够对无序摆放的零件进行补偿调整并准确抓取,减少了机床的辅助加工时间和辅助托盘设备成本;

2) 基于多路视频切换器和图像处理平台的图像, FANUC 宏程序可对两个相机的成像数据进行拟合及补正计算,并通过示教使机器人对零件中心坐标系进行跟踪;

3) 运用 FANUC 视觉跟踪程序可将标准模板中心与随机摆放的零件的子特征中心进行比对,判断计算产线上零件的位置偏移数据,并将补偿偏移量提供给机器人,使其快速调整和规划手爪的位置对无序摆放的零件进行准确抓取。

参考文献:

[1] 郑忠斌,凌颖,肖楠. 基于双目视觉的汽车生产线零件实时识别方法[J]. 机械制造与自动化, 2023,

52(2):127-130.

- [2] 何敏军,张晓玲,张稀柳,等. 基于双目立体视觉的平面工件识别和定位研究[J]. 激光杂志, 2023, 44(7): 199-204.
- [3] 李小忠,高艳. 面向柔性制造线的机器人上下料系统仿真设计[J]. 制造技术与机床, 2020(8): 63-67.
- [4] 余易,李波,朱文利,等. 面向柔性机加产线的自动装夹系统研究[J]. 机床与液压, 2022, 50(20): 118-123.
- [5] 文清平. 基于工业机器人上下料的多工位机加工生产线设计[J]. 机床与液压, 2020, 48(17): 49-52.
- [6] 王新庆,王新,杨振宇,等. 基于改进 YOLOv3 的机器人定位抓取研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2024(7): 26-30.
- [7] 彭杰,孟祥印,李晟尧,等. 基于机器视觉的工件分拣及上下料系统[J]. 机床与液压, 2021, 49(21): 38-42.
- [8] 陈宜涛,方成刚,张文东,等. 基于机器视觉的工业零件智能分拣系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2024(6): 24-29.
- [9] 张圳,姜平,秦岭,等. 汽车紧固卡扣视觉多目标跟踪研究[J]. 机械设计与制造, 2024, (05): 130-135, 140.
- [10] 余浪,苗鸿宾,申光鹏,等. 基于机器视觉的工件识别与定位算法[J]. 自动化与仪表, 2023, 38(6): 29-33, 38.
- [11] 袁斌,王辉,李荣焕,等. 视觉机器人的零件识别与抓取方法研究[J]. 机械设计与制造, 2024(2): 309-313, 318.
- [12] 孙文革. 视觉校对约束下生产线搬运机械手抓取定位控制[J]. 机械制造与自动化, 2024, 53(5): 203-208.
- [13] 徐征,翟季青,陈永强,等. 基于机器视觉的机器人作业目标定位[J]. 机床与液压, 2023, 51(11): 72-75.
- [14] 杨静宜,王静红,崔建弘. 深度学习的车间零件分拣机器人目标识别方法[J]. 机械设计与制造, 2023(7): 271-276.
- [15] 张志伟,陈新度,吴磊,等. 基于双目视觉的空间姿态示教研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(10): 18-22.
- [16] 韩伟,廖志青,刘建光,等. 视觉控制在低压铸造机器人下芯中的探索应用[J]. 现代制造工程, 2021(8): 119-124.
- [17] 卢军,胡凡,郝磊. 基于视觉定位装配机器人的设计与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016(8): 140-144.

收稿日期: 2023-08-29