

基于机器视觉的工业智能机器人柔性分拣系统设计

姚璐¹, 谢聪琳², 史春海³

(1. 西格斯(天津)科技发展有限公司, 天津 300000; 2. 合美智汇(天津)科创有限公司, 天津 300000;
3. 瑞联智控(天津)科技有限公司, 天津 300000)

摘要: 设计了一种基于机器视觉的工业智能机器人柔性分拣系统, 专注于识别并分拣遥控器塑料外壳样品。系统采用康耐视(CMOS)相机和适配镜头, 结合白光条形光源, 确保高精度图像捕捉。通过相机标定和手眼标定, 实现了机器人对工件位置的精准定位。该系统通过优化硬件和手眼标定提升了稳定性和灵活性。其适用于电子、食品等行业, 能显著提升自动化水平和生产效率, 具有高度的自动化、智能化和灵活性。

关键词: 机器视觉; 工业智能机器人; 柔性分拣; 系统设计

中图分类号: TP242 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)07-0031-05

随着现代工业的快速发展, 自动化生产线的需求日益增长, 传统的分拣方式已难以满足高效、精准的生产要求。在此背景下, 基于机器视觉的工业智能机器人柔性分拣系统应运而生。机器视觉技术能够对物体的快速、准确识别, 结合工业机器人的高精度运动控制, 可以大幅提升分拣效率与准确性。此外, 柔性分拣系统还能适应不同形状、尺寸、材质的物体分拣需求, 提高生产线的灵活性和适应性。因此, 该系统的研究对于推动工业自动化、智能化进程, 提升制造业整体竞争力具有重要意义。目前, 关于机器视觉的工业智能机器人柔性分拣系统设计, 引起了广泛关注。研究表明, 机器视觉技术凭借其快速、准确的物体识别能力, 结合工业机器人的高精度运动控制, 能够显著提升分拣效率与准确性。同时, 柔性分拣系统还能灵活适应不同形状、尺寸、材质的物体分拣需求, 增强了生产线的灵活性和适应性, 不仅推动了工业自动化、智能化的发展进程, 也为提升制造业整体竞争力提供了有力支持。邱一复和王家海^[1]、段晨阳等^[2]均明确指出机器视觉技术在提升分拣作业自动化和智能化水平方面的巨大潜力, 通过理论分析与实验验证, 展示了机器视觉如何凭借其强大的图像处理能力, 实现对物体的快速、准确识别, 从而大幅优化分拣流程。陈东青^[3]、赵岚等^[4]、匡鑫和夏昉^[5]进一步提出基于机器视觉的工业机器人分拣系统能够显著提升工业生产效率及产品质量。以上这些研

究不仅强调了机器视觉与工业机器人结合的重要性, 还指出这种结合是实现高效、精准分拣的核心技术, 对于推动制造业向智能化、高效化方向发展具有不可估量的价值, 预示着未来制造业将迎来一场深刻的技术革命。面对物料杂乱无序、种类繁多且批量小的分拣难题, 本文设计了一套基于机器视觉技术的智能柔性分拣系统。此系统的特点在于, 它能够轻松应对不同物料的分拣需求, 而无须对硬件结构做出任何调整, 仅需通过简单的软件配置与设定, 系统即可迅速投入运作, 展现出对小批量、多样化物料分拣任务的卓越适应性和灵活性, 从而极大地提升了分拣作业的效率与便捷性。

1 工况分析与视觉系统硬件设计

该系统的设计目的是通过工业视觉识别技术, 使自动机器人系统能够准确识别并分拣出电视机遥控器的塑料外壳这一工业品。鉴于此类遥控器外壳样品尺寸存在差异化特点, 对智能机器人的视觉开发技术及硬件系统设计提出了较高的要求。

当生产系统制造产品完成后, 会直接将遥控器的塑料外壳过渡至传送带上, 并以随机的形式摆放, 随后, 塑料外壳被传送至机器人分拣区域的视觉检测空间内。在此区域, 视觉检测系统凭借其高精度的定位能力, 迅速锁定每个外壳的精确位置, 并将这一信息即时传递给工业机器人。随后, 工业机器人根据接收到的位置信息, 精准地抓取外壳, 并将其摆放至指定位置, 至此, 一个完整的分拣工

收稿日期: 2024-12-17

作者简介: 姚璐(1989—), 女, 天津人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为工业机器人、人工智能; 谢聪琳(1988—), 男, 江西赣州人, 中级工程师, 研究方向为工业机器人、人工智能; 通信作者史春海(1990—), 男, 山东临沂人, 高级工程师, 研究方向为机器人、人工智能。

艺流程圆满结束。整个过程中,每一步都紧密相连,确保了分拣的高效与准确。

系统设计的核心在于其用于分拣过程的视觉组件选配。这些视觉组件共同构建起遥控器塑料外壳智能分拣系统的关键部分。该系统具体由工业级别的高清摄像机及其相应的镜头配件、高精度的光源发射组件共同构成。在设计中,为了提升视觉机器人在分拣时的清晰度与识别精度,选用康耐视公司出品的 1 000 万像素相机,规格为宽度 8.8 mm×高度 6.6 mm。为了满足系统对视野范围的特定要求——宽度 280 mm 与高度 240 mm(确保工件始终位于此范围内),重新设计了相机、工件间的安装距离,即设计器在 280 mm±30 mm 范围内。

依据视野高度 H_0 (240 mm)、相机传感器有效成像区域高度 H_i (6.6 mm) 及工作距离 W_D (280 mm),采用式(1)进行计算,以确定所需参数或性能指标。

$$f = W_D \frac{H_i}{H_0} \quad (1)$$

得到焦距 $f=7.7$ mm,故最终采用 8 mm(市场上最接近的产品)定焦镜头,以确保视觉系统能够精准捕捉并处理图像信息,为后续的工业机器人抓取与摆放作业提供坚实的数据支持。

系统配置了白光条形光源,该光源从工件两侧的上方巧妙投射,确保成像时的光照均匀且一致,这对于提升图像质量至关重要^[6]。光源与水平面之间的夹角灵活可调,范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$,实际运用时,操作人员可根据具体的成像效果,精细调整至最佳角度,以获取最清晰的图像^[7]。此外,光源与工件之间的安装距离被精确设定为 $70 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$,进一步优化了成像效果。考虑到工件材质为白色塑料,系统特意选用了黑色传送带(图 1),以此形成鲜明对比,确保工件轮廓在成像中清晰可见,为后续的视觉检测与分拣作业奠定了坚实基础。

2 视觉系统与工业机器人手眼标定

在机器视觉与工业机器人集成应用的领域中,视觉系统与工业机器人之间的手眼标定是一项至关重要的技术环节。手眼标定可以通过高精度校准末端执行器(机器人机械臂末端)与相机视觉系统间的相对位置,确立两者坐标系转换关系,实现高精度结合,以提升抓取精度与稳度,提高效率及可靠性^[8]。

如图 2 所示,手眼标定是将机器人坐标系直接嵌入相机坐标系空间中,以实现两个坐标系的统

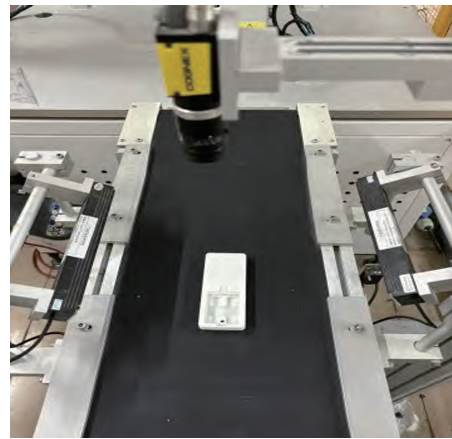


图 1 视觉系统实物

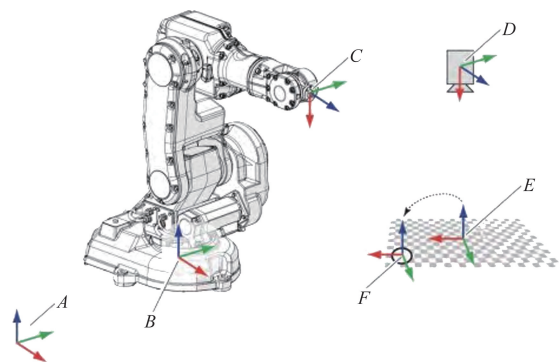


图 2 相机与工业机器人手眼标定

一。当遥控器的塑料外壳被相机坐标系捕捉并标定好坐标信息后,数据处理终端可以利用相机图像坐标系的三维立体标注系统来生成转换矩阵,从而搭建起遥控器外壳物体的实物坐标空间。以图 2 中 A、B、C、D 几个点为例,它们分别代表机器人坐标、基坐标、工具坐标以及高清摄像机坐标。机器人在接受命令,抓取遥控器外壳时,通常会立即驱动基坐标 B。随后,通过手眼标定过程,高清摄像机坐标空间和机器人抓取任务的坐标空间能够进行一致性校准,全部校准到同一坐标 E 上,以确保实现完全标定一致。同时,这一校准过程会要确保原来的坐标系原点以及 X 轴、Y 轴的空间方向保持不变^[9]。

手眼标定的实施过程通常分为两大步骤:首先是相机的标定,这一步骤旨在确保相机成像的准确性和可靠性,为后续的空间坐标转换提供坚实的基础;其次是工业机器人用户坐标系的标定,即将高清相机的坐标系与机器人坐标系精确对齐,实现两者之间的无缝衔接。

2.1 相机的标定

在系统的构建中,相机的标定步骤至关重要,

它直接关乎机器视觉系统能否精准地实现目标定位,以及能否准确无误地计算出工件在平面上的精确坐标和旋转角度。相机标定主要作用有两个,一是校正镜头畸变,优化图像质量,二是联通像素坐标系与机器人坐标系间的转换关系。

使用 VisionPro 软件为开发平台,选用 CogCalibCheckerboardTool,用标定板构建像素与机器人坐标的二维转换模型,实现工件位置与姿态准确测量,为后续数据加工处理获取数据支撑。设计时采用棋盘式标定板(图 3),保证图像覆盖最少 9 个 15×15 像素方格。标定板基准为 5 横 3 纵,白内黑框,标定后坐标原点定于基准交点(图 4)。

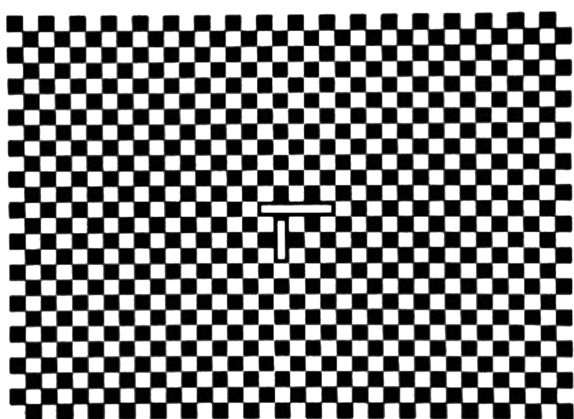


图 3 带基准的棋盘格标定板

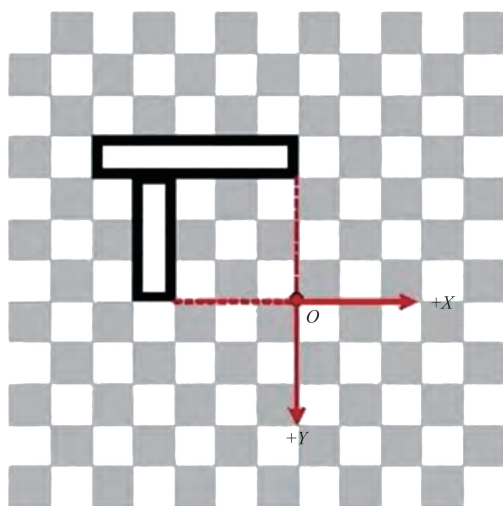


图 4 标定后相机世界坐标系

运用 CogCalibCheckerboardTool 配合相机进行标定操作,标定完成后,标定板图像上将清晰呈现相机坐标系,且此坐标系与图 4 中所示坐标系的方位实现精准一致。

2.2 工业机器人用户坐标系的标定

在自动化系统中,鉴于物料无须翻转作业,故

无须配置自由度广泛的 6 轴工业机器人。基于这一需求考量,择取了 ABB 品牌的 SCARA 机器人,具体型号为 910SC,以执行工件的抓取与分拣任务。SCARA 机器人凭借其高效的节拍性能,在物料分拣领域广泛应用。为了确保机器人程序运行时的工件坐标系与相机的世界坐标系保持高度一致,需对工业机器人的用户坐标系进行精确标定。

系统因物料无须翻转,故选用 ABB 公司 SCARA(910SC)机器人执行抓取分拣,该类型机器人被广泛应用于物料分拣。为确保机器人坐标系与相机坐标系一致,需精确标定机器人坐标系。该过程要采用三点法原则进行。标定流程中,需手动引导工业机器人示教三目标点,手爪末端装平齐标定针。安装后,首要建立标定针工具坐标系,基于此执行三点标定。针尖需精确触棋盘格标定板 X_1 、 Y_1 、 Y_2 点(图 5)。通过操作,机器人坐标系与相机坐标系将高度对齐,保障系统稳定高效运行。

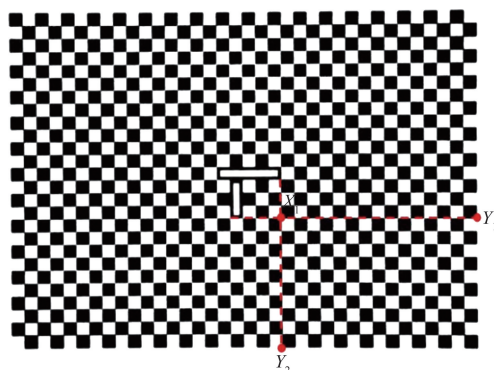


图 5 工业机器人用户坐标系 X_1 、 Y_1 、 Y_2 3 点位置

3 系统软件设计

3.1 视觉软件设置

工件图像识别定位采用 VisionPro 的 CogP-MAlign 工具,它能在图像中精确搜索匹配已训练图像。配置时先捕获训练图像,设置训练算法,算法选择需根据工件特征和成像质量灵活调整。在实际操作中,可以通过多次尝试不同的算法,并对比其识别效果,从而挑选出表现最佳的算法进行应用。完成训练图像的设置后,可进一步模拟工件的位置与角度的多种变化。在此过程中,系统将自动运算并确定当前工件的中心坐标及其旋转角度,具体运行结果如图 6 所示。

3.2 工业机器人软件设计

3.2.1 工件抓取基准点示教

在工业机器人软件设计中,工件抓取基准点的示教是至关重要的一环。如图 7 所示,机器人手臂

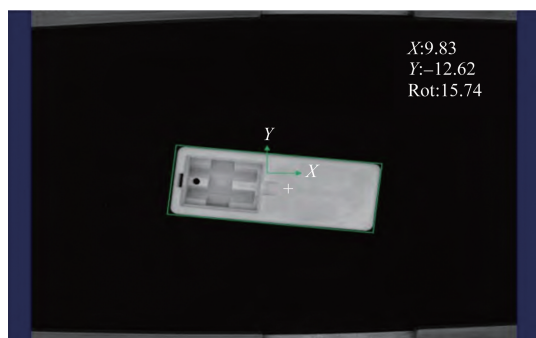


图 6 CogPMAIAlign 工具运行结果显示

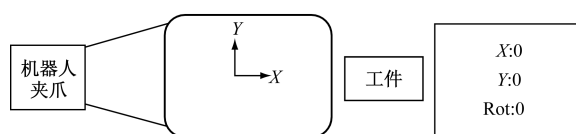


图 7 工业机器人抓取基准点

通过夹爪来抓取位于右上角的工件。在示教过程中,需要精确设定夹爪相对于工件的位置,这通常包括 X 轴和 Y 轴的坐标值,以及旋转角度 Rot。在本例中,虽然图片中的文字文本只给出了 X:0、Y:0 和 Rot:0 的示例值。实际操作中,这些值会根据工件的实际位置和姿态进行调整。通过示教,机器人能够准确记忆抓取基准点,为后续的自动化抓取作业提供精确指导。

在工业机器人软件设计中,当机器人示教完一个工件的抓取基准点后,接下来的程序设计需遵循既定的流程,如图 8 所示。整个工作流程始于启动抓取程序,机器人随即执行抓取工件的指令。完成抓取后,机器人会移动至一个安全的位置等待下一步操作。随后,系统触发运行放置程序的指令,机器人将工件精准地放置到预定位置。此时,系统会检查物料是否已到位,以确保后续操作的顺利进行。若物料到位,机器人将继续执行下一步;若未到位,则可能触发相应的报警或等待机制。紧接着,机器人会运行通信程序,与其他系统或设备进行必要的的数据交换。最后,整个工作流程结束,机器人会获取并存储相关的位置数据,以供后续操作或分析使用。这一流程设计确保了工业机器人能够高效、准确地完成工件抓取与放置任务。

3.2.2 工业机器人通信程序

工业机器人通过 TCP/IP(Socket)协议与视觉软件通信,需 ABB 机器人配备 PC-Interface,且 IP 地址在同一网段(如 192.168.125)。通信流程:先关闭 socket1 连接以避免数据干扰,再创建 socket1 连接,然后连接到视觉软件服务器(IP:

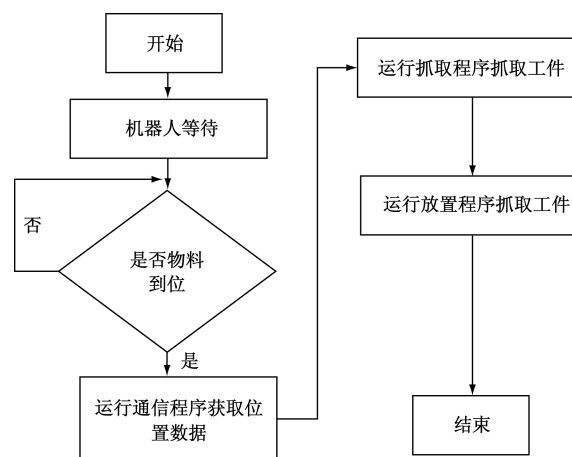


图 8 工业机器人工作流程

192.168.125.10,端口:5001)。接收服务器数据存入 string1,分割得到 X 轴坐标 stringX,转换为 num 类型存入 nXoffs。Y 轴坐标和旋转角度处理同上。

3.2.3 工业机器人抓取程序

工业机器人经 TCP/IP 获工件 X、Y 坐标及旋转角,存于 nXoffs、nYoffs、nRot。随后,抓取程序定位抓取随机工件。关键指令:设工件中心坐标为 wobj1 偏移量;移至抓取点上 100 mm,夹爪依 nRot 绕 Z 轴旋;再下移至抓取位,夹紧。之后,移工件至放置位上 100 mm,放置工件,松开夹爪。最后,夹具上提,完成抓取放置。

4 结论

(1)所设计的基于机器视觉的工业智能机器人柔性分拣系统,成功实现了对遥控器塑料外壳样品的高效、准确分拣。

(2)通过对工况的深入分析,合理设计了视觉系统硬件,选择了高性能的康耐视 CMOS 相机,并优化了相机与工件之间的安装距离和光照条件,确保了高精度图像捕捉和稳定的视觉检测效果。

(3)在系统构建过程中,特别注重视觉系统与工业机器人之间的的手眼标定,设计了合理的通信程序,实现了机器人与其他系统或设备之间的数据交换,提高了系统的灵活性和自动化程度。

(4)实现了遥控器塑料外壳的高效准确分拣,通过优化硬件和手眼标定提升了稳定性和灵活性。其适用于电子、食品等行业,能显著提升自动化水平和生产效率,减少人工干预。

参考文献

- [1] 邱一复,王家海. 基于机器视觉的工业机器人柔性分拣

- 系统设计[J]. 科学技术与工程, 2024, 59(4): 132-134.
- [2] 段晨阳, 魏浩宇, 闫鹏飞. 刚体四足与六足机器人运动控制方法研究综述[J]. 科技和产业, 2024, 24(15): 32-37.
- [3] 陈东青. 基于 ABB 机器人的柔性分拣系统设计[J]. 机床与液压, 2024, 52(5): 101-106.
- [4] 赵岚, 唐国, 寅温. 基于 3D 视觉的机器人分拣实验系统研究与设计[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2023, 15(5): 604-611.
- [5] 匡鑫, 夏昺宸. 基于机器视觉的工业机器人分拣技术探究[J]. 现代制造技术与装备, 2024(1): 196-198.
- [6] 苏建, 李在娟. 融合视觉和以太网技术的工业机器人分拣装配控制系统设计[J]. 机床与液压, 2024, 49(24): 119-123.
- [7] 张俊. 含冗余驱动并联机构的混联加工单元运动学分析及实验验证[J]. 机械传动, 2023, 45(7): 122-127.
- [8] 董成林, 黄田, 刘海涛. 一种新型五自由度混联机器人的参数化建模与集成设计方法研究[J]. 金属加工, 2024(9): 95.
- [9] 董松, 郑侃. 大型复杂构件机器人制孔技术研究进展[J]. 航空学报, 2024, 43(5): 31-48.

Design of Flexible Sorting System for Industrial Intelligent Robots Based on Machine Vision

YAO Lu¹, XIE Conglin², SHI Chunhai³

(1. Sigma (Tianjin) Technology Development Co., Ltd., Tianjin 300000, China;

2. Hemei Zhihui (Tianjin) Science and Technology Innovation Co., Ltd., Tianjin 300000, China;

3. Ruilian Intelligent Control (Tianjin) Technology Co., Ltd., Tianjin 300000, China)

Abstract: A flexible sorting system for industrial intelligent robots based on machine vision has been designed, focusing on identifying and sorting plastic shell samples of remote controllers. The system uses a CMOS camera and adaptive lens, combined with a white light strip source, to ensure high-precision image capture. Through camera calibration and hand eye calibration, the robot has achieved precise positioning of the workpiece position. The system software design includes visual software settings and industrial robot software design, realizing the automation process of workpiece recognition, positioning, grasping, and placement. The results show that the system can efficiently and accurately complete sorting tasks, with high automation, intelligence, and flexibility.

Keywords: machine vision; industrial intelligent robots; flexible sorting; system design