

基于 3D 视觉引导的工业机器人轮胎装配线设计

李青栋¹ 许茂庭²

1. 山东栋梁科技设备有限公司 2. 山东丰泰智能科技有限公司

摘要: 目前轮胎装配大多采用机械设备辅助人工的方式, 但该方式受人为因素影响, 容易导致装配精度不足和生产效率低下等问题。针对智能分拣生产线的工作流程和控制要求, 我们提出了一种基于 3D 视觉技术和工业机器人的高效解决方案。经过实践验证, 该智能装配生产线能够高效且稳定地运行, 为提升企业的自动化水平提供了有力的参考和借鉴。

关键词: 工业机器人; 3D 视觉; 点云; PLC

0 前言

轮胎装配作为汽车制造流程中的关键环节, 在装配的精确性和效率性方面有着严苛的标准。一方面传统的轮胎装配线主要依赖机械设备辅助人工完成装配作业, 这种方式不仅劳动强度高, 而且装配质量参差不齐, 效率普遍偏低。另一方面, 仅仅依赖于机器人视觉系统或传感器实现精准定位与导航, 往往无法适应环境因素的多变以及装配件形态的复杂性, 会出现定位偏差及装配失误的情况。

针对以上问题, 结合实际生产现状, 本文提出了一种基于 3D 视觉技术工业机器人智能装配的智能分拣生产线解决方案, 以满足轮胎装配控制要求。

1 轮胎生产线工作流程

轮胎在辊道线末端工位被输送到位后, 借助先进的 3D 视觉技术, 引导六轴工业机器人精确作业。机器人自动抓取轮胎输送线上的轮胎, 并紧密跟随运动中的车身, 确保操作精准无误。在识别制动盘上五组螺孔方位的过程中, 机器人快速完成轮胎螺栓的自动锁紧工作。

本系统采用库卡的随动跟踪技术, 使工业机器人的装配抓手能够实时调整, 与车身保持相对静止状态, 从而有效应对车身输送过程中可能出现的装配位置偏差。同时, 利用高精度的视觉识别技术, 系统能够自动补偿这些偏差, 确保轮胎装配的准确性和效率。

经过实际分拣测算, 本系统实现第一次轮胎装配仅需 32 s, 充分展示了其高效性。此外, 系统整体设计严格遵循高效率、高质量、安全与成本控制等要求, 确保满足整车厂的质量标准。具体工序节拍如表 1 所示。

表 1 智能装配生产线工序节拍

步骤	完成任务	第 1 次工作时长 / s
1	轮胎输送到辊道线末端	1.0
2	机器人抓取轮胎	5.0
3	3D 视觉拍照	3.0
4	计算目标点	0.5
5	目标点数据传送	0.5
6	机器人安装轮胎	1.0
7	轮胎螺栓锁紧	8.0
8	机器人回原点	4.0

2 轮胎生产线架构

轮胎装配线由 1 台工业机器人、1 套 3D 视觉、1 个轮胎输送到辊道线、1 台图像处理工控机、1 个机器人夹具、1 个 PLC 和 1 个触摸屏等组成。

生产线采用库卡六轴工业机器人, 负载 3 kg, 臂展 540 mm, 重复定位精度 ± 0.06 mm, 配备吸盘夹具。机器视觉选用埃尔森 AT-S1000-04A-S1 摄像头。生产线中主控 PLC 选用的是西门子的 S7-1500, 触摸屏选择了西门子的 TP900 精智面板。

设备之间由工业以太网实现连接, 采用 Profinet 总

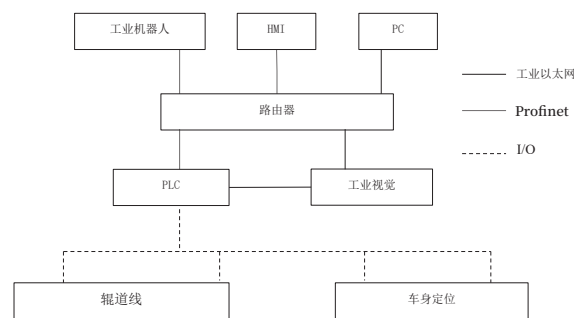


图 1 网络拓扑结构

线协议与 TCP/IP 协议进行通信交互，其网络拓扑结构如图 1 所示。

3 轮胎装配线 3D 视觉检测

3D 视觉检测作为轮胎装配线中至关重要的环节，其核心功能在于实现轮胎目标的精准识别。此视觉系统通过高效捕获周边环境的三维数据，为机器人提供详尽的空间信息支持，进而确保操作过程的精准性。

3D 相机采集图像数据，以点云的形式存储，后续视觉目标识别以此为基础。点云数据经预处理后传送至视觉系统工作站，以发送视觉点或简洁路径的形式与机器人进行交互。当机器人获取视觉处理的位置数据后，运动至制动盘上的三组螺孔方位，并与轮毂上的安装孔进行精确对齐，实现轮胎的高效装配。

3.1 相机标定

3D 视觉标定的基本原理在于确立相机与机器人坐标系间的精确几何关系，以确保相机捕捉的图像数据与机器人操作空间中的真实世界坐标系得以精确匹配。为实现这一目标，需在不同位置与姿态下捕捉特定的标定目标，并运用先进的标定算法对相机的内外参数进行精确计算。由此，可确定相机在机器人坐标系中的精确位置与姿态，从而确保相机图像数据与机器人操作空间的准确对应。表 2 列举了通过坐标转换矩阵

运算后的相机标定像素与机器人坐标系数数据对应关系。

3.2 点云处理与轮胎识别

轮胎检测主要包括采集 ROI 点云数据、实施平面过滤操作、进行点云采样处理、执行平面分割任务、采用统计方法进行去噪、开展快速匹配工作、实施模型匹配与目标识别流程、应用 ICP 平面对称技术、进行抓取位转换处理以及发送计算所得坐标等。点云处理情况如图 2 所示。

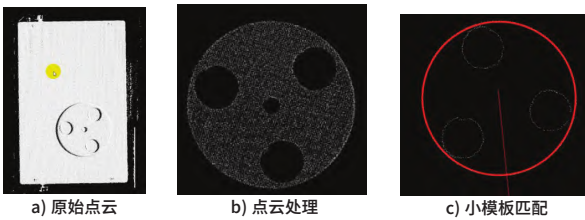


图 2 3D 视觉点云处理

在获取 ROI 点云的过程中，通常借助 3D 传感器（诸如激光雷达或深度摄像头）对整个场景进行点云数据的捕获。通过平面过滤环节识别和提取点云中的平面结构，并将其从原始数据中有效去除或分离，从而有助于在点云中更为精确地识别和分析其他类型的目标或特征。接下来，按照一定的规则或算法，从原始点云数据中选取具有代表性的部分点，从而在保持点云几何结构特性的同时，显著减少点的数量，进而提升后续处理的速度。通过采用先进 RANSAC、Hough 变换等平面分割算法，实现对点云中不同物体或表面的有效识别和分离，这种分割和聚类的方法有利于从复杂环境中精准地识别出目标物体。

由于采集过程中可能不可避免地会引入噪声，因此统计去噪成为点云处理中不可或缺的一环。通过采用统计分析法、体素网格滤波等先进技术，可以有效去除孤立点和噪声，从而保留更加平滑且连续的点云数据。

表 2 标定像素与机器人坐标对应关系

序号	Cam X	Cam Y	Cam Z	Robot X	Robot Y	Robot Z
1	-159.56300	119.0310	813.574	198.07	302.32	160.43
2	-159.22400	-45.3412	814.950	13.83	301.35	161.32
3	4.84032	119.5630	813.386	185.92	467.78	160.56
4	5.00143	-44.6578	814.906	10.98	464.20	162.23
5	-80.02260	34.1737	814.342	99.86	382.49	160.24

快速匹配则是从处理过的点云中提取关键特征，如边缘、角点或表面法线等。这些特征在后续的物体识别、定位和跟踪过程中发挥着关键作用。

模型匹配和目标识别则是利用模板匹配或机器学习算法，将提取的特征与预先定义的模型数据库进行比对，以实现点对点云中特定对象的准确识别和定位。

抓取位转换则是将识别出的目标物体的点云坐标转换为机器人或其他工业系统的工作坐标系。这一步骤对于确保机器人能够准确地进行互动和操作至关重要。

最终，经上述环节处理后的点云数据和识别结果将被输出到控制系统，用于指导机器人或自动化系统执行具体的任务，如抓取、装配等。

3.3 与机器人实时通信

本次设计采用转发服务器作为数据传输的中介，实现视觉软件与机械手数据的接收与转发。通过转发服务器对数据进行格式转换，从而促进不同类型机器人与视觉系统的交互式通信。为确保系统的正常运行，需要首先启动转发服务器，并在配置界面中进行简单操作以添加视觉与机器人，同时设置相关参数，建立3D视觉、机器人与服务器之间的连接。

在ALSON VizMaster界面中完成通信设置，并接入转发服务器。过程中需切换至转发服务器的运行界面，在此过程中要确保启动机器人的连接程序。

机器人发送指令→转发服务器接收机器人的数据→转发服务器发送数据给视觉→视觉处理数据并给出返回值转发服务器接收视觉发来的数据→解析数据数据发送给机器人，机器人据此完成轮胎智能抓取。

4 轮胎装配线测试

智能装配技术的核心在于采用基于3D视觉技术的精准引导系统。该系统通过在机器人末端装配高分辨

率摄像头，能够实时捕获轮胎及其他装配部件的三维图像数据，从而精确识别其位置、方向及各项特征。

借助3D视觉识别、目标检测算法和机器学习技术，经过视觉系统处理，得到如图3所示的检测效果。工件点云能够实现精准匹配，验证了视觉检测系统的有效性。

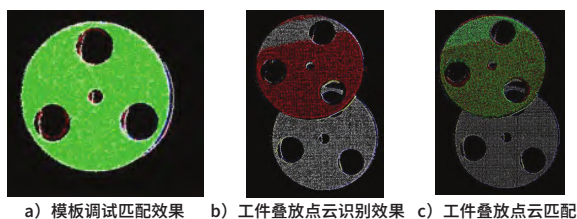


图3 视觉检测

通过视觉识别系统后，机器人能够完成智能生产线的轮胎装配工作，经反复测试，计算机器人取料坐标与预定坐标之间的偏差在 $\pm 0.5\text{ mm}$ 之内，证明了机器人能够实现高精度抓取物料。

如下为其中一组数据。

机器人取料坐标：

X141.096,Y258.9314,Z180.093 A-116.8793,
B-0.09.36,C162.884

机器人实际取点位坐标：

X141.066,Y258.7314,Z180.193 A-116.8793,
B-0.09.36,C162.884

除3D视觉引导技术外，我们还整合了智能控制系统。该系统具备实时监测功能，能够持续追踪生产线上的各项参数及状态信息，并根据实时数据动态调整装配过程的参数设置与操作策略，以保障装配过程的稳定性与一致性。

主控PLC会向传送带发出起动和停止信号，PLC的I/O端口信号如表3所示。

表3 PLC I/O 端口信号交互

PLC 输出信号			WPLC 输入信号		
序号	名称	作用	序号	名称	作用
1	外部急停	控制机器人急停	1	起动	产线起动
2	变频使能	传送带使能	2	停止	产线停止
3	卡盘定位	进入视觉拍照区域	3	复位	急停
4	传送带送料	料台出库至传送带	4	手动 / 自动	模式切换
5	变频正转	传送带真转	5	安全光栅	有异物引入，设备立即停止运行
6	变频反转	传送带反转			
7	产线停止	产线停止运行显示			

5 结语

本文阐述了基于三维视觉技术的高精度引导方案在工业机器人轮胎装配生产线中的应用价值及其优势，总结起来为以下两点：

（1）三维视觉技术能够实时捕捉轮胎与轮毂的精确位置及姿态信息，保障装配过程的精确性与稳定性。

（2）借助三维视觉引导，可实现对轮胎与轮毂配合精度的精确控制，降低装配误差，从而提升装配效率及质量。

未来的研究将着眼于进一步提高装配效率与优化算法。一方面，可以探索更快速、更精确的三维视觉技术，以推动装配过程的提速。另一方面，可以致力于开发更为智能化的算法，以适应不同轮胎和轮毂的变化，增强系统的适应性和灵活性。同时，融合机器学习、人工智能等先进技术，对装配过程进行实时监控与优化，从而进一步提升装配效率和质量。

参考文献

[1] 于玲. 工业机器人视觉定位技术与应用探讨 [J]. 科技与创新, 2024, (08): 50-52+56. DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2024.08.012.

[2] 余鹏, 唐荣芳, 赵莹莹, 等. 视觉识别下分拣机器人目标稳准抓取系统设计 [J]. 信息技术, 2024, (04): 115-120+125. DOI:10.13274/j.cnki.hdzj.2024.04.018.

[3] 刘新洋, 栗琳, 张佳明. 工业机器人自动视觉检测综合实训平台的设计与实践 [J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(02):222-225. DOI:10.19927/j.cnki.syyt.2024.02.044.

[4] 李吉祥, 林福. 基于视觉的机器人抓取系统设计 [J]. 闽西职业技术学院学报, 2024, 26(01):115-118.

（上接第 44 页）

料 1 整体的刚度要强，但对滚动阻力影响不大。方案三同时降低胎体和带束层整体的刚度，滚动阻力降幅明显，对于该规格来讲，胎体层材料刚度降低有利于滚动阻力。胎体反包高度对滚动阻力影响明显，降低胎体反包高度有利于滚动阻力。轮胎重量和滚动阻力不完全正相关，关键是减重和加重的部位对滚动阻力的影响有多大。仿真和试验的整体趋势一致，但仿真模型对结构比较敏感，降低幅度比实际要大。

4 结语

本文采用 ABAQUS 软件，建立了轮胎的温度场和自由滚动仿真模型，提取轮胎单元的应力、应变和黏弹性材料参数等，采用 MATLAB，通过理论公式，完成滚动阻力和滚动阻力系数的计算。从轮胎的轮廓设计、主要部件的结构设计、橡胶和骨架材料等方面进行调整，分析了各参数对轮胎滚动阻力的影响，对于

本文选择的 215/50R17 规格轮胎，胎面胶、胎体层反包高度、带束层宽度、胎体和带束骨架材料参数等，对轮胎的滚动阻力影响较为明显，并通过试验结果进行验证，试验方案三的滚动阻力系数降低了 6%，降幅明显。分析结果对轮胎设计人员有良好的理论指导意义，可将上述多种改善方案组合起来，进一步降低轮胎的滚动阻力。

参考文献

[1] 马改陵, 徐鸿, 崔文勇, 等. 子午线轮胎滚动阻力的研究进展 [J]. 橡胶工业, 2005(52): 501-510.

[2] 赵敏. 降低轮胎滚动阻力的途径 [J]. 轮胎工业, 2006(26): 586-593.

[3] 晋琦. 轮胎滚动阻力及稳态滚动温度场的研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2010.