

机器人视觉技术在智能制造中的应用与挑战

任伟

杭州萧山技师学院

DOI:10.32629/etd.v6i5.16878

[摘要] 机器人视觉技术是智能制造生态系统里必不可少的关键部分,本文整体探讨了机器视觉技术在质量检测、零部件分拣、精密装配以及人机协作领域的应用现状,深度剖析了复杂环境适应性、实时处理、多传感器融合及算法鲁棒性等技术上的挑战,并提出了结构化光源设计、算法轻量化、多模态感知融合和自监督学习等创新策略,旨在推动视觉系统朝着精度更高、适应性更强的方向进步,为智能制造给予更可靠的感知基础。

[关键词] 机器视觉; 缺陷检测; 视觉引导装配; 多传感器融合; 鲁棒性算法; 边缘计算

中图分类号: TP732 **文献标识码:** A

The Application and Challenges of Robot Vision Technology in Intelligent Manufacturing

Wei Ren

Hangzhou Xiaoshan Technician College

[Abstract] Robot vision technology is an indispensable key component in the smart manufacturing ecosystem. This paper comprehensively explores the current applications of machine vision in quality inspection, component sorting, precision assembly, and human-machine collaboration. It delves into technical challenges such as adaptability to complex environments, real-time processing, multi-sensor fusion, and algorithm robustness. Innovative strategies including structured light source design, algorithm lightweighting, multimodal perception fusion, and self-supervised learning are driving the advancement of vision systems toward higher accuracy and stronger adaptability, providing a more reliable perceptual foundation for smart manufacturing.

[Key words] machine vision; defect detection; vision-guided assembly; multi-sensor fusion; robust algorithms; edge computing

引言

机器人视觉技术作为智能制造的“眼睛”,为制造系统赋予了感知、理解和决策方面的能力,已成为工业4.0时代智能工厂不可或缺的关键技术^[1]。目前制造业正在从自动化向智能化进行转型升级,机器视觉系统能够让制造设备“看见”并“感悟”生产环境,实现自主认知、精准操作和智能判定,大幅增进制造过程的柔性化及效率^[2]。机器视觉技术在近几年里取得了巨大的进展,从基础的尺寸度量、条码辨认,发展至复杂场景下的瑕疵检测、精准引导与人机互动,本文旨在系统阐述机器人视觉技术在智能制造领域的应用现状,分析面临的技术挑战,并探讨相应的解决途径,为促进机器人视觉技术在智能制造中的进一步应用提供理论参考与技术支撑。

1 机器人视觉技术基础

机器人视觉技术将计算机视觉、光学成像、传感器技术和机器学习等多学科知识融合在一起,使机器人系统可借助视觉传感器获取并分析环境信息,实现对环境的感知与领会。完整的

机器视觉系统大体由图像获取系统(工业相机、光源系统和光学镜头)、图像处理算法(预处理、特征提取、目标检测与识别)、决策控制模块以及计算平台四个部分构成,深度学习技术的飞速进步极大提升了机器视觉系统的感知能力,基于CNN、R-CNN和Transformer等模型的算法,使视觉系统有能力应对更复杂多变的工业环境,为智能制造搭建了稳固的感知基础^[3]。高性能视觉系统的构建需要综合考虑场景需求、硬件配置和算法选择,以在实时性、准确性和成本之间找到最佳平衡点。

2 机器人视觉技术在智能制造中的应用

2.1 质量检测与缺陷识别

机器人视觉系统在制造业质量控制中发挥着关键作用,凭借高精度相机结合深度学习算法,可自动辨别产品表面微小瑕疵,工业视觉检测系统可捕捉人眼难以察觉的缺陷,诸如细微的划痕、色差变化和材质异常等,在电子制造范畴,这些系统频繁应用于PCB板的检测,进行焊点质量鉴定、元器件安装位置验核及电熔连接检测^[4]。先进的视觉检测系统可把缺陷检出率提升

到99%以上,同时把误报率控制在1%以内,在汽车制造领域,视觉系统对车身漆面、焊缝及装配间隙进行精确测量,保持产品一致性,同时提供数字化质量数据,为生产环节的持续改进提供支撑。

2.2 零部件识别与分拣

柔性制造环境中,基于机器视觉的零部件识别分拣系统能实现对混杂零部件的自动识别、定位和分类,这些系统依靠2D/3D视觉传感器获取零部件几何特征、颜色及表面纹理等信息,采用深度学习算法进行特征提取及分类。现代视觉分拣系统可处理非结构化场景中的复杂识别事宜,即使零部件呈现堆叠、部分被遮挡或姿态随机的情形,系统依旧可以实现精准识别与定位^[5]。物流分拣中心采用3D视觉技术的机器人能确切识别不同形状与大小的包裹,一小时分拣包裹数量可达上千件,在电子组件制作范畴,视觉引导精密分拣系统识别微小元件的型号、极性,准确率不低于99.9%。

2.3 视觉引导装配与精密操作

在高精度装配领域,机器人视觉系统指挥机器人执行精密操作任务,实现小于毫米级的装配精度。这些系统采用多角度成像、结构光等技术,精准定位零部件的位置与姿态,计算最佳的装配路径和操作方案。视觉系统提供实时反馈,使机器人可以实时调节操作,适应零部件位置的误差以及环境的变化^[6]。在电子产品组装阶段,芯片封装、精密连接器安装等工序采用了视觉引导技术,装配精度可达 $\pm 0.02\text{mm}$;在航空航天范畴,视觉引导系统辅助机器人完成复杂结构件装配任务,多角度视觉定位结合实时姿态调整确保大型复合材料构件精准对接与连接,减少人工干预,提高装配质量。

2.4 人机协作安全监控

在协作机器人广泛应用的情境下,依靠视觉的安全监控系统实时监测工作区域内人员的活动,预测潜在危险并调整机器人移动策略。这些系统凭借深度相机或多相机阵列打造工作空间三维模型,配合人体姿态估计算法实时检测操作人员的位置及动作^[7]。系统根据人员与机器人的相对位置划分安全区域,当人员进入不同的安全区域时,机器人自动调整运行速率或转换操作模式。高级视觉安全系统可识别人的行为意图,分辨日常操作与意外闯入情形,采用更智能的安全策略。研究数据表明视觉安全系统与传统物理防护装置相比,有更高的灵活性和更低的生产干扰,同时仍可保持较高的安全防护水平。

3 机器人视觉技术的挑战与策略

3.1 复杂工业环境适应性挑战与解决方案

工业环境中的光照变化、材质反光、尘埃干扰和空间限制等因素严重影响机器视觉系统性能。测试数据表明,标准光照条件下准确率达95%的视觉系统,在强光反射环境中准确率可降至53%,在弱光条件下降至61%,在存在灰尘和蒸汽的环境中降至48%。如图1所示,光照不均匀导致35%的误判,反光材质造成42%的检测失败,温度波动引起设备性能不稳定,随着干扰强度增加,系统准确率呈现明显下降趋势。针对这些棘手问题,结构化光源

设计是关键解决方法,包括环形光源、暗场照明以及偏振光源等专用照明系统,可有效消除阴影与反射干扰。域自适应学习方法使视觉算法能够适应不同环境条件下图像特性的变化,智能化的参数自动调整机制根据环境条件变化自动调节曝光参数与算法参数,保持系统的稳定性^[8]。

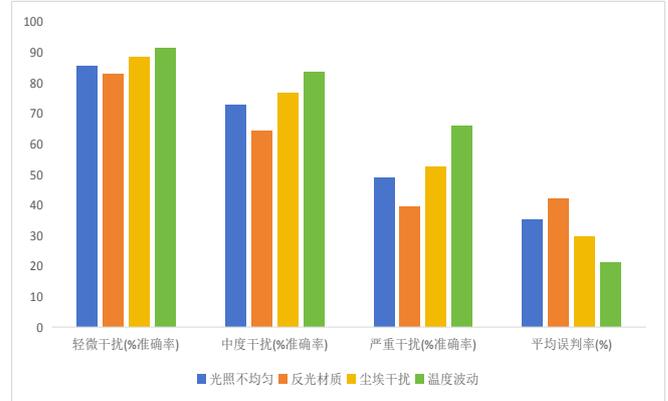


图1 复杂工业环境因素对视觉系统性能影响

3.2 视觉系统实时处理与精度优化策略

高速生产线上,视觉系统处理时间限制严格,数据显示,每提高产线速度10%,视觉系统需减少处理时间9ms。传统视觉算法处理高分辨率图像(4K)时延迟达280ms,深度学习模型推理时间更长达450ms,远超高速生产线35ms的处理窗口要求。在精密制造领域,测量精度需求不断提高,从毫米级提升至微米级,甚至纳米级,常规相机分辨率已无法满足需求^[9]。面对这些挑战,算法轻量化与加速技术是解决实时性问题的关键举措。采用模型剪枝、权重量化和知识蒸馏等方法对复杂视觉模型进行轻量化,硬件加速与异构计算利用GPU、FPGA构建高效计算平台,亚像素测量技术突破相机分辨率的限制,边缘计算架构将处理单元部署到生产现场,减少数据传输延迟。

3.3 多传感器数据融合与协同感知方法

表1 多传感器感知系统面临的主要挑战与影响

挑战类型	问题表现	影响程度 (%)
感知盲区	单一视角遮挡	43.2
信息不足	缺乏深度信息	38.7
环境敏感	光照变化敏感	52.6
融合困难	数据不同步	29.4

单一传感器在复杂工业环境中存在严重局限性,实验数据表明,单RGB相机在标准环境中检测准确率为87%,但在低照度环境中降至42%,在存在部分遮挡情况下降至39%,在反光表面环境中降至35%。传感器本身固有缺陷导致信息获取不全面,如RGB相机无法获取深度信息,深度相机在透明物体前失效。如表1所示,不同类型的感知挑战对视觉系统造成不同程度的影响,其中

光照变化敏感性影响最大,达到52.6%,而数据不同步问题影响相对较小,为29.4%。针对此类挑战,异构视觉传感器融合借助不同类型传感器获取互补的环境信息,视觉与力传感相融合实现精细操作本领,多模态数据时空对齐技术维持数据的一致性,深度学习多模态特征提取方式自动学习各传感器数据中的关键内容^[10]。

3.4 机器视觉算法鲁棒性提升技术

工业视觉算法面临严峻鲁棒性挑战,数据表明标准数据集训练的算法在真实工业环境中性能下降35-60%。生产环境中出现的边缘案例和罕见缺陷检出率低,研究显示常见缺陷检出率可达96%,而罕见缺陷检出率仅为47%,环境变化导致算法性能不稳定,同一算法在不同工厂部署性能差异达28%,算法对数据分布敏感,生产物料微小变化引起误报率上升15-25%。针对这些现存挑战,数据增强与合成技术利用物理模拟以及生成对抗网络生成多样训练数据,不确定性建模技术评估预测结果的可靠性高低,自监督学习与持续优化机制从生产环节不断积累经验来优化模型,主动学习策略识别算法薄弱部分,有针对性地采集标注数据,模型集成技术借助结合多个互补模型的决策结果,增强系统整体可靠性。

4 结论

机器人视觉技术充当智能制造的核心赋能技术,在质量检测、零件分拣归类、精密装配和人机协作配合等领域起关键作用,即便要应对复杂环境适应、实时处理、多传感器融合和算法鲁棒性等方面挑战,但结构化光源设计、算法轻量化、异构传感器融合和自监督学习等创新策略正不断增进系统性能,未来研究应把重点放在视觉系统和大模型结合、自主学习能力强化以及多机器人协同视觉感知上,进一步加大机器人视觉在智能制

造中应用的深度与广度,推动制造业向更高级别的智能化水平迈进。

[参考文献]

- [1]郭江涛.电气控制与工业机器人技术在智能制造中的集成应用及产业化探索[J].高科技与产业化,2025,31(6):49-51.
- [2]牛冲.视觉传感技术在机器人智能化焊接中的应用研究[J].科技资讯,2025,23(14):38-40.
- [3]张良刚.机器视觉与感知技术在智能制造中的应用研究[J].时代汽车,2025(5):134-136.
- [4]石自强.智能制造技术在输电铁塔生产中的应用——以自动焊接机器人为例[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(2):93-95.
- [5]千健,陶煦,张萍,等.智能机器人技术在智能制造中的应用[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(8):009-012.
- [6]朱明杰.智能机器人技术在机械制造自动化生产线中的应用[J].模具制造,2025,25(5):199-201.
- [7]衡蜓.视觉SLAM技术在室内移动机器人导航中的应用与挑战[J].移动信息,2025,47(4):379-381.
- [8]刘安.机器视觉技术在智能制造领域中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(2):019-022.
- [9]张轩豪.智能机器人技术在机械制造中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):024-027.
- [10]杨鸿宇.工业机器人技术在智能制造中的应用与发展[J].中国新通信,2025,27(6):65-67.

作者简介:

任伟(1989-),男,汉族,安徽阜阳人,本科,单位:杭州萧山技师学院,职称:助理讲师,研究方向:工业自动化与智能制造。