

Research on the Application of Machine Vision Technology in Manufacturing Production Line Automation Control

Jin Shi

College of Intelligent Manufacturing, Xinjiang Vocational University, Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract

This article focuses on the application of machine vision technology in the automation control of manufacturing production lines. In the globalized economy, the manufacturing industry is facing challenges, and machine vision technology has obvious advantages and wide applications. Introduce the current situation at home and abroad, where foreign countries started earlier and domestic development is faster. Adopting multiple research methods with innovative points. Analyze technical principles, including image acquisition and processing algorithms. Showcase its effectiveness in quality inspection and production control. Identify challenges and corresponding strategies in environmental adaptation, detection accuracy, and system integration. Looking ahead to the future, it will integrate with artificial intelligence, expand 3D vision applications, and have broad prospects, promoting the development of intelligent manufacturing and reshaping the competitive landscape.

Keywords

manufacturing production line; Automated control; Machine vision technology; application research

制造产线自动化控制中的机器视觉技术应用研究

史今

新疆职业大学智能制造学院, 中国·新疆 乌鲁木齐 830011

摘要

本文围绕制造产线自动化控制中机器视觉技术应用研究。在全球化经济下, 制造业遇挑战, 机器视觉技术优势明显, 应用广泛。介绍国内外现状, 国外起步早, 国内发展快。采用多种研究法, 有创新点。剖析技术原理, 含图像采集与处理算法。展示其在质量检测和生控制方面成效。指出面临环境适应、检测精度、系统集成等挑战及应对策略。展望未来, 它将与人工智能融合、拓展 3D 视觉应用等, 前景广阔, 会推动制造业智能化等发展, 重塑竞争格局。

关键词

制造产线; 自动化控制; 机器视觉技术; 应用研究

1 引言

全球化下制造业面临竞争、需求及成本挑战, 产线自动化控制迫在眉睫。机器视觉技术可模拟人眼对生产进行精准监测分析, 具高精度、速度快等优势, 能防误判漏检, 提效率与质量, 在多行业广泛应用, 如电子、汽车、食品饮料制造等。研究此技术应用对制造业智能升级、竞争力提升意义重大, 助企业降本增效、优流程、保安全, 推动产业可持续发展。国外于 20 世纪 50 年代起步, 理论研究持续发展, 90 年代产业化, 在高端制造应用深入, 高校科研成果突出。国内 80 年代开始, 经多阶段发展, 应用场景广, 部分领域成果显著。国外先发优势明显, 国内应用广度和产业规模扩张快, 部分实现超越, 未来有望合作共进。综合运用文献、

案例和实证研究法, 梳理脉络、剖析案例、实地调研验证效果。创新点有: 拓展应用领域至新兴制造业; 融合深度学习与传统算法; 集成机器视觉等技术构建智能控制系统, 推动产线智能化、柔性化升级。

2 机器视觉技术原理剖析

2.1 图像采集系统

工业相机选型要点: 工业相机选型要综合考量分辨率、帧率与感光元件类型。分辨率关乎细节捕捉, 精密制造需高分辨率, 一般性生产用低分辨率即可; 高速生产环节对帧率要求高, 静态场景则常规帧率就行。CCD 成像优但成本高、功耗大, CMOS 性价比高、集成度高且数据读取快, 部分高端 CMOS 相机已逼近 CCD 画质, 应用广泛。例如汽车电容器生产检测, 依据检测区域和精度选用 1000 万像素、特定分辨率的彩色相机, 确保检测精度与质量稳定。镜头参数对成像影响: 镜头的焦距、景深、视场紧密关联, 影响成像

【作者简介】史今 (1973-), 男, 中国河北唐山人, 本科, 副教授, 从事智能控制研究。

效果。长焦距利于检测微小部件，短焦距适合大面积物体；景深受光圈、焦距与拍摄距离左右；视场由焦距和感光元件大小确定，需依据检测物体的大小和精度要求选定合适视场的镜头。如电子产品生产线的手机外壳外观检测，选用中短焦距镜头配合小光圈获取大景深，再依相机分辨率和检测精度调整焦距，增强检测准确性与可靠性。光源设计与应用场景适配：光源设计要适配应用场景，不同材质、形状产品对光源特性要求有别。金属产品反光强，用偏振光源；塑料产品用环形光源凸显三维信息；玻璃制品选同轴光源消除阴影。规则形状产品用条形或环形光源，复杂形状用圆顶光源等。像食品饮料包装检测，易拉罐用环形无影光源，方形纸盒用条形光源组合照射，保障包装检测的完整性与合规性^[1]。

2.2 图像处理算法

图像预处理方法：涵盖灰度化、滤波、增强等操作。灰度化可简化数据，有平均值法和加权平均法；滤波能去除噪声，均值、中值、高斯滤波各有针对；图像增强可突出感兴趣区域，如直方图均衡化提升对比度，灰度变换调整灰度范围。以 PCB 板图像去噪为例，经中值滤波、高斯滤波和直方图均衡化等预处理，提升图像质量，为后续工序提供优质数据源，降低误判率，保障生产质量。特征提取与识别技术：处于核心地位。基于形状特征（如 Hu 不变矩算法用于机械零件识别）、纹理特征（如灰度共生矩阵用于纺织品检测）、颜色特征（如颜色矩算法用于水果分拣）的提取与识别技术各有应用。某机械零件自动化生产线运用 Hu 不变矩、GLCM 算法和颜色矩算法精准识别零部件特征，实现自动化装配，装配准确率超 98%，效率提升 3 倍以上。深度学习在图像处理中的融合：深度学习算法尤其是 CNN 为机器视觉图像处理带来变革。传统算法处理复杂图像适应性欠佳，CNN 凭借自动特征学习能力，通过多层架构从海量图像数据中学习深层次特征，在复杂产品外观检测和图像分类任务上优势显著，大幅提升准确率，有力推动制造产线智能化升级。

3 机器视觉技术在制造产线的全方位应用

3.1 质量检测环节应用

表面缺陷检测实例分析，在手机屏幕生产和金属制品加工等行业，机器视觉技术在表面缺陷检测中发挥重要作用。手机屏幕检测通过高精度工业相机和特定光源，利用纹理特征提取算法和深度学习模型，精准识别划痕和斑点等缺陷；汽车发动机铝合金缸体检测选用高分辨率 CCD 相机和环形无影光源，结合 Hu 不变矩算法与 CNN，精确检测表面裂纹、砂眼等缺陷，保障产品质量与安全。尺寸精度测量应用，在航空航天和精密模具制造等领域，机器视觉技术用于高精度尺寸测量。航空发动机叶片测量采用多台工业相机组成阵列和三维重建算法，测量精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$ ；精密模具制造借助长焦镜头和高像素 CMOS 相机，运用

基于边缘检测的亚像素定位算法，测量重复性精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$ ，提高生产效率，降低成本。装配完整性核验，在汽车制造和电子产品制造等行业，机器视觉系统用于装配完整性核验。汽车发动机装配线上，机器视觉系统监测零部件装配过程，确保装配质量；电脑主板插件装配中，采用高帧率、高分辨率工业相机和特定光源，结合模板匹配算法与深度学习目标检测算法，降低插件装配不良率，提升产品良品率。

3.2 生产过程控制应用

物料识别与分拣自动化，在食品与药品生产领域，机器视觉技术实现物料识别与分拣自动化。食品生产中，机器视觉系统利用形状和颜色特征识别算法，精准分拣不同产品，机械臂依据其指令高效抓取物料；药品生产中，配备专业光源和深度学习算法的机器视觉系统，准确识别药品的剂型、种类、批次等关键属性，保障药品质量安全。机器人视觉引导操作，在汽车制造、电子产品制造和物流仓储等行业，机器人视觉引导操作提升生产效率与质量。汽车焊接车间，焊接机器人搭载机器视觉系统，利用基于结构光的三维视觉测量技术，精准焊接车身框架，提高焊接合格率；电子产品外壳喷涂生产线，喷涂机器人借助机器视觉系统规划最优喷涂路径，提升产品外观质量；物流仓储搬运环节，搬运机器人结合机器视觉技术，精准抓取各类货物，提升搬运效率，降低货物损坏风险。生产流程监控与优化，在电子制造、注塑成型和食品饮料罐装等生产线，机器视觉技术实现生产流程监控与优化。电子制造 SMT 生产线，机器视觉系统实时监控生产流程，挖掘最优生产参数，提升产能，降低不良率；注塑成型生产过程中，机器视觉系统检测产品质量并关联分析设备运行参数，提前预判质量问题，降低废品率；食品饮料罐装生产线，机器视觉系统监测罐装量和封盖质量，优化资源调配，提升生产线运行效率^[2]。

4 机器视觉技术应用的成效与挑战

4.1 应用成效显著呈现

生产效率大幅跃升，汽车制造领域，某企业引入机器视觉技术后，汽车发动机装配时间从 3 小时缩短至 1.5 小时以内，日产量从 50 台提升至 100 台以上；电子制造行业，某企业 SMT 贴片环节引入机器视觉检测系统后，贴片速度从每小时 2000 - 2500 件提升至 4000 - 4500 件，生产效率显著提升。产品质量显著提升，精密机械加工领域，某航空发动机叶片生产企业引入机器视觉测量系统后，次品率从 10% 降至 2% 以内，返修率从 8% 降低至 1% 以下；家电制造行业，某冰箱厂应用机器视觉技术后，产品一次合格率从 85% 提升至 98% 以上，有效保障产品质量，提升品牌形象。成本控制成效显著，大型服装制造企业引入机器视觉辅助自动化生产设备后，人力需求减少约 30%，人力成本占比从 40% 降至 25% 左右；食品饮料罐装企业引入机器视觉系

统后,物料浪费率从3%降低至0.5%以内,设备利用率从60%提升至80%以上,降低了成本,增强企业竞争力。

4.2 面临挑战深度剖析

复杂环境适应性难题,在钢铁、铸造等重工业领域,机器视觉系统面临强光、高温、高粉尘等复杂恶劣环境的挑战。强光导致图像过曝,高温使电子元器件性能衰退、镜头参数改变,高粉尘降低图像对比度、遮挡光路,影响图像采集质量与设备稳定性,增加误判风险,制约生产效率提升与质量管控。高精度检测技术瓶颈,随着制造业向高端化、精密化发展,对产品精度要求愈发严苛,机器视觉技术面临挑战。工业相机分辨率虽不断提升,但在面对超精密零部件检测时仍显不足,受光学衍射极限限制,细微结构成像模糊;传统图像处理算法在复杂缺陷形态识别、微小尺寸测量上误差较大,制约高端制造产业发展。系统集成与维护难点,在制造产线自动化升级过程中,机器视觉系统存在系统集成与维护难题。不同厂商设备在通信协议、软件接口上存在差异,集成时兼容性问题突出,影响系统协同工作;维护层面,复杂集成系统故障排查难度大,维修耗时费力,且设备更新后存在新老版本兼容、系统重新优化配置等问题,增加企业人力成本与技术管理难度,阻碍技术推广与优化。

5 应对挑战的策略与发展趋势展望

5.1 应对策略精准发力

硬件优化升级路径,研发高防护等级的工业相机与镜头,采用特殊散热材料与结构设计,提高其耐高温、抗干扰能力;开发耐高温、抗干扰的光源,如具备自适应调光功能的光源和封闭式光源结构,为图像采集提供可靠保障。在电子制造和食品饮料罐装等生产线,优化后的硬件组合提升了产品良品率和生产效率。算法创新突破方向,融合多模态数据,将视觉图像与其他传感器数据结合,提升对目标物体的感知能力;引入强化学习算法,让机器视觉系统具备自主决策与优化能力;针对高精度检测需求,研发基于微观物理模型的算法,突破光学衍射极限束缚。如在智能仓储物流和汽车零部件表面缺陷检测等场景中,创新算法提升了检测准确率与效率。标准化与规范化建设,制定统一的设备接口标准与数据传输协议,促进不同厂商设备无缝对接;加强行业规范制定,涵盖设备性能指标、检测方法、安全操作规程等内容。在3C产品制造和医疗器械制造等行业,标准化与规

范化建设保障了产品质量检测的可靠性与稳定性^[1]。

5.2 发展趋势前瞻洞察

与人工智能深度融合,深度学习算法将持续优化,借助海量图像数据训练提升模型精度与泛化能力;强化学习将与机器视觉紧密结合,赋予系统自主决策与动态优化能力。在复杂产品缺陷检测和智能仓储物流等场景中,融合后的技术提升了检测与搬运效率,推动物流自动化水平提升。视觉技术拓展应用,3D视觉技术将在高端精密制造、工业机器人操作等领域实现突破性应用,并与虚拟现实(VR)/增强现实(AR)技术融合,为制造过程带来全新交互体验。在航空发动机叶片检测、汽车总装生产线和产品设计评审等环节,3D视觉技术提升了检测精度、装配质量和设计效率。跨行业多元化渗透,机器视觉技术将加速向新能源、生物医药、物流仓储等新兴行业以及柔性制造、定制化生产模式渗透。在新能源汽车电池制造、生物医药生产检测和物流仓储智能化升级等方面,机器视觉技术提升了生产效率、产品质量和物流处理效率,推动制造业向智能化、高效化、柔性化方向发展。

6 结论

本研究聚焦制造产线自动化控制中的机器视觉技术。深入剖析其技术原理,涵盖图像采集系统与图像处理算法等关键环节。实践证明,该技术在质量检测与生产过程控制中成效显著。同时,研究也指出其面临的挑战,并提出硬件优化、算法创新、标准化建设等应对策略。展望未来,机器视觉技术前景广阔。在技术创新上,硬件性能与图像处理算法将不断提升;应用领域会向新兴制造业拓展;跨行业融合将进一步加强,与人工智能、物联网、大数据紧密结合;产业生态也将持续完善,上下游协同发展。机器视觉技术将引领制造业迈向智能化、高效化、柔性化,重塑全球制造业竞争格局,推动工业文明迈向新高度。

参考文献

- [1] 陈婉薇.基于机器视觉的PLC控制下的自动化装配线研究[J].中国仪器仪表,2023(12):77-80.
- [2] Zhu S.整合视觉系统方案,有效提高自动化生产线效率[J].传感器世界,2021,27(03):30-32.
- [3] 朱成林,多类多样性目标智能分拣技术及应用.北京市,北京精密机电控制设备研究所,2018-12-06.