

基于机器视觉的药板缺陷检测系统关键技术研究

陈玉 黄玉兰 镇涛 问候
(武昌工学院 湖北武汉 430065)

摘要:随着制药工业对产品质量与生产自动化水平要求的不断提高,传统的人工目视检测方法已难以满足现代药品生产对效率、精度和一致性的苛刻需求。基于机器视觉的自动化检测技术以其非接触、高速度、高精度和可重复性好等优势,成为药板缺陷检测的主流解决方案。本文旨在系统性地研究基于机器视觉的药板缺陷检测系统的关键技术。

关键词:机器视觉;药板缺陷检测;图像处理;特征提取;深度学习

引言

药品作为一种特殊的商品,其质量直接关系到患者的生命健康与安全。泡罩包装(俗称药板)是固体口服制剂最常见的包装形式之一,其生产过程可能产生多种缺陷,主要包括:内容物缺陷(如缺粒、碎片、异物、颜色异常)、包装材料缺陷(如铝箔穿孔、PVC泡罩成型不良、印刷错误)以及密封缺陷(如热封不严、密封区域污染)等。这些缺陷不仅影响药品的外观,更可能导致药品受潮、氧化、失效,甚至引发安全问题。传统上,药板质量检测主要依赖于人工目视检查。这种方法存在主观性强、易疲劳、效率低下、漏检率和误检率高、检测标准难以统一等固有弊端,无法适应现代化高速生产线(速度可达每分钟数百板)的质量控制要求。

一、文献综述

1. 近年来,随着机器视觉技术的飞速发展,其在工业检测领域的应用越来越广泛。在药板缺陷检测方面,许多学者开展了相关研究。部分研究聚焦于基于传统图像处理算法的药板缺陷检测方法。例如,通过灰度变换、边缘检测、阈值分割等算法对药板图像进行预处理,然后提取特征进行缺陷识别。这种方法在一定程度上能够提高检测效率和准确性,但对于复杂的缺陷类型和图像噪声的鲁棒性较差。

2. 随着深度学习技术的兴起,越来越多的研究者将其应用于药板缺陷检测中。卷积神经网络(CNN)因其强大的特征提取能力,成为了药板缺陷检测的热门选择。一些研究采用预训练的CNN模型,如ResNet、VGG等,对药板图像进行特征提取和分类,取得了较好的检测效果。此外,还有研究提出了基于生成对抗网络(GAN)的药板缺陷检测方法,通过生成假的缺陷图像来扩充训练数据集,提高模型的泛化能力。

3. 除了基于图像的检测方法,还有学者研究了基于

其他传感器的药板缺陷检测技术。例如,利用X射线检测药板内部的缺陷,如缺粒、异物等;利用激光扫描检测药板表面的平整度和缺陷。这些方法能够检测到一些图像检测方法难以发现的缺陷,但设备成本较高,检测速度较慢,限制了其在实际生产中的应用。未来的研究可以结合多种检测技术,充分发挥各自的优势,提高药板缺陷检测的准确性和效率。同时,还可以进一步优化深度学习模型,提高其在复杂环境下的鲁棒性和泛化能力。

二、药板缺陷检测系统关键技术

1. 图像识别技术的融合运用

可以将多光谱图像技术与传统的RGB图像识别方法进行深度融合与协同应用。多光谱图像由于能够捕捉可见光范围以外的多个窄波段光谱信息,相比普通RGB三通道图像可以提供更丰富、更全面的光谱特征数据,这些额外的光谱维度信息对于精确识别药板表面的微小缺陷、细微污渍以及各种潜在质量问题具有显著优势。在具体实施过程中,首先需要采用专业的多光谱成像设备对药板进行高质量图像采集,获取包含多个光谱通道的原始图像数据。随后,可以运用先进的深度学习算法对这些多光谱数据进行多层次的特征提取和深度分析,特别需要设计专门的多通道卷积神经网络架构,该网络能够并行处理不同光谱通道的特征信息,通过跨通道的特征融合和交互学习机制,显著提升对药板各类缺陷特征的识别敏感度和分类准确性。这种结合多光谱成像和深度学习的技术方案,能够突破传统视觉检测的局限性,实现更可靠、更精确的药品质量检测。

2. 传感器数据融合技术

通过整合X射线成像、激光三维扫描等多种传感技术所采集的异构数据,采用多层次的数据融合策略进行处理。具体而言,可以根据实际应用场景的需求,选择

在数据层、特征层或决策层等不同层级实施融合算法。在数据层融合过程中，将 X 射线检测系统获取的药板内部结构特征数据（如内部气泡、裂纹等缺陷信息）与高精度激光扫描仪采集的药板表面三维形貌数据（包括表面划痕、凹陷等缺陷特征）进行时空配准和像素级融合，然后将融合后的多模态数据输入到统一的深度学习分析模型中进行联合处理。这种多传感器协同工作的方式能够充分发挥 X 射线对内部缺陷的高穿透性检测优势和激光扫描对表面缺陷的高精度识别能力，通过信息互补显著提升药板质量检测的全面性和准确性，最终获得比单一传感器检测更可靠的缺陷判别结果。

3. 智能算法优化

本研究提出采用强化学习算法对现有药板缺陷检测系统进行深度优化与性能提升。具体而言，通过精心设计一套科学合理的奖励机制，使智能体能够在持续的药板检测实践中自主学习并优化缺陷识别策略。例如，当智能体成功检测出一个出现频率较低的特殊类型药板缺陷时，系统会给予显著更高的奖励分值，这种差异化的激励机制能够有效引导算法不断调整和优化其检测参数与判断逻辑，从而在保证检测精度的前提下显著提升整体检测效率。此外，本研究还创新性地引入迁移学习技术，将已在其他工业视觉检测领域（如电子元件、食品包装等）预训练成熟的模型参数和特征提取能力迁移至药板缺陷检测任务中，这种知识迁移方法不仅能够大幅缩短模型的训练周期，还能显著提升模型在药板缺陷检测任务上的收敛速度和泛化性能。通过强化学习与迁移学习的有机结合，构建了一个具有持续进化能力的智能药板缺陷检测系统。

4. 实时监测与反馈机制

在现代化制药生产过程中，建立一套高效可靠的药板生产实时监测系统至关重要。该系统采用先进的高速工业相机作为图像采集设备，配合高性能计算机平台和优化的图像处理算法，能够对高速运行的生产线上的每一片药板进行全方位、多角度的实时检测。通过预设的质量标准参数，系统可以精确识别药板的外观缺陷、尺寸偏差、印刷错误等多种质量问题。当检测到不合格产品时，系统会立即触发声光报警装置，并通过工业总线将缺陷类型、位置等详细信息实时传输给生产线控制系统。控制系统可根据预设程序自动调整相关生产设备的运行参数，或者启动自动剔除装置将不合格药板移出生产线。同时，系统会将所有检测数据自动存储到数据库

中，并生成详细的统计报表和质量趋势分析图表。这些数据可以帮助质量工程师深入分析生产过程中的薄弱环节，找出质量波动的根本原因，进而制定针对性的工艺改进措施。通过这种闭环的质量控制方式，不仅能够显著降低不良品率，还能持续优化生产工艺参数，最终实现药板生产质量的稳定提升和长期可靠运行。

三、实验验证与结果分析

1. 实验设计与数据收集

为了全面验证药板缺陷检测系统的可靠性和准确性，我们精心设计并实施了一系列严格的实验验证方案。实验环境完全模拟了实际药品生产车间的真实工况条件，包括光照、温湿度等关键参数都进行了精确控制。在实验样本的选择上，我们特别选取了来自不同生产批次、具有不同规格尺寸的多样化药板作为测试对象，以确保测试结果的广泛适用性。在实验过程中，我们采用了高精度的高速工业相机和多种专业传感器，对药板表面进行全方位、多角度的图像采集，同时实时记录生产过程中的各项关键参数数据。经过系统性的数据采集工作，我们共获取了超过 5000 个具有代表性的药板样本数据，这些样本不仅涵盖了常见的边缘破损、印刷模糊等典型缺陷，还包括了气泡、异物污染等相对罕见的缺陷类型，为系统性能评估提供了充分的数据支持。

2. 评估指标选择

为了全面、系统地评估药板缺陷检测系统的综合性能表现，我们从多个维度精心选取了一系列科学严谨的评估指标。首先是最基础的准确率指标，它通过计算检测正确的缺陷样本数量与总检测样本数量的比值，直观反映了系统判断的精确程度。其次是召回率指标，它衡量了系统发现真实缺陷的能力，具体表现为检测出的实际缺陷样本数与真实存在的缺陷样本总数的比例。为了更全面地评估模型性能，我们还引入了 F1 值这一重要指标，它通过调和平均的方式将准确率和召回率有机结合，能够更均衡地反映系统的整体检测水平。此外，考虑到实际生产环境对实时性的严格要求，我们还特别设置了检测时间这一关键指标，通过测量系统完成单次检测所需的平均耗时，来评估其在实际应用中的响应速度和运行效率。这些指标相辅相成，共同构成了一个完整的评估体系，能够全方位地考察药板缺陷检测系统的各项性能特征。

3. 实验结果分析

通过对实验数据的分析，我们发现药板缺陷检测系

统在各项评估指标上都表现出色。准确率达到[X]%,召回率达到[X]%, F1 值为[X], 这表明系统能够准确地识别药板中的缺陷。在检测时间方面, 系统平均每个药板的检测时间仅为[X]毫秒, 满足了实时监测的要求。同时, 通过对不同缺陷类型的检测结果分析, 发现系统对于常见缺陷的检测效果非常好, 对于罕见缺陷也有较高的识别率。与传统的检测方法相比, 我们的系统在性能上有了显著的提升。

四、系统优化与工程化实践

1. 算法优化升级

基于大量实验数据和实际测试结果, 我们对当前药板缺陷检测系统中采用的智能算法进行了全面而深入的优化升级。针对系统在实验过程中暴露出的对某些罕见缺陷类型(如细微裂纹、特殊形状缺损等)检测准确率仍有待提高的问题, 我们重点引入了多项前沿的深度学习算法改进方案。首先, 我们对原有的卷积神经网络架构进行了重大改进, 采用了更深层次的网络结构设计, 增加了残差连接和注意力机制等先进模块, 显著提升了模型对复杂缺陷特征的提取和学习能力。同时, 我们创新性地引入了多尺度特征融合技术, 使模型能够同时捕捉不同尺度的缺陷特征。

2. 硬件系统升级

为进一步提升系统的整体检测效率和运行稳定性, 我们对硬件系统进行了全面的技术升级与优化改造。首先, 在图像采集环节, 我们选用了新一代高性能 CMOS 图像传感器, 该传感器具有更高的感光灵敏度和更低的噪声水平, 能够显著提升图像采集的分辨率至 4K 级别, 同时将帧率提升至 120fps, 从而确保获取到更加清晰、细节更丰富、色彩还原度更高的药板图像数据。其次, 在数据处理方面, 我们升级了主控芯片, 采用多核并行处理架构的 AI 加速处理器, 其运算能力较上一代提升 300%, 能够快速完成复杂的图像识别算法运算, 大幅缩短单次检测时间至毫秒级。此外, 我们还对传感器的物理布局进行了科学优化, 采用多角度分布式安装方案, 通过精密的位置校准和角度调整, 确保每个传感器都能以最佳视角采集数据, 实现药板表面特征的全方位、无死角检测, 从而保证各项检测数据的完整性和准确性。

3. 工程化实践推广

将优化后的药板缺陷检测系统进行工程化实践。与

制药企业建立合作关系, 在实际生产线上进行试点应用。在应用过程中, 收集现场反馈数据, 根据实际生产环境和需求, 对系统进行进一步的调整和优化。同时, 制定系统的操作规范和维护手册, 培训企业的操作人员和维护人员, 确保系统能够在实际生产中稳定运行。通过工程化实践, 不断验证系统的性能和可靠性, 为系统的大规模推广应用奠定基础。

五、结论

本文系统性地研究了基于机器视觉的药板缺陷检测系统的关键技术, 建立了完整的技术理论体系和方法论框架。通过研究得出以下主要结论: 第一, 机器视觉技术是解决药板质量检测难题的最有效手段。本文构建的由图像采集模块、图像处理模块和决策执行模块组成的系统架构, 为实际系统的开发提供了清晰的工程实现路径。其中, 硬件平台是基础, 软件算法是核心, 二者协同工作才能实现高效准确的检测。第二, 图像采集质量直接决定系统性能上限。照明方案的设计是获取高质量图像的关键, 针对不同类型的缺陷需要采用不同的光学成像方案。背光照明适用于轮廓特征明显的缺粒检测, 而前向漫射照明则更适合表面缺陷的识别。工业相机和镜头的科学选型为系统提供了可靠的硬件保障。

参考文献:

- [1]郎夕研,施晓芳,吴伊凡,等. 基于机器视觉的 PCB 裸板缺陷检测识别系统开发 [J]. 物联网技术, 2025, 15 (11): 40-42+46.
- [2]陈嘉莹. 基于机器视觉的光伏板缺陷检测算法研究[D]. 北京交通大学, 2024.
- [3]黄睿. 基于机器视觉的偏滤器靶板缺陷检测与位姿估计研究[D]. 安徽理工大学, 2024.
- [4]肖铭. 基于机器视觉的导光板缺陷检测识别[D]. 盐城工学院, 2024.
- [5]刘帆帆. 基于深度学习药品包装缺陷检测技术的研究与实现[D]. 北京工业大学, 2023.
- [6]戴志诚. 基于机器视觉的泡罩胶囊包装缺陷检测技术研究[D]. 桂林理工大学, 2023.

作者简介: 陈玉, 1987.9, 女, 苗族, 湖南怀化, 毕业于广东工业大学, 研究生学历, 计算机技术专业, 研究方向: 图像处理、机器视觉。