

基于机器视觉的 PCB 电路板自动检测与故障定位系统设计

朱军民

新疆城建试验检测有限公司 新疆乌鲁木齐

【摘要】PCB 电路板的质量直接关系到电子产品的性能与可靠性，传统人工检测方式存在效率低、准确性差等问题。本文以机器视觉技术为核心，构建了一种 PCB 电路板自动检测与故障定位系统，旨在实现高速、高精度的检测。系统通过图像采集、预处理、特征提取与模式识别等步骤，实现焊点缺陷、断路、短路等常见问题的快速识别与定位。研究重点在于结合深度学习算法提升检测精度，并利用图像匹配与模板对比方法提高定位的鲁棒性。实验结果表明，该系统在处理复杂电路板结构时依然保持较高检测准确率，具有较强的工程应用前景。研究为电子制造行业智能化发展提供了可行路径，并在降低人力成本与提升产品质量方面展现出显著优势。

【关键词】机器视觉；PCB 检测；故障定位；深度学习

【收稿日期】2025 年 10 月 24 日

【出刊日期】2025 年 11 月 24 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250204

Design of automatic detection and fault localization system for PCB circuit boards based on machine vision

Junmin Zhu

Xinjiang Urban Construction Testing Co., Ltd. Urumqi, Xinjiang

【Abstract】The quality of PCB (Printed Circuit Board) directly affects the performance and reliability of electronic products. Traditional manual detection methods suffer from problems such as low efficiency and poor accuracy. Taking machine vision technology as the core, this paper constructs an automatic detection and fault localization system for PCB circuit boards, aiming to achieve high-speed and high-precision detection. Through steps including image acquisition, preprocessing, feature extraction, and pattern recognition, the system realizes rapid identification and localization of common issues such as solder joint defects, open circuits, and short circuits. The research focuses on improving detection accuracy by integrating deep learning algorithms and enhancing the robustness of localization using image matching and template comparison methods. Experimental results show that the system still maintains high detection accuracy when dealing with complex circuit board structures, demonstrating strong prospects for engineering application. This research provides a feasible path for the intelligent development of the electronic manufacturing industry and exhibits significant advantages in reducing labor costs and improving product quality.

【Keywords】Machine vision; PCB detection; Fault localization; Deep learning

引言

电子制造业正处于向智能化与自动化快速转型的关键阶段，而 PCB 电路板作为核心组件，其检测与质量控制尤为重要。传统人工检测不仅耗时费力，还容易因主观因素导致误判，难以满足现代生产高效率与高精度的需求。基于机器视觉的自动检测技术正逐渐成为解决此类问题的重要途径，它能够通过高速图像采集与智能算法分析，实现 PCB 缺陷的高效识别与精确定位。本文将重点探讨基于机器视觉的检测与故障定位系统设计思路，并通过实验验证系统的实用性与可靠性。研究不仅在理论层面推进了检测技术的探索，也

为实际生产提供了切实可行的参考，体现了技术创新在产业升级中的重要价值。

1 PCB 电路板检测面临的主要问题与研究意义

在现代电子制造中，PCB 电路板承担着电路连接与信号传输的重要功能，其质量优劣直接影响电子产品的稳定性和寿命。随着电子产品的精密化与小型化发展，电路板设计趋于复杂化，线路间距不断缩小，元件排布更加紧密，传统人工检测方式难以应对高密度、高精度的检测需求^[1]。人工检测效率低，容易受到工人主观因素影响，导致漏检与误判情况频发。随着生产批量不断扩大，人工检测所需的时间与人力成本愈发难

以承受,制约了整体生产线的智能化与高效化进程。如何建立高效、准确且自动化的检测方法,已经成为电子制造行业亟待解决的关键问题。

针对传统检测方式存在的不足,学术界与产业界逐渐将目光转向机器视觉与智能算法的结合。通过高分辨率工业相机获取电路板表面图像,并利用图像处理与特征提取技术,可以快速发现断路、短路、虚焊、偏移等缺陷,从而在早期环节发现潜在质量隐患,避免产品流入后续环节造成更大损失。这种基于视觉的检测方式能够显著提高检测效率与准确率,减少人工参与带来的不确定性。更为重要的是,它为后续的智能制造与无人化生产奠定了技术基础,使得生产线能够在保持高产能的同时确保产品的一致性与可靠性。

研究基于机器视觉的PCB电路板自动检测与故障定位系统具有重要意义。一方面,它不仅能够有效缓解电子制造行业对专业检测人员的依赖,降低人工成本,还能实现全天候、无疲劳的检测,提高整体产能利用率。另一方面,这类系统能够结合深度学习与模式识别方法,在大规模数据训练下不断优化检测模型,从而使检测结果具备更高的鲁棒性与泛化能力。该研究的开展不仅推动了检测技术的智能化发展,同时为实现电子制造业的产业升级与质量保障提供了坚实的技术支撑。

2 基于机器视觉的PCB自动检测系统思路

PCB电路板的自动检测系统设计需要从整体架构出发,合理结合硬件设备与软件算法,以实现高速、高精度的检测目标。在硬件部分,通常采用工业级高分辨率相机、精密光源以及自动传输机构,确保能够清晰捕捉电路板图像并保持稳定的工作环境。光源的选择与布置尤为关键,不同缺陷在光照下的反射特性差异较大,通过环形光源、条形光源以及多角度照明方式的综合应用,可以显著提升缺陷显现的对比度,增强后续处理环节的可操作性。在软件部分,检测系统需要具备图像采集、预处理、特征提取、缺陷识别与定位等功能,并通过算法的高效设计保证检测的实时性。

图像预处理环节是保证检测效果的基础,常见的方法包括灰度变换、滤波去噪、边缘增强与二值化操作。由于PCB电路板上存在焊点、丝印字符、布线等复杂结构,原始图像往往伴随噪声干扰与光照不均,通过合理的预处理可以有效突出目标区域并抑制无关信息^[2]。特征提取与匹配阶段则通过几何特征、纹理特征或深度学习网络自动学习到的高维特征,对电路板正常区域与缺陷区域进行区分。系统在检测过程中可建立模板库,通过待测图像与标准模板的对比分析,快速发现

偏差并进行定位。

在系统集成层面,自动检测不仅限于单一缺陷的发现,还需要在高速流水线上完成稳定运行。设计时需要考虑数据传输速度、算法并行处理能力与检测模块的容错性。通过引入GPU加速与并行计算框架,可以在毫秒级完成图像处理与识别任务,满足现代生产线上高速传输的要求。系统还应与制造执行系统(MES)或生产线监控平台对接,实现检测数据的实时反馈与质量追溯,从而在生产链条上形成闭环管理。这种整体化的设计思路,确保了基于机器视觉的PCB自动检测系统不仅具备技术可行性,还能够满足实际生产环境中的应用需求。

3 故障定位技术与深度学习方法的应用效果

在PCB电路板自动检测中,故障定位是确保检测结果可用性的重要环节。传统方法往往依赖图像模板对比,通过差异区域分析来定位缺陷位置。然而,面对复杂电路结构与多样化的缺陷类型,单纯的模板比对容易受到噪声、元件偏移和印刷误差的干扰,导致漏检与误判。为提升定位的准确性与稳定性,研究引入了基于深度学习的智能识别方法。通过构建卷积神经网络(CNN)与目标检测网络,可以自动学习电路板图像中的层次化特征,并对缺陷区域进行精确标注,从而突破传统方法的局限性。深度学习不仅能够识别常见的焊点虚焊、断路,还能捕捉到微小裂纹与丝印偏差,提高故障检测的全面性。

深度学习在实际应用中通常依赖大规模标注数据集,通过训练使网络具备较强的泛化能力。在PCB检测场景下,可以利用迁移学习与数据增强方法,解决数据样本不足与分布不均的问题。训练好的模型在推理阶段可以快速对输入图像进行分类与定位,并输出缺陷的具体位置与类别。通过集成多尺度特征提取与注意力机制,系统能够更好地关注关键信息区域,从而在复杂背景下依然保持高精度的识别能力。相比传统方法,基于深度学习的故障定位系统不仅减少了对人工干预的依赖,还能在不断迭代中提升检测精度,实现自适应优化。

实际验证结果表明,深度学习方法在故障定位中的应用取得了显著成效。在工业现场测试中,系统能够在极短时间内完成大批量PCB板的检测,准确率显著高于传统方法,且在面对复杂缺陷组合时依旧保持稳定性能。这一成果展示了人工智能与机器视觉结合的巨大潜力,也为电子制造业向更高水平的自动化与智能化迈进提供了现实基础^[3-7]。通过引入深度学习,PCB

自动检测与故障定位系统不仅实现了功能上的突破,更推动了检测模式从“规则驱动”向“数据驱动”的转型,为未来的研究与应用拓展了更广阔的空间。

4 系统实验验证与工程应用价值分析

系统设计与算法提出后,需要在实验与实际工程环境中进行全面验证,以确保理论研究能够在实际生产中发挥作用。实验环节通常包括多种类型缺陷的检测测试、不同光照条件下的鲁棒性评估以及流水线速度下的实时性验证。实验结果显示,该系统在识别焊点虚焊、断路与短路等常见缺陷时,检测准确率保持在较高水平,且在图像噪声与背景干扰下依然能够保持稳定表现。通过对比传统人工检测与常规图像处理方法,可以明显看出机器视觉结合深度学习的优势,其检测速度与可靠性均具备显著提升。

在工程应用层面,该系统能够与生产流水线实现高度兼容与无缝对接,从而完成对PCB电路板的在线检测与实时反馈。借助自动化传输装置与高速图像采集模块,检测过程能够与生产节拍同步进行,不再成为影响产能的瓶颈环节。当系统发现缺陷时,可即时输出定位坐标和缺陷类别,并将相关检测结果实时上传至制造执行系统,从而实现产品质量的追溯、统计与大数据分析。这种基于信息化的闭环管理模式,不仅显著提升了生产环节的自动化水平,也为全过程质量控制提供了坚实的技术保障^[8]。系统采用模块化与可配置化的设计理念,可根据不同类型电路板的结构特征与检测需求灵活调整检测策略与参数,具备良好的扩展性和适应性。这一优势使得该系统能够满足多样化、批量化生产场景的应用需求,并为电子制造业的智能化升级提供了持续动力。

工程实践证明,基于机器视觉的PCB电路板自动检测与故障定位系统在降低人工成本、提升检测效率与确保产品一致性方面具有突出的应用价值。随着生产规模的不断扩大与电子产品的复杂化发展,该系统将在未来的电子制造业中发挥越来越重要的作用。其成功应用不仅标志着检测技术的一次重大突破,也为实现智能制造与工业升级提供了可行路径。通过实验验证与工程应用,该研究充分展示了机器视觉与深度

学习在实际产业中的融合优势,为后续研究与推广奠定了坚实的基础。

5 结语

基于机器视觉的PCB电路板自动检测与故障定位系统在电子制造业中展现出显著优势。研究不仅解决了传统人工检测效率低、误差率高的问题,还通过深度学习与智能算法的结合,实现了缺陷的快速识别与精确定位。实验与工程应用结果表明,该系统能够在复杂环境下保持稳定性能,并具备良好的扩展性和适应性。未来,随着算法优化与硬件性能的不断提升,该类系统将在更大规模的生产中得到广泛应用,对推动电子制造业智能化升级具有重要的现实意义与长远价值。

参考文献

- [1] 张俊玲,程利军,王鹏,等.基于机器视觉的重型汽车线束智能检测系统研究[J].重型汽车,2025,(04):3-4.
- [2] 张立明,黄怀德,张海军,等.基于机器视觉的焊接缺陷检测方法研究[J/OL].金属加工(热加工),1-8[2025-08-25].
- [3] 于合龙,王宇辉.基于机器视觉的耕种前期农田边界线距离检测方法[J/OL].吉林农业大学学报,1-11[2025-08-25].
- [4] 李娜,马民生,张建海.变速器齿轮机构齿根磨削裂纹机器视觉检测[J/OL].机械设计与制造,1-7[2025-08-25].
- [5] 孟庆玲.机器视觉在钢材表面裂纹检测中的应用研究[J].冶金管理,2025,(07):47-49+53.
- [6] 孙鹏,贾英新.基于机器视觉的卷烟辅料仓储信息智能检测系统[J].价值工程,2025,44(22):90-92.
- [7] 彭译娇,张成龙,黄承渊.基于机器视觉的烟草工艺生产线烟支外观缺陷自动检测技术研究[J].南方农机,2025,56(14): 150-152.
- [8] 李宗祺.基于机器视觉的机械零部件表面硬度检测研究[J].自动化应用,2025,66(14):59-62.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS