

自动化项目设备研发中的智能化检测系统构建与优化

汪平

身份证号: 440981198809102956

DOI:10.61369/ME.2025010003

摘要： 自动化项目设备研发的智能化检测系统需满足多方面需求。包括功能需求如多模态数据融合等，总体架构含硬件 - 软件协同设计，元件选型需综合考虑，还涉及信号调理等多方面技术，通过实际验证不断优化，成果显著且明确了未来研究方向。

关键词： 智能化检测系统；自动化项目设备；技术优化

Construction and Optimization of Intelligent Detection System in Equipment Research and Development of Automation Projects

Wang Ping

ID:440981198809102956

Abstract： The intelligent inspection system for equipment development in automation projects needs to meet various requirements. This includes functional requirements such as multimodal data fusion, with an overall architecture that involves hardware-software co-design. Component selection must be comprehensive, and it also involves multiple technologies like signal conditioning. Through practical validation, continuous optimization has been achieved, yielding significant results and clarifying future research directions.

Keywords： intelligent detection system; automation project equipment; technical optimization

引言

随着科技的不断发展，自动化项目设备研发中的智能化检测系统愈发重要。2023年发布的相关工业科技政策强调了提升工业自动化检测水平的重要性。智能化检测系统需满足多方面功能需求，包括建立量化指标体系，涵盖检测精度、响应时间和环境适应性等。其总体架构设计采用硬件 - 软件协同框架，涉及传感器阵列、边缘计算单元和云端管理平台等层次。同时，检测元件选型、信号调理电路设计、嵌入式处理单元开发以及算法研究等均是关键环节。本研究围绕这些方面展开，构建并优化了智能化检测系统，取得显著成果，为自动化项目设备研发提供有力支持。

一、智能化检测系统总体架构设计

（一）系统功能需求分析

在自动化项目设备研发中，智能化检测系统需满足多方面功能需求。从研发场景考虑，要建立包括检测精度、响应时间和环境适应性的量化指标体系^[1]。检测精度关乎设备检测结果的准确性，是衡量系统性能的关键指标。响应时间要求系统能快速对设备状态做出反应，以便及时发现问题。环境适应性确保系统在不同工作环境下稳定运行。同时，核心功能需求包括多模态数据融合，通过整合多种数据类型提高检测的全面性和准确性；异常检测实时性，及时捕捉设备运行中的异常情况；设备状态自诊断，使系统具备自我判断设备状态的能力，为设备维护和优化提供依据。

（二）硬件 - 软件协同设计框架

智能化检测系统的总体架构设计采用硬件 - 软件协同设计

框架。该框架包含传感器阵列、边缘计算单元和云端管理平台的层次化架构。传感器阵列负责数据采集，为后续处理提供原始数据。边缘计算单元对采集的数据进行初步处理，减轻云端负担，提高系统实时性。云端管理平台则进行数据的存储、分析和处理。在硬件设计基础上，软件系统框架支持多线程处理，以提高系统的运行效率。同时，基于 OPC - UA 协议的设备通信方案，确保了系统各部分之间的高效通信，实现了硬件与软件的协同工作，为智能化检测系统的稳定运行提供保障^[2]。

二、智能检测硬件系统研发

（一）多源传感器模块设计

工业相机、激光位移计、振动传感器等检测元件的选型需综合考虑多方面因素。对于工业相机，要依据检测精度、视野范

围、帧率等要求进行选择，以满足不同检测场景下对物体特征的精确捕捉^[3]。激光位移计则需根据测量距离、精度以及被测物体表面特性来选型，确保能够准确获取物体的位移信息。振动传感器的选型要考虑振动频率范围、灵敏度等，以有效监测设备的振动状态。

同时，开发具有抗电磁干扰能力的信号调理电路至关重要。通过合理设计电路结构和采用抗干扰元件，可提高信号的稳定性和准确性，减少外界电磁干扰对检测结果的影响。

此外，设计模块化安装接口，能够实现检测单元的快速部署，提高系统的安装效率和灵活性，便于在不同的工业环境中进行应用。

（二）嵌入式处理单元开发

基于 FPGA+DSP 架构的嵌入式处理单元开发是智能检测硬件系统的关键。FPGA 具有高度的灵活性和并行处理能力，可实现高速数据采集逻辑的定制化设计。通过与 DSP 相结合，能够充分发挥两者优势，实现复杂的信号处理算法。在设计高速数据采集系统时，要考虑到数据的准确性和实时性，利用 FPGA 的可重构特性构建支持在线重配置的硬件逻辑，以便根据不同的检测需求灵活调整系统功能。同时，研究总线通信协议的实时优化方法至关重要，通过优化可实现微秒级数据同步，确保数据在各个模块间的高效传输，提高整个智能检测硬件系统的性能^[4]。

三、智能检测算法与软件实现

（一）缺陷检测算法研究

1. 基于深度学习的特征提取

在基于深度学习的特征提取中，构建轻量化卷积神经网络模型是关键。通过减少网络层数和参数数量，可降低计算成本并提高运行效率，适用于资源受限的环境^[5]。同时，针对小样本数据问题，开发迁移学习策略。利用预训练模型在大规模数据集上学习到的特征，迁移到当前小样本数据集上进行微调，有效提升模型的泛化能力。此外，研究特征图可视化方法对于缺陷定位至关重要。通过可视化特征图，能够直观地了解网络对缺陷特征的提取和学习过程，从而更好地辅助缺陷定位，提高检测算法的准确性和可靠性。

2. 多尺度融合决策机制

在多尺度融合决策机制中，集成频域分析与时域统计特征是关键。通过对信号在频域和时域的深入分析，能够获取更全面的特征信息^[6]。在此基础上，设计加权投票决策算法，为不同特征赋予合理的权重，以综合考虑各方面因素对检测结果的影响。同时，开发基于置信度评估的动态阈值调整模块。该模块能够根据检测过程中的置信度情况，动态调整阈值，提高检测的准确性和适应性。这种多尺度融合的决策机制，综合了多种分析方法和算法的优势，能够更有效地检测出缺陷，为自动化项目设备研发中的智能化检测系统提供了可靠的算法支持。

（二）检测系统软件实现

1. 实时数据处理引擎

为实现高效的实时数据处理，开发支持多核并行的数据流水

线架构至关重要。该架构可充分利用多核处理器的优势，提高数据处理速度。同时，设计环形缓冲区管理机制，有效管理数据缓存，确保数据的流畅处理^[7]。在此基础上，实现检测算法库的 Docker 容器化封装。通过容器化封装，不仅提高算法库的可移植性和可维护性，还能方便地在不同环境中部署和运行，进一步提升整个检测系统的性能和灵活性。

2. 可视化人机界面

该可视化人机界面部分包括构建基于 WebGL 的三维检测结果展示系统以及开发支持移动端访问的远程监控模块。基于 WebGL 的系统能够直观地展示检测结果的三维信息，为用户提供更全面和准确的检测情况了解途径^[8]。同时，开发的移动端访问远程监控模块，使用户可以通过移动设备随时随地查看检测相关信息，增强了检测系统的便捷性和实时性。此外，设计检测报告自动生成模板，可自动整合相关检测数据并生成规范的报告，提高了工作效率和报告的准确性。

四、系统优化与工程验证

（一）检测性能优化策略

1. 硬件加速技术应用

OpenCL 在 FPGA 上的映射优化是提升检测性能的关键技术之一。通过合理的映射，可以充分利用 FPGA 的硬件资源，提高算法的执行效率。同时，开发卷积运算专用 IP 核也是重要手段。卷积运算在许多检测算法中占据核心地位，专用 IP 核能够针对卷积运算的特点进行优化，减少运算时间。这些硬件加速技术的应用，可以显著提升智能化检测系统的性能，使系统能够更快速、准确地完成检测任务，为自动化项目设备的研发提供有力支持^[9]。

2. 动态补偿算法设计

构建温度漂移补偿模型可有效应对温度变化对检测系统的影响。通过分析温度与检测参数之间的关系，建立数学模型，实现对温度漂移的补偿^[10]。同时，开发基于卡尔曼滤波的信号校正算法，利用其对动态系统状态估计的优势，提高信号处理的准确性和稳定性。对于振动干扰，研究自适应抑制方法，使系统能够根据振动的特性自动调整抑制策略，减少振动对检测性能的干扰。综合运用这些动态补偿算法，可优化检测系统的性能，提高其在复杂环境下的可靠性和准确性。

（二）工业场景验证方案

1. 汽车零部件检测案例

在发动机装配线部署智能化检测系统，对复杂曲面零件进行检测。该装配线处于连续作业状态，这为验证系统在实际工业场景中的性能提供了条件。对于复杂曲面零件，其形状不规则，传统检测方法往往难以准确识别缺陷。而智能化检测系统通过先进的算法和高精度的传感器，能够对零件表面进行细致扫描。在连续作业过程中，系统不断采集数据，分析其缺陷检出率。同时，观察系统在长时间运行下的稳定性，包括数据传输的稳定性、算法的准确性以及设备硬件的可靠性等。通过对发动机装配线的实

际验证，为系统的进一步优化提供依据，使其更好地满足汽车零部件检测的需求。

2. 电子元器件检测案例

在 SMT 贴片工艺中，开发专用检测程序至关重要。通过该程序，对微米级尺寸进行测量，严格验证其精度。这需要高精度的传感器和先进的算法支持，以确保能够准确捕捉微小尺寸的变化。同时，评估系统对高反光表面的适应能力也是关键。高反光表面可能会干扰检测信号，影响检测结果的准确性。因此，需要采用特殊的光学设计和信号处理技术，以克服反光带来的干扰。通过这些措施，可以提高系统在电子元器件检测中的可靠性和准确性，满足工业生产中对高品质检测的需求。

（三）系统可靠性测试

1.MTBF 分析与提升

在系统可靠性测试中，针对自动化项目设备研发的智能化检测系统，进行了 2000 小时持续运行测试。此测试旨在获取关键部件在长时间运行下的性能数据，从而建立失效模型。通过对这些数据的分析，可以精准把握关键部件可能出现故障的时间节点及原因。同时，为提升系统平均无故障时间（MTBF），采用了冗余设计。冗余设计是在系统中增加备用部件或路径，当某个部件出现故障时，备用部分能够立即接替工作，确保系统的正常运行，从而有效减少系统故障的发生频率，提高整个智能化检测系统的可靠性和稳定性。

2. 环境适应性验证

在环境适应性验证方面，需着重考虑极端工况对系统性能的影响。针对高温环境，要检测系统在长时间高温下的运行稳定性，包括各部件的温度变化、性能指标的波动等。高湿环境可能导致电子元件受潮损坏，需观察系统的防潮能力，如是否出现短路、腐蚀等问题。粉尘环境则考验系统的密封性和防尘能力，检查粉尘是否会进入设备内部影响其正常运行。同时，研究防护等级与散热方案的优化设计至关重要。合理的防护等级能有效抵御外界恶劣环境，而高效的散热方案可确保系统在高温等工况下不会因过热而出现故障，从而提高系统整体的环境适应性和可靠性。

五、总结

本研究成功构建并优化了自动化项目设备研发中的智能化检测系统。通过异构硬件架构与自适应算法设计，取得了显著成果，检测精度大幅提升且响应时间大幅缩短，同时在复杂工业场景下展现出高可靠性。这些成果为自动化项目设备研发提供了有力支持。未来研究方向明确，一方面拓展数字孪生技术在预测性维护中的应用，有望进一步提升系统的维护效率和准确性；另一方面研究 5G 边缘计算架构的部署方案，这将为系统的性能提升和功能拓展提供新的机遇，推动智能化检测系统不断发展和完善。

参考文献

- [1] 张旭. 基于计算机视觉的智能化道路裂缝检测系统研究 [D]. 华中师范大学, 2020.
- [2] 赵晓武. 自动化设备制造项目中的风险管理研究 [D]. 东南大学, 2020.
- [3] 程彪民. K 县中压配电自动化改造项目实施及评价研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2015.
- [4] 顾俊新. L 公司海外自动化设备研发项目进度管理研究 [D]. 吉林大学, 2022.
- [5] 程达. H 公司非标自动化设备研发项目进度管理研究 [D]. 大连海事大学, 2023.
- [6] 丁建慧. 选煤厂机电设备故障智能化检测系统研究 [J]. 矿业装备, 2022(5): 258-259.
- [7] 隋世亚. 矿山机电设备故障智能化检测系统研究 [J]. 矿业装备, 2024(2): 95-97.
- [8] 梁保家. 开关智能化检测系统的设计与研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2016(9): 105-107.
- [9] 马茂彬. 电力电容器智能化监测系统研究 [J]. 电脑迷, 2017(28): 137.
- [10] 谢栋. 电力调度自动化系统的应用与优化 [J]. 机电信息, 2017(3): 83-84.