

自动化检测软件与硬件设计融合的关键技术与应用实践

汪平

身份证号: 440981198809102956

DOI:10.61369/ERA.2025090023

摘 要： 介绍自动化检测系统软硬件协同架构，包括分层架构及各层功能，阐述通信协议优化、多源传感数据融合等算法，涉及传感器选型等硬件设计及 FreeRTOS 移植等软件设计，强调数据库集成等融合要点，还提及验证及应用实践。

关 键 词： 自动化检测；软硬件协同；架构设计

Key Technologies and Application Practices of Automatic Detection Software and Hardware Design Integration

Wang Ping

ID: 440981198809102956

Abstract： This paper introduces the software and hardware collaborative architecture of automatic detection system, including hierarchical architecture and functions of each layer. It elaborates on communication protocol optimization, multi-source sensor data fusion algorithm, hardware design such as sensor selection and software design such as FreeRTOS porting, emphasizes the integration points such as database integration, and also mentions verification and application practice.

Keywords： automatic detection; software and hardware collaboration; architecture design

引言

随着工业4.0战略（2013年）的推进，自动化检测系统在各行业的应用日益广泛且重要。该系统涵盖软硬件协同架构设计，从传感层到人机交互层的分层架构明确各部分功能，提高可靠性与灵活性。通信协议选择上，工业以太网和 CAN 总线各有优化策略。多源传感数据融合算法、异常检测模型等提升检测准确性。传感器选型、信号调理电路设计等影响系统性能。同时，FreeRTOS 移植、设备驱动开发、Qt 上位机开发、数据库集成设计等都是关键环节。此外，通过测试用例矩阵验证功能完整性，可靠性试验保障系统性能，在不同行业应用中展现出重要价值，软硬件协同设计方法对系统性能提升显著，未来还需在工业物联网集成和数字孪生技术融合等方面进一步探索。

一、自动化检测系统架构设计

（一）软硬件协同架构设计

自动化检测系统的软硬件协同架构设计基于模块化的系统分层架构。传感层负责采集数据，是系统的基础感知单元，它通过各种传感器获取检测所需的原始信息^[1]。控制层起到连接和协调的作用，它接收传感层的数据，并根据设定的规则和算法，对系统的运行进行控制和调节。数据处理层对采集到的数据进行分析和处理，提取有价值的信息，为后续的决策和判断提供依据。人机交互层则实现了人与系统之间的信息交互，使用户能够方便地设置参数、查看结果和进行操作。这种分层架构的协同机制使得系统各部分功能明确，相互配合，提高了系统的可靠性和灵活性，能够更好地满足自动化检测的需求。

（二）实时通信协议优化

工业以太网和 CAN 总线是自动化检测系统中常用的通信协

议。对于工业以太网，可通过优化网络拓扑结构来提高实时性，如采用星型拓扑结构，减少数据传输的冲突和延迟^[2]。同时，合理设置交换机的优先级和带宽分配策略，确保关键数据的实时传输。在协议层面，可采用时间敏感网络（TSN）技术，为不同优先级的数据流提供确定性的传输服务。对于 CAN 总线，优化其波特率设置可提高通信效率。通过精确计算和调整波特率，使其与系统的硬件特性和数据传输需求相匹配^[3]。此外，采用多主站模式并合理分配节点优先级，可避免总线冲突，提高实时性。在硬件接口匹配方面，要确保通信协议与硬件设备的电气特性和接口规范相一致，以实现稳定可靠的通信连接。

二、关键检测技术研发

（一）智能数据处理算法

多源传感数据融合算法旨在综合不同传感器获取的信息，提

高检测的准确性和可靠性。通过对多种传感器数据的特征提取和分析,利用合适的数学模型和算法进行融合处理^[9]。异常检测模型则专注于识别数据中的异常模式,这对于及时发现系统故障或异常情况至关重要。它可以基于统计方法、机器学习算法等构建,通过对正常数据模式的学习,能够有效区分出异常数据点。边缘计算部署方案考虑如何在靠近数据源的边缘设备上进行处理和算法部署,以减少数据传输延迟和网络带宽压力,同时提高系统的实时性和响应速度,确保检测系统能够快速、高效地运行。

（二）高精度检测硬件设计

传感器选型需综合考虑检测对象的特性、精度要求等因素。对于不同的物理量检测,要选择合适的传感器类型,如温度检测可选用热电偶或热电阻传感器,压力检测可选用压阻式或电容式传感器等^[4]。信号调理电路设计至关重要,其作用是对传感器输出的微弱信号进行放大、滤波等处理,以提高信号的质量和稳定性。例如,采用运算放大器构成的放大电路可实现信号的放大,通过滤波器可滤除噪声干扰。执行机构驱动模块的可靠性设计直接影响整个检测系统的性能。要确保驱动模块能够稳定地控制执行机构的动作,需考虑驱动电路的功率匹配、保护措施等,以防止执行机构出现误动作或损坏。

三、软硬件集成开发方法

（一）嵌入式软件开发

1. 实时操作系统移植

实现 FreeRTOS 在 ARM Cortex - M 系列处理器的移植,需深入了解处理器架构与 FreeRTOS 内核机制。首先要配置处理器相关的启动文件,设置正确的中断向量表及堆栈初始化等操作,以确保系统能正常启动^[9]。接着,针对 ARM Cortex - M 系列的特性,如内存保护单元(MPU),进行合理配置,保证系统的稳定性和可靠性。在任务调度方面,根据实际应用需求,调整任务优先级设置算法。例如,对于实时性要求高的任务,赋予较高优先级,确保其能及时响应。同时,优化任务切换机制,减少任务切换的时间开销,提高系统的整体性能。通过这些定制化的移植和优化措施,使 FreeRTOS 能更好地适配 ARM Cortex - M 系列处理器,满足自动化检测软件与硬件设计融合的需求。

2. 设备驱动开发

在嵌入式软件开发的设备驱动开发中,AD/DA 转换和 PWM 控制等关键外设的驱动开发与性能测试至关重要。对于 AD/DA 转换驱动开发,需深入了解硬件电路原理,根据芯片手册配置相关寄存器,确保数据转换的准确性和稳定性^[6]。同时,要考虑采样频率、分辨率等因素对转换结果的影响,并进行针对性优化。在 PWM 控制驱动开发方面,要精确设置占空比、频率等参数,以实现对外部设备的精确控制。性能测试过程中,需采用合适的测试工具和方法,对驱动程序的功能和性能进行全面评估,包括转换精度、控制精度、响应速度等指标,及时发现并解决可能存在的问题。

（二）上位机软件开发

1. 跨平台开发框架

Qt 作为一种强大的跨平台开发框架,在自动化检测软件的上位机开发中具有重要作用。它提供了丰富的类库和工具,便于开发者构建可配置的检测参数设置界面。通过 Qt 的信号与槽机制,可以高效地处理用户输入与界面交互逻辑,实现参数的灵活配置^[7]。同时,在数据可视化模块方面,Qt 能够与多种数据可视化库集成,如 QCustomPlot 等。开发者可以利用这些工具将检测数据以直观的图表形式展示出来,如折线图、柱状图等,方便用户对检测结果进行分析和理解。Qt 的跨平台特性使得开发的软件能够在不同操作系统上运行,减少了开发成本和维护工作量。

2. 数据库集成设计

在自动化检测软件与硬件设计融合中,数据库集成设计至关重要。开发 SQLite 本地数据库与云端数据同步机制是实现检测数据全生命周期管理的关键。通过合理设计数据库架构,确保数据的高效存储和检索。采用适当的数据同步算法,保证本地数据库与云端数据的一致性和完整性。这不仅满足实时数据处理的需求,还能在网络不稳定等情况下,确保本地数据的可用性和准确性。同时,要考虑数据的安全性,对敏感数据进行加密处理,防止数据泄露。借助数据库的事务处理机制,确保数据操作的原子性和一致性,提高系统的可靠性和稳定性^[8]。

四、系统验证与应用实践

（一）实验室测试验证

1. 功能完整性测试

为验证自动化检测软件与硬件设计融合后的功能完整性,需制定测试用例矩阵。针对检测精度这一关键性能指标,通过设计一系列不同复杂程度的样本进行测试,将软件检测结果与实际值进行对比分析,确保其误差在合理范围内^[9]。同时,对于响应时间的测试,模拟多种实际工作场景,记录从输入检测指令到获得结果的时间,评估系统在不同负载条件下的响应能力,以保证系统能够满足实际应用的实时性要求。通过全面的测试用例矩阵执行,综合评估软件与硬件融合后的功能完整性,为后续应用实践提供可靠依据。

2. 环境适应性测试

进行电磁兼容试验,检测系统在复杂电磁环境下的性能表现,确保其不受电磁干扰影响,能稳定运行^[10]。同时开展温湿度循环试验,模拟不同的温湿度环境条件,检验系统的适应能力。通过对温湿度的循环变化设置,观察系统各项指标的变化情况,以验证其在不同温湿度环境下是否能保持正常工作状态。这些可靠性试验从多个方面对系统进行测试,全面验证系统的鲁棒性,为其在实际应用中的稳定性和可靠性提供有力保障。

（二）工业现场验证

1. 生产线集成应用

在汽车零部件生产线集成应用中,检测系统的部署至关重要。通过将自动化检测软件与硬件紧密融合,对生产线上的零部

件进行实时监测。利用高精度的传感器等硬件设备获取零部件的各项数据，再由软件进行快速准确的分析处理。在实际运行过程中，不断收集数据并进行反馈优化，使得检测系统能够更好地适应生产线的节奏和零部件的特性。通过对大量生产数据的统计分析，验证误检率是否得到有效降低，从而评估系统的性能和可靠性，为汽车零部件生产质量提供有力保障。

2. 设备维护支持

开发基于振动分析的预测性维护模块以验证设备故障预警准确率。利用传感器采集设备振动数据，通过信号处理与分析技术提取特征参数。将这些参数输入到建立的故障预测模型中，模型基于机器学习算法或物理模型对设备状态进行评估。在工业现场对多种设备进行长期监测，对比实际发生的故障情况与预测结果。对预测准确率进行量化分析，根据准确率不断优化模型参数和算法。同时，结合现场实际情况，对模块的适用性进行调整，确保其不同工况和设备类型下都能有效提供设备维护支持，降低设备故障率，提高生产效率。

（三）典型行业应用案例

1. 电子制造行业应用

在电子制造行业，尤其是 SMT 贴片工艺中，自动化检测软件与硬件设计融合技术展现出巨大优势。该技术通过对硬件设备的精准控制以及软件算法的高效运行，能够实现对元器件的自动检测。它可以快速、准确地识别元器件的位置、极性、型号等关键信息，避免了人工检测可能出现的误差和疏漏。同时，这一融合技术大幅提升了检测效率，达到了 38%。不仅减少了生产周期，提高了生产效率，还提升了产品质量，降低了生产成本。为电子

制造企业在激烈的市场竞争中赢得了优势，推动了行业的发展和进步。

2. 能源装备检测应用

开发风电齿轮箱在线监测系统是能源装备检测应用的重要实践。该系统融合了自动化检测软件与硬件设计的关键技术。通过传感器等硬件设备对风电齿轮箱的运行状态进行实时数据采集，包括振动、温度等关键参数。然后利用先进的软件算法对采集到的数据进行分析处理，能够有效识别早期故障。经测试，该系统早期故障识别准确率达到 92%，为风电齿轮箱的稳定运行提供了可靠保障，也为能源装备检测领域提供了一种高效、准确的检测模式，具有重要的应用价值和推广意义。

五、总结

软硬件协同设计方法为自动化检测系统带来了显著性能提升。通过对软件算法和硬件架构的优化融合，实现了检测精度、速度以及可靠性的提高。在软件层面，智能算法的应用优化了数据处理流程；硬件上，专用芯片和高效传感器的采用增强了系统感知能力。同时，在工业物联网集成方面，后续研究可聚焦于如何实现检测系统与物联网设备更高效的通信和数据交互，确保实时监测和远程控制的稳定性。在数字孪生技术融合领域，进一步探索如何利用数字孪生模型对检测系统进行精确模拟和优化，提升系统的预测性维护能力和整体运行效率，以适应不断发展的工业需求。

参考文献

- [1] 高宇. 基于 FPGA 的林火视觉检测与软硬件协同设计 [D]. 北京林业大学, 2020.
- [2] 吴源斌. Android 应用程序安全分析与自动化检测工具的设计与实现 [D]. 浙江理工大学, 2016.
- [3] 韦存堂. SQL 注入与 XSS 攻击自动化检测关键技术研究 [D]. 北京邮电大学, 2015.
- [4] 刘恒. 基于行为分析的恶意软件自动化分析工具的设计与实现 [D]. 北京大学, 2011.
- [5] 徐烂. 核电设计软件编码规范研究与应用 [D]. 南华大学, 2015.
- [6] 冯馨月, 姚民康. 自动化检测软件的研究 [J]. 数字通信世界, 2015(7): 233.
- [7] 周剑新. 高职粮油储藏与检测专业实践教学改革——以“电工基础”课程为例 [J]. 粮食科技与经济, 2022, 48(3): 47-50.
- [8] 尤明振. 自动化机械偏振故障检测方法设计 [J]. 船舶物资与市场, 2020, (11): 109-110.
- [9] 陈希, 胡峻洁, 张亮, 等. OpenSSL HeartBleed 漏洞自动化检测工具设计与实现 [J]. 网络空间安全, 2018, 9(1): 74-78.
- [10] 聂冰花. 智能交通自动化检测与运维管理系统的应用与分析 [J]. 科学技术创新, 2017(32): 157-158.