

# 面向SLM设备的铺粉缺陷视觉系统与PLC集成架构构建及数据交互逻辑设计

王亚旗

洛阳盈创极光精密制造有限公司 河南 洛阳 471822

**摘要:** 面向SLM设备的铺粉缺陷视觉系统与PLC集成架构的设计是实现金属增材制造过程质量控制的关键技术路径。本文针对视觉检测系统与可编程逻辑控制器在数据交互、时间同步、协议兼容等方面存在的技术难题,构建了多层次数据交互模型,优化了通信协议选择与标准化流程,设计了数据同步与时序控制机制。针对系统集成过程中的关键问题,提出了硬件触发同步机制、冗余通信通道建立、标准化协议转换接口开发、自适应图像处理算法设计等解决策略。通过实施这些技术方案,有效解决了视觉检测精度与PLC控制实时性之间的时间同步难题,保障了多设备间数据传输的可靠性和完整性,提升了不同厂商设备间的协议兼容性,增强了铺粉过程中动态环境对视觉检测稳定性的影响应对能力,为SLM设备的智能化质量控制提供了可靠的技术支撑。

**关键词:** SLM设备; 铺粉缺陷视觉系统; PLC集成架构; 数据交互; 逻辑设计

铺粉过程作为SLM工艺的重要环节,粉床质量的好坏直接决定了后续激光熔化成形的质量水平。传统的人工检测方式已无法满足现代智能制造对检测效率和精度的要求,基于机器视觉的自动化缺陷检测系统成为提升检测水平的重要手段。然而,视觉检测系统与PLC控制系统的集成面临着诸多技术挑战,包括数据交互的实时性要求、通信协议的标准化需求、系统同步的精确性控制等关键问题。这些问题的存在严重制约了SLM设备智能化水平的提升和质量控制能力的增强。构建高效的视觉系统与PLC集成架构,设计合理的数据交互逻辑,对于实现SLM设备的智能化质量控制具有重要的理论意义和工程应用价值。

## 1 数据交互逻辑设计与通信协议优化

### 1.1 多层次数据交互模型构建

面向SLM设备的铺粉缺陷视觉系统与PLC集成架构的数据交互模型采用分层设计理念,将整个数据交互过程划分为设备层、控制层、应用层三个主要层次。设备层主要负责视觉传感器数据的采集和PLC执行机构的状态反馈,该层的数据具有高频率、实时性强的特点,需要保证毫秒级的数据响应能力。控制层承担着数据预处理、协议转换、逻辑判断等核心功能,该层需要具备强大的数据处理能力和灵活的协议适配能力,以满足不同设备间的数据格式转换需求。应用层则负责数据的综合分析、决策制定和用户界面展示,该层的数据处理相对复杂,但对实时性要求相对较低。三个层次之间通过标准化的数据接口进行连接,确保数据能够在不同层级间

高效、准确地传输<sup>[1]</sup>。这种分层架构设计不仅提高了系统的可扩展性和可维护性,还为后续的功能升级和系统优化提供了良好的基础架构支撑。

### 1.2 通信协议选择与标准化

在SLM设备视觉系统与PLC集成架构中,通信协议的选择直接影响着数据传输的效率和可靠性。考虑到工业现场的复杂环境和实时性要求,选用基于以太网的工业通信协议作为主要数据传输手段。PROFINET协议凭借其良好的实时性能和广泛的工业应用基础,成为PLC与上位机通信的首选方案。该协议支持多种通信方式,包括实时通信、等时同步通信和非实时通信,能够满足不同应用场景的需求。对于视觉系统内部的数据传输,采用TCP/IP协议族实现图像数据和控制指令的可靠传输。为了确保不同厂商设备间的互操作性,制定了统一的数据交换格式和通信接口标准,包括数据帧结构定义、错误处理机制、重传策略等关键要素。标准化的通信协议不仅简化了系统集成的复杂度,还为后续的维护和升级提供了便利条件。

### 1.3 数据同步与时序控制

SLM设备中视觉检测系统与PLC控制系统的时间同步是确保整个系统协调运行的关键因素。由于视觉检测需要在特定的时间窗口内完成图像采集和处理,而PLC控制则需要根据检测结果实时调整执行机构的动作,两者之间的时间协调显得尤为重要。采用基于硬件时钟同步的方案,通过GPS时钟或网络时间协议实现系统内各设备的时间基准统一。在具体的时序控制方面,设计了基于事

件触发的同步机制,当PLC发出触发信号时,视觉系统立即启动图像采集流程,确保检测时机的准确性<sup>[2]</sup>。为了进一步提高同步精度,引入了时间戳技术,在数据传输的各个环节都添加精确的时间标记,便于后续的时序分析和误差补偿。这种多层次的时间同步机制有效解决了视觉检测与PLC控制之间的时间协调问题,为系统的稳定运行提供了重要保障。

## 2 系统集成关键问题

### 2.1 视觉检测精度与PLC控制实时性之间的时间同步难题

SLM设备铺粉缺陷视觉检测系统对检测精度有着极高的要求,需要在微米级别的精度下识别各种类型的缺陷,而PLC控制系统则需要在毫秒级的时间内响应各种控制指令。这种精度要求与响应速度之间的矛盾给系统集成带来了巨大挑战。视觉系统的图像采集、处理和分析需要一定的时间,而PLC控制系统需要实时响应铺粉过程中的各种状态变化。当两者需要协调工作时,时间同步问题变得尤为突出。如果视觉检测结果不能及时传递给PLC,可能导致控制决策的延迟,影响铺粉质量。反之,如果PLC的控制信号不能及时到达视觉系统,可能造成检测时机的错失。这种时间同步难题在高速铺粉过程中表现得更加明显,需要通过精密的时序设计和同步机制来解决。

### 2.2 多设备间数据传输的可靠性和完整性保障不足

SLM设备的视觉检测系统涉及多个子系统的协同工作,包括多台工业相机、光源系统、编码器、PLC控制器等设备。这些设备之间的数据传输面临着电磁干扰、网络拥塞、硬件故障等多种风险因素。传统的数据传输方式往往缺乏有效的容错机制,一旦出现传输错误或中断,可能导致整个检测过程的失败。特别是在工业现场复杂的电磁环境中,数据传输的可靠性问题更加突出。图像数据的完整性对于缺陷识别的准确性至关重要,任何数据丢失或损坏都可能导致误检或漏检。现有的系统往往缺乏完善的数据校验和恢复机制,无法有效保障数据传输的完整性和可靠性,这成为制约系统性能提升的重要因素。

### 2.3 不同厂商设备协议兼容性差导致系统集成困难

现代SLM设备通常采用来自不同厂商的硬件设备,这些设备往往使用各自专有的通信协议和数据格式。视觉系统可能来自某个厂商,PLC控制器来自另一个厂商,其他辅助设备又来自不同的供应商。这种多厂商设备的集成面临着严重的协议兼容性问题。每个厂商的设备都有其特定的接口规范和数据格式,缺乏统一的标准,导

致设备之间的互联互通变得异常困难。即使采用了一些通用的工业通信协议,不同厂商在具体实现上仍存在差异,需要进行大量的协议适配工作。这种协议不兼容问题不仅增加了系统集成的复杂度,也提高了维护成本,成为制约系统集成效率的重要障碍。

### 2.4 铺粉过程中动态环境对视觉检测稳定性的影响

SLM设备的铺粉过程是一个高度动态的环境,铺粉头的高速运动、粉末的飞溅、光照条件的变化等因素都会对视觉检测的稳定性产生不利影响。铺粉头在运动过程中产生的振动和气流扰动可能导致相机成像模糊,影响缺陷识别的准确性。粉末在铺粉过程中的飞溅和扩散形成了复杂的动态背景,增加了图像处理的难度。光照条件在铺粉过程中的变化也会影响图像质量,特别是在不同材料和不同厚度的铺粉情况下,光照反射特性差异很大<sup>[3]</sup>。这些动态环境因素的综合作用使得视觉检测系统面临着巨大的挑战,传统的静态图像处理算法往往难以适应这种复杂多变的环境条件,需要开发更加智能和自适应的检测算法来应对这些挑战。

## 3 系统集成关键问题解决策略

### 3.1 采用硬件触发同步机制和时间戳对齐技术实现精确同步

为了解决视觉检测精度与PLC控制实时性之间的时间同步难题,采用了基于硬件触发的同步机制。该机制通过专用的硬件信号线连接视觉系统和PLC控制器,当PLC发出触发指令时,硬件电路立即产生同步脉冲信号,同时触发视觉系统的图像采集和PLC的控制执行。这种硬件级的同步方式避免了软件层面的时间延迟和不确定性,能够实现微秒级的时间同步精度。在时间戳对齐技术方面,为系统中的每个关键操作都添加了高精度的时间标记,包括图像采集开始时间、处理完成时间、控制指令发出时间等。通过对比分析这些时间戳信息,可以精确计算出各个环节的时间延迟,为系统的时间优化提供数据支撑。时间戳对齐技术还支持历史数据的追溯分析,便于发现和解决潜在的同步问题。这种软硬件结合的同步策略有效解决了系统集成中的时间协调难题,为SLM设备的高质量运行提供了重要保障。

### 3.2 建立冗余通信通道和数据校验机制确保传输可靠性

针对多设备间数据传输的可靠性和完整性保障不足问题,建立了多层次的冗余通信架构。在物理层面上,采用双网卡配置和冗余网络链路设计,当主通信链路出现故障时,系统能够自动切换到备用链路,确保数据传输的连续性。在网络协议层面,实现了TCP/IP协议的冗

余传输机制,通过多路径数据传输和确认重传机制,提高数据传输的成功率<sup>[4]</sup>。在应用层面上,设计了数据分片传输和重组机制,将大数据包分割成多个小数据包进行传输,降低单次传输失败的风险。数据校验机制采用了循环冗余校验和哈希校验相结合的方式,发送端对数据进行双重校验计算,接收端通过校验结果判断数据的完整性和正确性。当检测到数据错误时,系统会自动请求重新传输,确保最终接收到的数据准确无误。这种多层次的冗余设计和校验机制显著提高了数据传输的可靠性,为系统的稳定运行奠定了坚实基础。

### 3.3 开发标准化协议转换接口和统一数据交换平台

为了解决不同厂商设备协议兼容性差导致的系统集成困难问题,开发了标准化的协议转换接口和统一数据交换平台。协议转换接口采用插件化设计,支持多种主流工业通信协议的接入,包括PROFINET、EtherCAT、ModbusTCP等。每个协议转换插件都实现了协议解析、数据格式转换、错误处理等核心功能,确保不同协议间的数据能够准确转换。统一数据交换平台基于中间件技术构建,提供了标准化的数据接口和服务调用机制。该平台支持数据的实时转发、历史存储、状态监控等功能,为上层应用提供了统一的数据访问接口。平台还集成了设备管理、配置管理、日志管理等辅助功能,简化了系统的配置和维护工作。通过标准化的协议转换接口和统一数据交换平台,有效解决了多厂商设备间的互操作性问题,提高了系统集成的效率和灵活性。

### 3.4 设计自适应图像处理算法和动态参数调节机制

针对铺粉过程中动态环境对视觉检测稳定性的影响,设计了具有自适应能力的图像处理算法和动态参数调节机制。自适应图像处理算法基于机器学习技术,能够根据环境条件的变化自动调整图像处理参数。算法首先通过历史数据分析建立环境特征与图像质量之间的映射关系,然后实时监测当前环境状态,动态调整图像增强、噪声抑制、边缘检测等处理参数。动态参数调节机

制采用了反馈控制原理,通过监测检测结果的稳定性和准确性,自动调整算法的关键参数。当检测到图像质量下降时,系统会自动增加图像预处理的强度,提高噪声抑制能力。当环境条件改善时,系统会相应降低处理强度,提高处理速度<sup>[5]</sup>。这种自适应机制还支持人工干预和参数微调,操作人员可以根据实际需要对接算法参数进行优化调整。通过自适应图像处理算法和动态参数调节机制的有效结合,显著提高了视觉检测系统在复杂动态环境下的稳定性和可靠性。

### 结论

面向SLM设备的铺粉缺陷视觉系统与PLC集成架构构建及数据交互逻辑设计研究,通过构建多层次数据交互模型、优化通信协议选择、设计精确的时序控制机制,有效解决了系统集成过程中的关键技术难题。这些技术方案的实施为SLM设备的智能化质量控制提供了可靠的技术支撑,对提升金属增材制造行业的整体技术水平具有重要意义。未来的研究将重点关注人工智能技术在视觉检测中的深度应用,以及系统在更复杂工业环境下的适应性优化。

### 参考文献

- [1]刘艳玲.基于PLC控制的造纸生产线自动化集成系统设计[J].华东纸业,2025,55(5):60-62.
- [2]冯毅雄,杨晨,胡炳涛,等.基于5G多接入边缘计算的云化PLC系统架构设计与应用[J].计算机辅助设计与图形学学报,2024,36(1):33-46.
- [3]武钰.基于PLC的自动化包装生产线集成控制系统设计研究[J].现代工程科技,2023,2(18):57-59.
- [4]李翔.PLC技术模式下的自动化控制系统集成设计与实现[J].科海故事博览,2024(7):4-6.
- [5]伍缘杰,徐晓静,计效园,等.基于图像处理的SLM铺粉缺陷检测识别与分类研究[J].特种铸造及有色合金,2023,43(1):23-28.