

# 工业级嵌入式计算硬件架构设计与全周期管理策略

刘来友

深圳市杰星通科技有限公司

DOI:10.32629/acair.v4i1.19356

**[摘要]** 在工业自动化、智能制造等关键领域蓬勃发展的当下,工业级嵌入式计算作为核心控制单元,其性能与可靠性直接影响工业系统的运行质量。硬件架构设计作为系统性能的基石,需综合权衡计算性能、功耗、实时性等多方面要素。而全周期管理策略则贯穿产品从设计到维护的全过程,对保障产品长期稳定运行意义重大。本文聚焦工业级嵌入式计算,深入探究硬件架构设计要点与全周期管理策略,旨在为相关硬件研发与应用提供理论支撑与实践指导。

**[关键词]** 工业级嵌入式计算; 硬件架构设计; 全周期管理; 可靠性; 系统优化

**中图分类号:** C931.6 **文献标识码:** A

## Industrial grade embedded computing hardware architecture design and full cycle management strategy

Laiyou Liu

Shenzhen Jiexingtong Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** In the current booming development of key fields such as industrial automation and intelligent manufacturing, industrial grade embedded computing, as the core control unit, directly affects the performance and reliability of industrial systems. As the cornerstone of system performance, hardware architecture design needs to comprehensively weigh multiple factors such as computing performance, power consumption, and real-time performance. The full cycle management strategy runs through the entire process of product design and maintenance, and is of great significance in ensuring the long-term stable operation of the product. This article focuses on industrial grade embedded computing, delving into the key points of hardware architecture design and full cycle management strategies, with the aim of providing theoretical support and practical guidance for related hardware research and application.

**[Key words]** industrial grade embedded computing; Hardware architecture design; Full cycle management; Reliability; system optimization

### 1 引言

在当今科技飞速发展的时代,工业领域正经历着深刻的变革,工业自动化、智能制造等新兴模式不断涌现,对工业级嵌入式计算的需求与日俱增。工业级嵌入式计算作为工业系统的核心控制单元,承担着数据采集、处理、控制等关键任务,其性能优劣直接关系到工业生产的效率、质量和安全性。硬件架构设计作为工业级嵌入式计算的基础,决定了系统的计算能力、功耗水平、实时响应等关键特性,是保障系统高性能运行的关键环节<sup>[1]</sup>。而全周期管理策略则涵盖了产品从设计、生产到维护的整个生命周期,对于确保产品在不同阶段都能满足工业应用的严苛要求,实现长期稳定可靠运行具有至关重要的作用。因此,深入研究工业级嵌入式计算硬件架构设计与全周期管理策略具有重要的理论和现实意义。

### 2 工业级嵌入式计算硬件架构设计基础

工业级嵌入式计算凭借其高可靠性、强实时性、低功耗以及对恶劣环境的适应性,在工业领域占据关键地位,而硬件架构设计是其性能实现的核心基础。工业级嵌入式计算广泛应用于轨道交通、能源电力、智能制造等多元场景,不同场景对硬件架构提出差异化需求,如轨道交通要求高安全性和抗干扰能力,智能制造侧重高速数据处理与灵活扩展性。硬件架构设计需综合权衡计算性能、功耗控制、实时性、安全性与可靠性等关键要素,这些要素相互关联又彼此制约。比如提升计算性能可能增加功耗,强化安全性或许会影响实时性。因此设计时需依据具体应用场景,在各要素间寻求平衡,以构建出满足工业级严苛要求的硬件架构,为后续详细设计提供坚实理论支撑。

### 3 工业级嵌入式计算硬件架构设计要点

工业级嵌入式计算硬件架构设计是一个复杂且系统的工程,需综合考虑多方面因素,以实现系统性能、可靠性、功耗等指标的优化<sup>[2]</sup>。以下将从处理器平台选型、总线架构规划、存储体系设计以及高速信号完整性分析等关键点展开详细阐述。

### 3.1 处理器平台选型

处理器平台作为工业级嵌入式计算硬件的核心,其选型直接决定了系统的计算能力、功耗水平以及开发成本等关键特性。常见的工业级处理器平台包括 ARM、PowerPC和X86等。ARM处理器以其低功耗、高集成度和丰富的生态系统在嵌入式领域广泛应用,尤其适用于对功耗敏感且计算需求相对适中的场景,如便携式工业检测设备。PowerPC处理器具备强大的实时处理能力和高可靠性,常用于对实时性要求极高的工业控制系统,如航空航天领域的飞行控制。X86处理器则以其强大的通用计算能力和广泛的软件支持,在需要运行复杂操作系统和大型应用程序的工业场景中占据优势,如工业服务器。在选型过程中,需综合考虑计算能力、功耗、成本、开发工具支持等因素。计算能力要满足系统实时数据处理和控制的需求;功耗需符合工业设备对能源效率的要求,以降低运行成本和散热压力;成本包括处理器芯片本身的价格以及开发工具、技术支持等附加成本;开发工具的支持程度会影响开发效率和项目的顺利进行。通过建立综合评估模型,对不同处理器平台进行量化分析,从而选出最适合特定工业应用的处理器平台。

### 3.2 总线架构规划

总线架构是工业级嵌入式计算硬件系统中各组件之间进行数据传输的通道,其规划的合理性直接影响系统的数据传输效率和可靠性。常见的总线类型包括PCIe、USB、CAN等。PCIe总线具有高速、高带宽的特点,适用于连接高速外设,如显卡、固态硬盘等,在需要大量数据快速传输的工业图像处理、数据采集等场景中发挥重要作用。USB总线具有通用性强、易于扩展的优点,常用于连接各种低速外设,如键盘、鼠标、传感器等,方便系统的功能扩展和设备更换。CAN总线则以其高可靠性和实时性,在工业自动化控制网络中广泛应用,能够实现多个节点之间的实时通信。

在总线架构规划时,需根据系统的数据传输需求和实时性要求进行合理选择。要考虑总线带宽的分配,避免出现总线拥塞导致数据传输延迟。总线拓扑结构的选择也至关重要,常见的拓扑结构有星型、总线型和环形等,不同的拓扑结构具有不同的特点和适用场景,需根据系统的规模和布局进行优化设计,以确保系统数据传输的高效性和可靠性。

### 3.3 存储体系设计

存储体系是工业级嵌入式计算硬件系统中用于存储数据和程序的关键部分,其设计需满足系统对存储容量、读写速度和数据可靠性的要求。常见的存储设备包括Flash、DDR和硬盘等。Flash存储具有非易失性、读写速度快、抗震性强等优点,常用于存储系统程序和重要数据,如操作系统的内核、配置文件等。DDR存储作为高速缓存,能够提供快速的随机读写能力,满足处

理器对数据的高速访问需求,提高系统的整体性能。硬盘则具有大容量的特点,适用于存储大量的历史数据和日志文件。在存储体系设计时,需根据系统的应用需求合理选择存储设备。要考虑存储容量的规划,预留一定的扩展空间以应对未来数据量的增长。数据存储策略的设计也至关重要,如采用数据备份、冗余存储等方式提高数据的可靠性,防止数据丢失。还需考虑存储设备的功耗和成本,在满足系统性能要求的前提下,实现功耗和成本的最优化。

### 3.4 高速信号完整性分析

随着工业级嵌入式计算硬件系统性能不断提升,高速信号的应用越来越广泛。高速信号在传输过程中容易受到各种因素的影响,导致信号完整性问题,如反射、串扰、衰减等,这些问题会影响系统的性能和可靠性。因此高速信号完整性分析成为硬件架构设计中不可或缺的环节。在高速信号完整性分析中,需采用专业的仿真软件和测试仪器,对信号的传输特性进行模拟和分析。通过建立准确的信号传输模型,预测信号在传输过程中可能出现的问题,并采取相应的设计措施进行改进,如合理的布线规则、终端匹配设计、信号屏蔽等,以保障高速信号的完整性,确保系统能够稳定可靠地运行。

## 4 工业级嵌入式计算硬件全周期管理策略

工业级嵌入式计算硬件在工业生产与运行中扮演着核心角色,其全周期管理涵盖设计、生产及维护等多个阶段。有效的全周期管理策略能够确保硬件在不同阶段均满足工业应用的严苛要求,保障系统的稳定可靠运行。

### 4.1 设计阶段的管理

设计阶段是工业级嵌入式计算硬件全周期管理的基石,直接决定了硬件的性能、可靠性与成本。在此阶段,需进行全面的需求分析,深入了解工业应用场景的具体要求,如实时性、抗干扰能力、环境适应性等,以此为依据制定详细的设计规范。设计过程中,要严格遵循模块化设计原则,将硬件系统划分为多个功能模块,如处理器模块、存储模块、通信模块等。这不仅便于设计、调试与维护,还能提高硬件的可扩展性与复用性<sup>[3]</sup>。注重硬件的可靠性设计,采用冗余设计、容错设计等技术手段,增强硬件在复杂工业环境下的抗干扰能力与容错能力。设计阶段还需进行充分的仿真与验证。利用专业的仿真工具对硬件电路进行信号完整性、电源完整性等方面的仿真分析,提前发现并解决潜在问题,减少后期设计变更的成本与风险。通过严格的评审流程,确保设计方案满足各项设计指标与工业应用需求。

### 4.2 生产阶段的管理

生产阶段的管理重点在于确保硬件产品的质量与一致性。首先,要建立严格的生产工艺规范,对原材料采购、元器件检验、电路板焊接、整机组装等各个环节进行详细规定。选用质量可靠、符合工业级标准的原材料与元器件,从源头上保证产品质量。在生产过程中,引入先进的生产设备与自动化生产线,提高生产效率与产品精度。同时,加强生产过程的质量控制,采用在线检测、抽检等方式,对关键工序与关键参数进行实时监控,及

时发现并纠正生产过程中的偏差。建立完善的质量追溯体系也是生产阶段管理的重要环节。通过为每个产品赋予唯一的标识码,记录产品的生产批次、原材料信息、生产工艺参数等详细信息,以便在出现质量问题时能够快速追溯到问题源头,采取有效的改进措施。定期对生产设备进行维护与校准,确保生产设备的稳定运行,保证产品质量的稳定性。

#### 4.3 维护阶段的管理

维护阶段的管理旨在保障工业级嵌入式计算硬件在长期运行过程中的可靠性与可用性。建立完善的维护计划,根据硬件的使用情况与工业环境特点,制定定期巡检、预防性维护等计划。定期对硬件进行清洁、检查与测试,及时发现并处理潜在的故障隐患。建立快速响应的故障维修机制。当硬件出现故障时,能够迅速定位故障原因,采取有效的维修措施,尽快恢复硬件的正常运行。为了提高故障维修效率,可建立故障知识库,记录常见故障现象、原因与解决方法,为维修人员提供参考。注重硬件的升级与优化。随着工业技术的不断发展与工业应用需求的变化,及时对硬件进行升级,提升其性能与功能。例如更新处理器芯片、扩展存储容量、优化通信接口等,以满足新的工业应用需求。通过对硬件的全周期管理,确保工业级嵌入式计算硬件在整个生命周期内都能为工业生产提供稳定可靠的支持。

### 5 案例分析

#### 5.1 案例背景介绍

在某大型钢铁企业的轧钢生产线中,需一套工业级嵌入式计算硬件系统来实现对轧机运行状态的实时监测与精准控制。该生产线环境恶劣,存在高温、强电磁干扰、振动等不利因素,且对系统的实时性、可靠性和稳定性要求极高。若系统出现故障,可能导致轧机停机,造成巨大的经济损失。设计一套满足该生产线需求的工业级嵌入式计算硬件系统,并实施有效的全周期管理策略,具有重要的现实意义。

#### 5.2 硬件架构设计实践

在硬件架构设计方面,处理器平台选用具有强大实时处理能力和高可靠性的PowerPC处理器,以满足轧机控制对实时性的严苛要求。总线架构采用PCIe总线连接高速外设,如高速数据采集卡,确保数据能够快速传输;同时使用CAN总线构建工业控制网络,实现多个节点之间的实时通信。存储体系设计上,采用Flash存储系统程序和重要数据,DDR存储作为高速缓存提高数据访问速度,并配备大容量硬盘存储历史数据。为保障高速信号完整性,在布线时遵循严格的规则,采用终端匹配设计和信号屏

蔽技术,减少信号反射和串扰。

#### 5.3 全周期管理策略应用

在设计阶段,进行全面的需求分析和仿真验证,确保设计方案满足轧钢生产线的各项要求。生产阶段,建立严格的生产工艺规范和质量追溯体系,选用优质的原材料和元器件,对生产过程进行实时监控,保证产品质量。维护阶段,制定详细的维护计划,定期对硬件进行巡检和预防性维护,建立快速响应的故障维修机制和故障知识库。根据生产需求的变化,及时对硬件进行升级优化,如更新处理器固件、扩展存储容量等。

#### 5.4 案例总结与启示

本案例表明,针对特定的工业应用场景,通过合理的硬件架构设计和有效的全周期管理策略,能够成功构建出满足需求的工业级嵌入式计算硬件系统。在硬件架构设计时,要充分考虑应用场景的特点和需求,选择合适的处理器平台、总线架构和存储体系。在全周期管理方面,要涵盖设计、生产和维护各个阶段,确保系统在整个生命周期内都能稳定可靠地运行。这为其他工业领域类似项目的硬件设计和全周期管理提供了宝贵的参考和借鉴。

### 6 结论与展望

本文围绕工业级嵌入式计算硬件展开,深入剖析了硬件架构设计基础与要点,涵盖处理器选型、总线架构规划等多方面,同时提出全周期管理策略,涵盖设计、生产及维护阶段,并通过案例分析验证其有效性与可行性。实践表明,科学合理的架构设计与全周期管理可显著提升硬件性能与可靠性。展望未来,随着工业4.0与智能制造发展,工业级嵌入式计算硬件将面临更高性能、更低功耗等挑战。后续研究可聚焦于新型处理器架构、智能维护技术等,进一步优化硬件设计与管理策略,以更好地适应工业领域不断变化的需求。

#### [参考文献]

[1]王宜怀,刘洋,黄河,等.实时操作系统应用技术[M].机械工业出版社,2024.03.234.

[2]华亮.基于 $\mu C/OS-II$ 的嵌入式系统平台设计及其在智能流量计上的应用[D].浙江大学,2004.

[3]李健锐.面向嵌入式摄像头的轻量级高效目标检测算法研究和应用[D].华中科技大学,2022.

#### 作者简介:

刘来友(1975--),男,汉族,江西吉安人,大专,工业级嵌入式计算与定制化硬件方案领域。