

Ferri 嵌入式存储解决方案

赋能人形机器人发展

Ferri 嵌入式存储

工业 5.0 架构下的人形机器人技术

在超越传统自动化需求的环境中，人形机器人能够带来显著价值。凭借自主性与环境适应能力，在确保安全的前提下，有望实现与人类进行自然的身体互动。工业 4.0 向工业 5.0 的演进带来了新的挑战，要求机器人能够在非结构化、动态的工作环境中，作为协作主体参与作业，而工厂也为迎接人形机器人做好准备。



工业 4.0 注重固定功能系统和云基础架构，而工业 5.0 则更加聚焦于边缘计算、实时响应和能效优化。对人形机器人而言，这意味着需要在严苛的热设计与功耗限制下，执行复杂的 AI 推理，集成多模态传感器输入，并实现安全的人机交互。

这些需求不仅集中于计算能力本身，也对嵌入式存储提出了更高要求，既要支持低延迟访问、智能故障记录和功耗感知运行，又需尽可能减少对关键电路板空间的占用。

机器人架构中同步子系统的必要性

人形机器人作为多个高性能功能领域的整合平台，需确保各子系统持续同步运行。其感知系统凭借高分辨率摄像头阵列、激光雷达和惯性传感器，构建准确且敏锐的环境认知。语音识别和自然语言处理模块支持语音驱动的交互和语境感知，而运动控制系统可协调双足步行、操纵和精细运动。核心 AI 推理引擎在边缘执行行为生成、路径规划和决策制定，且常在严格的实时约束下运作。



支持这些功能的是板载数据记录和诊断系统，用于记录系统事件、异常情况和运行指标。所有子系统必须以亚毫秒级的精度进行通信和执行。视觉数据必须无延迟进入推理流程，执行器命令必须实时响应传感器输入，系统健康分析则需与任务运行同步处理。满足上述需求，嵌入式存储解决方案必须兼顾低且稳定的延迟、功耗效率和智能的子系统协调能力。慧荣科技的 Ferri 嵌入式存储系列，专为小型且高可靠性应用设计，完美契合这些严苛条件。

存储作为系统级的关键驱动力

人形机器人中的嵌入式存储，不仅限于启动流程或静态应用数据的处理，更在关键系统功能的执行中发挥着积极作用。实时图像与传感器数据流必须持续捕获，并以极低延迟完成处理，确保系统的无缝运行。AI 推理引擎依赖快速加载模型及本地数据集的访问。子系统活动需持续进行日志记录，以支持运行时协调与部署后分析。固件和模型更新通过无线方式传输，常在设备运行过程中进行，对读写性能提出了无缝衔接的要求。此外，诊断数据必须实时记录与访问，以响应特定触发事件，助力预测性维护及系统级故障恢复。

满足这些运行需求，所依赖的不只是基本吞吐量。嵌入式存储还需在紧凑型机器人设计所限定的物理和热约束条件下，提供稳定一致的性能、高效的能耗控制，并具备与其他实时组件同步的能力。

慧荣科技的 Ferri 嵌入式存储

慧荣科技的 Ferri 产品系列提供全面整合的嵌入式存储解决方案，将慧荣科技的主控芯片、NAND 闪存和固件集成于单一小型 BGA 封装中。该产品线包括 FerriSSD®、Ferri-UFS® 和 Ferri-eMMC®，分别针对特定性能和整合需求精心设计。



FerriSSD：PCIe® Gen4 性能为 AI 和日志记录应用提供强大支持

FerriSSD 支持 PCIe® Gen4，专为处理计算密集型任务和持续高负载数据记录的子系统而设计。可在需要本地部署大型 AI 模型（如 LLM 和基于 Transformer 的架构）以支持自主运行的场景中，表现尤为出色。该设备还满足了事件驱动数据捕获的合规性和系统级诊断的需求，确保每一次推理结果、控制决策和异常情况均可被持续记录，且性能无损。在路径规划、安全控制或任务优先级调度等集中决策类应用中，FerriSSD 可提供维持系统确定性行为所需的持续带宽和低延迟响应能力。其固件针对长期稳定运行进行了深度优化，配备板载温度感应与智能工作负载调节机制，即便在长时间、高负载的计算任务下，亦可保障热管理的一致性与系统稳定性。

Ferri-UFS：专为高吞吐量传感器和 AI 子系统设计

Ferri-UFS 支持需要持续和低延迟数据传输的工作负载。支持 UFS 3.1，提供：

- 读取速度高达 1600 MB/s
- 写入速度高达 800 MB/s
- 支持命令队列和并行访问

这些功能使其非常适用于基于 AI 感知堆栈，包括实时目标识别、多摄像头输入，以及同步定位和地图构建 (SLAM)。其低访问延迟和高并发性，使推理引擎可实现对环境的即时响应。

Ferri-eMMC：为控制与接口模块提供高能效支持

Ferri-eMMC 符合 eMMC 5.1 规范，非常适合不需要最大数据吞吐量，但需要一致响应时间和长期耐用性的子系统。它是运动控制处理器，尤其是在精确定时和低延迟命令执行至关重要的场景中。同样，语音命令接口也可以利用 Ferri-eMMC，支持始终在线的唤醒词检测和语音输入，确保可靠的处理性能。在人机接口模块中（如触摸屏和反馈式显示器等），Ferri-eMMC 可实现响应式互动，同时避免额外的成本和复杂性。尽管 Ferri-eMMC 采用紧凑节能的设计，它仍配备与 Ferri 高端产品相同的智能固件，支持跨机器人架构子系统的统一诊断、系统健康监控和可预测整合。

可预测操作的嵌入式智能

Ferri 产品不仅仅提供闪存存储，还包括固件级智能设计，旨在支持系统稳定性、故障恢复和预测性诊断。其中两项关键功能为 IntelligentLog™ 和 IntelligentThermal™。

IntelligentLog™：高频率数据记录和预测性诊断



嵌入式机器人中，传统的基于软件的日志记录系统可能引入延迟，并且在故障发生时容易导致数据丢失。IntelligentLog™ 通过以下功能消除了这些限制：

- 结构化的高频率数据记录分区
- 跨所有子系统事件的时间戳索引
- 主机通知的实时耐用性监控功能
- 系统降级期间关键日志自动重定位

这使工程师能够维护全面的操作记录，支持 OTA 模型优化，并以最小的主机负载进行快速故障隔离。

IntelligentThermal™：双模式热调节



人形机器人中的热预算在 AI 计算、执行器和传感器模块之间共享。无法动态响应热量的存储可能导致系统级不稳定。IntelligentThermal™ 提供两种独立的调控模式：

- 主机控制热管理 (HCTM) 可让系统处理器根据实时热数据调整工作负载
- 硬盘控制热管理 (DCTM) 可让 Ferri 存储设备在主机无法干预时，自主节流或重新分配工作负载

此双模式调节确保存储性能的一致性，即使在长时间的 AI 处理或气流有限的机箱中进行高频运动时，性能依然稳定。

子系统映射与整合策略

凭借其定义的功能集，这些不同类型的存储能够为机器人的各项功能提供特定优势，如电机控制、语音识别、机器视觉、活动检测和处理大型语言模型。各类存储设备可映射到人形机器人的不同子系统，如下表所示。

子系统	Ferri 产品	提供的功能
视觉和感知堆栈	Ferri-UFS	支持实时视频缓冲和 AI 推理管道
运动控制单元	Ferri-eMMC	稳定的电机控制与时效性反馈处理
AI 决策处理器	FerriSSD 或 Ferri-UFS	托管大型语言模型 (LLM) 和情境感知处理模型
语音/自然语言处理接口	Ferri-eMMC	语音识别和自然语言命令执行
系统数据记录和分析	搭载 IntelligentLog™ 的 FerriSSD	持续故障诊断和自主事件捕获

这种模块化映射使设计工程师能够根据各个子系统的需求定制存储选择，同时维持通用的固件基础和热管理策略。

专为工业机器人和 AIoT 部署设计

Ferri 产品专为在要求苛刻的边缘环境中部署而设计，这些环境对长期可靠性有着极高要求。每个设备的工作温度范围从 -40°C 到 105°C，确保在工业和室外条件下均能稳定运行。内置断电保护和高写耐力使 Ferri 解决方案能够应对自主系统在连续记录和模型更新方面的需求。先进的纠错功能（包括基于 LDPC 的 ECC），即使在高写入负载下，也能保持数据完整性。其小型的 BGA 封装简化了机械整合，并支持在广泛的嵌入式平台上快速认证。Ferri 存储已在工业自动化、汽车边缘计算和 AIoT 系统中广泛应用，这些领域需要在持续运行下保持一致的现场性能。

结论

控制人形机器人需要在多个子系统之间进行复杂的实时协调，这些子系统受到大小、功耗和热性能的严格限制。为了实现这些目标，需要在多样化、非结构化且不断变化的环境中，实现同步、实时 AI 执行和安全性能。对系统存储的需求超出了简单的容量要求。存储设备必须作为系统感知组件，支持可靠性、生命周期管理，并在广泛的工作温度范围内保持稳定性。

慧荣科技的 Ferri 嵌入式存储解决方案为机器人工程师提供了一个紧凑、智能和高性能平台。无论部署在视觉系统、AI 核心、控制回路还是数据记录器中，Ferri 都能以最小的整合费用实现一致和高效的操作。

为加速人形机器人开发并简化嵌入式存储选择的设计团队，Ferri 提供了一条经过验证的部署路径。

详情请访问 www.siliconmotion.com

要了解更多有关 Ferri 系列的信息，请访问
www.siliconmotion.com 或发送电子邮件至 ferri@siliconmotion.com