

# Ferri 嵌入式儲存解決方案 強化人形機器人智慧運作效能

## Ferri 嵌入式儲存

### 工業 5.0 架構下的人形機器人技術

人形機器人在對自動化有更高需求的環境中，可帶來顯著助益。這些機器人具備自主性與適應性，在確保安全的前提下，還能以自然的方式與人類進行實體互動。隨著工業從 4.0 邁向 5.0，所面臨的新挑戰要求機器人能在非結構化且動態的工作空間中，作為協作夥伴運作，而工廠亦已為迎接人形機器人做好準備。



相較於工業 4.0 著重於固定功能系統與雲端基礎架構，工業 5.0 則將焦點轉向邊緣處理、即時回應能力與能源效率。對人形機器人而言，這意味著需要在嚴苛的散熱與功耗限制下，執行複雜的 AI 推理、整合多模態感測器輸入，並確保安全互動的實現。

這些需求不僅侷限於運算層面，還對嵌入式儲存提出了更高要求，必須支援低延遲存取、智慧故障記錄與功耗感知操作，同時盡可能佔用最小的關鍵電路板空間。

### 機器人架構需要同步化的子系統

人形機器人作為一個整合多個高效能領域的運算平台，需確保各系統持續協同運作。其感知系統藉由高解析度攝影機陣列、光學雷達與慣性感測器，建構對環境精確且即時的<sup>1</sup>理解。語音辨識與自然語言處理模組使機器人能進行語音驅動的互動與情境感知；而運動控制系統則負責協調雙足行走、物體操控及精細運動的執行。核心 AI 推理引擎則在邊緣端執行行為生成、路徑規劃與決策制定，並常在嚴苛的時序限制下運作。



支援上述功能的是機載資料記錄與診斷系統，能夠記錄系統事件、異常狀況及運作指標。所有這些子系統必須以次毫秒級的精度進行通訊和執行。視覺資料必須毫無延遲地進入推理管道，致動器指令需即時反映感測器輸入，且系統健康分析需與任務作業同步處理。要滿足這些嚴苛需求，必須具備延遲穩定、高效能並能智慧協調子系統的嵌入式儲存解決方案。慧榮科技的 Ferri 嵌入式儲存產品系列，專為滿足這類精巧且高可靠性的應用需求而設計。

### 儲存作為系統層級的關鍵推動力

人形機器人中的嵌入式儲存，不僅侷限於開機程序或靜態應用資料的處理，它在關鍵系統功能的執行中扮演了積極角色。即時影像與感測器資料流必須持續擷取並以極低延遲進行處理，以確保系統運作順暢。AI 推理引擎依賴於快速的模型載入和對本地資料集的即時存取。各子系統的活動需持續記錄，不僅用於執行階段的協調，亦支援部署後的分析工作。韌體與模型更新通常在系統運行期間透過線上更新進行，因此需要具備無縫的讀寫效能。同時，診斷資料必須依照特定觸發條件進行記錄與存取，以支援預測性維護與系統層級的故障復原。

要滿足這些運作要求，所需的不僅是基本的資料傳輸量。嵌入式儲存必須在精巧的機器人設計中，克服物理空間與散熱限制，提供穩定且高效的運作表現，並能與其他即時元件同步協調。

## 慧榮科技的 Ferri 嵌入式儲存

慧榮科技的 Ferri 系列產品提供完全整合的嵌入式儲存解決方案，將慧榮科技的控制晶片、NAND 快閃記憶體及韌體整合於單一精巧的 BGA 封裝中。該系列產品包括 FerriSSD®、Ferri-UFS® 與 Ferri-eMMC®，分別針對特定效能及整合需求量身打造。



### FerriSSD：提供 PCIe® Gen4 效能，優化 AI 及資料記錄應用

FerriSSD 支援 PCIe® Gen4，專為處理運算密集任務與持續高容量資料記錄的子系統而設計。它在需要本地部署大型 AI 模型（如 LLM 與基於 Transformer 的架構）以支援自主運作的應用中，表現卓越。此裝置亦能滿足法規遵循與系統層級診斷所需的事件驅動資料擷取，確保每一次推理結果、控制決策與異常都能持續記錄，且不會降低系統效能。在決策集中處理的應用場景中，例如路徑規劃、安全控制或任務優先排序，FerriSSD 提供所需的持續頻寬與低延遲回應，維持確定性行為。其韌體經過最佳化，以確保長期穩定效能，並搭載板載溫度感測與智慧負載調節機制，即使在長時間運算負載下，仍能維持穩定的散熱效能。

### Ferri-UFS：專為高傳輸量感測器與 AI 子系統量身設計

Ferri-UFS 支援需要持續、低延遲資料傳輸的工作負載，並支援 UFS 3.1，具有以下特性：

- 最高可達 1600 MB/s 的讀取速度
- 最高可達 800 MB/s 的寫入速度
- 支援命令佇列與平行存取

這些特性使其非常適應用於 AI 感知堆疊應用，包括即時物件辨識、多鏡頭輸入，以及同步定位與地圖構建 (SLAM)。其低延遲存取與高並行處理能力，使推理引擎能即時對環境做出回應。

### Ferri-eMMC：專為控制與介面模組打造的高效能精準儲存方案

Ferri-eMMC 符合 eMMC 5.1 規範，特別適合不追求極致傳輸量，但高度重視穩定回應時間與長期耐用性的子系統。對於重視精準時序與低延遲指令執行的運動控制處理器而言，Ferri-eMMC 是理想選擇。同樣地，它也非常適用於語音指令介面，能支援可靠且長時間待命的運作需求，以即時處理喚醒詞偵測與語音輸入。在觸控螢幕和回饋顯示等人機介面模組中，Ferri-eMMC 可提供流暢且快速的互動體驗，同時避免增加不必要的成本與系統複雜度。儘管採用節能且精巧的設計，Ferri-eMMC 仍整合與高階 Ferri 產品相同的智慧韌體，支援統一診斷、系統健康監控，並可在機器人架構的各子系統實現可預測且一致的整合效果。



## 支援可預測運作的嵌入式智慧

Ferri 系列產品不僅是快閃儲存裝置，更內建韌體層級的智慧機制，專為提升系統穩定性、故障復原能力與預測性診斷而設計。其中 IntelligentLog™ 與 IntelligentThermal™ 是兩項關鍵核心技術。



### IntelligentLog™：高頻率資料記錄與預測性診斷

傳統以軟體為主的資料記錄系統，在嵌入式機器人中可能導致延遲，且在發生故障時容易造成資料遺失。IntelligentLog™ 透過以下功能，克服這些限制：

- 結構化、高頻率資料記錄分區
- 跨所有子系統的事件進行時間戳記索引
- 支援主機通知的即時耐用度監控
- 效能衰退期間自動重新定位關鍵日誌

這使工程師得以維持完整的系統運行記錄，支援透過 OTA 進行模型最佳化，並在主機負載最小化的情況下迅速完成故障隔離。



### IntelligentThermal™：雙模式散熱調控

在人形機器人中，散熱預算由 AI 運算、致動器與感測器模組共同分配。無法動態調節熱度的儲存裝置，可能導致系統層級的不穩定。IntelligentThermal™ 提供兩種獨立的調控模式：

- 主機控制溫度管理 (HCTM) 可使系統處理器根據即時溫度資料調整工作負載
- 硬碟控制溫度管理 (DCTM) 則使 Ferri 儲存裝置在主機無法介入時，自主執行降頻或重新分配工作負載

此雙模式調控機制可確保儲存裝置在氣流受限的機殼內，即使長時間進行 AI 處理或高頻馬達運作，仍能維持穩定一致的效能。

## 子系統映射與整合策略

不同類型的儲存裝置各具功能特性，能針對機器人的多項關鍵功能發揮特定優勢，例如馬達控制、語音辨識、機器視覺、動作偵測，以及大型語言模型的處理。這些儲存裝置可依其功能定位，映射至人形機器人中不同的子系統，詳見下表。

子系統	Ferri 產品	提供的功能
視覺與感知堆疊	Ferri-UFS	即時影像緩衝與 AI 推理管道支援
運動控制單元	Ferri-eMMC	穩定的馬達控制與時序關鍵的回饋處理
AI 決策處理器	FerriSSD 或 Ferri-UFS	託管大型語言模型 (LLM) 與情境感知處理模型
語音/自然語言處理介面	Ferri-eMMC	語音辨識與自然語言指令執行
系統資料記錄與分析	搭載 IntelligentLog™ 的 FerriSSD	持續性故障診斷與自主事件擷取

透過這種模組化映射，設計工程師能依據各子系統的需求，靈活選擇對應的儲存方案，同時維持通用的韌體架構與熱管理策略。

## 專為工業機器人與 AIoT 應用部署打造

Ferri 系列產品專為嚴苛的邊緣運算環境設計，在此類對長期可靠性要求極高的應用中表現穩定。所有裝置皆通過 -40°C 至 105°C 之寬溫作業範圍認證，可在工業或戶外環境中穩定運作。內建斷電保護機制與高寫入耐久度，Ferri 解決方案足以因應自主系統對連續資料記錄與模型更新的高度需求。搭載先進錯誤校正技術（包括基於 LDPC 的 ECC），即使處於高寫入負載下仍可維持資料完整性。精巧的 BGA 封裝簡化機構整合，並支援於多種嵌入式平台上快速驗證。Ferri 儲存方案已廣泛應用於工業自動化、車用邊緣運算與 AIoT 系統，在這些應用領域中，穩定的現場效能是不可或缺的關鍵。

## 結論

控制人形機器人涉及多個子系統之間的即時且高度複雜協調，並需在尺寸、功耗與散熱效能等方面滿足嚴格限制。要達成這些目標，系統必須在多樣化、非結構化且持續變化的環境中，確保同步作業、即時 AI 執行與安全運作。對系統儲存的要求早已超越單純的容量提供，儲存裝置必須具備系統感知能力，支援可靠性、生命週期管理，並在寬溫範圍內穩定運作，以確保整體系統的長期穩定性。

慧榮科技的 Ferri 嵌入式儲存解決方案為機器人工程師提供一個精巧、智慧且高效的平台。無論應用於視覺系統、AI 核心、控制迴路或資料記錄器，Ferri 都能以最少的整合負擔，實現穩定且高效的運作。

對於希望加速人形機器人開發並簡化嵌入式儲存選擇的設計團隊，Ferri 提供了一條已獲實證的部署途徑。欲了解更多資訊，請訪問 [www.siliconmotion.com](http://www.siliconmotion.com)

如需更多 Ferri 系列的相關資訊，請造訪  
[www.siliconmotion.com](http://www.siliconmotion.com) 或寄送電子郵件至 [ferri@siliconmotion.com](mailto:ferri@siliconmotion.com)