

# 借助 MCX 的糾錯功能打造可靠安全的移動機器人

■作者：Altat Hussain

恩智浦半導體運輸與移動市場總監

移動機器人的應用場景日益增多，覆蓋工業自動化到服務型機器人等領域。保障移動機器人的操作安全可靠至關重要，因為它們承載的任務更加複雜，且運行環境有不可控因素。

恩智浦新一代 MCX 系列微控制器助力應對機器人安全挑戰。MCX MCU 基於高性能 ArmCortex-M33 內核，具有先進的錯誤檢測和糾正功能，非常適合開發對可靠性和安全性要求極高的移動機器人。

## 移動機器人常見的可靠性和安全問題

移動機器人搭載的電子系統允許機器人感知周圍環境、進行智慧決策，並精確控制自身的動作。然而，移動機器人在執行任務時可能會面臨極端溫度、振動和電磁干擾等多種挑戰，隨著時間的推移，這些壓力源會導致機器人的記憶體出現錯誤和損壞。考慮到移動

圖：工業機械手臂



機器人預期使用壽命較長，確保電子元件長期的可靠性至關重要。

移動機器人的記憶體錯誤可能導致各種可靠性和安全性問題。機器人控制中的位置翻轉也可能導致執行錯誤的指令，進而引發意外行為。感測器資料損壞，可能導致解讀錯誤，讓機器人做出錯誤的決策。電機控制出錯可能會導致機器人進行計畫之外的運動，或者對機器人本身或其周圍環境造成損害。

在安全關鍵應用中，例

如在人類周圍工作的移動機器人，此類故障可能帶來嚴重的後果。為了確保移動機器人的操作安全可靠，必須採取嚴密措施規避記憶體錯誤。

利用邊緣處理實現即時決策並增強自主性。

## MCX 面向快閃記憶體和 RAM 的糾錯功能

恩智浦 MCX A 系列微控制器包含幾個關鍵功能，可用於檢測和糾正記憶體錯誤。MCX A 內建了高達 128KB 的快閃記憶體，具有改錯碼 (ECC) 功能

圖：移動機器人範例



(MCX A 參考手冊，第 4.5 節)。MCX N 系列快閃記憶體最高達 2MB，帶有 ECC 功能。快閃記憶體的每個 128 位字包含額外的 9 位元 ECC 資料。

ECC 是指在每個資料字旁邊存儲額外冗餘位元的技術。每次資料讀取時，額外餘位元將重新生成 ECC 位元，並與原先儲存的 ECC 進行比較，從而驗證資料的完整性。如果重新生成的 ECC 位元與儲存的 ECC 位元不匹配，則意味著存在錯誤，ECC 能夠糾正該錯誤。單個 bit 出錯時，ECC 能確定具體的出錯位置。但出現兩個 bit 以上的錯誤時，ECC 只能檢測，不能糾正。

如果微控制器檢測到 ECC 錯誤，則系統控制器 (SYSCON) 模組會生成匯流排故障或使用中斷來處理該錯誤。靈活的故障處理能力允許開發人員根據自己的具體應用

自訂處理方式。

MCX A 還提供 32KB 的片上 SRAM，其中有一個 8KB(RAMA0) 具有 ECC 功能，能夠進行單錯誤糾正和雙錯誤檢測 (SEC-DED——MCX A 參考手冊，第 9.1.2 節)。當配置為 ECC 時，MCX N 系列提供高達 416KB 的 RAM，在 VBAT 模式下，其中的 32KB RAM 可以保持資料不丟失。該功能可保護關鍵的運行時資料，如感測器輸入和演算法狀態變數。微控制器中部署了一個錯誤報告模組 (ERM)，可提供全面的錯誤報告和控制功能。ERM 從 ECC 邏輯捕獲並記錄錯誤事件，為監測記憶體子系統的健康狀況提供清晰的視圖。開發人員可以利用錯誤資訊進行診斷和預測性維護。

錯誤注入模組 (EIM) 在讀取具有 ECC 功能的 RAM 時具有注入錯誤的能力，可實現自我診斷。這種自檢功能允許開發人員進行定期自檢，確保微控制器的可靠運行。

除了 ECC 之外，MCX A 系列還包括一個區塊檢查器 (MBC)，為不同記憶體區域的讀、寫和執行許可權提供運行時安全控制 (MCX A 參考手冊，第 45.1 節)。通過定義記憶體訪問策略，MBC 可以防止非法的記憶體存取。

## MCX 糾錯技術如何提升機器人的可靠性

MCX 的多種糾錯功能相互配合，共同提升移動機器人的可靠性與安全性。通過自動糾正快閃記憶體中的單 bit 錯誤，MCX 能夠保持機器人控制硬體的完整性。這種完整性可防範機器人執行可能引發非預期行為的錯誤控制邏輯。

此外，MCX 還具備檢測雙 bit 錯誤的能力，這一功能對於機器人的安全運行和可靠性至關重要。儘管雙 bit 錯誤無法被糾正，但其檢測機制有助於防止使用可能損壞的指令或資料。一旦發現雙 bit 錯誤，機器人便能夠平穩過渡到安全狀態，有效避免可能的危險或故障。

MCX 的 ECC 將其記憶體保護功能擴展到快閃記憶體以外的 SRAM。MCX A 的 8KB RAMA0 SRAM 整合了 ECC 功能，而 MCX N 可以將 RAMG 和 RAMH 儲存區重新用於 ECC 校正，提供高達 416KB 的 ECC RAM 儲存空間。ECC RAM 支援對運行時資料進行單 bit 糾錯和雙 bit 錯誤檢測。該功能可保護關鍵資料，如感測器讀數、控制輸出和中間演算法變數，免受可能導致機器人感知、規劃和控制邏輯不一致的單 bit 錯誤。通過保持這些運行時資料的完整性，MCX

圖：擴展型移動服務機器人



的 SRAM ECC 有助於確保機器人在態勢感知和決策制定過程中的精準性和可靠性。MCX N 還提供了高達 32KB 的 ECC RAM，在 VBAT 模式下可保留資料，即便在低功耗狀態亦能確保關鍵資訊的安全。

MBC 通過採取記憶體保護策略提供額外的安全層。它可以阻止非法的記憶體存取，有助於抑制可能的故障發生，並防止因故障導致機器人的行為不受控制。

最後，ERM 支援基於資料驅動的機器人維護。它能夠記錄記憶體錯誤事件，實現機器人電子元件的健康狀態監測。糾正錯誤的頻率增加可能表明即將發生故障，機器人可得到主動維護。

## 應用場景演示

以在工業環境中工作的移動服務機器人為例。機器人必

須自主導航，在執行任務時避開障礙物和人。

然而，工業環境可能具有挑戰性，設備會產生電磁干擾 (EMI)。這些干擾隨時間累積，可能會在機器人的記憶體中引發 bit 錯誤。

MCX 的 ECC 將檢測並糾正由 EMI 引起的任何單 bit 錯誤，確保機器人正確執行其控制邏輯。面對更為嚴重的雙 bit 錯誤，MCX 也能夠及時發現並阻止使用受損的資料，從而使機器人能夠安全地進入關閉狀態。

在這些事件中，MCX 的 ERM 將記錄發生的錯誤。維護人員可以監測 ERM 日誌，觀察任何潛在故障的跡象。通過主動維護機器人，可以最大限度地減少停機時間，同時提高安全性。

## MCUXpresso 開發人員體驗環境

恩智浦提供了低成本的

FRDM 開發平台，可使用 MCX 快速進行原型設計。FRDM 開發板具有標準規格和接頭，便於連接 MCU 的輸入 / 輸出埠，並內置了 MCU-Link 調試器，帶有 USB-C 線。

恩智浦的 GitHub 也有應用範例，可以使用應用代碼中心 (ACH) 查看範例。MCUXpresso IDE 和 MCUXpresso for VS Code 內建了 ACH 瀏覽功能，開發人員可以輕鬆搜索可用的應用範例，並在直接載入專案使用之前按設備、應用技術或外設 / 功能進行篩選。

擴展板中心 (EBH) 是 NXP SDK Builder 網站的擴展，開發人員可以在其中找到恩智浦及其合作夥伴提供的一系列附加板，以擴展所選評估板的功能。開發人員可以將他們的開發板與不同類型的擴展板配對，以評估特定用例或應用程式並進行快速原型設計。

## 恩智浦赋能安全可靠的移動機器人

移動機器人自動化程度日益提高，確保其操作的可靠性和安全性變得尤為關鍵。如果忽視這一點，複雜的操作環境所引發的記憶體錯誤可能會導致機器人出現預期外的行為。

恩智浦 MCX 為開發可靠的自動機器人提供強大平臺。CTA