

Silicon Motion Ferri 系列

為車載裝置提供最佳化的內嵌儲存方案

當今新款汽車設計中的車用資訊娛樂 (IVI) 系統有龐大的資料儲存容量需求，且此需求正與日俱增。地圖與導航、音樂與娛樂、智慧型手機使用者介面的投射顯示及其他 IVI 應用程式占用更多汽車的主記憶體空間：研究顯示在高階車輛中的使用者資料儲存需求（在 2014 年一般大約為 32GB）於 2020 年可能會攀升到 256 至 512GB。

傳統硬碟 (HDD) 曾是車用大容量儲存技術的主要選擇，但因為可靠性及產品使用壽命等因素，現今逐漸被固態硬碟 (SSD) 及 eMMC 記憶體所取代。

資料儲存的固態解決方案顯然從根本上更適合車廠的需求，因為車廠對其產品內建元件和模組有極度嚴謹的製程和資格審查準則，以保持高品質和高可靠性的標準。不同於 HDD，SSD，eMMC 或 UFS 不包含可動性零件，不會遇到機械故障的情況，而且不易因撞擊或震動而損壞。

然而，SSD，eMMC 和 UFS 是以 NAND Flash 陣列為基礎，若裡面的 NAND Flash 未妥善管理，其固有的特性會導致資料損毀或資料遺失。因此，就其本身而言，以固態系統取代電機機械系統並不保證能增加產品可靠性或延長使用壽命。本文概述固態資料儲存系統的故障模式，並解說現今用來密切控制最新大容量 SSD，eMMC 和 UFS 之可靠性和生命週期的技術與流程。

汽車產業偏好使用 MLC NAND

NAND Flash 是現今數十億電腦、筆記型電腦、智慧型手機、平板電腦、媒體播放器和機上盒中常見的基本記憶體類型，而且也是 SSD，eMMC 和 UFS 中的儲存媒體。NAND Flash 有三種主要類型：單層單元 (SLC)、多層單元 (MLC) 和三層單元 (TLC)。最新版 TLC (3D TLC) 採用了堆疊組態，以實現甚至高於 TLC 的記憶體容量。MLC Flash 的記憶體容量低於 TLC，但高於 SLC。

在汽車 SSD，eMMC 和 UFS 應用中，目前偏好使用 MLC NAND，因其以經濟實惠的價格提供高容量和高可靠性，而且相較於 TLC NAND，受資料遺失與損毀的影響較小。現今採用 MLC NAND 的 eMMC 最高可提供 64GB 的資料儲存容量，而採用 MLC NAND 的 SSD 最高可提供 512GB 的儲存容量。

然而，使用 MLC NAND Flash 確實帶來一些資料完整性與留存方面的風險。什麼是需要面對的風險，以及汽車使用者應如何期待 SSD，eMMC 和 UFS 製造商來管理相關風險？

對 SSD/eMMC/UFS 產品整個使用壽命的風險評估

NAND Flash 陣列固有的故障或資料遺失風險可能會在其生命週期三個階段的其中之一發生：

- 早期故障在製造新裝置後很快發生。NAND Flash 製程中的固有變異性無可避免地產生了脆弱或不良的區塊或單元。
- 在裝置的額定生命週期期間，有各種資料遺失與損毀的可能原因，包括主機與 NAND Flash 陣列之間的傳輸的位元錯誤、突發斷電事件、影響資料留存的熱應力，以及讀取干擾所產生的錯誤。
- 生命週期結束 – NAND Flash 產品有根據程式/抹除 (P/E) 循環次數額定的生命週期，而當此數字已超過任何指定記憶體單元時，單元可能會發生故障。

在車用系統中，前兩項故障類別最令人無法接受。為此，慧榮在 Ferri 系列資料儲存產品中開發了多項技術和技巧，盡可能在 NAND Flash 陣列的額定生命週期期間降低或消除故障風險和資料遺失。

透過這些技術，慧榮能夠為使用者提供其通過 AEC-Q100 認證之 FerriSSD 和 Ferri-eMMC 產品的信任度，符合汽車產業毫不妥協的可靠性和長生命週期的需求。增強資料完整性、使用壽命和 SSD 開機載入程式效能之 Ferri 系列產品的功能包括：

- 在出貨前對每個單元、分頁和區塊的 100% 篩選以及全面品質控管，產生極低的每百萬件零件不良 (dppm) 率
- 採用 NANDXtend ECC 技術的端對端資料保護可延長運作生命週期
- IntelligentScan 與 DataRefresh 技術可主動防禦位元遺失及延長資料留存

此外，Ferri 系列產品具備 NAND 故障分析功能。慧榮運用累積多年的 NAND Flash 記憶體專業知識，對任何可能發生的問題有效率地進行除錯，並且提供深入故障分析報告及修正行動方案。

篩選初期故障

晶粒中脆弱的記憶體區塊（導致初期故障的區塊）最有可能在其指定之作業溫度範圍的極端溫度中發生故障。對於慧榮的 Ferri 解決方案產品，其溫度範圍為 -40°C 至 +85°C。透過對每個 NAND Flash 晶粒中的每個單元、分頁和區塊執行高低溫 (-40 ~ 85°C) 燒機測試，慧榮可因而篩選出包含不良區塊的所有裝置。慧榮會將這些零件報廢處理，不會送交到消費者手上。

此政策帶來的影響是降低了 Ferri 系列裝置的產量，但慧榮為了在送交到汽車客戶手上的 Ferri 解決方案產品中達成的極低 dppm，這是值得付出的代價（請參閱圖 1）。

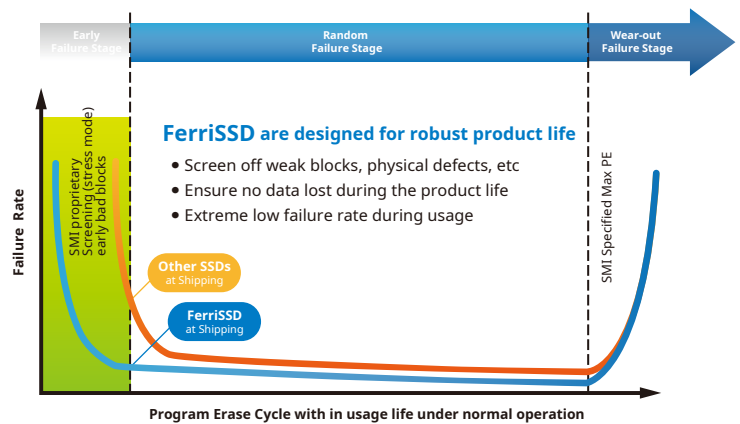


圖 1：不良區塊的高溫篩選讓慧榮能夠消除初期故障

防止一般操作中的資料遺失

慧榮獨家壓力測試技術篩選出初期錯誤。然而，即使是狀態健全的 NAND Flash 裝置在一般操作中就容易發生資料遺失和損毀。這種故障可能在三種主要情況中發生：

- 突發斷電事件的風險
- 傳輸中的資料遺失
- 高溫下出現有缺陷的資料留存

正確處理 SPOR

汽車系統容易因為各種因素而發生突發斷電事件，而車輛的系統軟體未必具有可向 SSD 或 eMMC 觸發正確「斷電」命令的設計。若未導入「突發斷電和復原」(Sudden Power Off and Recovery, 簡稱 SPOR) 程序，此類事件會導致資料遺失或儲存系統當機。為消除此風險，Ferri 系列產品在 SSD 或 eMMC 控制器中包含導入 SPOR 程序且保證 100% 資料完整性的慧榮獨家韌體。

全新更強大的正向錯誤校正

能夠管理「錯誤修正碼」(ECC) 是 NAND Flash 控制器的一般功能。ECC 的用途在於修正因 NAND Flash 陣列的資料流寫入或讀取而產生的位元錯誤。在以 NAND Flash 為基礎的系統中，有各種實作 ECC 的方法，有些方法可達到比其他方法更高的錯誤修正率。

汽車製造商向來秉持極高品質標準，而且他們的理想目標是達到零不良率 (0 dppm)。為因應此宗旨，慧榮已在供應汽車市場的 Ferri 解決方案產品中採用更強大的錯誤修正功能。

首先，慧榮在整個資料路徑中導入端對端錯誤修正 (請參閱圖 2)。這不只修正 NAND Flash 陣列中的讀取/寫入作業錯誤，也修正緩衝記憶體 (SRAM 或 DRAM 裝置) 中的錯誤。透過在 NAND Flash 陣列、在緩衝記憶體以及在 Ferri 系列裝置與系統主機處理器之間的介面的 CRC 總和檢查測試，進一步驗證達成的資料傳輸有效性。

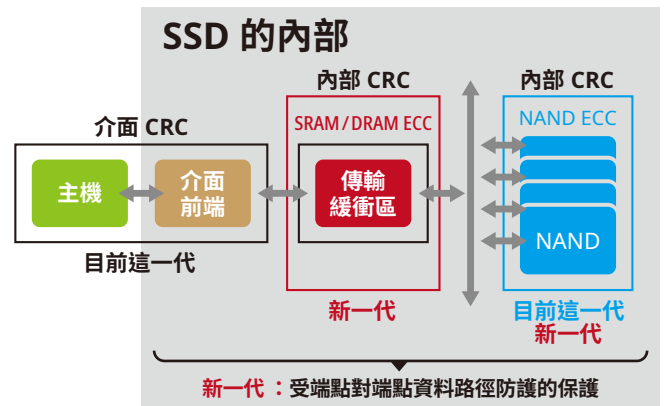


圖 2：適用於汽車系統的 Ferri 解決方案產品中提供的端對端資料路徑保護

第二，慧榮已擴展其資料保護的範圍，允許 NAND Flash 區塊經歷許多程式/抹除循環次數時經常遇到的升高位元錯誤率。適用於 ECC 的傳統 BCH 或 RS 技巧能夠在低位元錯誤率達到 100% 資料修正，但位元錯誤率會隨著 NAND Flash 陣列老化而升高。傳統消費型 SSD 和 MMC 保留超越 BCH 或 RS 演算法功能的未修正錯誤。

然而，針對汽車應用，Ferri 系列產品導入額外的錯誤修正（如圖 3 所示）。套用低密度同位檢查 (LDPC) 演算法以復原毀損的文字 (1kB 區塊)。慧榮也導入 Page RAID 演算法，能夠復原包含毀損資料的完整 16kB 分頁。這些技術共同確保 NAND Flash 陣列的整個額定生命週期中讀取/寫入作業的完整性，且無位元錯誤。

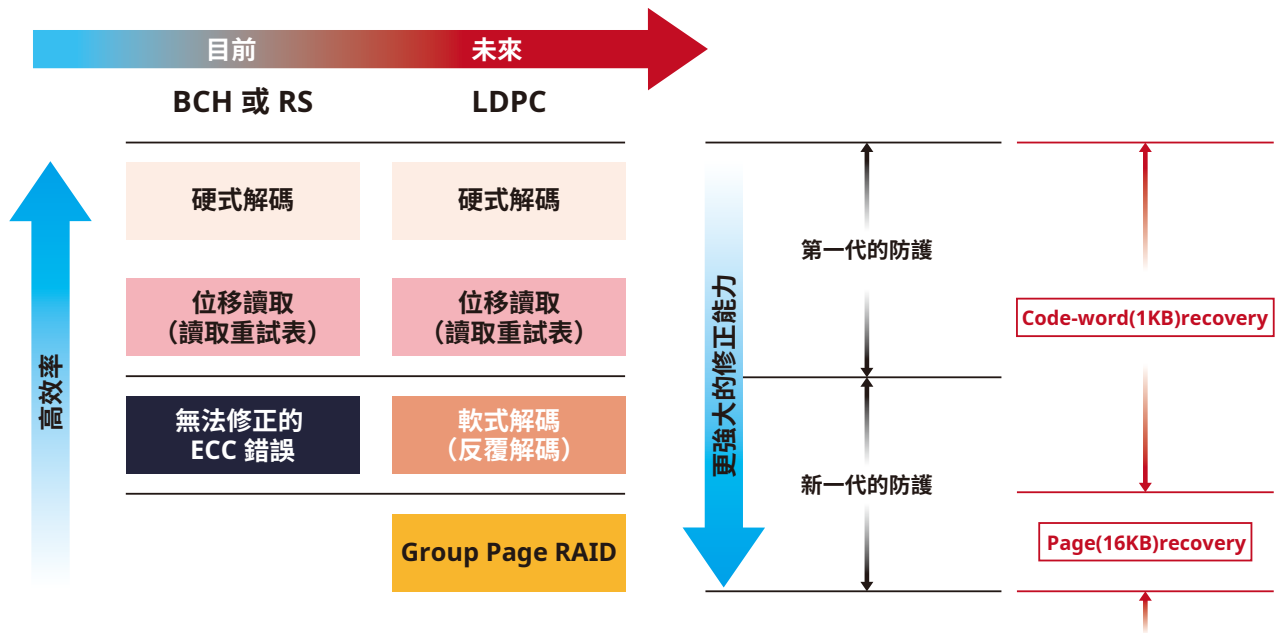


圖 3：適用於延伸 ECC 作業的 LDPC 和 Page RAID 錯誤修正配置

降低熱應力的影響

資料留存是汽車製造商的關鍵效能參數：它測量了資料位元在寫入至單元後將保留的期間。如圖 4 中的表格所示，此期間極度取決於溫度。這也顯示 MLC NAND 類型中的資料留存明顯比 SLC NAND 更短。

溫度	SLC 的最大 PE	MLC 的最大 PE
40	75.58 Mo	12 Mo
55	12 Mo	1.88 Mo
70	2.14 Mo	0.34 Mo
85	0.45 Mo	0.07 Mo

圖 4：NAND Flash 中的資料留存會受到操作溫度、程式/抹除 (PE) 循環次數及 NAND 類型影響

Ferri 系列產品中導入的技術會以智慧方式掃描區塊和單元，以及重新整理有資料遺失風險的部分，藉此防範資料留存故障。這項 Intelligent Scan 與 DataRefresh 功能利用每個源自 ECC 作業之區塊的位元錯誤率資料：在使用者可選擇的位元錯誤率閾值，會執行 Data Refresh (請參閱圖 5)。如圖 4 所示，在升高的操作溫度中，

資料留存持續時間會急遽地減短。慧榮的 Intelligent Scan 與 DataRefresh 功能會自動增加較高操作溫度中的掃描頻率。

Intelligent Scan 與 DataRefresh 也能預防因讀取干擾而導致的資料遺失。

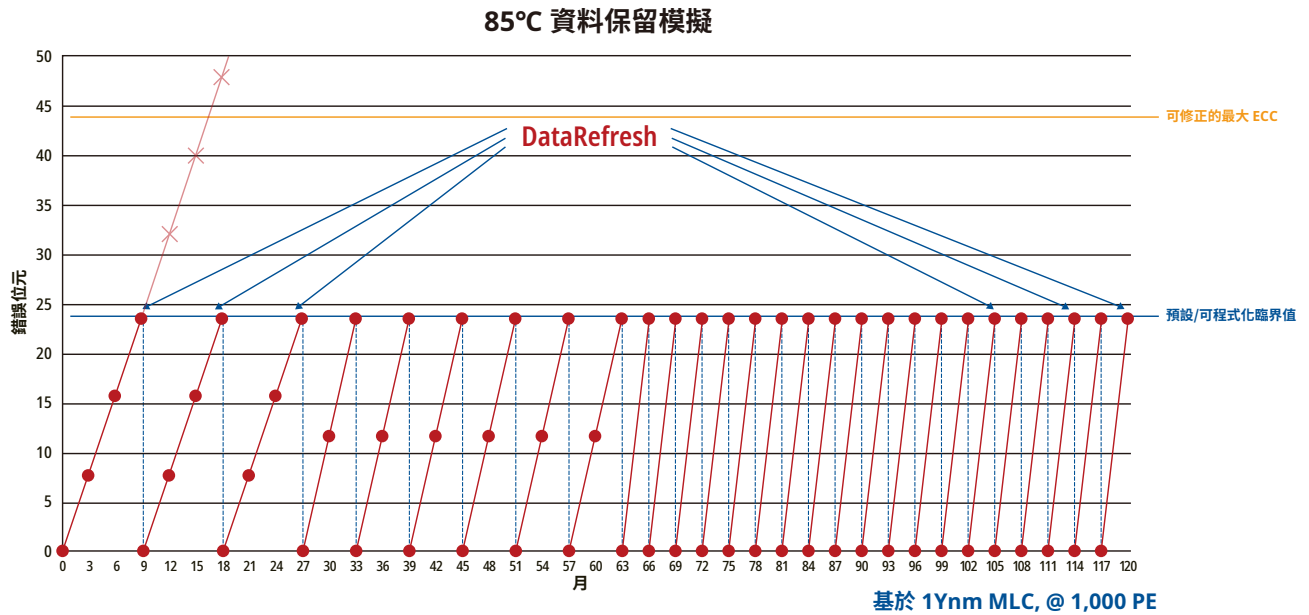


圖 5：Data Refresh 會使每個區塊的位元錯誤率回到零

適用於大量資料儲存的嵌入式主機板等級解決方案

如本文所述，透過燒機測試、進階正向錯誤校正和資料重新整理功能的應用，可大幅提升 SSD，eMMC 或 UFS 的可靠性和資料完整性。透過下列作法，慧榮在其通過 AEC-Q100 Grade 3/2 級認證的 Ferri 系列產品中滿足汽車產業毫不妥協的需求：

- 在出貨前對每個單元、分頁和區塊的 100% 篩選以及全面品質控管，產生極低 dppm 率
- 採用 NANDXtend ECC 技術的端對端資料保護可延長運作生命週期
- 適用於進階資料留存的 IntelligentScan 與 DataRefresh

目前推出的 Ferri 系列產品為：

- FerriSSD，20 公釐 x 16 公釐 BGA 封裝，容量最高可達 480GB
- Ferri-eMMC，提供各種體積小巧的 BGA 封裝，符合 JEDEC 工業標準，容量最高可達 256GB
- Ferri-UFS，11.5 公釐 x 13 公釐 BGA 封裝，容量最高可達 256GB

Ferri 系列儲存解決方案尤其能因應汽車市場的需求，結合長期的可靠運作、資料完整性和資料留存，確保固態記憶體符合車輛中任何其他電子系統的品質和可靠性。

如需 Ferri 家族的詳細資訊，請造訪 www.siliconmotion.com 或寄送電子郵件至 ferri@siliconmotion.com