

未來物聯網系統中的 無故障資料存儲

■作者：Nilesh Badodekar/ 賈普拉斯

幾十年來，遠端控制節點的基本架構都是由控制器、感測器、本機存放區器、網路連接介面和電池組成。這一架構廣泛應用於實際操作所控制的系統中。在工業自動化系統中，控制器以不同速率監控多個感測器，將已標記時間的感測器資料保存在本地或擴展記憶體內，然後通過 ProfiBus 等工業標準匯流排傳輸資料。在高級駕駛輔助系統 (ADAS) 或車輛事件記錄器 (EDR) 中，多個 MCU 能夠同時採集、控制汽車電子系統的資料，從而提供優質的駕駛體驗與無故障的資料保障。醫療系統也有類似的應用：通過感測器獲得的關鍵患者資料，將被存儲在本地，或者定期上傳進行集中存儲。

這些系統都在試圖解決資料獲取、關鍵資料存儲以及基於資料分析採取相應行動過程中的核心和基礎問題。但是，不同系統解決問題的側重點也有所不同。工業系統傾向於在很短的時間間隔內，從眾多不同的感測器中採集海量資料，同時必須在本地和遠端留存詳細的日誌記錄。汽車系統資料生成速率較低，但資料重要性高。在某些情況下，資料的丟失或將會威脅駕乘人員的生命安全。大多數汽車的使用壽命都超過十年，因此在選擇記憶體時，其使用壽命與可靠性便成為了十分重要的考量標準。可攜式醫療系統在選擇理想的資料存儲時，則注重功耗的表現。由於植入式醫療器械、助聽器等設備都是由電池進行驅動，因此它們更傾向於選擇能耗低同時資料存儲精確度高的記憶體。兼具長期可靠性和低能耗的無故障資料存儲，往往成為系統設計師選擇存儲產品的重大挑戰。

隨著物聯網的逐步興起，所有設備都開始通過網路實現互聯。保守估計，2020 年將有 100 億台設備實現聯網，其中包括汽車、工業自動化設備、植入式醫療器械、可穿戴設備和智慧家居等新一代產品。下一代 5G 網路已經開始在某些地區部署並有望承擔上述設備產生的大部分流量。但是，資料科學家和系統設計師仍有幾個尚未解決的問題：

哪些設備需要與雲連接？需要傳播多少資訊？有多少資訊能在本地處理？誰來支付雲的費用？

一個方案是把所有資訊都上傳到雲，遠端對資訊進行處理。但這一方案只適用於規模小而分散的系統。隨著世界互聯的程度不斷提高，將會有大量甚至過剩的系統進行資訊的上傳，在這樣的情況下我們需要考慮網路和本地兩種存儲和處理的成本差異。在行駛過程中，一輛自動駕駛汽車每小時將會生成數 G 的資料。因此為了預測未來的需求，我們現在必須決定哪些資訊需要即時傳送、哪些可以在本機存放區，從而日後再進行壓縮傳送。工業和醫療領域的系統設計師面臨著同樣的問題。在“工業 4.0”的進程中，“上傳所有資料到雲”的方式正在逐步轉變成為“本地處理，智慧上傳”的方式。因此，如何選擇最好的本地資料存儲對未來的系統發展極為重要。

為了保存重要資料，這些系統均需要高可靠、低能耗、高安全性的記憶體。一個方法是使用現有的快閃記憶體來記錄資料。快閃記憶體技術具有高效讀取的能力，因此已經被廣泛用於啟動代碼和固件的存儲。對於現有系統的設備，在執行寫入操作

時，設計師無需瞭解快閃記憶體的技術限制，即可使用快閃記憶體來記錄資料。快閃記憶體單元只有在事先已被擦除的情況下才能存儲新資料。對快閃記憶體單元進行程式設計時，可將邏輯值由“1”變為“0”。在下次升級中，如果存儲單元需要保持邏輯值“1”，就需要擦除數據。為了加快擦除速度、縮短程式時間，快閃記憶體製造商設計了各種頁、塊和磁區架構。頁是能夠一次程式設計寫入快閃記憶體的最小資料存儲單位。快閃記憶體設備設有內部的頁容量緩衝區，用於臨時資料存儲。當外部介面的資料傳輸完成時，設備將立即對主陣列中被擦除的頁執行頁程式。如果該頁包含舊資料，則必須在程式啟動前予以擦除。每次執行擦除時，快閃記憶體單元都會退化。這一現象通常作為在快閃記憶體的耐久性指標進行量化記錄。耐久性最好的快閃記憶體設備一般可以承受 10 萬次的擦除程式迴圈，在達到這一限值後將無法保證存儲的穩定性。儘管這一數位看起來很巨大，但這一數位甚至連低端的資料記錄系統的需求都很難滿足。

某些製造商則採用位元組程式設計，並且把程式設計由緩衝區推到快閃記憶體進行。儘管這一設計可以簡化設備內的程式運行，但卻不能使快閃記憶體擺脫潛在的耐久性限制。為了抵消上述限制，系統設計師被迫採用一種複雜的檔案系統來保證快閃記憶體單元的耗損均衡 (wear levelling)。檔案系統的軟體會減緩系統的運行速度。

設想一種情況，設計師考慮使用一種基於快閃記憶體的記憶體來記錄資料。在工業自動化和資產管理系統中，感測器節點會以每秒數次的速度抓取資料，並定期對各種感測器進行取樣，然後整理資料包上傳網路。一般來說，資料包的取樣數從 16 位元組到 128 位元

組不等。由於停電的風險不可能完全避免，為了防止資料丟失，設計師使用非易失性記憶體來存儲資料。振動感測器或步進電機位置感測器每幾毫秒都會發送脈衝式資料，而溫度或濕度感測器則每隔幾秒才發送一次資料，資料包則存儲眾多感測器的資料。

下表為資料包容量與取樣率的比較分析，以及資料記錄時耗損快閃記憶體的規律。分析使用了 10 萬次耐久迴圈的 8 兆快閃記憶體

Packet size of Sample (in Bytes)	Sampling rate (in ms)	Days in field with no failure	Years in field with no failure
1	1	9709.04	26.60
2	1	4854.52	13.30
4	1	2427.26	6.65
8	1	1213.63	3.33
16	1	606.81	1.66
32	1	303.41	0.83
64	1	151.70	0.42
128	1	75.85	0.21

Packet size of Sample (in Bytes)	Sampling rate (in ms)	Days	Years
1	10	97090.37	266.00
2	10	48545.19	133.00
4	10	24272.59	66.50
8	10	12136.30	33.25
16	10	6068.15	16.63
32	10	3034.07	8.31
64	10	1517.04	4.16
128	10	758.52	2.08

Packet size of Sample (in Bytes)	Sampling rate (in ms)	Days	Years
1	0.1	970.90	2.66
2	0.1	485.45	1.33
4	0.1	242.73	0.67
8	0.1	121.36	0.33
16	0.1	60.68	0.17
32	0.1	30.34	0.08
64	0.1	15.17	0.04
128	0.1	7.59	0.02

Packet size of Sample (in Bytes)	Sampling rate (in ms)	Days	Years
1	0.01	97.09	0.27
2	0.01	48.55	0.13
4	0.01	24.27	0.07
8	0.01	12.14	0.03
16	0.01	6.07	0.02
32	0.01	3.03	0.01
64	0.01	1.52	0.00
128	0.01	0.76	0.00

以下圖表對這一資料進行了明確解讀。我們發現，對於每 1 毫秒記錄 8-16 位元組資料的低端系統，8 兆快閃記憶體會在 5 年內損耗。但是，汽車或工業系統的損耗期限應當超過 10 年。

如果採用簡單增加快閃記憶體這種低成本、高風險的方式，則需要複雜的檔案系統對損耗均衡進行管理。如果沒有部署檔案系統，系統則需要在替換整個記憶體之後，定期執行晶片擦除迴圈。在今天的物聯網世界中，隨著資料採集終端的持續激增，這一問題正在不斷惡化。對於存儲產品壽命期內寫入迴圈次數不超過 1000 次的啟動代碼和固件程式來說，基於快閃記憶體的記憶體是非常合適的。解決這種資料記錄問題的一個理想方法是：使

用高耐久性和非易失性的記憶體，它們不會由於程式和擦除的延遲而造成資料風險。F-RAM 具備承受高達 1014 次擦除迴圈的耐久性，具備瞬間非易失性，且無需程式設計和擦除操作，即時存儲進入設備介面的所有資料。例如，一個 4 兆的 F-RAM 存儲能夠在每 10 微秒處理 128 位元組的資料流程，在 1000 多年的時間內都不會損耗完畢。

F-RAM 記憶體單元只有在寫入或讀取時才會耗電，待機能耗只有幾微安培，因此 F-RAM 是那些依仗電池驅動產品的最佳解決方案。F-RAM 適用於對能耗要求較高的助聽器和用於心率採樣的高端可穿戴醫療設備。此外，汽車系統中的資料會持續不斷地錄入記憶體，基於快閃記憶體的系統無法在快閃記憶體“程式設計”期間抓取資料。只有基於 F-RAM 的資料存儲，可以為該系統提供高可靠性。

具備近乎無限的耐久性、超低功耗和瞬間非易失性的 F-RAM 非常適合用於互聯世界中的重要資料存儲。瞭解關於 F-RAM 技術和賽普拉斯半導體有限公司的 F-RAM 解決方案，請登錄 www.cypress.com/fram。CTA

