

無編程的非同步狀態機與 超低功耗電源微控制器比較

■作者：Silego 供文

尺寸與電池容量通常是電池供電的可攜式系統設計中最嚴峻的挑戰。傳統的方法是將盡可能多的功能集成到一個小尺寸設備中，由於功耗限制，只能選擇低功耗 MCU。這些極低功耗的微控制器提供高靈活性且封裝很小，可允許系統在單晶電池上運行幾個月甚至幾年。然而 Silego 公司採取了一個不同的方法來攻克同樣的問題，Silego 通過在 GreenPAK 第五代產品 GPAK5 系列中增加一個用戶可編程的非同步狀態機宏單元來解決問題。這篇白皮書涵蓋了兩種方案的比較，設計時的權衡和技巧，來幫助用戶在不同微控制器和 Silego GreenPAK5 內部 ASM 做出選擇。

可處理多少個 MCU 代碼？

GPAK5 中的 ASM 包含 8 種狀態和 24 個可能的決定。

以下的概念和例子可幫助讀者快速掌握 ASM 概念。

- 狀態 (X): 如果信號 1 為高，便到狀態 (A)。信號 1 就是決定跳入狀態 (A) 的決策量，每種狀態最多可以有 3 個決策量。
- 例如狀態 A 是一個可以引起 LED 閃爍輸出的狀態。為了便於移動到另一個狀態 (結果) 須有其他的決策量有效
 - 如果信號 2 為高，便到狀態 (B)
 - 如果信號 3 為高，便到狀態 (D)
 - 如果信號 4 為高，便到狀態 (F)

- 狀態 (B) 是控制 LED 進行快速閃爍
- 狀態 (D) 會等待 500ms 後自動跳入另一個狀態
- 狀態 (F) 會檢查 POR 或 Power Good 信號

因此 PAK5 裏面的 ASM 最多可以實現 24 條類似 MCU 編程中的 If then 跳轉命令的功能。當 8 種狀態 ASM 能力結合硬體輸入與輸出電路，GPAK5 可能代表的是大約相當於常見的 8 位或 16 位單片機的 100 行標準 C 代碼。

由於 ASM 沒有時鐘，Silego GPAK5 中的 ASM 受事件驅動並且不需要時鐘。如果沒有事件，ASM 便會處於一種狀態並且不消耗靜態功耗。因此，在某些輸入信號只偶爾變化的應用中可以達到室溫下平均幾個 nA 的平均功耗。類似復位，上電時序控制，感測器檢測，長時間保存數據等應用就非常適合使用 ASM。

能解決什麼類型的嵌入式控制問題？

典型的嵌入式控制問題通常涉及到系統通過判斷外部非同步輸入在一組多個獨立的狀態中跳轉。ASM 很自然的成為解決嵌入式控制問題的解決方案。然而，大多數設計人員選擇了傳統微控制器結果導致非同步狀態機被推到工程邊緣。但是，鑒於 ASM 固有功能與速度優勢，由於可攜式消費者 / 穿戴式 / 物聯網革命對低功耗的不斷追求，使得

ASM 重新引起了人們的關注。Silego 恢復並優化了 ASM，簡化常見的競爭和冒險條件，降低了編程和配置難度，同時保留所有固有的低功耗，低延遲，有能力對於要求不超過 100 行代碼的 (最多 8 種狀態) 簡單的嵌入式控制問題，。

使用 GPAK5 的 ASM 解決嵌入式問題的限制如下：

- a. 輸入數 : 18
- b. 可用於處理 18 個輸入的組合邏輯功能塊數 : 17
- c. 總狀態數 : 8
- d. 決定數量 : 24
- e. 解決組合邏輯中基本的真 / 假決定
 - a. 電壓高或低於 X 伏 ?
 - b. 信號 A XOR B = 0 或 1 ?
 - c. 計時器 Z 結束了嗎 ?
- f. 4 路模擬比較器
- g. 1.8 to 5.5V VDD
- h. ~25 MHz 數字信號

Silego GPAK 5 幾乎沒有計算能力，因此不適合用於數字濾波，多位數字數學運算問題，圖形以及向量計算等。Silego GPAK 5 只有 8 位元組的 I²C 可尋址記憶體，不適合大多數的藉口轉換工作。

智能手電筒，一個簡單的應用實例，我們可以用它來理解如何使用 GPAK 5 的 ASM。這個手電筒具有關閉狀態，高亮度狀態，低亮度省電狀態，閃爍狀態，電池電量顯示狀態。GPAK 5 ASM 可以很容易地利用一個按鈕不同的按壓操作或多個按鈕輸入來控制這些狀態間的切換。利用 GPAK 5 內部邏輯配置來實現 ASM 狀態切換並最終改變 ASM 的 8 個輸出 Bit 狀態從而驅動 MOSFET 來實現橫流高亮度白光 LED 驅動，低電流驅動或閃光驅動等不同狀態的控制和實現。

另一個簡單的應用實例便是 IO 端口擴展器，GPAK5 自帶一個 I²C 端口可直接驅動 GPIO, ASM 或組合邏輯。I²C 可以直接改變 Pin 腳狀態，而且，ASM 也可以用於通過控制 ASM 的當前狀態來輸出不同的 8bit 數據。每種狀態都可以有自身的 8 位並行輸出。而且可以通過 1 個 pin 腳的高低變化來實

現 8 個狀態之間的切換，從而根據當前的狀態來輸出多達 8 個 bit 的預先設定好的數據。

微控制器與 GPAK5 ASM 的價值對比

微控制器包含處理器，程式代碼，棧記憶體和各種外設。微控制器極易實現以上應用例子，但在尺寸和耗方面效率不高。在一些實際的應用中，MCU 常常使用了其 1% 不到的性能。

GreenPAK5 中的 ASM 非常適合簡單的嵌入式控制應用，特別是在極低功耗應用中。實際上，大多數 MCU 在這些簡單的嵌入式應用中功耗和成本都過高，而 Silego 低成本 GPAK5，無編碼，無靜態功耗，超小尺寸並且易於使用的 ASM 便是最好的選擇。

中斷延遲 (ns v. us)

微控制器狀態機設計是在單片機內核軟體中進行的。在這種情況下，軟體中的某個點代表狀態，並且利用軟體分支條件來進行狀態轉換。微控制器可通過專用的中斷控制器硬體和中斷服務程式來實現處理非同步輸入的能力。中斷服務程式 (簡稱 ISR) 是在硬體中斷後啟動而運行的軟體。微控制器的一個重要指標是從外部信號中斷直到其內核執行 ISR 第一條指令所用的時間，即所謂的中斷延遲。通用設備中 MCU 中斷延遲時間在快速例子中通常在 5 到 10us 。

Silego 中的 ASM 中斷延遲以納秒計算，相當於只有外部引腳和內部 ASM 輸入之間幾個門電路延遲。ASM 具有一個狀態到下一個的延遲。如果 GPAK 工作電壓在 5 至 5V 之間時，最長延遲時間為 50ns。確實，ASM 極快並且功耗非常低。更糟的是，MCU 中斷延遲包括各種任務，有時 MCU 必須先完成一系列工作之後才能處理中斷，包括外部信號鎖存，按照當前正在進行中的指令完成執行並保存狀態 (推寄存器) 返回同一狀態。根據特定的微控制器，在週期中測得的延遲可能在 10-20。通過時鐘速度乘以這些週期產生中斷延遲。運行高級語

言 (C 語言) 同樣也有影響，因為這通常會增加中斷延遲的週期數。同樣，如果用戶正在運行操作系統，中斷延遲也會另外添加週期。

如果系統同時需要低功耗和快速中斷回應，微型控制器用戶便會找到一個折衷的辦法，因為設置的時鐘速度越快，中斷延遲便會越低，但是較快的時鐘速度同時也可以增加功耗。某些微型控制器可允許系統時鐘速度隨時間改變，因此在系統等待非同步輸入降低系統時鐘速度，並在中斷發生的時候加快系統時鐘速度。這是節約電源減少中斷延遲的一個方式，但是也有限制，因為在改變時鐘速度的同時也有延遲，利用 ASM 便不需要做出這樣折中的選擇。

VDD variation 偏移

Silego 的 ASM 工作電壓範圍大。一個嚴謹的 ASM 設計可以保證不會存在競爭和冒險問題，因為每個與 ASM 相關的信號通路的門電路數量和延遲是固定的。因此隨 VDD 變化，會產生傳播便延遲。然而，傳播延遲都是匹配的，因此性能是有保證的。

另一方面，微控制器計時的信號與 VDD 關係不大，隨著 VDD 改變，MCU 傳播延遲改變，但是時序不變，時序餘量會降低。晶片設計為了應對這些設計的危害，MCU 需要電壓調節器來供電或者降低性能和時鐘頻率。然而，電壓調節器消耗功率，而較慢的時鐘速度卻會增加中斷延遲。

崩潰 v. 無崩潰

設計和系統缺陷可引起微控制器崩潰。差勁的軟體設計，時序問題，中斷延遲的誤算，棧記憶體耗盡，記憶體洩漏以及程式記憶體誤寫均是導致 MCU 崩潰的一些常見的陷阱。

Silego ASM 利用 NVM 位硬體配置，無時序問題，納秒級延遲，無棧記憶體，無記憶體洩漏問題，不可能對數據記憶體誤操作，對電源電壓和噪音有更強的適應能力。

因此 經常可以看到 Silego 的 ASM 被應用到大

型 MCU，SoC 和 ASIC 的崩潰監測上。有些還用於故障狀態提醒，故障 LED 燈顯示以及在主處理器出現故障時而保證其他功能的正常運轉。

基於工具的 GUI 無編碼對比典型的 MCU 工具

Silego ASM 在 GreenPAK 設計開發環境中進行配置。而軟體操作起來像是編輯原理圖而不是編碼工具。大多數狀態機的設計可以在幾分鐘內完成，從花幾個月來學習典型的 MCU 設計工具縮減到用幾天學習 Silego 的 GPAK 開發工具。

該工具內有一個特殊的泡泡狀態圖工具可允許設計人員在系統中進行選擇和命名，然後單擊添加狀態轉換箭頭就如同工程師在白板上畫狀態圖一樣。

配置狀態機後設計人員返回到原理圖編輯工具來進行硬體信號圖和各種狀態轉換決定點連接。設計師可以很容易的在 1 天內完成原形的設計。

GPAK 5 尺寸與低功耗 MCU 對比

相比 MCU 的複雜架構，GPAK 5 通常更小，特別是相比那些可以工作在 1.8 – 5V 的電壓，引腳數少的超低功耗 MCU。如果 GPAK 5 產品能夠實現控制功能，以 2 x 3 mm 20-pin STQFN 封裝的產品通常則是市場上最小的可編程選擇。而對於要求更少控制功能的應用，可以使用前幾代 1.6 x 1.6 mm 12-pin STQFN 小尺寸封裝的 GPAK 來完成設計。

綜上所述，具有八種狀態的 GPAK 5 ASM 可以適用各種通常使用 MCU 來實現的應用。極易配置的 ASM 有著高速狀態轉換，超低靜態功耗，更加強壯穩定，寬工作電壓等優勢，非常適合在物聯網，可攜式，手機以及穿戴式應用中使用。CTA