HT67F50 使用 SIM I²C Mode 之用法與注意事項

文件編碼：HA0260T

簡介

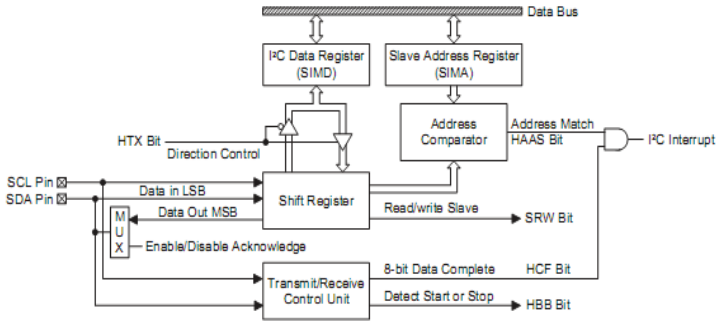
HT67F50 內建有 SIM 功能，其中包括 SPI 和 I²C 兩種功能，本範例是以 HT67F50 為母體，介紹使用 SIM 功能之 I²C 進行主從方式通信以及注意事項。其中，主機是利用 HT67F50 之兩個 GPIO 來模擬實現 I²C 功能，從機則由 HT67F50 之內建 SIM 功能模組來實現 I²C 總線通信功能。

I²C通信原理

I²C總線簡介

I²C 是一種用來和傳感器、EEPROM 等外圍設備進行通訊的介面。I²C 總線最初是由飛利浦公司開發的兩線串列傳輸介面，用來同步串列傳輸資料。而現在，這種兩線式的傳輸介面，擁有通信協議簡單，可容納多個外圍設備等優點，已經成為一種非常流行的介面，應用於很多領域中。

I²C 串列介面是一種兩線式介面，一條是串列資料線 SDA，另外一條是串列時鐘線 SCL。需要注意的是，I²C 總線不存在片選線，I²C 總線上的每個設備通過唯一的設備地址被識別。兩個設備通過雙向 I²C 總線相互通信，一個設備稱為主機，另一個為從機。主機和從機都可以進行資料的發送和接收，但是，主機具有總線過速控制能力。對於在從機模式下運行的微控制器來說，I²C 總線有兩種資料傳輸方式，從機發送模式和從機接收模式。對於 HT67F50 這塊 MCU 來說，有四個與 I²C 總線相關暫存器，SIMC0、SIMC1、SIMA、SIMD。I²C 總線上的通信需要四步驟完成，一個開始信號、一個從機地址發送、一個資料發送和一個最終的停止信號。



I²C Block Diagram

I²C總線的相關暫存器和配置選項的說明

如下圖所示腳位，要打開 I²C 功能你必須首先將配置選項的 SIM Function 選擇為 Enable，然後設定好 SIMC0 和 SIMC1 這兩個暫存器相應的位元。下面會對這兩個暫存器詳細的介紹。

備註：紅色框圖內為 I²C 介面。

與 I²C 功能相關的共有 4 個暫存器。它們是 SIMA、SIMD、SIMC0 和 SIMC1。

SIMA 暫存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	IICA6	IICA5	IICA4	IICA3	IICA2	IICA1	IICA0	—
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	—
POR	x	x	x	x	x	x	x	—

"x" unknown

SIMA 暫存器是 MCU 設定從機的 7 位元位址所使用的暫存器。暫存器的 1~7 位元定義了從機位址，第 0 位元未被使用。當主機設備連接到 I²C 總線，將會發出從機位址，如果能和儲存在 SIMA 暫存器的某從機位址匹配時，該從機設備將會被選中。

SIMD 暫存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
POR	x	x	x	x	x	x	x	x

"x" unknown

SIMD 暫存器用來儲存馬上要傳輸或者剛接收到的資料。它是和 SPI 共用的，在 HT67F50 中，SPI 與 I²C 只能二選其一。在資料寫入 I²C 之前，資料必須要放入 SIMD 暫存器才能被得到傳輸。相應的，在資料從 I²C 接收到後，也只能從 SIMD 暫存器中讀出資料。總之，任何通過 I²C 進行傳送和接受的資料都必須通過 SIMD 暫存器。

SIMC0 暫存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	SIM2	SIM1	SIM0	PCKEN	PCKP1	PCKP0	SIMEN	—
R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	—
POR	1	1	1	0	0	0	0	—

SIMC0 暫存器也是 SPI 和 I²C 共用的，它用來打開或者關閉串列總線功能，設定 SIM 模式。

- SIMEN
  SIMEN 位元決定 I²C 功能的開和關。當 SIMEN 位元被清除為零時，將關閉掉 I²C 功能，SDA 與 SCL 總線將會處於浮空狀態，I²C 工作電流將變為最小值。當這一位變為 1 時，I²C 功能將打開。當然，必須要先在配置選項中打開 SIM 功能，這一位元才會有效。

- SIM0~SIM2
  這幾位元設定 SIM 功能的操作模式，也就是選擇 I²C 功能或者選擇 SPI 功能。當 SIM0~SIM2 為 110 時，將選中 I²C 功能。
  SIM2、SIM1、SIM0：SIM Operating Mode Control
  000：SPI master mode；SPI clock is $f_{SYS}/4$
  001：SPI master mode；SPI clock is $f_{SYS}/16$
  010：SPI master mode；SPI clock is $f_{SYS}/64$
  011：SPI master mode；SPI clock is f_{TBC}
  100：SPI master mode；SPI clock is TM0 CCRP match frequency/2
  101：SPI Slave Mode
  110：I²C Slave Mode
  111：Unused Mode

SIMC1 暫存器

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	HCF	HAAS	HBB	HTX	TXAK	SRW	IAMWU	RXAK
R/W	R	R	R	R/W	R/W	R	R/W	R
POR	1	0	0	0	0	0	0	1

SIMC1 暫存器是一個 I²C 專用的暫存器。

- RXAK
  RXAK 是從機設備接收到的應答旗標。RXAK 為 0 時，表示接收設備接收 8 個位元的資料後，在第 9 個 SCL 時鐘發出的應答信號已被發送設備收到。當從機設備處於發送模式，主機設備處於接收模式時，從機設備通過檢查 RXAK 位元來確定主機設備是否要接收下一個位元組的資料，RXAK 為 0，表示主機設備要繼續接收資料，從機設備將發送下一個位元組的資料，RXAK 為 1，表示主機設備不再接收資料，從機設備將釋放 SDA 總線，主機設備將發送停止信號，釋放 I²C 總線。

- IAMWU
  此位元用來控制 I²C 位址匹配是否可以喚醒 MCU，1 為是，0 為否。

- SRWRW
  一個從機的讀取/寫入模式位元。這一位元決定了主機是希望發送或者接收資料。當主機傳送的地址和從機匹配後，HAAS 位元將被設為高準位，設備將會檢查 SRW 位元來決定是應該進入發送模式或者是接收模式。如果 SRW 位元為高準位，主機會請求從 I²C 總線上讀取資料，此時從機設備為發送模式。反之，主機會寫入資料到總線上，從機為接收模式。

- TXAK
  TXAK 是從機設備發送出去的應答旗標。當從機設備處於接收模式，主機設備處於發送

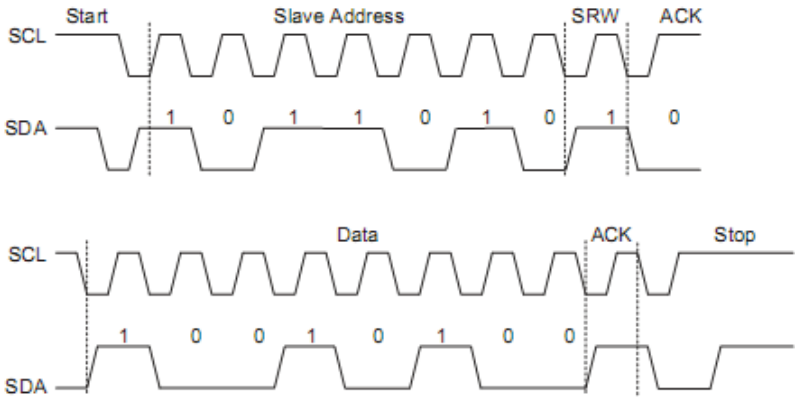
設備時，從機設備接收 8 個位元的資料後，在第 9 個 SCL 時鐘把 TXAK 位元作為應答信號發送給主機設備。當 TXAK 設定為 0 時，表示從機設備要接收下一個位元組的資料，TXAK 設定為 1 時，表示從機設備不再接收資料。

- HTX
  HTX 是從機的讀取/寫入模式標準位元。這一位元被設為高位元為發送模式，設為低位元為接收模式。
- HBB
  HBB 是 I²C 總線繁忙旗標。HBB 變為 1 時，表示從機設備檢測到主機設備發送的開始信號，總線處於繁忙狀態。HBB 變為 0 時，表示從機檢測到主機發送的停止信號，總線處於空閒狀態。
- HAAS
  HAAS 是一個地址匹配旗標。這個標準位元由從機設備的位址是否同主機發送的位址相同決定。如果地址匹配這一位會為高位元，不匹配則為低位元。
- HCF
  HCF 是一個資料傳送旗標。當資料正被傳送時，它將被設定為 0。當傳送完成後，這一位會變為 1，同時將產生一個中斷。

I²C總線通信機制

I²C 總線上的通信需要四步驟完成，一個開始信號、一個從元件位址發送、一個資料發送和一個最終的停止信號。當開始信號被寫入 I²C 總線時，所有的總線上的元件都會接收信號並且被通知總線上會立即有位址資料到達。資料的前 7 位元是從元件位元址，高位元在前，低位元在後。如果從元件位址匹配，MCU 會將 HAAS 設定為 1，同時產生 I²C 總線中斷。進入中斷服務程式後，系統要檢測 HAAS 位元，以確定 I²C 總線中斷是來自從機地址匹配，還是來自 8 位元資料傳送完畢。HAAS 為 1 時，是地址匹配引起 I²C 中斷，HAAS 為 0 時，是 8 個位元的資料傳輸完畢引起的 I²C 中斷。在資料傳遞中，需要注意的是，在 7 位元從機位址被發送後，接下來的一位元，即第 8 位元，是讀取/寫入控制位元，該位元的值會反映到 SRW。從元件通過檢測 SRW 以確定從機是要進入發送模式還是接收模式。

I²C 的時序圖如下圖所示：



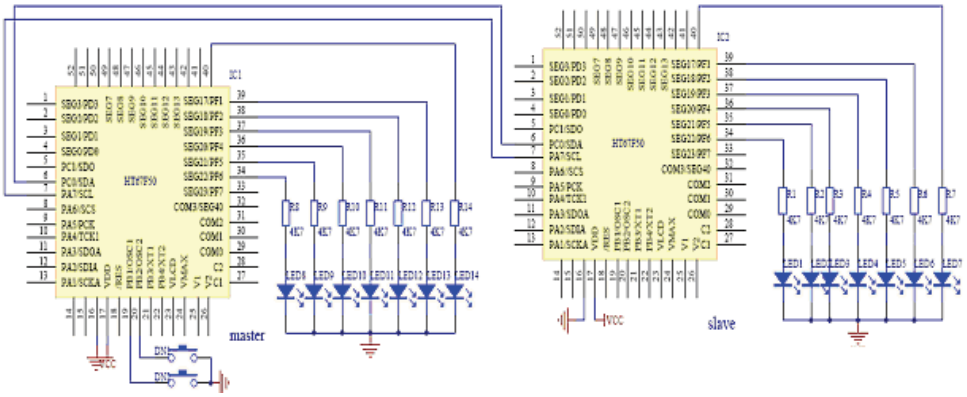
S=Start
SA=Slave Address (7 bits)
SR=SRW bit
M=Slave device send acknowledge bit (1 bit)
D=Data (8 bits)
A=ACK (RXAK bit for transmitter，TXAK bit for receiver 1 bit)
P=Stop (1 bit)

- 開始信號
  開始信號只能由連接 I²C 總線的主機設備產生，總線上的所有元件必須偵測開始信號，

當檢測到後，表明 I²C 總線處於忙狀態，從機設備會設定 HBB 位元。開始信號是指在 SCL 為高位元時，SDA 發生準位從高到低位元的變化。

- 從機地址
  總線上的所有元件都會偵測由主機發起的開始信號的發送。發送開始信號後主機必須發送從機地址以選擇要進行資料傳輸的從機設備。所有在 I²C 總線上的從機設備都會接收到這個從機位址(7 位元)，並與各自內部的從機地址進行比較。如果地址匹配，該從機會產生一個中斷，並將接下來的一位元資料(即第 8 位元)保存到 SRW 位元，並發出一個應答信號，即第 9 位元的低準位信號。當從元件位址匹配時，還會設定位元狀態旗標(HAAS)。
- 由於 I²C 總線有兩個中斷源，在中斷服務副程式中，通過檢測 HAAS 位元可以確定 I²C 總線中斷是來自從機地址匹配，還是來自 8 個位元資料傳送完畢。當是地址匹配引起的中斷時，則從機必定是用於設定發送模式或是接收模式，所以必須寫入資料到 SIMD 或從 SIMD 虛擬讀取資料以釋放 SCL。
- SRW 位元
  SIMC1 暫存器的 SRW 位元表示主控制器是要從 I²C 總線上讀取資料還是要將資料寫到 I²C 總線上。從機設備則通過檢測該位以確定自己是作為發送設備還是接收設備。SRW 為 1 時，表示主機設備要從 I²C 總線讀資料，從機設備必須將資料寫到 I²C 總線，即從機設備做為發送器；SRW 為 0 時，表示主機設備要寫資料到 I²C 總線，從機設備要從總線讀取資料，即從機設備做為接收器。
- 應答位元
  在主控制器發送呼叫地址後，當從機內部地址與其匹配時，會發送一個應答信號。應答信號會通知主控制器從元件已經接收了呼叫地址。如果沒有應答信號，主控制器必須發送停止(STOP)信號以結束通訊。當從機的 SIMC1 暫存器的第 6 位元(HAAS)是高時，表示位址匹配，則從機需檢查 SRW，以確定自己是作為發送器還是作為接收器。如果 SRW 位元為高，從機設定成發送器，這樣需要將 SIMC1 暫存器的 HTX 位元設定為 1。如果 SRW 位元為低，從機設定成接收器，這樣會將 SIMC1 暫存器的 HTX 位元清除為零。
- 資料位元組
  在從機發出應答信號後，就會進行資料傳輸，一個資料長度為 8 位元，高位元在前，低位元在後。接收器在接收到資料後會發出一個應答信號以繼續接收下一個資料。如果發送器沒有檢測到應答信號，發送器將釋放 SDA 線，同時，主機將發出 STOP 信號以釋放 I²C 總線。如果從機設定成發送器，從機必須將資料寫到 SIMD，如果從機設定成接收器，從機必須從 SIMD 讀取資料。
- 接收和發送應答位元
  當從機作為接收器，想要繼續接收下一個資料時，必須在第 9 個時鐘發出應答信號(TXAK)。當從機作為發送器時，檢測應答信號(RXAK)以決定是繼續寫資料到 I²C 總線，還是改變為接收模式並虛讀 SIMD 暫存器以釋放 SDA 線，同時主機發出停止信號。

Application Circuit



如上圖所示，此電路採用兩片 HT67F50，一片用作主機，用兩個 I/O 模擬。

I²C 總線主模式通信。另一片用作從機，使用本身 I²C 總線從模式與主機通信。各自處理的資料通過 PF 埠的 LED 燈顯示。

S/W Function Block Flowchart

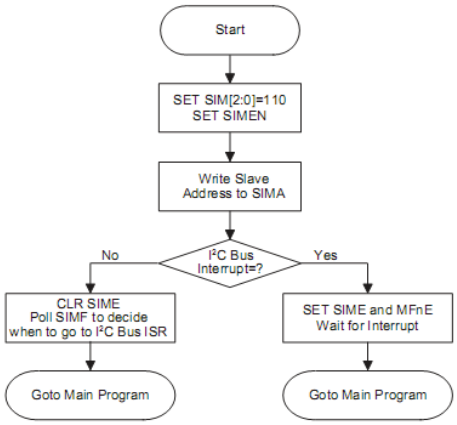
從機流程圖

在 I²C 總線開始傳送資料前，需要先初始化 I²C 總線，在初始化 I²C。

總線時必須注意以下幾點：

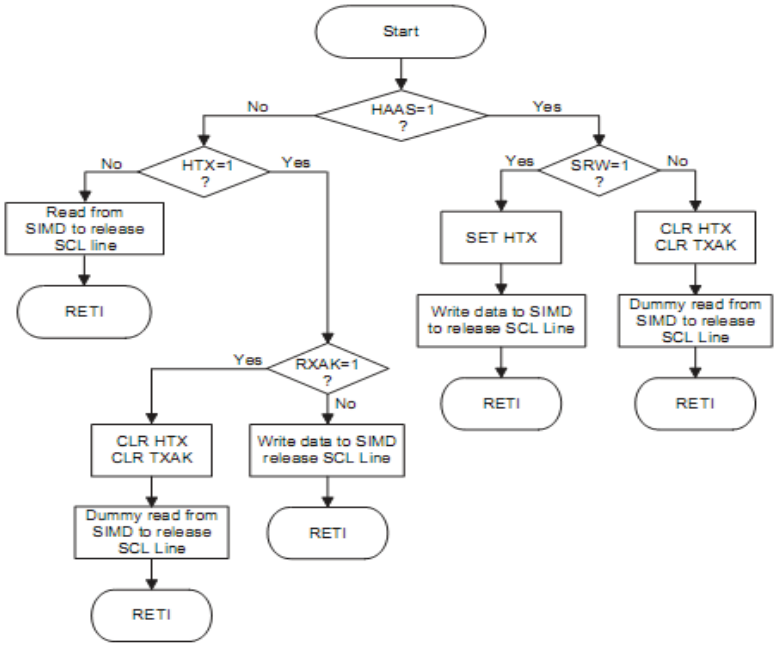
- 步驟 1
  向 SIMA 暫存器寫入從機位址。
- 步驟 2
  將 I²C 總線控制暫存器 SIMC0 的 SIMEN 位元設定為 1，以打開 I²C 總線。
- 步驟 3
  將 I²C 總線中斷控制暫存器(INTC2)的 EMF2I 位元設定為 1，以允許 I²C 總線中斷。如果不需要中斷，就需要在程式中不斷的檢查 HCF 位元，用來檢測 I²C 是否有資料傳輸完成。

具體過程如下圖所示：



I²C Bus Initialisation Flow Chart

需要注意的是，當 IC 總線中斷被關掉時，必須去不斷的檢查 HCF 位元來確定 IC 有無資料傳輸完成。



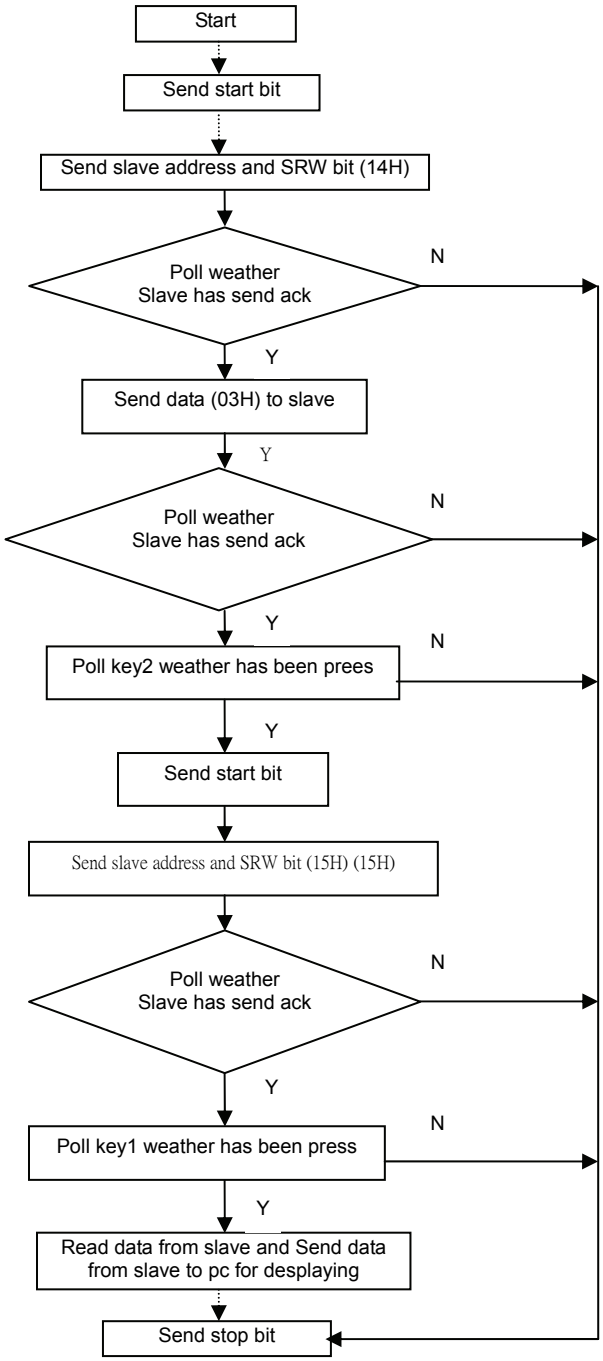
I²C Bus ISR Flow Chart

如上圖所示，這是一個 I²C 的中斷服務程式的流程圖，當進入中斷服務程式後，會首先檢查 HAAS 位元。通過檢測 HAAS 位元可以確定 I²C 總線中斷是來自從元件地址匹配，還是來自 8 位元資料傳送完畢。

如果是位址匹配者，會檢查 SRW，以確定主機是希望發送資料還是接受資料。根據此為設定好從機此時的狀態，還必須寫入資料到 SIMD 或從 SIMD 虛擬讀取資料以釋放 SCL 總線。

如果是 8 位元資料傳送完畢，先判斷從機此時處於接收或者是發送模(HTX)，如果從機設備是接收模式，就要立刻從 SIMD 中讀取資料，如果從機是發送模式，會繼續檢查 RXAK 位元以決定是否要繼續發送下一個資料。如果沒檢測到應答信號(RXAK=1)，從機要從 SIMD 虛擬讀取資料以釋放 SDA 線，同時主控制器將發出 STOP 信號以釋放 I²C 總線，詳細內容請見附件。

主機流程圖



按照 I²C 協定，首先主機發送開始位元，緊接發送從機地址和 SRW 位元，設定 SRW 位元為 0，即設定從機為接受模式，然後主機開始查詢從機應答位元，如無應答，則發送停止位元結束通信。如有應答，則發送 8 位元資料查詢從機應答位元，如無應答，則發送停止位結束通信，如有應答，則循環查詢按鍵 K2，如按鍵被按下，則程式繼續發送開始位元、從機地址和 SRW 位元，設定 SRW 為 1，即設定從機為發送模式。繼而查詢從機應答位元，如無應答，則發送停止位元結束通信，否則程式循環查詢 K1 按鍵，如按鍵被按下，則程式開始從總線上讀資料，然後把資料送往 PC 埠顯示，最後發送停止位元結束通信，詳細內容請見附件。

程式範例說明

從機程式說明

- 本範例從機是以 HT67F50 作為母體實現 SIM 功能之 I²C 程式，包括主程式和 I²C 的中斷服務程式兩部分。在主程式中，會對 MCU 進行初始化操作，特別是對 I²C 的相關暫存器進行正確初始化操作。此外，本範例中還要關閉 PF 埠的定時器/外部計數功能，以免影響 PF 埠的正常輸出。
- 從機主要 Configuration Option：SysVolt=5.000V，SysFreq=4000.000kHz，OSC 為 HIRC，SIM Function 為 Enable，WDT 為 Disable。

主機程式說明

- 本範例主機是以 HT67F50 作為母體，依照 I²C 協議，通過兩個 GPIO 模擬編寫的 I²C 總線程式，同樣需要關閉 PF 埠的定時器/外部計數功能，以免影響 PF 埠的正常輸出。
- 主機主要 Configuration Option：SysVolt=5.000V，SysFreq=4000.000kHz，OSC 為 HIRC，SIM Function 為 Enable，WDT 為 Disable。

Conclusions

本文講解了以 HT67F50 母體的 SIM 功能之 I²C 總線通信原理與注意事項，本範例服務程式是以 SIM 功能之 I²C 的中斷方式實現的，用戶稍作修改即可使用 I²C 的服務程式。

版本記錄

版本：V1.10

修改人員：馬靈

修改日期：2012 年 1 月 9 日

修改內容：

- 更新文中 SIMA、SIMD、SIMC0 和 SIMC1 暫存器名稱。
- 更新程式附檔中 SIMA、SIMD、SIMC0、SIMC1、ACERL、TMPC0、TMPC1 暫存器及 PC.n、PB.n、SIME、MF2E 位元的名稱。