MICROCHIP

Regional Training Centers

Section 9
Interrupt

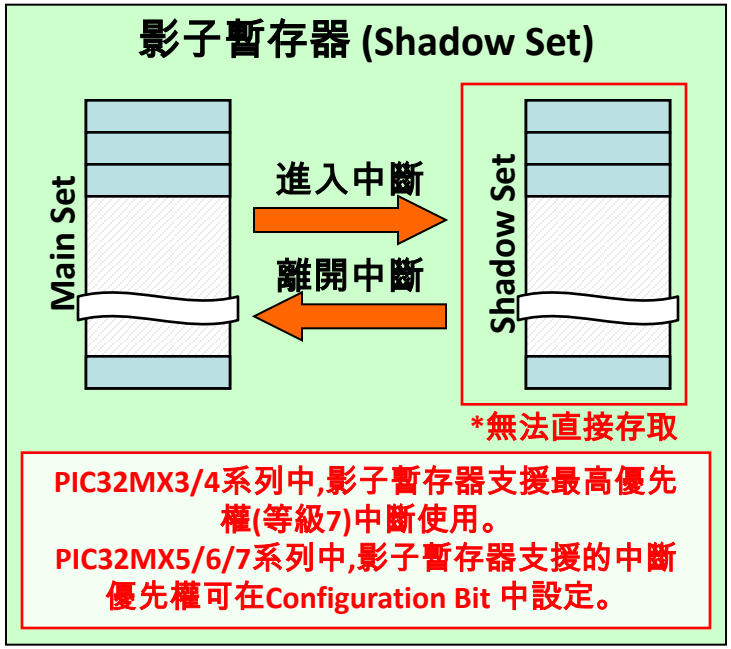
MICROCHIP
Regional Training Centers

What's Interrupt ?

- 在一般的情況下,CPU是按照程式的流程依序地執行。但如果此時某些周邊希望取得CPU的服務,此時就可以透過中斷,打斷目前正在執行的程式片斷,跳到該中斷的服務常式中(ISR, Interrupt Service Routine) 。
- 中斷的來源, 有許多可能如Timer, ADC, UART, SPI,外部中斷, etc.. etc..,都可以打斷CPU。
- 中斷條件的成立,通常必須要滿足幾個要素:
  中斷需求(Interrupt Request):在MCU中,周邊會透過設定中斷旗標(xxIF)來提出中斷需求。
  中斷致能(Interrupt Enable):使用者可以透過中斷致能位元(xxIE)來決定是否接受周邊的中斷需求。
  簡單的說,就是當xxIF跟xxIE都為1時,才能打斷CPU的執行,跳到中斷服務常式中。

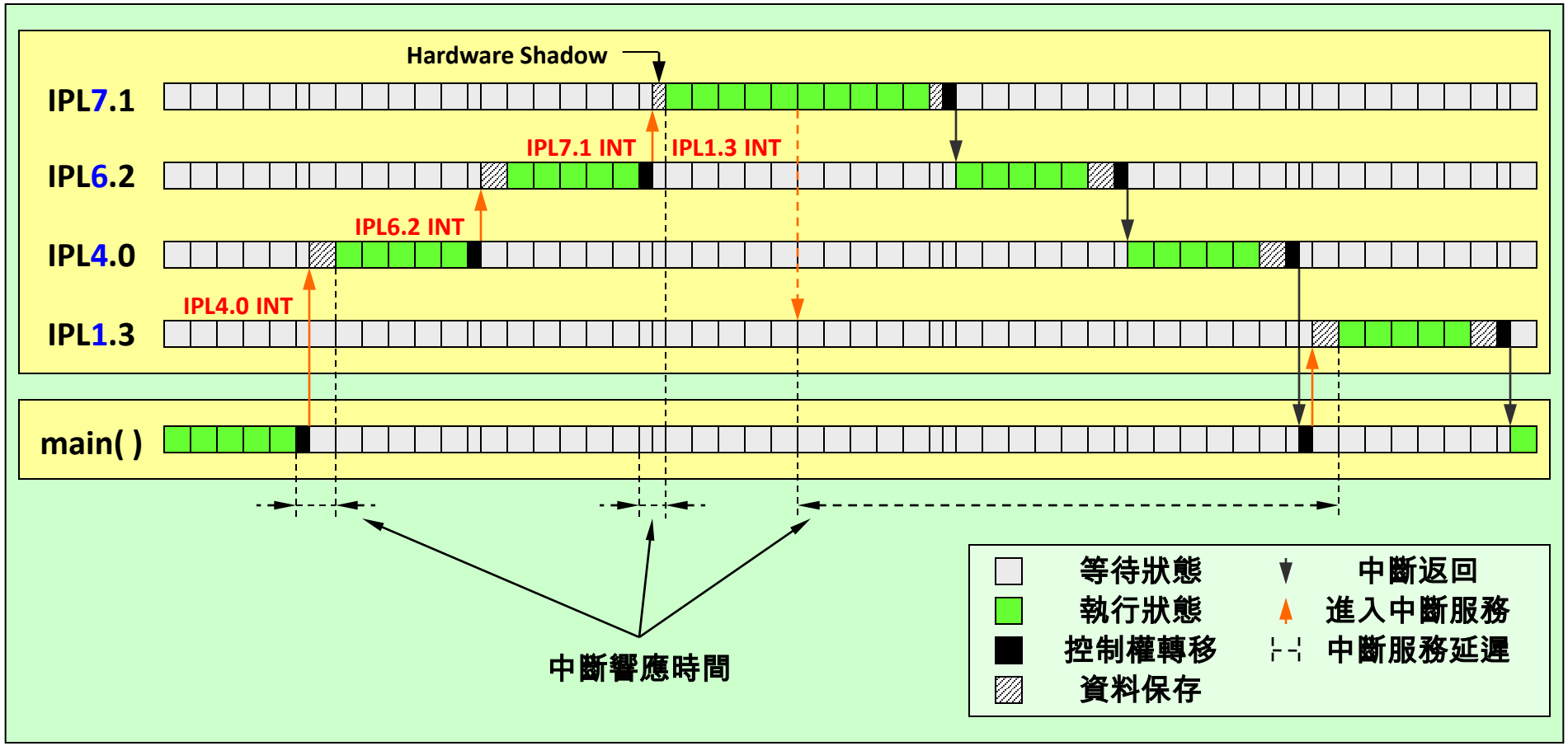
Interrupt Architecture

- PIC32MX450具強健的中斷硬體架構,內建向量中斷控制器,可提升中斷效能。
- 支援兩種中斷模式:
  單一中斷向量模式(Single Vector)
  (PIC32重置時預設值,通常使用在RTOS的架構上)
  多重中斷模式(Multi Vector)
- 提供76個中斷來源,46個中斷向量。
- 提供7個主要優先權(Priorities),4個次要優先權(Sub- Priorities),及自然優先權。
- 對於高優先權之中斷,提供硬體的影子暫存器集(Shadow Set),加快中斷響應時間。



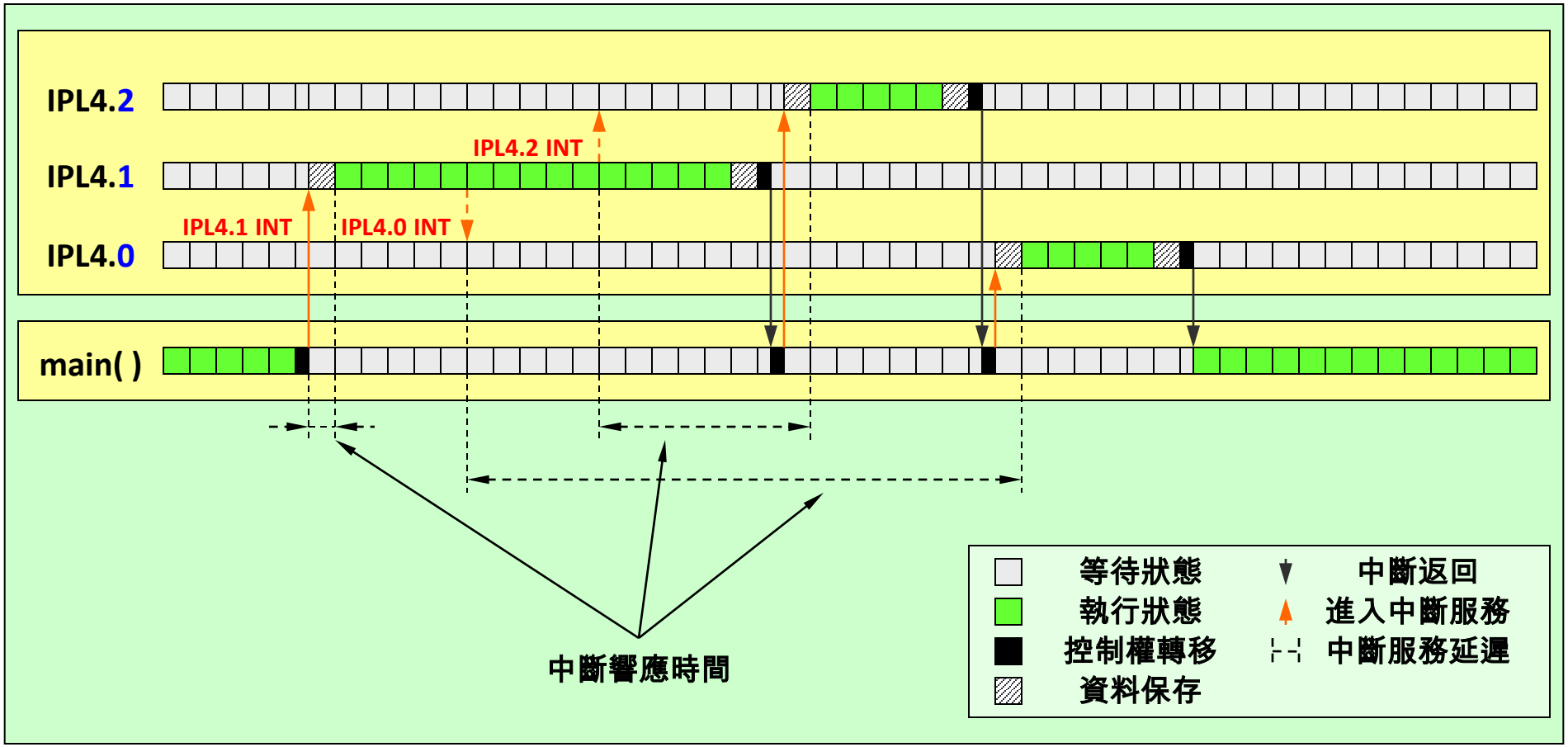
主要優先權 Priority

主要優先權較高者可強佔(Preemptive)執行權



次要優先權 Sub- Priority

中斷執行中不予理會，返回後再執行優先權最高者。



自然優先權 Natural Priority

- 自然優先權(Natural Priority)是仲裁CPU該先服務那個中斷的最後手段。
- 當數個優先權相同的中斷”同時”發生時,由於自訂的優先權無法比較出高低,因此僅能透過自然優先權來仲裁。
- 在PIC32中自然優先權,是根據中斷在中斷向量表中安排的位置而定,位址越低的優先權越高,位址越高的優先權越低。

TABLE 7-1: INTERRUPT IRQ, VECTOR AND BIT LOCATION

Interrupt Source(1)	IRQ #	Vector #	Interrupt Bit Location				Persistent Interrupt
			Flag	Enable	Priority	Sub-priority	
Highest Natural Order Priority							
CT – Core Timer Interrupt	0	0	IFS0<0>	IEC0<0>	IPC0<4:2>	IPC0<1:0>	No
CS0 – Core Software Interrupt 0	1	1	IFS0<1>	IEC0<1>	IPC0<12:10>	IPC0<9:8>	No
CS1 – Core Software Interrupt 1	2	2	IFS0<2>	IEC0<2>	IPC0<20:18>	IPC0<17:16>	No
INT0 – External Interrupt	3	3	IFS0<3>	IEC0<3>	IPC0<28:26>	IPC0<25:24>	No
T1 – Timer1	4	4	IFS0<4>	IEC0<4>	IPC1<4:2>	IPC1<1:0>	No
IC1E – Input Capture 1 Error	5	5	IFS0<5>	IEC0<5>	IPC1<12:10>	IPC1<9:8>	Yes
IC1 – Input Capture 1	6	5	IFS0<6>	IEC0<6>	IPC1<12:10>	IPC1<9:8>	Yes
OC1 – Output Compare 1	7	6	IFS0<7>	IEC0<7>	IPC1<20:18>	IPC1<17:16>	No
INT1 – External Interrupt 1	8	7	IFS0<8>	IEC0<8>	IPC1<28:26>	IPC1<25:24>	No
T2 – Timer2	9	8	IFS0<9>	IEC0<9>	IPC2<4:2>	IPC2<1:0>	No
IC2E – Input Capture 2	10	9	IFS0<10>	IEC0<10>	IPC2<12:10>	IPC2<9:8>	Yes
IC2 – Input Capture 2	11	9	IFS0<11>	IEC0<11>	IPC2<12:10>	IPC2<9:8>	Yes
OC2 – Output Compare 2	12	10	IFS0<12>	IEC0<12>	IPC2<20:18>	IPC2<17:16>	No
INT2 – External Interrupt 2	13	11	IFS0<13>	IEC0<13>	IPC2<28:26>	IPC2<25:24>	No
T3 – Timer3	14	12	IFS0<14>	IEC0<14>	IPC3<4:2>	IPC3<1:0>	No
IC3E – Input Capture 3	15	13	IFS0<15>	IEC0<15>	IPC3<12:10>	IPC3<9:8>	Yes
IC3 – Input Capture 3	16	13	IFS0<16>	IEC0<16>	IPC3<12:10>	IPC3<9:8>	Yes
OC3 – Output Compare 3	17	14	IFS0<17>	IEC0<17>	IPC3<20:18>	IPC3<17:16>	No
INT3 – External Interrupt 3	18	15	IFS0<18>	IEC0<18>	IPC3<28:26>	IPC3<25:24>	No
T4 – Timer4	19	16	IFS0<19>	IEC0<19>	IPC4<4:2>	IPC4<1:0>	No
IC4E – Input Capture 4 Error	20	17	IFS0<20>	IEC0<20>	IPC4<12:10>	IPC4<9:8>	Yes
IC4 – Input Capture 4	21	17	IFS0<21>	IEC0<21>	IPC4<12:10>	IPC4<9:8>	Yes
OC4 – Output Compare 4	22	18	IFS0<22>	IEC0<22>	IPC4<20:18>	IPC4<17:16>	No
INT4 – External Interrupt 4	23	19	IFS0<23>	IEC0<23>	IPC4<28:26>	IPC4<25:24>	No
T5 – Timer5	24	20	IFS0<24>	IEC0<24>	IPC5<4:2>	IPC5<1:0>	No
IC5E – Input Capture 5 Error	25	21	IFS0<25>	IEC0<25>	IPC5<12:10>	IPC5<9:8>	Yes
IC5 – Input Capture 5	26	21	IFS0<26>	IEC0<26>	IPC5<12:10>	IPC5<9:8>	Yes

MICROCHIP
Regional Training Centers

程式架構

- 一個完整的中斷架構程式片斷,必須至少有1+3個部份:
- **啟動多重中斷向量模式:**
  INTEnableSystemMultiVectoredInt( );
- **定義中斷服務常式與原型(Interrupt Service Routine):**
  中斷需求被接受後, CPU會跳至ISR中執行程式, 因此必須針對所啟用的中斷設計ISR。例如:Timer1 TMR1=PR1時, 要Toggle LED。
  XC32使用**void __ISR(vector , ipl*n*) ISR_Function_Name(void);**來設定ISR。
- **設定中斷主要與次要優先權並致能中斷:**
  如開頭所說,中斷必須要被致能, 周邊發出需求時, 才會被CPU接受, 因此必須在啟用中斷時, 將對應的(xxIE)設為"1" 。
  XC32使用**ConfigIntxxxx( );**來設定優先權。
- **初始化周邊模組, 設定發出中斷需求的模式:**
  設定周邊模組要在什麼情形下,發出中斷需求。例如:ADC每次轉換完成後,發出中斷需求。XC32使用**Openxxxx( );**設定周邊模組。

MICROCHIP
Regional Training Centers

Interrupt Service Routine

- 使用XC32建立Timer的中段服務函式。

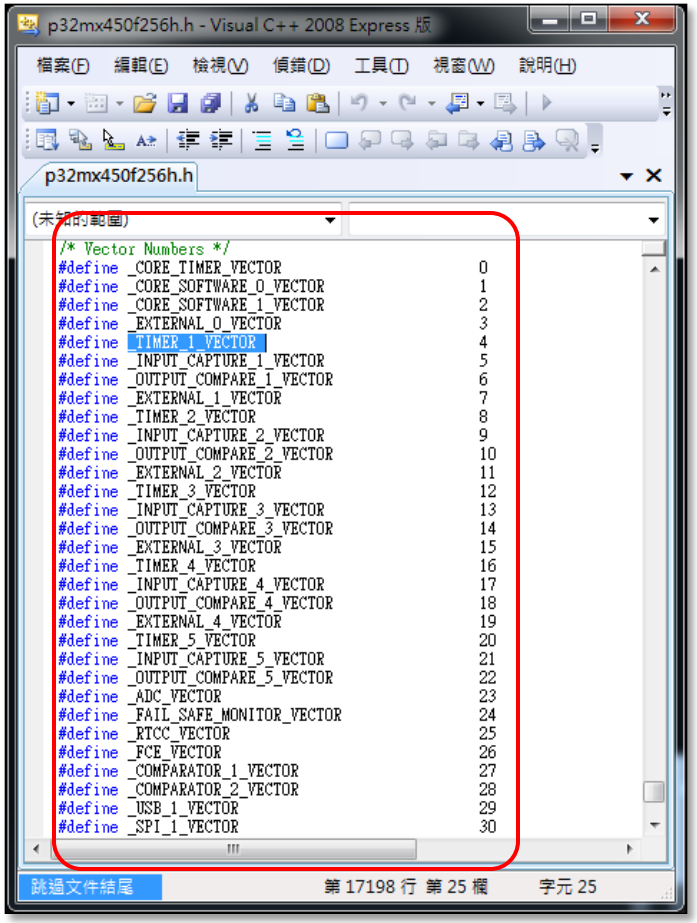
```
Ex: void __ISR(_TIMER_1_VECTOR, ipl4 ) ISR_Timer1( void )
{
   INTClearFlag( INT_T1 );
   ....
}
```

- 宣告一個函式,作為Timer1的中斷服務函式。注意,中斷服務函式不可以有傳入跟傳回值,所以都必須設定為void型態。
- 中斷服務函式,一定要把對應的中斷旗標清除為零。在中斷的架構上, 中斷旗標會由硬體設為"1", 但不會自動清除,必須透過軟體手動清除。

- 為何知道是Timer1的中斷服務函式？

Interrupt Service Routine

- void __ISR(vector , ipl*n*) ISR_Function_Name(void)
  - vector中斷向量編號, 定義在對應的MCU標頭檔中。
    C:\Program Files (x86)\Microchip\xc32\v1.30\pic32mx\include\proc\p32mxxxxxxxx.h
  - ipl*n*:中斷優先權,
    (ipl1~ ipl7,ipl0為關閉中斷) 。
    *ISR所設定之ipl*n*必須與Configxxx();的Priority相同。
  - ISR_Function_Name:函數名稱。
- __ISR的詳細說明可參考
  C:\Program Files (x86)\Microchip\xc32\v1.30\docs\MPLAB-XC32-Users-Guide.pdf



Clear Interrupt

- 進入ISR後,必須清除中斷旗標,
  MPLAB XC32可透過以下方式
  清除中斷旗標:

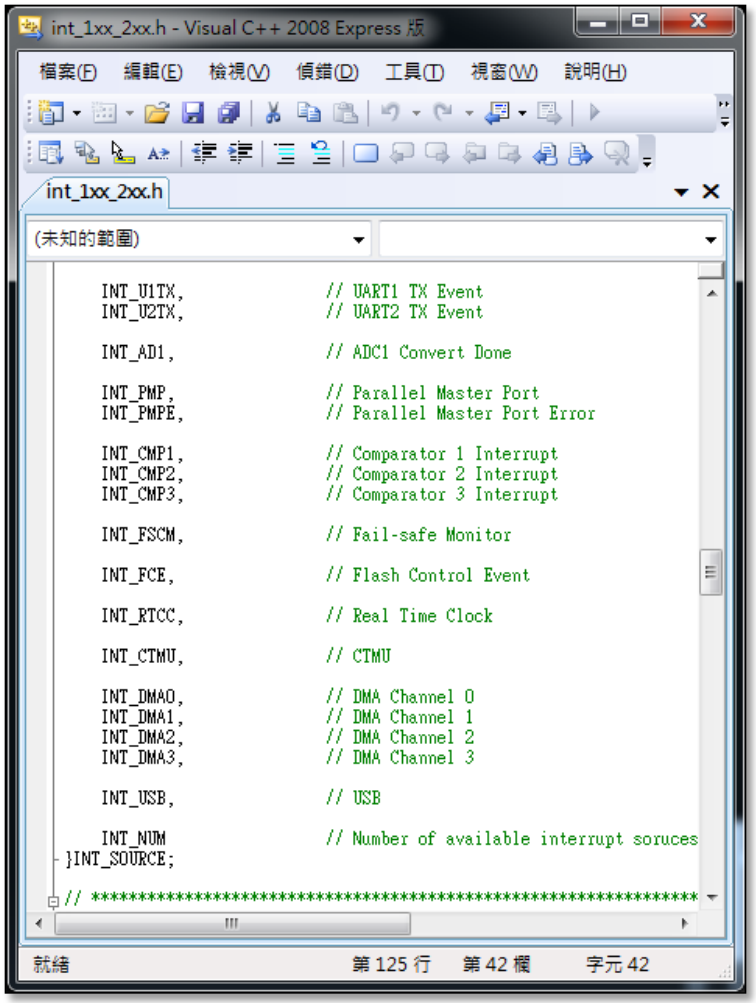
  直接寫入暫存器方式:

  IFS0bits.T1IF = 0;

  使用XC32的清除函數:

  INTClearFlag(yyyy);

  yyyy為XC32為該週邊
  所定義之列舉型別
  (INT_SOURCE)之成員。
  其定義可在int_3xx_4xx.h中找到。



Priority Setup & Enable Interrupt

- XC32 透過以下方式來設定周邊中斷的開啟/關閉及主副優先權。

ConfigIntxxxx (INT ON/OFF | INT_Priority | INT_Sub_Priority);

參數一:開啟 / 關閉該周邊的中斷

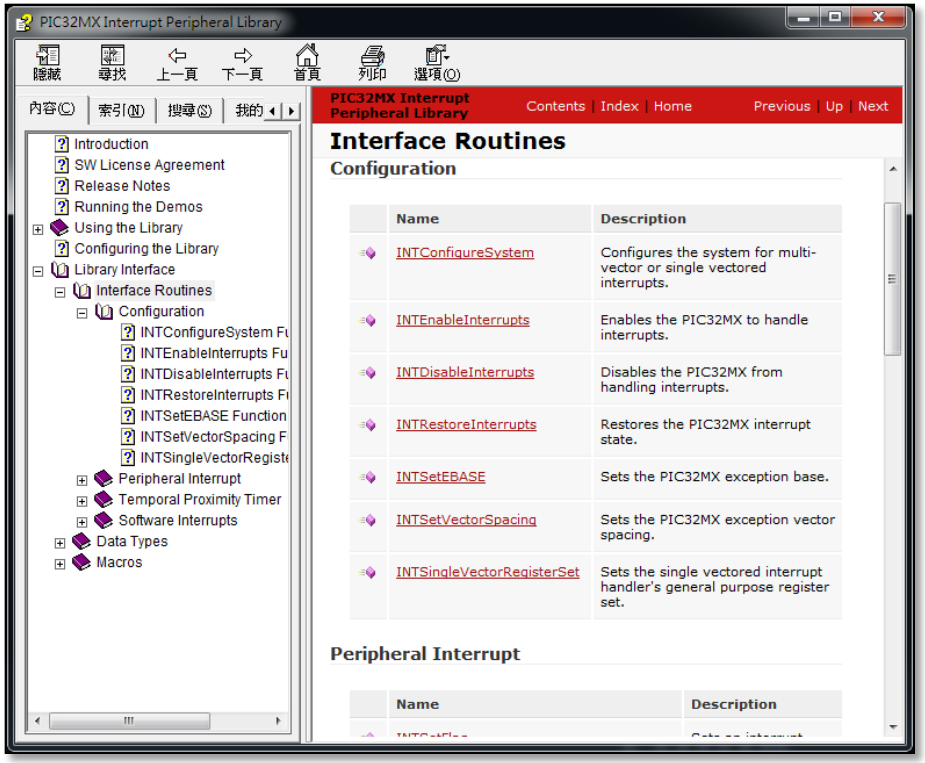
參數二:設定主要中斷優先權等級

參數三:設定次要中斷優先權等級

```
INTSetVectorPriority( INT_UART_3A_VECTOR ,  INT_PRIORITY_LEVEL_5 );
// 設定主要中斷優先權等級。
INTSetVectorSubPriority( INT_UART_3A_VECTOR , INT_SUB_PRIORITY_LEVEL_0 );
// 設定次要中斷優先權等級。
INTEnable( INT_U3ARX , INT_ENABLED );
// 開啟周邊中斷。
```

XC32 Interrupt Function & Macro

- MPLAB XC32提供許多Interrupt Function可供使用。
- INTEnableSystemMultiVectoredInt( );
  INTEnableSystemSingleVectoredInt( );
  INTDisableInterrupts( );
  INTEnableInterrupts( );
  INTClearFlag( );
  INTSetFlag( );
  INTGetFlag( );
  INTSetPriority( );
  INTSetSubPriority( );
  …
- 詳細說明請參閱
  C:\Program Files (x86)\Microchip\xc32\v1.30\docs\pic32-lib-help\hlpINTERRUPT.chm



XC32 G.P. Timers Code Example

```
//建立Timer1的中斷服務函式, 並指定主要中斷優先權為(優先權必須相同)。
void __ISR (_TIMER_1_VECTOR, ipl4 ) ISR_Timer1( void )
{
    // 清除Timer中斷旗標。
    INTClearFlag( INT_T1 );
}
int main ( void )
{
    // 使用XC32 Interrupt Function啟用多重中斷向量模式。
    INTEnableSystemMultiVectoredInt( );
    // 使用XC32 ConfigIntTimer1 Function啟用Timer1中斷, 並指定其主要中斷優先。
    ConfigIntTimer1( T1_INT_ON | T1_INT_PRIOR_4 );
    // 使用XC32 OpenTimer1 Function 設定Timer1。
    OpenTimer1( T1_ON | T1_IDLE_CON | T1_GATE_OFF | T1_PS_1_256 |
    T1_SOURCE_INT , 1000 );
    while( 1 );
}
```

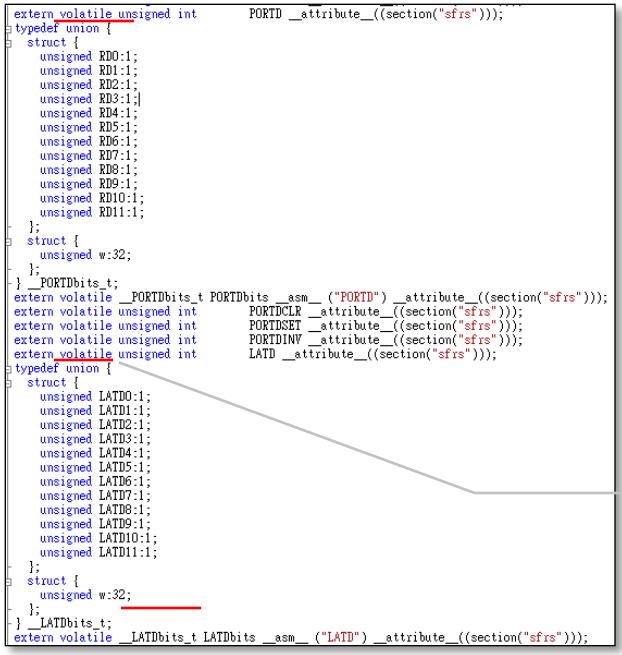
ISR中變數的使用

volatile

- 如果在ISR與主程式中會共用到同一變數,則此變數在宣告時,必須加上*volatile*的關鍵字。

  Ex: *volatile* unsigned Ticks = 0;

- *volatile*關鍵字是用來避免C Compiler在進行最佳化時,將特定變數在最佳化的過程刪除,導致程式的流程出錯。



```
extern volatile unsigned int        PORTD __attribute__((section("sfrs")));
typedef union {
  struct {
    unsigned RD0:1;
    unsigned RD1:1;
    unsigned RD2:1;
    unsigned RD3:1;
    unsigned RD4:1;
    unsigned RD5:1;
    unsigned RD6:1;
    unsigned RD7:1;
    unsigned RD8:1;
    unsigned RD9:1;
    unsigned RD10:1;
    unsigned RD11:1;
  };
  struct {
    unsigned w:32;
  };
} __PORTDbits_t;
extern volatile __PORTDbits_t PORTDbits __asm__ ("PORTD") __attribute__((section("sfrs")));
extern volatile unsigned int        PORTDCLR __attribute__((section("sfrs")));
extern volatile unsigned int        PORTDSET __attribute__((section("sfrs")));
extern volatile unsigned int        PORTDINV __attribute__((section("sfrs")));
extern volatile unsigned int        LATD __attribute__((section("sfrs")));
typedef union {
  struct {
    unsigned LATD0:1;
    unsigned LATD1:1;
    unsigned LATD2:1;
    unsigned LATD3:1;
    unsigned LATD4:1;
    unsigned LATD5:1;
    unsigned LATD6:1;
    unsigned LATD7:1;
    unsigned LATD8:1;
    unsigned LATD9:1;
    unsigned LATD10:1;
    unsigned LATD11:1;
  };
  struct {
    unsigned w:32;
  };
} __LATDbits_t;
extern volatile __LATDbits_t LATDbits __asm__ ("LATD") __attribute__((section("sfrs")));
```

一般變數的最佳化,結果符合原意!

```
B=A;
C=B;
最佳化後
C=A;
```

SFR的最佳化, 結果變成TMR1完全消失,不符合原意!

```
TMR1=A;
C=TMR1;
最佳化後
C=A;
```

!

*所有的SFRs在MCU標頭檔中,都已經宣告為volatile,但記住!自訂的共用變數必須自行加上。

MICROCHIP
Regional Training Centers

Lab7 Timer Interrupt

- 以Lab5的程式基礎, 將原本Polling Timer1中斷旗標的架構, 改成中斷架構, 由中斷服務函式來負責RB13(D5)的Toggle。
- 先閱讀說明文件, 了解Timer Function中, 有關中斷的啟用與優先權設定方式。了解INTEnableSystemMultiVectoredInt( );與ConfigIntTimer1( )的用法。以及中斷服務函式的宣告與撰寫方式。
- 透過Bootloader將程式實際燒錄到MCU中, 用肉眼觀察看看程式執行的情況。

MICROCHIP
Regional Training Centers

Lab7 Timer Interrupt Step

- 程式要如何改才能用改中斷架構？

  先設定PIC32為多重中斷架構(INTEnableSystemMultiVectoredInt( );)。
  加入Timer1的中斷服務常式。將RB13的Toggle程式移入ISR中,
  記住還必須清除T1IF(INTClearFlag(INT_T1);)。
  利用ConfigIntTimer1( )啟用中斷, 設定優先權。中斷優先權設定為”4” 。
  將主程式的片段刪除,只留下while(1),主程式完全不做事情,
  RB13的Toggle的功能也不再在主程式內執行。主程式啥時都不做, 只等待Timer1中斷發生。