MICROCHIP

*Regional Training Centers*

# Section 8
# 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, etc.., 都可以打斷CPU。這些中斷來源在16-Bits MCU中被區分為兩大類:
  **Interrupt:一般周邊產生的中斷來源,**
  **如上述的Timer, ADC, UART, SPI, 外部中斷, etc..。**
  **Trap:或稱的不可遮罩中斷(NMI),**
  **這類型的中斷發生,代表著某些可能危害程式運行的狀況出現,**
  **如除"0",Stack Overflow / Underflow等。**

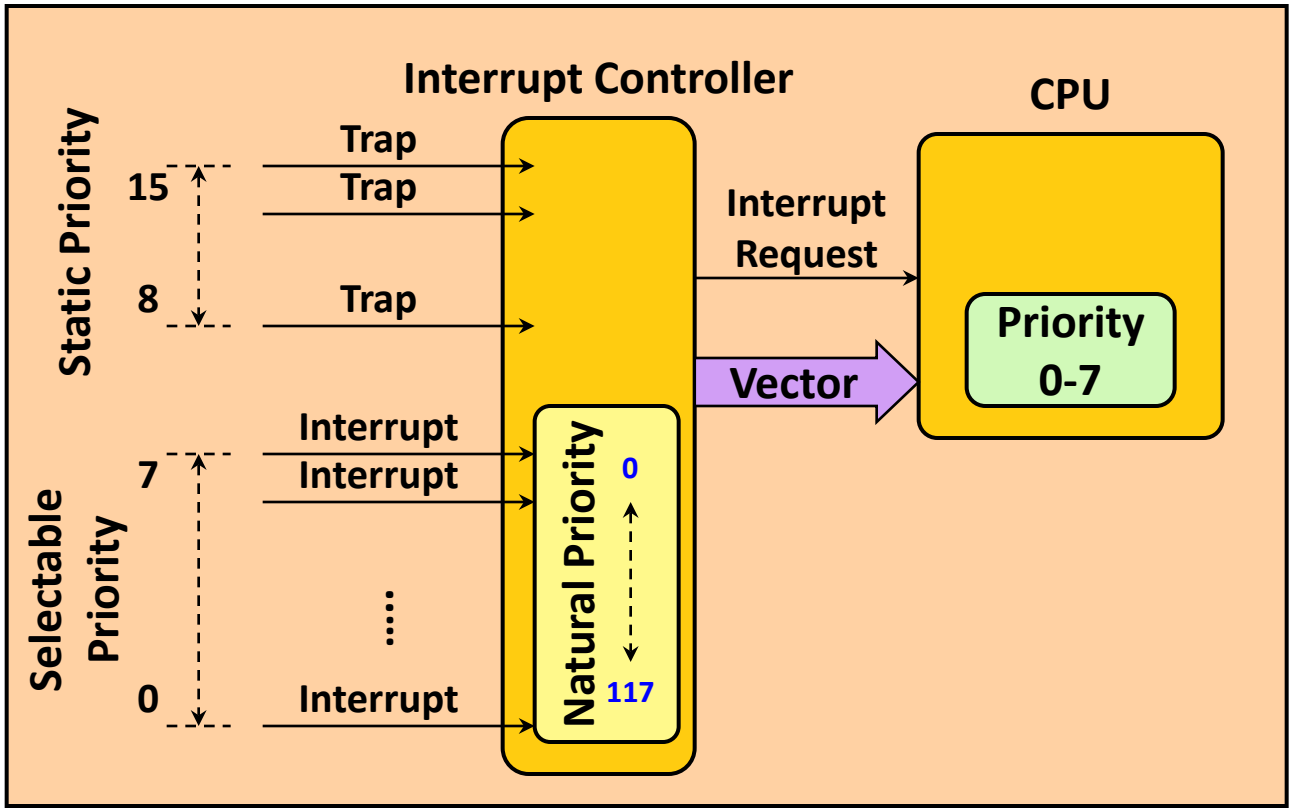
MICROCHIP
Regional Training Centers

# What's Interrupt ?

- 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。**
- Trap的發生代表著某些可能危害程式運行的狀況出現,因此Trap是無法拒絕的,CPU一定必須接受。
  16-Bits dsPIC MCU定義以下幾種Trap :
  Stack Error, Oscillator Fail Error,
  Address Error, Math Error, DMA Error。

# 16-Bits Interrupt Architecture

- 16-Bits的中斷架構,如圖所示。16-Bits MCU支援巢狀中斷,也就是中斷可以設定優先權, 優先權高的可以打斷低的。
- Interrupt的優先權可以自行設定, 0~7(IPCx)。
- Trap則固定為8~15, 每個Trap都有固定的優先權。
- 另外CPU本身也有優先權0-7 。



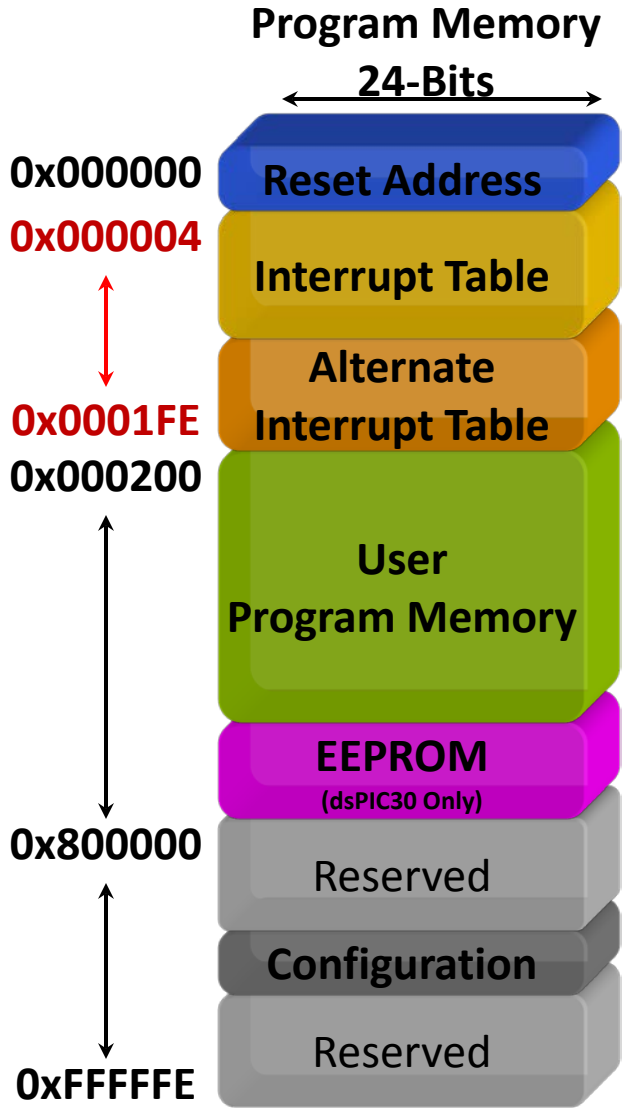
MICROCHIP
Regional Training Centers

# 16-Bits Interrupt Architecture

- **在16-Bits MCU的中斷架構中, 要使中斷條件成立, 除了前述的xxIF跟xxIE都必須為1以外, 中斷(Interrupt)的優先權還必需大於CPU的優先權才可以成立。**
- 因為CPU最大的優先權可以設定到7, 但Trap從8開始, 這也說明了為何CPU無法拒絕Trap。
- CPU的優先權設定位元(IPL)在狀態暫存器的Bit7-Bit5(SRL <7:5> )。中設定。 bits 透過更改CPU的優先權設定位元(IPL)的值, 可以抑制較低優先權的中斷發生(IPL=7, Disable All Interrupt)。當中斷發生時, 舊的CPU優先權(IPL)會被自動存到堆疊裡保存起來。
- **當兩個相同優先權的中斷”同時”發生時,CPU要先服務誰?**

# Interrupt Vector Table

- 16-Bits MCU將中斷向量表(IVT), 設定在程式記憶體中0x000004-0x0001FE的區域。當中斷服務常式宣告成功後, Linker就會將中斷服務常式的進入點, 填入中斷向量表中。
- 中斷發生時, 如果中斷被致能, CPU就會先到中斷向量表(IVT)中取出, 對應中斷的中斷服務常式的進入點, 接著跳躍到ISR中。



# Natural Priority

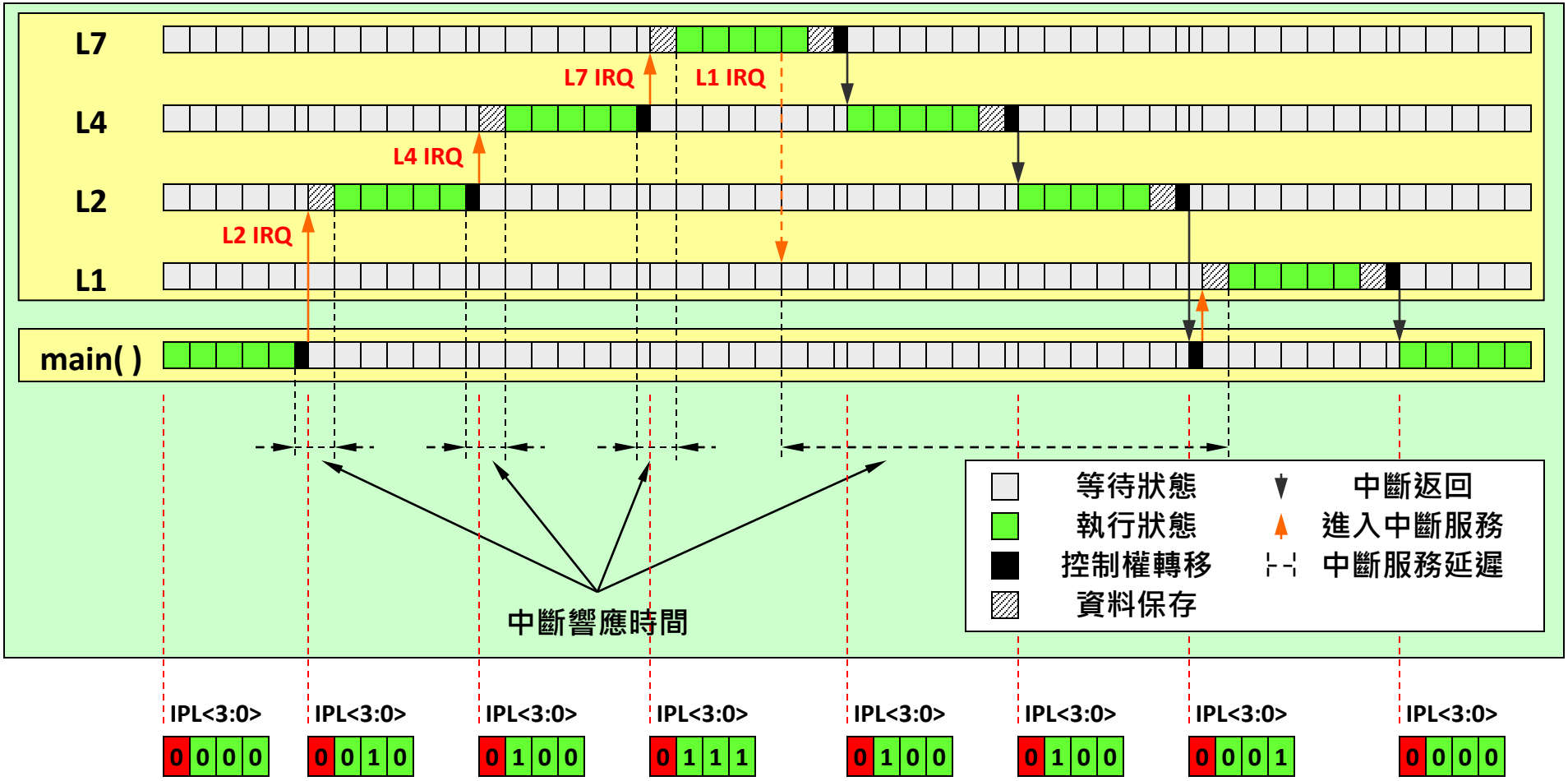
- 自然優先權(Natural Priority)是仲裁CPU該先服務那個中斷的最後手段。
- **當數個優先權相同的中斷“同時“發生時,由於自訂的優先權無法比較出高低,因此僅能透過自然優先權來仲裁。**
- 在16-Bits MCU中自然優先權, 是根據中斷在中斷向量表中安排的位置而定, 位址越低的優先權越高, 位址越高的優先權越低。

| Vector Number | IVT Address | AIVT Address | Interrupt Source |
|---|---|---|---|
| 0 | 0x000004 | 0x000104 | Reserved |
| 1 | 0x000006 | 0x000106 | Oscillator Failure |
| 2 | 0x000008 | 0x000108 | Address Error |
| 3 | 0x00000A | 0x00010A | Stack Error |
| 4 | 0x00000C | 0x00010C | Math Error |
| 5 | 0x00000E | 0x00010E | DMA Error |
| 6 | 0x000010 | 0x000110 | Reserved |
| 7 | 0x000012 | 0x000112 | Reserved |
| 8 | 0x000014 | 0x000114 | INT0 – External Interrupt 0 |
| 9 | 0x000016 | 0x000116 | IC1 – Input Capture 1 |
| 10 | 0x000018 | 0x000118 | OC1 – Output Compare 1 |
| 11 | 0x00001A | 0x00011A | T1 – Timer1 |
| 12 | 0x00001C | 0x00011C | DMA0 – DMA Channel 0 |
| 13 | 0x00001E | 0x00011E | IC2 – Input Capture 2 |
| 14 | 0x000020 | | |
| 15 | 0x000022 | | |
| 16 | 0x000024 | | |
| 17 | 0x000026 | | |
| 18 | 0x000028 | | |
| 19 | 0x00002A | | |
| 20 | 0x00002C | | |
| 21 | 0x00002E | | |
| 22 | 0x000030 | | |
| 23 | 0x000032 | | |
| 24 | 0x000034 | | |
| 25 | 0x000036 | | |
| 26 | 0x000038 | | |
| 27 | 0x00003A | | |
| 28 | 0x00003C | | |
| 29 | 0x00003E | | |

| | | |
|---|---|---|
| Reset – GOTO Instruction | 0x000000 | |
| Reset – GOTO Address | 0x000002 | |
| Reserved | 0x000004 | |
| Oscillator Fail Trap Vector | | |
| Address Error Trap Vector | | |
| Stack Error Trap Vector | | |
| Math Error Trap Vector | | |
| DMA Error Trap Vector | | |
| Reserved | | |
| Reserved | | |
| Interrupt Vector 0 | 0x000014 | Interrupt Vector Table (IVT)(1) |
| Interrupt Vector 1 | | |
| ~ | | |
| ~ | | |
| ~ | | |
| Interrupt Vector 52 | 0x00007C | |
| Interrupt Vector 53 | 0x00007E | |
| Interrupt Vector 54 | 0x000080 | |
| ~ | | |
| ~ | | |
| ~ | | |

MICROCHIP
Regional Training Centers

# Interrupt Flow



MICROCHIP
Regional Training Centers

# Coding for Interrupt

- 一個完整的中斷架構程式片斷, 必須至少有三個部份:
- 中斷服務常式(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:Timer計數時, 要Toggle LED。
  在MPLAB XC16中, 透過 **__attribute__ (( interrupt, auto_psv ))** 來指定ISR。
- 設定中斷優先權, 開啟中斷:
  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”。
- 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。

MICROCHIP
Regional Training Centers

# Interrupt Support for XC16

- MPLAB XC16透過attribute來指定ISR。

```
Ex: void __attribute__(( interrupt , auto_psv )) _T1Interrupt( void )
{
   IFS0bits.T1IF = 0;
   ....
}
```

- 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。**
- **如何得知該中斷服務函式是Timer1的？**

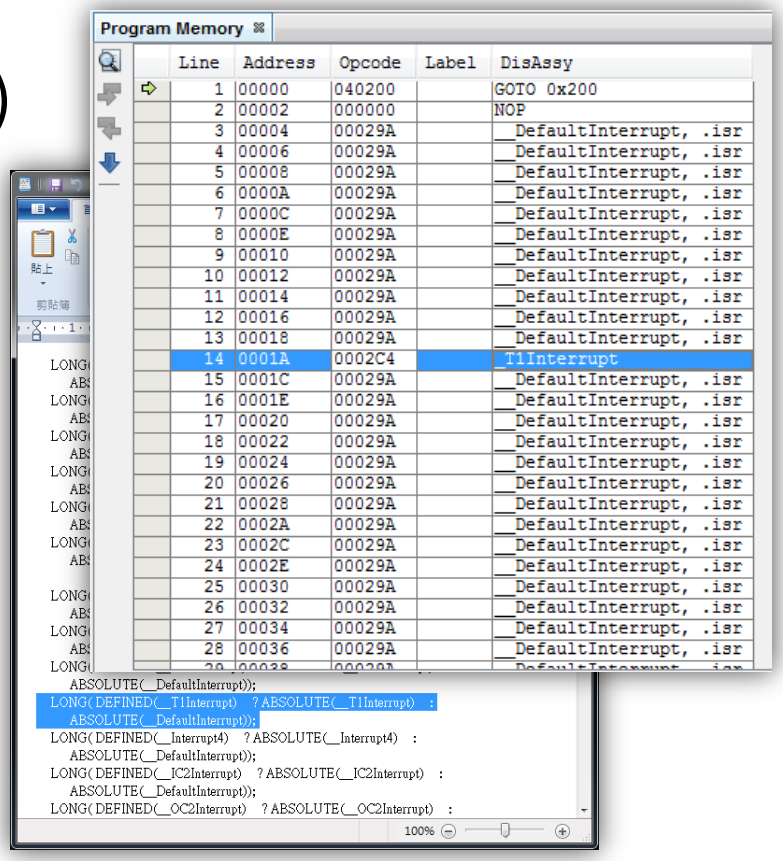
# Interrupt Support for XC16

- MPLAB XC16中規定了所有中斷服務函式的名稱, 每個中斷都有專屬的名稱。宣告ISR時,名稱必須一模一樣。
- 中斷服務函式的名稱可以開啟對應MCU的連結檔(Linker Script, *.gld)來尋找。
- 宣告的 ISR名稱不同時會出現Warning的提示。 如果宣告成功, Linker會自動將對應ISR的位址填入中斷向量表中。

  **透過MPLAB X IDE 功能表**

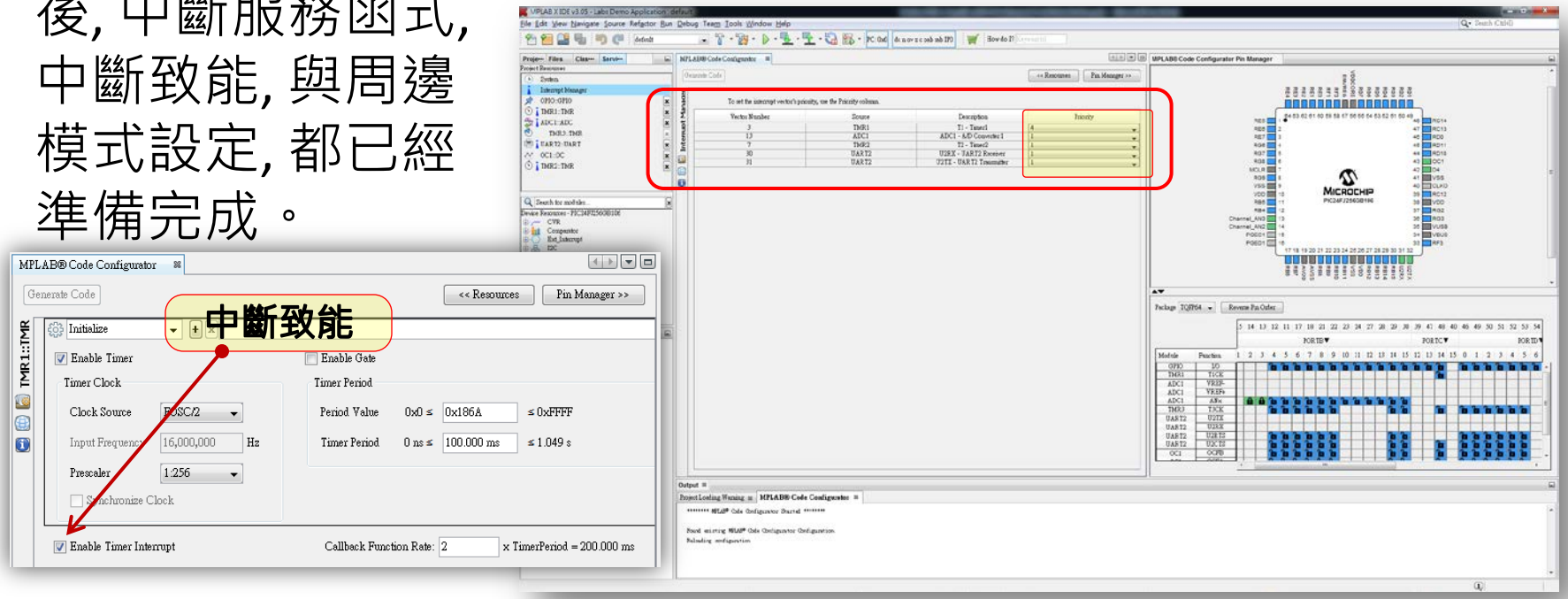
  **▸ Window ▸ PIC Memory Views**

  **▸ Program Memory** 看到安排細節。



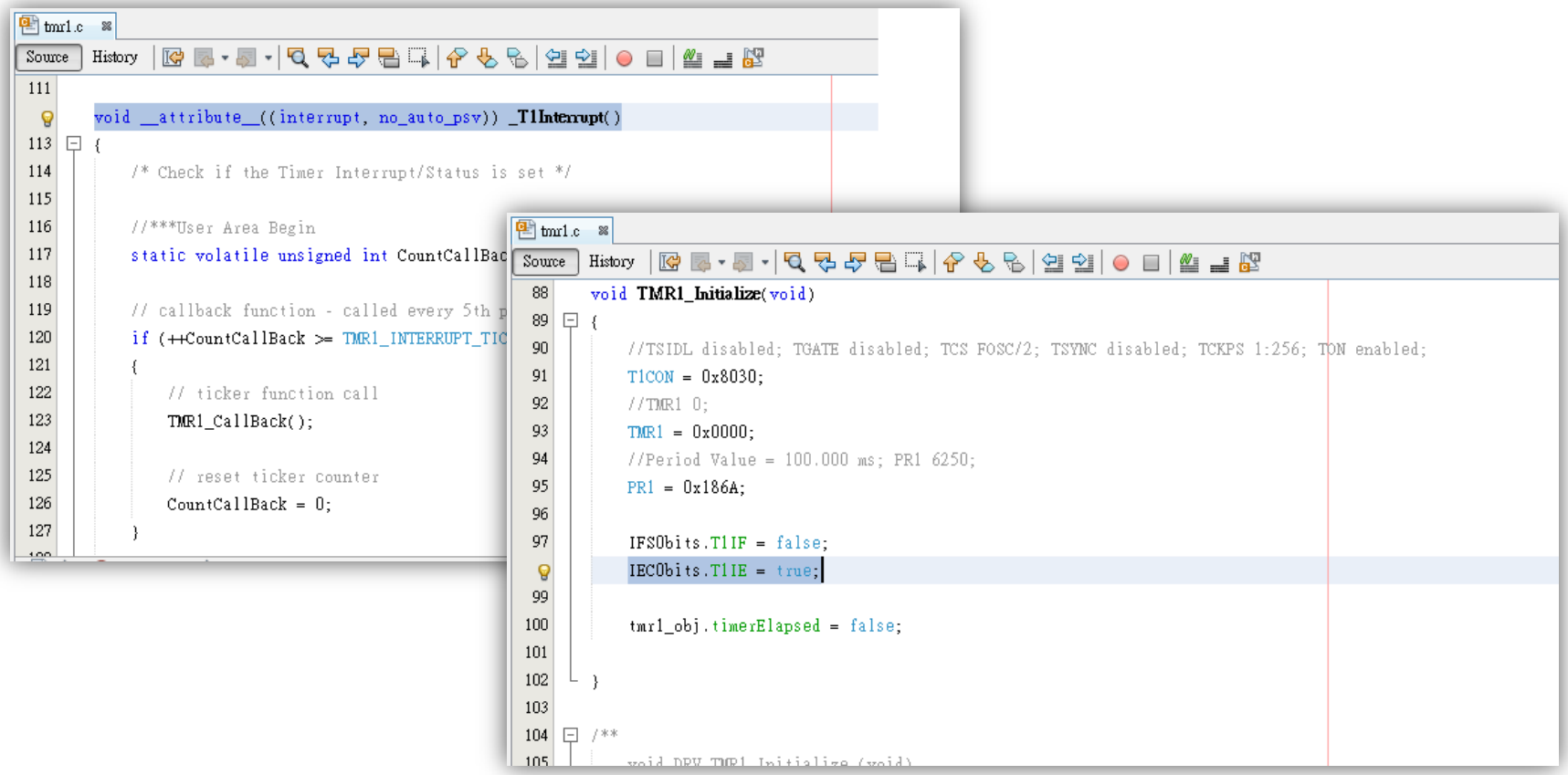
# MCC's Interrupt Manager

- 在MCC只要開啟任何一個周邊的中斷(xxIE = 1), 此時**Interrupt Manager**(中斷管理器)就會自動加入。在**Interrupt Manager**中可以檢視目前開啟的中斷, 也可以設定中斷的優先權。
- 執行 **Generate Code** 後, 中斷服務函式, 中斷致能, 與周邊模式設定, 都已經準備完成。



# MCC's Interrupt Function

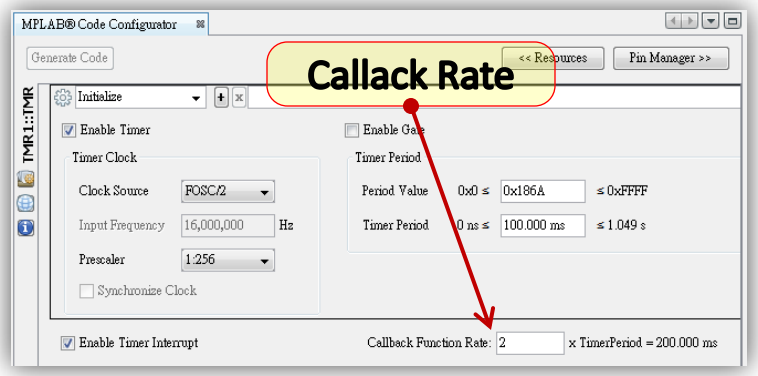
- 以Timer1為例, MCC會自動產生ISR。在初始化函式中也會一併開啟中斷(中斷致能)。



# Timer's Callback Function

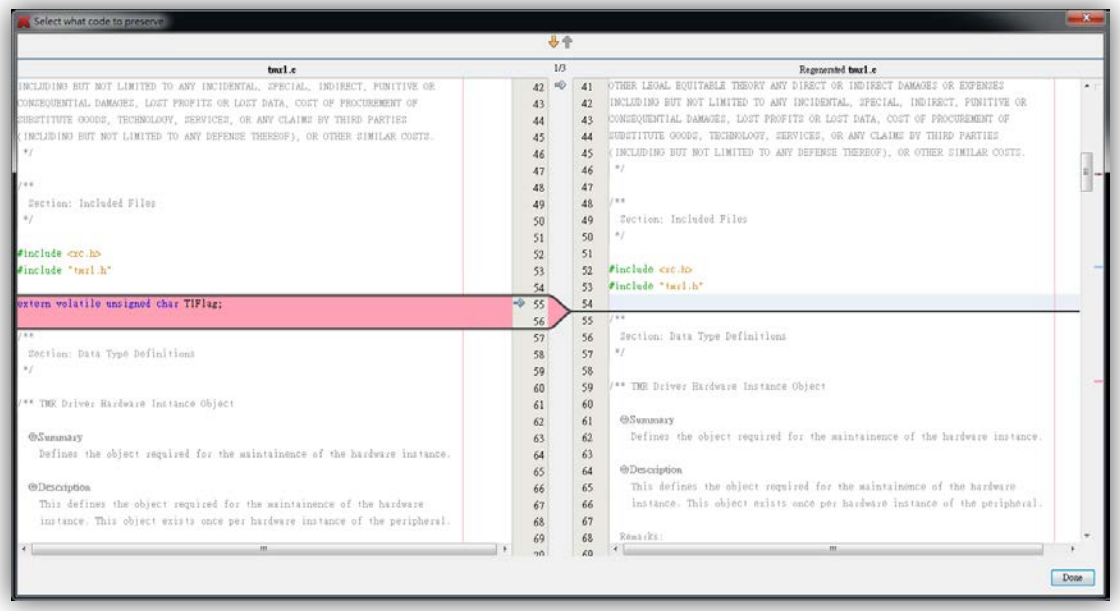
- 開啟Timer中斷後, MCC會自動產生Callback Function。Callback Function在這裡可以看成軟體Timer，用來計算中斷的發生次數。
- 從Timer1的ISR中, 可以看出作用。透過累加CountCallBack變數, 可以計算中斷發生的次數, 達到設定的次數後, TMR1_CallBack( ) Function會被呼叫。
- 舉例來說, 如果Timer1設定為100ms發生中斷, Callback Rate設定為"2"。則TMR1_CallBack( )每200ms(100ms x 2)會被呼叫一次。

```
void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T1Interrupt()
{
    static volatile unsigned int CountCallBack = 0;

    if (++CountCallBack >= TMR1_INTERRUPT_TICKER_FACTOR)
    {
        TMR1_CallBack();
        CountCallBack = 0;
    }
    tmr1_obj.count++;
    tmr1_obj.timerElapsed = true;
    IFS0bits.T1IF = false;
}
```



# SubVersion's Version Control

- 透過MCC輔助的過程中, 我們會來回在MCC與程式碼之間反覆修改, 已達成目的。有時候也必須更進一步的修改MCC內部的程式碼。
- Version Control是一個輔助工具, 用來比較程式版本的差異。當我們修改了一份MCC的檔案後, 再次使用MCC產生新的檔案, 企圖覆蓋原先的檔案時, 就會出現提示。此時可以根據實際的需求, 決定最終要保留那份內容。也可透過插入或刪去, 來合併兩份檔案的內容。



# vloatile Qualification

- **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 int 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! | SFR的最佳化, 結果變成TMR1完全消失,不符合原意! |
|---|---|
| B=A;<br>C=B;<br>最佳化後<br>C=A; | TMR1=A;<br>C=TMR1;<br>最佳化後 !<br>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。

# Lab5 Timer1 Interrupt

目 標

- 嘗試透過MCC的設定, 將Lab4的架構改為Timer Interrupt。將**Timer1**的中斷優先權修改為”4”, 並初始化Interrupt Manager。
- 將原本Polling Timer1中斷旗標的架構, 改成Interrupt架構, 由中斷服務函式(ISR)來負責LED的控制。
- 修改**Timer1**, 讓LED Toggle的時間間隔設定為200mS。

- 該如何開始?

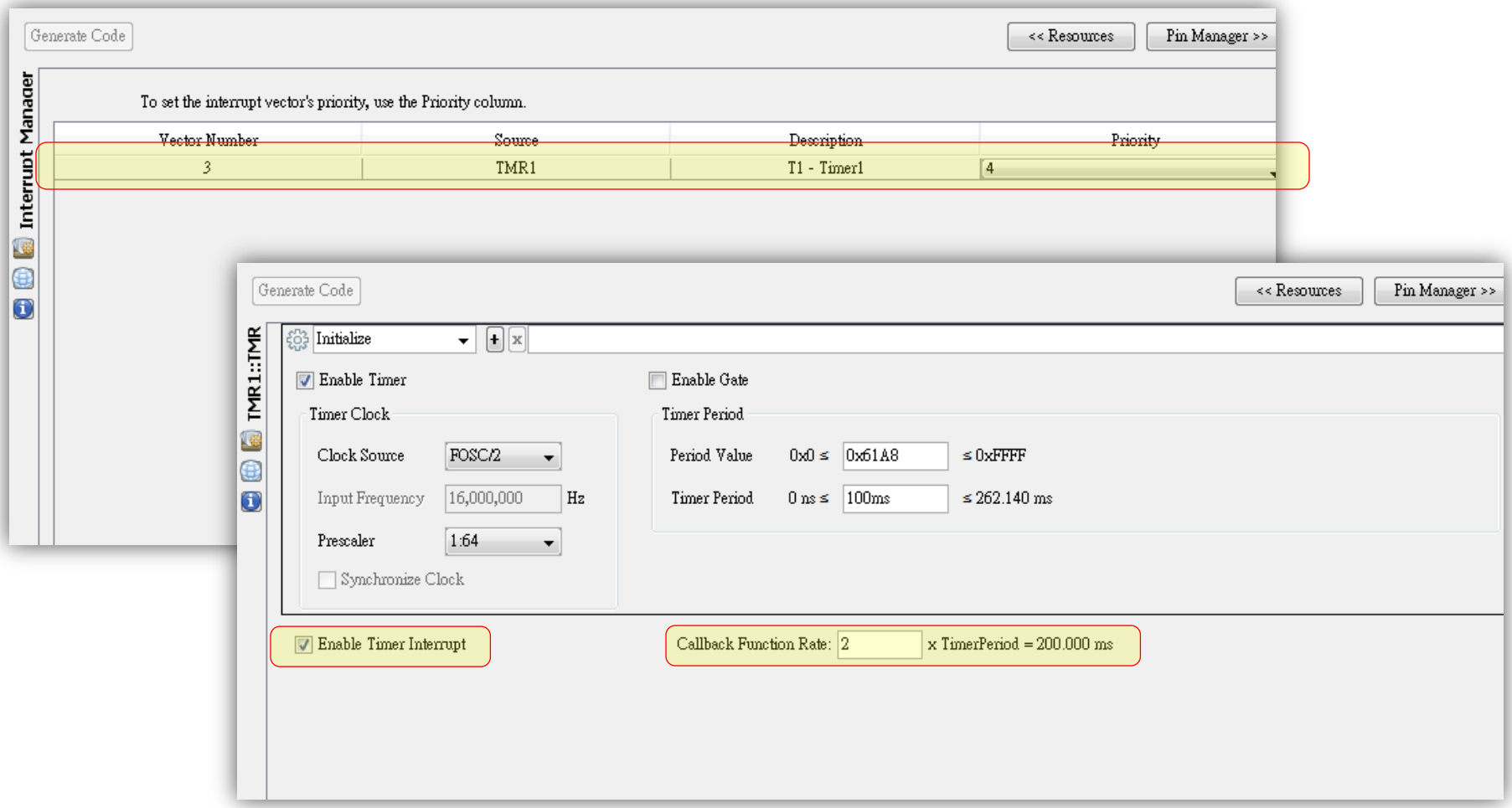
MICROCHIP
Regional Training Centers

# Lab5 Timer1 Interrupt Step

- 開啟既有專案(C:\Exercises\Lab5 Timer1 Interrupt.x)
- 接著開啟開啟MCC, 修改**Timer1**資源, 開啟中斷需求, 並確認**Interrupt**資源的設定。

# Lab5 Timer1 Interrupt

# MCC's Setting



MICROCHIP
Regional Training Centers

# Lab5 Timer1 Interrupt Code Example

**tmr1.c**

```
extern volatile unsigned char T1Flag;

void TMR1_CallBack(void)
{
   T1Flag = 1;
}
```

**main.c**

```
volatile unsigned char T1Flag = 0;

 while (1)
{
   if (T1Flag)
   {
      T1Flag = 0;
      //LEDs Toggle
   }
}
```

MICROCHIP
Regional Training Centers

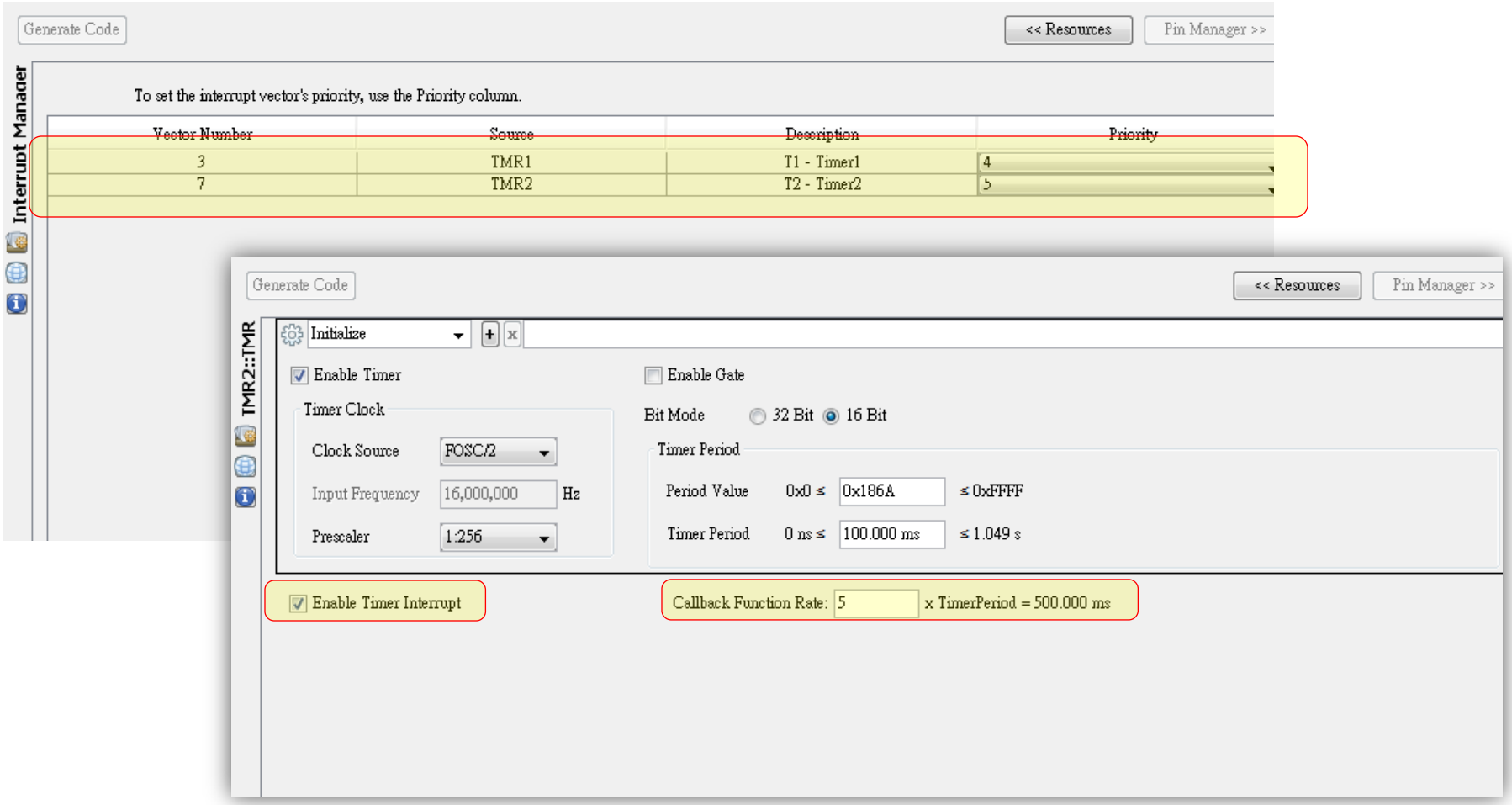
# Lab6 Multi-Timer Interrupt

## 目 標

- 嘗試在Lab5的程式架構上, 多增加**Timer2**的中斷。**將Timer2的中斷優先權修改為**”5”。
- **Timer1**控制RD8(D4), RD9(D5)每200mS Toggle一次, **Timer2**控制(RD10(LED3), RD11(LED4)每500mS Toggle一次。

# Lab6 Multi-Timer Interrupt

# MCC's Setting



MICROCHIP
Regional Training Centers

# Lab6 Multi-Timer Interrupt Code Example

**tmr1.c**

```
extern volatile unsigned char T1Flag;

void TMR1_CallBack(void)
{
   T1Flag = 1;
}
```

**tmr2.c**

```
extern volatile unsigned char T2Flag;

void TMR2_CallBack(void)
{
   T2Flag = 1;
}
```

**main.c**

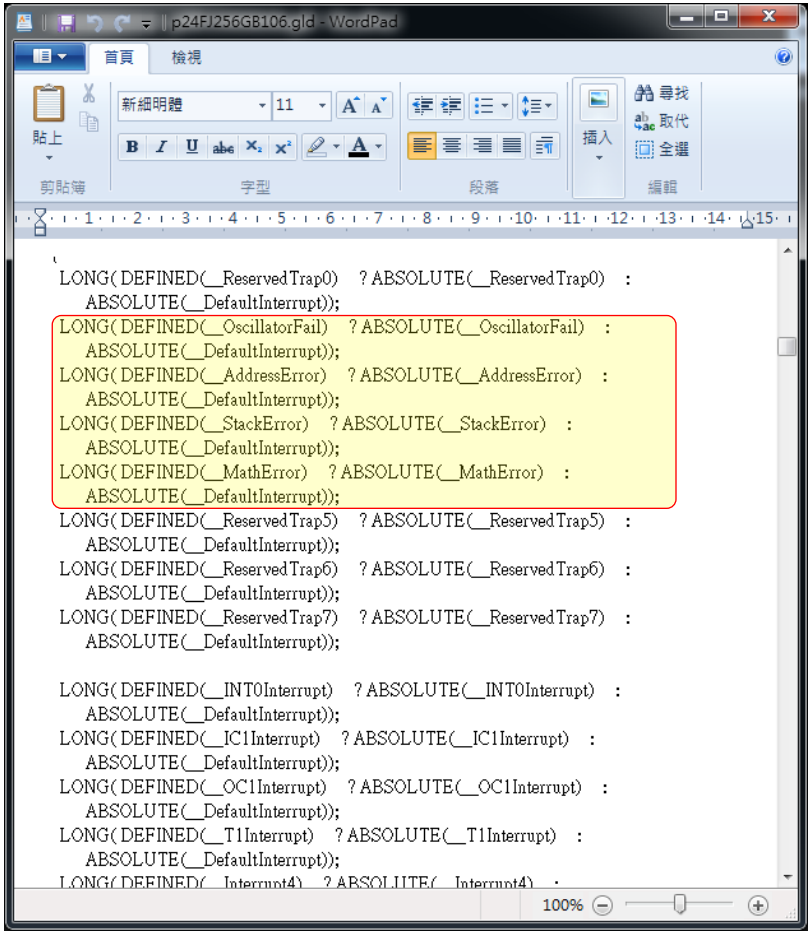
```
volatile unsigned char T1Flag = 0;
volatile unsigned char T2Flag = 0;

 while (1)
{
   if (T1Flag)
   {
      T1Flag = 0;
      //LEDs Toggle
   }
   if (T21Flag)
   {
      T2Flag = 0;
      //LEDs Toggle
   }
}
```

MICROCHIP
Regional Training Centers

Option !

# Trap Service Routine

- Trap Service Routine, TSR沒有宣告時, 會套用DefaultInterrupt( ), 當Trap發生時,直接Reset CPU。
- 我們可對每個Trap都改寫自訂的Trap Service Routine,如此一來, 當Trap發生時,就會跳到各自的Trap Service Routine,而不會直接Reset CPU。
- MPLAB XC16中對Trap Service Routine名字的定義,一樣可以在MCU的連結檔(Linker Script, *.gld)找到。
- **MCC目前尚未支援TSR產生。**



MICROCHIP
Regional Training Centers

*Option !*

# Trap Service Routine

- 目前尚未支援TSR產生。所以如果需要, 必須自行撰寫程式碼。
  宣告方式跟一般的ISR宣告方式一樣, 只是名字改成*_DefaultInterrupt*。
  E.g.:
  ***Default Interrupt ISR***

```
void __attribute__(( interrupt , auto_psv )) _DefaultInterrupt( void )
{
   while( 1 );
}
```

- **改寫_DefaultInterrupt( )有何好處?**
  預設的_DefaultInterrupt( ), 在發生非預期中斷時, 會直接Reset,
  這樣便成無法觀察MCU發生什麼事情, 只知道系統Reset。
  如果改寫成上面的程式, 當程式停在while( 1 )時就知道有問題了,這時候可以透過除錯工具, 去檢查相關暫存器, 確認問題。

*Option !*

# Trap Service Routine

- 也可以針對個別的Trap撰寫TSR。宣告方式也跟一般的ISR宣告方式一樣, 都是修改名字即可。

  E.g.:

  ***Stack Error TSR***

```
void __attribute__(( interrupt , auto_psv )) _StackError( void )
{
   while( 1 );
}
```

- **改寫Stack Error Trap Service Routine有何好處?**

  改寫成上面的程式, 當程式停在while( 1 )時可以馬上知道發生了Stack Error的錯誤。這時候可以透過除錯工具, 去檢查相關暫存器, 確認問題。