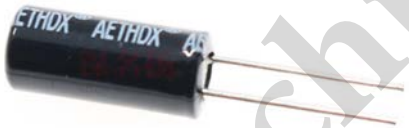
Chap 6

中斷

使用的 I/O 裝置

按鈕開關



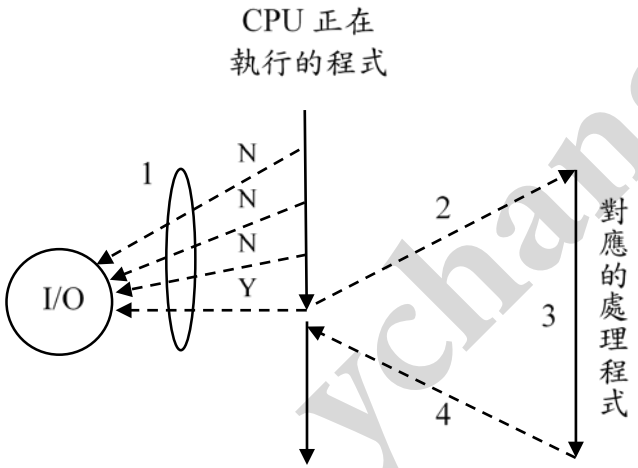
傾斜/滾珠開關

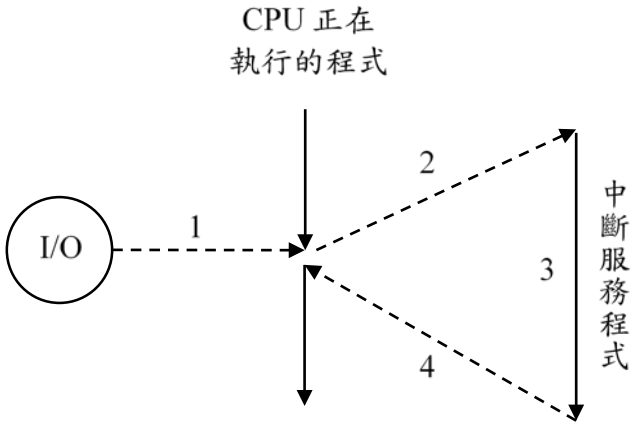
高感度
麥克風感測器模組

4x4 薄膜鍵盤

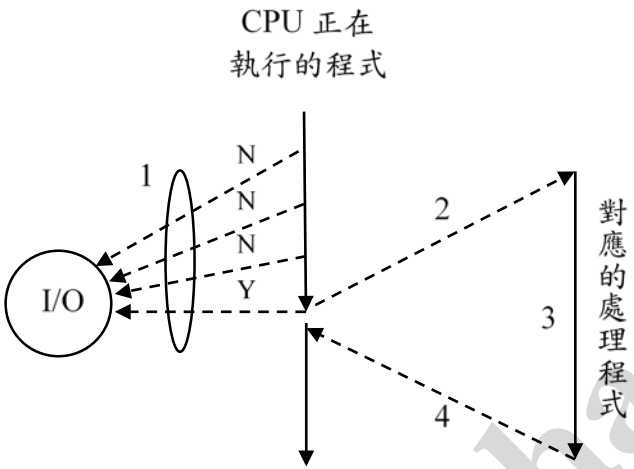
6-1 I/O事件的處理

- 一般而言處理器在執行程式時如果需要與I/O或其他周邊設備進行溝通，通常有二種方法可以使用，分別為輪詢（polling）與中斷（interrupt），這二種方法各有其優缺點，依據應用程式的特性可適用在不同的狀況需求。



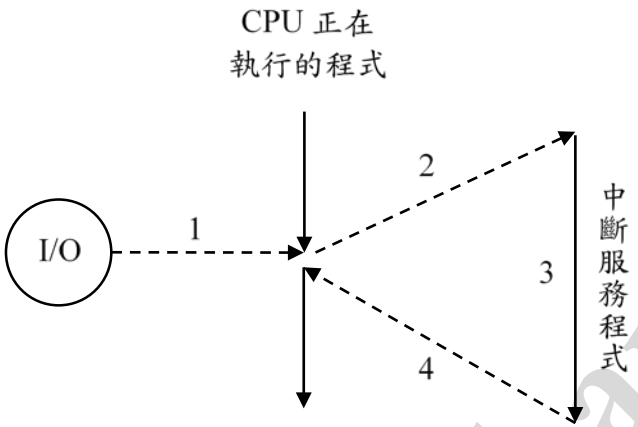


6-1 輪詢（Polling）



1. 處理器會不斷的詢問（正確的說法應該是檢查）I/O的狀態，可以是連續不斷也可以是間隔一段時間的檢查，直到I/O已完成工作或是滿足某特定的條件。。
2. 一旦I/O的狀態或條件符合，CPU就會立刻暫停現在正在執行的程式或工作，優先執行預先寫好的處理程式。
3. 執行對應的處理程式，一般而言沒有固定的格式，可以是程式片段也可以是副程式，以完成I/O事件的服務。
4. 返回並且繼續執行原來的程式或工作。

6-1 中斷（Interrupt）



1. I/O已完成工作或是滿足某特定的條件就會引發中斷，通知處理器有中斷事件的發生，這時候處理器是處於被動告知的角色。
2. 處理器在收到中斷訊號後，會先暫停現在正在執行的程式或工作，根據中斷的來源查詢中斷向量表，執行預設的中斷服務程式。
3. 執行對應的中斷服務程式，以完成I/O事件的服務。
4. 返回並且繼續執行原來的程式或工作。

6-2 Arduino UNO的中斷

Arduino UNO 開發板（ATmega328P）中總共有 26 個中斷，範圍涵蓋了下列功能：

- I/O 接腳訊號變化的偵測
- 看門狗定時器（watchdog timer）
- 一般定時器的中斷
- SPI（Serial Peripheral Interface）串列週邊介面資料傳輸
- I2C（Inter IC）IC 間資料傳輸
- USART（Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter）通用同步/非同步收發傳輸器資料傳輸
- ADC（Analog-to-Digital Converter）類比數位訊號轉換
- EEPROM 記憶體存取
- Flash 記憶體存取

6-2 Arduino UNO的中斷 1/4

表 6.1 Arduino UNO（ATmega328P）的中斷

中斷向量編號	程式位址	中斷 ISR(中斷服務程序名稱)	功能描述
1	0x0000	RESET	Power-on Reset and Watchdog System Reset 電源重置與看門狗系統重置
2	0x0002	INT0 (INT0_vect)	External Interrupt Request 0 (pin D2) 使用在 D2 接腳的外部中斷要求 0
3	0x0004	INT1 (INT1_vect)	External Interrupt Request 1 (pin D3) 使用在 D3 接腳的外部中斷要求 1
4	0x0006	PCINT0 (PCINT0_vect)	Pin Change Interrupt Request 0 (pins D8 to D13) 接腳 D8 到 D13 的電壓準位改變中斷要求 0
5	0x0008	PCINT1 (PCINT1_vect)	Pin Change Interrupt Request 1 (pins A0 to A5) 接腳 A0 到 A5 的電壓準位改變中斷要求 1
6	0x000A	PCINT2 (PCINT2_vect)	Pin Change Interrupt Request 2 (pins D0 to D7) 接腳 D0 到 D7 的電壓準位改變中斷要求 2
7	0x000C	WDT (WDT_vect)	Watchdog Time-out Interrupt 看門狗 timeout 中斷

6-2 Arduino UNO的中斷 2/4

8	0x000E	TIMER2 COMPA (TIMER2_COMPA_vect)	Timer/Counter2 Compare Match A Timer2 定時器的比較相符中斷 A
9	0x0010	TIMER2 COMPB (TIMER2_COMPB_vect)	Timer/Counter2 Compare Match B Timer2 定時器的比較相符中斷 B
10	0x0012	TIMER2 OVF (TIMER2_OVF_vect)	Timer/Counter2 Overflow Timer2 定時器的溢位中斷
11	0x0014	TIMER1 CAPT (TIMER1_CAPT_vect)	Timer/Counter1 Capture Event Timer1 定時器的輸入比較相符中斷
12	0x0016	TIMER1 COMPA (TIMER1_COMPA_vect)	Timer/Counter1 Compare Match A Timer1 定時器的比較相符中斷 A
13	0x0018	TIMER1 COMPB (TIMER1_COMPB_vect)	Timer/Counter1 Compare Match B Timer1 定時器的比較相符中斷 B
14	0x001A	TIMER1 OVF (TIMER1_OVF_vect)	Timer/Counter1 Overflow Timer1 定時器的溢位中斷
15	0x001C	TIMER0 COMPA (TIMER0_COMPA_vect)	Timer/Counter0 Compare Match A Timer0 定時器的比較相符中斷 A

6-2 Arduino UNO的中斷 3/4

16	0x001E	TIMER0 COMPB (TIMER0_COMPB_vect)	Timer/Counter0 Compare Match B Timer0 定時器的比較相符中斷 B
17	0x0020	TIMER0 OVF (TIMER0_OVF_vect)	Timer/Counter0 Overflow Timer0 定時器的溢位中斷
18	0x0022	SPI STC (SPI_STC_vect)	SPI Serial Transfer Complete SPI 串列週邊介面資料傳輸完成
19	0x0024	USART RX (USART_RX_vect)	USART Rx Complete USART 接收資料完成
20	0x0026	USART UDRE (USART_UDRE_vect)	USART Data Register Empty USART 資料暫存器是空的，沒有資料
21	0x0028	USART TX (USART_TX_vect)	USART Tx Complete USART 傳送資料完成
22	0x002A	ADC (ADC_vect)	ADC Conversion Complete 類比數位訊號轉換完成

6-2 Arduino UNO的中斷 4/4

23	0x002C	EE READY (EE_READY_vect)	EEPROM Ready EEPROM 記憶體準備就緒
24	0x002E	ANALOG COMP (ANALOG_COMP_vect)	Analog Comparator 類比比較器
25	0x0030	TWI (TWI_vect)	2-wire Serial Interface (I2C) I2C 串列傳輸介面
26	0x0032	SPM READY (SPM_READY_vect)	Store Program Memory Ready 儲存程式記憶體準備就緒
註：(1)中斷向量編號同時也代表著優先權（priority），編號越小優先權越高。 (2)中斷服務程序名稱是系統內定用來呼叫該中斷專用的，包含大小寫都要完全一模一樣。			

6-3 中斷服務程序

- 在 Arduino 的程式中，要撰寫中斷服務程序（Interrupt Service Routine，ISR）是一件非常簡單的事。你不需要自己設定中斷向量表，只要使用 ISR(中斷服務程序名稱) 這個巨集指令，就可以將中斷與其中斷服務程序之間的連結自動建立好，例如:。

```
ISR(USART_TX_vect)
{
   //使用者自己寫的中斷處理程式
}
```

6-3 中斷服務程序

- 有別於一般副程式的撰寫，因為中斷的處理是屬於例外的狀況，會暫停一般程式碼的執行，優先執行中斷服務程序，所以在撰寫ISR時要掌握下列幾個重點：

（1） ISR 程式碼要越短越好，以免中斷時間過長產生非預期的錯誤。

（2） 切記 ISR 無法使用參數也不會有傳回值。

（3） 因為 ISR 無法使用參數，所以與一般函式之間必須共用相同的全域變數才能達成資料的傳遞，如果 ISR 執行期間會改變共用全域變數的值，那這些共用的全域變數一定要使用 volatile 修飾子宣告，以避免資料一致性(Data Consistency)的問題，也就是編譯器最佳化所造成資料不一致的狀況。

（4） 因為在進入 ISR 之後，所有的中斷都會禁止發生（預設），所以在 ISR 內不要使用 Arduino 內建的時間函式 millis()，micro()，delay()，因為這些函式必須依賴定時器中斷才能正常動作。

（5） 同理，也不要使用串列埠函式 Serial.print()，Serial.read()，Serial.write()...等，因為這些函數必須依賴 USART 中斷才能正常動作。

（6） 在 ISR 中不要嘗試去啟用/關閉中斷，除非你很有把握不會造成錯誤。

6-4 外部中斷範例 (1) Polling

【範例 6.4】Polling

```
#define LedPin    13  //Uno 開發板上內建 LED 的接腳固定為 D13
#define ButtonPin 2   //指定按鈕開關的接腳為 D2
int flag=1;

void setup() {
  pinMode(LedPin,OUTPUT);
  pinMode(ButtonPin,INPUT_PULLUP); //啟用內建的上拉電阻
  digitalWrite(LedPin,LOW);        //初始 LED 為熄滅的狀態
}

void loop() {
  if(digitalRead(ButtonPin)==HIGH) flag=1;
  //D2 的電壓為 LOW，代表按鈕被按下
  if(digitalRead(ButtonPin)==LOW && flag==1) {
    digitalWrite(LedPin,!digitalRead(LedPin)); //反轉 LED 燈現在的狀態
    flag=0;
  }
}
```

6-4 外部中斷範例 (2) attachInterrupt

【語法】attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin), ISR, mode) （推薦用法）

attachInterrupt(interrupt number, ISR, mode) （不推薦）

【參數】

interrupt number：中斷編號。以 Uno 而言，D2 對應的外部中斷 INT0。

pin：欲設置外部中斷的數位接腳編號。（參考表 6.2）

ISR：中斷服務程式的名稱。

mode：觸發模式，有 LOW、RISING、FALLING、CHANGE 四種模式。

4.5.4. detachInterrupt( )

【描述】關閉接腳上已設置的中斷。

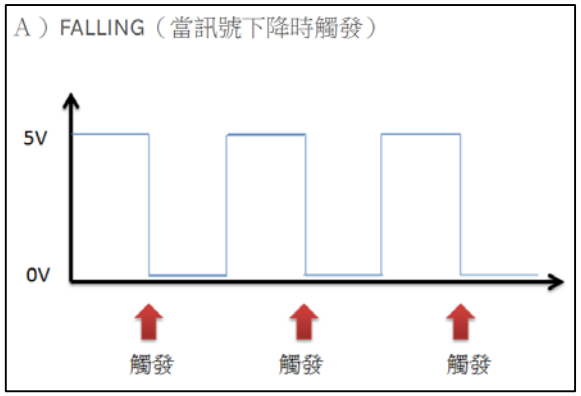
【語法】detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin))

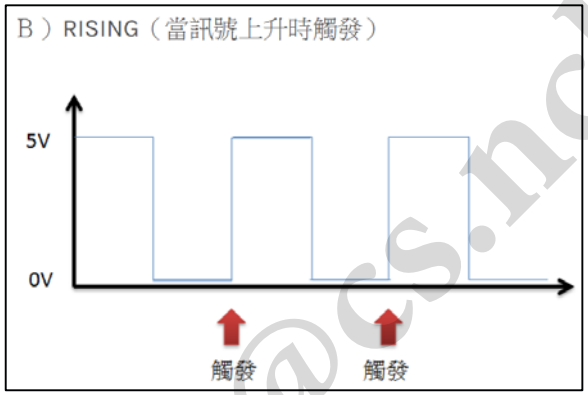
【參數】

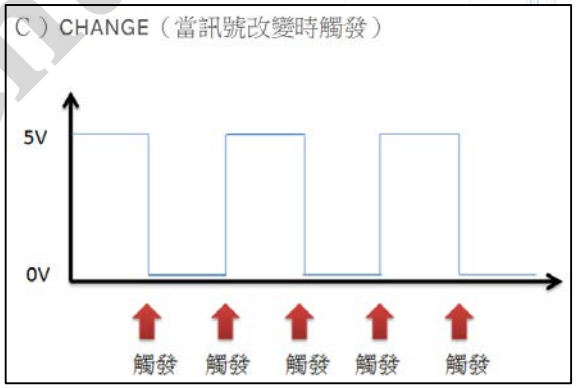
pin：已經設置中斷的數位接腳編號。以 UNO 開發板而言，正確的接腳編號只有 2，3。

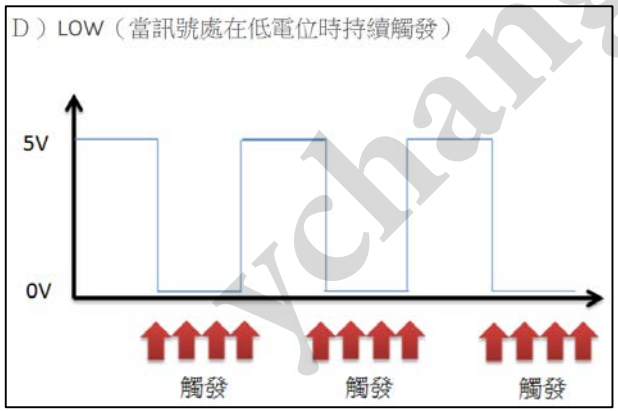
【傳回值】無

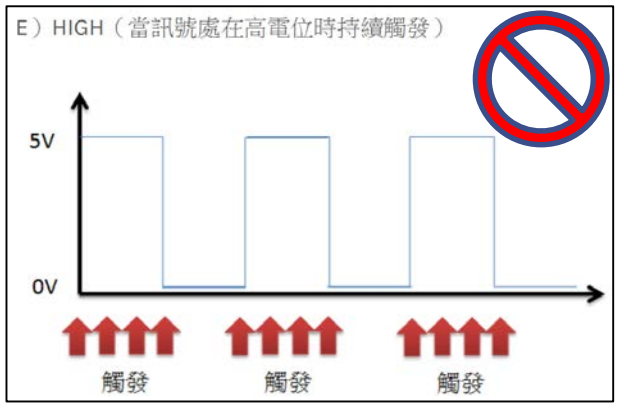
6-4 外部中斷範例 (2) attachInterrupt











6-4 外部中斷範例 (2) attachInterrupt

【範例 6.5】attachInterrupt

```
1  #define ButtonPin=2;    //設定按鈕的接腳
2  #define LedPin=13;      //Uno 開發板上內建 LED 的接腳固定為 D13
3
4  void setup() {
5    pinMode(LedPin,OUTPUT);
6    pinMode(ButtonPin,INPUT_PULLUP); //enable pull-up resistor
7    digitalWrite(LedPin,LOW);        //初始 LED 為關閉的狀態
8    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ButtonPin),my_ISR,LOW);
9  }
10
11 void loop() {
12 }
13
14 Void my_ISR() {
15   digitalWrite(LedPin,!digitalRead(LedPin)); //反轉 LED 燈現在的狀態
16 }
```

6-4 外部中斷範例 (3) ISR

除了使用上一節所介紹的 attachInterrupt()函式外，我們也可以使用傳統 ISR 巨集指令的方式來撰寫外部中斷服務程式，相較之下，attachInterrupt()函式只能使用在 INT0 與 INT1 二個外部中斷，而 ISR 巨集指令可以使用在全部的中斷，用途更為廣泛。

使用 ISR 巨集指令來撰寫中斷程式時，需特別注意使用者要自己處理好中斷狀態位元的設定，才能讓中斷正確的動作，例如在範例 6.4.3 程式碼中的第 8 行，我們要將 EIMSK 暫存器中的 INT0 位元設為 1 才能致能 INT0 中斷，而第 9，10 行則要將 EICRA 暫存器中的 ISC01 與 ISC00 位元分別設為 0 與 1，才可以將中斷觸發的條件設定為 CHANGE 模式，這是使用 ISR 巨集指令比較麻煩的地方，使用者必須對微控器的中斷有深入的了解與認識才有辦法將中斷的功能發揮到極致而不出錯，相反的，attachInterrupt() 的方式就沒有這種困擾。

6-4 外部中斷範例 (3) ISR

【範例 6.4.3】ISR

```
1  #define ButtonPin=2;    //設定按鈕的接腳
2  #define LedPin=13;      //Uno 開發板上內建 LED 的接腳固定為 D13
3
4  void setup() {
5    pinMode(LedPin,OUTPUT);
6    pinMode(ButtonPin,INPUT_PULLUP); //enable pull-up resistor
7    digitalWrite(LedPin,LOW);        //初始 LED 為關閉的狀態
8    EIMSK |= _BV(INT0);              //enable INT0
9    EICRA &= ~_BV(ISC01);            //將觸發模式設為 CHANGE(ISC01=0,ISC00=1)
10   EICRA |= _BV(ISC00);
11 }
12
13 void loop() {
14 }
15
16 Void my_ISR() {
     digitalWrite(LedPin,!digitalRead(LedPin)); //反轉 LED 燈現在的狀態
   }

   // INT0 固定呼叫的中斷處理函式
   ISR(INT0_vect) {
     my_ISR();
   }
```

_BV(bit)是在操作 I/O 暫存器時使用率最高的巨集，專門用來產生位元運算時的遮罩，它在 sfr_defs.h 中定義如下

```
#define  _DV(bit)  (1<<(bit))
```

6-4 外部中斷範例 (3) ISR

EIMSK – External Interrupt Mask Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x1D (0x3D)	–	–	–	–	–	–	INT1	INT0	EIMSK
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

EICRA – External Interrupt Control Register A

The External Interrupt Control Register A contains control bits for interrupt sense control.

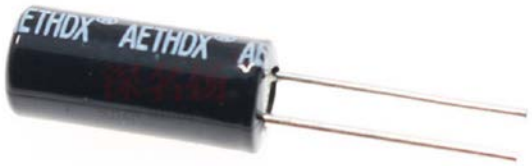
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x69)	–	–	–	–	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	EICRA
Read/Write	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

▲ 資料來源: ATmega168/328 Datasheet

Table 12-2. Interrupt 0 Sense Control

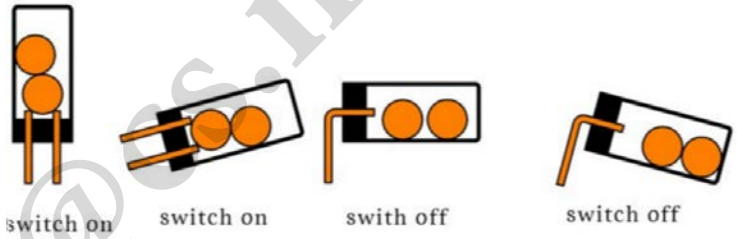
ISC01	ISC00	Description
0	0	The low level of INT0 generates an interrupt request.
0	1	Any logical change on INT0 generates an interrupt request.
1	0	The falling edge of INT0 generates an interrupt request.
1	1	The rising edge of INT0 generates an interrupt request.

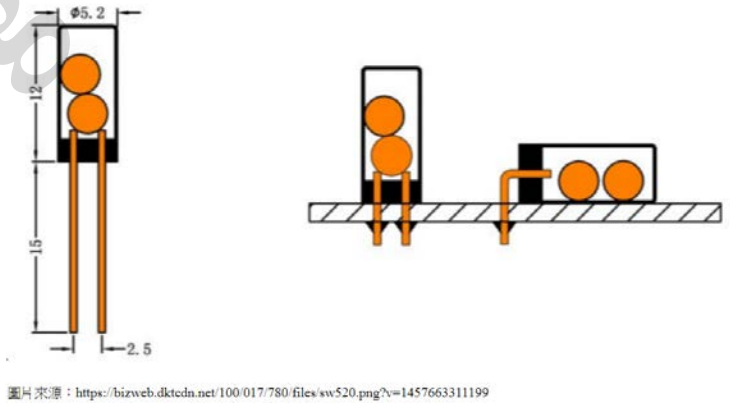
範例 6-1: 傾斜/滾珠開關



傾斜/滾珠開關

工作原理





圖片來源：https://bizweb.dktcdn.net/100/017/780/files/sw520.png?v=1457663311199

- 程式碼

範例 6-1: 傾斜/滾珠開關

```
/*** 傾斜/滾珠開關範例 ***/
#define Ball 2  //指定滾珠開關的接腳為D2
#define Led 13  //指定LED的接腳為D13

void setup() {
  pinMode(Ball,INPUT_PULLUP); //設定滾珠開關接腳，並啟用內建的上拉電阻
  pinMode(Led,OUTPUT);        //設定LED接腳為輸出模式
}

void loop() {
  if(digitalRead(Ball)==LOW)    //讀取滾珠開關接腳的電位是否為LOW
    digitalWrite(Led,HIGH);     //若是，點亮LED
  else digitalWrite(Led,LOW);   //否則關閉LED
}
```

練習 6-1

範例 6-2: 高感度麥克風感測器模組

麥克風感測器 有2個輸出：

1、AO，類比量輸出，即時輸出麥克風的電壓信號

2、DO，當聲音強度到達某個閥值時，輸出高低電平信號，【閥值–靈敏度可以通過電位器調節】

模組特點：

1、有3mm的安裝螺絲孔

2、使用5v直流電源供電

3、有模擬量輸出

4、有閥值翻轉電平輸出

5、高感度麥克風，靈敏度高。

6、有電源指示燈

7、比較器輸出有指示燈

程式碼

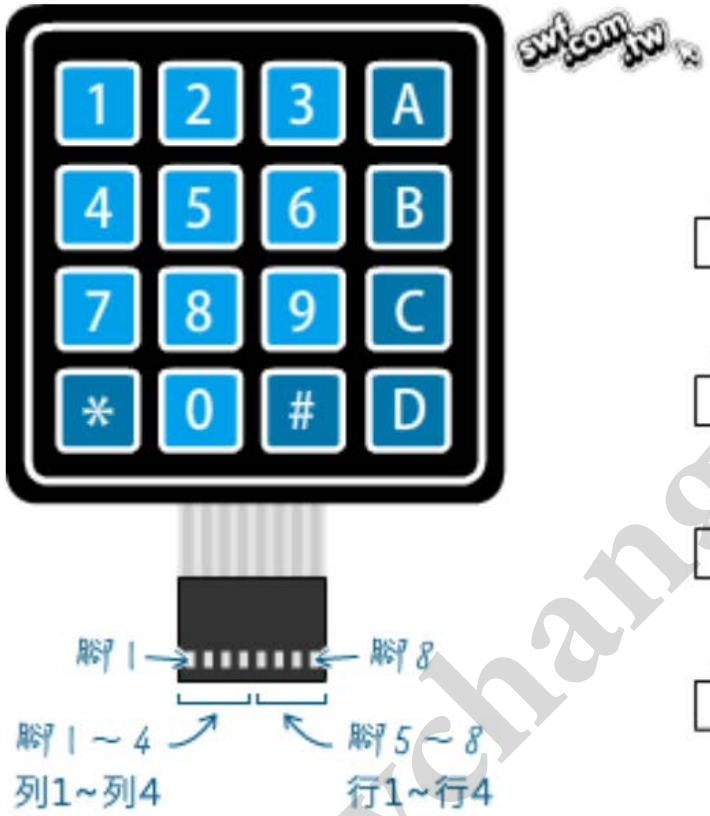
範例 6-2: 高感度麥克風感測器模組

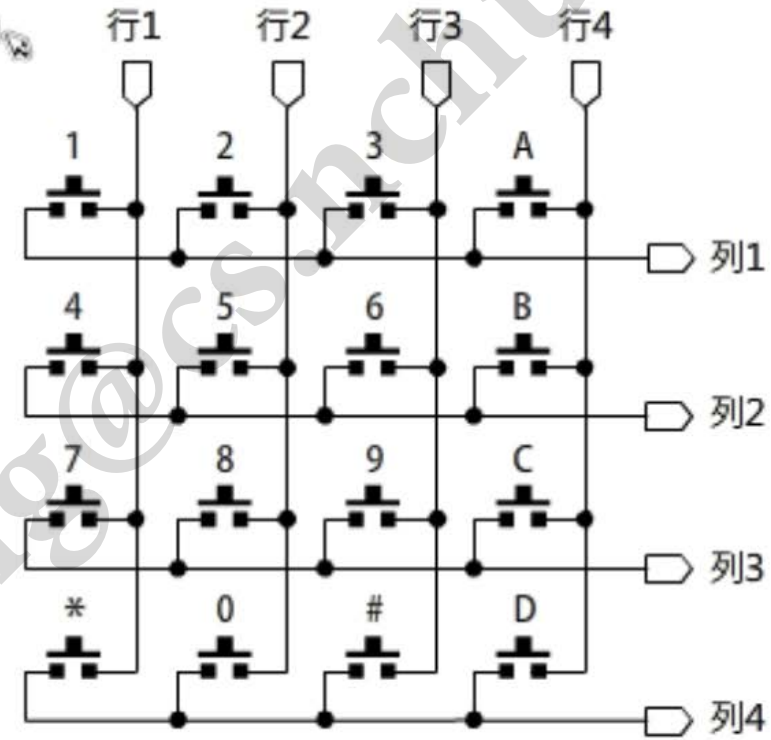
```
int sensorPin = A5; // select the input pin for the potentiometer
int ledPin = 13; // select the pin for the LED
int sensorValue = 0; // variable to store the value coming from the sensor

void setup()
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  delay(sensorValue);
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  delay(sensorValue);
  Serial.println(sensorValue, DEC);
}
```

範例 6-3: 4x4 薄膜鍵盤





程式碼