

第 8 章 2：感測器讀取（溫度/光度/距離）

學習如何用 MCU ADC 讀取類比感測器，及 I²C / SPI 讀取數位感測器。

一、學習目標

- ADC 取樣與校正
 - I²C / SPI 介面通訊
 - 訊號處理（濾波、線性化）
 - 簡單顯示介面（OLED / Serial）
-

二、實作專案：環境監測站

規格

- 溫度：-10° C ~ 50° C，精度 $\pm 1^\circ$ C
 - 濕度：0-100%，精度 $\pm 5\%$
 - 光度：0-100k lux
 - 距離：2-80 cm
 - OLED 顯示
 - USB 序列輸出
-

三、感測器選擇

溫度

感測器	介面	範圍	精度	價格
LM35	類比 (10mV/° C)	-55–150° C	±0.5° C	低
TMP36	類比	-40–125° C	±2° C	低
DS18B20	1-Wire	-55–125° C	±0.5° C	低
DHT22	單線	-40–80° C, 0–100%RH	±0.5° C	低
BME280	I ² C/SPI	-40–85° C, 0–100%, 壓力	±1° C	中
SHT4x	I ² C	-40–125° C, 0–100%	±0.2° C	中

光度

- LDR（光敏電阻）+ 分壓 → ADC
- BH1750（I²C，數位 lux 直接輸出）
- TSL2591（高動態範圍）

距離

- HC-SR04（超音波，2–400cm）
- VL53L0X / VL53L1X（雷射 ToF，I²C）
- Sharp GP2Y0A21（紅外，類比）

四、Arduino 完整程式

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <BH1750.h>

#define OLED_WIDTH 128
#define OLED_HEIGHT 64
Adafruit_SSD1306 display(OLED_WIDTH, OLED_HEIGHT, &Wire);
Adafruit_BME280 bme;
BH1750 lightMeter;

const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();

  if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    Serial.println("OLED 初始化失敗");
    while (1);
  }

  if (!bme.begin(0x76)) {
    Serial.println("BME280 初始化失敗");
    while (1);
  }

  lightMeter.begin();
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
}

float readDistance() {
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  long duration = pulseIn(echoPin, HIGH, 30000);
  return duration * 0.0343 / 2.0;
}

void loop() {
  float t = bme.readTemperature();
  float h = bme.readHumidity();
  float p = bme.readPressure() / 100.0F;
  float lux = lightMeter.readLightLevel();
  float dist = readDistance();

  Serial.print("T="); Serial.print(t);
  Serial.print(" H="); Serial.print(h);
  Serial.print(" P="); Serial.print(p);
  Serial.print(" Lux="); Serial.print(lux);
  Serial.print(" D="); Serial.println(dist);
}

```

```

display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0, 0);
display.print("Temp: "); display.print(t); display.println(" C");
display.print("Humi: "); display.print(h); display.println(" %");
display.print("Pres: "); display.print(p); display.println(" hPa");
display.print("Lux: "); display.println(lux);
display.print("Dist: "); display.print(dist); display.println(" cm");
display.display();

delay(1000);
}

```

五、進階主題

1. ADC 校正

實際 ADC 與理想差異：- 偏移誤差 - 增益誤差 - 非線性

校正：

```
real_value = a * adc_reading + b
```

用兩點校正法（known low、known high）求 a、b。

2. 類比訊號降雜訊

- 平均濾波：取多次平均
- 中值濾波：去除尖峰
- 指數移動平均（EMA）：低通效果

```

float ema = 0;
const float alpha = 0.1;
ema = alpha * new + (1 - alpha) * ema;

```

3. I²C 故障排除

- 拉高電阻：4.7 k Ω （標準）、2.2 k Ω （fast mode）
- 地址衝突：用 I²C scanner 確認
- 線太長 → 減少電容、降速

```
// I2C scanner
for (uint8_t addr = 1; addr < 127; addr++) {
  Wire.beginTransmission(addr);
  if (Wire.endTransmission() == 0) {
    Serial.print("[?] 0x");
    Serial.println(addr, HEX);
  }
}
```

4. 單位轉換 / 線性化

例如 NTC 熱敏電阻：

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)$$

需要查表或多項式擬合。

六、PCB 化（進階）

把麵包板電路畫成 PCB：

1. KiCad 畫原理圖
2. 元件選 SMD（精緻）
3. 整合 USB-C、TypeC、CH340 USB 轉串
4. 加入 ESD 保護
5. 量產 10 片，分送朋友

七、本專案重點

✅ 您學到：

- [x] ADC 量測類比感測器
- [x] I²C 讀取數位感測器
- [x] OLED 顯示
- [x] 序列通訊 debug
- [x] 訊號濾波
- [x] 多感測器整合

下一專案

03-?????.md