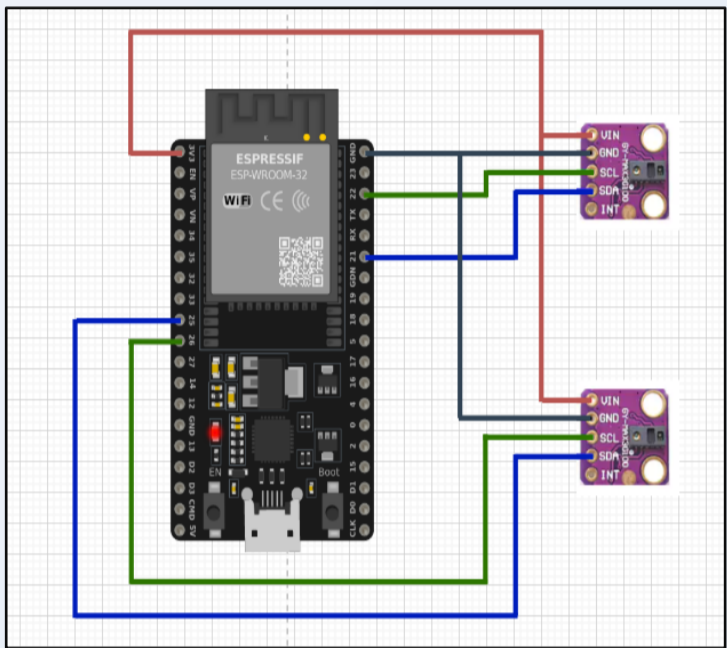




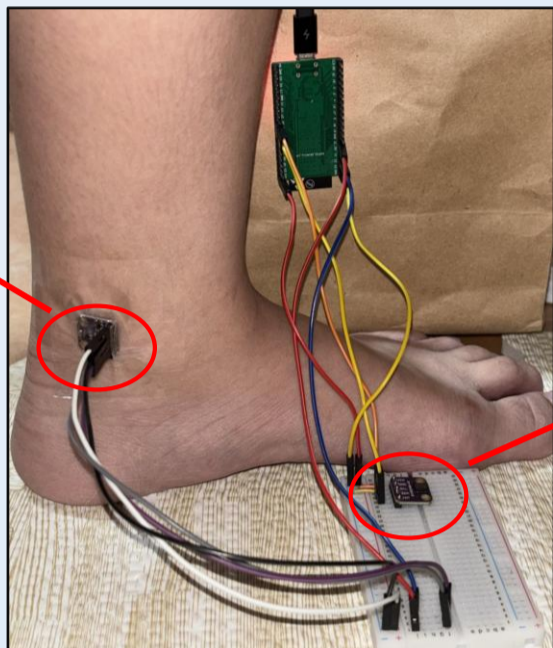
一、摘要

隨著科技進步與數位化生活的普及，長時間久坐已成為現代人的常態。然而，久坐會導致下肢血液循環不良，增加心血管疾病與代謝症候群的風險。為此，本研究以「腳踝表面溫度變化」為主要判斷依據，利用 ESP32 微控制器搭配 MAX30102 模組，設計一套久坐狀態偵測系統，期望能達到健康提醒與預防之效果。

二、研究架構與方法



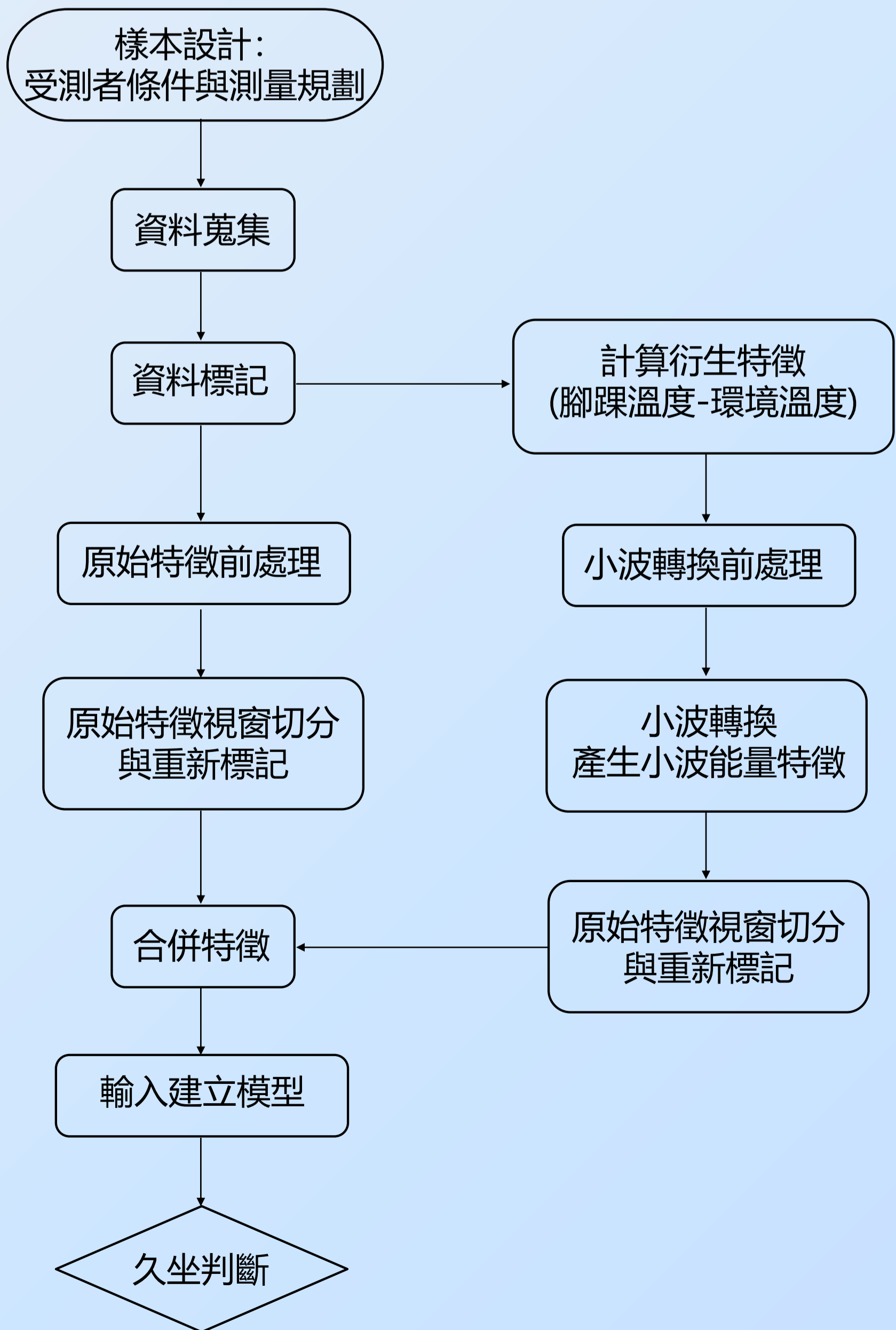
圖一、實驗架構接線圖



圖二、感測裝置實際架設示意圖

本研究之系統以 ESP32 微控制器為核心，整合 MAX30102 感測模組進行環境與腳踝表面溫度量測。本研究整體流程如圖三所示，主要分成三個部分：

1. 感測層：以 MAX30102 量測腳踝表面與環境溫度變化，並以 I²C 介面回傳至 ESP32。
2. 資料處理層：ESP32 端進行即時的特徵計算(溫度斜率、標準差等)，並將資料傳輸至 PC 端進行小波轉換處理與滑動視窗切分。
3. 判斷與應用層：以雙向 GRU 模型對時間序列特徵進行分類，判斷是否為久坐狀態。

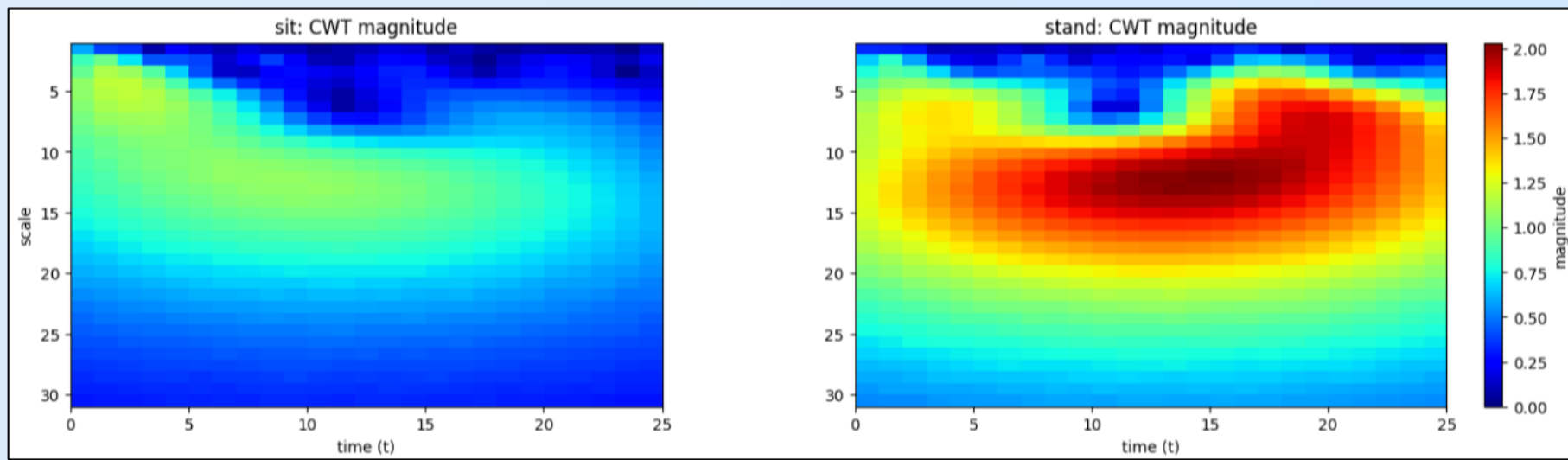


圖三、研究流程圖

三、資料處理與模型訓練

資料前處理

MAX30102 感測模組以 1 秒取樣率連續量測腳踝表面與環境溫度，並標記姿勢標籤(站立、坐姿)。每分鐘計算五項統計特徵：環境溫度、腳踝溫度、腳踝與環境溫度差值、腳踝溫度變化量的平均以及與前一分鐘腳踝溫差。腳踝與環境溫度差值經中位數濾波與去趨勢後，進一步使用小波轉換(SWT)擷取多尺度能量分布特徵。將原始特徵與小波特徵結合後，採用滑動視窗切分(9 分鐘視窗、步長 4 分鐘)建立序列樣本。



圖四、久坐與站立情境下「腳踝溫度 - 環境溫度」差值訊號之小波頻譜差異圖

模型訓練

為了比較不同模型對姿勢辨識之效能，本研究分別建立三種分類架構進行比較：

- Random Forest：作為傳統機器學習基準，僅使用靜態特徵。
- Simple RNN：可學習時間序列之短期依賴關係。
- Bidirectional GRU：具備門控機制，避免梯度消失問題，且同時考慮時間序列前後文資訊，提升對姿勢轉換過程之辨識能力。

模型輸入包含原始溫度特徵與經過小波轉換後的多尺度能量特徵，訓練採用 Adam 優化器，並使用 Early Stopping 機制避免過擬合。

四、模型效能評估

表五中的結果顯示，Bidirectional GRU 於整體準確率與 F1-score 皆優於其他模型，能更準確辨識坐姿、站姿與站坐交替等狀態。

| 模型 | Test Accuracy | Precision | Recall | F1-score |
|-------------------|---------------|-----------|--------|----------|
| Random Forest | 0.600 | 0.607 | 0.600 | 0.603 |
| Simple RNN | 0.629 | 0.629 | 0.629 | 0.629 |
| Bidirectional GRU | 0.743 | 0.744 | 0.743 | 0.743 |

表五、各模型整體效能比較

五、結論

本研究建立一套以腳踝表面溫度變化為基礎的久坐偵測系統，整合 ESP32 與 MAX30102 感測模組進行長時間溫度監測。透過小波轉換特徵與深度學習模型分析，結果顯示雙向 GRU 於姿勢分類中表現最佳，準確率 74.3%，證實以溫度為核心之非侵入式久坐辨識方法具可行性與應用潛力。

目前久坐辨識的步驟還只能由 PC 端負責完成，未來將嘗試將模型壓縮佈署至 ESP32 上，實現低功耗、即時化之無線監測系統。