

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

高級中等學校組 電腦與資訊學科  
佳作

052509

基於 YOLO 物件偵測之長者居家行為識別暨照護輔助系統

學校名稱： 高雄市立高雄高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職三 林柏翰	王志偉
職二 陳怡如	鄭家和
職二 蔡寅	

關鍵詞： 跌倒事件辨識、夜間跌倒與獨居長者之孤獨、  
YOLO

## 摘要

隨著高齡化社會來臨，長者夜間跌倒事故頻傳，居家安全成為急需解決的問題。本研究提出一套以深度學習與影像處理技術為核心的智慧監測系統，重點為夜間跌倒事件的即時辨識與預警。系統運用 OpenCV 進行影像增強，改善夜間低光環境下的影像品質，再以深度學習模型 Ultralytics YOLO11 進行精準的跌倒偵測，達成即時通報與警示。此外，整合臥床偵測、夜間燈條引導與浴室進出監控，提供全方位居家安全防護。所有檢測數據即時記錄至 Web Server（HTML、JavaScript、CSS、Flask、MySQL 架構），供遠端監控與數據分析。經實驗證明，本系統能準確辨識夜間跌倒事件，有效減少長者夜間意外事故發生，對高齡社會居家安全具重要貢獻。

## 壹、前言

### 一、研究動機

隨著人口結構逐漸高齡化，老人跌倒已成為重大安全與健康議題。其中跌倒更是高齡者意外傷亡的主因之一。在夜間環境下，由於照明不足，高齡者半夜起床上廁所時更容易發生跌倒意外。許多獨居長者因缺乏及時發現而延誤救助，導致嚴重後果。此外，高齡者夜間行走時常心存恐懼（例如曾有跌倒經驗或視力不佳）。傳統的解決方案包括配戴式緊急按鈕或安裝床邊感應器，但穿戴式裝置可能令人感到不便且易於遺忘使用，而固定感應器（例如地墊壓力感測）需要在家中進行額外安裝且覆蓋範圍有限。上述限制突顯出發展非侵入式且全天候監控技術的必要性。基於此，本研究構想利用影像式人工智慧技術來即時偵測長者夜間的活動狀態，特別是跌倒事件，以提供即時警示與後續照護支援。

## 二、研究目標

本研究旨在建立一套整合影像增強與物件偵測的智慧居家安全系統，提升夜間環境下跌倒偵測的準確性，同時兼顧預防與記錄功能。具體目標如下：（一）開發夜間影像增強方法：透過 OpenCV 影像處理技術提升昏暗環境監視畫面的亮度與清晰度，改善後續偵測效果。

（一）訓練 YOLO11 深度學習模型：蒐集並標註長者跌倒影像資料，訓練 YOLO 系列模型以即時偵測夜間發生的跌倒情形。

（二）整合臥床離床監測與輔助照明：結合床鋪佈署的感測或影像判斷，偵測長者夜間起身，並自動啟動地面 LED 燈條提供照明引導，降低跌倒風險。

（三）增加浴室進出偵測與記錄：監測長者進出浴室的情形，若發現異常（例如進入後長時間未出來或發生跌倒），即時記錄並透過網頁伺服器發出警示，同時保存相關資料供日後查閱。透過上述目標之達成，我們期望本研究能夠在高齡者夜間照護上帶來助益，減少意外發生並提升獨居長者之生活安全。

## 三、文獻回顧

### （一）影像增強技術

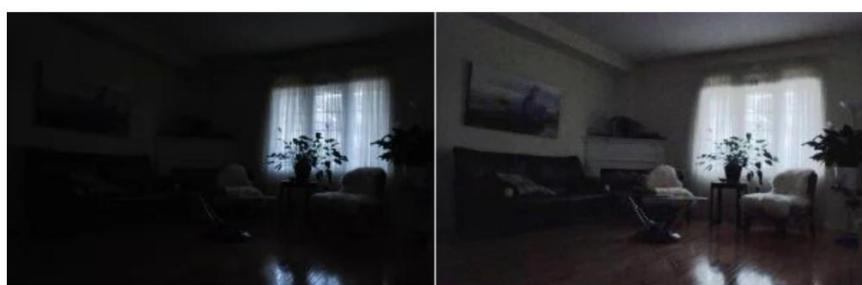


圖 1-1：影像增強比較圖 (來源：OpenCV 基础, 2021 [1])

影像增強是利用數位影像處理技術來改善圖像質量和可視效果的過程。簡單來說，當一張圖像因為光線不足、環境雜訊或其他因素而導致亮度不足、對比度低、細節模糊時，我們可以通過影像增強技術來調整和優化這些參數，使圖像看起來更清晰、色彩更豐富、細節更突出。

在低光環境下拍攝的圖像往往存在色彩缺失、邊緣不清晰和能見度低等問題。為了應對這些挑戰，現代的影像增強方法常常借助先驗知識來估計圖像中的照明分佈。例如，文中提到的基於雙通道先驗的方法，就通過計算局部區域內的最大（明亮通道）和最小（暗通道）像素值，來估計圖像中不同區域的光照情況。進一步結合全局大氣光和透射圖的計算，可以補償低照度下圖像的不足，提升整體亮度和細節，從而使得增強後的圖像更符合人眼的感知需求。

這類技術不僅可以應用於個人攝影，還在醫學影像、監控系統、計算機視覺等領域發揮著重要作用。通過影像增強，我們能夠更準確地提取圖像中的信息，從而支持各種後續的應用和分析工作。

## (二) 深度學習在物件偵測中的應用

深度學習技術在影像分類與物件偵測上的應用迅速發展。其中，YOLO (You Only Look Once) 系列演算法以端到端的單階段偵測架構，大幅提升了檢測速度與準確度，並被廣泛應用於即時監控與安全系統中。例如，最新版本的 YOLOv11 除了有完善的模型調整功能外，也有更佳的高效率運算效能，成為許多訓練及辨識的核心。透過預訓練模型和遷移學習技術，研究者可在有限資料下進行微調 (Fine Tuning)，以適應特定任務 (例如老人跌倒偵測)，同時大幅縮短訓練時間與資源消耗。

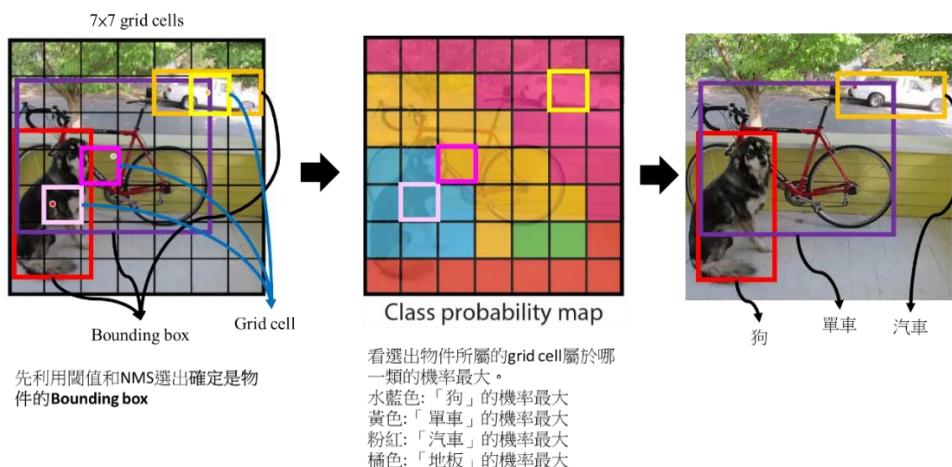


圖 1-2：YOLO 物件偵測示意圖 (來源：深度學習-物件偵測 [2])

### (三) 老人跌倒防治介入

隨著高齡化社會的到來，老人跌倒已成為影響個體健康及家庭照護負擔的重要議題。傳統的跌倒防治介入多依賴穿戴式緊急呼叫系統、床邊感測器或地墊壓力感測器等方式，然而這些方法往往面臨依從性低、安裝成本高以及覆蓋範圍受限等問題。近年來，結合資訊科技與人工智慧的智慧安全系統逐漸成為研究的新趨勢，其核心在於利用即時監控技術提供非侵入式、全天候的安全監測與預警。

#### 1. 傳統防治介入與其限制

文獻(加拿大老人防跌 [4])中指出，專業照護人員介入與家庭支持計劃雖能在一定程度上降低跌倒事故，但在獨居老人或夜間突發狀況中，傳統介入策略常因無法即時反應而延誤救助。此外，穿戴式裝置雖具備攜帶方便的優點，但使用者常因遺忘或不適而影響效能。這些限制促使研究者探求更有效率且不影響使用者生活品質的監測手段。

#### 2. 智慧安全系統的技術應用

隨著深度學習與影像處理技術的迅速發展，基於視覺監控的智慧安全系統被廣泛探討。其中，利用 OpenCV 進行影像增強能有效改善低光環境下的影像品質，為後續物件偵測提供更清晰的輸入；而以 YOLO 系列（如本文所採用的 YOLOv1 模型）進行跌倒事件的即時辨識，則大幅提升了反應速度與準確率。這類技術不僅能克服傳統感測器覆蓋範圍有限的問題，同時也能減少因使用者主動操作而產生的疏漏風險。

### 3. 整合介入策略與智慧系統的優勢

相較於單一技術應用，將影像增強、深度學習辨識以及其他輔助功能（如臥床離床監測、夜間燈條引導、浴室進出監控等）整合成一套完整系統，能夠實現多角度、全方位的跌倒防治。透過即時數據的記錄與後續的資料分析，照護人員可以迅速掌握老人的日常活動狀況，進而制定更精準的照護計畫。文獻顯示，結合環境智慧調整（如自動啟動 LED 燈條）與即時異常警示，對於降低夜間跌倒風險具有顯著成效。

#### (四) 物聯網、智慧居家與行為數據分析的整合應用

隨著物聯網技術在智慧居家領域的不斷普及，我們能夠透過連網設備實現對居家環境與家電的即時監控、遠端控制與自動化管理。物聯網（IoT）將各種實體設備、傳感器及其他物件透過網路連結起來，收集並傳輸數據，從而使得居家安全、能源管理與設備維護等應用得以實現。這項技術已廣泛應用於智慧家庭、工業自動化、健康照護、農業管理等多個領域，促使整個社會向更高效、智能化的方向發展。

在此基礎上，近年來衍生出了「行為互聯網」（Internet of Behaviors, IoB）的概念。IoB 不僅依賴於 IoT 所獲得的數據，還進一步通過大數據分析和機器學習技術，深度解析使用者在物聯網環境中產生的各類行為數據。這種技術能夠揭示個體的日常習慣、偏好與決策模式，從而幫助企業、組織或政府機構預測和識別異常行為，並提供針對性的預警和個性化服務。例如，在智慧居家應用中，通過 IoB 分析居住者的活動模式，可以更精準地發現潛在的安全隱患，提前觸發安全機制，從而有效提升居家安全與生活品質。

#### (五) 系統硬體設計與感測器應用

## 1. 壓力感測器 (Force-Sensitive Resistor, FSR)

壓力感測器本質上是一個電阻，其電阻值會隨施加於感測區域的壓力變化而變化。以本作品採用的 Interlink 402 為例，其圓形感測區半徑約 1/2 吋，當無壓力作用時，電阻值接近無限大；而施加壓力後，電阻則會顯著降低。

為讀取此類變化，本系統使用 Arduino 的類比輸入（解析度 10 位元，範圍 0~1023）進行數值擷取。具體接法為：

壓力感測器的其中一支腳接至 5V，另一腳則串接 10k 歐姆電阻至接地，同時連接至 Arduino 類比腳位 A0。

此外，從具 PWM 輸出能力的數位腳位（例如 11 腳）連接 LED，藉由將讀取的 FSR 數值透過 map 函式從 0~1023 對應至 0~255 的範圍，進而控制 LED 亮度，作為感測器反應的直觀回饋。這樣的設計不僅可用於監測床墊上或座椅上的壓力變化（如臥床離床狀況），亦可作為跌倒事件中人體受力變化的輔助判斷依據。

## 2. 超音波感測器 (HC-SR04)

為擴展環境監測與障礙物辨識的功能，本系統同時採用了超音波感測器。該感測器主要由超音波發射器 (Transmitter，標示為 T) 與接收器 (Receiver，標示為 R) 構成，搭配控制電路共同工作。控制端對 Trig 腳送出至少 10 微秒的高電位訊號，即觸發發射器發出一連串 40kHz 超音波脈衝，當超音波遇到障礙物反射回來，接收器捕捉到回波，Echo 腳便輸出一個與超音波往返時間成正比的高電位脈衝。

根據超音波在空氣中的傳播速度（受當前溫度影響，一般公式為  $V_s = 331 + 0.6t$ ， $t$  為攝氏溫度），例如在 23°C 時，每 1 公分的距離大約需 58 微秒。由此，透過測量 Echo 脈衝的寬度並除以 58，即可計算出障礙物與感測器間的距離。

## (六) 姿態辨識設計與心理健康應用

憂鬱症會造成日常生活、社會、職業功能的改變。憂鬱的發生常是由於面臨生活中的許多壓力源，個人感覺無法應付，持續 2 個禮拜以上，造成日常生活、社會、職業、其他重要領域功能(如婚姻、親子等)的改變。(來源: 憂鬱症之照護[3])

### 1.姿態感測與變化記錄

為提升居家照護系統的心理關懷層級，本作品特別設計姿態辨識模組，透過壓力感測器（FSR）與影像辨識演算法（如 YOLO 模型搭配 OpenCV 骨架分析），即時紀錄長者日常姿態（如站立、坐姿、臥姿）之變化情形。系統會將姿態變化數據記錄於本地端或雲端資料庫，並透過有限狀態機（FSM）進行模式分析。例如，若系統連續數小時僅偵測到臥姿且無其他互動行為（如離床或翻身），即可能顯示長者處於孤獨、缺乏社會互動的狀態，或者經常性的習慣改變，也可能有孤獨情形，進而觸發提示照護者主動關懷。

### 2.偵測孤獨以預防憂鬱風險

根據《BMC Psychiatry》與《Journal of Marital and Family Therapy》研究指出，憂鬱症與社會隔離密切相關，長期缺乏人際互動與生活興趣，易導致情緒低落、動作遲緩與認知功能下降。本系統透過姿態辨識與行為變化追蹤，協助早期辨識可能潛藏之憂鬱症風險徵兆。例如，若偵測到長者持續整日未改變姿勢（如整日臥床）或多日皆無明顯站立／活動紀錄，系統將主動傳送通知予照護者，以利安排訪視或心理疏導措施，降低自我傷害與心理疾病發生之可能。

## 貳、研究設備器材

### 一、設備

#### (一) 電腦設備規格

	系統	GPU	CPU
桌上型電腦	Windows 11	RTX 4070	I7 -13700

#### (二) 硬體設備

- 1.Arduino ESP32
- 2.WS2812 燈條
- 3.HC-SR04
- 4.FSR 壓力感測器
- 5.TCRT5000
- 6.IPCam

### 二、軟體

#### (一) Visual Studio Code

#### (二) Python3.11.6 環境：

軟體/套件	cuda	torch	ultralytics	opencv-python	Flask	Flask-MySQLDb
版本	11.8	2.3.1	8.3.49	4.7.0.72	3.0.0	2.0.0

## 參、研究過程與方法

本研究系統主要包含影像增強與擷取、跌倒事件偵測、臥床偵測、燈條引導、以及浴室進出感測與警示。以下將分別說明各部分所採用的方法與細節。

### 一、研究及程式流程

#### (一) 跌倒辨識系統

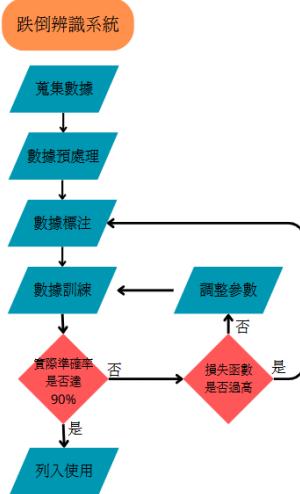


圖 3-1 跌倒辨識系統研究流程架構圖(來源:自行繪製)

## (二)Arduino 研究流程

藉由 ESP32、IPCam、WS2812b 與網站架設、電路設計，完成我們的作品。其中包括偵測行走距離、LED 燈條控制、跌倒偵測、緊急通報系統，並且架設 Web Server 與使用者介面，讓照顧者方便查詢。如下圖 3-2 為研究流程圖。



圖 3-2 研究流程圖（資料來源:作者繪製）

1. 設立目標：明確系統的應用場合與主要功能。
2. 搜尋資料：上網尋找相關資料，探討相關技術、學術論文與業界案例。
3. 繪製架構圖：繪製系統功能模組圖，建立各模組間的關係與互動方式。
4. 編寫程式及設計電路：選擇合適元件設計電路圖，撰寫程式進行測試。
5. 測試成果及修正錯誤：整合軟硬體，進行功能測試評估，並逐步修正。

6.改良及未來應用：分析系統優缺點，提出改進方案，並探討未來可能的應用方向與擴展性。

### (三)夜間影像增強

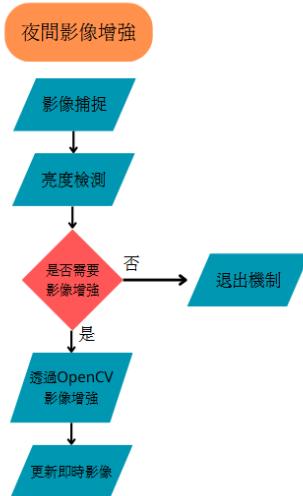


圖 3-3 夜間影像增強程式流程圖(來源:自行繪製)

### (四) Arduino 超音波(HC-SR04)、TCRT5000 紅外線、WS2812 燈條、FSR 壓力感測器

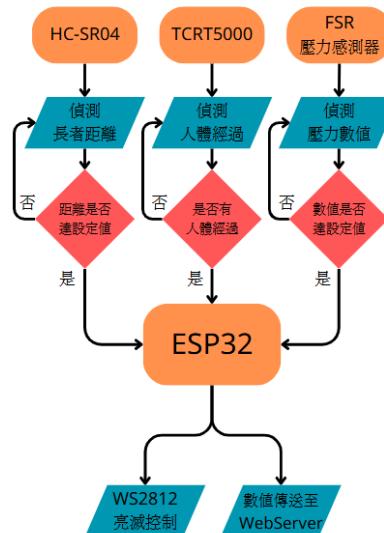


圖 3-4 Arduino 程式流程圖(來源:自行繪製)

## 二、元件介紹

我們設計一款居家輔助照明引導系統，可安置時家中適當位置，例如走道、樓梯間，利用微控器 Arduino ESP32(如圖 3-5)，與超音波模組 HC-SR04(如圖 3-6)及紅外線循線避障感測器(如圖 3-8)、Timing Diagram(如圖 3-9)，偵測行走位置距離並控制 WS2812 RGB LED(如圖 3-7)，依行走方向分區逐段點亮 LED 以引導使用者，再利用紅外線偵測長者進出浴室的情形，此外也利用壓力感測器來偵測長者的臥床情形，我們也從中發現了壓力感測器所感測到的壓力不同時其電阻值也會跟著變化 (如圖 3-10)，如：壓力值增加時電阻值會降低，壓力值降低時電阻值會增加。



圖 3-5 微控器 Arduino ESP32

圖 3-6 超音波模組 HC-SR04

(資料來源：IOT 物聯網應用-ESP32。米羅科技文創學院。

Ultrasonic Ranging Module HC-SR04。Sparkfun Electronics[11] [12] )



圖 3-7 WS2812B RGB LED

圖 3-8 紅外線循線避障感測器

(資料來源：瑞昱半導體。傳統工業 4.0 化傳統計畫。[14] [16] )

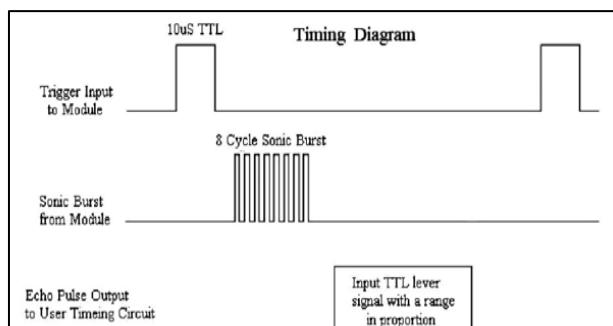


圖 3-9 HC-SR04 Timing Diagram

(資料來源: HC-SR04 Timing Diagram。Sparkfun Electronics [13] )

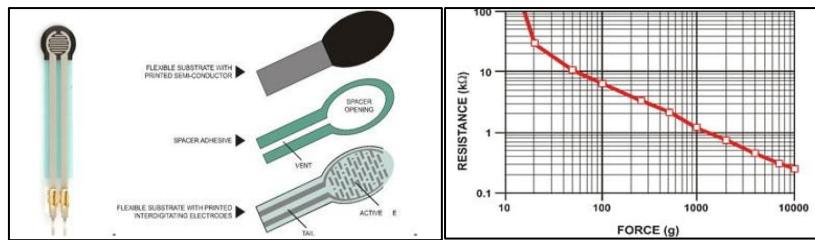


圖 3-10Force Sensitive Resistor (FSR) 資料來源: Adafruit [15])

### 三、行為物聯網(IoB)

物聯網的應用逐漸融入日常生活，而行為物聯網(IoB)進一步將「行為」數據納入應用，強調物聯網與人類行為的連結。我們基於此概念設計了一個記錄睡眠行為的系統，使用 FSR 壓力感測模組(如圖 7)於床鋪上檢測臥床時間，並透過微控制器記錄數據至網站。

行為物聯網的數據收集易對個人隱私造成影響，因此我們在作品中選用 IPCam 設計跌倒偵測系統，僅在偵測到跌倒事件時記錄影像，並通知照護者，同時加強帳號認證與網站安全，確保資訊不外流並保護用戶隱私。

### 四、系統架構與軟體介面

如圖 3-12 為我們的作品系統架構圖，包含網站架設、微控器及相關模組的連結。如圖 3-13、圖 3-14、圖 3-15、圖 3-16 為長者照護系統的軟體查詢介面，可以查詢被照護者的活動行為，包括：燈條亮起時間、進出浴室時間、跌倒事件發生時間、燈條及浴室的使用狀況，圖 3-12、圖 3-13 為淺色模式，圖 3-14、圖 3-15 為深色模式。

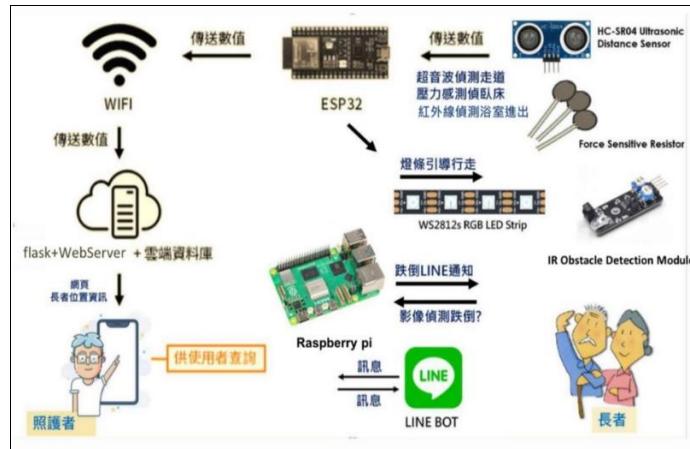


圖 3-11 系統架構圖(資料來源：作者自行繪製)



圖 3-12 軟體查詢介面：燈條亮起時間、進出浴室時間、跌倒事件發生時間  
(資料來源：作者自行繪製)



圖 3-13 軟體介面： 燈條及浴室的使用狀況 (資料來源：作者自行繪製)

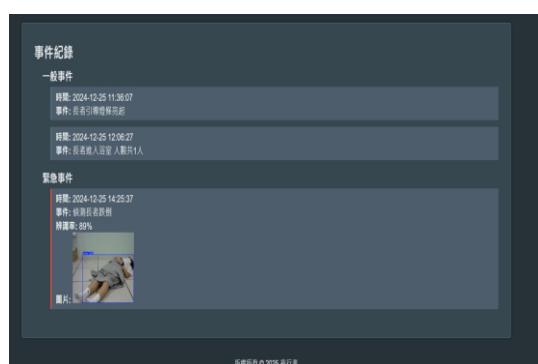


圖 3-14 軟體查詢介面：燈條亮起時間、進出浴室時間、跌倒事件發生時間  
(資料來源：作者自行繪製)



圖 3-15 軟體介面：燈條及浴室的使用狀況

(資料來源：作者自行繪製)

## 五、影像增強

在夜間或光線不足的環境下，影像容易呈現低對比度、暗部細節缺失等問題，導致後續影像處理（如物件偵測、事件辨識）難度提高。為此，本研究在影像前處理階段導入一系列影像增強技術，以提升暗部細節與整體對比度，主要步驟如下：

### (一)亮度與對比度調整 (Brightness & Contrast Adjustment)

由於夜間影像通常光線微弱，直接拍攝的影像往往整體偏暗。本研究透過線性轉換方式，先將影像之亮度提升至可視化程度，並同時加強對比度，使物件邊緣更為明顯。其運算方式可表示為

$$I_{\text{out}} = \alpha \cdot I_{\text{in}} + \beta$$

其中， $\alpha$  代表對比度係數， $\beta$  代表亮度偏移量。調整時，會根據環境光線情況動態設定參數，以避免過度增亮造成雜訊放大。

### (二)Gamma 校正 (Gamma Correction)

為進一步強調暗部細節，研究 Gamma 校正來對影像進行非線性調整。透過指定 Gamma 值 ( $\gamma$ )，可將暗部細節適度提亮，並盡量保留亮部區域的資訊。Gamma 校正的基本公式為：

$$I_{\text{out}} = 255 \times \left( \frac{I_{\text{in}}}{255} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

當  $\gamma < 1$  時，暗部會被明顯提亮；當  $\gamma > 1$  時則會壓暗亮部。

### (三) 對比度受限的自適應直方圖均衡化 (CLAHE)

一般的直方圖均衡化在整張影像進行處理，若影像光線分佈不均勻，容易導致局部區域過度增亮或過暗。研究後採用 CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)，將影像分成多個區域 (tiles) 分別進行直方圖均衡化，再限制對比度的增強程度，藉此同時提升局部對比與抑制過度增亮。此方法能使夜間影像的細節更為明顯。

### (四) 雜訊抑制與平滑化 (Noise Reduction & Smoothing)

在對夜間影像大幅增亮後，原本較不明顯的感光雜訊會被放大。為了降低雜訊對後續辨識造成的影响，本研究使用雙邊濾波 (Bilateral Filter) 進行平滑化處理。雙邊濾波同時考量空間距離與像素值差異，能在抑制雜訊的同時保留較明顯的邊緣資訊，有助於維持目標物體的形狀與細節。

### (五) 參數動態調整與評估

由於不同場景與設備的光線條件、雜訊特性有所差異，本研究在實務應用時會根據環境亮度、鏡頭特性，動態地選擇亮度/對比度參數、Gamma 值，以及 CLAHE 的 clip limit 等設定。若調整時發現某些參數過度放大雜訊或產生邊緣模糊，則透過多次測試進行調校，確保在提亮影像的同時，能維持關鍵區域的細節與邊緣特徵。

## 六、影像擷取

本研究系統的影像擷取模組旨在從目標環境中穩定獲取影像資料，為後續影像增強與事件偵測提供可靠的基礎。考慮到實際應用場景中可能會有弱光環境的狀況，且本研究因為考量到整體裝置性能以及方便性，採用 IPCam，只要有 rtsp

型 IPCam 都適用。該攝影機具備較高的解析度與良好的低光環境表現，可在自然光或現有環境光下捕捉較為清晰的影像。主要方法與步驟如下：

### (一)硬體選型與配置

為應對弱光條件下的拍攝需求，本系統選用 IPCam 作為主要影像擷取設備。該攝影機不僅具備高清影像輸出能力，且對於低光環境下的表現較為穩定。由於不使用紅外線補光，故在硬體配置上特別重視感光元件與鏡頭在弱光下的靈敏度，藉以最大化利用現有環境光線達到最佳拍攝效果。

### (二)連續影像監控與即時擷取

系統設置於目標環境中，以 IPCam 持續進行影像監測與即時擷取。擷取模組負責從攝影機接收數據，並透過緩衝機制確保影像連續性與穩定性。取得的原始影像將先進入前置處理階段（包括影像增強與降雜訊處理），以改善弱光環境下可能出現的細節不足與噪訊問題。

### (三)影像同步與時標管理

為便於後續事件比對與多模態資料整合，系統在擷取影像時，同步記錄每幀影像的時間戳記及相關感測數據（例如長者有跌倒傾向或長者跌倒）到資料庫（影像路徑），並且會馬上透過 LineBot 通知照護者。

### (四)資料格式與儲存策略

擷取到的影像資料在經過即時處理後，將以標準格式（PNG）進行存檔，同時保留原始影像序列以便進一步離線分析與演算法優化。針對高頻率連續影像採集，系統設計了適當的壓縮與儲存策略，確保在有限儲存資源下能保存足夠歷史數據供查詢與回溯。

### (五)與其他子系統的整合

擷取的影像資料會直接傳遞至影像增強模組，並與跌倒事件偵測、臥床偵測等其他功能模組進行連動。系統設計低延遲、高穩定性的資料通道，確保即時警示與準確判斷，實現各子系統間有效互補，進一步提升整體監控效能。

## 七、系統功能說明及測試

情境展示當超音波感測器偵測到使用者在屋內活動時，會亮起走道的燈條，並將位置時間和上傳到系統。另外，當壓力感測器偵測到使用者起床或上床時，也會上傳到系統。我們建立一個模型屋來做實驗，(如圖 3-16)，並在房屋模型室內安裝微控器模組，並模擬長者在屋內活動的行為。微控器模組及感測模組可依據區域範圍適當安置，並透過家中無線網路將資訊傳遞給網站。

### (一) 建置測試環境與規劃 WS2812 全彩 LED 燈條位置

在測試環境適當安置模組及微控器。我們可安置模組在走道、樓梯間，並假設使用者在空間內移動，當超音波感測器偵測到使用者在屋內活動時，會分段亮起走道的燈條，引導使用者行走。



圖 3-16 模擬使用者在走道移動，根據使用者的位置逐段亮起 LED 燈  
(圖片來源：作者自行拍攝)

### (二) HC-SR04 超音波測距模組測試

超音波模組運作時會送出 8 個 40khz 的方波，如果前方有障礙物，信號就會返回，模組收到信號後，再利用返回的時間去計算該障礙的距離，HC-SR04 的 4 個腳，除了 VCC 和 GND 以外，Trig 是發送訊號，Echo 是接收返回的訊號。我們利用一發一收的原理就能算出中間的距離以及使用者的位置。

如圖 3-17 為模擬使用者在走道移動，ESP32 接收到超音波感測器偵測到物體靠近與對應的相對距離示意圖，以及圖 3-18 為測試情境時所用的硬體。

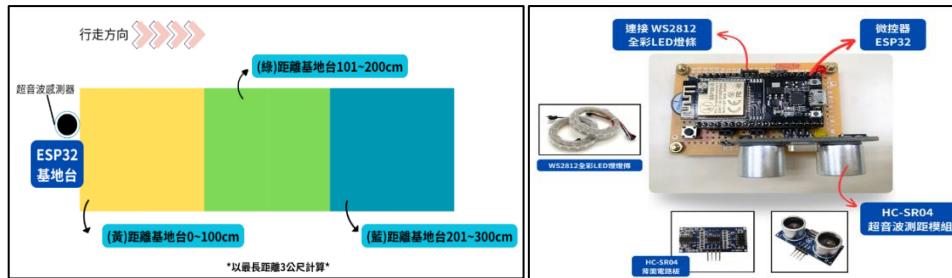


圖 3-17 模擬使用者在走道移動

3-18 測試情境時所用的硬體

(資料來源：作者自行繪製)

### (三) 壓力感測器 (Force-Sensitive Resistor) 強度測試

使用 Arduino 程式編譯器來確認壓力感測器偵測到的數值，如圖 3-19。首先要確認在無物體的情況下偵測到的數值是否為 0，再將感測器放到坐墊下測試使用者坐下的數值範圍並記錄，後續撰寫 ESP32 程式時可依此參數利用每秒偵測一次來確認使用者是否還在床上或是已起床，如圖 3-22，(由左至右為壓力感測器在使用者坐下後，偵測的數值由 0 增加到 753 的變化)。

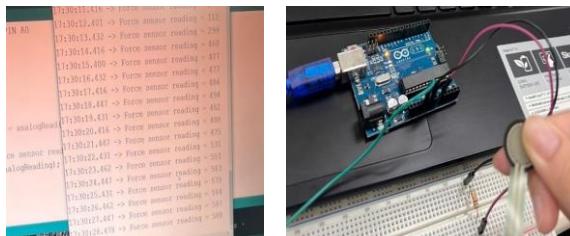


圖 3-19 程式執行畫面與 Arduino 連接壓力感測器(資料來源：作者自行拍攝)



圖 3-20 (資料來源：作者自行拍攝)

### (四) 跌倒偵測系統測試

在房間、走道或樓梯間安裝 Web CAM，偵測是否有發生跌倒事件，如圖 3-21。以及將跌倒偵測畫面透過 LINE BOT 傳送的訊息，如圖 3-22。



圖 3-21 Web CAM 偵測到人員跌倒的畫面 (資料來源：作者自行拍攝)



圖 3-22 偵測到的畫面與透過 LINE BOT 傳送的訊息(資料來源：作者自行拍攝)

### (五) 浴室進出偵測系統測試

在浴室門外以及門內安裝紅外線感測器，用來偵測長者進出浴室狀況(如圖 3-23)，當長者進入浴室時，系統會開始記錄時間，若停留時間超過設定值，系統將自動傳送通知給照護者。



圖 3-23 模擬長者進出浴室的圖片 (資料來源：作者自行拍攝)

### (六) 系統開發工具與技術

#### 1. Web Server

我們使用 Python flask 框架(MVC 架構)來架設 Web Server，收集各超音波模阻 HC-SR04、壓力感測的資訊，以及撰寫網頁，寫入 Mysql 資料庫，讓使用者可以遠端查詢。

#### 2. HTML 與 Python flask 框架

網頁介面前端使用 HTML 語言設計，讓使用者可遠端查詢。

### 3. Arduino IDE 與 Python:

使用 C 語言與 Python 開發應用程式，結合超音波模組 HC-SR04、壓力感測模組 FSR 偵測人體移動，觸發燈光引導電路、紀錄臥床行為。

## 肆、研究結果

本研究針對夜間跌倒偵測與高齡者照護需求，從影像偵測模型到感測器硬體電路進行整合，最終完成一套具備多項功能的智慧照護系統。以下分別說明主要成果與各子系統的運作機制。

### 一、夜間跌倒偵測效能

#### (一) 訓練資料與標註

為了有效辨識夜間情境下的各種姿態與動作，本研究收集了 8000 張影像 作為訓練資料，並由研究團隊自行進行標註。這些影像主要包含：

1. 已跌倒影像：2000 張
2. 預備跌倒影像：1000 張
3. 睡眠影像：1000 張
4. 坐姿影像：2000 張
5. 站姿影像：2000 張

這些資料涵蓋了高齡者在夜間環境中可能出現的關鍵狀況，亦考量了不同光線強度、背景雜訊等實際居家情境，以確保模型在真實應用場域中的適用性。

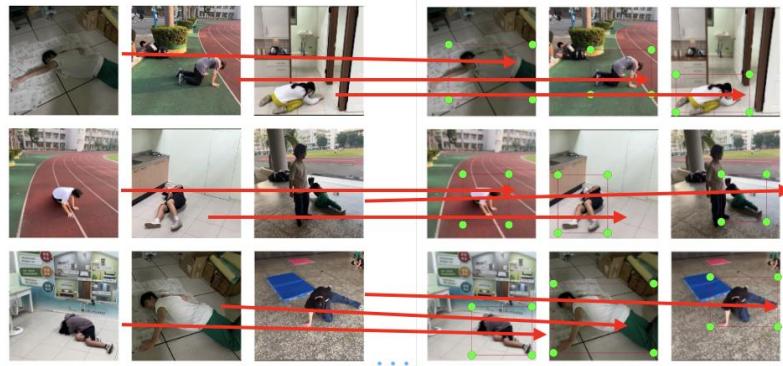


圖 4-1 數據集(來源：自行拍攝)      圖 4-2 標註後的數據(來源：自行拍攝)

## (二) YOLO11M 模型訓練

在資料標註完成後，本研究選用 YOLO11M 進行深度學習訓練。由於 YOLO 系列演算法具有單階段檢測、高速與高準確度的特點，能夠即時偵測並辨識人體姿態。為進一步提升模型在夜間環境中的辨識表現，我們針對學習率 (learning rate)、批次大小 (batch size) 以及資料增強 (data augmentation) 策略進行調整，縮短訓練時間並強化對夜間低光度場景的適應力。物件偵測評估指標：

### (1) Precision (精確率)

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad , \text{TP 是正確偵測的正例，FP 是誤偵測的負例。}$$

### (2) Recall (召回率)

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad , \text{FN 為漏偵測的正例。}$$

### (3) F1 分數 (精確率與召回率的調和平均)

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

### (4) mAP (mean Average Precision)

在多類別辨識中，mAP 的定義為各類別平均精確率的平均：

$$\text{mAP} = \frac{1}{C} \sum_{c=1}^C \int_0^1 p_c(r) dr$$

$p_c(r)$  為在類別  $c$  下，不同召回率  $r$  對應的精確率。

## (三) 測試階段準確率

經由上述訓練流程與資料增強，本研究在測試階段達到了相當穩定的偵測準確率。根據混淆矩陣分析，模型分類有高精確率 (Precision) 與高召回率 (Recall)，最終 F1 分數達到理想水準，顯示在不同光線環境下，系統仍能有效辨識跌倒事件。下方將在 四 進一步呈現夜間影像增強對準確度的助益。

## 二、硬體感測與控制電路整合

為了讓系統在真實情境中發揮實際功能，我們結合了多種感測器與控制模組，並透過自製電路板完成焊接與安裝，如圖 4-3 所示（焊接完成的電路板，資料來源：作者自行拍攝）。此電路板的核心為 ESP32 微控制器，具備 Wi-Fi 功能，能即時將感測資訊上傳至後端伺服器或觸發各項動作。以下列舉主要功能模組：

### (一) 超音波感測器與 WS2812B 燈光引導

超音波感測器用於測量長者與特定目標（例如牆壁或床頭）之距離，當偵測到長者即將行走或靠近危險區域時，啟動 WS2812B 燈條。燈條可依需求設計出不同亮度或顏色模式，協助夜間視覺引導，減少跌倒風險。

### (二) 跌倒偵測

影像偵測模組與感測器結合，若偵測到長者發生跌倒，系統即時觸發警示與紀錄。

### (三) 自動訊息傳送

系統即時發送 Line 通知 (Line Bot)，在判定發生危險狀況時，會自動傳送訊息給照護者，以便立即聯繫與救援。

### (四) 起床壓力感測器 (FSR)

在床墊下或床沿處安裝壓力感測器，偵測長者是否起身或久坐，若長者長時間維持同一姿勢，也可作為提醒訊號。

### (五) 浴室進出偵測

在浴室門口或地墊上配置感測器，紀錄長者進入與離開的時間，並計算停留時間。若超過預設安全門檻，系統將自動發送警示。

#### (六)遠端網路監控介面

透過 ESP32 之 Wi-Fi 模組與 Flask 或其他 WebServer 架構整合，可將所有感測與偵測資訊即時傳至雲端或本地網頁伺服器。照護者只需透過電腦或手機網頁，即可遠端查詢長者的動態，包含夜間離床紀錄、浴室進出時間與跌倒警報等。

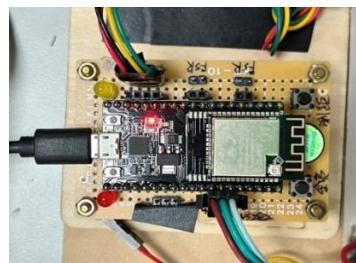


圖 4-3 焊接完成的電路板(資料來源：作者自行拍攝)

### 三、系統整合測試與實際運作

圖 4-4 顯示了本研究作品的模型屋 (資料來源：作者自行拍攝)。系統部署在模擬居家環境中，包含床邊、走道及浴室門口等高風險區域。實際測試時，系統成功地將多種感測器（超音波、壓力感測器、影像偵測等）所獲取的資訊進行彙整，並依照設計邏輯自動觸發燈光引導、發送警示訊息，以及於後端 Web 介面進行動態紀錄。整體測試結果顯示：

#### (一) 即時性

偵測到事件觸發燈光或發送訊息的延遲僅數秒內，符合居家安全需求。

#### (二) 準確度

在多次夜間情境測試中，跌倒辨識準確度與預期相符，誤報率 (False Alarm) 維持在可接受範圍，顯示影像增強及 YOLO11M 模型的夜間偵測能力具有穩定表現。

#### (三) 實用性

家屬或照護者可透過手機隨時連線至 WebServer，快速了解長者最新

狀態，進一步提高夜間照護的效率與即時性。



圖 4-4 作品完成圖 (資料來源：作者自行拍攝)

#### 四、夜間影像資料增強與模型訓練優化

在實際居家環境中，長者於夜間活動頻繁，然而由於光源不足與雜訊干擾，影像品質普遍偏低，導致跌倒辨識準確率下降。為提升模型於夜間的辨識能力，本研究不僅針對即時輸入影像進行增強處理，也將夜間影像資料進行預處理後重新訓練 YOLO11M 模型，以強化其在低照度條件下的特徵學習能力。具體實施策略如下：

##### (一) 夜間影像資料增強處理

我們將蒐集到的夜間影像資料批次進行預處理，包含以下步驟：

亮度與對比度強化：透過線性轉換提升整體亮度與對比層次，使人物輪廓與跌倒姿勢更明顯。

Gamma 校正：針對暗部影像進行非線性增亮，保持自然感並避免過度曝光。

CLAHE 增強：採用對比度受限自適應直方圖均衡化，增強局部細節並維持整體平衡感。

雙邊濾波：減少增亮後產生的雜訊，同時保留影像邊緣結構，避免特徵失真。

##### (二) 經增強後影像進行再訓練

處理後的夜間影像被重新標註並納入模型訓練資料集中，進一步提升

YOLO11M 對於夜間特徵的學習效果。透過增強資料的訓練，模型在低光源條件下的辨識精準度有顯著提升。根據測試結果顯示，重新訓練後模型於夜間資料的表現如下：

精確率 (Precision) 由 0.88 提升至 0.93

召回率 (Recall) 由 0.85 提升至 0.91

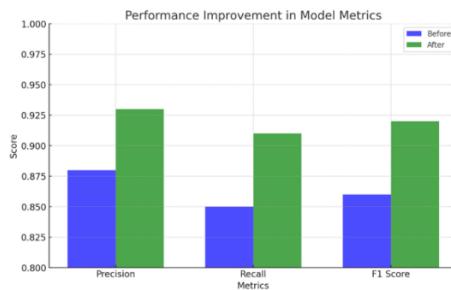


圖 4-5 影像增強比較圖(來源：自行拍攝)

### (三) 實際部署驗證

於模擬夜間居家場景（床邊、走道、浴室）部署系統進行驗證，結果顯示新模型具備穩定的夜間辨識能力，能即時準確偵測出跌倒事件並觸發警報。同時，透過網頁介面遠端即時查看增強影像與辨識結果，也讓照護者更具信賴感。



圖 4-5 影像增強對照圖(來源：自行拍攝)

## 五、姿態分類與判斷依據

本系統針對長者日常活動中常見的五種姿態進行辨識與監控，分別為：站姿、坐姿、臥姿、跌倒、預備跌倒（即跌倒預兆）。透過結合影像辨識結果與壓力感測器（如臥床感測器）之狀態，本系統可即時掌握姿態轉換的邏輯流程，並進行異常行為判定。為強化姿態判斷的合理性與準確性，本系統設計以下判斷機制：

### 1. 站姿→臥姿未經中介階段之判斷

若系統偵測到使用者由站姿直接轉為臥姿，且中間未經過坐姿或欲跌倒等中介狀態，即視為非正常姿態轉換，系統將初步判定為跌倒事件。

### 2. 臥姿狀態下未觸發臥床感測器

當影像辨識顯示為臥姿，但臥床感測器未偵測到相應壓力輸入，代表使用者可能並未安全躺於床上，亦可能為倒臥於地，因此此類狀況亦視為跌倒事件。

### 3.FSM（有限狀態機）判斷流程

為處理姿態轉換的邏輯流暢性與即時性，本系統採用有限狀態機(Finite State Machine, FSM)架構進行姿態狀態轉移管理。FSM 設計邏輯如下：

- (1) 正常轉換流程：站姿 → 欲跌倒 → 臥姿 或 站姿 → 坐姿 → 臥姿
- (2) 異常轉換流程（視為跌倒）：站姿 → 臥姿、坐姿 → 臥姿（無欲跌倒過渡）、臥姿（無床感測）

透過 FSM 的轉移條件設定與感測器多源比對，能有效降低誤判與漏判風險，並提供具解釋性之判斷依據，提升系統於真實應用場景下之可靠性與穩定性。

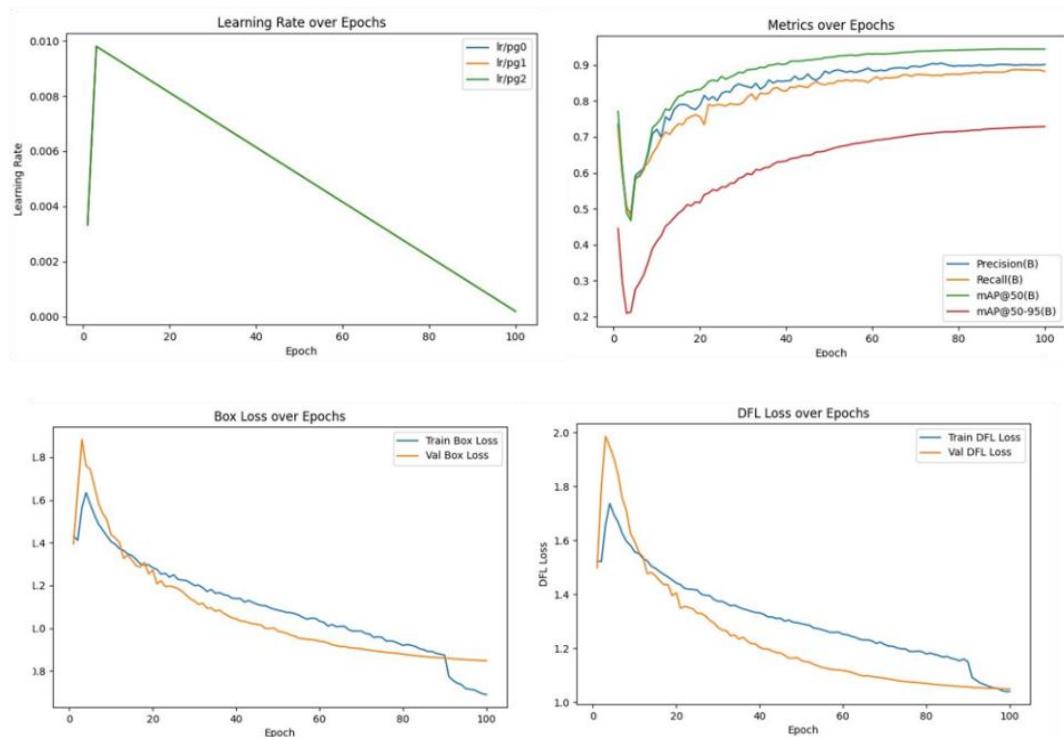


圖 4-5 為訓練時的數據(來源：自行繪製)

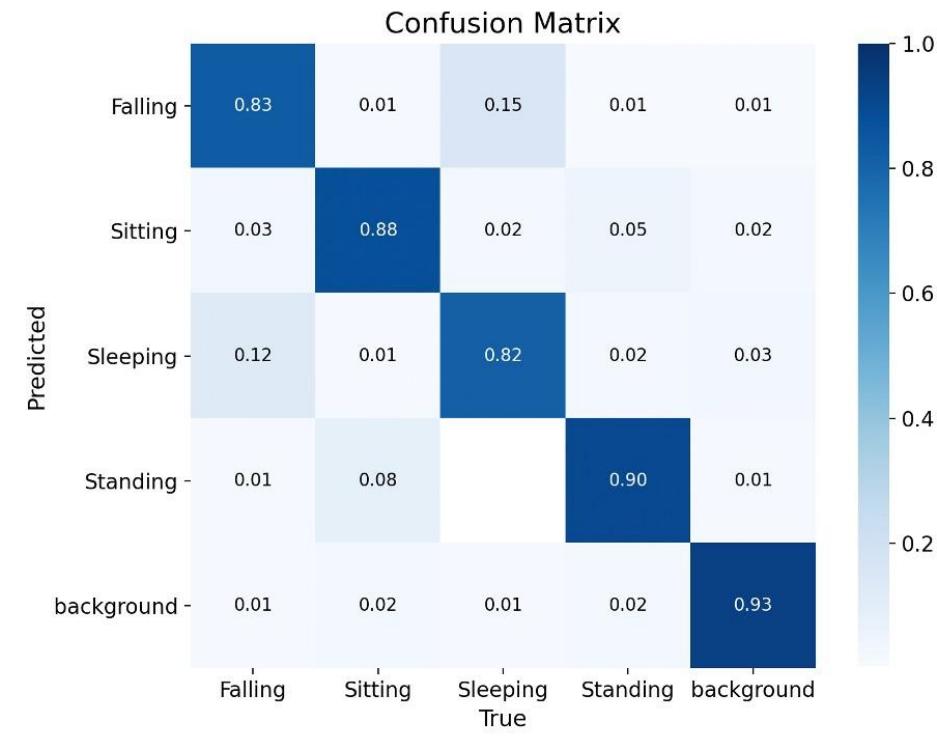


圖 4-6 訓練後的混淆矩陣

(來源：自行繪製)

## 伍、討論

本研究成功整合了影像處理技術（OpenCV 影像增強）、深度學習辨識模型（YOLO11M）及多元感測器（超音波、壓力感測器），並結合有限狀態機（FSM）邏輯，打造出一套完整且非侵入式的夜間居家智慧照護系統。從實驗結果與實際部署過程中，歸納出以下值得探討的重點：

### （一）夜間影像增強對辨識效能的影響

夜間環境的光源不足與雜訊增加，是傳統影像辨識系統面臨的最大挑戰。本研究透過系統化的影像增強流程，包括亮度與對比度調整、Gamma 校正、CLAHE 及雙邊濾波，顯著提升了夜間跌倒偵測準確率（Precision 由 0.88 提升至 0.93，Recall 由 0.85 提升至 0.91）。此結果印證影像預處理的重要性，不僅改善影像可視性，也增加模型對細節的捕捉能力，使其更適合真實環境應用。

### （二）姿態轉換邏輯與 FSM 機制的重要性

本系統導入有限狀態機（FSM）以明確定義姿態轉換流程，確保辨識異常行

為的準確性與即時性。實驗證明，當系統偵測到未經正常姿態過渡（如站姿直接變臥姿）或感測器數據異常（臥姿時未偵測到床墊壓力）時，能有效提高跌倒事件的偵測準確性，降低誤判率，提供清晰且可解釋的判斷依據。

### （三）多感測器融合的必要性與效益

單一感測器資訊可能會出現偵測上的限制（如影像遮蔽或單點感測不足），透過超音波感測器與 FSR 壓力感測器之多元數據融合，使系統在事件辨識上更具可靠性與完整性。此外，透過整合 Web 伺服器與 LINE 即時通知，系統實現即時回饋機制，能有效提升照護效率與長者安全。

### （四）孤獨與心理健康偵測之潛力與限制

本系統除跌倒偵測外，透過姿態辨識與持續性行為分析，提出以姿態維持異常作為孤獨與憂鬱徵兆的判斷依據。雖然研究成果初步證明此方法的可行性，但孤獨與憂鬱之心理狀態仍須結合更多元的數據（如生理訊號或主觀問卷）才能獲得更精準的判斷，這也是未來可進一步改善的方向。

### （五）系統之可實用性與未來發展潛力

本研究採用低成本硬體（ESP32、IPCam）實現完整功能，在成本效益及實用性方面有明顯優勢。然系統目前仍受限於鏡頭解析度、夜間影像品質及模型訓練資料量等因素，未來可透過導入紅外線攝影機、擴大訓練資料集規模及引入自適應演算法，進一步強化系統效能，提升大規模應用的可行性。

## 陸、結論

本研究旨在解決夜間居家環境中獨居長者之跌倒與孤獨問題，成功開發一套整合多種技術的智慧安全系統，主要結論如下：

（一）透過 OpenCV 影像增強與 YOLO11M 深度學習模型，夜間跌倒事件的偵測準確率達到顯著提升（Precision 93%、Recall 91%），有效克服夜間光源不足造成的辨識困難。

（二）利用有限狀態機（FSM）進行姿態轉換邏輯判斷，明確定義異常姿態變化，

顯著提高系統偵測跌倒事件的準確性與即時性，並降低了誤報機率。

(三) 透過多感測器 (FSR 壓力感測器與 HC-SR04 超音波感測器) 之融合，提升系統的準確性與穩定性，並透過即時警示系統 (如 LINE 通知) 提供及時的安全支援。

(四) 本系統初步展示了以姿態維持異常作為偵測長者孤獨與潛在憂鬱風險之可能性，但為達到更精準的心理狀態偵測，未來仍需納入更多元化的數據收集與分析方法。

(五) 整體而言，本研究之智慧居家安全系統展現了良好的成本效益及實用性，未來若能進一步升級硬體設備 (如高解析度紅外線攝影機)、增加訓練數據與導入更強大的辨識模型，可望進一步提升系統效能與廣泛應用的潛力，為高齡社會的居家照護與安全保障提供更加完善的智慧化解決方案。

## 柒、參考文獻資料

- [1] 無作者. (n.d.). OpenCV 改善了夜間圖像的照明. 取自 [http://blog.csdn.net/weixin\\_43229348/article/details/120747688](http://blog.csdn.net/weixin_43229348/article/details/120747688)
- [2] Tommy Huang. (n.d.). 深度學習-物件偵測: You Only Look Once (YOLO). 取自 <http://reurl.cc/p979El>
- [3] 臺北榮民總醫院護理部. (2025). 憂鬱症之照護. 取自 <https://iheALTH.VghTPE.gov.tw/media/864>
- [4] HKIRC Cyber Security Team. (n.d.). IoT 時代衍伸數據帶來的機遇與風險. 取自 <http://www.cybersec.hk/en/post/2576>
- [5] 潘汶榆;莊棨皓. (2009). 加拿大老人防跌：照護介入與跌倒偵測器 [Fall Prevention of Canadian Elderly People: The Use of Fall Detector]. 取自 <http://www.airitilibrary.com/Article/Detail/18186009-200906-5-1-60-69-a>
- [6] 蘇品嘉; 黃博鴻; 徐東申. (n.d.). 人與人自動測距警報器 [Automatic Distance Measuring Alarm]. 取自 <http://reurl.cc/V0K0dA>
- [7] Ultralytics. (n.d.). YOLOv11 模型文檔 [YOLOv11 Model Documentation]. 取自 <http://reurl.cc/V0K0dA>

h ttp s://do cs. Ultral ytics .co m/z h/mod els/yolo11/

[8]Gtwang. (n.d.). OpenCV 基礎圖像讀寫教程 [OpenCV Basic Image Read and Write Tutorial]. 取自 h ttp s://re url .cc/L5 Y5Ee

[9]Flask. (n.d.). Flask Documentation. 取自 ht tps://flas k. pallet sprojects. com/en/stable/

[10]Huang, No.1. (n.d.). Flask MySQL. 取自 ht tps://huan gno1 .github. io/flask \_mysql/

[11]DataCamp. (n.d.). MySQL Tutorial. 取自 ht tps:// reurl. cc/5DeDjM

[12]米羅科技文創學院.(n.d.). 【IOT 物聯網應用-ESP32】第二篇：Arduino IDE  
安裝建置 ESP32 開發板. 取自 ht tps://shop. mirotek. com.tw/iot/esp32-start-2/

[13] Sparkfun Electronics.(n.d.). Ultrasonic Ranging Module HC-SR04 取自  
ht tps://cdn .spar kfun. com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf

[14] Sparkfun Electronics.(n.d.). HC-SR04 Timing Diagram 取自  
ht tps://cdn. spa rkfun. com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf

[15] 瑞昱半導體(n.d.). WS2812B - 基本範例 取自  
ht tps://www.ame baiot. com/zh/amebad-arduino- ws2812b-basics/

[16] Adafruit(n.d.). Force Sensitive Resistor (FSR) 取自 http s://re url .cc/WAjA6e

[17] 傳產工業 4.0 化協作計畫(n.d.).IRS-180 紅外線避障感測器  
取自 ht tps://reurl. cc/Y4L42D

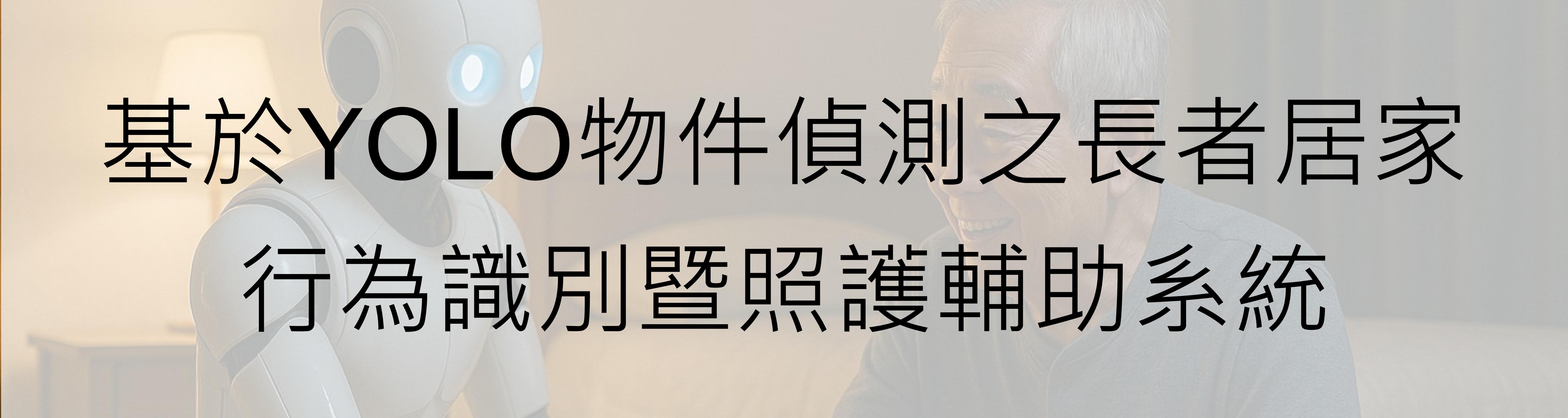
## 【評語】052509

本本作品結合 YOLO 深度學習物件偵測模型與多種感測器完成一個智慧監測系統，並著重在夜間跌倒事件的即時偵測，此作品利用影像增強技術克服低光源下偵測模型表現不佳的問題，系統設計考慮到隱私性。整體來說，此作品的系統整合完成度高。

未來發展的建議：

1. 此作品以實作為主，所採取技術以採用成熟的套件或軟體，技術的創新性可以再加強。
2. 此作品較欠缺完整的實驗驗證，無法驗證所實作系統的精確度與可靠度。
3. 目前的模型以靜止的影像進行辨識，未考慮到時間上的動態變化，建議可考慮導入行為時間序列模型（如 LSTM），加強行為動作辨識的精確度。

作品海報



基於YOLO物件偵測之長者居家

行為識別暨照護輔助系統

# 壹、研究動機與目的

隨著人口結構高齡化，老人跌倒已成為重大安全與健康議題。在夜間環境下照明不足，高齡者半夜起床上廁所時更容易發生跌倒意外。因此本研究構想利用影像式人工智慧技術來即時偵測長者夜間的活動狀態，特別是跌倒事件，以提供即時警示與後續照護支援。

## 貳、研究目標

建立一套整合影像與物件偵測的智慧居家安全系統：

- (一) 夜間影像增強技術：利用 OpenCV 提升監視畫面亮度與清晰度。
- (二) 跌倒偵測模型訓練：蒐集並標註跌倒影像，訓練YOLO模型即時偵測夜間跌倒。
- (三) 臥床監測與照明輔助：偵測長者夜間起身，自動LED燈條引導，降低跌倒風險。
- (四) 浴室進出監控：記錄長者進出浴室情況，異常時網頁伺服器發出警示。
- (五) 提升高齡者照護安全：減少意外風險，有助於獨居長者的生活守護。

## 參、文獻研究

### 一、影像增強技術

當一張圖像因為光線不足、環境雜訊或其他因素而導致亮度不足時，我們可以通過影像增強技術來調整和優化這些參數，使圖像看起來更清晰。



圖 1：影像增強比較圖

(資料來源：取自 改善夜間影像的照明)

### 二、深度學習-YOLO物件偵測

深度學習YOLO ( You Only Look Once ) 是快速又準確的目標偵測演算法，用於即時監控和安全系統中。透過訓練模型和遷移學習，即使資料不多，也能針對長者跌倒偵測任務進行微調，節省訓練時間和資源。

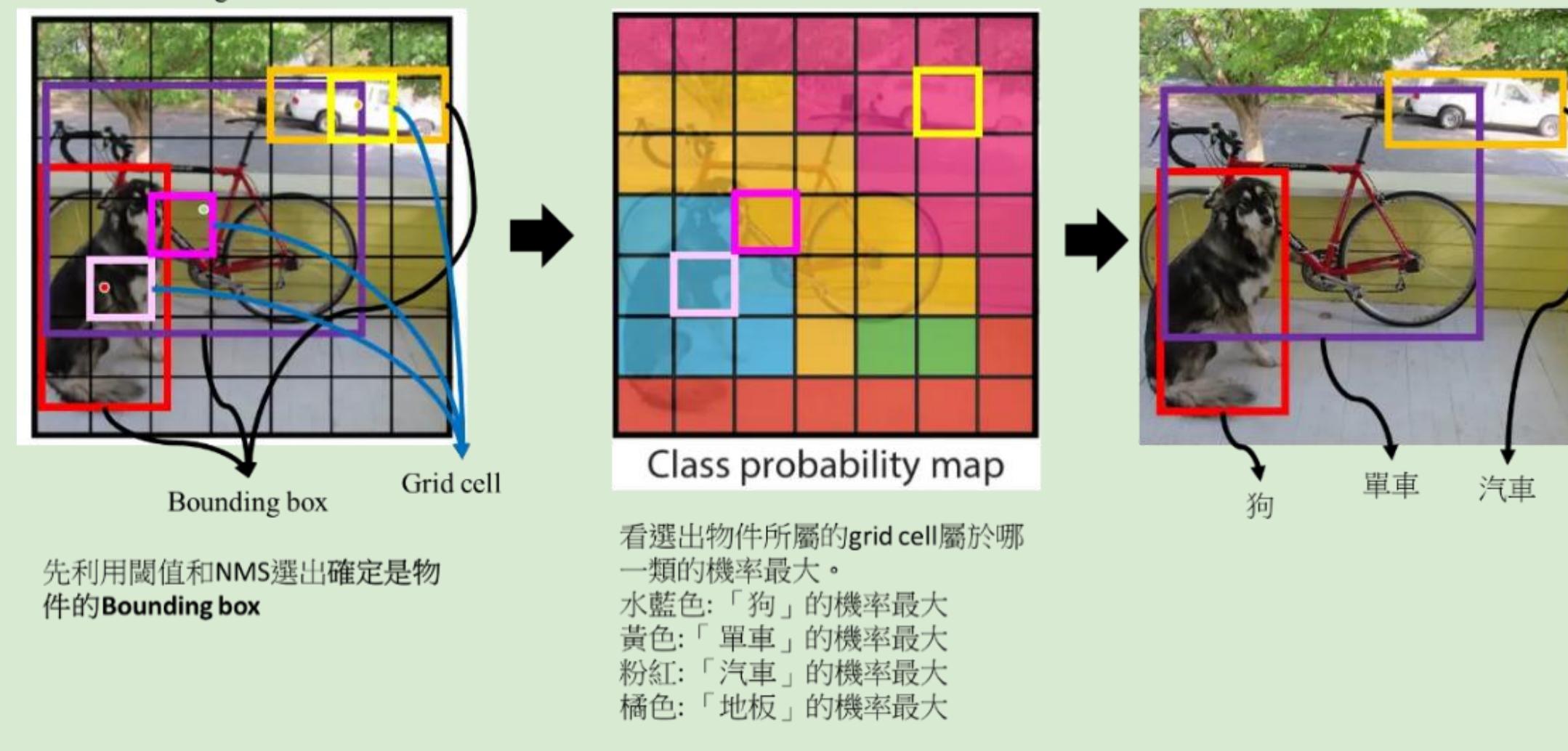


圖 2：YOLO物件偵測示意圖

(資料來源：取自 深度學習-物件偵測)

### 三、老人跌倒防治介入

隨著高齡化社會的到來，老人跌倒已成為健康與照護負擔的重要議題。傳統防治方法如穿戴式緊急呼叫系統和床邊感測器等，常面臨低依從性、高成本及覆蓋範圍限制問題。我們結合資訊科技與人工智慧，即時監控提供非侵入式的安全監測與預警。

## 肆、研究設備器材

### 一、電路設計

- 1.ESP32
- 4.FSR
- 2.WS2812
- 5.TCRT5000
- 3.HC-SR04
- 6.Logitech WebCam

### 二、電腦設備規格

	系統	GPU	CPU
桌上型電腦	Windows 11	RTX 4070	I7 -13700
樹莓派5	Raspberry Pi OS	VideoCore VII	Cortex-A76 (ARMv8.2-A)

(資料來源：作者自行整理)

## 伍、研究過程與方法

### 一、研究及程式流程

#### (一) 跌倒辨識系統

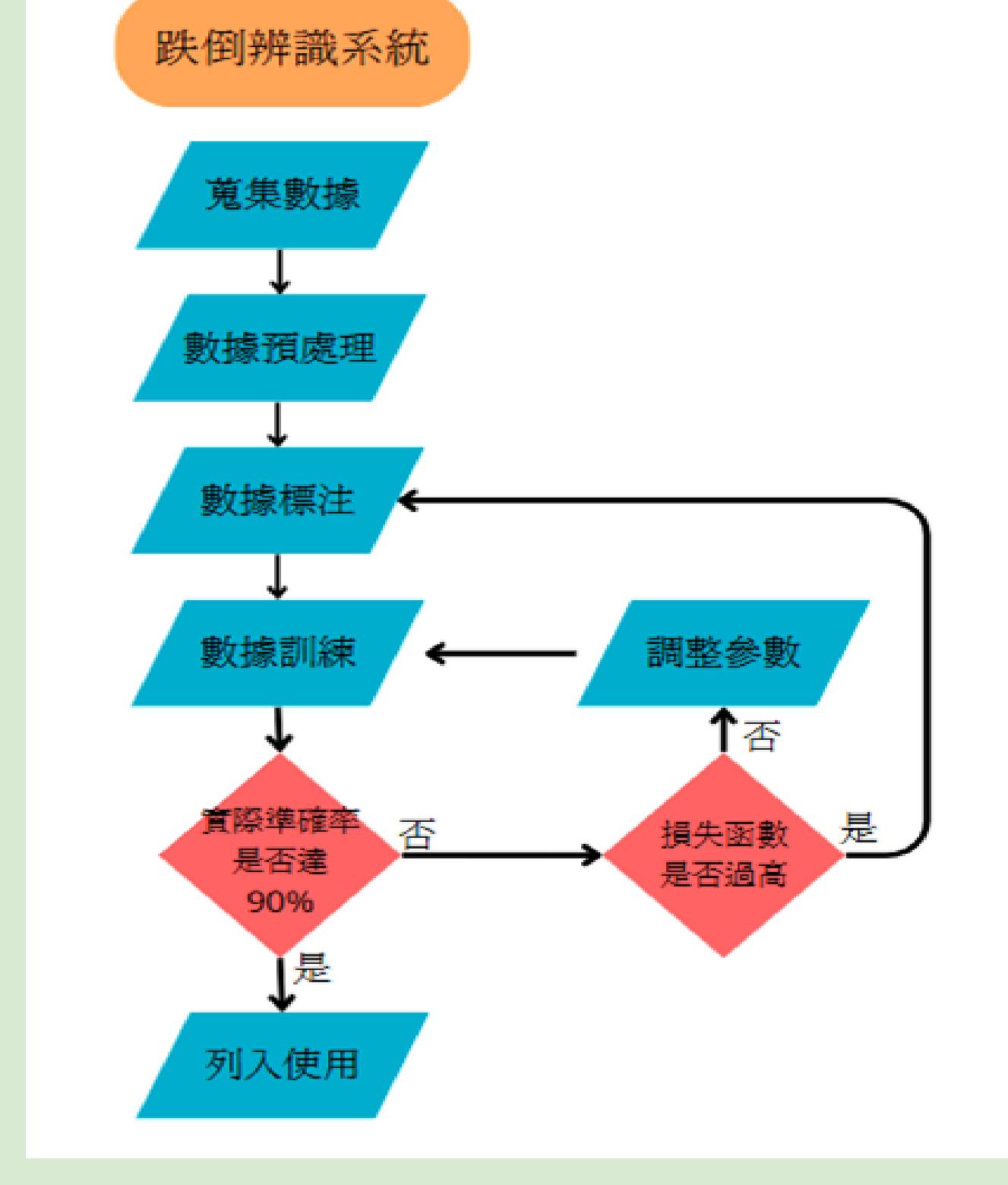


圖 3：跌倒辨識系統流程圖

(資料來源：作者自行繪製)

#### (二) 夜間影像增強

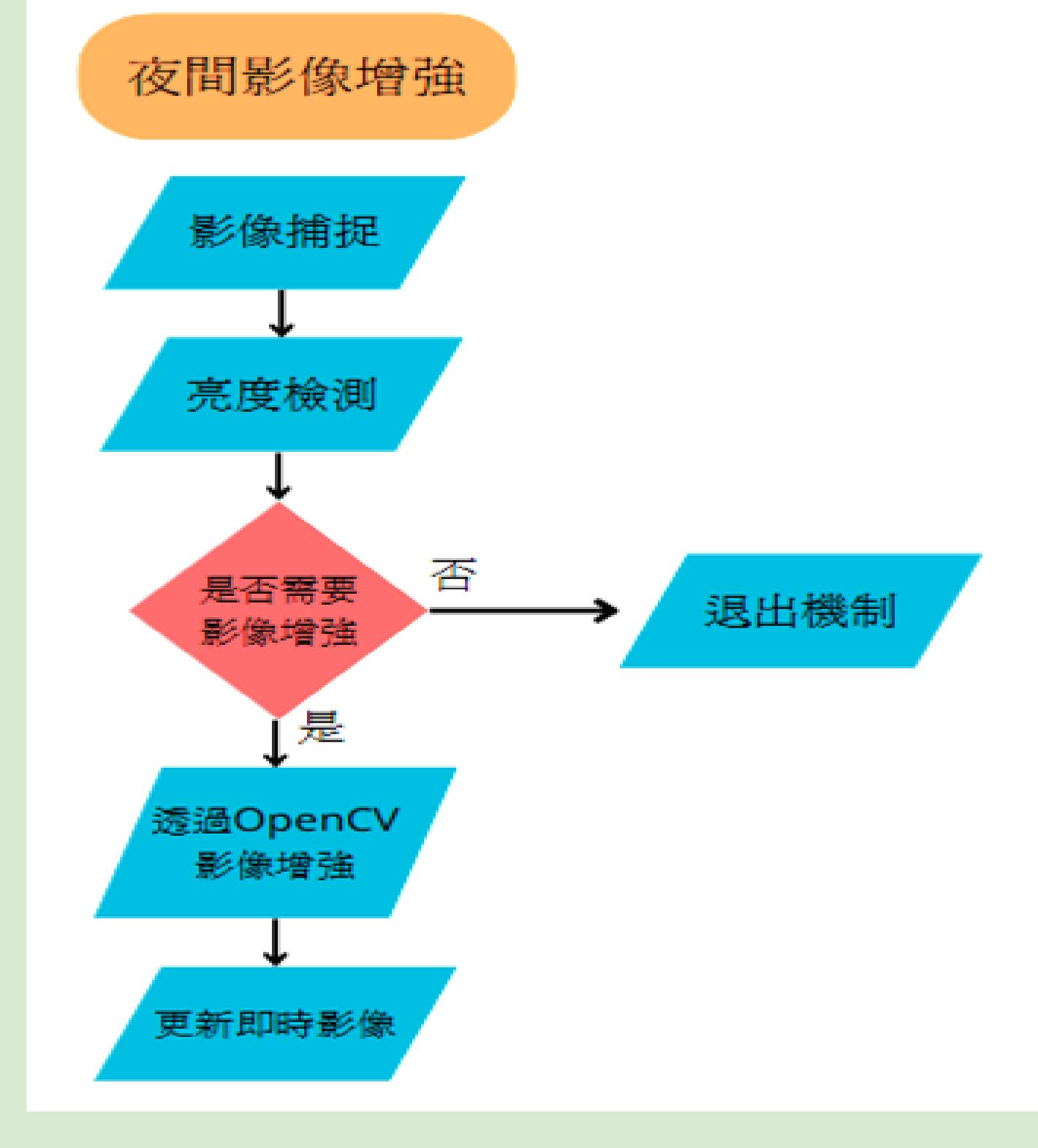


圖 4：夜間影像增強流程圖

(資料來源：作者自行繪製)

#### (三) Arduino 與感測器

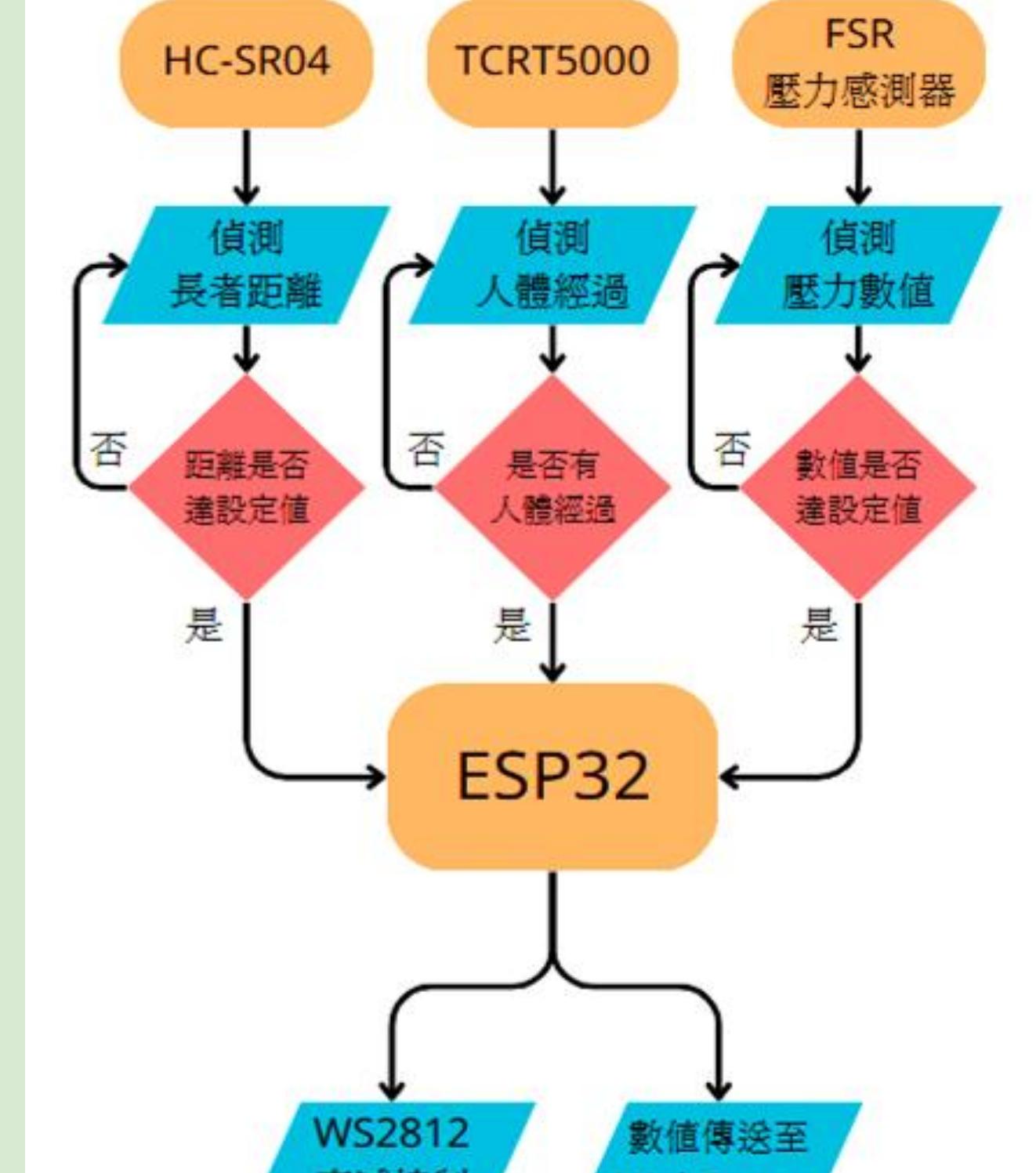


圖5：Arduino 程式流程圖

(資料來源：作者自行繪製)

## 二、系統架構與軟體介面

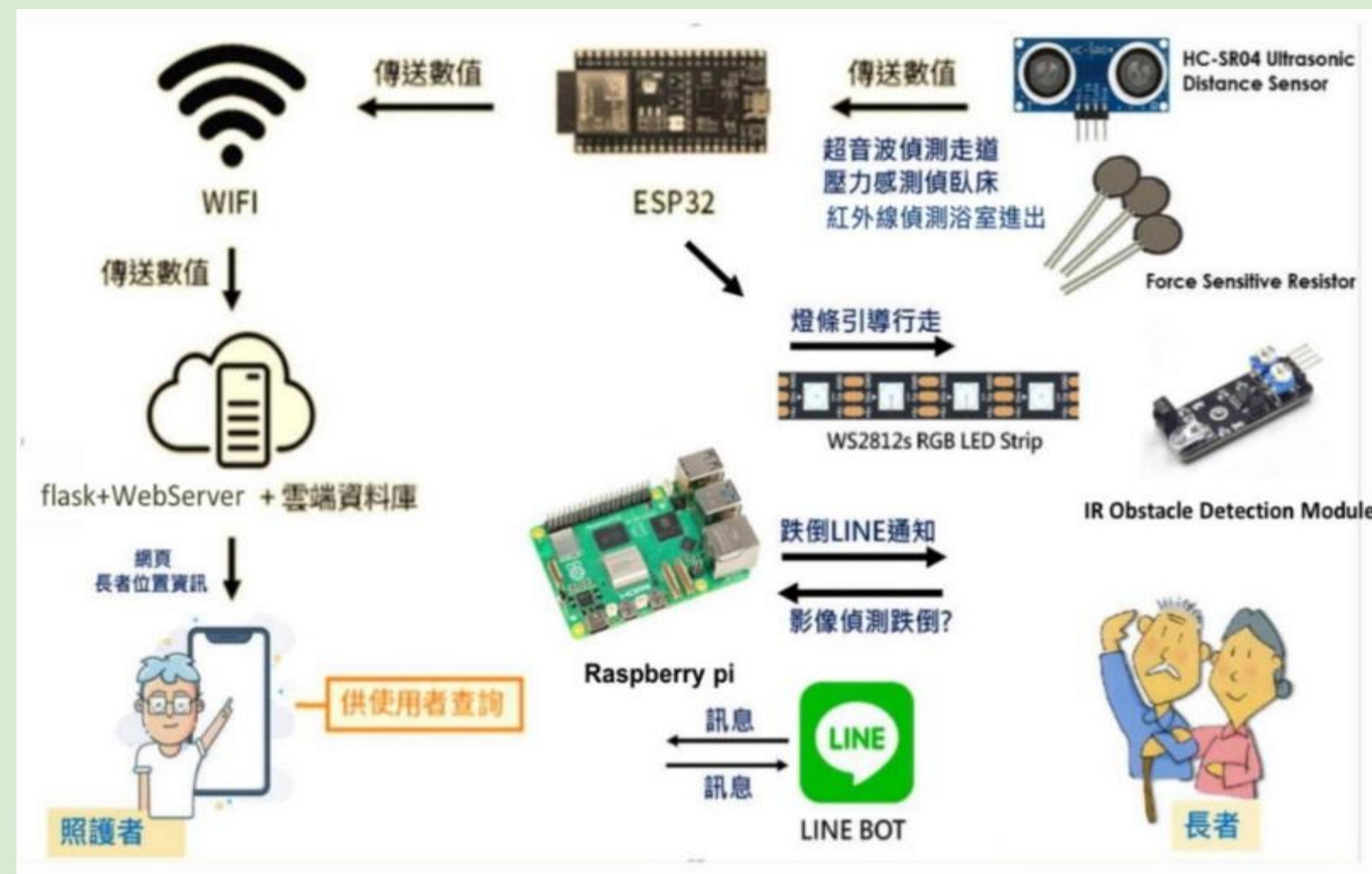


圖6：系統架構圖(資料來源：作者自行繪製)

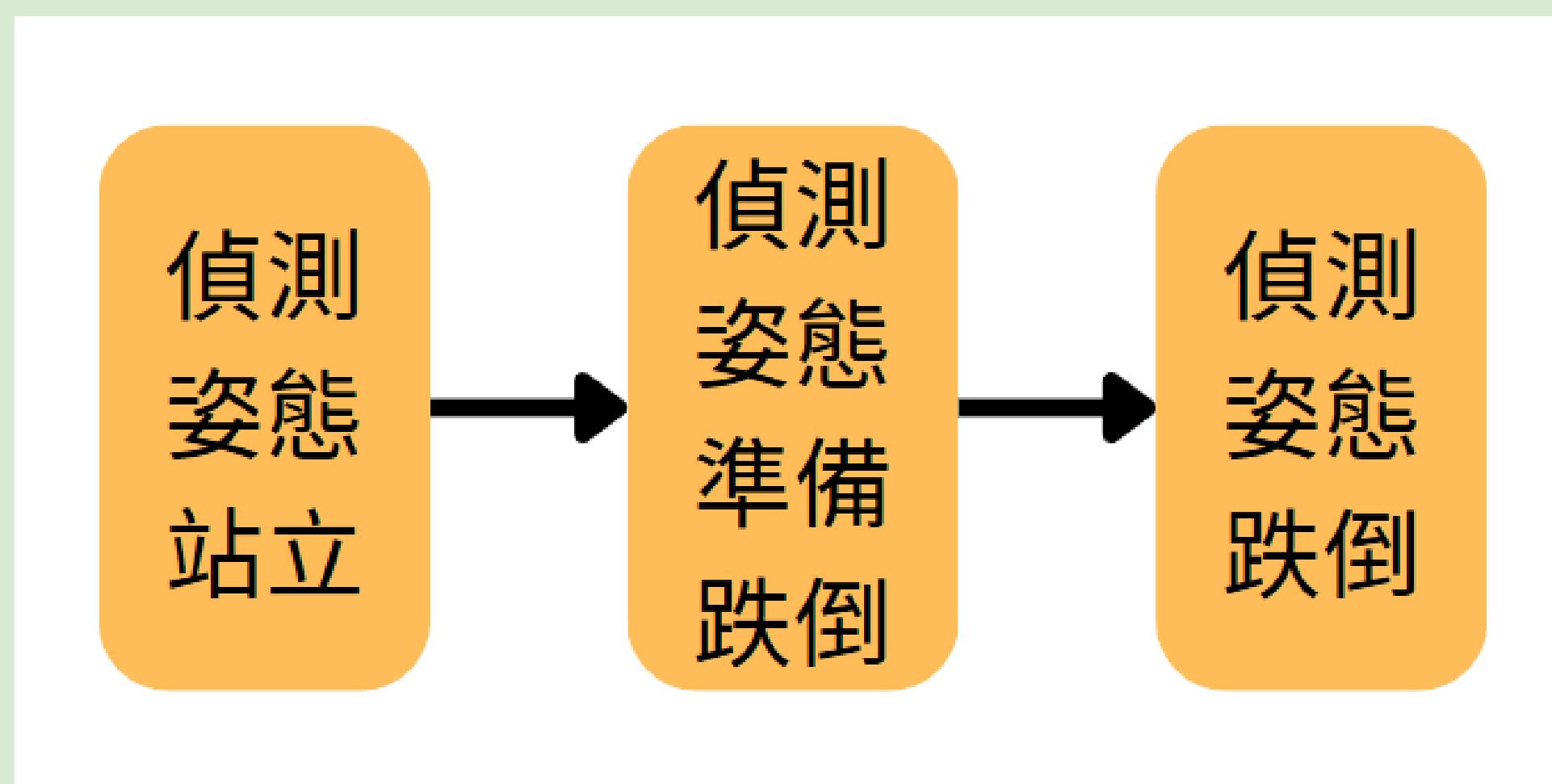


圖7：正常跌倒流程  
(資料來源：作者自行繪製)

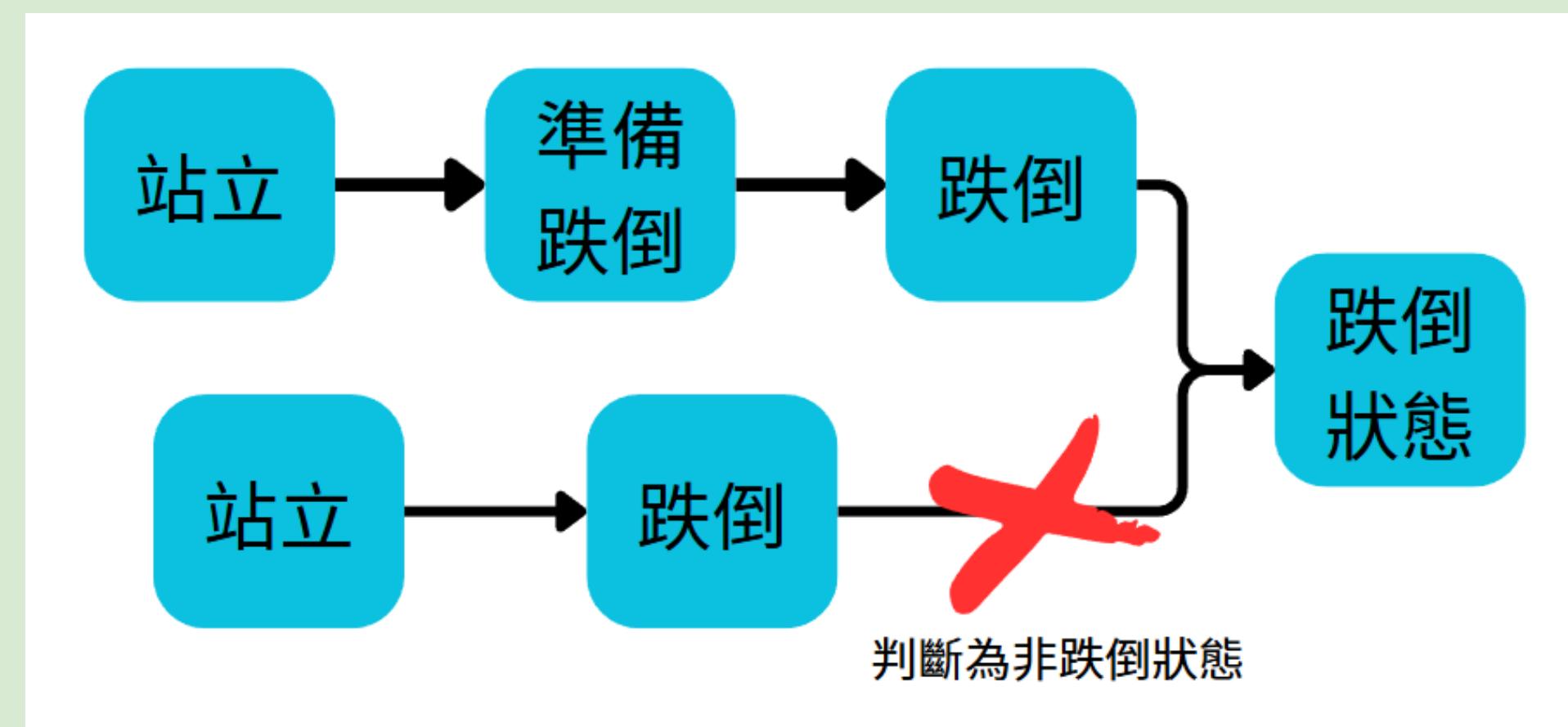


圖8：FSM狀態機判斷流程  
(資料來源：作者自行繪製)

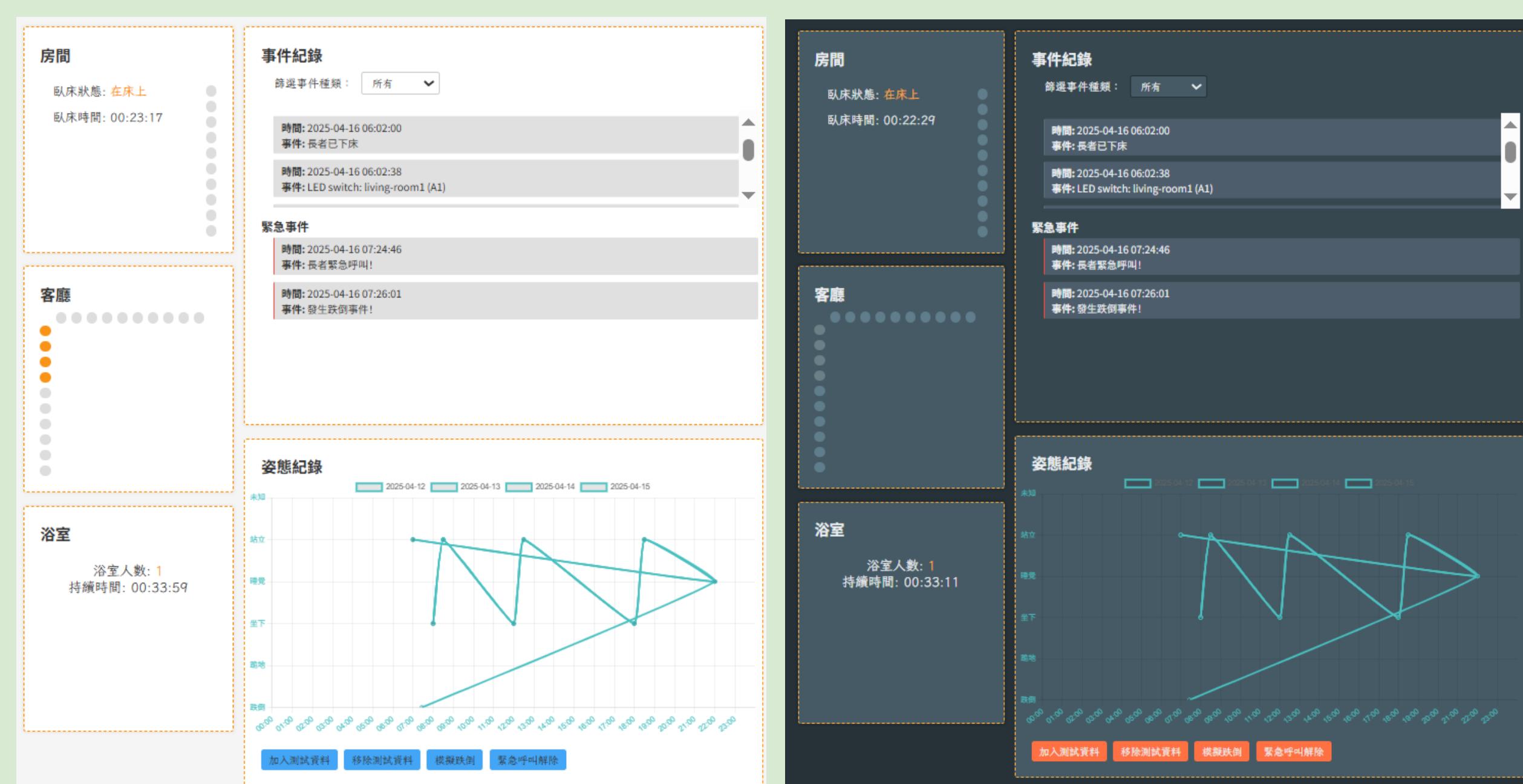


圖9：淺色與深色主題介面  
(資料來源：作者自行繪製)



圖10 發生跌倒狀況時發出警訊  
(資料來源：作者自行繪製)

## 三、系統功能說明與測試

### (一)建置測試環境與規劃 WS2812 全彩 LED 燈條位



圖11 根據使用者的位置逐段亮起LED燈  
(資料來源：作者自行拍攝)

### (二) HC-SR04 超音波測距模組測試

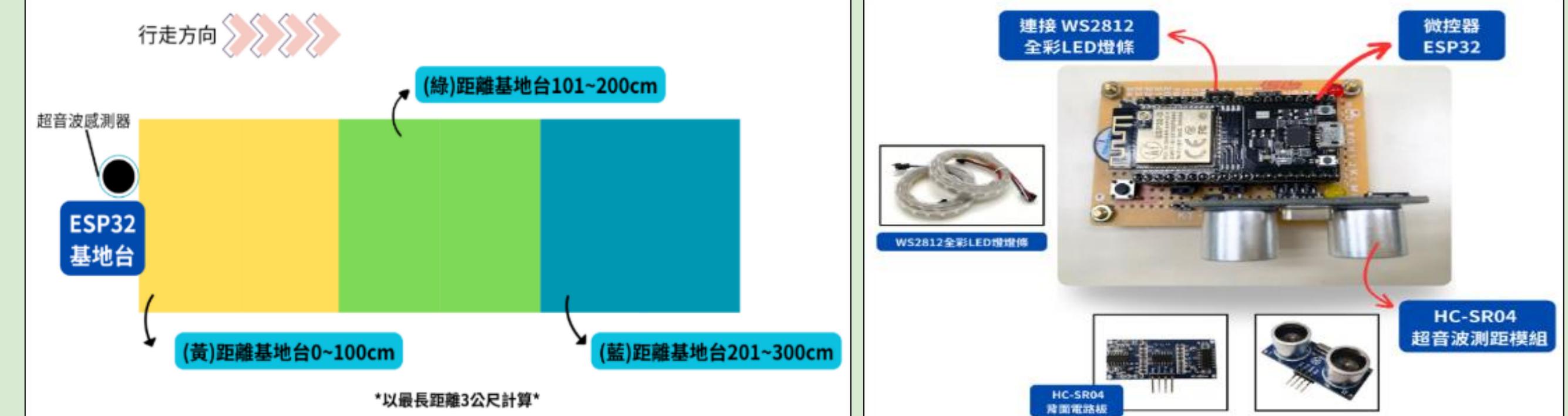


圖12：模擬示意圖(左)及測試時用到的硬體(右)  
(資料來源：作者自行繪製)

### (三)壓力感測器 ( Force-Sensitive Resistor ) 強度測試

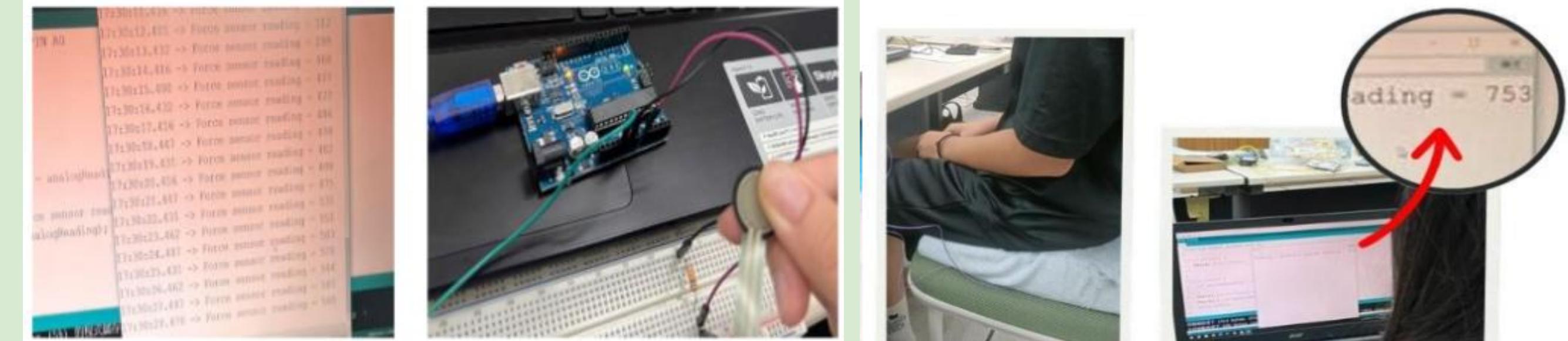


圖13：程式執行畫面與Arduino連接壓力感測器  
(資料來源：作者自行拍攝)

### (四)跌倒偵測系統測試



圖14偵測到的畫面與LINEBOT傳送的訊息(資料來源：作者自行拍攝)

### (五)浴室進出偵測系統測試



圖15模擬長者進出浴室的圖片  
(資料來源：作者自行拍攝)

## 四、影像增強技術

### (一)亮度與對比度調整 ( Brightness & Contrast Adjustment )

運算方式：

$$I_{\text{out}} = \alpha \cdot I_{\text{in}} + \beta$$

其中， $\alpha$ 代表對比度係數， $\beta$ 代表亮度偏移量。調整時，會根據環境光線情況動態設定參數，以避免過度增亮造成雜訊放大。

### (二)Gamma 校正 ( Gamma Correction )

基本公式：

$$I_{\text{out}} = 255 \times \left( \frac{I_{\text{in}}}{255} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

當 $\gamma < 1$ 時，暗部被明顯提亮；當 $\gamma > 1$ 時則壓暗亮部。

### (三)對比度受限的自適應直方圖均衡化 ( CLAHE )

採用 CLAHE ( Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization )，將影像分成多個區域 ( tiles ) 分別進行直方圖均衡化，再限制對比度的增強程度，提升局部對比與抑制過度增亮，使夜間影像的細節更為明顯。

### (四)雜訊抑制與平滑化 ( Noise Reduction & Smoothing )

對夜間影像大幅增亮後，原本不明顯的感光雜訊會放大。為了降低雜訊對辨識造成的影響，本研究使用雙邊濾波 ( Bilateral Filter ) 平滑化處理，考量空間距離與像素值差異，較明顯的邊緣資訊，維持目標物體的形狀與細節。

### (五)參數動態調整與評估

本研究會依據環境亮度、鏡頭特性，動態地選擇亮度和對比度參數、Gamma 值，以及 CLAHE 的 clip limit 等設定。若調整時發現參數過度放大雜訊或產生邊緣模糊，會進行測試及調校，確保在提亮影像的同時，能維持細節與邊緣特徵。

# 陸、研究結果

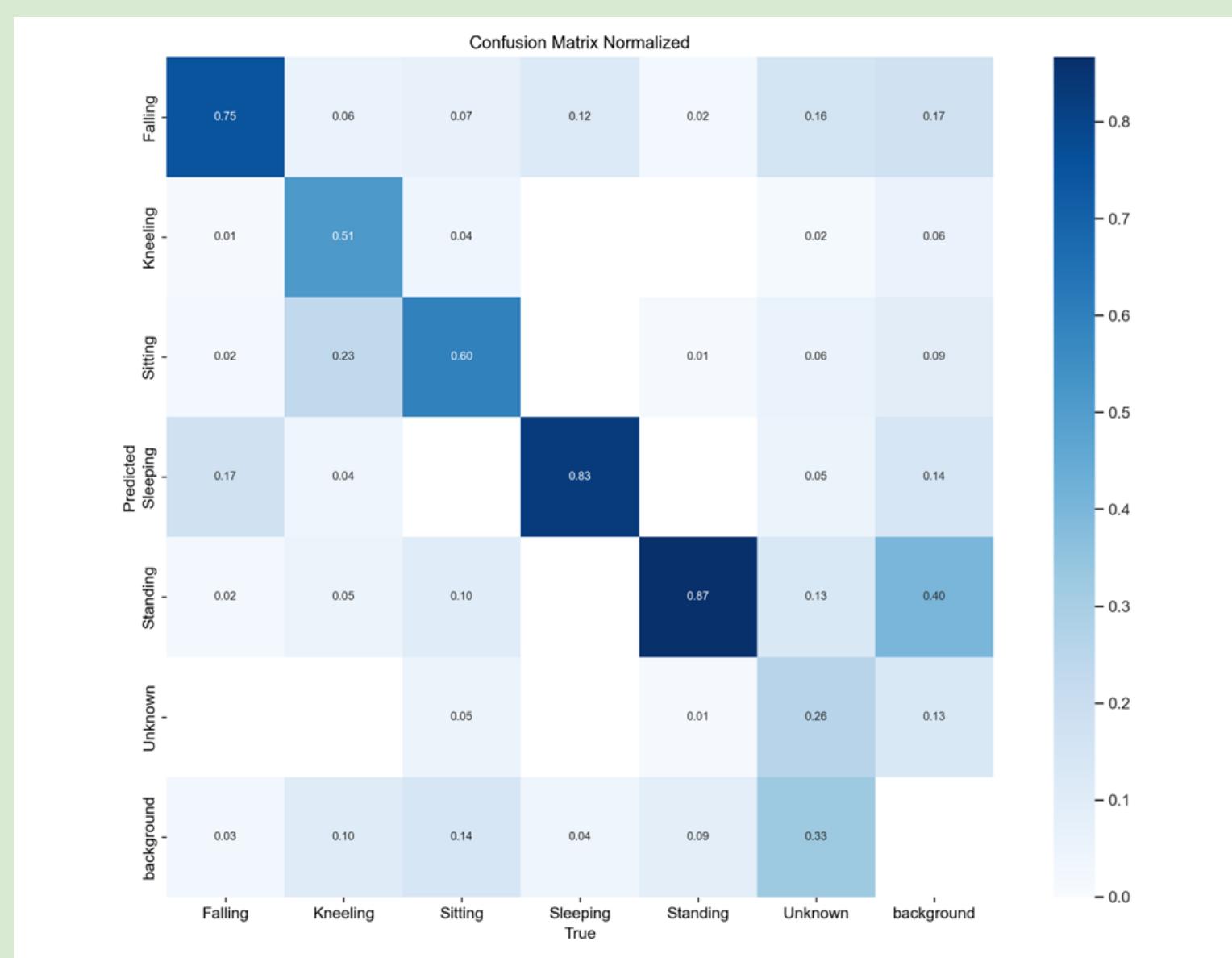


圖 16：YOLOv8 正規化混淆矩陣  
(資料來源：作者自行繪製)

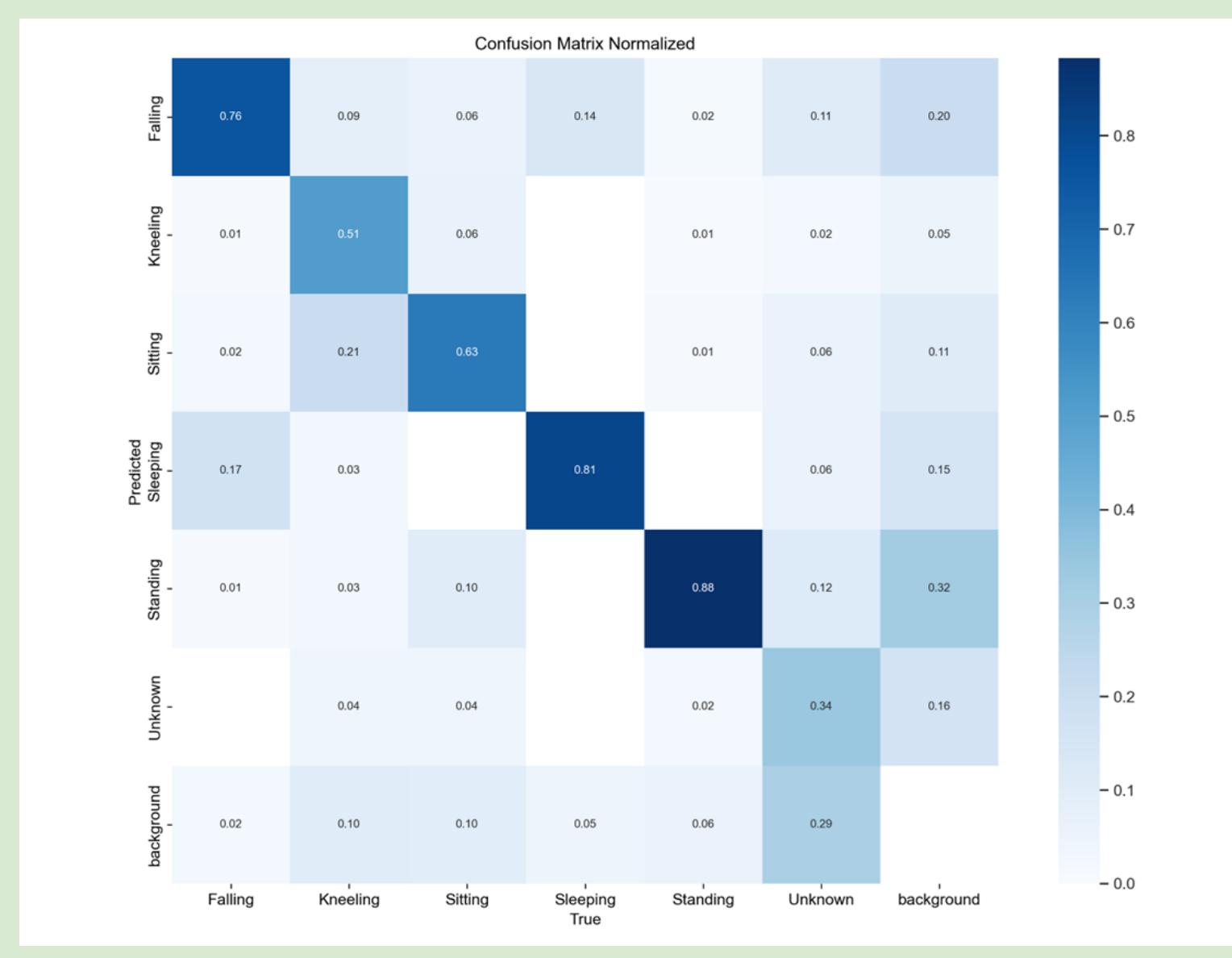


圖 17：YOLOv11 正規化混淆矩陣  
(資料來源：作者自行繪製)



圖18：站立數據集

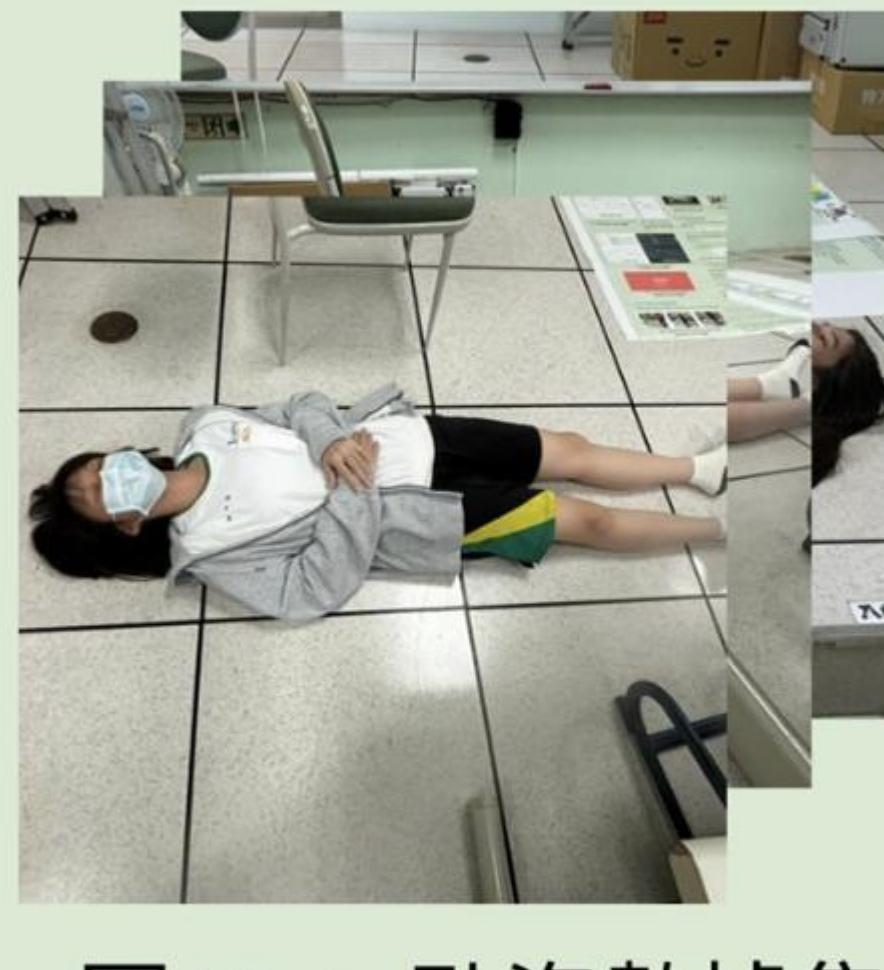


圖19：臥姿數據集



圖20：坐姿數據集

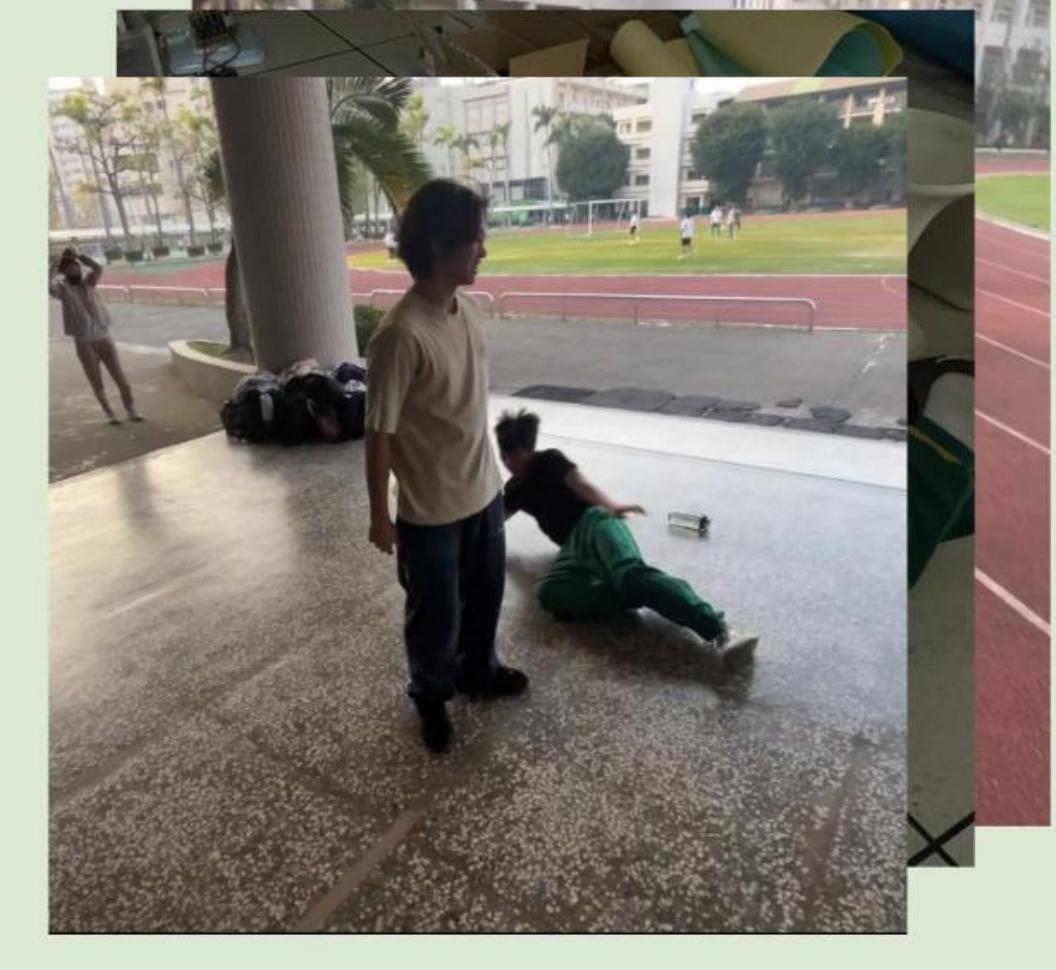


圖21：跌倒數據集

(以上資料來源：作者自行繪製)

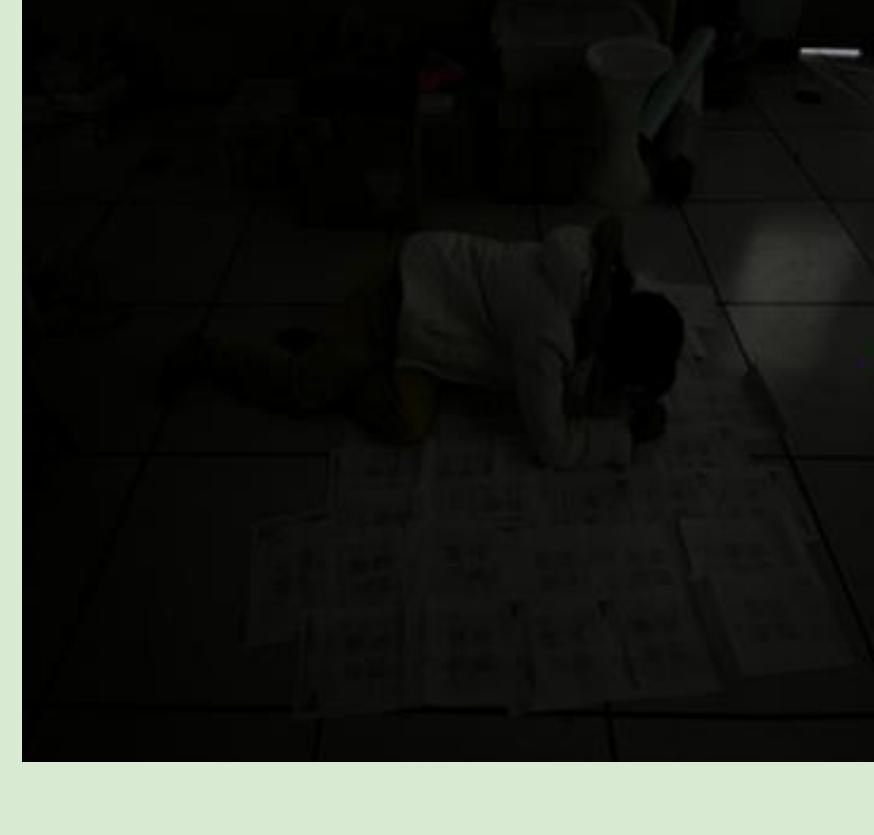


圖 21：使用openCV進行影像增強並進行辨識  
(資料來源：作者自行繪製)



YOLO影像辨識  
OpenCV框出特徵



辨識為坐姿



辨識為站姿



辨識為臥姿

圖 22：姿態辨識結果  
(以上資料來源：作者自行繪製)

## 柒、討論

### 一、研究特色

- (一)夜間影像增強技術之助益與限制。
- (二)多感測器整合與可靠度。
- (三)保護使用者隱私與道德考量。

### 二、未來研究

- (一)與醫療單位或居家照護機構合作，蒐集回饋並優化系統功能。
- (二)整合更多生理訊號感測器偵測，擴大對長者健康狀況的監控維度。
- (三)探討系統佈署於智能照護中心或社區長照據點之可行性，促進商業化應用。

## 捌、結論

本研究整合深度學習夜間跌倒辨識技術與多種感測器，並透過影像增強提升低照度下的辨識準確率。應用於YOLOv11模型後，系統可穩定偵測跌倒事件，結合臥床監控、燈光引導與浴室進出偵測，建構出一套智慧居家安全系統。

在高齡化社會中，夜間跌倒風險對獨居長者影響甚鉅。本系統提供即時警示、資料記錄與遠端查詢功能，協助照護者掌握狀況並即時應對。多感測器整合亦讓系統具備彈性部署能力，並透過邊緣運算與雲端支援即時處理與監控。

未來可以進一步提升隱私與資安防護，降低監控疑慮。若能與醫療或長照機構合作，導入更多感測技術並進行大規模驗證，提升系統在高齡照護領域的實用性與價值。