

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
(鄉土)教材獎

052507

貓奴們別擔心-AI Discord 幫你

學校名稱： 桃園市立楊梅高級中等學校

作者：	指導老師：
職三 黃彥鈞	許藝璋
職三 彭婷昱	周達峯

關鍵詞： 智慧養寵、生理監控、AI 人工智慧

摘要

本研究開發智慧寵物健康監控系統，融合熱顯影感測、AI學習、物聯網與邊緣運算，解決傳統健康監測無法即時數據化與預警的問題。初期以問卷與 5W2H 問題分析建構四大功能：體溫監測與 AI 發燒預測、糞便辨識與分類、飲食與飲水記錄、異常即時通報。

系統採用 MLX90640 熱顯影模組與 ESP32-S3 監測體溫，糞便辨識以 Edge Impulse 訓練模型，搭配 ESP32-S3CAM 實現即時運算。飲食行為由 HX711 與超音波感測器記錄，並同步推播至 Discord 平台。分類模型參考獸醫建議導入布里斯托分類法，提升精準度。系統具備低成本、高精度與高度擴展性，展現智慧照護應用潛力。

壹、前言

研究動機

在飼主無法時時陪伴的時刻，毛小孩的健康是否正悄悄改變？在現代生活節奏下，許多飼主因工作、上課無法隨時觀察毛小孩的身體狀況，往往等到症狀明顯時才意識到問題，而錯過了治療的黃金時機。貓咪不會說話，但牠們的身體訊號卻能反映健康變化——體溫升高、飲食與飲水量下降、排便異常，都是潛藏的疾病預警。然而，這些微小變化常被忽略，正是因為缺乏即時、量化的監測方式。

本研究聚焦於此「資訊落差」問題，期望以 AI 協助寵物說出牠們的健康。我們提出的核心問題是：是否能以低成本、非侵入的方式，即時掌握貓咪健康狀態，並在早期提出警訊？這不僅是技術問題，更是對動物照護與科技倫理的挑戰。因此，本研究旨在開發一套結合紅外線熱顯影、圖像辨識與 IoT 通報系統的智慧型貓咪健康監控設備，可同時進行**非接觸式體溫監控、糞便影像辨識與飲食行為紀錄**，並透過 LINE 平台即時推播異常狀況，協助飼主做出即時應對。

我們的貢獻在於整合 AI 與感測技術，創造毛孩與飼主間的數據橋樑。此系統設計強調模組化、可擴充與實用性，並融合 Edge Impulse 與 Teachable Machine 的機器學習訓練方式，以達到準確、高可複製性與可部署性的目標。

科技應該成為守護生命的橋樑-是團隊研發的宗旨。我們希望透過這項研究，讓每隻生病的毛小孩都被即時關心，讓每位飼主都能安心守護牠們的健康，期待我們的作品能給予毛小孩與飼主們最溫暖的承諾。我們相信，當科技轉化為溫柔的守護者，能使每一位飼主更加安心，也讓每一位毛孩的健康都不再孤單。

研究目的與文獻回顧

研究目的

隨著寵物逐漸成為家庭成員，飼主對毛孩健康的重視程度與日俱增。然而，當前市售寵物健康監測設備普遍偏重於 GPS 定位與基本行為追蹤，對於疾病預警、體溫波動、糞便異常、飲食變化等重要指標的偵測與分析，仍缺乏即時性與實用性，致使許多健康警訊在早期即被忽略。本研究旨在開發一套結合**非接觸式感測器、AI 深度學習模型與物聯網技術**的智慧型寵物健康監控系統，期能即時紀錄毛孩的生理與行為數據，進行動態健康判讀與預警通報，協助飼主做出及時應對，提升動物照護效能。具體研究目標如下：

本研究具體目的包括下列幾點：

一、微控制裝置與 AI 平台選型整合

1.技術缺口：市面多數設備缺乏可彈性搭配 AI 訓練的嵌入式平台，效能與成本難以兼顧。

2.研究對應：本研究選用 **ESP32-S3 CAM + Edge Impulse** 作為主架構，結合微型感測器與雲端 AI 平台進行模型部署與學習訓練。

3.應用貢獻：打造低功耗、高相容性、可自訂訓練模型的智慧健康平台。

二、AI 體溫監測模組建構

1.技術缺口：傳統肛溫計或耳溫計不僅操作困難，易引起寵物不適，難以長時間連續測量。

2.研究對應：採用 **MLX90640 紅外熱顯影器**，實現 **98.2%準確度**之非接觸式連續體溫監控。

3.應用貢獻：提升發燒與體溫異常之早期發現機率，減少不必要的醫療成本與風險。

三、AI 糞便影像辨識與分類模型

1.技術缺口：多數飼主仰賴主觀觀察糞便變化，缺乏客觀與即時分析工具。

2.研究對應：使用 **ESP32-S3 CAM 與 Edge Impulse 平台**，透過影像辨識模型分析糞便顏色、形狀、質地，建立健康風險分類系統。

3.應用貢獻：提前發現腸胃道疾病徵兆，作為獸醫診斷與飼主判斷的重要依據。

四、飲食與飲水行為自動化追蹤

1.技術缺口：現有設備多無法記錄實際攝取量與行為變異，特別在疾病監測期容易忽略異常變化。

2.研究對應：整合 **HX711 重量感測器與超音波模組**，記錄每日飲食攝取與水量波動，輔以時間序列分析。

3.應用貢獻：協助監控營養狀態、脫水風險，提供健康數據曲線。

五、異常行為預警與即時通報

1.技術缺口：現有多數裝置為單機紀錄，缺乏異常自動警報與遠端回饋機制。

2.研究對應：本系統將數據串接雲端伺服器與 **Discord API 推播服務**，可自動辨識異常並發送即時通知至飼主端。

3.應用貢獻：提供跨地點即時照護機制，強化危機處理時效性。

本團隊期待能突破傳統寵物健康監測技術的瓶頸，實現精準數據化管理，為主人們提供便捷、智能且可靠的健康監測設備，填補當前市場與技術中的缺口，並推動寵物醫療與健康管理的創新發展。

文獻回顧

AI 在貓咪健康監測的應用相關文獻

本研究探討 AI 技術於貓咪健康監控之應用，涵蓋影像辨識、體溫測量、糞便分析與 AIoT 整合。過去研究雖已有多項成果，但多聚焦於犬隻或單一面向，對「貓咪專屬行為模式」與「多模態資料融合」仍顯不足。

以下分四構面探討既有成果與研究空缺，並說明本研究的創新貢獻。

1. AI 影像辨識與貓咪行為分析相關文獻

影像辨識技術能夠提升貓咪健康監測的精準度，並透過 AI 學習行為模式，幫助飼主即時掌握異常狀況。Aich et al. (2019) 【1】開發了一套可穿戴感測器 AI 系統，透過機器學習分析狗的活動與情緒模式，顯示 AI 可準確識別寵物行為並進行長期監測。Ladha et al. (2013) 【10】與 Ahn et al. (2016) 【11】則分別探討了可穿戴 IMU 感測技術，應用於狗的行為監測，驗證 AI 在自動化行為分類中的可行性。

在貓咪領域，Hung, Hsiu-Te (2021) 【16】使用 YOLO 物件偵測技術，成功開發貓咪行為辨識系統，可即時監測運動量、異常行為（如焦慮舔舐、攻擊行為），提高 AI 影像辨識技術的應用範圍。這些研究顯示，深度學習技術已具備應用於貓咪行為分析的潛力，但針對貓咪特殊行為（如夜間活動、飲食規律變化等）仍需進一步優化模型。且現有模型多聚焦於單一行為分類，對於夜間活動、飲食異常等特徵未做強化。本研究期待能優化深度學習模型以提升對貓咪異常行為的辨識能力，擴展其在健康預警上的應用。

2. AI 在貓咪健康監測與體溫測量上的應用相關文獻

體溫變化是疾病早期徵兆，AI 透過熱成像技術與數據分析，可提供無接觸式健康監測解決方案。Zhenjiang & Jialiang (2022) 【7】探討紅外線熱顯影 (IRT) 技術在動物體溫監測的應用，顯示 AI 與熱影像可結合 MLX90640 热感測器進行遠端監測，提高診斷準確度。此外，Gruen et al. (2022) 【5】強調 AI 在寵物疼痛管理與慢性病診斷的應用，透過體溫變化模式分析，AI 可協助飼主發現潛在健康問題。

國內全國科展第六十三屆 (AIoT 動物健康浮生錄) 【19】提出了 AIoT 在寵物健康監測中的應用，並結合 AI 影像辨識與熱感測技術，提供全自動體溫監測系統。這些研究證明，AI 結合非接觸式體溫監測，能有效提升貓咪健康管理的精準度與便利性。然而，目前多數研究仍集中於犬隻健康監測，針對貓咪生理特徵（如不同毛色影響熱影像數據準確度）的影響較少探討。因此，本研究將進一步優化 AI 影像處理技術，提升貓咪紅外線體溫測量的可靠性。

3. AI 蔓便健康監測技術相關文獻

糞便狀態可反映貓咪腸胃健康，但現有 AI 分析技術仍待優化。本研究探討如何提升 AI 在糞便影像辨識的精準度，並結合 LINE Bot 即時回報異常狀況。

目前 AI 在糞便辨識上的研究仍較少，Kuo-Lun Wang (2021) 【15】研究顯示，AIoT 技術可提升寵物健康監測系統的使用意圖，但仍需考量資料收集與演算法優化。此外，全國科展第五十五屆（傾聽「狗」語！）【18】探索 AI 在動物行為辨識的應用，顯示 AI 可應用於語音與影像數據分析，為糞便影像辨識提供技術支持。

目前 Edge Impulse、Teachable Machine 等平台於糞便影像分類上準確率仍受資料規模與標記一致性限制。本研究採用布里斯托糞便分類法 (Heaton & Lewis, 1997) 【17】作為標準，搭配影像增強技術訓練 AI 模型，並透過 LINE 與 Discord 等系統實現即時通報與健康趨勢追蹤。

4. AIoT 在智慧寵物健康管理的應用相關文獻

AIoT 技術結合 AI、雲端運算與智慧裝置，可提升寵物健康監測的效率與便利性。Nedungadi et al. (2018) 【13】研究了個人化健康監測系統，顯示 AIoT 技術可應用於遠端健康管理，提升疾病預防能力。PetPace (2024) 【2】則強調 AI 穿戴裝置在心率、呼吸率、行為模式監測上的應用，並與雲端數據整合，提高異常預測能力。

國內方面，全國科展第四十七屆（遠距視訊寵物餵食器）【17】開發了一套 AI 遠端餵食系統，透過影像辨識與自動投餵功能，提升寵物營養管理精準度。本研究將進一步探索 AIoT 在體溫監測、糞便辨識與行為監測的整合應用，打造一個全方位的 AI 智慧貓咪健康監測平台。本團隊創新之處在於：不僅整合體溫監測、行為辨識與糞便分析，更導入 AIoT 架構與 LINE Bot 機制，形成完整、即時且低成本的智慧貓咪照護平台。



圖 1-1 遠距視訊餵食器示意圖 資料來源:第四十七屆全國科展. 遠距視訊寵物餵食器第五十五屆[18].傾聽「狗」語！. 以 Audacity 音樂編輯軟體，分析狗叫聲的差異，進一步了解狗的語言、情緒和需求。主人不在，陌生人乙(餵食)，靠近不同距離，狗叫聲頻率變化關係如下圖

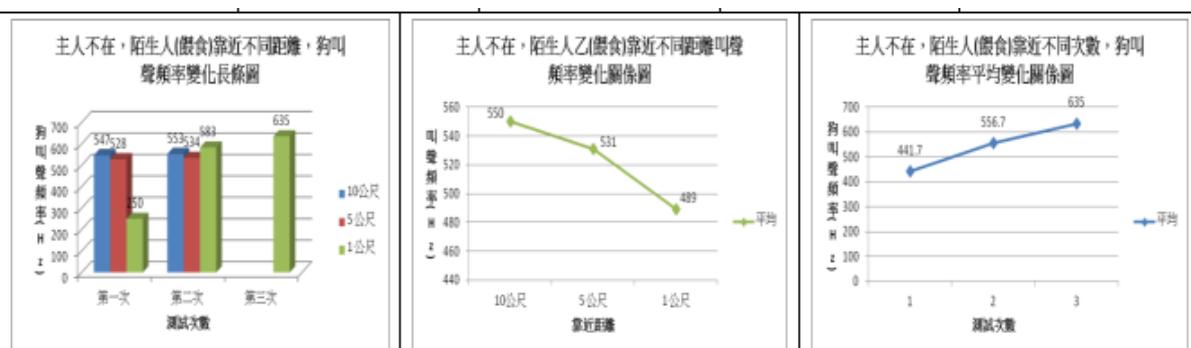


圖 1-2 狗叫聲頻率變化關係 資料來源: 第五十五屆全國科展 傾聽「狗」語！

第六十三屆[19].AIOT 動物健康浮生錄. 以寵物智能自動餵食器相關產品為基礎進行改良，運用影像辨識技術來判斷其 健康狀況，目的為改善動物福祉、解決動物與醫護人員之間無法溝通的問題。

表 1. 貓咪苦臉量表(Feline Grimace Scale)

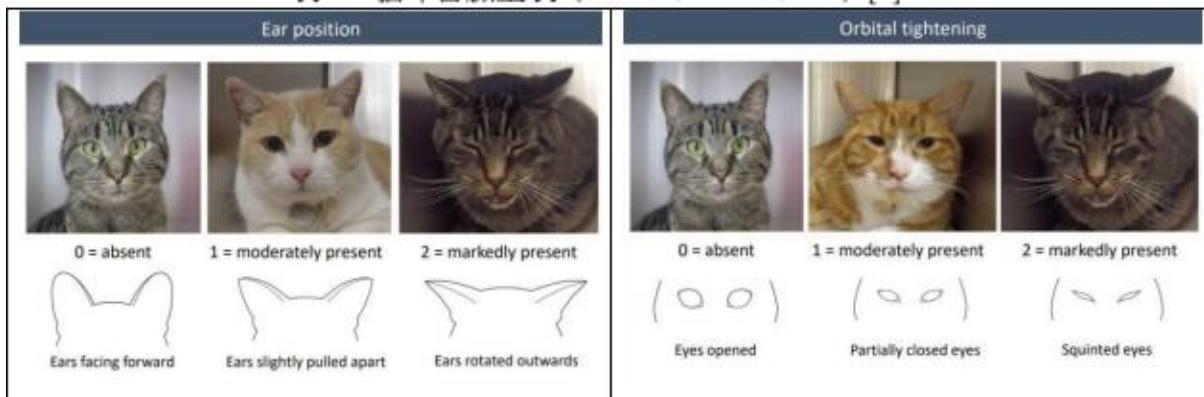


表 1. 資料來源 第六十三屆全國科展 AIOT 動物健康浮生錄

5.貓咪(動物)糞便辨識依據參考文獻

糞便型態是一項能直觀反映腸道健康的指標。布里斯托糞便分類法（Bristol Stool Scale）最早由 Heaton 和 Lewis (1997) 【17】針對人類腸胃蠕動速度與糞便型態的關聯性所發展，將排泄物分為七型，從極度水狀 (Type 7) 到嚴重乾硬 (Type 1)，每一型均代表特定的消化與脫水狀態。此量表已被廣泛應用於醫學臨床評估中。

近年來，該分類法亦逐步被引入動物醫療領域作為健康監控依據。研究指出，獸醫師可參考布里斯托分類法，評估犬貓糞便狀況與潛在腸胃問題的風險 (Rondeau et al., 2015) 【18】。透過分類型態，飼主與照護者可辨識出異常徵兆，如腹瀉 (Type 6–7)、便秘 (Type 1–2)，進而及早介入照護行動。

本研究即根據此分類法建立 AI 影像辨識模型，將貓咪糞便影像轉換為布里斯托分型，提供非侵入性、即時化的腸胃健康監控工具。此方法不僅具有臨床參考依據，亦有助於系統化紀錄與長期健康趨勢追蹤。

貳、研究設備器材

硬體與感測器: MLX90640、ESP32S3 N16R8、ESP32S3 N16R8 CAM、HCSR 501、HC-SR04、HX711、計時器、3D 列印機。

軟體與協作平台: Arduino IDE、Edge Impulse、Teachable Machine、Google Cloud Vision API、THINKER CAD.

參、研究過程與方法

本研究採用準實驗研究法，透過全校性大規模問卷調查(n=1500)掌握寵物飼主對智慧健康監控的核心需求，並據此進行產品功能設計與技術開發。研究流程分為需求分析與作品定位、技術開發、系統整合、測試驗證四大階段，以確保系統的高效能、準確性與使用者友善性，並填補現有寵物健康監測技術的缺口。

本研究所使用之糞便影像樣本，主要來自三個來源：（1）研究團隊實際飼養之家貓；（2）班上同學於寵物美容店打工期間，經業主同意下協助拍攝糞便影像；（3）透過訪談與請教合作獸醫師，取得專業建議與臨床判斷作為標記依據。研究期間共蒐集超過 150 張糞便影像，並依據布里斯托糞便分類法進行分型與標記，以建立 AI 模型訓練資料集。

具體說明如下：

一、需求分析與作品定位

(一)、為確保本系統符合市場需求，研究團隊透過全校性問卷調查 (n=1500)，針對寵物飼主的實際照護需求與困擾進行數據收集與分析。本研究採立意取樣，問卷設計包含三部分：基本資料(年齡、性別等)、主題相關問題(Likert 量表評估受試者對特定議題的看法)、開放式問題(提供受訪者補充意見)。問卷內容經與指導教師審查與修改，確保其效度與信。

(二)、本研

析法進行本

1) ，

究使用 5W2H 分
作品定位 (圖 2-



圖 2-1 5W2H 內容項目由作者親自設計與繪製 資料來源:維基百科 5W2H 介紹

二、確立核心功能後，開始開發 AI 智慧寵物健康監控系統，其技術開發、系統整合、測試驗證等階段實驗流程圖 2-2 如所示

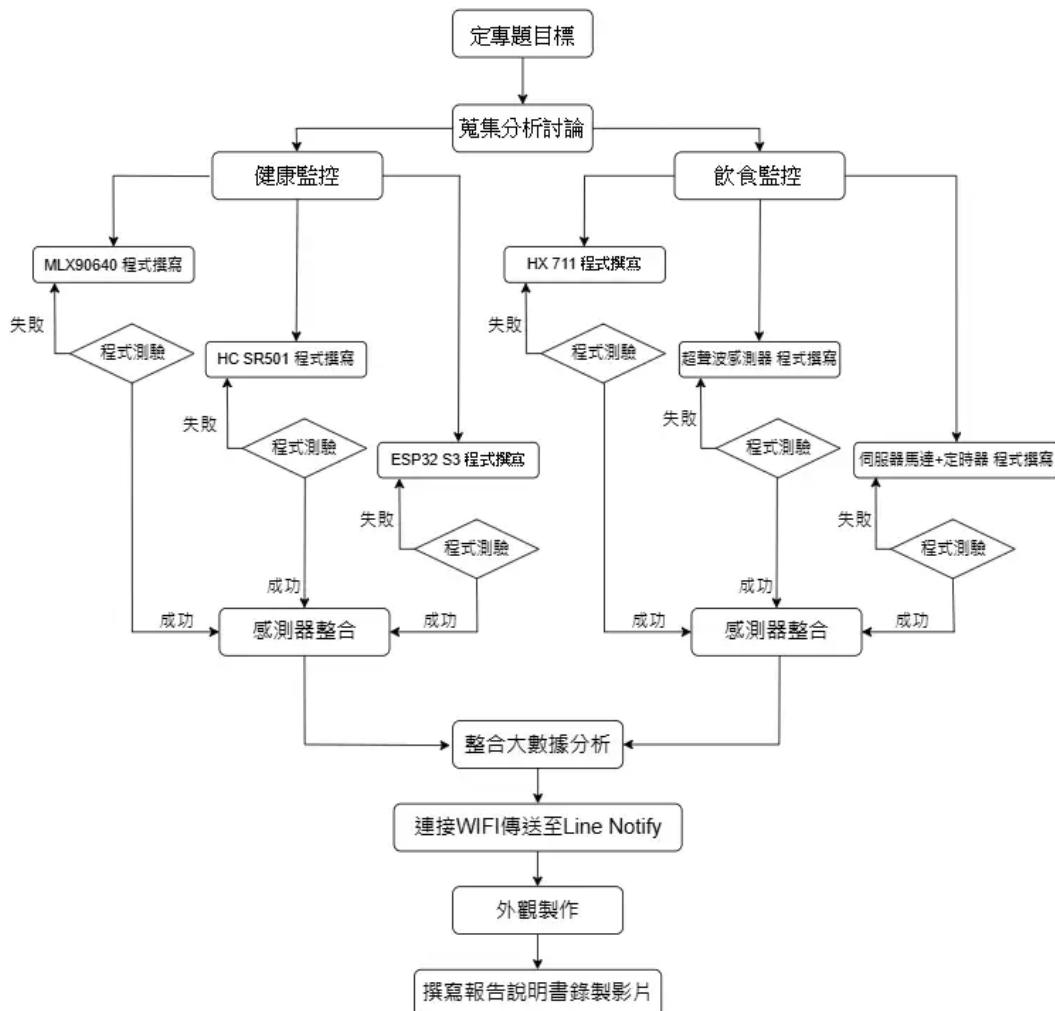


圖 2-2 硬體與程式設計實驗流程圖 資料來源:研究者設計規畫

三、本研究最終選用以下技術架構：

(詳細功能測試與探究將於相關硬體介紹與實驗探究中說明)

(一)、非接觸式體溫監測-採用 MLX90640 熱顯影感測技術，並透過數據校正演算法提升測溫準確度，克服傳統紅外線測溫誤差大、無法長時間監測的缺陷。

(二)、AI糞便健康辨識-使用 ESP32 S3-CAM 搭配 Edge Impulse 機器學習平台，進行糞便顏色、形狀與質地分析，建立 AI 模型進行健康評估。

(三)、飲食與飲水追蹤- 採用 HX711 重量感測器 與 HC-SR04 超聲波感測器，記錄每日飲食與飲水攝取量，透過長期趨勢分析偵測健康異常。

(四)、智能異常警報 - 透過 IoT 技術整合，將所有數據即時上傳至雲端伺服器，並透過 Discord API 進行異常分析與即時推播。

本系統架構結合熱顯影感測、機器學習、雲端運算與 IoT 智慧監控技術，確保系統具備高精準度、低功耗與即時監測能力。

四、相關硬體介紹與實驗探究

(一)、微控設備選用: -燈光影響度準確度測試條件(貓砂籠環境)表 2-1 亮度影響模擬測試。

本研究於模擬貓砂籠內部環境進行燈光影響度測試，確保數據能反映實際應用場景。

測試條件如下：

1.測試距離：固定攝像模組與糞便距離為 30cm。

2.測試目標：使用不同顏色、形狀、濕度的糞便樣本，模擬實際辨識挑戰。

3.光源條件：

1000 流明：等同於鹵素燈直接照射貓砂籠內部，模擬明亮光源。

500 流明：相當於貓砂籠內柔光燈環境，模擬一般夜間照明。

夜間模式<50 流明：無額外補光，僅依靠環境殘留光線，模擬低光環境。

測試方法：

*在不同光照條件下，進行 50 次影像辨識測試，統計準確率。

*比較不同相機模組在不同光照條件下的辨識穩定性與降噪能力。

表 2-1 微控設備選用: -燈光影響度準確度測試條件

型號	處理器	記憶體	相機模組	影像處理能力	應用場景	貓砂籠內-燈光影響度準確度% 1000流明 / 500流明 / 夜間
ESP32-S3 Cam	雙核LX7，主頻 240 MHz，支援向量指令集	8MB / 16MB / 32MB PSRAM, 16MB Flash	OV2640 (2MP) 或 OV5640 (5MP)	30 FPS @ 2MP，支援 AI 運算	貓砂籠內糞便辨識、視訊監控、邊緣運算	90 / 87 / 78
ESP32 Cam	雙核LX6，主頻 160/240 MHz	520KB SRAM，4MB Flash (可外接 PSRAM)	OV2640 (2MP)，PCLK 約 20 MHz	15 FPS @ 2MP	基本貓砂籠監控、簡單圖像處理	80 / 76 / 70
NMK99	雙核LX6，主頻 160/240 MHz	520KB SRAM，4MB Flash (可外接 PSRAM)	OV2640 (2MP)，PCLK 約 20 MHz	15 FPS @ 2MP，低功耗模式	基本貓砂籠監控、簡單圖像處理，適合低功耗應用	75 / 72 / 65

燈光影響準確度由作者親自實驗蒐集數據與繪製，元件參數來源: 坤橋電子商品型錄介紹

由上表的測試可知，若需執行 AI 辨識模型、處理多模態輸入並應對光源不穩定環境（如夜間貓砂辨識），則 **ESP32-S3 Cam** 為最佳選擇。推測其處理器支援向量指令、影像效能更高、辨識準確率顯著提升，可有效提升整體系統穩定性與實用性。

(二)、體溫偵測設備選用:

為實現非接觸、高精準、即時監測的 AI 寵物健康系統，評估了 MLX90640、AMG8833、MLX90614、DHT22、TMP36 等五款溫度感測器，並從測量範圍、精度、分辨率、視野範圍、應用場景做比較，到多位同學家中為毛小孩體溫實際測試，其準確度進行比較如表 2-2。

表 2-2. 溫度感測器規格比較與實驗測試結果

規格	類型	測量範圍 °C	精度 °C	分辨率	視野	刷新率 (Hz)	應用場景	對比市售 體溫計準 確度(1) 獸用體溫 儀 DUHJ	對比市售 體溫計準 確度(2) INPHIC- 獸用紅外 線測溫儀
MLX90640	紅外熱成像陣列	-40 至 300	±1	32×24 像素	110°×75° 55°×35°	0.5 至 64	高分辨率 熱成像	96%	98%
AMG8833	紅外熱成像陣列	0 至 80	±2.5	8×8 像素	60°×60°	10	低分辨率 熱成像	88%	90%
MLX90614	單點紅外溫度	-70 至 380	±0.5	單點	90°	不適用	高精度單 點測溫	92%	94%
DHT22	數字溫濕度	-40 至 80	±0.5	單點	不適用	約 0.5	環境溫濕 度監測	70%	65%
TMP36	模擬溫度感 測器	-40 至 125	±2	單點	不適用	不適用	簡單溫度 測量	71%	73%

本表 溫度感測 由作者親自實驗蒐集數據與繪製本

資料整理來源: 1. 坤橋電子商品型錄 2. 溫度測試: 實際以多位同學家中寵物測試

比較結果顯示，MLX90640 具備最佳的測溫性能，其優勢如下：

1. 測量範圍廣 (-40°C~300°C)，適用於寵物體溫監測。
2. 高精度 (±1°C)，優於 AMG8833、TMP36 等感測器，確保監測數據準確。
3. 高分辨率 (32×24 像素) 與廣視野 (110°×75°)，可即時擷取寵物全身體溫分布，比傳統單點測溫更精準穩定。
4. 準確度高 (98%)，經對比，MLX90640 結果與市售紅外線測溫儀最接近，誤差最小。

從表中可見，MLX90640 在解析度、精度與應用穩定性上均優於其他感測器，特別適合用於非接觸式的貓咪體溫監控。其具備 32×24 热像解析度與 ±1°C 精度，能即時追蹤熱區變化，並在與兩款市售紅外線體溫計的對照測試中達到 96% 至 98% 準確率。

由此可支持本研究選擇 MLX90640 作為熱顯影模組的合理性與可行性。



圖 2-3 市售寵物用體溫計 (1)獸用體溫儀 DUHJ

資料來源 同學提供拍攝家中的寵物體溫計

(三)、其它設備選用:

本研究整合多種感測技術，以精準監測寵物的行為與健康狀態，確保數據準確且具實用性。以下是各感測器的核心功能：

HCSR501(人體紅外線感測器)：偵測寵物活動，確認進食、飲水、排泄等行為，並與其他數據比對，分析健康趨勢。



HC-SR04(超聲波測距感測器)：監測飲水量變化，透過水位高度計算每日攝取量，幫助識別脫水或異常飲水行為。



圖 2-5 本圖取自 line 群組 由作者親自設計與拍攝



H X711(高精度重量感測器)：安裝於食盆下方，記錄每次進食的重量變化，確保飲食追蹤精準，並偵測異常進食狀況(食量異常減少或暴食)。



圖 2-6 本圖取自 line 群組 由作者親自設計與拍攝

計時器(Timer)與伺服器馬達：控制每日自動餵食時間，搭配伺服馬達執行定時投餵，確保規律飲食，並與重量感測器整合計算實際攝取量。

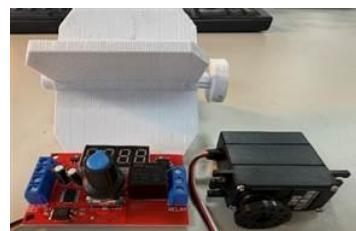


圖 2-7 本圖取自 line 群組 由作者親自設計與拍攝

這些感測器組合，讓本系統能夠全面掌握寵物的活動、飲食與健康狀態，並透過 AI 進行智能分析，提供即時異常警報，確保毛孩獲得最佳照護。

五、人工智慧應用介紹與探究(使用 ESP32 S3 CAM):

本研究結合人工智慧(AI)與物聯網(IoT)技術，透過影像辨識與機器學習技術來監測寵物健康狀況。在此過程中，我們測試並比較多種 AI 平台，以確保最佳辨識準確度與效能。以下為本研究使用的 AI 平台及其角色：

(一)、Edge Impulse:

Edge Impulse 是專為嵌入式 AI 設計的機器學習平台，適用於微控制器與感測器設備。本研究利用 ESP32-S3 CAM 結合 Edge Impulse 進行糞便健康辨識與行為分析，透過邊緣運算提升即時處理能力，減少雲端依賴。

(二)、Teachable Machine

Teachable Machine 是簡單易用的訓練工具，適合快速建立影像分類模型。初步測試其辨識能力，但發現其在複雜健康分析準確度較低，最終改採 Edge Impulse 提升模型效能。

(三)、Google Cloud Vision API

Google Cloud Vision API 提供強大的雲端影像分析，可進行物件偵測與分類。本研究使用該 API 作為影像辨識測試基準，但由於成本較高且無法即時處理，因此未作為主要 AI 平台，而作為數據驗證工具。

六、AI 協作平台功能特性比較:

本研究比較 Edge Impulse 、 Teachable Machine 與 Google Cloud Vision API ，針對易用性、數據處理、模型訓練、硬體需求與準確度進行分析(表 2-3 所示)。

本研究最終選用 Edge Impulse ，其關鍵優勢有以下：

- (一)、支援嵌入式 AI，可直接運行於 ESP32-S3 CAM，適合物聯網應用。
- (二)、自訂模型訓練，針對糞便健康與行為辨識優化 AI 模型。
- (三)、高準確度(98%)，優於 Teachable Machine(88%)，與 Google Cloud Vision(92.4%)表 2-7，且硬體需求更低。表 2-3 AI 協作平台功能特性比較

開發程式	目標用戶	易用性	支援的視覺任務	數據處理	模型訓練	硬體需求	學習曲線
Edge Impulse	嵌入式工程師	中等	物件檢測	支援數據收集、標註	支援自訂模型訓練，提供預訓練模型導入	低	中等
Teachable Machine	初學者	高	分類圖像、音訊手勢	簡單數據上傳與標註	簡單訓練	中	低
Google Cloud	專業開發者	中低	分類、物件檢測	不支援數據收集，需自行準備數據	提供預訓練模型，支援自訂模型	高	高

表 2-3 由研究者自行整理自各平台官方介紹

六、辨識準確度測試探究 -AI 智慧學習

(一)、人工智慧學習-布里斯托法則大便分類法(本團隊樣本分類依據)

布里斯托大便分類法(Bristol Stool Scale)是一種為了醫學需求而設計的分類法，此分類法將糞便分為七種型態。



圖 2-8 本圖取自 google 布里斯托法則大便分類法

(二)、在三個 AI 平台上測試 5 個樣本類別，每個樣本測試 50 次，Edge Impulse 平均準確度達 98%，證明其適用於寵物健康監測。因此本研究最終選擇 Edge Impulse，因其高準確度、低硬體需求與優秀的嵌入式運行效能，確保 AI 影像分析的即時性與可靠性。具體實驗數據- AI 協作平台實驗測試探究如表 2-4、表 2-5、表 2-6 所示

表 2-4 Edge Impulse (平均準確率 98%) 糞便樣本辨識比較表

樣本名稱	狀態	總測試次數	正確辨識次數	錯次辨識次數	準確率%
樣本A	正常	50	50	0	100
樣本B	些微腹瀉	50	49	1	98
樣本C	嚴重腹瀉	50	49	1	98
樣本D	便祕	50	49	1	98
樣本E	些微軟便	50	47	3	94

本表由作者親自實驗蒐集數據與繪製

表 2-5 Teachable Machine (平均準確率 88%) 糞便樣本辨識比較表

樣本名稱	狀態	總測試次數	正確辨識次數	錯次辨識次數	準確率%
樣本A	正常	50	44	6	88
樣本B	些微腹瀉	50	43	7	86
樣本C	嚴重腹瀉	50	45	5	90
樣本D	便祕	50	46	4	92
樣本E	些微軟便	50	44	6	88

本表由作者親自實驗蒐集數據與繪製

表 2-6 Google Cloud Vision AI (平均準確率 92.4%) 薦便樣本辨識比較表

樣本名稱	狀態	總測試次數	正確辨識次數	錯次辨識次數	準確率%
樣本A	正常	50	45	5	90
樣本B	些微腹瀉	50	46	4	92
樣本C	嚴重腹瀉	50	46	4	92
樣本D	便祕	50	48	2	96
樣本E	些微軟便	50	46	4	92

本表由作者親自實驗蒐集數據與繪製

表 2-7 AI 協作平台 準確率%總比較表

樣本 名稱	狀態	Edge Impulse	Teachable Machine	Google Cloud
樣本 A	正常	100	88	90
樣本 B	些微腹瀉	98	86	92
樣本 C	嚴重腹瀉	98	90	92
樣本 D	便祕	98	92	96
樣本 E	些微便祕	94	88	92

本表由作者親自實驗蒐集數據與繪製

我們可以觀察到以下結果：

Edge Impulse 取得最高準確率（94%~100%），且在所有測試組別中表現最佳。

Google Cloud 準確率介於 90%~96%，於「便祕」與「腹瀉」的辨識能力接近 Edge Impulse。

Teachable Machine 整體準確率稍低，約 86%~92%，適合簡易應用但較不穩定。

八、AI 人工智能學習訓練開發歷程-分為兩部分介紹

(一)、糞便辨識與 AI 訓練開發

設計目標：選擇貓咪糞便作為辨識對象，因為其變化

可反映腸胃健康，AI 監測可預測潛在疾病。

訓練軟體選擇：

測試 Teachable Machine (簡單易用) 、 Edge Impulse

(精細化、適合嵌入式 AI) 、 Google Cloud 。

面

使用相同數據集測試，評比後最終 Edge Impulse 準確度較高，因此選擇為 AI 訓練工具。

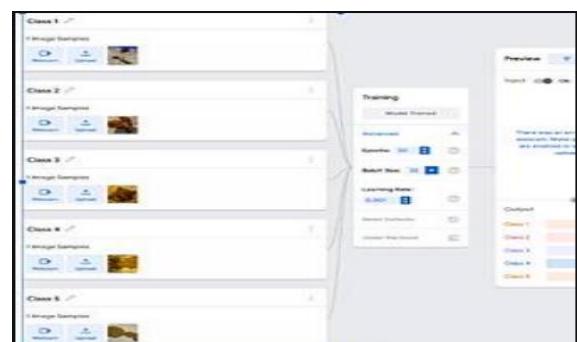


圖 2-9 AI 訓練開發由研究者截取電腦畫

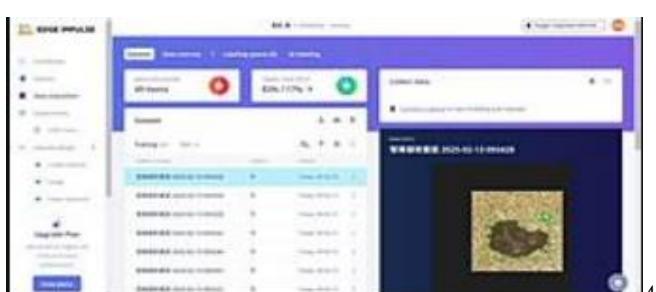


圖 2-10 AI 協作平台測試

由研究者截取電腦畫面

AI 訓練與優化：

*收集多來源糞便樣本（同學或獸醫診所提供的樣本 + 網路圖像），手動標記分類。

*初期準確度不足，透過增加樣本數、涵蓋不同角度與環境 優化，成功顯著提升準確率。

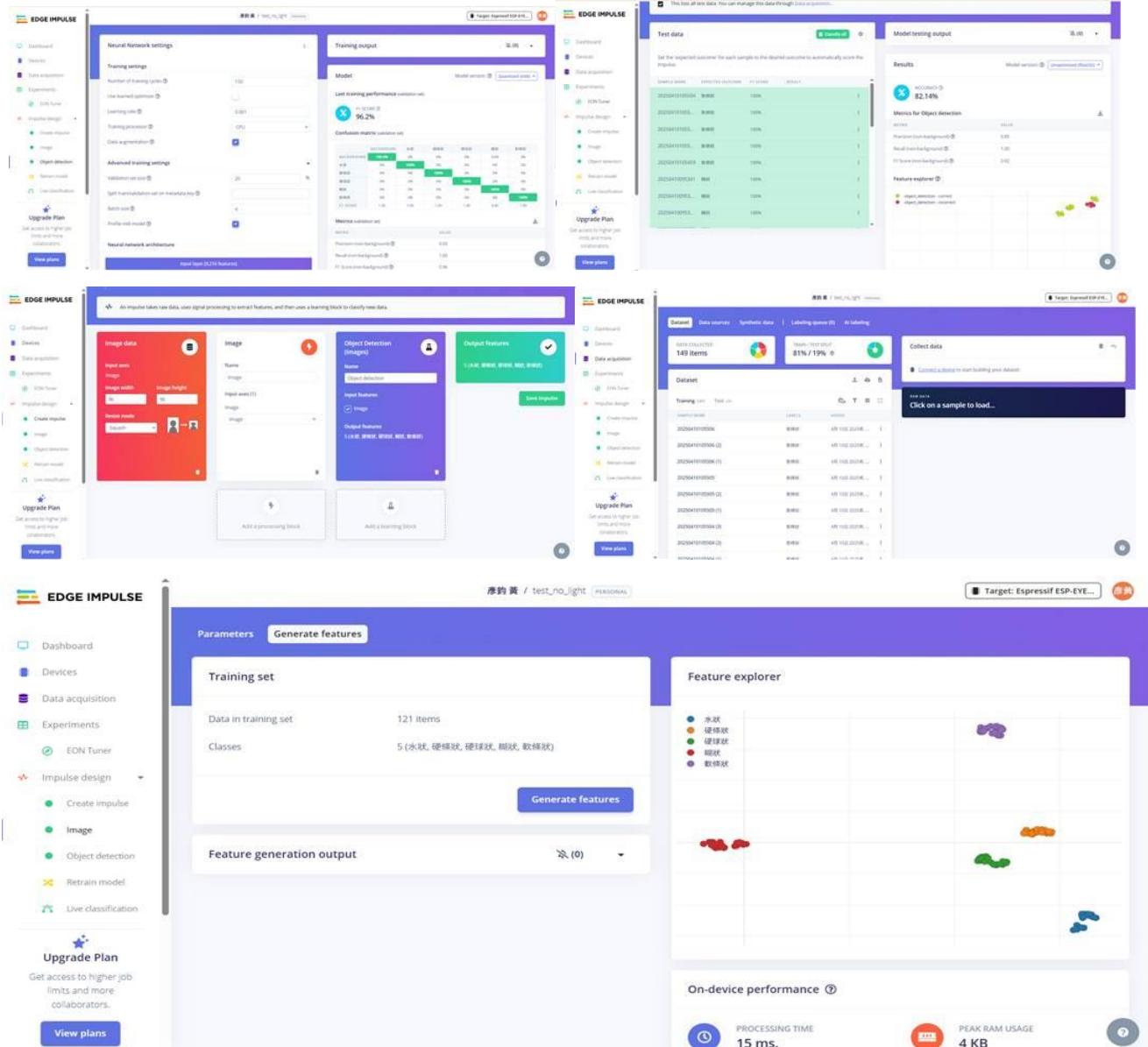


圖 2-11 AI 訓練與優化 由研究者截取電腦畫面

AI 即時辨識與傳輸：

AI 模型成功部署至 ESP32-S3 CAM，並撰寫程式，確保辨識結果與影像能自動傳送至 Discord。解決傳輸錯誤問題，確保即時通知穩定運行

圖 2-12 傳送即時貓咪便便資訊 由研究者截取電腦畫面



健康預測 AI 功能升級：

1. 建立 類神經網路，讓 AI 學習糞便變化趨勢。
2. 蒐集 三個月樣本 進行優化，提高 AI 健康預測能力。
3. AI 能 根據糞便變化提供健康建議，真正成為智能寵物健康助手！

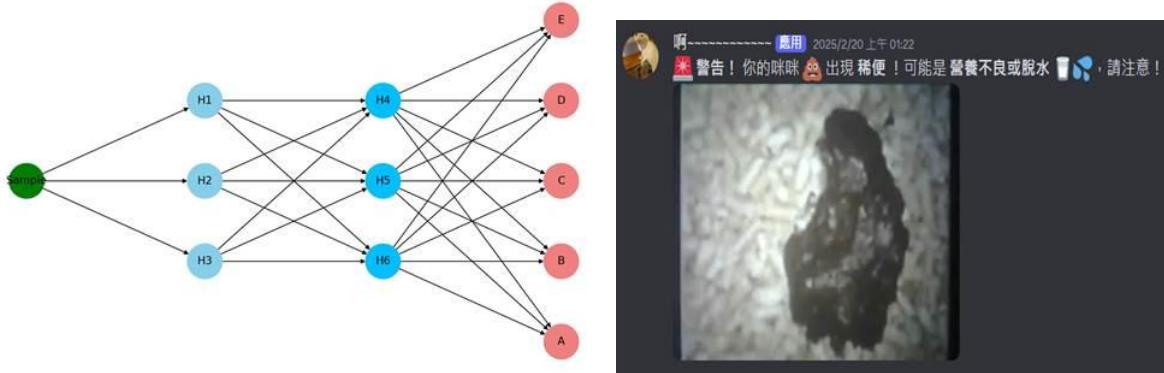


圖 2-13 類神經網路架構 與 傳送即時貓咪便便資訊 由研究者繪製與截取電腦畫面

輸入層（Input Layer）：負責接收影像特徵資料（如糞便的顏色、形狀、邊緣、濕潤度等）。

兩層隱藏層（Hidden Layers）：利用非線性轉換（如 ReLU 函數）處理輸入特徵，進行高維度特徵抽取與分類決策的前期學習。

輸出層（Output Layer）：對應不同糞便類型進行分類輸出。

(二) 體溫檢測與 AI 預測開發

研究方向與技術選擇：

1. 透過文獻搜尋與成功案例分析，尋找最適合的熱感測技術與 AI 訓練工具，以提升監測準確度與實用性。
2. 確定使用 MLX90640 熱顯影感測器，結合 AI 進行體溫分析與預測。

程式撰寫與技術調整：

1. 編寫 MLX90640 感測程式碼，並透過 AI 進行最佳化。
2. 測試時發現感測器無法讀取數據，經排查後發現為接腳未定義問題，修正後成功運行。
3. 開發即時傳輸至 Discord 的功能，確保遠端監測體溫異常，即時通知飼主。



圖 2-14 傳送即時貓咪體溫資訊

AI 預測分析升級

類神經網路 + Edge Impulse，訓練 AI 預測未來發燒風險。

異常溫度警示機制：當溫度異常上升，AI 自動發送警示訊息，並預測可能達到的最高溫度。

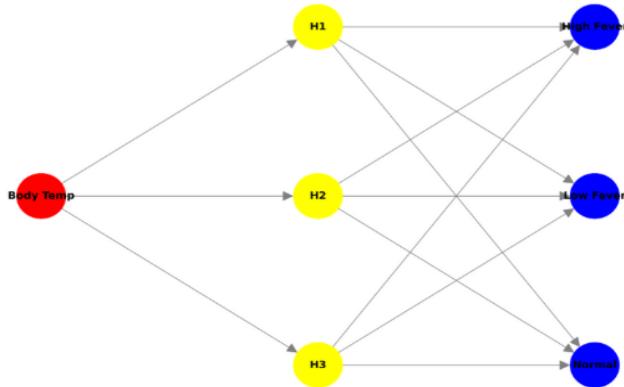


圖 2-15 建立體溫偵測利類神經網路模型 由研究者繪製

本研究設計了一套三層對稱結構的類神經網路（ANN, Artificial Neural Network），用於貓咪體溫預測，透過感測器數據分析影響體溫變化的關鍵因素，進而提升健康監測的準確性。

類神經網路架構（圖 2-15）說明如下：

該模型由三層節點組成，每層負責不同的數據處理與決策功能：

結構功能說明（圖 2-15）本系統採用簡化版三層類神經網路架構，包括：

輸入層（紅色節點）：讀入連續時間下的紅外線體溫感測值（如過去數秒或分鐘的體溫記錄），作為預測依據。

隱藏層（黃色與藍色節點）：透過神經元加權運算與激勵函數（如 ReLU），模擬非線性變化趨勢，學習溫度變化模式。

輸出層：預測下一時間點的體溫數值，並回傳系統判斷結果，如是否將超過預警門檻（例如 32°C）。

研究成果與應用(圖 2-16)

最終，系統能準確偵測體溫異常，透過 AI 預測發燒趨勢並即時通知飼主，讓寵物健康監測更智慧、高效、即時！

圖 2-16 傳送即時體溫偵測訊息



九、MLX90640 與 ESP32 S3CAM 融合與訊息傳送

本團隊克服串流瓶頸，測試 MLX90640（熱顯影）+ ESP32-S3 CAM（光學）在寵物體溫監測的應用。結果顯示，融合後的測溫準確度與單獨 MLX90640 差異不大，但運算負擔顯著增加。最終選擇：單獨使用 MLX90640 其優點如下

1. 減少硬體負荷，避免影像處理造成額外延遲與資源消耗。
2. 維持高精度測量（98% 準確度），確保穩定性與即時性。
3. 輕量化系統，適用長時間監測，提升效能與續航力。

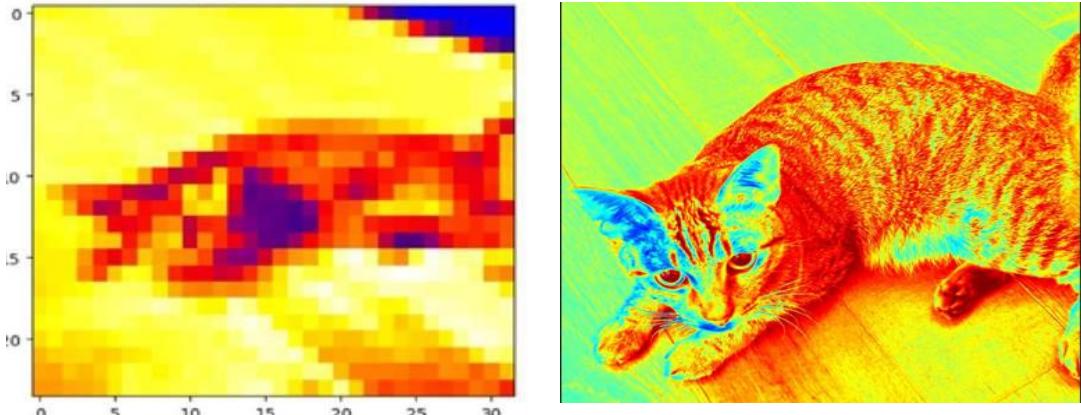


圖 2-17MLX90640 32*24 數據透過 PYHTON 程式轉熱成像圖 研究者親自截取畫面

圖 2-18MLX90640 與 ESP32S3CAM 融合的紅外線照片 研究者親自截取畫面



圖 2-19 發送即時訊息、訊息介面由作者親自設計

十、作品功用說明(圖 2-20)與操作方式示意圖

(一) 飲食監控

1. 定時定量餵食-伺服馬達 控制餵食時間與份量，確保貓咪維持飲食規律。
2. 進食量監測 (HX711) - 測量食物重量變化，累積每日攝取量，判斷進食狀況是否異常。
3. 飲水量監測 (HC-SR04) - 定時測量水位變化，累積飲水數據，低於安全範圍時即時提醒，評估貓咪健康狀況。

(一)生理與健康監控

1.體溫監測 (MLX90640) - 產生 32×24 热影像數據，計算平均體溫，透過大數據分析異常趨勢，

並定時傳送至主人手機。

2.活動偵測 (HCSR501) - 監測貓咪運動狀態，異常時立即通知主人，防範健康問題。

3.糞便健康分析 (ESP32-S3 CAM + AI) - 影像辨識結合 Teachable Machine 與 Edge Impulse，判斷糞便狀態，及早發現腸胃問題。



圖 2-20 由作者親自使用 Chat GPT 協助設計環境，與感測器放置位置示意



圖 2-21 設計環境，與感測器放置位 研究者親自拍攝

備註：本研究曾嘗試以 HCSR501 作為活動偵測模組，惟其對小型動物活動的靈敏度不足，且數據輸出穩定性偏低，導致無法有效提供行為辨識參數。故最終未將其納入正式分析，並將於討論章節探討潛在替代方案與改進方向。

肆、研究結果

一、問卷相關研究結果

(一)、問卷設計

本研究透過 Google 表單設計線上問卷，採立意取樣方式，針對本校師生進行施測，調查對貓咪食品管理與健康監控系統的關注程度與使用需求。藉由初步的量化分析，了解大眾對本研究系統設計方向的實際需求與關鍵問題。此結果可作為後續研究改良重點與應用場域擴展的重要依據，亦有助於辨識目前市面上寵物健康照護產品的功能缺口與使用痛點。

(二)、問卷回收與統計

總回收數：1500 份

有效問卷：1244 份（包含家中有養貓、
曾經養過、未來計畫養貓者）

無效問卷：256 份（無養貓經驗者、未來
沒有計畫養貓者）

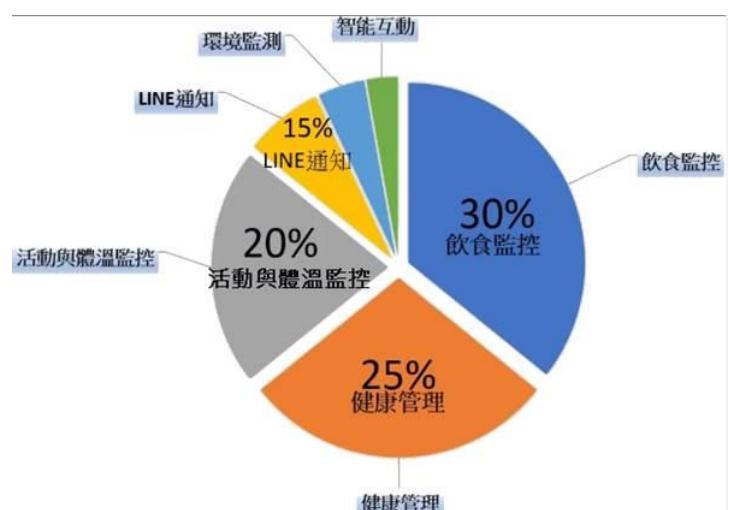
(三)、需求重點分析

主要發現：

90%受訪者認為食品監控、健康監控、活動與

體溫監控、即時訊息通知為最重要功能。 圖 3-1 google 問卷統計圖 由作者親自設計與繪製
環境監測、智能互動、飲水管理 雖有需求，但監控重點仍以健康與食品管理為主。

結論：健康與食品監控為貓咪照護的核心需求，故本團隊將優先優化這四大功能。



二、確定設計分析模式(5W2H)內容項目-常見的相關分析方式的比較表

表 3-1 分析模式比較

分析方法	全名	主要用途	核心要素	適用情境
5W2H	What, Why, Where, When, Who, How, How much	問題分析、計畫制定	透過7個問題全面檢視	產品設計、流程管理、問題分析
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats	競爭分析、戰略規劃	內外部優勢劣勢與機會威脅分析	企業經營、專案評估、個人發展
PEST	Political, Economic, Social, Technological	環境分析、趨勢預測	從外部環境分析影響因素	產業分析、政策影響、投資決策
PDCA	Plan, Do, Check, Act	持續改善、品質管理	迴圈式持續改善	品質管理、專案優化、企業運營
SMART	Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound	目標設定	制定清晰可衡量的目標	計畫管理、個人成長、績效考核

表 3-1 本表由作者親自設計，內容整理自維基百科

比較過後，選用 5W2H，因為可提供全面的問題分析架構，能確保我們從問題的本質(What)到執行的細節(How & How much)都能被完整考慮。更協助找到屬於我們的作品

三、微控設備與 AI 輔助平台選用-找出合適的微控制裝置並搭配 AI 智慧學習。

透過燈光影響度準確度實驗後的數據比較，由表 2-1 微控設備選用: -燈光影響度準確度測試條件可得到，ESP32S3 CAM 是最合適應用於本研究的微控設備。

表 3-2 微控設備選用: -燈光影響度準確度測試條件

型號	處理器	記憶體	相機模組	影像處理能力	應用場景	貓砂籠內-燈光影響度準確度% 1000流明 / 500流明 / 夜間
ESP32-S3 Cam	雙核LX7，主頻 240 MHz，支援向量指令集	8MB / 16MB / 32MB PSRAM, 16MB Flash	OV2640 (2MP) 或 OV5640 (5MP)	30 FPS @ 2MP，支援 AI 運算	貓砂籠內糞便辨識、視訊監控、邊緣運算	90 / 87 / 78
ESP32 Cam	雙核LX6，主頻 160/240 MHz	520KB SRAM，4MB Flash (可外接 PSRAM)	OV2640 (2MP)，PCLK 約 20 MHz	15 FPS @ 2MP	基本貓砂籠監控、簡單圖像處理	80 / 76 / 70
NMK99	雙核LX6，主頻 160/240 MHz	520KB SRAM，4MB Flash (可外接 PSRAM)	OV2640 (2MP)，PCLK 約 20 MHz	15 FPS @ 2MP，低功耗模式	基本貓砂籠監控、簡單圖像處理，適合低功耗應用	75 / 72 / 65

本表由作者親自蒐集燈光影響準確度數據與繪製 資料整理來源: 坤橋電子商品型錄介紹

由上表我們可得到，基於**運算能力、記憶體容量、鏡頭升級選項**與實測準確度考量，ESP32-S3 Cam 最符合本研究針對動態辨識與夜間監測的需求。其支援 AI 模型邊緣部署能力，也相對有利於未來結合 Edge Impulse 進行即時推論與辨識任務。

四、AI 體溫監測- 解決傳統監測方式的準確度與便利性問題

本研究運用 MLX90640 熱感測器 搭配 AI 預測分析，實現高效、準確的寵物體溫監測，克服傳統測溫方式的誤差與不便。特點如下:

(一)、高準確度：測溫誤差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，準確率 98%，優於傳統紅外線測溫。

(二)、即時警報：

異常時自動上傳 Discord，即時通知飼主。

發燒預測：AI 模型可分析體溫趨勢，預測

發燒風險，提供早期預警。

(三)、低功耗運行：透過 ESP32-S3 執行 AI 運

算，確保長時間監測穩定性。



圖 3-2 貓咪體溫即時訊息傳送由研究者截取手機畫面

五、AI糞便健康辨識 - 解決腸胃問題難以早期發現的問題

本研究開發 AI 糞便健康辨識系統，透過影像辨識與機器學習實現高精度、自動監測與智能預警，有效解決腸胃異常難以早期發現的問題。特點與 LOSS 如下：

(一)、高準確度辨識：採用 ESP32-S3 CAM + Edge Impulse AI，深度學習分析糞便顏色、形狀

與質地，辨識準確率 98%，可精確區分正常、腹瀉、便秘等狀態。

(二)、即時監測與警示：AI 自動分析糞便影像，

並即時傳送辨識結果與影像至 Discord，確
保飼主能快速應對異常情況。

(三)、健康趨勢預測：AI 學習歷史數據，預測腸

胃異常趨勢，並提供預防性建議，實現疾
病早期預警。



圖 3-3 貓咪便便即時訊息傳送 由研究者截取手機畫面

(四)、影像分類的訓練與驗證損失

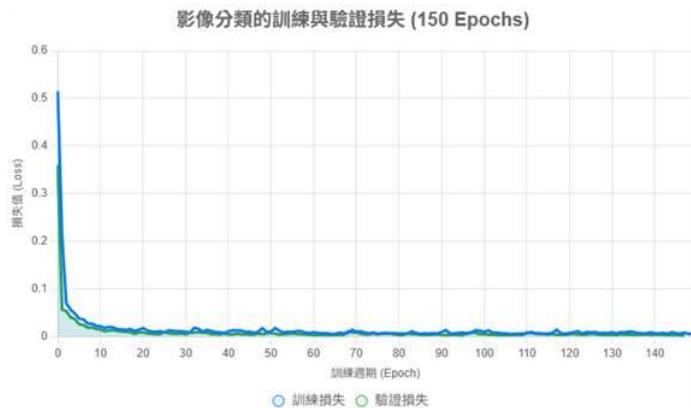


圖 3-4 影像分類的訓練與驗證損失

由研究者截取電腦畫面

圖中呈現本研究影像分類模型於 150 個訓練週期（Epochs）內的訓練損失與驗證損失變化趨勢。初期兩條曲線皆快速下降，代表模型在前階段已有效學習資料中的主要特徵；約第 30 Epoch 後，損失值逐漸趨於平穩，並

長時間維持在極低區間（低於 0.03）。

值得注意的是，訓練損失與驗證損失高度重疊，未出現明顯分歧，顯示模型不僅在訓練資料中表現良好，也具備良好之泛化能力，無明顯過度擬合現象。此結果佐證本研究所建構之 AI 模型具備穩定性與實用性，適用於實際場域中辨識貓咪糞便影像的健康監測任務。

六、精準飲食與飲水追蹤 - 解決營養攝取與脫水風險的監測問題

本研究開發 AI 精準飲食與飲水追蹤系統，透過 HX711 重量感測器 監測食物攝取量，HC-SR04 超聲波感測器 追蹤飲水變化，確保寵物營養與水分攝取的穩定性。實現低成本、高精度、智能化的營養監測，有效預防飲食異常與脫水風險。特點如下：

- (一)、精準數據監測：自動記錄每日飲食、飲水量，追蹤長期趨勢。
- (二)、AI 偵測異常：分析攝取變化，預測營養不均或脫水風險。
- (三)、即時警示機制：數據異常時，系統自動推送警報至 Discord，提醒飼主注意狀況。

七、智能異常警報與雲端整合- 解決資訊不透明與即時監測不足的問題

本研究開發智能異常警報與雲端整合系統，透過即時數據處理與遠端推播技術，解決傳統監測資訊延遲與不透明的問題。本系統突破即時監測瓶頸，強化數據透明度與遠端健康管理能力。特點如下：

- (一)、即時數據上傳：結合 ESP32-S3 + 雲端伺服器，即時處理並儲存體溫、糞便、飲食與飲水數據，確保資料完整性。
- (二)、AI 智能分析：透過類神經網路監測異常趨勢，當數據異常時，系統即時預警，避免健康風險延誤處理。
- (三)、雲端推播警示：整合 Discord API，當偵測到異常（如發燒、糞便異常、脫水），即時推送通知，讓飼主能隨時掌握寵物健康狀況。

伍、討論

一、問卷結果為何聚焦這四大需求？

答：經討論與文獻分析，可以推論飼主最關注**體溫監測、糞便健康辨識、飲食與飲水追蹤、異常即時警報**，主要來自四大核心因素：

- (一)、**健康風險認知（Health Risk Perception）** 提早發現疾病風險，降低醫療負擔：
寵物疾病多無明顯初期症狀，早期監測能防止惡化[5] [14]。
- (二)、**焦慮與資訊不足（Invisible Symptoms Anxiety）** 貓咪不會表達疼痛，AI 監測補足資訊落差：AI 能分析糞便、體溫異常，幫助飼主減少健康焦慮[8] [13]。
- (三)、**時間管理與便利性（Time & Convenience）** 現代人忙碌，智慧監測減少照護負擔：
智慧健康管理能提升生活便利性，提高 AI 監測產品接受度 [2] [15]。
- (四)、**過往經驗影響（Prior Negative Experiences）** 曾錯過寵物異常者，更願意接受智慧監測：
負面經驗讓飼主更依賴 AI 健康監控，以避免再次發生[16] [11]。

二、AI 體溫監測-為什麼 MLX90640 與 ESP32S3 CAM 融合後，可以看到不錯的效果，但最後會選擇單獨使用 MLX90640 呢？

答：MLX90640 具備高準確度、低功耗、即時性，經測試，單獨使用 MLX90640 測溫準確率達

98%，與 AI 影像輔助無顯著差異。

詳細推論說明如下：

(一)、運算效能最佳化: ESP32-S3 CAM 影像處理增加運算負擔，MLX90640 單獨運行可降低功耗並提升即時性

(二)、硬體架構簡化 :去除影像處理，減少開發複雜度與系統資源消耗，更適合長時間監測。

(三)、AI 判斷穩定 :熱感測數據已足夠精確，額外影像輔助未顯著提升 AI 效能，甚至可能引入誤差。

所以最終選擇單獨 MLX90640，確保系統高效能、低功耗、即時穩定，更符合智慧寵物健康監測與大多數人們的需求。

三、非接觸式測量對 AI 模型訓練的挑戰，比如部分寵物體毛較長，可能影響測量準確度。這點可如何因應呢？

答: 在 AI 監測寵物健康的應用中，毛髮的長度與密度可能會干擾 **MLX90640** 紅外線感測器的測溫準確度。例如，長毛貓的體溫讀數可能低於實際值，導致 AI 判斷錯誤。

經由討論與參閱相關文獻後[7][9][12][16]，可得到下列解決方法：

(一)、透過影像辨識結合 AI 修正測溫數據：

使用 OpenCV 或 Edge Impulse：拍攝貓咪影像，讓 AI 辨識貓咪毛長，並調整測溫數據的補償係數。

(二)、採用多點測溫策略（耳、鼻、腹部）：

長毛貓可能影響背部測量，可改為測量 耳部、鼻部、腹部，這些部位毛髮較少，能提高準確性。

(三)、IoT 環境溫度補償機制：

增加 DHT22 環境感測器，同時記錄環境溫濕度，確保測溫數據不受周圍影響。

(四)、AI 訓練數據補強（Data Augmentation）：

讓 AI 學習不同毛長對測溫數據的影響，例如輸入貓咪影像 + 測溫結果，讓 AI 建立補償模型。

四、AI糞便分析與疾病風險評估，如何保有正確性與辨識度的穩定性？

答: 經探討參考文獻[9][12][16]與討論後，推論原因有以下幾點：

(一)、**環境影響**：光線、地板顏色、拍攝角度可能影響 AI 分析準確度。

(二)、**糞便形態變異**：水分、顏色、形狀不同，可能導致 AI 誤判。

(三)、**訓練數據不足**：缺少特定疾病糞便樣本，影響 AI 學習效果。

(四)、AI 平台表現差異：Edge Impulse、Teachable Machine、Google Cloud Vision API 辨識率不同。

可進以下方式改良：

(一)影像標準化（影像前處理）

1. 使用 OpenCV 自動調整亮度、對比度，確保 AI 訓練影像一致，避免光線影響判斷。
2. 採用固定拍攝環境（統一背景顏色、攝影距離），確保每張影像品質穩定。
3. 使用邊緣偵測（Canny Edge Detection）提高糞便形態辨識準確率。

(二)、類神經網路架構模型改良

1. 第一層 AI（物件分類）：區分糞便與非糞便（避免誤判異物）。
2. 第二層 AI（健康分析）：辨識糞便形態、顏色、質地（區分正常與異常）。
3. 第三層 AI（趨勢監測）：若 AI 連續數天偵測異常才發送警報，減少誤報。

(三)、整合 IoT 感測器，提升 AI 判斷準確度

1. HX711 重量感測器：測量糞便重量變化，AI 可分析食量變化與腸胃健康狀況。
2. 加裝 MQ-135 氣體感測器：偵測糞便氣味變化（如異常氨氣濃度），輔助 AI 判斷疾病風險。

五、糞便異常與腸胃疾病的關聯性如何建立？如何避免 AI 過度擬合？

答：經由討論與參閱相關文獻後，推論有以下的改善方式

(一)如何讓 AI 連結糞便異常與腸胃疾病？

1. 建立標準數據集- 先拍攝不同健康狀態下的糞便照片（如正常、便秘、腹瀉、血便），並請獸醫協助標記，讓 AI 知道哪些屬於異常。
2. 使用 Edge Impulse 訓練 AI - 透過 Edge Impulse 平台，簡單上傳圖片、自動標記、訓練分類模型，不需複雜程式碼即可完成 AI 訓練。
3. 長期監測比單次測量更準確 → 設計程式讓 AI 連續監測 1~2 週的糞便狀態，分析變化趨勢，而不是只看單一天的結果，這樣能更準確判斷健康狀況。

(二)如何避免 AI 過度擬合？（讓 AI 不會只記住特定圖片）

1. 增加不同條件下的照片：

在不同光線（早上/晚上）、距離（近/遠）、角度下拍攝糞便，確保 AI 學會辨識，而不只是記住特定照片。也可以在網路蒐集額外糞便圖像（如 Kaggle 開放數據），增加 AI 訓練樣本的多樣性。

2. 避免 AI 死記訓練數據：

使用 Edge Impulse 參數設定 Data Augmentation（數據增強）- 在 Edge Impulse 設定「隨機旋轉、模糊、調整亮度」，讓 AI 學習不同變化，而不只認某些特定樣本。

六、為什麼在影像分類模型訓練中，損失值能夠快速下降並趨於穩定？這是否意味著模型已完全學習，還是可能存在過度擬合的風險？

答：經由探討參考文獻[12]後，可得到以下推論：

當深度學習模型之訓練與驗證損失曲線持續下降且趨於一致，表示模型學習過程穩定、無明顯過度擬合現象。

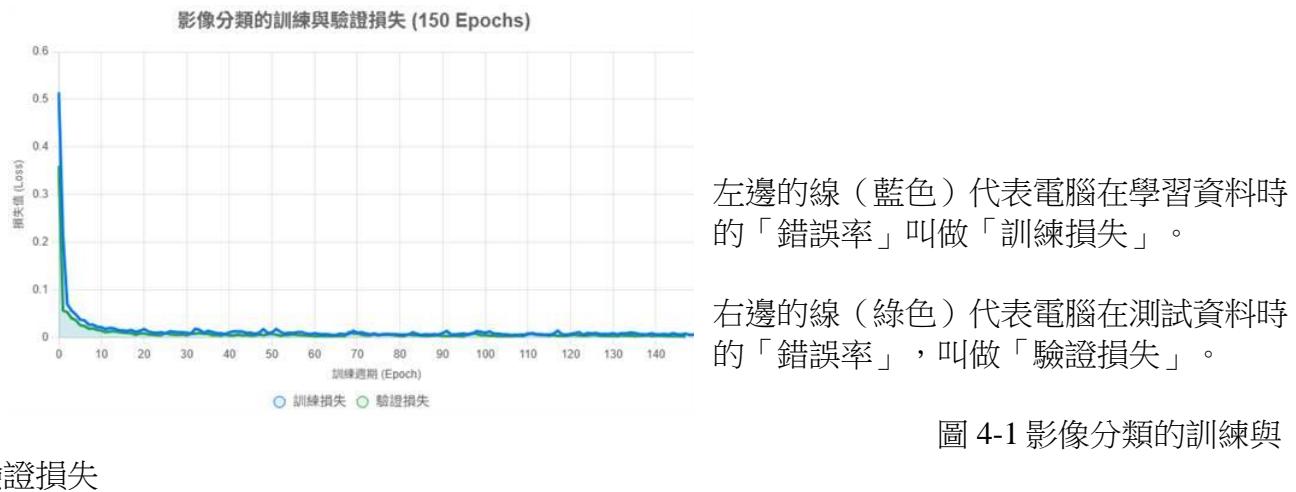


圖 4-1 影像分類的訓練與驗證損失

本圖呈現模型在 Edge Impulse 平台中訓練貓咪便便分類任務時的學習曲線。可觀察到：

(一)、前 10 個 Epochs 損失值快速下降，表示模型迅速掌握影像的主要辨識特徵。

(二)、30 Epochs 後，訓練損失與驗證損失趨於穩定，且曲線高度重疊，顯示模型學習穩定，無明顯過度擬合。

(三)、整體變化小於 0.03，表現收斂良好，代表模型對資料的分類已具有一致性與信賴度。

此曲線形狀符合 Hussain et al. (2022) 所述「穩定收斂的深度學習模型具有良好泛化能力」，但我們也注意到若資料過於相似，仍可能隱藏模型「記憶畫面」而非真正理解的風險。未來將擴增影像多樣性以進一步驗證泛化能力。

七、如何確保 MLX90640 偵測到發燒的主要測量部位？如何推廣至其他毛小孩？

答：經由討論與參閱相關文獻後，可推論有以下方式

(一)、確保發燒測量部位準確性

MLX90640 監測的是整體熱感數據，而貓咪發燒通常可從 耳朵、鼻頭、腹部、內耳、眼周 這些部位較容易觀察。熱成像無法主動鎖定特定部位，因此可透過以下方法提升準確度：

1.測量區域調整：

演算法優化 → 過濾環境干擾，聚焦於貓咪核心體溫區域（如腹部或耳朵）。

溫度梯度分析 → 設定特定區域的溫度變化閾值，偵測異常發燒跡象。

時間序列監測（LSTM）→ 透過長期數據累積，確認體溫變化趨勢，降低短期波動影響。

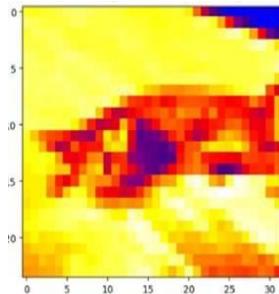


圖 4-2-1 MLX90640 热顯影數據轉熱成像圖



圖 4-2-2 貓咪頭部局部放大

上 2 圖皆由研究者親自截取實驗畫面

答 2:推廣至其他毛小孩的適應性調整

不同動物測溫部位標準化 -針對狗、兔子、天竺鼠等動物，設定不同的測溫部位，如狗的鼻頭、耳朵內側、腹部等，確保 AI 能適應不同動物品種。

多動物熱感測數據訓練 -擴大數據集，納入不同動物毛長、體型與環境條件，提升 AI 模型的泛化能力。

八、當我們觀察到 HCSR501(PIR 感測器)無法穩定記錄貓咪經過次數時，我們該如何選擇更合適的替代技術？在技術選用時，我們該優先考量動作靈敏度、環境穿透力，還是資料輸出型態？

答：在本研究初期，我們曾使用 HCSR501 被動紅外線感測器（PIR）作為貓咪動作偵測模組，期望藉由記錄貓咪「經過次數」來分析其活動頻率，進而評估健康活力狀態。然而實測結果發現，HCSR501 在此應用上表現不佳，具體問題如下：

1. 對小型動物移動的反應過慢或偵測不到

2. 無法準確區分多次經過與靜態停留

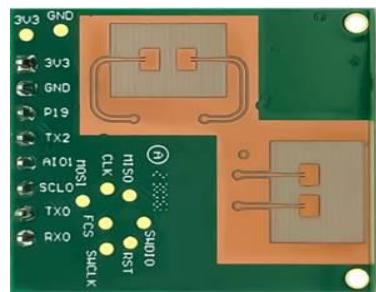
3. 背景干擾多，難以反應活動密度

經檢視[22][23][24]等文獻所提出之毫米波雷達應用架構後，我們決定改採 **毫米波雷達模組（圖 4-3）** 進行替代。毫米波雷達具備高解析度、多目標追蹤與微動辨識能力，能持續量測目標之速度、方向與移動模式，提供穩定且高靈敏的動作記錄。

為驗證其應用效能，我們設計四種場景進行測試：（1）環境中僅有貓咪活動，（2）僅有一位人類進出，（3）人類與貓咪同時出現，（4）單一貓咪長時間觀察。

透過上述設計，我們得以系統性評估毫米波雷達在多變環境下之靈敏度、辨識精度與抗干擾能力，進一步確認其於日常健康監測應用中的實用性與可靠性。

圖 4-3 Hlktechdk 電子科技 LD6002B|60G 3D 人體存在檢測雷達模組 本圖資料來源 Hlktechdk 電子科技官方網站



陸、結論

本研究成功開發 AI 智能寵物健康監控系統，透過 热顯影感測、影像辨識、機器學習與物聯網技術（IoT），解決現有寵物健康監測的缺口，並提供高精準、即時性的數據分析。研究結果顯示，本系統可有效監測 體溫變化、糞便健康、飲食與飲水行為，提前預警健康異常。

結論歸納有三大部分：

一、研究創新與突破

- (一)、結合 AI 影像辨識與體溫監測，實現非侵入式健康監測避免傳統量測方式造成動物不適。
- (二)、Edge Impulse 嵌入式 AI 訓練，確保 AI 模型可在低功耗設備（ESP32-S3 CAM）上運行，提供即時分析。
- (三)、體溫監測技術最佳化:測試 MLX90640（光學）與 ESP32-S3 CAM（熱顯影），結果顯示融合應用提升有限，但運算負擔過高，最終選擇單獨 MLX90640，確保高效低功耗監測。
- (四)、Google Cloud Vision、Teachable Machine、Edge Impulse 比較測試 → 經 AI 訓練測試，Edge Impulse 在嵌入式 AI 上表現最佳，準確率達 98%，最終選定為 AI 訓練平台。

二、AI 智能監測的實際應用價值

- (一)、體溫監測準確度高（98%），並透過 AI 預測異常趨勢，降低誤判，實現 即時發燒預警。
- (二)、糞便健康分析精準（98%），透過 AI 學習不同糞便類型，幫助早期發現腸胃疾病風險。
- (三)、飲食與飲水監測：透過 HX711 與 HC-SR04 感測，統計每日攝取量，當異常時發送即時警報，提醒飼主注意寵物健康。
- (四)、遠端監控與智能通知:透過 Discord API 自動推送健康報告，實現 即時監測 + AI 分析 + 異常警報 的完整智慧管理系統。

三、AI 影像辨識於糞便健康監控的應用成效

- (一)、本研究成功建構以 Edge Impulse 為核心的貓咪糞便分類模型，透過影像訓練資料進行 AI 學習，準確辨識多種糞便外觀特徵（如顏色、形狀、濕潤度等），辨識準確率達 98%。
- (二)、實驗結果顯示，AI 模型能穩定偵測貓咪排泄後殘留影像，並有效區分健康與疑似異常樣態，有助於早期發現腸胃道疾病、消化不良、慢性便秘等潛在風險。

(三)、此辨識系統已可應用於非接觸式監控環境，無需任何穿戴或人工干預，即可即時完成糞便分類與記錄，提供飼主一套科學化、精準化的健康監測依據。

四、研究對未來的影響與應用潛力

- (一)、填補現有寵物健康監測的技術缺口：傳統監測設備多為穿戴式，本研究提供無接觸 AI 智能監測，提升便利性與準確度。
- (二)、擴展至多物種應用：此技術可應用於狗、兔、鳥類等動物健康監測，並可進一步發展至智慧農場與獸醫診斷輔助系統。
- (三)、未來結合區塊鏈技術：透過 數據上鏈，確保寵物健康記錄安全且可追溯，實現更智能的寵物醫療管理模式。

柒、參考資料及其他

- [1] Aich, S., Chakraborty, S., Sim, J. S., Jang, D. J., & Kim, H. C. (2019). The design of an automated system for the analysis of the activity and emotional patterns of dogs with wearable sensors using machine learning. *Applied Sciences*, 9, 4938.
- [2] Christian, H., Bauman, A., Epping, J. N., Levine, G. N., McCormack, G., Rhodes, R. E., Richards, E., Rock, M., & Westgarth, C. (2018). Encouraging dog walking for health promotion and disease prevention. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 12, 233–243.
- [3] Vassli, L. T., & Farshchian, B. A. (2018). Acceptance of health-related ICT among elderly people living in the community: A systematic review of qualitative evidence. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 34, 99–116.
- [4] Laroute, V., Chetboul, V., Roche, L., Maurey, C., Costes, G., Pouchelon, J.-L., De La Farge, F., Boussouf, M., & Lefebvre, H. P. (2005). Quantitative evaluation of renal function in healthy Beagle puppies and mature dogs. *Research Journal of Veterinary Science*, 79, 161–167.
- [5] Gruen, M. E., Lascelles, B. D. X., Colleran, E., Gottlieb, A., Johnson, J., Lotsikas, P., & Wright, B. (2022). AAHA pain management guidelines for dogs and cats. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 58, 55–76.
- [6] Boehm, T. M., & Mueller, R. S. (2019). Dermatophytosis in dogs and cats—An update. *Tierarztl. Prax. Ausg. K Klientiere Heimtiere*, 47, 47257–47268.
- [7] De Bellis, F., & Di Mattia, D. (2022). Approach to emergency dermatology cases in dogs and cats. *Practice*, 44, 436–451.
- [8] Gedon, N. K. Y., & Mueller, R. S. (2018). Atopic dermatitis in cats and dogs: A difficult disease for animals and owners. *Clinical and Translational Allergy*, 8, 41.
- [9] Foster, M., Mealin, S., Gruen, M., Roberts, D. L., & Bozkurt, A. (2019). Preliminary evaluation of a wearable sensor system for assessment of heart rate, heart rate variability, and activity level in working dogs. In *Proceedings of the IEEE SENSORS*, Montreal, QC, Canada, 27–30 October 2019 (pp. 1–4).
- [10] Ladha, C., Hammerla, N., Hughes, E., Olivier, P., & Ploetz, T. (2013). Dog's life: Wearable activity recognition for dogs. In *Proceedings of the ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, Zurich, Switzerland, 8–12 September 2013 (pp. 415–418).
- [11] Ahn, J., Kwon, J., Nam, H., Jang, H. K., & Kim, J. I. (2016). Pet buddy: A wearable device for canine behavior recognition using a single IMU. In *Proceedings of the International Conference*

on Big Data and Smart Computing (BigComp), Hong Kong, China, 18–20 January 2016 (pp. 419–422).

- [12] Hussain, A., Ali, S., & Kim, H. C. (2022). Activity detection for the wellbeing of dogs using wearable sensors based on deep learning. *IEEE Access*, *10*, 53153–53163.
- [13] Nedungadi, P., Jayakumar, A., & Raman, R. (2018). Personalized health monitoring system for managing well-being in rural areas. *Journal of Medical Systems*, *42*, 22.
- [14] Wells, D. L. (2019). The state of research on human–animal relations: Implications for human health. *Anthrozoös*, *32*, 169–181.
- [15] Kuo-Lun Wang. (2021). Behavior intention to adoption of pet health detection products with AI enabled functions in technology acceptance model. National Digital Library of Theses and Dissertations in Taiwan.
- [16] Hung, Hsiu-Te. (2021). Pet cat behavior recognition based on YOLO model. National Digital Library of Theses and Dissertations in Taiwan.
- [17] Heaton, K. W., & Lewis, S. J. (1997). Stool form scale as a useful guide to intestinal transit time. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*
- [18] Rondeau, M. P., et al. (2015). Fecal scoring systems in veterinary medicine: Applications and limitations. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*,
- [19] 全國科展第四十七屆. 遠距視訊寵物餵食器.
- [20] 全國科展第五十五屆. 傾聽「狗」語！
- [21] 全國科展第六十三屆. AIOT 動物健康浮生錄.
- [22] Henry, C., Dore, A., & Couvreur, S. (2021). A non-invasive millimetre-wave radar sensor for automated behavioural tracking of unmarked animals. *Scientific Reports*, *11*(1), Article 3119.
- [23] Sadeghi, E., van Raalte, A., Chiumento, A., & Havinga, P. (2024). RayPet: Unveiling challenges and solutions for activity and posture recognition in pets using FMCW mm-wave radar. *arXiv preprint*.
- [24] Moritz, G. L., Brante, G., & Souza, R. D. (2024). Human and small animal detection using multiple millimeter-wave radars and data fusion: Enabling safe applications. *Sensors*, *24*(6), 1901.
- [25] 其他資料來源: 晨曦動物醫院、寵物公園
- [26] 維基百科

【評語】052507

1. 本作品結合紅外線熱顯影、圖像辨識與 IoT 通報系統發展出貓咪健康監控設備，可同時進行非接觸式體溫監控、糞便影像辨識與飲食行為紀錄等，可望提升飼主對寵物健康狀況的即時掌握與早期預警能力，強化智慧飼養管理的實用性與準確性。題目有趣，有其一定之實用性。
2. 本作品將成熟的技術與套件整合而成，雖有系統發展的貢獻，但在技術創新與實驗的評估上較為不足，例如貓咪會如廁後會以貓沙覆蓋糞便，因此將如何取向進行分類等問題。

作品海報

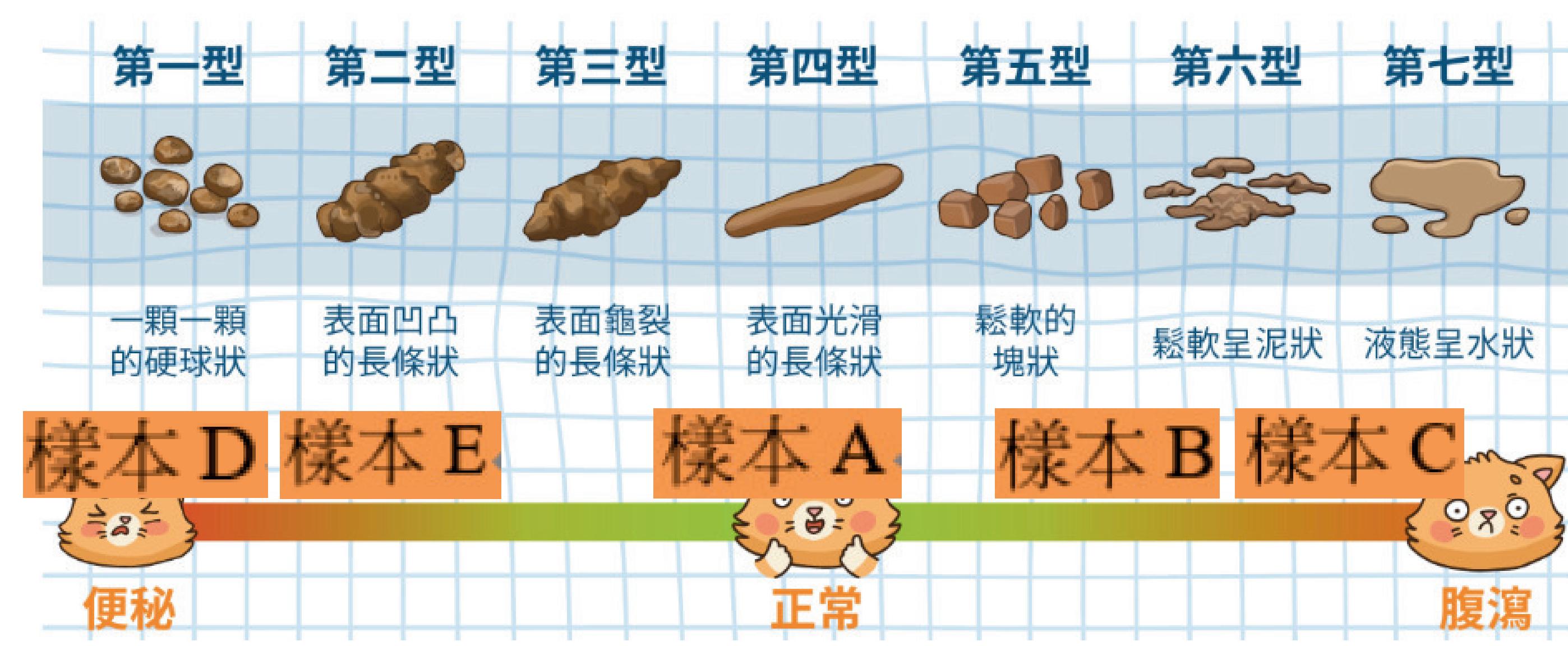


貓奴們別擔心

AI DISCORD 素你!

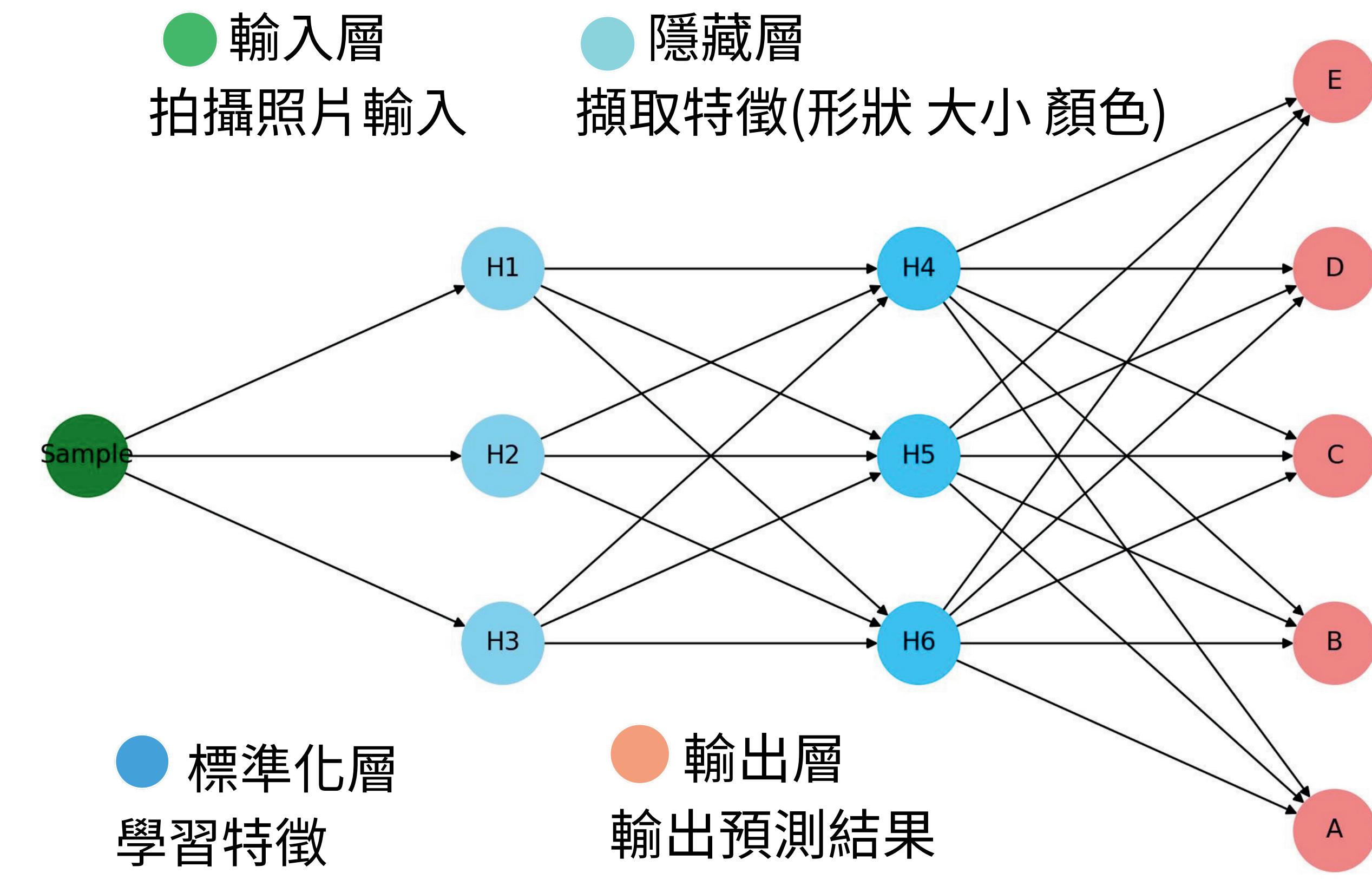
AI人工智慧學習訓練開發

(一)糞便辨識(終端)與AI訓練開發(edge impulse)



布里斯托法則大便分類法

本圖取自 google 布里斯托法則大便分類法



指標名稱	範圍 (0 ~ 1)	常見判斷標準
準確率 Accuracy	0.00 ~ 1.00	> 0.90 : 非常好 0.80 ~ 0.90 : 良好 < 0.80 : 需改善
精準率 Precision	0.00 ~ 1.00	> 0.85 : 高精準 0.70 ~ 0.85 : 尚可 < 0.70 : 太常誤判
召回率 Recall	0.00 ~ 1.00	> 0.85 : 完整抓出 0.70 ~ 0.85 : 普通 < 0.70 : 漏太多
F1 分數 F1 Score	0.00 ~ 1.00	> 0.85 : 穩定強 0.75 ~ 0.85 : 中上 < 0.75 : 不穩定

上表整理自維基百科

模型整體表現指標：混淆矩陣

準確率:0.97 (模型正確判斷的比例)

$$(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$$

精確率:0.93 (真正為正類別的比例)

$$TP / (TP + FP)$$

召回率:1.00 (成功預測為正類別的比例)

$$TP / (TP + FN)$$

F1 分數:0.96(評估分類模型效能)

$$F1 - score = 2 \frac{precision \times recall}{precision + recall}$$

		實際	
		正	負
預測	正	True Positive 預測正確	False Positive 預測錯誤
	負	False Negative 預測錯誤	True Negative 預測正確

混淆矩陣相關表格資訊整理參考自

Ref: Karimi, Z. (2021, October). Confusion matrix. ResearchGate.

特徵分布



每個顏色代表一種類型。可以發現各類別特徵群彼此分離清楚，沒有重疊，代表模型對這五類的辨識能力是穩定且具一致性的。



糊狀



硬球狀

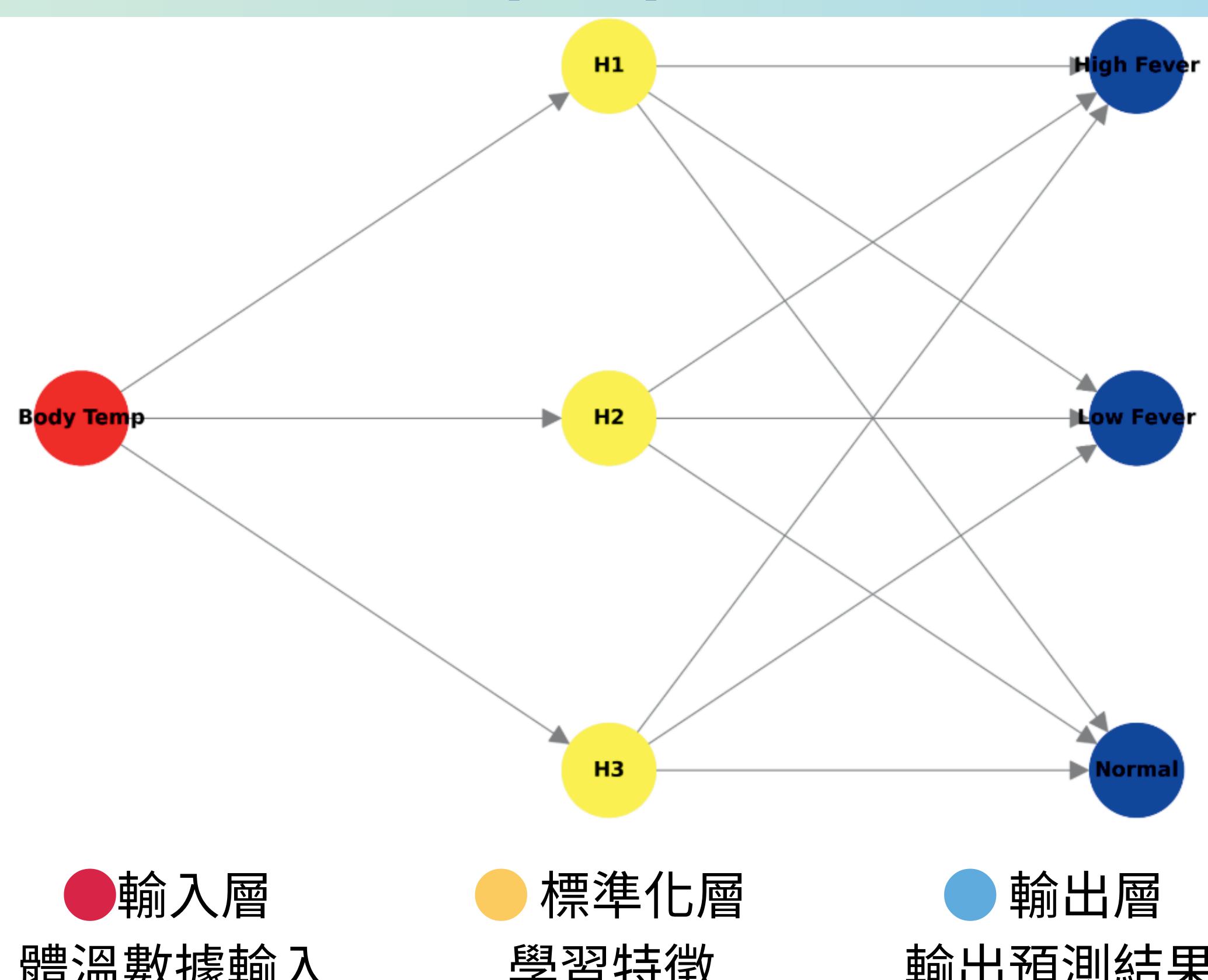


水狀



Ref: Van der Maaten, L. & Hinton, G. (2008). Visualizing data using t-SNE. JMLR.

(二) 體溫檢測與 AI 預測開發



AI 預測發燒趨勢並即時通知飼主 (edge impulse、手機畫面)。

除已註明來源外，所有圖表數據皆由作者親自蒐集、繪製與截圖 (edge impulse、手機畫面)。

本研究以 5W2H 架構為設計基礎，開發一套結合紅外線熱顯影、AI 人工智慧、物聯網與邊緣運算的貓咪健康監控系統，解決傳統寵物照護在即時性與數據判讀上的限制（Why）。本系統可部署於貓砂盆與餵食區（Where），全天候自動監控（When），協助飼主與獸醫即時掌握貓咪健康狀況（Who/What）。功能包含：1.非接觸式體溫監測、2.糞便樣態AI辨識、3.飲食行為紀錄、4.異常自動通報。

技術上，本作品創新採用 Edge Impulse 訓練模型並成功部署於 ESP32-S3 CAM 終端設備，實現即時邊緣推論（How），同步通報至 Discord 平台。透過多感測模組整合與模型輕量化設計，展現本系統高度整合性、擴展性與應用潛力，為國內首例針對貓咪糞便進行 AI 邊緣辨識的實作研究。

研究目的

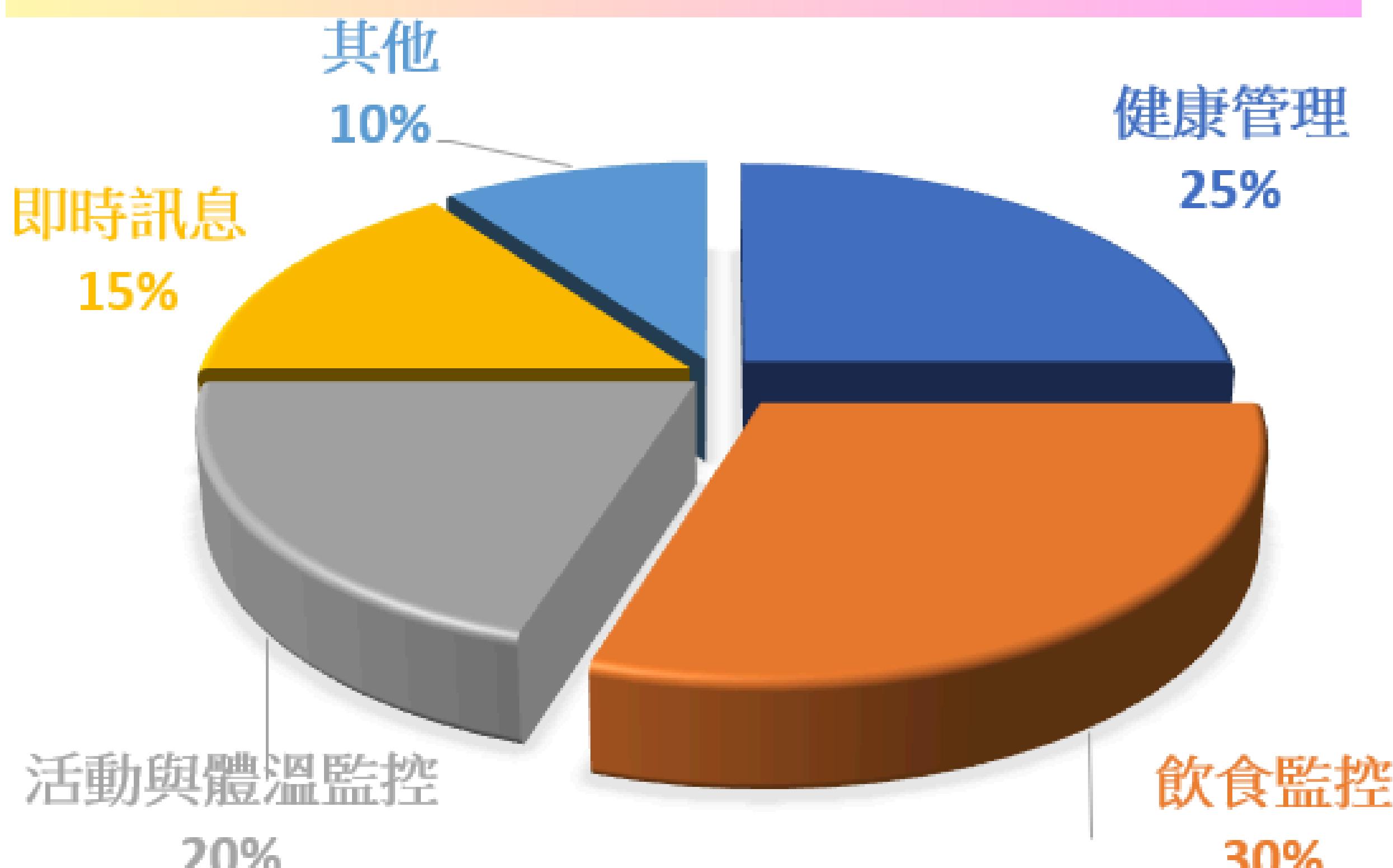
用科技理解沉默的訊號，用 AI 回應真實的情感

1. 解決飼主在貓咪日常照護中，無法即時掌握健康異常的困境
2. 建構一套結合紅外線熱顯影、AI 辨識與 IoT 感測的健康監控系統
3. 將 AI 模型部署於 ESP32-S3 終端裝置，實現即時、低功耗、非接觸式監測
4. 聚焦貓咪體溫、糞便樣態與飲食行為三大指標，進行整合性追蹤
5. 發展具備即時通報、模組擴展與生活應用潛力的 AI 寵物照護原型

研究過程與方法

從生活中發現問題，從科技中尋找解方

1. 問卷統計 n=1500



2. 5W2H作品定位分析



3. 設計流程

問題觀察與研究動機

問題：飼主難即時察覺貓咪健康異常
動機：發想低功耗、非接觸式、即時監測方案

監測指標選定與資料蒐集

1. 體溫（紅外線觀測）。
2. 糞便樣態（影像拍攝）。
3. 飲食行為（感測器記錄）。

1. 使用 Edge Impulse 建立糞便分類模型。

2. 資料集整理、訓練與驗證。
3. 部署至 ESP32-S3 CAM 實現終端即時辨識。

AI 模型訓練

2. 系統整合與功能開發

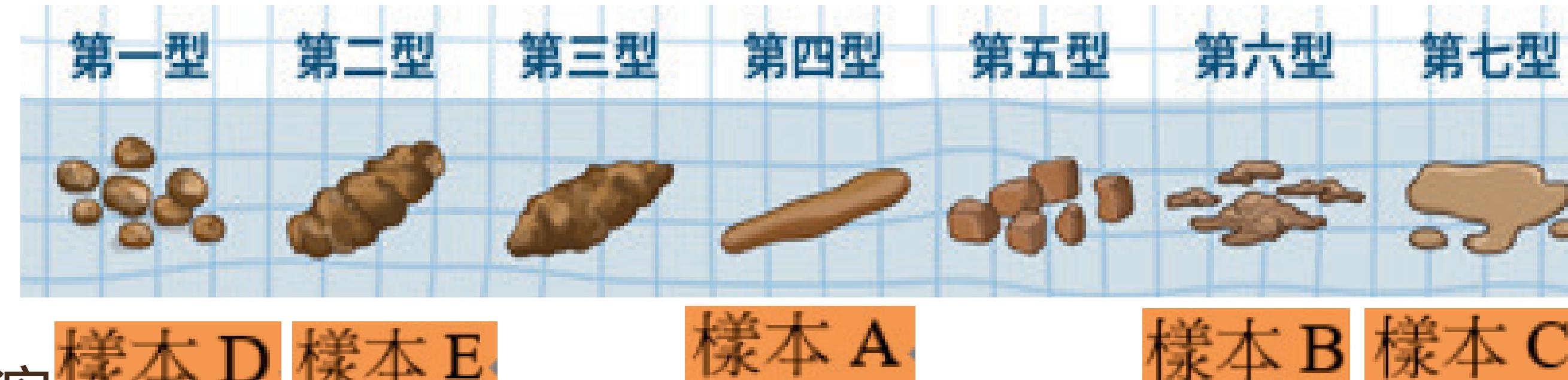
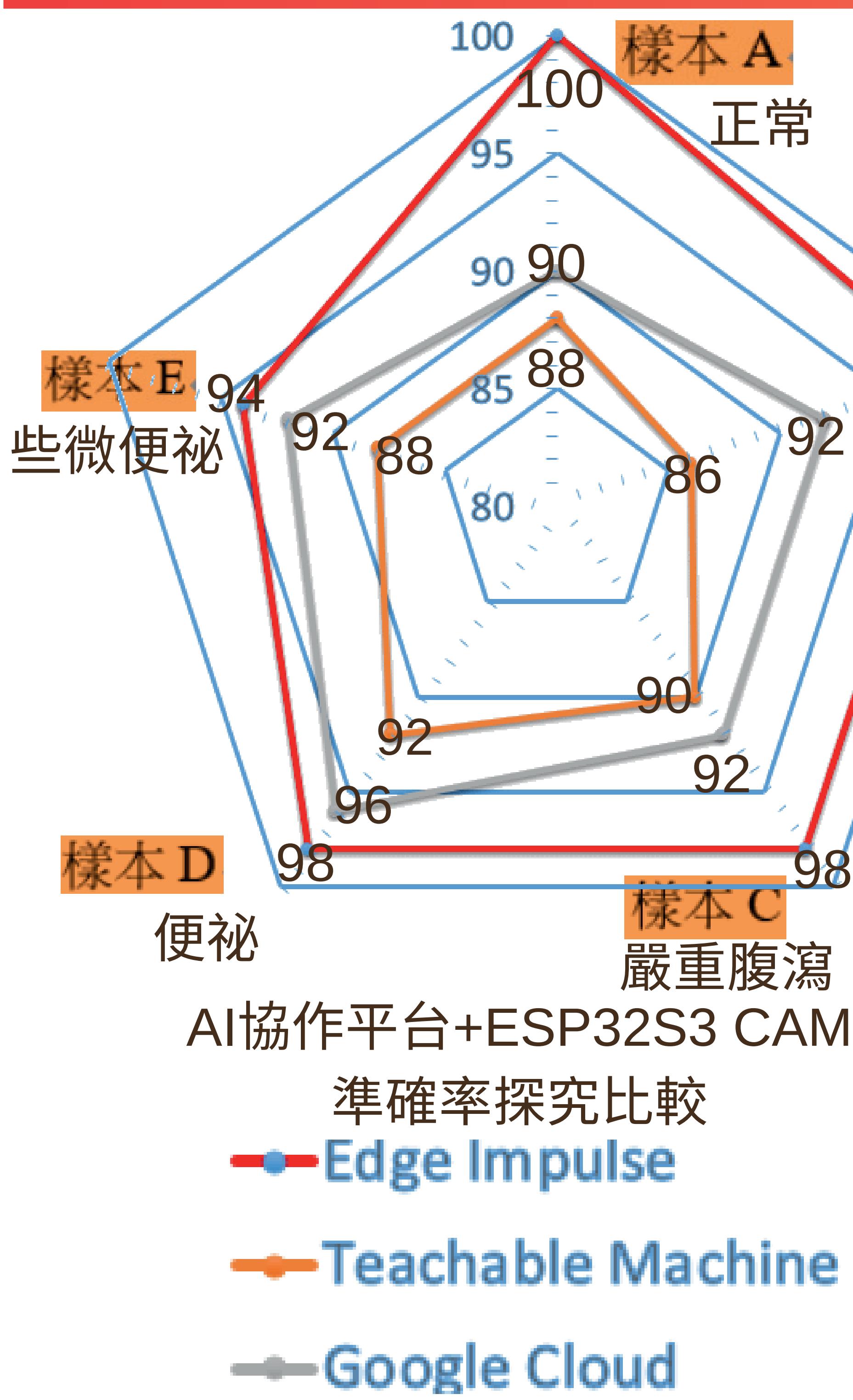
1. 熱顯影模組量測體溫。
2. 感測器蒐集行為與環境數據。
3. 開發即時通報 + IoT 架構原型。

與裝置部署

1. 使用 LOSS、混淆矩陣、特徵分布等指標驗證成效。
2. 模擬飼主即時接收健康警示。
3. 評估系統實用性與擴展潛力。

測試驗證與應用模擬

R & Q 探究比較



本圖取自 google 布里斯托法則大便分類法

平台名稱	準確度%	原因推測與功能影響
Edge Impulse	94%–100%	可直接部署到 ESP32 這種小裝置，訓練流程完整又自動化，資料前處理與特徵提取做得好，所以準確率最高。
Teachable Machine	86%–92%	操作超簡單、點一點就能訓練，但功能有限，也不能邊緣部署，背景複雜或類型相近時容易誤判。
Google Colab	90%–96%	可以客製化模型，也能做很多實驗，但要寫程式，操作不夠直覺，沒內建邊緣部署，表現容易受人為設定影響。

整體作品結構示意



結論

科技不該只理解運算，更應學會理解生命

1. 本團隊開發全國首例 AI 智能寵物健康監控系統，整合紅外線熱顯影、影像辨識、機器學習與 IoT 技術，特別針對貓咪糞便樣態進行辨識與推播應用，具備開源性與擴展潛力。
2. 實現將 AI 從雲端轉移到終端，系統透過 Edge Impulse 訓練模型並部署於 ESP32-S3 CAM 裝置，實現邊緣 AI 判斷，有效降低對雲端依賴與資訊延遲。
3. 系統具備即時監控、異常通報與生活應用性，能有效解決現行寵物健康監控的不足，提升居家照護效率。
4. 模型訓練過程中 Loss 值趨穩，並經混淆矩陣與特徵分析驗證，顯示本系統整體辨識效能穩定可靠。(準確率 0.97、精率 0.93、召回率 1.00 與 F1 0.96)
5. 未來系統可進一步拓展應用於寵物醫療監測、智慧飼育場域與健康大數據分析，促進動物福祉與照護智能化。

