



公開
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：1101010100

農業部苗栗區農業改良場113年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**養蜂病蟲敵害智能監測系統功能擴充及商品化 (第2年/全程4年)**
(英文名稱) **Revision and commercialization of smart apicultural pest monitoring system**

計畫編號：**113農科-11.1.1-苗-01**

全程計畫期間：自 112年1月1日 至 115年12月31日
本年計畫期間：自 113年1月1日 至 113年12月31日

計畫主持人：**徐培修**
研究人員：**吳姿嫻、陳本翰、潘其彥**
執行機關：**農業部苗栗區農業改良場**



1131093



一、執行成果中文摘要：

本年度目標為開發功能完善之養蜂專家系統，將感測器模組之軟硬體整合、擴充功能及提升模型精準度。針對蜂箱自動感測監測系統部分，進行蜂箱結構改良及感測器系統優化，開發仿製巢脾節點，採用分離式模組設計及無外露電路線之鋰電池供電，大幅降低使用者操作干擾。針對專家系統部分，開發盜蜂蜂群模型，平均準確率達89.51%；另因蜂蟹蟎影像辨識系統作為套件軟體，可不綁定硬體獨立使用，優先公告為技術授權案，辦理發布記者會增加曝光率。

二、執行成果英文摘要：

The goal for this year is to develop a fully functional expert system for beekeeping, integrating the hardware and software of sensor modules, expanding functionality, and improving model accuracy. Regarding the automatic hive sensing and monitoring system, improvements will be made to the hive structure and optimization of the sensor system. A mimic honeycomb node will be developed, adopting a modular design with no exposed wiring and powered by a lithium battery, significantly reducing operational interference for users. For the expert system, a model for robbing bee colonies has been developed, achieving an average accuracy rate of 89.51%. Additionally, as the Varroa mite image recognition system can be used independently of hardware as a standalone software package, it will be prioritized for technical licensing announcements. A press conference will be organized to increase its visibility.

三、計畫目的：

本年度目標為優化養蜂專家系統，將感測器模組之安裝結構改良、提升供電之續航力及穩定性。「養蜂病蟲敵害智能監測系統」工程版以功能齊全為首要考量，已完成電路板整合來降低成本，但防水、防塵及穩定性缺乏實際場域驗證，本年度將完成新型系統外殼設計，並優化使用者服務介面，提升後端資料流傳輸速度以增進網頁流暢度，完成「養蜂病蟲敵害智能監測系統」改良版，建立測試場域進行長期穩定度測試。

四、重要工作項目及實施方法：

1. C組：蜂箱自動感測監測系統整合開發

(1) 影像嵌入式系統開發與實測

- A. 影像感測器研製：以數位鏡頭進行蜂箱內部或通道影像拍攝，透過嵌入式系統轉換及儲存為影像檔，經由閘道器傳送至並雲端資料庫紀錄儲存。
- B. 感測節點系統程式開發：以嵌入式系統實現影像資料擷取和格式轉換，透過無線網路與閘道器傳送至雲端資料庫系統，進行感測節點的供電評估，測試市電及行動電源效能。

(2) 新型感測器保護外殼結構及系統整合與性能實測

測試感測器模組的佈置與安裝位置，進行感測器保護外殼結構改良，蜂箱內將安裝所需的感測節點，箱底安裝重量感測秤台。調整感測器保護端點的大小與形狀，避免外露訊號傳輸線以提升使用者操作便利性，結合養蜂管理紀錄及蜜蜂生物學原理確認數據之代表性。本年度規劃產製「養蜂病蟲敵害智能監測系統」改良版系統3套，建立3處測試場域，進行整體蜂箱與感測器系統的長期實測，驗證產品的功能、速率、穩定性、效能及準確性。





(3) Web服務介面功能擴充

新增個人帳密、權限設定、感測器傳送和記錄時間參數設定及電量顯示等功能。使用者可於Web端管理所收集的感測資訊，相關的警示條件可由使用者透過網頁程式自行設定，建立蜂箱與蜂群即時監測的安全防護系統。

2. OP-S組：盜蜂蜂群模型建構及低功耗音頻預警系統開發

(1) 盜蜂蜂群之音頻模型建構

透過於蜂箱前架設相機的方式，監測蜂箱前方蜂隻進出巢門情形，以方便進行盜蜂行為之觀察。本研究預計以人力影響的方式建立盜蜂情境，並於影像資料內，標記出有大量蜜蜂湧入蜂箱期間的音頻，並將這些音頻與其他未遭受盜蜂時進行差異分析與比對，建立盜蜂情境之分類模型。

(2) 低功耗蜂群音頻系統之開發與設計

本年度將引入低功耗的單晶片微控制器模組收集音訊，並上傳雲端空間，並由伺服器內建的自動化系統進行分析與辨識結果。此模組具備睡眠模式，於待機的過程中電流降至0.05安培以下，可有效長時間於野外進行監測。同時取樣頻率速度可調整至與樹梅派相符，因此本研究將同步進行以此模組及樹梅派放入同個蜂箱進行音頻資料蒐集，並針對同個場域的資料進行差異分析。

3. OP-M組：蜂蟹蟻行動預警模型實證及數位服務開發

(1) 蜂蟹蟻影像資料標示及資料收集

蜂蟹蟻影像自動辨識軟體之影像資料集雖已達1114張，但測試結果 $F1=0.76$ ，精準度可能尚有提升空間。為確認此模型是否已達產業應用標準，本年度將拍攝測試用影像資料，利用行動裝置直接拍攝巢脾上蜜蜂體表之蜂蟹蟻，並將以此類模式擷取之影像標註，測試系統實際精準度。

(2) 蜂蟹蟻影像雲端數位服務開發

整合蜂蟹蟻影像自動辨識軟體程式，建立雲端影像資料集，開發數位服務，使用者以行動裝置取像上傳單張或多張照片後，即時回傳辨識結果。建置分析及展示用介面，辨識結果包括蜂蟹蟻數量、蜜蜂數量、寄生率及防治警示等。

4. PM組：系統整合規劃及智財布局

- (1) 期初召開組間會議討論整合軟體分工、專利申請策略、技術移轉及智財權歸屬草案，做成會議記錄以利後續規劃。
- (2) 辦理專利申請相關事宜。
- (3) 撰擬「蜂蟹蟻智慧監測與警示系統」技術移轉案，辦理送審及公告相關事宜，統籌規劃推廣或曝光活動。

五、結果與討論：

1. 蜂箱自動感測監測系統：

開發嵌入式巢脾的感測器模組，設計此仿製巢脾的目的是要替換掉蜂箱內的一組巢脾，在不影響蜂箱內蜜蜂的活動的前提下進行數據監測，設計出的仿製巢脾的長寬高與一般巢脾相似。影像監控考量到蜂箱內部光線不足，所以使用OV5647紅外線夜視相機實現功能。遠端監測系統介面優化包括新增電量顯示、結合環境氣象資料、自定義MAC名稱、帳號管理權限等。依此規格產置改良版系統12套，於9-11月在苗栗縣、臺中市、南投縣擇3個蜂場進行田間測試，系統可以在不依靠市電的情況下正常運作。

2. 盜蜂蜂群音頻模型：

盜蜂情境定義為影像資料中有出現大量蜂群聚集或是進入蜂巢，期間所有的音頻資料即





被視為受到盜蜂行為之影響。後續標記出有大量蜜蜂湧入蜂箱期間的音頻，並將這些音頻與其他未遭受盜蜂時進行差異分析與比對，完成盜蜂情境之音頻分類模型建置，判別平均準確率為89.51%。

3. 低功耗音頻預警系統：

低功耗之新型電路板能夠進入睡眠模式並喚醒以高效地記錄聲音，節省電力，使其能夠在行動電源上長時間運行，這種低功耗操作對於電源有限或不存在的遠程監控應用至關重要。實驗證實透過低功耗之新型電路板所蒐集之音頻資料，用以建立音頻辨識模型，其準確度可與樹梅派達到90%的準確率。

4. 蜂蟹蠣智慧監測與警示系統：

完成數位服務示範站台架設，使用者使用手機拍攝巢脾上的蜜蜂照片並上傳至系統，便能快速得知蜂蟹蠣在蜂群中的寄生率，每張影像的分析時間<15秒。實際測試進行驗證，拍攝巢脾正面取得影像263張，並由專家人工完成367個標記，上傳系統測試分析，影像(張數)準確率83.6%，標記準確率86.1%。

5. 智財布局進度及規劃：

- (1) 已取得之專利：「智慧養殖箱遠端網路監測管理系統」新型專利、「複合式蜜蜂監控裝置」發明專利。
- (2) 規劃申請之專利：「具監測裝置之養殖箱」發明專利、「智慧蜂箱分離式箱內監測機構設計(名稱暫定)」發明專利。
- (3) 已公告之技術移轉案：「蜂蟹蠣智慧監測與警示系統」非專屬授權技術移轉，9月25日於農業部辦理此技術發布記者會，10月17日至19日於台灣創新技術博覽會參展。

六、結論：

本系統以無線感測器模組、物聯網軟硬體設備、網路服務、雲端伺服器及資料庫為主架構，累計導入5戶養蜂場域使用。

七、參考文獻：

1. Adjlane N, Haddad N, Tarek O. (2013) Evaluation of the efficacy of different acaricides against *Varroa destructor* on *Apis mellifera intermissa* in Algeria. *Acarina* 21: 141-146.
2. Adjlane N, Tarek O, Haddad N. (2016) Evaluation of oxalic acid treatments against the mite *Varroa destructor* and secondary effects on honey bees *Apis mellifera*. *Journal of Arthropod-Borne Diseases* 10: 501-509.
3. Amlathe P. (2018). Standard machine learning techniques in audio beehive monitoring: Classification of audio samples with logistic regression, K-nearest neighbor, random forest and support vector machine. Utah State University, M.S. thesis.
4. Bk B. Wilde J. Siuda M. Kobyłyska M. (2009) Comparison of two methods of monitoring honeybee infestation with *Varroa destructor* mite. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Animal Science* 46: 33-38.
5. Calderone NW, Lin S. (2003) Rapid determination of the numbers of *Varroa destructor*, a parasitic mite of the honey bee, *Apis mellifera*, on sticky-board collection devices. *Apidologie* 34: 11-17.
6. Cejrowski T, Szymaski, J, Mora, H, Gil D. (2018). Detection of the bee queen presence using sound analysis. In: *Intelligent Information and*





- Database Systems. ACIIDS 2018. Lecture Notes in Computer Science, 10752: 297-306. Springer, Cham.
- 7. Delaplane KS, Berry JA, Skinner JA, Parkman JP, Hood WM. (2005) Integrated pest management against *Varroa destructor* reduces colony mite levels and delays treatment threshold. *Journal of Apicultural Research* 44: 157-162.
 - 8. Ferrari S, Silva M, Guarino M, Berckmans D. (2008). Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period. *Computers and Electronics in Agriculture* 64: 72-77.
 - 9. Henry E, Adamchuk V, Stanhope T, Buddle C, Rindlaub N. (2019). Precision apiculture: Development of a wireless sensor network for honeybee hives. *Computers and Electronics in Agriculture* 156: 138-144.
 - 10. Meikle WG, Holst N. (2015). Application of continuous monitoring of honeybee colonies. *Apidologie* 46: 10-22.
 - 11. Ostiguy N, Sammataro D. (2000) A simplified technique for counting *Varroa jacobsoni* Oud. on sticky boards. *Apidologie* 31: 707-716.
 - 12. Pérez N, Jesús F, Pérez C, Niell S, Draper A, Obrusnik N, Zinemanas P, Spina YM, Letelier LC, Monzón P. (2016) Continuous monitoring of beehives' sound for environmental pollution control. *Ecological Engineering* 90: 326-330.
 - 13. Qandour A, Ahmad I, Habibi D, Leppard M. (2014). Remote beehive monitoring using acoustic signals. *Acoustics Australia* 42: 204-209.
 - 14. Robles-Guerrero A, Saucedo-Anaya T, González-Ramírez E, De la Rosa-Vargas JI. (2019). Analysis of a multiclass classification problem by lasso logistic regression and singular value decomposition to identify sound patterns in queenless bee colonies. *Computers and Electronics in Agriculture* 159: 69-74.
 - 15. Sharif MZ, Jiang X, Puswal SM. (2020) Pests, parasitoids, and predators: Can they degrade the sociality of a honeybee colony, and be assessed via acoustically monitored systems. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 8: 1248-1260.
 - 16. Thielens A, Greco MK, Verloock L, Martens L, Joseph W. (2020). Radio-frequency electromagnetic field exposure of Western Honey Bees. *Scientific Reports* 10: 461.





盜蜂蜂群之音頻模型及測試報告

【實驗目的】

蜜蜂在特定事件期間會產生不同的音頻，如分蜂或警戒，這些音訊資料也可用於評估是否發生失王、中毒等異常狀態偵測。本研究之目的在於研究是否可透過音頻資料與 AI 模型分辨出蜂群是否發生盜蜂情境，進而發展智慧養蜂技術，盼藉以解決產業問題。本研究設計了一場盜蜂實驗，以人力影響的方式建立盜蜂情境，並透過安裝於蜂巢內部的兩套聲音感測機構（樹莓派、Esp32-Lyrat）收集蜂箱內部的資料，擷取音頻特徵後，使用機器學習模型作出即時評判蜜蜂目前是否處於盜蜂的狀態，並比較兩聲音感測機構的錄音品質在後續模型辨識的可行性與成效。

為了要確認盜蜂發生之精確時間，以確保盜蜂行為期間的音頻能正確被標示為盜蜂狀態，本研究採用於蜂箱前架設相機的方式，監測蜂箱前方之蜂群進出巢情況，以利進行盜蜂行為之觀察。本研究選擇雲林場域養殖的蜂群，蒐集兩週的原始資料作為基準，並於兩週後以人力影響的方式建立盜蜂情境。盜蜂情境以人力影響後若影像資料中有出現大量蜂群聚集或是進入蜂巢，期間所有的音頻資料即被視為是受到盜蜂行為之影響。在試驗完成後，本研究將標記出有大量蜜蜂湧入蜂箱期間的音頻，並將這些音頻與其他未遭受盜蜂時進行差異分析與比對，並建立盜蜂情境之音頻分類模型。

【實驗原理】

1. 音頻處理：透過將錄製到的音頻檔案使用短時距傅立葉變換與梅爾倒頻譜分析後，可獲得代表此段音檔的特徵訊號，進而使用機器學習模型作為分析使用，其中所使用到的概念如下。

梅爾頻率倒譜係數（MFCC，Mel-Frequency Cepstral Coefficients）是語音處理中的一種特徵提取方法，廣泛應用於語音識別中。以下是 MFCC 提取過程中的主要步驟和所需的公式：

(a) 預加重（Pre-emphasis）：

$$y[n] = x[n] - \alpha x[n-1] \quad (1.1)$$

其中， α 是預加重係數，一般取值為 0.95 到 0.98。

(b) 分幀（Framing）：

將信號劃分為多個幀，每幀包含 N 個採樣點，幀之間通常有一定的重疊（如 50%）。

(c) 加窗（Windowing）：

通常使用漢明窗（Hamming window）：



$$w[n] = 0.54 - 0.46\cos(2\pi n/(N-1)), 0 \leq n \leq N-1 \quad (1.1)$$

其中，N 是窗口的長度。

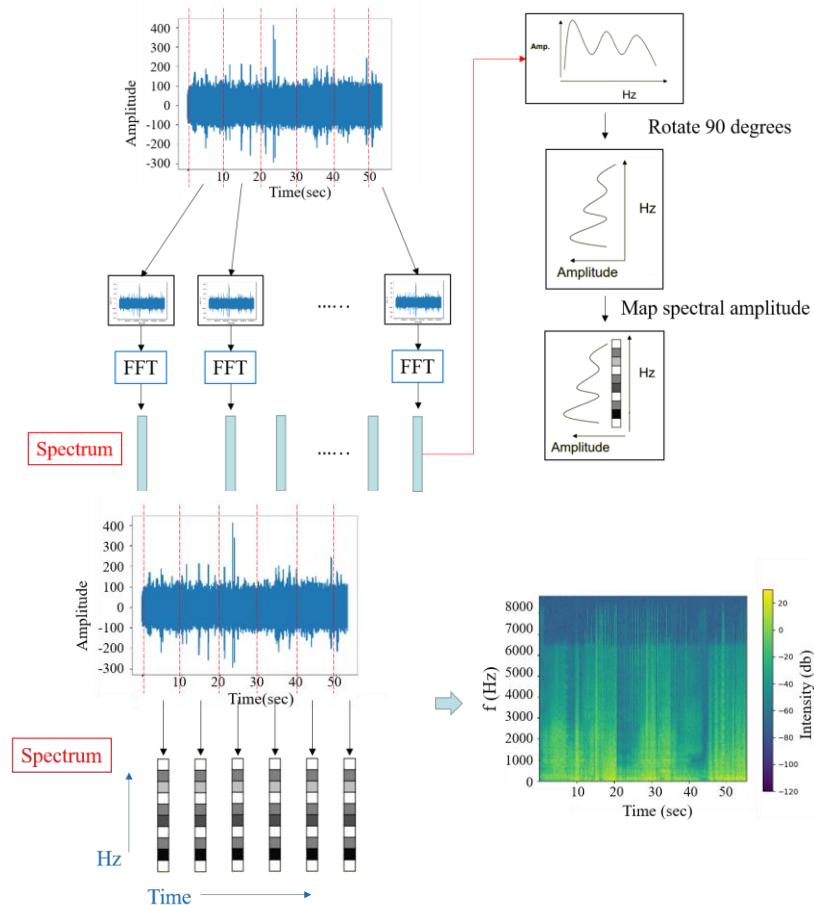
(d) 傳立葉變換：將複雜的聲紋轉換為不同頻率的餘弦訊號疊加，其中離散訊號的傳立葉轉換公式如下：

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi k \frac{n}{N}} \quad (1.2)$$

其中 $x_0, x_1 \dots x_{N-1}$ 為虛數， $e^{-\frac{i2\pi}{N}}$ 為 $n=1$ 的第 N 個根。

(e) 倒頻譜(cepstrum)：為了後續計算方便，將訊號先透過傳立葉轉換後，取其絕對值，再取其對數值，最後經過反傳立葉轉換獲得的，類似於以分貝為振幅(amplitude)單位的訊號。其中原本在頻譜圖上的獨立變數為頻率，轉到倒頻譜圖中的獨立變數為倒頻率(quefrency)，為一時間的度量單位。

(f) 頻譜圖(spectrogram)轉換：將獲得音檔以時序切割單元，並將其單位轉換為分貝後，透過傳立葉轉換獲得頻率-振幅的頻譜信號圖後，再將其轉為可視化的圖形過程。將頻譜圖懸轉 90 度後，以頻率為軸切割單元，將振幅的數字轉換為色階，再將色階圖以時序排列，即可獲的可視化頻譜圖，過程如圖一所示。



圖一、頻譜圖製作流程



- (g) 梅爾頻譜分析：梅爾頻譜分析透過模擬人耳的方式，將音頻頻率段切成24個不等範圍的區間（梅爾刻度），在同一區間內，人耳不容易發現音頻間差異，同時透過在低頻率波段部分增加更多濾波器，在高頻區段減少濾波，進而更接近聲音於人耳中的表現情況。梅爾頻譜分析的表現狀況 m 可以使用頻率 (f) 作為近似換算：

$$m = 2595 \log_{10}(1 + f / 700) \text{ (dB)} \quad (1.3)$$

- (h) 梅爾頻率倒譜係數 (MFCC)：將原始聲紋訊號透過傅立葉轉換，並將轉換後的頻率以非線性方式映射至梅爾刻度，並對振幅取對數後，可獲得一梅爾倒頻（Mel-Frequency Cepstrum, MFC）圖，而梅爾頻率倒譜係數是一組用來建立梅爾倒頻譜的關鍵係數，此係數即為後續機器學習的主要學習內容。

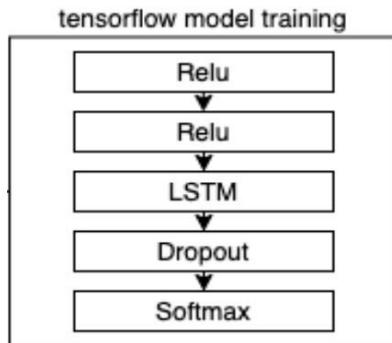
2. 分析原理：

本系統之分類模型以 tensorflow 建立類神經網路，其架構如圖二所示，全連接層以 relu (rectified linear unit) 函數作為啟動函數，再以長短期記憶模型 (long-short term memory, LSTM) 的方式進行序列分析，最後將音頻資料進行分類。本研究建立的 LSTM 分類模型，能夠針對正常蜂箱、盜蜂蜂箱，兩種不同的情況進行偵測。

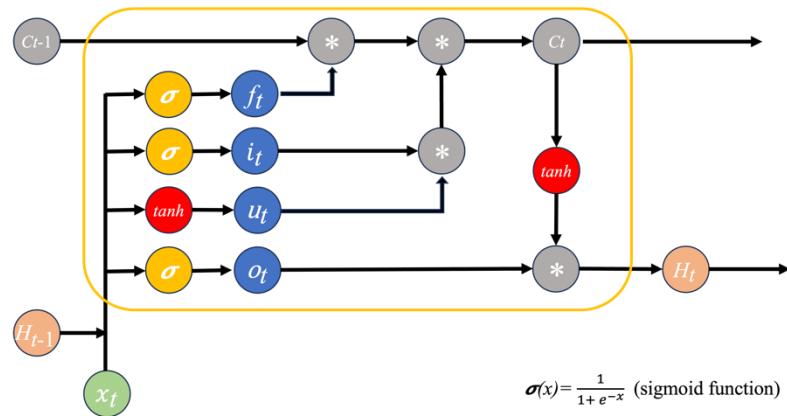
LSTM (Long Short Term Memory) 是一種特殊的循環神經網路 (RNN)，如圖三所示，用於解決傳統 RNN 無法有效處理的反向時傳播梯度消失的問題。LSTM 引入了記憶單元 (memory cell) 和多個門控機制，允許模型在長時間內記住信息，同時避免梯度消失。這使 LSTM 在時間序列預測、機器翻譯及自然語言處理方面取得顯著進展。

LSTM 單元主要由三個門（輸入門、遺忘門、輸出門）和一個記憶單元 C_t 組成，這些門控制信息的流動。與傳統 RNN 相比，增加了記憶狀態 C_t ，在這個結構中，LSTM 的運作主要依靠兩種激活函數來控制信息的更新與流，Sigmoid 函數的輸出介於 0 和 1 之間，控制著信息的通過比例。tanh 函數控制著大小及方向，它能將數值壓縮到 $[-1,1]$ 範圍內，這對於調整信息的影響大小非常重要。兩者相成為本時刻新增的部分與前期記憶流入的部分相加得到當時刻記憶狀態值。當一個輸入序列進入 LSTM 時，模型首先會接收到當前時間的輸入 x_t 以及來自上一時間步的隱藏狀態 H_{t-1} 和記憶單元狀態 C_{t-1} 。





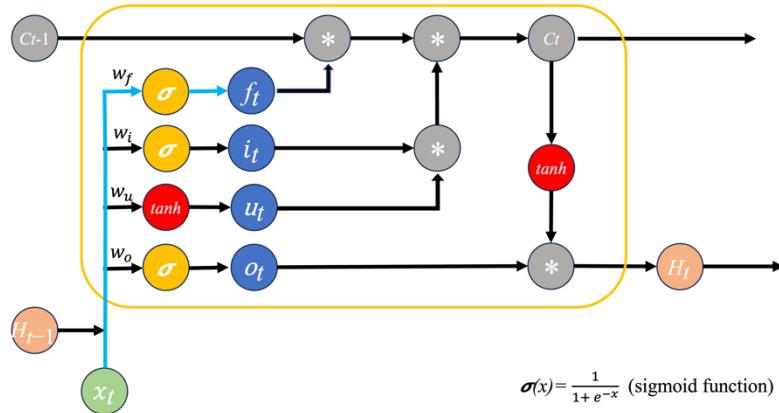
圖二、類神經網路架構



圖三 LSTM 基礎架構

接下來，LSTM 使用遺忘門來決定記憶單元中哪些信息應該被保留，哪些應該被遺忘。這個過程通過計算遺忘門的輸出 f_t 來實現，如圖四所示，該輸出由當前輸入和上一時間步的隱藏狀態共同決定。遺忘門的結果影響了舊記憶 C_{t-1} 在本時間步中被保留的程度。

$$f_t = \sigma(w_f [H_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2.1)$$



圖四、Forget Gate

隨後，LSTM 會通過輸入門和候選記憶單元計算新信息的加入方式，如圖五

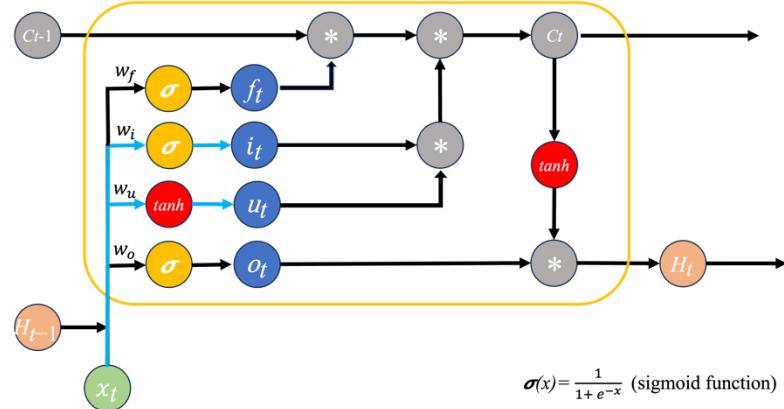




所示。輸入門 i_t 決定哪些新信息可以進入記憶單元，而候選記憶狀態 u_t 則表示當前時間步可以更新的潛在新信息。

$$i_t = \sigma(w_i [H_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2.1)$$

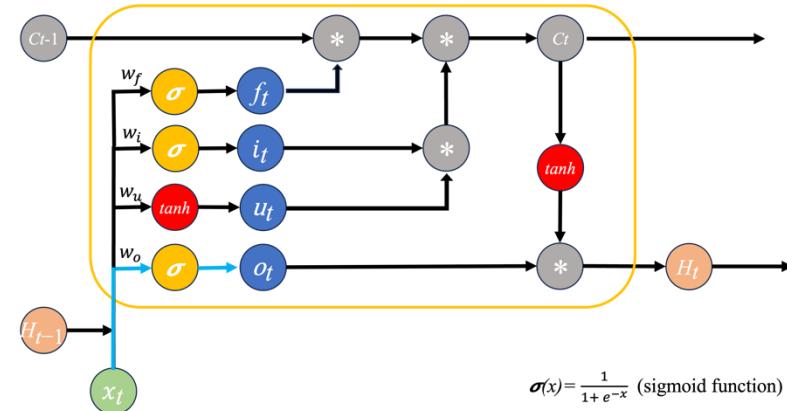
$$\mathbf{u}_t = \tanh(\mathbf{w}_u [H_{t-1}, x_t] + b_u) \quad (2.2)$$



圖五、Input Gate

在記憶更新後，LSTM 通過輸出門決定哪些部分的信息應該輸出，如圖六所示。輸出門 o_t 控制當前記憶單元中哪些內容會對外部提供，隨後通過 \tanh 函數將記憶單元狀態轉換為隱藏狀態 H_t ，這個隱藏狀態會作為當前時間步的輸出，同時也會傳遞給下一時間步作為輸入的一部分。

$$\mathbf{o}_t = \sigma(\mathbf{w}_o \cdot [\mathbf{H}_{t-1}, \mathbf{x}_t] + \mathbf{b}_o) \quad (2.3)$$



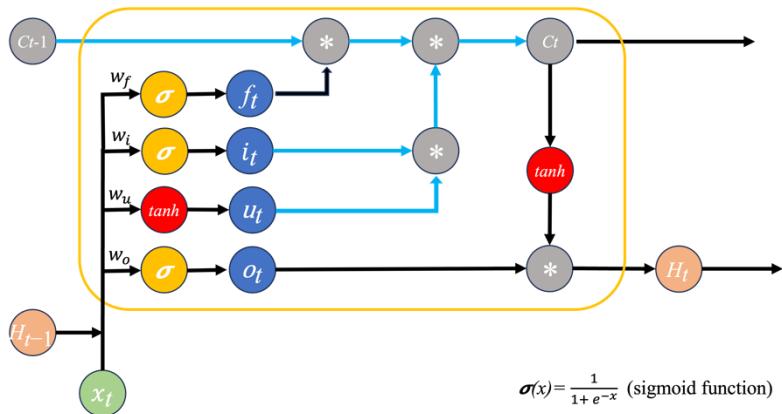
圖六、Output Gate

當輸入門決定允許哪些信息進入後，記憶單元會更新，將保留的舊記憶和新的候選記憶結合，形成當前的記憶單元狀態 C_t ，如圖七所示。 C_t 由上期狀態 C_{t-1} 通過遺忘門加上當前時間新增的部分所決定，當遺忘門值為 0 時，上期記憶完全遺忘，當遺忘門值為 1 時，上期記憶完全保留





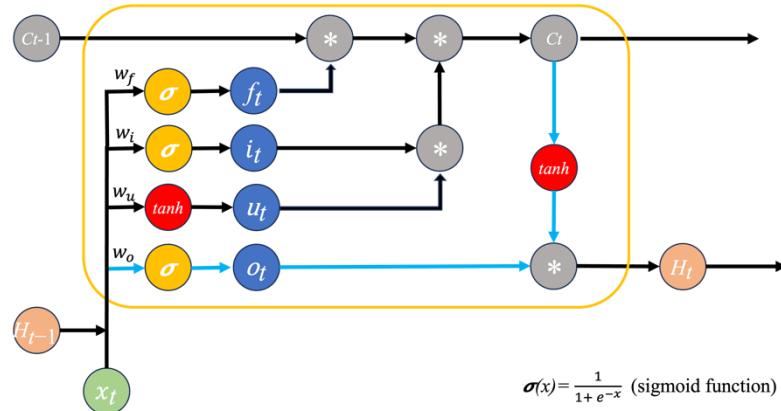
$$C_t = C_{t-1} * f_t + u_t * i_t \quad (2.4)$$



圖七、Memory Cell

最終，輸出門的 Sigmoid 和當期記憶值的 \tanh 相乘得到本時刻的輸出，隱藏狀態 H_t 和更新後的記憶單元狀態 C_t 一同被傳遞到下一時間步，這樣的計算過程會在整個序列中循環進行，直到序列的最後一個元素被處理完畢，如圖八所示。

$$H_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (2.5)$$



圖八、LSTM 時序計算中的輸出與狀態更新

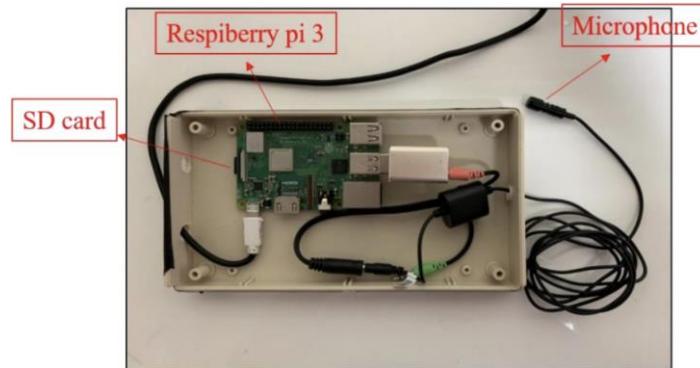
LSTM 的這一系列步驟使得它能夠有效應對長期依賴問題，避免傳統RNN中梯度消失的困境，並且能靈活地根據當前任務選擇性地保留或遺忘信息



3. 實驗方法與步驟

【實驗器材】

1. 樹莓派錄音系統，其系統架構如圖九所示，其中組成元素如下：



圖九、樹莓派錄音系統硬體架構

- i. 樹莓派3b+: 錄製蜜蜂音訊並存於外接硬碟內，並使用 WIFI 信號上傳至資料庫
- ii. SD card：作為樹莓派主要的運算空間，使用 raspbian 作為作業系統，記憶卡型號為【Samsung】microSDHC UHS-I Class10 32GB
- iii. 麥克風：使用 iRig Mic Lav ，搭配 3.5mm 的三環四節轉二環三節轉接口，以支援音效卡，麥克風規格如表一所示。

表一、麥克風規格表

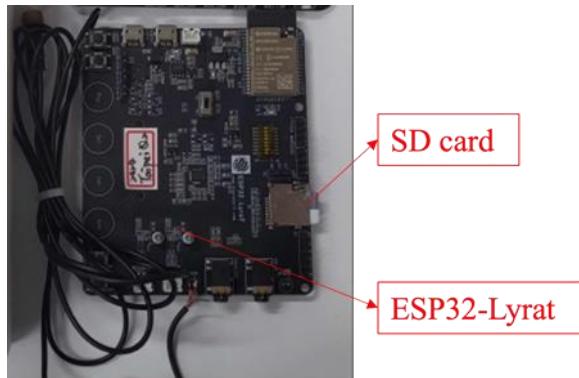
Product number	iRig Mic Lav
Radio pointing	Omnidirectional
Audio frequency	10 Hz – 16kHz
Microphone size	24 x 7.5mm
Sensitivity	-35±3dB

- iv. 外接音效卡：樹莓派本身無內建音效卡，使用 USB 外接式音效卡，用於支援麥克風錄音設備。
- v. 外接硬碟 (HDD)：用於在本地端備份音檔，使用 Y字形傳輸線，一端連接樹莓派，一端連結電源孔，以確保供電穩定，使用型號為【TOSHIBA 東芝】先進碟 Canvio Advance V9 1TB2.5吋行動硬碟。
- vi. ABS塑膠萬用盒：以 180mm x 110mm x 60mm 的塑膠萬用盒



作為硬體設備外盒容器，鑽出麥克風與電源線兩個開口，穿過線後使用矽利康封住開口，並在萬用盒的盒蓋連接處使用絕緣膠帶密封。

2. ESP32-Lyrat錄音系統，其系統架構如圖十所示，其中組成元素如下



圖十、ESP32-Lyrat錄音系統硬體架構

- i. ESP32-Lyrat: 錄製蜜蜂音訊並存於 SD 卡內，並使用 WIFI 信號上傳至資料庫
 - ii. SD card：記憶卡型號為【Samsung】microSDHC UHS-I Class10 32GB，作為ESP32-Lyrat的音檔儲存空間
 - iii. 麥克風：使用 iRig Mic Lav，麥克風規格如表一所示。
3. AP路由器：使用【D-Link】DIR-819 作為 WIFI 發射端
4. 蜂箱：共六箱蜂箱進行盜蜂實驗，每一蜂箱有五片蜂巢片。
5. 設備器材一覽表
實驗器材表如表二所示。

表二、實驗器材一覽表

類別	品項	數量
材料:		
蜂箱	蜂箱	5
樹莓派錄音系統	Raspberry Pi 3B+	5
	SD card	5
	麥克風	5
	Sound Card	5
	外接硬碟	5
	外接音效卡	5
	Y型硬碟電源訊號線	5



ESP32-Lyrat 錄音系統	ESP32-Lyrat	5
	SD card	5
	麥克風	5
	不斷電模組	5
	行動電源	5

【實驗步驟】

實驗過程分為實驗環境架設與模型訓練、兩個部分

(1) 環境架設

實驗場域是與合作的蜂農在雲林斗六進行的。實驗場域及系統佈置如圖十一所示。約兩個星期的蜜蜂音檔收集，再藉由訓練模型進行音頻分類。



圖十一、實驗場域圖

(2) 蜂箱內部狀況與麥克風安裝

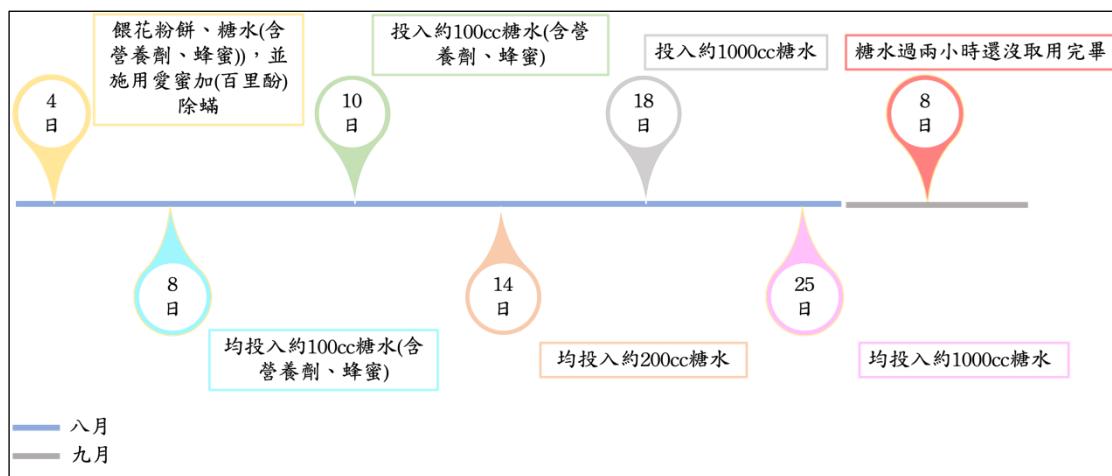
每箱蜂箱內部使用延長線提供 110V/2A 的電源線供電給監測設備，設備中的麥克風安裝於正中央的兩片蜂巢片之中，其中蜂箱內狀況實體圖如圖十二所示。



圖十二、蜂箱內狀況實體圖

(3) 實驗時間

盜蜂試驗從 2024 年 8 月 4 日開始，實驗組的 1 至 5 號蜂箱被餵以花粉餅、糖水（包含營養劑與蜂蜜），並施用愛蜜加（百里酚）進行除蟎處理。在初始階段，觀察到 3 號箱有糖液外漏的現象，蜂群因此開始搶食。8 月 8 日下午 4 點，在餵養過程中，2 號箱出現明顯盜蜂跡象，實驗組蜂箱均添加約 100cc 糖水，約半小時後蜂場出現混亂，吸引了意大利蜂、東方蜂和黃腰虎頭蜂前來取食。8 月 10 日上午 10 點，再次在蜂箱上方添加 100cc 糖水，並觀察到東方蜂、黃腰虎頭蜂和雙金環虎頭蜂的取食行為。8 月 14 日上午 8 點，在 1 至 5 號蜂箱上方加入 200cc 糖水。8 月 18 日清晨 7 點 15 分，每箱均添加 1000cc 糖水且箱蓋保持開放。8 月 25 日傍晚 5 點到 6 點，再次對蜂箱添加 1000cc 糖水且箱蓋不覆蓋，吸引了大量黃腰虎頭蜂。9 月 8 日上午 11 點 30 分，再次餵食糖水並加放蜂蜜，且開放箱蓋。因進入秋繁季節，糖水在兩小時後仍未取用完畢，僅少量蜜蜂來取食（實驗的時間如圖十三所示）。



圖十三、時間流程圖

(4) 實驗

除了盜蜂模型的建立外，也比較了 Raspberry Pi 和 ESP32-Lyrat 兩者的音頻錄製能力。Raspberry Pi 是最常見的開發板之一也是前一年度使用的蜂箱錄音系統，用於錄製蜂巢的聲音。然而，由於山區缺乏可靠的市電供應，睡眠模式是一種有效的解決方案來克服這種情況。但 Raspberry Pi 並沒有睡眠模式，為了探討用 ESP32-Lyrat 替代 Raspberry Pi 的可能性，本實驗旨在比較 Raspberry Pi 和 ESP32-Lyrat 在相同條件下的蜂巢音頻錄製能力。通過分析蜂巢中的盜蜂行為，進行了一項研究以評估 Raspberry Pi 和 Esp32-Lyrat 的錄音品質。使用長短期記憶（LSTM）神經網絡分析錄製的音頻數據，以識別其差異。





另一方面，ESP32-Lyrat 系統使用 ESP32-Lyrat 錄製蜂群音頻，並將其保存到 SD 卡上。與 Raspberry Pi 設置類似，ESP32-Lyrat 也使用帶有 3.5 毫米轉接器的 iRig Mic Lav 麥克風進行錄音。該系統同樣由市電供電，以確保穩定可靠的運行。

(5) 程式運作邏輯程式運作邏輯整體架構可以分為系統端與資料訓練端：

(a) 樹莓派本地端運作流程：

- a. 透過安置於蜂巢片中的麥克風錄製蜜蜂音訊
- b. 將錄製的音訊資料存於外接硬碟內，並使用 WIFI 信號上傳至資料庫
- c. 透過訊號處理將音檔轉為 MFCC 係數，同時上傳 MFCC 係數至雲端

(b) ESP32-LyraT 本地端運作流程：

- a. 透過安置於蜂巢片中的麥克風長時間的錄製 45 秒的音頻數據。
- b. 將錄製的音訊資料存於 SD 卡內，並使用 WIFI 信號上傳至資料庫
- c. 透過訊號處理將音檔轉為 MFCC 係數，同時上傳 MFCC 係數至雲端

(c) 主機模型訓練流程：

- a. 雲端下載樹莓派上傳的 MFCC 係數
- b. 使用 LSTM 分類模型
- c. 將數據拆為 8:2 的訓練集與測試集
- d. 使用訓練集訓練模型
- e. 使用測試集評判模型訓練結果

4. 實驗結果

1. 場域盜蜂狀況分析

於場域進行長時間監測，實際場域監測之場地情況如圖十四、十五、十六所示，雖可觀察到零星疑似蜂群扭打的畫面，但因夏季溫度較高的關係，蜂群易聚集於蜂箱口而不易觀察到是否有盜蜂的跡象。





圖十四、雲林場域盜蜂狀況



圖十五、雲林場域盜蜂狀況



圖十六、雲林場域盜蜂狀況

2. 將收集的音頻資料分別透過奇異值分解與模型訓練的方式進行資料分析

(1) 將音頻訊號的MFCC係數使用奇異值分解（SVD）映射至第一特徵值、第二特徵值與第三特徵值空間後，結果如表三、表四所示：

(2) 模型訓練：

A. 模型輸入資料前處理：

除MFCC係數以外，由於蜜蜂於早晚的音頻音量大小與頻率有差異，為增加模型準確度，輸入參數亦加入了「時間」，進而有效增加模型的分類效果。





B. 使用模型：

在做分類前，我們對蜜蜂盜蜂前後的音頻現象做了兩個假設：

- i. 假設每箱蜜蜂在盜蜂前後所造成的音頻差異並非固定，而是隨著不同的蜂群而存在著差異，因此本模型採用了深度學習模型，而非以一般機器學習模型作為分類，希望以非音頻的絕對數值為分類，而是學習不同蜂巢間在盜蜂前後的關聯性，做出更全面性的模型。
- ii. 假設在蜂巢內蜜蜂發出的聲音在不同順序下所要表達的蜂巢內狀態不同，因此這些音頻資料的時序性對模型訓練效果有差異。

在這兩個假設之下，我們選擇使用帶有時序性的深度學習模型作為模型訓練，並透過長短期記憶模型(long-short term memory, LSTM)作為模型基底，透過增加一層 Dropout 層降低模型過擬合的問題，並透過最後一層的 Softmax 層作為多分類模型的判別，詳細模型結構如圖十七所示。

Model: "sequential"

Layer (type)	Output Shape	Param #
<hr/>		
dense (Dense)	(None, 40, 8)	19216
dense_1 (Dense)	(None, 40, 8)	72
<hr/>		
lstm (LSTM)	(None, 64)	18688
dropout (Dropout)	(None, 64)	0
<hr/>		
dense_2 (Dense)	(None, 4)	260
<hr/>		
Total params: 38,236		
Trainable params: 38,236		
Non-trainable params: 0		

圖十七、訓練模型結構圖

(3) 訓練與驗證：

兩箱蜂箱內的音頻以 20ms 作為 STFT 的 Time window 轉換為頻譜圖後，做 MFCC 轉換後的數據作為資料集，而其中分出八成為訓練集，兩成為測試集，結果如表三、表四所示。

(d) 兩者系統比較（如下表三以及表四所示）

透過兩個錄音系統的結果觀察得知，若在PCA圖中，兩個變因的數據能夠顯著分開，並且在特徵上僅有極少的重疊範圍，則在後續模型分析中會有較高的準確性(steal1, steal2, steal4)。從Loss圖上可以進一步看到，模型在訓練過程中大約於 50個epochs後開始收斂，顯示模型已達到穩定狀態並完成主要學習。這些結果表明，特徵分離度和模型的收斂特性對於提升預測準確性具有重要影響。



表三、樹莓派錄音資料之結果分析表

	Steal1	Steal2	Steal3	Steal4	Steal5
PCA					
Loss					
Confusion matrix					
Accuracy	92.91%	90.28%	84.34%	93.48%	85.07%
Precision	88.25%	93.79%	92.82%	89.97%	78.55%
Recall	96.79%	87.09%	80.87%	96.17%	89.22%

表四、Esp32-Lyrat 錄音資料之結果分析表

	Steal1	Steal2	Steal3	Steal4	Steal5
PCA					
Loss					
Confusion matrix					
Accuracy	93.12%	91.10%	86.65%	94.09%	82.58%
Precision	94.44%	93.03%	97.11%	98.80%	85.31%
Recall	93.84%	94.94%	84.50%	92.73%	87.84%





【結論】

ESP32-Lyrat 的高準確率主要來自其低功耗設計與音頻處理的優化。首先，ESP32-Lyrat 能夠進入睡眠模式並在需要時喚醒以記錄聲音，這一設計不僅有效節省電力，還讓裝置可以在移動電源支持下長時間運行，非常適合電源有限或無法穩定供電的遠程監控場景。其次，ESP32-Lyrat 的硬體與軟體專門針對音頻處理進行優化，因此在檢測蜂巢內部的特定聲學事件時能夠提供更高的準確度。而在模型準確率的比較上，ESP32-Lyrat 在五箱蜂箱上的平均準確率為 89.51%，略高於樹莓派的 89.22%，且兩者在過半數的蜂箱中可達 90% 的準確度，顯示兩者在判斷盜蜂行為的分類上有相似的表現。然而，在與試驗農民的討論中，我們注意到因人為介入所引發的盜蜂行為，可能會混入部分蜂群因飢餓而產生的搶食聲音，這樣的情況可能影響音頻資料的純度，並進而影響分類模型的準確性。未來若要進行盜蜂行為的深入研究，應持續進行相關試驗並蒐集資料。





改良版網路自動感測監測系統測試報告

一、系統架構

本計畫所提之蜜蜂生態遠端網路監測與紀錄系統，係由前端感測器節點監測蜂箱的重要環境參數，並連結數個感測器節點建構成無線感測網路，匯入物聯網與系統資料庫，進行資料紀錄與遠端監控，並建立生產決策與產銷履歷系統。

本蜂箱整合微電腦、感測元件、無線網路與雲端資料庫，進行前端感測器資料擷取及蒐集，透過無線感測網路的節點整合及匯集資料流，實現行動與遠端網路監測，接著連結到後端的雲端網路，透過雲端伺服器和雲端資料庫，實現行動監與遠端網路監控，建立蜂群生態和蜂蜜生產管理的雲端資料庫及大數據分析系統，以偵測及診斷蜂群的生態變化與健康情況，該系統架構如圖 1 所示。

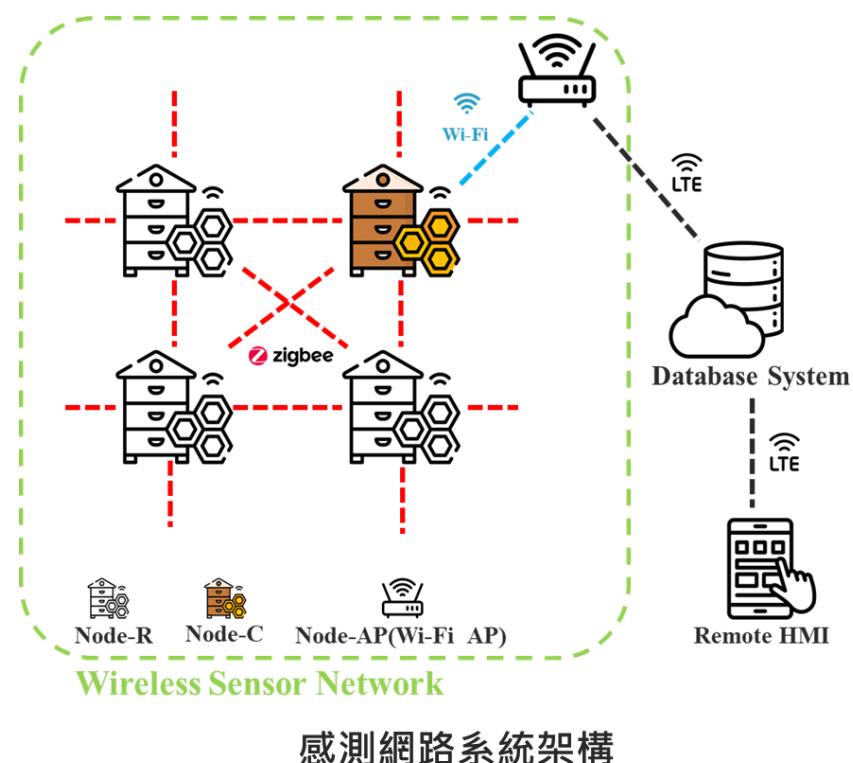


圖 1、蜜蜂生態遠端網路監測系統之系統架構





二、改良版智慧蜂箱 Zigbee 模組開發

1. 感測器模組嵌入式巢脾設計：

A. 外觀：

設計此仿製巢脾的目的是要替換掉蜂箱內的一組巢脾，在不影響蜂箱內蜜蜂的活動的前提下進行數據監測，設計出的仿製巢脾的長寬高與一般巢脾相似，圖 2 與圖 3 為仿製巢脾的正反面。

在仿製巢脾的外觀上，設計了多個圓角，避免使用者在拿取的過程中被刮傷，而從圖 3 可以看到一個類似百葉窗的進氣孔，這是用來讓蜂箱內部的空氣流進感測器區塊的，如圖 4 所示。為方便使用者進行電路檢查與電池更換，為仿製巢脾設計快速開關，如圖 5 所示，將開關往左側滑動即可將蓋子上鎖，反之即可解鎖。



圖 2、巢脾正面



圖 3、巢脾背面



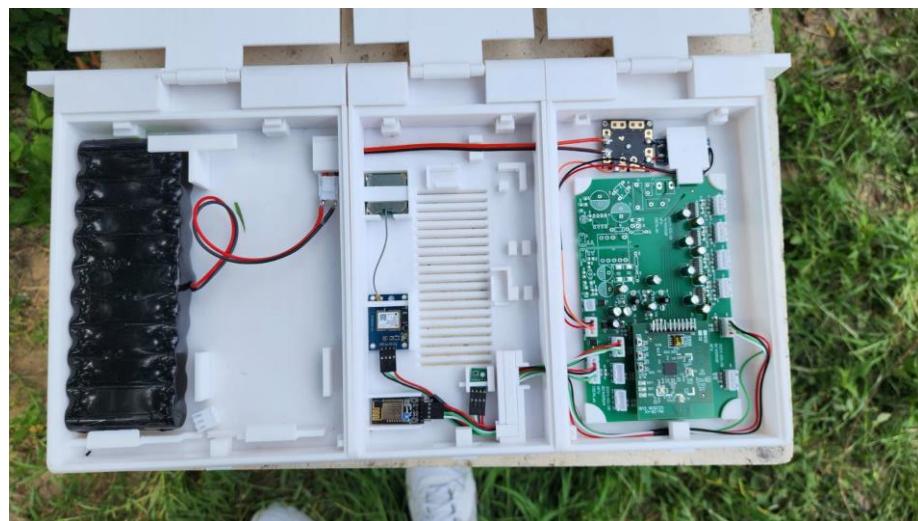


圖 4、巢脾內部圖



圖 5、開關

B. 系統主機:

如圖 6 所示，紅色部分為無線微電腦系統，用來做資料運算以及資料的傳輸。分電盤(藍色部分)提供電源至升壓模組(黃色部分)，將電池電壓提升至微電腦所需。所有感測器的資料都會送進微電腦做運算處理，其中 Zigbee 之間的資料也是透過微電腦上的天線去做資料的傳輸，而蜂箱的類型(Coordinator、Router)也是透過此微電腦去做設定。

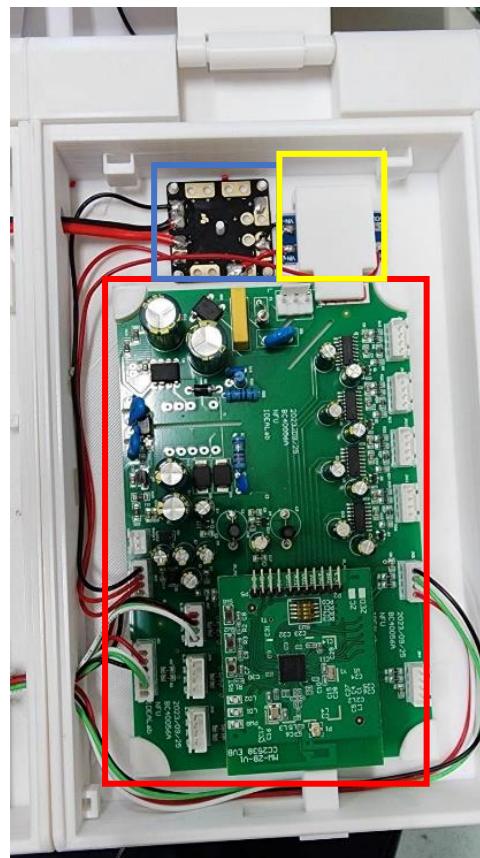


圖 6、系統主機

C. 感測器模組:

如圖 7 所示，紅色部分用來放置溫溼度感測模組，也可以放置二氧化碳模組，最大配置數量為 3 個。黃色部分為 GPS 模組，用來提供蜂箱的位置。藍色部分為 Wi-Fi 模組，在 Coordinate 版蜂箱內才會安裝，其透過連接至場域的 Wi-Fi，用來將資料傳送至資料庫。

溫溼度或者二氧化碳的感測器會安裝在百葉窗進氣口的周圍，這裡的空氣環境會與蜂箱內部的環境相同，避免感測器接收到錯誤的資料。在此區塊也有設計多個線槽來固定電線，避免電線移動，讓盒子內部看起來乾淨美觀。



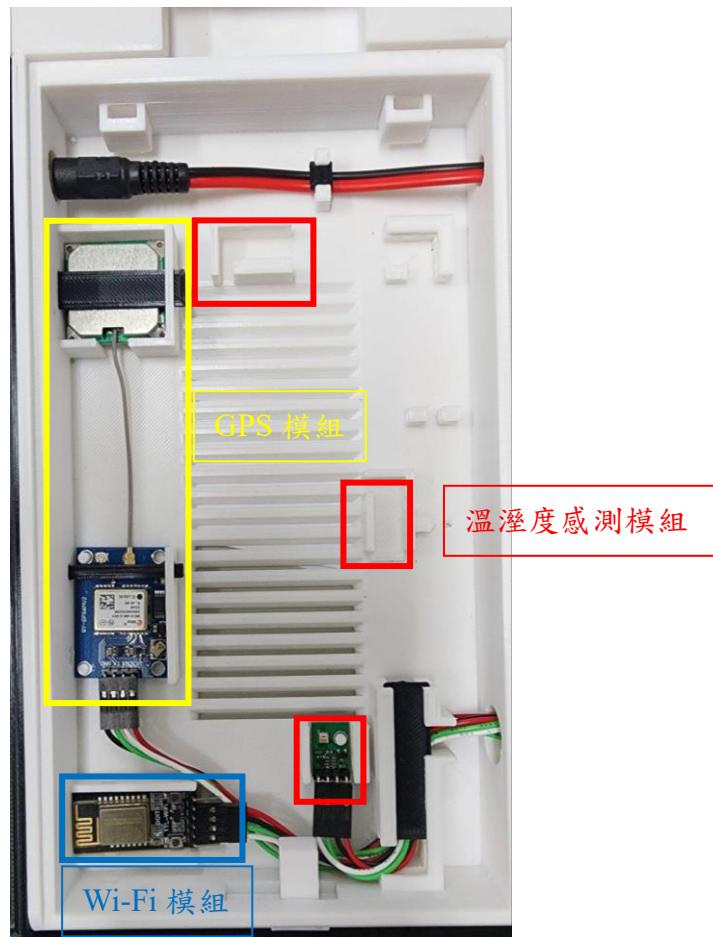


圖 7、感測器模組配置

2. 重量平台

圖 8 為蜂箱的重量平台，我們使用 3D 列印製作了一個雙層的電路盒放置在秤台上如圖 9 所示，下層為系統主機如圖 10(A)所示，上層為放置電池的地方如圖 10(B)所示。

為了方便使用者更換重量感測系統的電池，在上層的部分，將蓋子設計成滑蓋的方式，使用者只需將蓋子拉出，把新電池換上，再將蓋子推回即可。而下層系統主機的部分，由於在一般情況下鮮少有需要將下層打開，因此我們使用螺絲來固定上下層，增加其穩固程度。



圖 8、重量平台



圖 9、重量電路盒



(A)系統主機

(B)電池

圖 10、重量系統

3. 電池:

圖 11 為改良版智慧蜂箱 Zigbee 模組使用之電池模組，使用 10 顆 18650 鋰電池並聯來製作，

表 一為其電池規格，標準電壓為 3.7V，最大電壓為 4.2V，放電電壓為 3.2V，電容量最大為 33000mAh。

表 二為改良版智慧蜂箱 Zigbee 模組用電量估算，將分成 3 個部份來評估，將仿製巢脾分為(1)Coordinator(2)Router，再來就是(3)重量系統的 Router。

在仿製巢脾中，由於 Coordinator 有安裝 Wi-Fi 模組，其耗電量會比 Router 大，可工作天數約為 20 天，而 Router 方面，約在 24 天。而重量系統在感





測器的安裝數量較仿製巢脾少，因此耗電量較低，工作天數較長，約在 27 天左右。

在實際使用方面為了保護電池壽命是不會把電池電量用完，造成真實的工作天數可能會少 5 到 10 天。

表 一、電池規格

電池種類	18650
額定電壓	3.7V
電容量(單顆)	3300mAh
數量	10 顆並聯
總電容量	33000mAh

表 二、供電估算

	電池數量	電容量(mAh)	平均電流(mA)	工作估算
Coordinator(巢脾)	10 顆	33000	66.6	20 天
Router(巢脾)	10 顆	33000	57.6	24 天
Router(重量)	10 顆	33000	50	27 天



圖 11、電池模組





三、改良版智慧蜂箱系統 Wi-Fi 模組開發

1. 系統功能

Wi-Fi 版智慧蜂箱(Node-AP)之主機使用 Raspberry Pi 4b，如圖 13 所示。之所以選用此單板電腦係因：(1) 具備 CSI MIPI 介面，可連接攝影設備、(2) 同時具備多種通訊介面，可作為場域 Wi-Fi 热點使用，並依需求連接 Wi-Fi、乙太網路或 USB 行動網卡。

Wi-Fi 版智慧蜂箱主機系統功能如圖 12 所示。該主機主要使用元件有全指向式麥克風、紅外線夜視相機、溫溼度感測器，如圖 14 所示，功能分別為：(1)蜂群聲頻紀錄、(2)影像監控、(3)溫溼度量測。

在使用上會將 Wi-Fi 版蜂箱主機(Node-AP)置於蜂箱內部仿製巢脾內，並將攝影鏡頭由盒體內拉出盒上，拍攝蜜蜂的出入口。麥克風、溫溼度感測器則放置於盒體內部。不同於 Zigbee 版節點，Wi-Fi 版節點具備連接網際網路之功能，會於本節點上建立一套網頁伺服器，並將拍攝之影像串流至網頁上，讓使用者透過網頁查看。

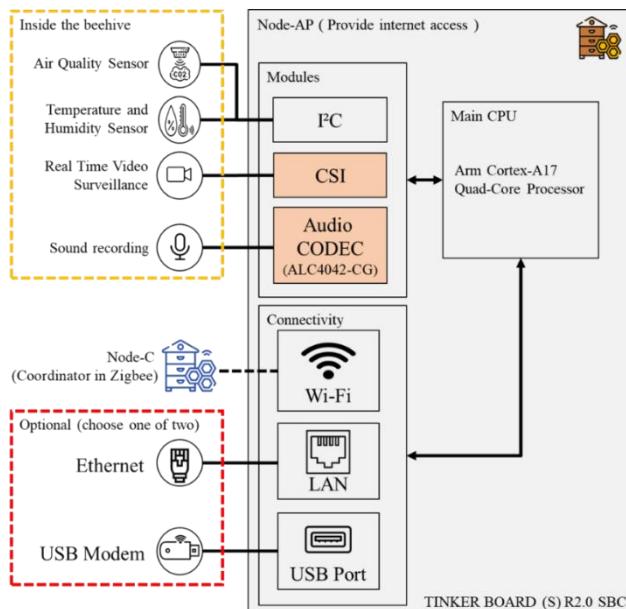


圖 12、系統功能圖





圖 13、Raspberry Pi

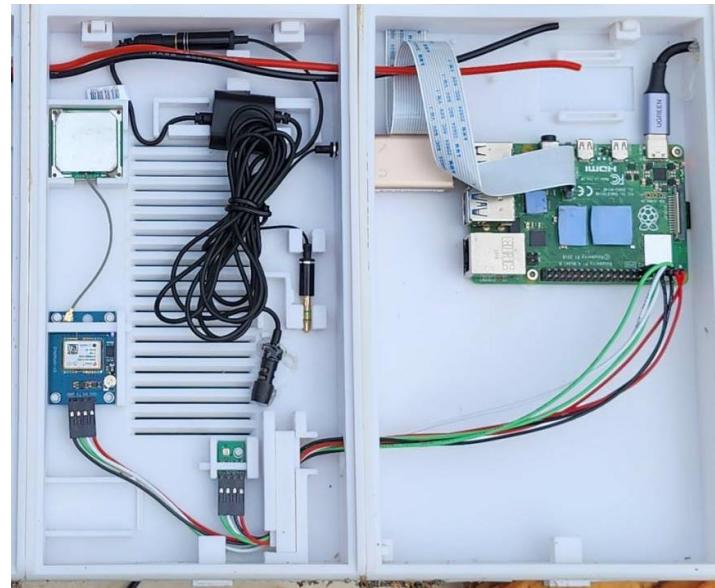


圖 14、硬體配置

2. 蜂群音頻紀錄

蜜蜂一天之中發出的聲音頻率各不相同，正常情況下牠們發出的聲音都能保持在 1000Hz 以內，但蜜蜂仍有機會發出更高頻的聲音。因此在實驗中選用的麥克風是全指向性的 IK Multimedia iRig Mic Lav，如圖 15 所示，其可接收到頻率為 10 Hz 至 16000 Hz 間的聲音。透過樹莓派進行間格時間





錄製，間格時間可依照需求於網頁上調整如圖 17 所示，錄製後儲存在樹莓派 SD 卡內並上傳到資料庫如圖 16 所示，方便日後的研究及分析使用。



圖 15、IK Multimedia iRig Mic Lav

調整錄製設定			
檔案名稱	檔案大小	下載	上傳日期時間
audio_20241111_180718.wav	1875.04 KB	audio_20241111_180718.wav	2024/11/11 下午 06:07:28
audio_20241111_170703.wav	1875.04 KB	audio_20241111_170703.wav	2024/11/11 下午 05:07:14
audio_20241111_160650.wav	1875.04 KB	audio_20241111_160650.wav	2024/11/11 下午 04:07:01
audio_20241111_150638.wav	1875.04 KB	audio_20241111_150638.wav	2024/11/11 下午 03:06:49
audio_20241111_140625.wav	1875.04 KB	audio_20241111_140625.wav	2024/11/11 下午 02:06:36
audio_20241111_130613.wav	1875.04 KB	audio_20241111_130613.wav	2024/11/11 下午 01:06:23
audio_20241111_120600.wav	1875.04 KB	audio_20241111_120600.wav	2024/11/11 下午 12:06:11
audio_20241111_110547.wav	1875.04 KB	audio_20241111_110547.wav	2024/11/11 上午 11:05:58
audio_20241111_100535.wav	1875.04 KB	audio_20241111_100535.wav	2024/11/11 上午 10:05:45
audio_20241111_090522.wav	1875.04 KB	audio_20241111_090522.wav	2024/11/11 上午 09:05:33
audio_20241111_080510.wav	1875.04 KB	audio_20241111_080510.wav	2024/11/11 上午 08:05:21
audio_20241111_070459.wav	1875.04 KB	audio_20241111_070459.wav	2024/11/11 上午 07:05:09
audio_20241111_060445.wav	1875.04 KB	audio_20241111_060445.wav	2024/11/11 上午 06:04:55
audio_20241111_050432.wav	1875.04 KB	audio_20241111_050432.wav	2024/11/11 上午 05:04:43
audio_20241111_040417.wav	1875.04 KB	audio_20241111_040417.wav	2024/11/11 上午 04:04:28
audio_20241111_030405.wav	1875.04 KB	audio_20241111_030405.wav	2024/11/11 上午 03:04:15

圖 16、音頻檔案介面

錄音間格時間: 秒 錄音時間長短 確認

登出

返回主頁

圖 17、調整錄製設定功能





3. 影像實時監控

影像監控考量到蜂箱內部光線不足，所以使用 OV5647 紅外線夜視相機實現功能，如圖 18 所示。並透過 Flask 方式將實時畫面顯示於網頁上，如圖 19 所示，並可於網頁上開關相機，於不用時關閉相機，達到省電功能。



圖 18、OV5647 紅外線夜視相機

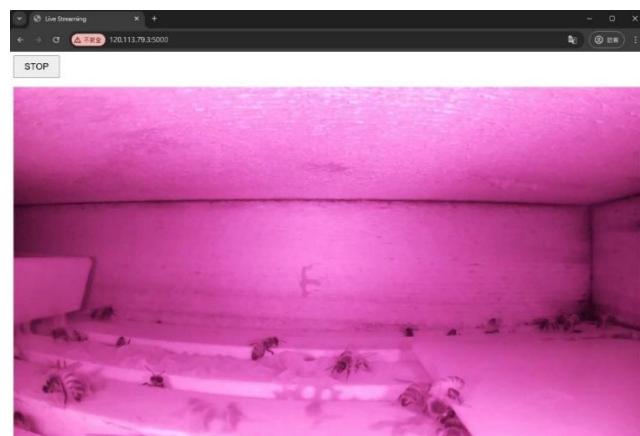


圖 19、影像監控頁面





4. 溫溼度量測

溫溼度感測使用 AHT20，其量測之溫度範圍為-40°C~85°C、濕度範圍為0~100%RH。本測試將模組連接 Raspberry Pi 4b 之 I2C 介面，利用 Raspberry Pi 4b 解出其資料儲存置資料庫，並顯示於網頁上，顯示結果如圖 20 所示。

Temperature and Humidity

△ 不安全 120.113.79.3:8081/set_th.aspx

目前溫度 : 28.57 °C

目前濕度 : 71.76 %

目前重量 : 0 KG

GPS : SGPRMC,103215.00,A,2429.73485,N,12049.49214,E,0.128,,111124,,,D*78

更新時間 : 2024-11-11 19:00:40

更新速度 : 秒

Temperature (°C)	Humidity (%)	Weight (KG)	Date Time
28.57	71.76	0	2024/11/11 下午 07:00:40
28.64	72.32	0	2024/11/11 下午 06:50:40
28.74	71.25	0	2024/11/11 下午 06:40:40
28.85	71.38	0	2024/11/11 下午 06:30:40
28.93	71.84	0	2024/11/11 下午 06:20:40
29	70.95	0	2024/11/11 下午 06:10:40
29.13	70.34	0	2024/11/11 下午 06:00:40
29.22	70.46	0	2024/11/11 下午 05:50:40
29.41	70.01	0	2024/11/11 下午 05:40:40

圖 20、溫溼度監測畫面





四、遠端監測系統介面優化

1. 電量顯示

圖 21 為新版蜂箱介面，在上面新增了電量的顯示，紅色為仿製巢脾的電量，藍色為重量感測系統的電量，透過介面可以知道當前剩餘的電量，當電量充足時，電池會以綠色顯示，當電量低於 20%時，電池就會以紅色的方式顯示，可以快速了解電池的狀況，使用者可依據電池提示進行相關處置。



圖 21、蜂箱監測介面

2. 環境氣象資料

連接國家氣象站，新增當地的環境氣象資料，使用者可以透過介面掌握養蜂地區的天氣狀況，如果天氣有發生異樣，可以及時前往進行相關的保護措施，介面如圖 22 所示。



圖 22、環境氣象資料

3. 蜂箱自定義

由於原本的蜂箱介面是顯示 Zigbee 的 MAC 位址，不利於使用者觀





察，為此新增自定義名稱功能，方便使用者辨識各個蜂箱。使用方法為點擊圖 21 個別蜂箱右上角的齒輪，就會顯示設定畫面如圖 23，在這裡可以設定個別蜂箱的名稱。

在舊版網頁蜂箱箱體重量初始化的設定中，是對所有蜂箱統一進行調整，然而每個箱體的重量不盡相同，為了提升量測值的準確度，將統一調整的方式改為對個別蜂箱進行設定。

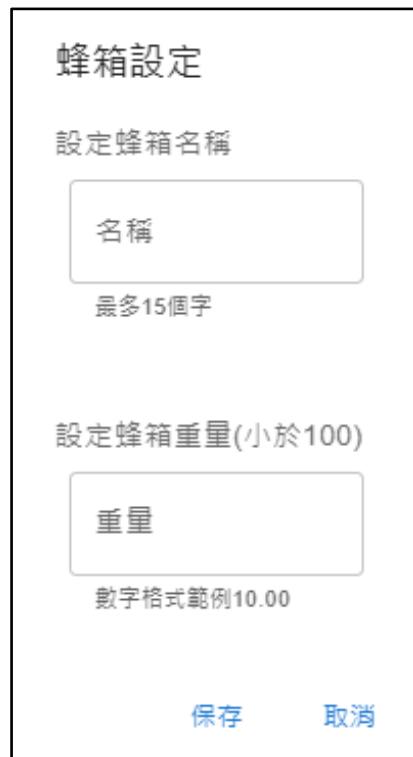


圖 23、蜂箱設定畫面

4. 帳號登入系統

圖 24 為系統登入畫面，在輸入正確的帳號密碼後即可登入系統，此系統會提供使用者一定的權限，圖 25 為權限階層圖，管理員的權限最高，可查看所有場域資料並調整各項參數，如圖 26 所示，而其他使用者僅能監測自己所屬蜂場之蜂箱系統，如圖 27、圖 28、圖 29 所示，並能各自調整及設定感測器傳送和紀錄的時間參數，提供更具安全性的智慧蜂箱系統。



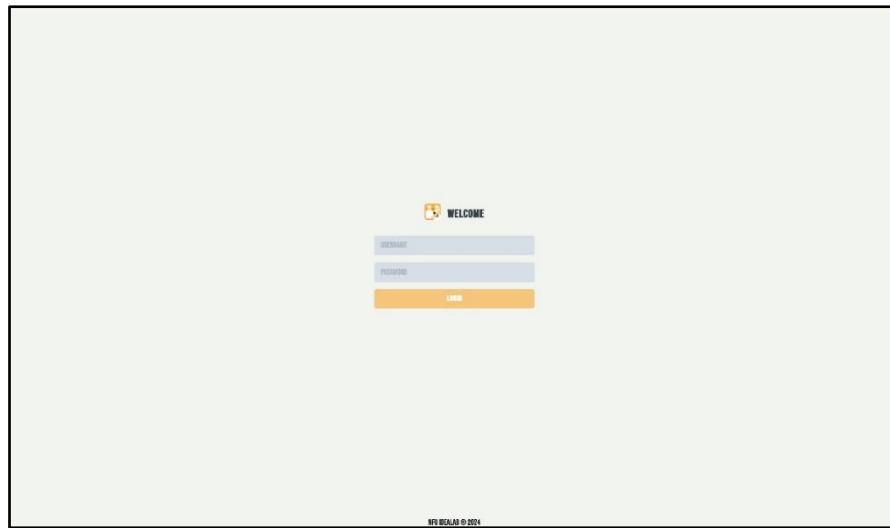


圖 24、登入畫面

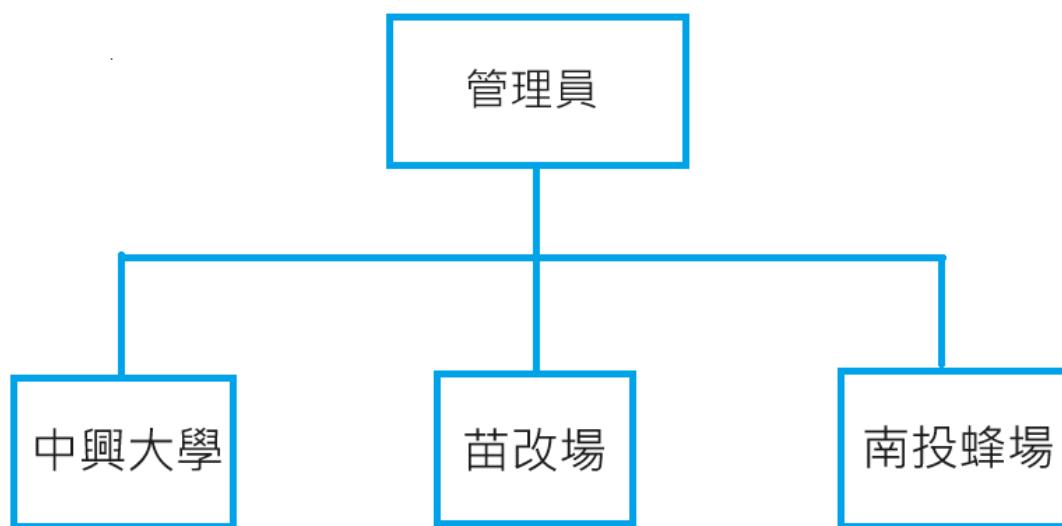


圖 25、權限階層圖

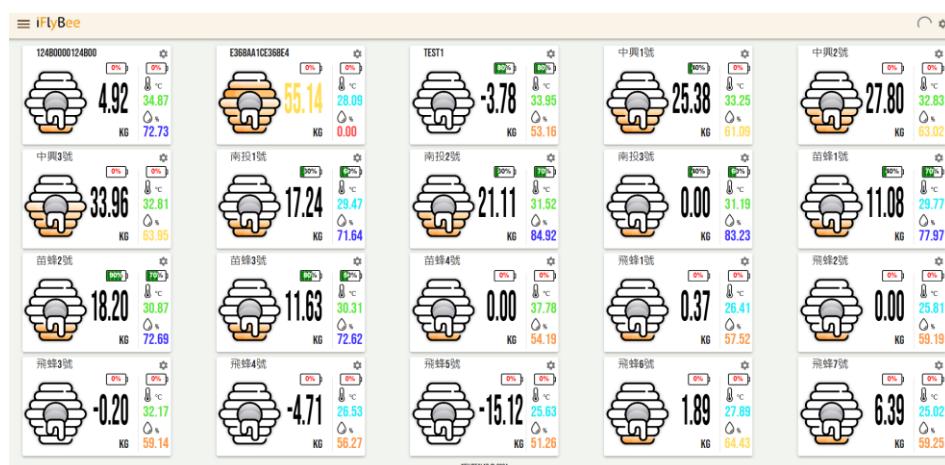


圖 26、管理員畫面



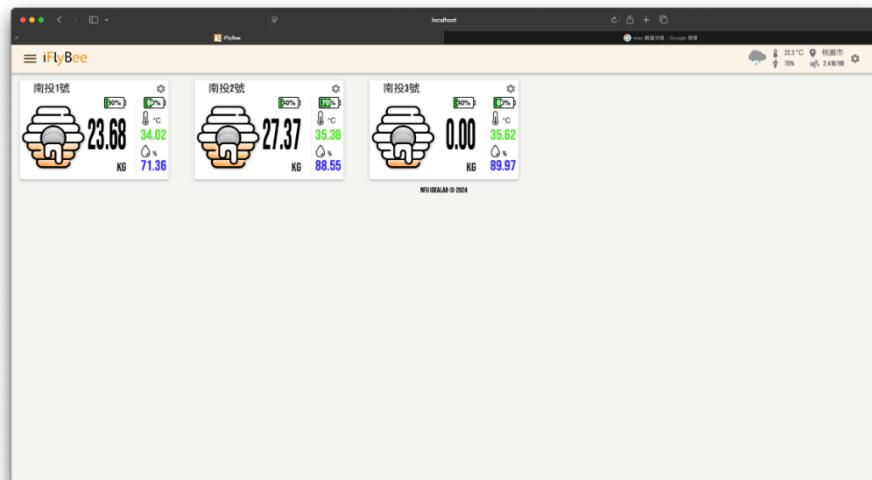


圖 27、南投蜂場

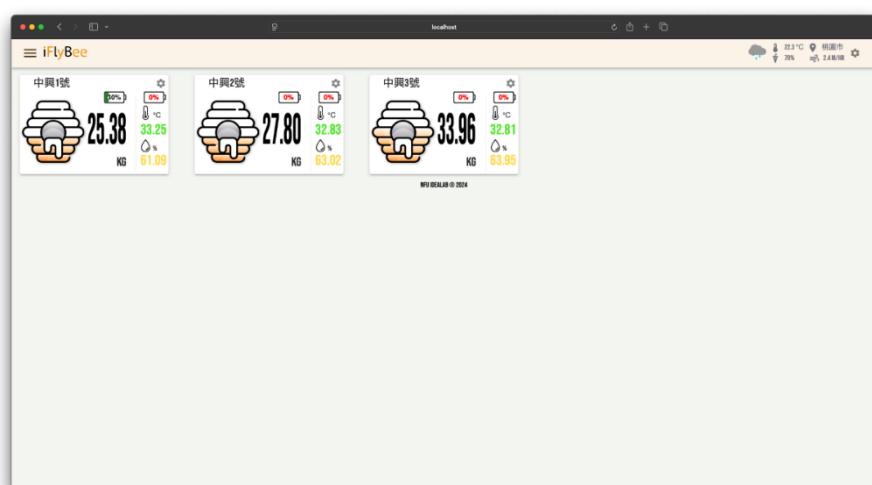


圖 28、中興大學

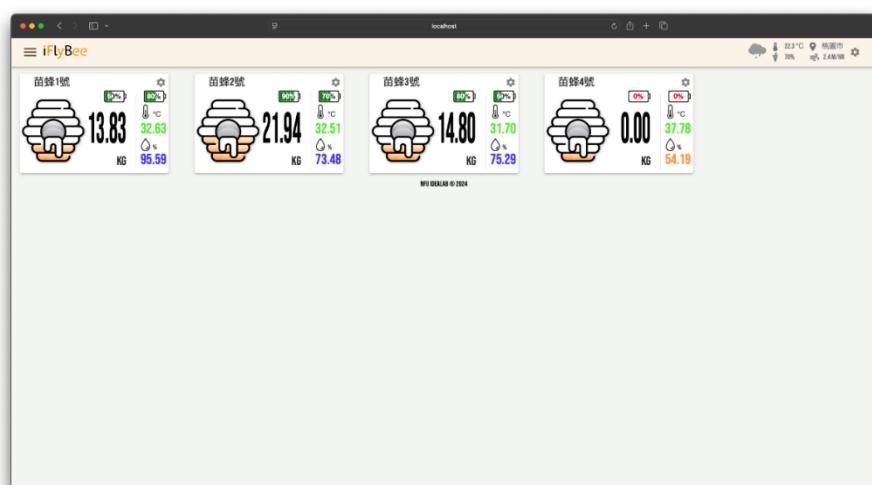


圖 29、苗栗農改場



五、新型智慧蜂箱蜂場實測與功能驗證

1. 改良版智慧蜂箱系統 Wi-Fi 模組

A. 場域建置

此版本智慧蜂箱僅設置一套位於苗栗農改場進行功能測試，如圖 30、苗栗蜂場所示，於 9/4 完成安裝並開始進行功能測試。



圖 30、苗栗蜂場

B. 系統測試結果

此蜂箱位於苗栗農改場進行兩個月左右的測試，供電方式採市電供應，並於期間內計算其平均耗電量，為改良之後無線版本做準備，另外，其餘測試結果於測試期間內皆為正常，惟攝影監控畫面會因場域網路因素，導致畫面卡頓或延遲。

2. 改良版智慧蜂箱 Zigbee 模組

A. 場域建置

本期實驗場域分別位於苗栗農改場(圖 31)、南投蜂場(圖 32)以及中興大學(圖 33)，在各場域內架設 3 套智慧蜂箱系統，於 9/4 完成安裝並開始進行功能測試，截至 11/9 已完成至少 2 個月的功能驗證。





圖 31、苗栗農改場



圖 32、南投蜂場



圖 33 中興大學

B. 系統供電測試

在本次功能驗證中完成了電池續航的測試，首先說明電池的使用方式，電池的滿電電壓為 4.2V，在充電時，電池只會充到 4.1V，避免電池過充，而在使用的情況下，為了保護電池我們將最低電壓定為 3.2V，保留緩衝空間，避免電池過放，因為長期過充或過放都會減少電池壽命。

測試結果是以這 2 個月中，其中 1 次更換電池後到下次換新電池中



間的時間來進行分析，下列表格為 3 處場域測試結果，我們將蜂箱系統分為 3 種來介紹，為仿製巢脾及重量，仿製巢脾又可分為(1)Coordinator 及(2)Router，而(3)重量系統均為 Router，每個蜂箱都有 1 組仿製巢脾及 1 組重量系統，其中只有 1 號蜂箱內的仿製巢脾是 Coordinator。

表三、仿製巢脾(苗改場)中，在使用相同的電量下，Router 的工作時間比 Coordinator 長，在表五及表七中，在相同的工作時間下，Router 的剩餘電壓比 Coordinator 高，這是因為 Coordinator 比 Router 多了 1 個 Wi-Fi 模組，因此 Coordinator 會比 Router 耗電。而在 6 個表格中可以明顯看到重量系統比仿製巢脾的工作時間長，因為在重量系統中，只有 1 種感測器且耗電量低，而仿製巢脾內有至少 2 種耗電量較大的感測器，因此重量系統的耗電量比仿製巢脾低。

從 6 個表格的結果來看，實際的工作天數是有符合預期，將我們預估的時間扣除保護電池所減少的時間，跟我們實際的工作時間是差異不大的，這有達到當時至少能夠維持 2 周的目標，這代表系統的供電是可行的。

表三、仿製巢脾(苗改場)

蜂箱名稱	起始日期	起始電壓	結束日期	結束電壓	工作天數
苗蜂 1 號	10/15	4.1V	10/28	3.2V	13 天
苗蜂 2 號	10/1	4.1V	10/15	3.2V	15 天
苗蜂 3 號	10/14	4.1V	10/25	3.2V	11 天

注:紅標為 Coordinator，黑色為 Router

表四、重量(苗改場)

蜂箱名稱	起始日期	起始電壓	結束日期	結束電壓	工作天數
苗蜂 1 號	10/8	4.1V	10/25	3.3V	17 天
苗蜂 2 號	10/1	4.1V	10/16	3.5V	15 天
苗蜂 3 號	10/8	4.1V	10/25	3.4V	17 天

表五、仿製巢脾(南投)

蜂箱名稱	起始日期	起始電壓	結束日期	結束電壓	工作天數
南投 1 號	10/18	4.1V	10/29	3.4V	11 天
南投 2 號	10/18	4.1V	10/29	3.6V	11 天
南投 3 號	10/18	4.1V	10/29	3.5V	11 天

注:紅標為 Coordinator，黑色為 Router





表六、重量(南投)

蜂箱名稱	起始日期	起始電壓	結束日期	結束電壓	工作天數
南投 1 號	10/11	4.1V	10/23	3.5V	12 天
南投 2 號	10/23	4.1V	11/5	3.5V	13 天
南投 3 號	10/11	4.0V	10/23	3.5V	12 天

表七、仿製巢脾(中興大學)

蜂箱名稱	起始日期	起始電壓	結束日期	結束電壓	工作天數
中興 1 號	10/5	3.7V	10/11	3.2V	6 天
中興 2 號	10/5	3.9V	10/11	3.6V	6 天
中興 3 號	10/5	4.1V	10/11	3.8V	6 天

注:紅標為 Coordinator, 黑色為 Router

表八、重量(中興大學)

蜂箱名稱	起始日期	起始電壓	結束日期	結束電壓	工作天數
中興 1 號	10/5	3.9V	10/12	3.6V	7 天
中興 2 號	10/5	3.9V	10/12	3.6V	7 天
中興 3 號	10/5	3.8V	10/12	3.5V	7 天

C. 系統穩定度

在這 2 個月的測試中發現本次的系統還存在些許穩定性的問題，主要發生在(1)訊號傳輸以及(2)重量感測這兩個方面。在未來會特別針對這 2 個部份來解決。

首先是訊號的穩定性，在正常情況下時，資料大約每 10 分鐘會傳送 1 次，而我們在測試的實驗中發現，訊號偶爾會斷，有時是少了 1 筆資料，會在下次的資料傳送時恢復，有時會斷好幾個小時後再恢復通訊，最後有些會直接斷訊，需要人為去將系統重新啟動，通常重新啟動後就會恢復正常。重量感測的部分在量測數值的準確度上仍不穩定，從量測的結果中，發現重量的數值曲線是符合預期的，但量測出的數值與實際情況存在極大誤差，正常蜂箱的重量浮動量介於 2-3kg 之間，量測出的數據浮動量為 5-10kg。

對於重量準確度有一些優化的方法，(1)改善系統軟體的計算方法及改進現有的量測程式碼，並調整系統整體設計以減少測量誤差，以及(2)優化秤台結構設計，以提升其穩定性，並改善重量平台的穩固性，進





一步提升量測數據的精確度。

另外就是對於 GPS 的使用問題，由於在本次實驗中所使用的 GPS 模組有瑕疵，接收到的資料有問題，造成在上傳資料時發生錯誤。而這也讓我們思考 GPS 的必要性，我們的系統是使用 Zigbee 來進行資料傳輸，所有 Router 的資料是回傳至 Coordinator 後透過 Wi-Fi 上傳至資料庫，原本安裝 GPS 的功能是掌握蜂箱位置並防止他人偷取蜂箱，但當蜂箱離開 Zigbee 的傳輸範圍後就無法進行資料傳輸，GPS 就失去了它的功用。

最後我們想將 GPS 改成只安裝在 Coordinator，在正常情況下，蜂箱不會任意移動位置，當我們只要獲得 Coordinator 的定位就能夠掌握其他蜂箱的位置。而另一個好處就是可以減少耗電量，提高可工作天數，因為 GPS 本身也是高耗電的模組。

D. 電量顯示測試

圖 34 為介面資料顯示，本次新增的電量顯示功能是穩定的，系統主機能夠準確的量測到電池電量，並透過無線感測網路將各組蜂箱的資料上傳至資料庫，而使用者可透過網站隨時掌握蜂箱電池的狀況，於適當時間進行電池的更換。

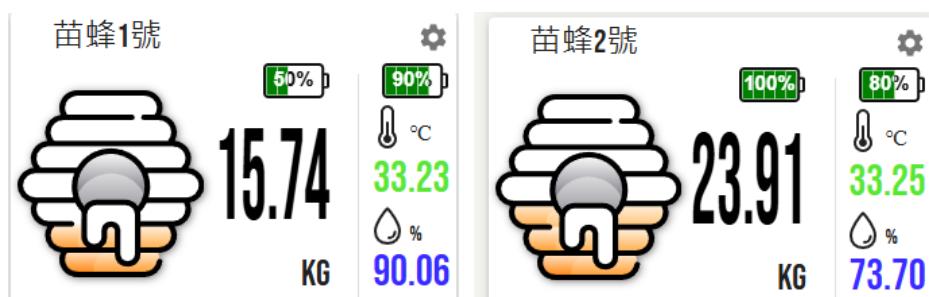


圖 34、介面顯示





六、 結論

本年度的智慧蜂箱系統開發與驗證工作進展順利，成功完成了改良版智慧蜂箱 Zigbee 和 Wi-Fi 模組的設計與實地測試，並達成預期的功能目標。在系統架構方面，整合了無線感測技術、物聯網和雲端數據分析，實現了蜂群生態的遠端監控和健康狀況分析。Zigbee 模組與 Wi-Fi 模組的開發顯著提升了蜂箱數據監測的準確性與穩定性，並且優化了遠端監測系統的使用者介面，增加了電量顯示和環境氣象資料等功能，使得用戶能夠更直觀地監控蜂箱狀況。

然而，測試過程中仍發現了一些問題，尤其是在訊號傳輸和重量感測的準確度方面。訊號傳輸偶爾會出現中斷現象，導致數據延遲或缺失，這可能是由於蜂場環境的網路干擾或訊號覆蓋不穩定所致。為解決此問題，未來計劃增加訊號增強器或改進無線網絡配置，以提高傳輸穩定性。此外，重量感測模組的數據偏差較大，影響了實際測量的精確性。對此，將優化重量感測裝置的校正機制，並引入更高精度的感測器，以減少誤差範圍。

另外，在改良版 Zigbee 模組中會將 Coordinator 獨立出來，將不在設置於蜂箱內部，會額外設計一組防水盒來安裝，而蜂箱內部均為 Router。在未來會將仿製巢脾的 GPS 移除並只安裝在 Coordinator 中，由於其耗電量較大，需要更頻繁的更換電池，透過這種方式減少使用者在更換電池上的工作量，也可以減少因蜂箱內部環境的干擾，提升資料傳輸的穩定性。

整體而言，智慧蜂箱系統已展現出良好的應用潛力，為養蜂業提供了有效的生態監測工具，未來將持續改進硬體設計與資料處理演算法，以提升系統的可靠性與實用性。

