



生物監測—以鳥類辨識與智慧農業為例

中華電信股份有限公司高級工程師 / 黃郁翔
中華電信股份有限公司高級工程師 / 周宜蓁
中華電信股份有限公司高級工程師 / 黃紹賓
中華電信股份有限公司高級工程師 / 陳岳
中華電信股份有限公司高級工程師 / 陳盈秀
中華電信股份有限公司高級工程師 / 張顥叡
中華電信股份有限公司高級工程師 / 周愉捷

關鍵字：AI 辨識、AIoT、5G 技術、黑面琵鷺、受威脅植物

摘要

面對全球生物多樣性加速流失的挑戰，企業在永續發展行動中扮演日益重要的角色。中華電信以 AI、AIoT 與 5G 技術領先優勢，研發一套智慧生態監測系統，應用於黑面琵鷺與受威脅植物的保育行動，在推動黑面琵鷺及百種保育兩項計畫，本公司結合多種創新設備與技術，提升生態監測效率與保育決策的即時性與準確度。

在黑面琵鷺保育計畫，中華電信運用 AI

影像辨識技術，克服天氣或光線變化的限制自動統計鳥類數量，減少大量人力調查工作。同時，透過電子圍籬系統搭配即時警示功能，除能快速通報入侵事件，亦結合在地社區與管理單位即時應變。為維持濕地良好的水位條件，採用低耗電、具備即時回傳功能水位感測設備並搭配太陽能供電，即使在戶外無供電地區亦能穩定運作，確保黑面琵鷺有適合的覓食與棲息環境。

在百種保育計畫，中華電信挑選自有場域作為復育基地，導入空氣、光照、土壤等



環境感測器，透過雲端平台隨時監測以調整環境條件，提升復育成效。

整體計畫係以中華電信資通訊技術應用於保育工作，展現企業在 ESG 實踐上的創新做法，也為自然資本管理與永續發展提供可擴大複製的實務經驗，符合 TNFD 與 Nature Positive 等國際倡議的發展趨勢。

一、前言

全球生物多樣性正面臨前所未有的危機，為因應《昆明－蒙特婁全球生物多樣性框架》(Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, K-M GBF) [1] 所揭示之「30 × 30」目標，企業紛紛轉向科技導向的保育實踐，以實現對自然資本的正向回饋。電信產業憑藉 AI、AIoT 與 5G 等技術，已成為創新的保育與監測應用的關鍵推手。中華電信以臺灣生態保育重要據點「七股黑面琵鷺棲地」為核心場域，導入 AI 智慧辨識技術進行候鳥與棲地監控，且應用至「百種保育計畫」，針對受威脅植物建置感測器與雲端監測平台，形成全方位數據驅動之生物多樣性保護機制。透過科技與自然的融合，展現企業實現永續價值的行動力。

二、趨勢

2-1 國際趨勢

隨著全球氣候變遷加劇，近半的森林和珊瑚礁生存面臨威脅，數萬物種瀕臨滅絕，參考 IUCN 紅皮書名錄累計約 10.5 萬種，其中瀕臨滅絕約 2.8 萬，因此聯合國生物多

樣性公約第十五屆會議 COP15 [2] 通過《昆明－蒙特婁全球生物多樣性框架》(K-M GBF)，呼籲停止並扭轉生物多樣性喪失，並於 COP16 [3] 推動 2030 年落實「30 × 30」目標，保護全球 30% 的陸地和海洋生物多樣性。

多項國際倡議與 GBF 對齊，提出自然保護策略，包括：

1. 「自然正向倡議」(Nature Positive Initiative, NPI) [4]，以 2030 年前停止並扭轉生物多樣性喪失為目標。
2. 「自然相關財務揭露」(Taskforce on Nature-related Financial Disclosures, TNFD) [5]，要求企業揭露對自然依賴和影響的財務風險。
3. 「科學基礎目標網路」(Science Based Targets Network, SBTN) [6]，協助企業設定自然相關科學目標和行動。

隨著生物多樣性議題的發展，企業逐漸重視對自然資本的依賴和影響，並參考國際倡議制定相對應的行動計劃，這將有助於實現與自然和諧共存的目標。

2-2 電信產業趨勢

電信產業除掌握自身對自然的依賴與影響外，也透過人工智慧、物聯網和網路連接能力等技術來協助監測野生動物、保護棲地，進而促進生態保育。以下是一些具體案例：



1. True Group 與 Rambhai Barni Rajabhat 大學合作，開發一套基於人工智慧技術的野生大象智慧預警系統，該系統透過監控和識別野生大象，以實現對大象活動的即時監測和預警，這有助於減少人象衝突，保護野生大象的同時也保障當地社區的安全 [7]。
2. Orange 公司利用 AI 技術分析 eDNA（環境 DNA）數據，以監測湖泊中的生物多樣性並評估污染的影響。這種方法可以更全面地了解水生生態系統的健康狀況 [8]。另外，Orange 也與 Tēnaka 合作，透過在水下部署攝影機和感測器，收集數據並利用 AI 進行分析，以利科學家遠端即時掌握珊瑚礁的狀況，並能更專注於實際的復育工作 [9]。

2-3 小結

面對生物多樣性議題，企業的永續策略不僅需關注氣候變遷，更應深入了解其營運對自然資本的依賴和影響。電信產業憑藉科技創新，以數位賦能的方式促進生態保育，這不僅提升了自身的競爭力，也為實現與自然和諧共存的目標貢獻力量。

三、生物監測技術

3-1 AI 鳥類辨識

鳥類辨識是野生動物監測、生物多樣性評估與環境保護中的關鍵任務。由於候鳥在不同季節、地點、環境條件下外觀可能有所變異如圖 1，傳統物件偵測（Object Detection）方法面臨以下挑戰：



圖 1 鳥類監測實際應用的監控拍攝視角



1. 遮擋與重疊 (Occlusion and Overlap)

候鳥常成群出現，傳統方法仰賴非極大值抑制 (Non-Maximum Suppression, NMS)，容易忽略彼此靠近的個體。

2. 背景複雜 (Complex Backgrounds)

野外監測場景中背景變化大，Anchor-Based 方法需手動設計大量參數。

3. 物種數量龐大且長尾分布 (Long-Tail Distribution)

部分稀有候鳥樣本稀少，需強化特徵 (Feature) 學習能力與對 “No Object” 的識別。

為解決這些挑戰，DETR (DEtection TRansformer) 架構作為一種基於 Transformer 的端對端 (End-To-End) 物件偵測模型，能夠以全局注意力 (Global Attention) 與集合預測 (Set Prediction) 能力處理候鳥辨識任務，無需依賴錨框 (Anchor Boxes) 和 NMS 等後處理，適應用於自然場景下的鳥類辨識任務。其運算流程由以下三大模組構成：

1. Convolutional Neural Network Backbone (CNN Backbone)

輸入圖像 (假設為 $H_0 \times W_0 \times 3$) 經 CNN (例如: ResNet-50) 提取特徵 (Feature) 後，會輸出一個 Lower-Resolution 的特徵圖 (Feature Map)， $F \in R^{C \times H \times W}$ ，通常 $C = 2048, H = H_0/32, W = W_0/32$ 。接著透過一層 1×1 卷積 (Convolution) 將通道數 (Channel) 降低至 256。Transformer 的輸入為序列 (Sequence)，因此將特徵圖展平成序列，並加

上由固定的正弦 (Sine) 與餘弦 (Cosine) 函數組成的位置編碼 (Positional Encoding) 以保留空間資訊。

2. Transformer Encoder-Decoder 架構

(1) Encoder

將 CNN 輸出展平成 $X \in R^{(HW) \times d}$ ，經過 6 層 Encoder，並在每層的 Query 和 Key 向量中加上固定的位置編碼 P，每層 Encoder 包含：

- Multi-Head Self-Attention，在不同子空間中計算 Self-Attention，Self-Attention 如下所示：

$$Attention(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V \quad (1)$$

其中， Q 為 Query 向量； K 為 Key 向量； V 為 Value 向量； d_k 為 Key 向量的維度 (Dimension)。

- Feedforward Neural Network (FNN)：由兩層 1×1 卷積組成，中間使用 ReLU 激活函數。
- 殘差連接 (Residual Connection) 與正規化 (Layer Normalization)。

(2) Decoder

Decoder 的輸入為固定數量的 Learnable Object Queries，這些向量與 Encoder 輸出進行 Cross-Attention。每層 Decoder 包含：

- Multi-Head Self-Attention：計算 Object Queries。



- Encoder-Decoder Attention：Object Queries 作為 Query 向量，Encoder 輸出作為 Key 向量和 Value 向量，進行 Cross-Attention 計算。
- Feedforward Neural Network (FNN)：由兩層卷積組成，中間使用 ReLU 激活函數。
- 殘差連接 (Residual Connection) 與正規化 (Layer Normalization)。

(3) Prediction Heads

每個 Decoder 輸出向量 $h_i \in R^{256}$ ，經過兩個 FNN，得到使用 Softmax 輸出類別機率（包含 “No Object” 類別）的 Class Head 以及表示邊界框 (Bounding Box) 相對座標 (x, y, width, height) 的 Box Head。

3. Object Detection Set Prediction Loss

DETR 模型在訓練過程中，對於每張圖像，會產生固定數量的預測結果。然而，實際上的物件數量通常少於這個數字，因此需要將預測結果與 Ground Truth 進行最佳匹配，DETR 使用匈牙利演算法 (Hungarian Algorithm) 來尋找總匹配成本最小的預測與 Ground Truth 之間的對應關係。

(1) 匈牙利演算法

DETR 將預測物件集合 $\hat{y} = \{(\widehat{y_{\sigma(i)}}, \widehat{b_{\sigma(i)}})\}_{i=1}^N$ 與 Ground Truth 集合 $y = \{(y_i, b_i)\}_{i=1}^N$ 透過匈牙利演算法進行一對一匹配，找到最小總匹配成本的組合，最小總匹配成本計算如下所示：

$$\hat{\sigma} = \arg \min_{\sigma \in S_N} \sum_{i=1}^N L_m \text{atch}(y_i, \widehat{y_{\sigma(i)}}) \quad (2)$$

其中， S_N 表示所有可能的預測結果與 Ground Truth 的組合。這樣的匹配策略確保每個 Ground Truth 最多對應一個預測結果且總成本最小。

在完成最佳匹配後，計算最終的損失函數 (Loss Function)，即 Hungarian Set Prediction Loss，在無需使用錨框和 NMS 的情況下，實現端對端的物件偵測。Hungarian Set Prediction Loss 結合了 Class Loss (分類損失) 與 Bounding Box Loss (邊界框損失)，如下所示：

$$L_{Hungarian}(y, \hat{y}) = \sum_{i=1}^N [-\log \widehat{p_{\sigma(i)}}(c_i) + \mathbb{1}_{c_i \neq \emptyset} \cdot L_{box}(b_i, \widehat{b_{\sigma(i)}})] \quad (3)$$

(2) 損失函數構成

匹配成本函數 $L_{match}(y_i, \widehat{y_{\sigma(i)}})$ 結合了分類預測與 Bounding Box 預測的誤差，如下所示：

$$L_{match}(y_i, \widehat{y_{\sigma(i)}}) = -\widehat{p_{\sigma(i)}}(c_i) + \lambda_{box} \cdot \mathbb{1}_{c_i \neq \emptyset} \cdot L_{box}(b_i, \widehat{b_{\sigma(i)}}) \quad (4)$$

其中， $y_i = (c_i, b_i)$ 為第 i 個 Ground Truth，包含類別 (c_i) 和 Bounding Box (b_i)； $\widehat{y_{\sigma(i)}} = (\widehat{p_{\sigma(i)}}, \widehat{b_{\sigma(i)}})$ 為第 $\sigma(i)$ 個預測結果，包含對各類別的預測機率 $\widehat{p_{\sigma(i)}}$ 和預測 Bounding Box, $\widehat{b_{\sigma(i)}}$ ； $\widehat{p_{\sigma(i)}}(c_i)$ 為預測 $\widehat{y_{\sigma(i)}}$ 是類別 c_i 的機率； $\mathbb{1}_{c_i \neq \emptyset}$ 為指示函數，當為有效類別時為 1，否則為 0，用於處理背景類別； $L_{box}(b_i, \widehat{b_{\sigma(i)}})$ 為 Bounding Box Loss。



Bounding Box Loss 結合了 L1 Loss 與 GIoU Loss，如下所示：

$$L_{box}(b_i, \widehat{b_{\sigma(i)}}) = \lambda_{L1} \cdot \|b_i - \widehat{b_{\sigma(i)}}\|_1 + \lambda_{GIoU} \cdot L_{GIoU}(b_i, \widehat{b_{\sigma(i)}}) \quad (5)$$

(3) GIoU (Generalized Intersection over Union)

為克服 IoU (Intersection over Union) 在無交集 (No Overlap) 時無梯度的問題，H. Rezatofighi 等人提出 GIoU，即使無交集仍有梯度，更能懲罰預測框與 Ground Truth 間距與尺寸差異，搭配 L1 Loss 能兼顧位置與重疊精度，GIoU 定義如下所示：

$$GIoU(A, B) = IoU(A, B) - \frac{|C \setminus (A \cup B)|}{|C|} \quad (6)$$

$$GIoU(A, B) = IoU(A, B) - \frac{|C \setminus (A \cup B)|}{|C|} \quad (7)$$

其中，A 為預測框；B 為真實框；C 為包含 A 和 B 的最小矩形。GIoU $\in [-1, 1]$ ，當 A = B 時，GIoU = 1。

小結

DETR 透過 CNN 和 Transformer 架構實現了無需 Anchor 與 NMS 的端對端物件偵測方法，為自然場景下的候鳥辨識任務提供嶄新解法。其創新特點為使用固定數量 Object Queries 進行集合預測，能有效識別多個緊鄰個體，並採用匈牙利匹配機制定義損失，將 GIoU 整合於損失函數中，即使候鳥遮擋或無交集仍能提供有效梯度，有效提升模型訓練穩定性與精度。

這套設計提升了候鳥辨識模型的可解釋性與泛化能力 (Generalization)，在樣本數不足或背景複雜的情境中展現強大的建模潛力，顯示出 Transformer 架構在電腦視覺與生態研究領域的高度應用價值。

3-2 AI 電子圍籬

電子圍籬是智慧安全監控、區域管理與入侵偵測領域的關鍵任務。由於實際應用中監控目標可能隨環境變化呈現不同外觀與尺度如圖 2，傳統物件偵測方法面臨目標尺度多樣且動態變化的挑戰，因此電子圍籬需處理不同距離、視角的物件尺度差異大，需提升特徵學習與融合能力。

因此，利用 YOLO 架構透過擴展高效層聚合網路 (E-ELAN) 與複合模型縮放 (Compound Model Scaling)，有效增強特徵融合與尺度適應能力；並以動態標籤分配 (Dynamic Label Assignment) 與部分輔助頭 (Partial Auxiliary Head) 設計，提升模型對複雜場景的辨識精確性。此外，模型重參數化 (Model Re-parameterization) 策略更進一步提高了推理效率，特別適合部署於即時性與高準確性要求嚴苛的電子圍籬系統，其模型架構如下：

YOLO (You Only Look Once) 模型架構

- (1) 擴展高效層聚合網路 (Extended Efficient Layer Aggregation Network, E-ELAN)

YOLO 的架構中，擴展高效層聚合網路 (E-ELAN) 在不改變梯度傳遞路徑的基



圖 2 電子圍籬實際應用的監控拍攝視角

礎上，通過分組卷積（group convolution）和特徵重組來提升特徵表達能力。該方法將不同組的特徵進行混合和融合，有效增強了模型的學習能力，同時保持計算效率。E-ELAN 的設計避免了深層網路中過度疊加計算塊所帶來的性能瓶頸，從而提高了參數利用率。

(2) 模型重參數化

（Model Re-parameterization）

為提升模型推理效率，YOLO 引入了計劃性重參數化卷積（Planned Re-parameterized Convolution）。該方法根據梯度傳播的特性，針對不同架構設計特定的重參數化策略。例如，在殘差連接（Residual Connection）或特徵拼接（Concatenation）層中，移除了多餘的恆

等連接（Identity Connection），以提高特徵學習的多樣性。這種針對性優化的方法，既提升了模型的泛化能力，又確保推理階段的計算高效。

(3) 複合模型縮放（Compound Model Scaling）

YOLO 針對拼接型架構（Concatenation-based Architecture）的特點，提出了複合模型縮放方法。傳統模型縮放通常獨立調整寬度、深度和解析度，而 YOLO 則根據深度縮放引起的輸出通道數變化，動態調整過渡層的寬度比例，從而保證硬體資源的最佳利用率。這種策略有效保持了模型設計的初始特性，同時提高了不同計算資源下的適應性。



(4) 動態標籤分配 (Dynamic Label Assignment)

YOLO 針對目標檢測中的標籤分配問題，提出了「粗到細」的主輔引導標籤分配策略 (Coarse-to-Fine Lead Guided Label Assignment)。該方法利用主頭 (Lead Head) 的預測結果生成軟標籤，同時通過放寬約束生成輔助頭 (Auxiliary Head) 的粗標籤，從而提高標籤分配的回歸精度和召回率。這一策略允許輔助頭專注於學習主要特徵，主頭則專注於細節特徵，從而優化了多層學習過程。

(5) 部分輔助頭 (Partial Auxiliary Head)

YOLO 引入了部分輔助頭的設計，即在特徵融合前的一部分特徵圖上連接輔助頭進行訓練。這種方法補充了可能在高層特徵中丟失的信息，提升了多尺度物體檢測的精度。

小結

以 YOLO 技術作為電子圍籬的目標檢測核心，能夠有效提升系統的精確度和即時性。E-ELAN 架構增強了網路特徵融合的能力，使得檢測更為精準；模型重參數化和複合模型縮放策略則在確保高效推理的同時，有效適配不同硬體環境；而動態標籤分配與部分輔助頭設計進一步提高了系統對細節與多尺度目標的辨識準確性。

這套系統透過 YOLO 所整合的這些創新技術，成功提升了電子圍籬系統的性能，適合部署於對精確性與效率皆有嚴格要求的場域。

3-3 AIoT 水位計

黑面琵鷺對棲地水位條件有一定的要求，水位過高不利於水中停留、行走、休憩，水位過低的環境不利於水中生物生長，無法提供黑面琵鷺足量的糧食來源。為維持良好的黑面琵鷺棲地環境，水位高度的控制為黑面琵鷺復育重要的一環。

1. 監測硬體設計

現行水位監測方式多為一組監控箱體收容 Gateway、水位計錶頭、市電配電或鉛酸電池／鋰鐵電池，於黑面琵鷺棲息地遭遇困境如下：

- (1) 容納多設備及線路的箱體體積大，受風面積較大，於臨海鹽田普遍強風環境加上每年數個颱風侵襲，箱體及支架強度需加強設計且使用壽命有限。
- (2) 現場無市電可用，需使用鉛酸電池或鋰鐵電池進行供電，會進一步加大箱體體積，受風面增加。
- (3) 因現場無市電，改以電池形式供電，搭配太陽能板能持續獲得供電，但多設備組合耗電量大，足額供電之太陽能板面積大，於臨海無遮蔽之強風環境遇颱風來襲時損壞機率高。
- (4) 黑面琵鷺棲地為鄰海鹽田環境，常年艷陽高照強風直吹皆無遮蔽，且為高濕度高鹽分的環境。因多設備組合累積發熱量較大，監控箱體需兼顧散熱效率，無法設計完全密封防鹽害，系統壽命堪憂。

綜合上述問題考量，感測設備需要進行架構精簡化並朝省電方式設計如圖 3，即可

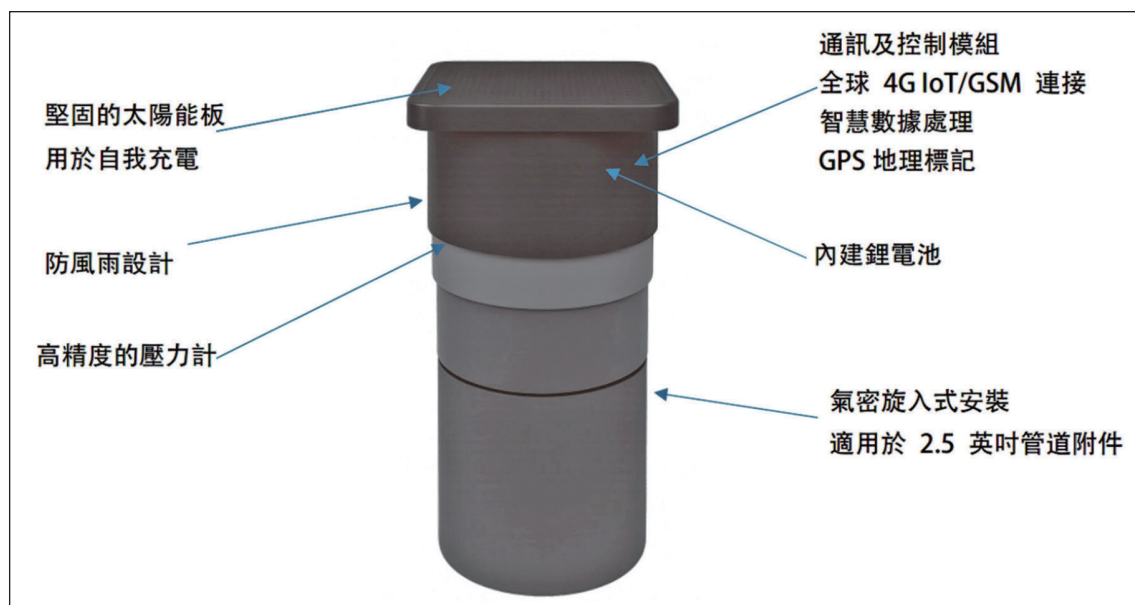


圖 3 基於氣壓計原理的 All in One 液位計

縮小電池及太陽能板體積並整合於一體，即可達到抗風效果。架構精簡並省電後，設備發熱量亦降低，選用工業級寬溫元件即可將整合設備進行密封保護，加強設備強度並可抗鹽害。

2. 遭遇問題

經與黑面琵鷺保育學會現場量測比對雲端數據後，確認在安裝三個星期至一個月內液位會逐漸降低如圖 4，可能造成的原因如下：

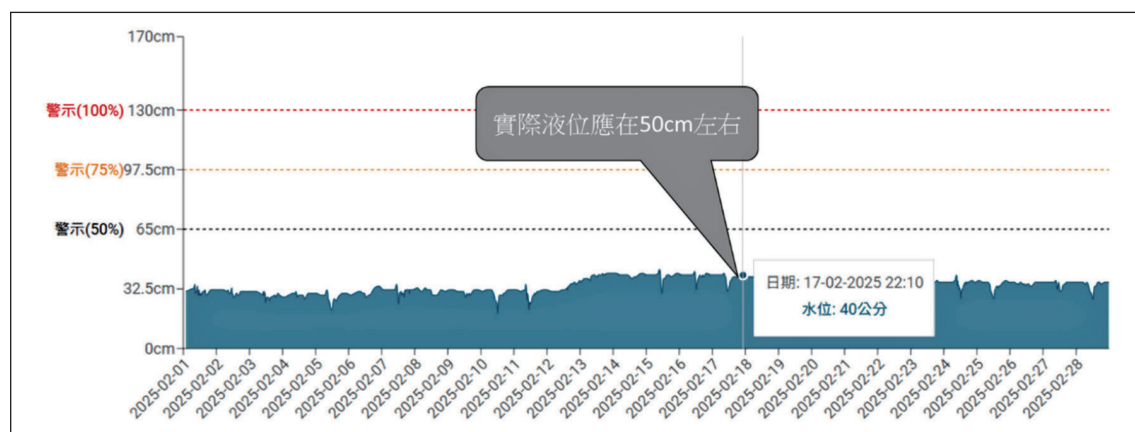


圖 4 觀測現場及雲端水位高度隨時間差異變大



(1) 空氣逐漸溶解於水中

空氣會緩慢地溶解到水中，這是依據亨利定律（Henry's Law）：→ 氣體在液體中的溶解度與氣體分壓成正比。隨著時間過去，尤其是如果水溫降低（例如夜晚或季節變化），空氣會更容易溶於水中。當空氣溶解，氣體體積變小，水位就會往上升。

(2) 溫度與氣壓變化造成壓力調整

一個月內氣溫會波動，例如氣溫變低 → 氣體壓力下降 → 水位上升補充空間。外部氣壓也會影響密閉空間內的氣壓平衡。

(3) 水中的微小氣泡或微生物活動

溪水可能含有微小氣泡或微生物，進入管內後逐漸耗氧，造成壓力變化。

上述原因皆為基於氣壓變化之多種不可控變因，因此規劃將水位偵測形式更改為超音波偵測液位高度換算水位如圖 5。

3. 改善成果

經更換為超音波感測形式後，不受氣壓不確定因素變化之影響，持續觀察一個月現場水位與雲端數據符合且穩定如圖 6。

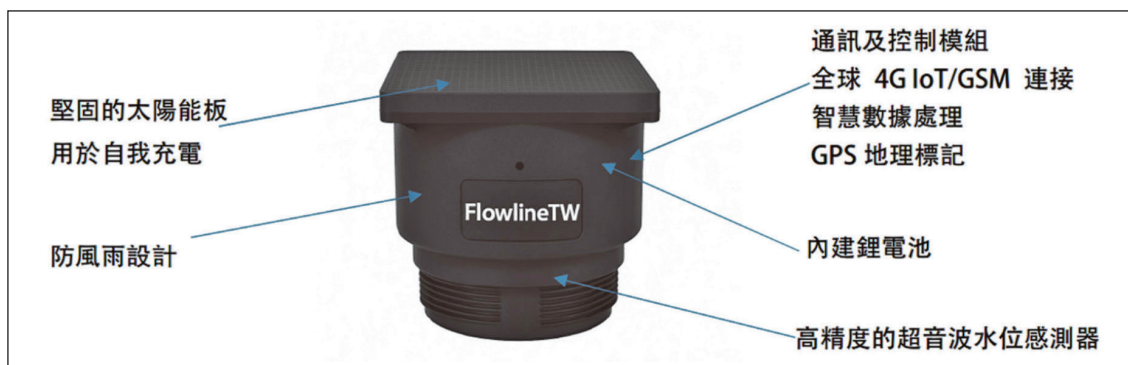


圖 5 基於超音波感測形式的 All in One 液位計

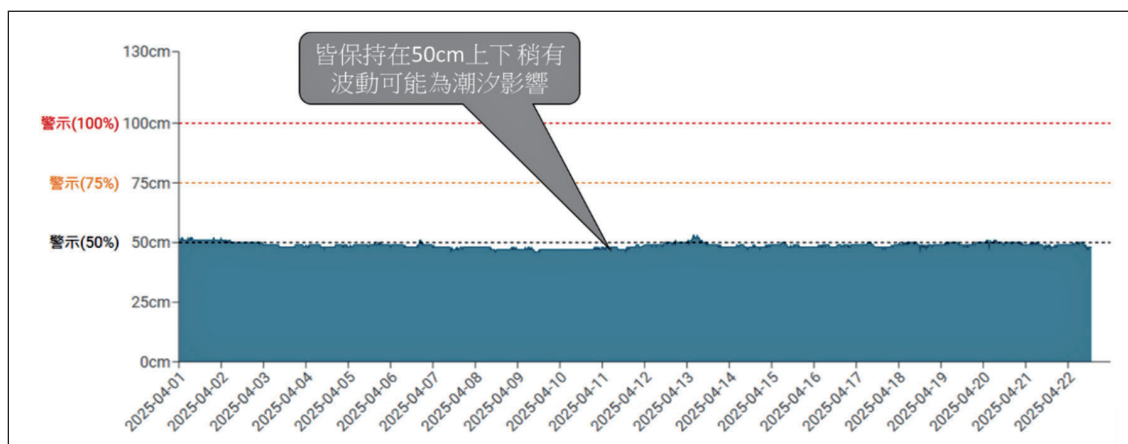


圖 6 更換後雲端水位與現場一致



3-4 AIoT 智慧農業感測器

透過物聯網 (IoT) 感測器蒐集環境數據，並以行動網路，傳送資料至雲端系統，呈現各項感測器即時數據，為生物復育的場域建立歷史數據基線，提供復育狀況的評估基準。使用的 IoT 感測設備規格包括：

1. 空氣溫溼度感測器



圖 7 空氣溫溼度感測器

測量溫度	-40 ~ +85°C ±0.5°C
測量濕度	0-100%RH ±5%RH
輸出形式	RS485
功效	0.1W
防護等級	IP67

2. 光照計



圖 8 光照計

測量光照度範圍	0-200,000Lux，精度 ±5%
輸入電壓	DC 7-24V
輸出形式	RS 485
功耗	4W
防護等級	IP65
工作環境溫度	-30 ~ +80°C
尺寸	直徑 77 mm × 高 137 mm

3. 土壤三合一感測器

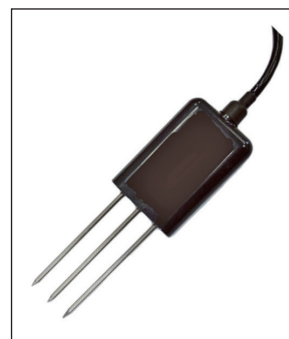


圖 9 土壤三合一感測器

測量濕度範圍	0 ~ 100%RH，精度 ±3%
測量溫度範圍	-40 ~ +80°C，精度 ±0.5°C
反應時間	≤ 1 秒
輸出形式	RS485
工作環境溫度	-40 ~ +85°C
尺寸	長 150 × 寬 45 × 高 15 mm、探針 70 mm

4. 氣象站控制器主機



圖 10 氣象站控制器主機



無線傳輸模組	NB-IoT / Cat-M1 / 4G / Wifi / 本案使用 5G
不鏽鋼支架尺寸	61 × 36 × 210 cm
工作環境溫度	-20 ~ +80°C
可配置電源	太陽能供電／交流市電（12V 變壓器）

這些感測設備符合智慧農業感測資料格式標準及測試規範，並可透過支援的網路應用協定（如 RESTful、MQTT 等），將即時數據上傳至中華電信 IoT 智慧聯網大平台，促進數據的有效管理和整合分析。

四、監測成果

1. 七股黑面琵鷺保育計畫

(1) 緣起

黑面琵鷺是國際鳥類紅皮書中的瀕危物種，每年飛往臺灣度冬的數量佔全世界總量的近 60%。一半以上的黑面琵鷺以臺南做為度冬的棲息地，占全球總量 1/4 顯見棲地優化的重要性。

中華電信積極響應「《昆明－蒙特婁全球生物多樣性框架》」，致力於實現 2030 年扭轉生物多樣性流失的里程碑，以及 2050 年人與自然和諧共存的願景而努力。本公司結合 5G、AI 與 AIoT 技術應用於生物多樣性保育，透過 AI 智慧監控技術成功守護黑面琵鷺棲地，超越傳統人工環境實查，展現獨特價值，開創臺灣環境友善行動新模式。

(2) 計畫核心

AI 鳥類辨識

每年 10 月至隔年 3 到 5 月是候鳥來台度冬季節，這段期間過往需仰賴 200 名志

工及全台鳥友全天候監控，現在透過 AI 辨識，大幅減少調查人力，克服時間、天候限制及鳥越多越難計數的困境。

AI 電子圍籬

AI 電子圍籬監控，結合公民科學家、LINE 群組及政府單位合作：透過 AI 影像辨識，快速正確辨識出特定物件，並透過 LINE 群組入侵通知；結合七股區頂山社區居民採取行動、與動保處共同實驗友善驅犬法。

AIoT 水位計

水情監控確保溼地環境提供黑琵完整食物鏈：AIoT 搭配 5G 即時蒐集水位資料，並觸發預警機制，利用水位差將水由外部引入，營造棲地環境。

(3) 成果

中華電信的黑面琵鷺 AI 智慧監測系統，結合 5G 高速行動網路與 AI 辨識演算法，實現全天候穩定監控與快速辨識黑面琵鷺數量，一年約可節省 200 名調查人力；首次將 AI 電子圍籬技術應用於棲地環境的監測，並結合在地居民與政府單位合作，保障候鳥繁殖安全，每月平均成功通報 160 次入侵事件；為了確保溼地環境提供黑面琵鷺完整食物鏈，透過 AIoT 智慧水情監控系統，協助管理人員更有效率地調配水資源，預估可提升 50% 以上的候鳥群聚數量；更進一步開發視覺化監測儀表板如圖 11，整合棲地資訊於單一生態觀測系統，未來將成功模式複製擴大，為生態系統的永續發展奠定堅實基礎。

2. 百種保育計畫

(1) 緣起

為了推動自然正向主流化，中華電信

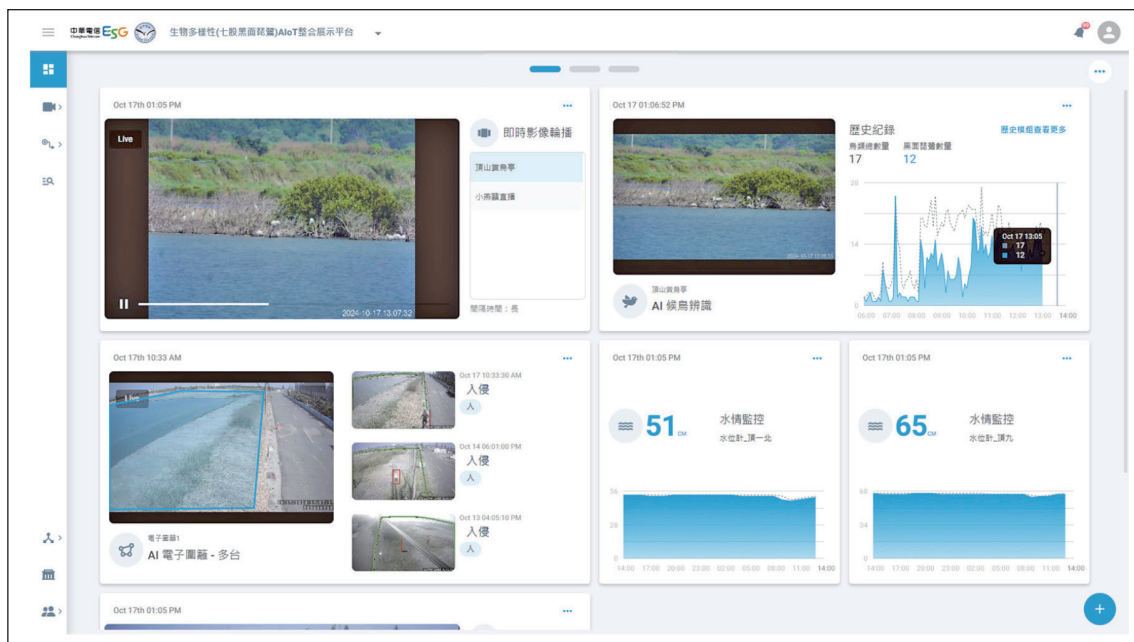


圖 11 中華電信 ESG 生物多样性 — 七股黑面琵鷺保育計畫

深刻體認到許多受威脅的植物（以下簡稱：受脅植物，即臺灣紅皮書紀錄之極危、瀕危、易危物種），由於其棲地未納入保護區法令的範圍，因此缺乏法律庇護，加上其生長地點通常位於人類活動頻繁的區域，使得棲地迅速因開發而消失，這些受脅植物正面臨極大的生存危機，因而成為最迫切需要保育的對象。

中華電信認識到企業在環境保護中的責任，決定從內部著手，將自身的營運據點轉化為受脅植物的保育基地。不僅投入資源保護這些植物，還導入本公司的 AIoT 監測技術，將科技融入保育工作中，實現即時監測與風險管理。此外，鼓勵企業員工也積極參與，成為保育解說員，向客戶及當地社區推廣植物保育及自然正向理

念。這種雙重策略不僅有助於植物的保育，更促進了自然保育與社會的緊密連結。

(2) 計畫核心

物種選擇

在物種選擇的過程中，本公司根據受脅植物在各縣市的分布情況，優先選擇那些未受保護區法令庇護的物種，這些物種往往處於極危、瀕危或易危的狀態，亟需得到保護。透過仔細調查每個縣市內這些植物的自然分布範圍，並綜合考慮其棲地環境、人類活動的干擾程度以及其面臨的威脅，制定出每個縣市的建議保育物種清單，例如選擇原生棲地位於台北之方莖金絲桃、葦草蘭、毛當歸、大屯細辛作為台北市的保育物種。這些清單將成為保育工



作的依據，幫助我們有針對性地選擇和保護最需要的物種，並確保有限的資源能夠得到最有效的利用。

場域選擇

場域的選擇將基於多項因素，包括當地的氣候與土壤條件、日照及水源供應等，並確保復育場域與植物的生長需求相匹配。

AIoT 智慧農業感測器

為了有效監測復育場域中植物的生長情況以及環境變化，本公司在場域中部署 AIoT 設備，這些設備包括溫度、濕度、光照及土壤濕度等感測器，能夠即時收集場域的環境數據，植栽工程與 AIoT 設備的設置進行密切配合，確保感測器安裝位置的選擇能夠與植物生長區域相匹配，並且能夠準確反映場域內的環境狀況。這些數據將透過雲端系統進行管理，有利於即時了

解場域內的變化，並在必要時進行調整，以確保植物的健康成長。

(3) 成果

中華電信選擇自有營運據點作為復育場域，於台北營運處選擇原生棲地位於台北之方莖金絲桃、葦草蘭、毛當歸、大屯細辛作為保育物種，透過科技的導入，為這些受脅植物的保育工作注入了新的活力，特別是利用 AIoT（人工智慧與物聯網）技術提供數位賦能以強化植物保育。AIoT 技術作為本計畫的核心解決方案，能夠實現對環境條件的即時監控，這包括溫度、濕度、光照強度、土壤濕度及其他影響植物生長的重要環境因素。透過將這些感測器安裝在植物生長的場域中，並通過雲端系統進行數據的實時傳輸與分析如圖 12，確保能夠隨時掌握植物生長環境的現況。



圖 12 中華電信 ESG 生物多樣性 — 百種保育計畫



AIoT 技術的應用不僅僅是對環境的被動監測，更重要的是它幫助本公司積極提升對受脅植物生長條件的理解，未來可通過持續收集和分析環境數據，深入了解這些受威脅植物的生長需求，從而為植物保育與復育行動建立科學的知識基礎。這些數據也可以幫助識別出植物生長過程中可能面臨的風險，例如突發的環境變化或人為干擾，並及時採取調整措施，確保植物能夠在最佳條件下健康成長。透過這種科技賦能的方式，來提升對受脅植物的保護力度，並為科學研究和未來的復育計畫提供一些參考和支持。

五、結論

本研究展現中華電信運用 AI、AIoT 與 5G 技術參與生物多樣性保育的具體作為與成效，於黑面琵鷺度冬棲地導入 AI 智慧辨識與電子圍籬系統，結合水位監測裝置與即時通報機制，成功提升棲地管理的效率與準確度，亦減少大量人工調查的人力負擔。透過即時監控與數據整合，實現候鳥行為與環境條件的科學化管理，有效維護濕地生態穩定。

在百種保育計畫中，中華電信選擇自有營運據點作為復育場域，於台北營運處選擇原生棲地位於台北之方莖金絲桃、葦草蘭、毛當歸、大屯細辛作為保育物種，針對復育植物場域建置環境感測器，蒐集溫濕度、光照與土壤數據，並透過雲端平台進行即時監測與風險調控。此舉不僅提升環境管理的主動性與精細度，也能為未來復育行動建立科學知識基礎。

透過科技與自然的整合應用，中華電信不僅落實企業在自然相關國際倡議下的責任

與實踐，也為自然正向（Nature Positive）行動提供技術示範與場域驗證。此模式未來具備擴展性與可複製性，有助企業在邁向永續發展與生態共榮目標的道路上發揮更積極的角色。

參考文獻

1. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, <https://www.unep.org/resources/kunming-montreal-global-biodiversity-framework>
2. 生物多樣性大會 (2022 年 12 月 7 日) UN Biodiversity Conference (COP 15), <https://www.unep.org/un-biodiversity-conference-cop-15>
3. 生物多樣性大會 (2024 年 11 月 2 日) Biodiversity COP 16: Important Agreement Reached Towards Goal of “Making Peace with Nature”, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2024/11/biodiversity-cop-16-important-agreement-reached-towards-goal-of-making-peace-with-nature-2/>
4. A Global Goal for Nature: Nature Positive, <https://www.naturepositive.org/>
5. The Taskforce on Nature-related Financial Disclosures, <https://tnfd.global/>
6. Science Based Targets Network, <https://sciencebasedtargetsnetwork.org/>
7. The Implementation of Biodiversity & Zero Deforestation Commitment - Patcharasuthakhachanurak Project, https://www.true.th/true-corporation/site/assets/truecorp/pdf/en/TrueBiodiversityApproach_EN.pdf
8. Biodiversity in lakes: multimodal AI crunches eADN data to monitor pollution, <https://hellofuture.orange.com/en/biodiversity-in-lakes-multimodal-ai-crunches-eadn-data-to-monitor-pollution/>
9. Tēnaka partners with Orange Business to scale its coral reef restoration program, <https://www.orange-business.com/en/press/tenaka-partners-orange-business-scale-its-coral-reef-restoration-program>
10. N. Carion, F. Massa, G. Synnaeve, N. Usunier, A. Kirillov, S. Zagoruyko, “End-to-end object detection with Transformers”, EVCC 2020: pp.213-229.
11. H. Rezatofighi, N. Tsoi, J. Gwak, A. Sadeghian, I. Reid, S. Savarese, “Generalized Intersection over Union: A Metric and A Loss for Bounding Box Regression”, CVPR 2019, DOI: 10.1109/CVPR.2019.00075