

國立臺北大學資訊工程系113學年度專題 環境永續整合監測、分析、與預測

成員：卓昌宏，黃文俊，顏韻香，梁銘甡

宏匯集團計劃編號：2024-NTPU-HHMS-03

1. 摘要

本研究建置一套整合 LoRa-IoT 與深度學習的環境監測系統，針對國立臺北大學明湖周邊進行空氣與水質的即時預測。系統透過 Arduino 感測節點蒐集 PM2.5、pH、水溶氧量、水溫與導電度等資料，並以 LoRaWAN 傳輸至雲端伺服器。後端採用 ExpressJS 與 MongoDB 架構，整合 GRU、LSTM、CNN+GRU、CNN+LSTM、Transformer 與集成模型進行 8 小時內的時間序列預測。預測結果透過中英雙語網頁即時呈現，提升校園環境透明度與決策依據。此系統具備低功耗、高擴充性，為永續校園與智慧治理提供實用的資料驅動解方。

2. 系統架構



感測節點:

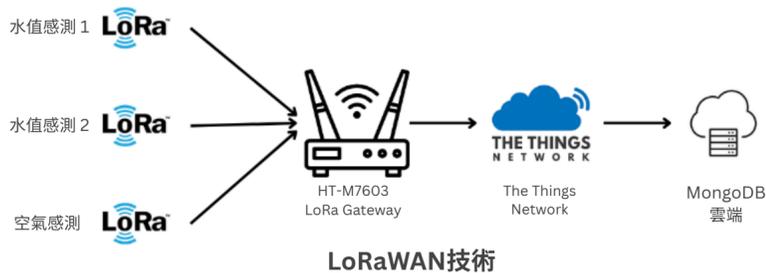
- DS18B20 (水溫)
- Gravity Analog pH Sensor V2 (pH 值)
- Gravity 溶氧感測器 (溶氧)
- Grove TDS Sensor (總溶解固體+導電度)
- SHARP GP2Y1023AU0F (PM2.5/空氣品質)

LoRaWAN 傳輸：每個節點搭載 Heltec LoRa Wi-Fi ESP32 V3，傳輸感測資料至 HT-M7603 閘道，並連接至 The Things Network (TTN) 每 10 分鐘透過 MQTT 傳送至雲端。此協定具備低功耗與長距離傳輸特性，適合校園與戶外場域。

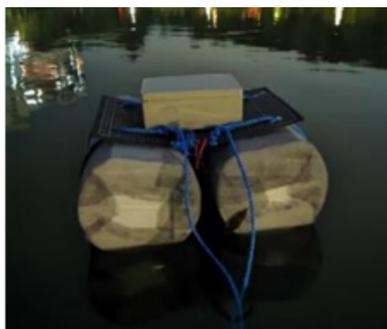
閘道器與伺服器：後端採用 ExpressJS 與 MongoDB 架構

深度學習模型：預測未來 1~8 小時的環境變化趨勢

網頁儀表板：中英雙語介面，即時顯示環境數據



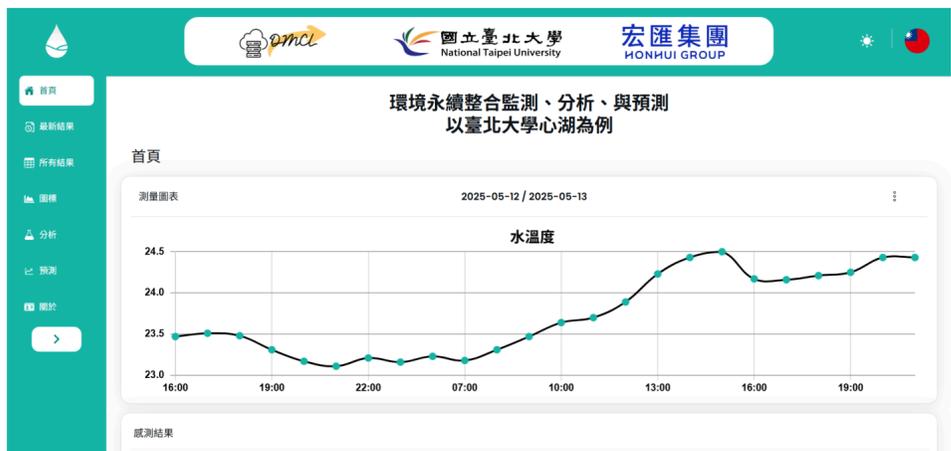
LoRaWAN技術



測量水質



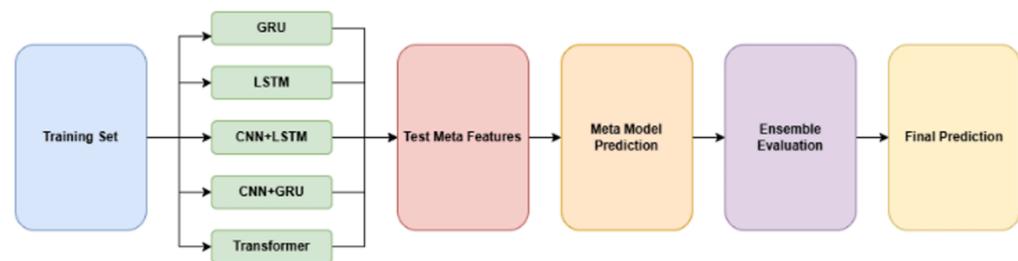
測量空氣質



網頁展示

3. 預測模型

收集的感測器資料用於訓練多個深度學習模型以進行 1-8 小時預測:GRU、LSTM、CNN-GRU、CNN-LSTM和 Transformer。每個模型都針對時間序列趨勢進行學習然後做出預測。集成學習策略結合了所有基礎模型的輸出，以提高預測準確性和穩健性。這種方法系統會有效地處理非線性環境變化和利用長程時間依賴性。



Ensemble model 集成學習模型

Multiple Linear Regression 取 5 個模型預測輸出值作為模型的輸入

$$y_n = \alpha_{n1}x_{n1} + \alpha_{n2}x_{n2} + \alpha_{n3}x_{n3} + \alpha_{n4}x_{n4} + \alpha_{n5}x_{n5} + \beta,$$

4. 結果

使用 RMSE、MAE、R²判斷模型效能，評估預測誤差大小、平均偏差和變異數的指標。其中，集成學習始終提供最穩定、最準確的結果。

如下詳細分析:

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n-1} (y_i - f_i)^2}{n}}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} |y_i - f_i|}{n}$$

Model	MAE				
	Water Temperature	pH	Oxygen	PM2.5	TDS/EC
GRU	0.0108	0.076	0.0383	1.156	1.3813
LSTM	0.0123	0.078	0.0384	1.253	1.5111
CNN + GRU	0.0124	0.072	0.0377	1.243	1.7
CNN + LSTM	0.0173	0.08	0.0579	1.253	1.81
Transformer	0.0193	0.072	0.0467	1.661	1.76
Ensemble	0.0091	0.077	0.0341	1.179	1.37

一小時預測 MAE 結果

Model	R ²				
	Water Temperature	pH	Oxygen	PM2.5	TDS/EC
GRU	0.9738	0.917	0.9397	0.899	0.9514
LSTM	0.9673	0.916	0.9387	0.889	0.942
CNN + GRU	0.9657	0.927	0.9453	0.904	0.9406
CNN + LSTM	0.9334	0.905	0.9079	0.903	0.9299
Transformer	0.9286	0.921	0.9334	0.874	0.9423
Ensemble	0.9797	0.942	0.9532	0.916	0.9515

一小時預測 R² 結果

Model	RMSE				
	Water Temperature	pH	Oxygen	PM2.5	TDS/EC
GRU	0.0196	0.101	0.0791	3.151	0.0103
LSTM	0.0214	0.105	0.078	3.124	0.0106
CNN + GRU	0.0228	0.099	0.0699	2.96	0.0113
CNN + LSTM	0.0265	0.112	0.0881	2.95	0.0111
Transformer	0.0265	0.091	0.0837	3.23	0.0105
Ensemble	0.0195	0.093	0.0656	2.843	0.0104

一小時預測 RMSE 結果

5. 主要貢獻

- 該系統可作為水與空氣污染的監測與預警平台，並具高度可擴展性，可部署於其他校園或社區場域。
- 所提出的環境監測系統成功地展示了深度學習模型和物聯網技術的應用，以提供關鍵環境參數的即時監測、預測。
- 該系統還提供了可擴展且經濟高效的解決方案，用於支持學術環境中數據驅動的環境管理和決策。

6. 結論

本研究提出一套整合物聯網與深度學習的智慧環境系統，聚焦於即時監測、數據分析與未來預測三大核心功能。透過多點感測節點與 LoRaWAN 傳輸技術，系統能低功耗穩定蒐集關鍵水質與空氣參數；搭配多種深度學習模型進行時間序列分析與預測，實現 1~8 小時預測能力。集成模型整體表現最穩定，而單一模型則可依參數特性彈性選用，具備高度適應性。

本系統具備模組化、可擴展與成本效益佳等特性，未來可應用於校園、社區、水源保育與災害預警等多元場域，為推動智慧環境治理與永續發展提供一套資料驅動的實用方案。

贊助商:

宏匯集團
HONHUI GROUP