

113-008-7D47

MOTC-IOT-112-H2CB001a

港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)- 空間基礎資料建構及影像檢監測 應用技術發展



交通部運輸研究所

中華民國 113 年 3 月

113-008-7D47

MOTC-IOT-112-H2CB001a

港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)- 空間基礎資料建構及影像檢監測 應用技術發展

著者：韓仁毓、洪維屏、李俊穎、蔡立宏、吳日騰、
林之謙、黃春嘉、甘翊萱、林育銓、王海威

交通部運輸研究所

中華民國 113 年 3 月

GPN : 1011300197

定價 300 元

港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展/韓仁毓、洪維屏、李俊穎、蔡立宏、吳日騰、林之謙、黃春嘉、甘翊萱、林育銓、王海威著.--初版.--臺北市:交通部運研所, 民 113.03

面; 公分

ISBN 978-986-531-570-2 (平裝)

1.CST: 港埠工程 2.CST: 環境監測 3.CST: 影像分析

443.2

113001487

港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展
著者: 韓仁毓、洪維屏、李俊穎、蔡立宏、吳日騰、林之謙、黃春嘉、甘翊萱、林育銓、王海威

出版機關: 交通部運輸研究所

地 址: 105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址: www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話: (04)2658-7200

出版年月: 中華民國 113 年 3 月

印 刷 者: 綠凌興業社

版(刷)次冊數: 初版一刷 51 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價: 300 元

展 售 處:

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話: (02)2349-6789

國家書店松江門市: 10485 臺北市中山區松江路 209 號•電話(02)2518-0207

五南文化廣場: 400002 臺中市區中山路 6 號•電話: (04)2226-0330

GPN: 1011300197 ISBN: 978-986-531-570-2 (平裝)

著作財產權人: 中華民國(代表機關: 交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利, 欲利用本著作全部或部份內容者, 須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN：978-986-531-570-2(平裝)	政府出版品統一編號 1011300197	運輸研究所出版品編號 113-008-7D47	計畫編號 MOTC-IOT-112-H2CB001a
本所主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：李俊穎 研究人員：洪維屏 聯絡電話：04-26587193 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立臺灣大學 計畫主持人：韓仁毓 協同主持人：林之謙、吳日騰、黃春嘉 研究人員：甘翊萱、林育銓、王海威 地址：臺北市羅斯福路四段1號 聯絡電話：02-3366-4347		研究期間 自 112 年 2 月 至 112 年 11 月
關鍵詞：空中無人載具、地面無人載具、水下無人載具、影像技術、設施巡檢			
摘要： 本計畫主要目標為針對臺北港設施物件進行辨識，同時建立完善之港區 UAV 影像管理與分析平台，提高港區構造物管理效率和即時性。此外，延續臺中港之成果架構且持續精進，今年完成建立高精細之港區空間基礎資料，且利用港區氣象資料，進行不同種類無人載具適用性評估，另也擴展評估範疇，不僅針對空中無人載具，也將地面無人車納入評估範圍，並進行實地試驗，測試其自主導航能力，嘗試搭載熱感相機和氣體偵測器。空中無人飛行載具定期進行巡檢影像拍攝，持續針對岸邊設施物件進行辨識，另新增堤面胸牆歪斜檢測、變電箱溫度偵測和碼頭伸縮縫走向等三項辨識物件。最後，以臺中港平台功能為基礎，將二維平台升級至三維平台，提供使用者一個快速掌握港區情況的實用工具。 藉由計畫所發展之自動化感測技術技術，除可擴大應用於港區的定期巡檢任務，並可針對特定任務與目標進行自動化的追蹤與判斷，降低人力負擔並提升任務執行品質。此外，所建立之高解析空間影像與三維地形模型資料可為後續港區管理提供基礎參考數據。未來的發展包括載具功能整合和新增辨識物件，這將進一步提升營運管理效能，為港區管理提供更全面的解決方案。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
113 年 3 月	221	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: The Research on Port Area Image Intelligent Recognition Technology (1/3) - Development of Spatial Infrastructure Data Construction and Image Inspection and Monitoring Application Technology.			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-570-2 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011300197	IOT SERIAL NUMBER 113-008-7D47	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-112-H2CB001a
DIVISION: Transportation Technology Research Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chun-Ying Lee PROJECT STAFF: Wei-Ping Hung PHONE: 886-4-26587126 FAX: 886-4-26560661			PROJECT PERIOD FROM Feb. 2023 TO Nov. 2023
RESEARCH AGENCY: National Taiwan University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jen-Yu Han Co-PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jacob Je-Chian Lin, Rih-Teng Wu , Chun-Jia Huang PROJECT STAFF: Yi-Hsuan Kan, Yu-Chun Lin, Chun-Ting Chen, Hai-Wei Wang ADDRESS: No. 1, Sec. 4, Roosevelt Rd., Taipei City PHONE: 886-2-3366-4347			
KEY WORDS: UAV, GUV, ROV, Imaging Technology, Facility Inspection.			
ABSTRACT : The main goal of this project is to identify facilities and objects in the Taipei Port area while simultaneously establishing a comprehensive UAV image management and analysis platform to improve the efficiency and timeliness of port infrastructure management. Additionally, building upon the achievements of the Taichung Port project, this year's objectives include establishing high-resolution spatial infrastructure data for the port area and assessing the suitability of various types of unmanned aerial vehicles (UAVs) using port meteorological data. The evaluation scope will be expanded to include ground-based unmanned vehicles, with field tests conducted to assess their autonomous navigation capabilities and the feasibility of integrating thermal cameras and gas detectors. Regular aerial UAV patrols will be conducted to continuously identify shoreline facilities, as well as detecting deviations in seawall structures, monitoring transformer box temperatures, and identifying the orientation of dock expansion joints. Finally, leveraging the functionalities of the Taichung Port platform, the 2D platform will be upgraded to a 3D platform to provide users with a practical tool for quickly understanding the port situation. Through the development of automated sensing technologies in this project, the scope of regular port inspections can be expanded, and automated tracking and decision-making for specific tasks and targets can be implemented to reduce manpower burden and enhance task execution quality. Additionally, the high-resolution spatial imagery and 3D terrain model data established will serve as fundamental reference data for future port management. Future developments will focus on integrating vehicle functions and adding new object recognition capabilities, further enhancing operational efficiency and providing a more comprehensive solution for port management.			
DATE OF PUBLICATION March, 2024	NUMBER OF PAGES 221	PRICE 300	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	IX
表目錄.....	XV
第一章 前言	1-1
1.1 研究動機與目的	1-1
1.1.1 研究動機.....	1-1
1.1.2 研究目的.....	1-1
1.2 文獻回顧.....	1-2
1.2.1 傳統巡檢.....	1-2
1.2.2 無人載具發展與應用(空中、地面、水下).....	1-3
1.2.3 影像技術發展與應用難度	1-4
1.3 工作項目與流程	1-4
第二章 無人載具以及感測器硬體系統分析	2-1
2.1 空中無人載具.....	2-1
2.1.1 載具類型分析	2-1
2.1.2 飛行里程.....	2-3
2.1.3 感測器分析	2-6

2.2 地面無人載具.....	2-9
2.2.1 載具類型分析	2-9
2.2.2 行走里程.....	2-10
2.2.3 感測器分析	2-10
2.3 水下無人載具.....	2-17
2.3.1 載具類型分析	2-17
2.3.2 航行里程.....	2-18
2.3.3 感測器分析	2-19
2.4 本章小結.....	2-20
第三章 港區高細緻空間基礎資料建構	3-1
3.1 地形資料蒐集.....	3-1
3.1.1 控制點測量	3-1
3.1.2 影像資料蒐集	3-2
3.1.3 數值地形模型成果	3-3
3.1.4 正射影像成果	3-5
3.2 氣象資料蒐集.....	3-7
3.2.1 空中無人載具抗風與防水條件定義	3-7
3.2.2 港區風速評估	3-7
3.3 空中載具適宜性評估	3-13
3.4 本章小結.....	3-15
第四章 地面無人載具控制邏輯方法	4-1

4.1 操作介面說明.....	4-1
4.2 移動模式建構方法	4-2
4.3 路徑自動規劃.....	4-6
4.4 感測器測試(氣體、熱紅外).....	4-8
4.4.1 有毒極易燃氣體感測器	4-8
4.4.2 熱紅外感測器	4-9
4.5 本章小結.....	4-11
第五章 感測資料自動化辨識技術發展於臺中港	5-1
5.1 舊有標的物.....	5-1
5.2 岸邊設施自動化辨識分析	5-1
5.2.1 舊有辨識模型	5-1
5.2.2 新模型嘗試	5-4
5.2.3 辨識流程.....	5-7
5.2.4 辨識結果.....	5-8
5.3 北堤路路況自動化辨識流程	5-11
5.3.1 舊有辨識模型	5-11
5.3.2 新模型嘗試	5-12
5.3.3 辨識流程.....	5-15
5.3.4 辨識結果.....	5-15
5.4 本章小結.....	5-16
第六章 感測資料自動化辨識技術發展於臺北港	6-1

6.1 新增標的物(變電箱、堤面胸牆、碼頭伸縮縫).....	6-1
6.2 變電箱自動化辨識分析	6-1
6.2.1 模型選擇.....	6-1
6.2.2 辨識流程.....	6-2
6.2.3 辨識結果.....	6-4
6.3 堤面胸牆智慧化辨識流程	6-6
6.3.1 模型選擇.....	6-6
6.3.2 辨識流程.....	6-8
6.3.3 辨識結果.....	6-9
6.4 碼頭伸縮縫自動化辨識流程	6-10
6.4.1 模型選擇.....	6-10
6.4.2 辨識流程.....	6-10
6.4.3 辨識結果.....	6-12
6.5 本章小結.....	6-14
第七章 系統整合平台	7-1
7.1 平台架構與功能介紹	7-1
7.1.1 基本圖層.....	7-1
7.1.2 量測功能.....	7-3
7.1.3 UAV 航線規劃	7-4
7.1.4 UAV 斜拍調查影像查詢	7-7
7.1.5 Footprint 查詢功能.....	7-8

7.1.6 岸邊設施物件辨識成果列表	7-8
7.1.7 路面破損評分	7-9
7.2 預計功能規劃.....	7-10
7.2.1 路面行車路線規畫功能	7-10
7.2.2 氣體偵測異常提示	7-11
7.3 本章小結.....	7-11
第八章 實地驗證與品質評估	8-1
8.1 無人機影像品質檢核	8-1
8.1.1 原始影像解析度檢核	8-1
8.1.2 正射影像幾何精度檢核	8-2
8.1.3 數值地形模型高程精度檢核	8-2
8.2 取像邏輯規劃檢核	8-4
8.2.1 地面機器人路徑正確性檢核	8-4
8.3 標的物件辨識及變遷偵測信賴度評估	8-5
8.4 道路破損評分.....	8-6
8.4.1 裂縫分級定義	8-6
8.4.2 裂縫密度計算方法	8-8
8.4.3 路面裂縫評估成果	8-13
8.5 本章小結.....	8-18
第九章 結論與建議	9-1
9.1 結論.....	9-1

9.2 建議.....	9-2
9.3 成果效益與後續應用情形	9-3
參考文獻.....	參-1
附錄一、工作會議紀要	附 1-1
附錄二、期中審查意見處理情形表	附 2-1
附錄三、期末審查意見處理情形表	附 3-1
附錄四、期末審查簡報資料	附 4-1

圖目錄

圖 2.1 多旋翼機安全係數 0.5 飛行面積範圍	2-4
圖 2.2 多旋翼機安全係數 0.7 飛行面積範圍	2-5
圖 2.3 定翼機安全係數 0.7 飛行面積範圍	2-6
圖 2.4 MPS 可燃氣體感測器輸出氣體分類詳細資訊	2-15
圖 2.5 航行路徑及測區示意圖	2-19
圖 3.1 臺北港 GNSS 控制點分布圖	3-1
圖 3.2 臺北港 GNSS 控制點與既有控制點分布圖	3-2
圖 3.3 航帶範圍與控制點分布圖	3-3
圖 3.4 臺北港陸域合併平均潮位高之數值地形模型圖	3-4
圖 3.5 臺北港陸域水下地形之數值地形模型圖	3-4
圖 3.6 臺北港正射影像圖	3-5
圖 3.7 正射影像解析度展示	3-6
圖 3.8 正射影像解析度展示	3-6
圖 3.9 臺北港氣象站分布圖	3-8
圖 3.10 小綠燈塔站風速資料	3-9
圖 3.11 資料浮標風速資料	3-9
圖 3.12 觀測樁站風速資料	3-9
圖 3.13 八里站風速資料	3-10
圖 3.14 北二碼頭站風速資料	3-10
圖 3.15 FNN 架構圖	3-11
圖 3.16 本計畫風速資料訓練架構圖	3-11
圖 3.17 每個月 Training loss 成果	3-12

圖 3.18 每個月 MAE 成果.....	3-12
圖 3.19 FNN 風速預估成果圖	3-13
圖 3.20 多旋翼無人機每月可飛行天數占比	3-14
圖 3.21 定翼無人機每月可飛行天數占比	3-14
圖 4.1 RVIZ 使用者界面的示意圖	4-1
圖 4.2 臺北港港區道路示意圖	4-2
圖 4.3 (a) 局部和全域成本地圖 (b) 成本地圖中的膨脹半徑	4-3
圖 4.4 基於 UGV 運動模式的 DWA Planner 路徑選擇的可視化	4-6
圖 4.5 路徑規劃及避障參數視覺化	4-7
圖 4.6 (a) 實驗 01 (b) 實驗 02 (c) 實驗 03 (d) 實驗 04	4-8
圖 4.7 (a) 紅外線熱像儀測試目標 (b) 使用 Flir Vue Pro 測試物體 表面的溫度	4-10
圖 4.8 (a) Flir One Pro (b) FLir Lepton FS	4-11
圖 4.9 Flir Vue Pro 測試結果	4-11
圖 5.1 臺中港岸邊設施自動化辨識分析流程(單張 POI 影像為例)..	5-2
圖 5.2 測試資料模型辨識結果(以臺中港成果為例)	5-3
圖 5.3 臺中港模型套用於臺北港影像上之不同影像分割成果	5-4
圖 5.4 臺北港岸邊設施各物件樣態	5-5
圖 5.5 Yolov8 訓練與驗證的模型效能	5-6
圖 5.6 臺北港 Yolov8 模型於驗證資料集上的混淆矩陣	5-6
圖 5.7 臺北港模型岸邊設施自動化辨識分析流程(單張 POI 為例)..	5-7
圖 5.8 POI 影像(中間)與鄰近的影像	5-7
圖 5.9 經投影轉換後的左右鄰近影像	5-8
圖 5.10 將鄰近影像的偵測結果投影至 POI 影像上	5-8

圖 5.11 (a)單一 POI 影像的辨識結果、(b)POI 影像與鄰近影像合併的 辨識結果	5-9
圖 5.12 基期影像投影至 POI 影像	5-10
圖 5.13 與基期比對結果	5-10
圖 5.14 U-net 架構(Ronneberger et al., 2015)	5-11
圖 5.15 本地資料集圖片與對應標註	5-12
圖 5.16 U-Net++架構	5-13
圖 5.17 臺北港正射影像，紅框處即為臺北港測試資料位置	5-14
圖 5.18 (a), (b)為臺中港資料，(c), (d)為臺北港資料	5-14
圖 5.19 模型預測流程	5-15
圖 5.20 圖解 intersection over union(IoU) 。	5-16
圖 6.1 YOLOv8 物件辨識(變電箱)架構圖(Aboah et al 2023) 。	6-2
圖 6.2 變電箱辨識流程 。	6-3
圖 6.3 變電箱訓練樣本(樣本增強 Data Augmentation)	6-3
圖 6.4 模型訓練成果圖	6-5
圖 6.5 變電箱偵測以及溫度萃取	6-6
圖 6.6 FPN 語意分割模型架構(Zhao, K. et al., 2019)	6-7
圖 6.7 胸牆原始影像資料（左）與標註資料（右）	6-7
圖 6.8 霍夫直線偵測各階段成果	6-8
圖 6.9 胸牆歪斜辨識流程	6-9
圖 6.10 POI 影像的 2 期影像	6-9
圖 6.11 兩期胸牆辨識流程的各步驟結果	6-10
圖 6.12 伸縮縫檢測流程	6-10
圖 6.13 圖解霍夫直線檢測	6-12

圖 6.14 模型的預測結果	6-12
圖 6.15 (a)原圖 (b)原始預測結果 (c)霍夫直線檢測法檢測出直線 .	6-13
圖 6.16 受重物補強的胸牆與其語意分割結果	6-14
圖 7.1 平台功能架構圖.....	7-1
圖 7.2 國土測繪中心正射影像	7-2
圖 7.3 本計畫拍攝製作的正射影像	7-2
圖 7.4 本計畫拍攝製作的數值地形模型	7-3
圖 7.5 內政部提供的建物 3D 模型.....	7-3
圖 7.6 距離量測功能	7-4
圖 7.7 面積量測功能.....	7-4
圖 7.8 航線規劃成果(單點環行(左)、多點巡航(中)、地形測繪(右))	7-5
圖 7.9 飛行路徑規劃功能.....	7-5
圖 7.10 飛行點位圈繪及規劃參數輸入	7-6
圖 7.11 規劃提示視窗	7-6
圖 7.12 規劃成果列表	7-6
圖 7.13 巡檢影像上傳	7-7
圖 7.14 巡檢影像查看頁面	7-7
圖 7.15 AI 辨識成果查看	7-8
圖 7.16 影像 footprint 展示示意圖	7-8
圖 7.17 岸邊設施辨識成果列表示意圖	7-9
圖 7.18 設施辨識成果展示示意圖	7-9
圖 7.19 路面破損評分展示畫面示意圖	7-10
圖 7.20 路面行車路線規劃功能示意圖	7-10

圖 7.21 氣體偵測異常提示功能示意圖	7-11
圖 8.1 原始 UAV 航拍影像.....	8-1
圖 8.2 檢核點坐標分布圖	8-3
圖 8.3 (a) 地面機器人路徑正確性檢核實驗地點 (b) 地面機器人路 徑記錄在 RVIZ 顯示	8-4
圖 8.4 不同拍攝角度變電箱偵測成果	8-6
圖 8.5 模型的預測結果	8-6
圖 8.6 輕級裂縫	8-7
圖 8.7 中級裂縫	8-7
圖 8.8 重級裂縫	8-8
圖 8.9 圖解骨架正交法	8-9
圖 8.10 圖解骨幹化	8-10
圖 8.11 骨架化成果(紅色為放大的裂縫，綠色為骨架)	8-10
圖 8.12 裂縫預測及定位之流程圖	8-14
圖 8.13 航攝影像的資訊以及正射影像之間的關係	8-14
圖 8.14 SIFT 檢測的成果	8-15
圖 8.15 (a)正射影像原圖 (b)路面分段圖 (c)放大檢視.....	8-15
圖 8.16 分段評分結果	8-16
圖 8.17 路面裂縫評估圖	8-16
圖 8.18 編號 20 路段.....	8-17
圖 8.19 編號 32 路段.....	8-17
圖 8.20 編號 71 路段.....	8-18

表目錄

表 2-1 多旋翼機載具規格表	2-2
表 2-2 定翼機載具規格表	2-3
表 2-3 多旋翼 UAV 飛行總里程(總距離)範例計算	2-4
表 2-4 旋翼 UAV 不同安全係數最遠飛行距離計算(折返)	2-4
表 2-5 多旋翼 UAV 飛行總里程(總距離)範例計算	2-5
表 2-6 定翼機 UAV 飛行總里程範例計算	2-6
表 2-7 光學相機	2-7
表 2-8 熱感應相機	2-8
表 2-9 光達感測器	2-8
表 2-10 Robomaster 和 Jackal UGV 規格比較	2-9
表 2-11 Robomaster 和 Jackal UGV 安全係數比較	2-10
表 2-12 光達感測器規格	2-12
表 2-13 攝影機規格	2-13
表 2-14 氣體感測器規格	2-14
表 2-15 有毒及易燃氣體感測器	2-15
表 2-16 熱感相機	2-16
表 2-17 無人遙控載具機型	2-18
表 2-18 ROV 航行里程計算(混合型)	2-19
表 2-19 適用水下光學相機規格	2-20
表 2-20 水下定位模組比較	2-20
表 3-1 臺北港 GNSS 控制點觀測成果表	3-2
表 3-2 影像資料蒐集基本資料表	3-3

表 3-3 蒲氏風力級數與無人機最大抗風條件表.....	3-7
表 3-4 多旋翼無人機每月可飛行天數占比.....	3-13
表 3-5 定翼無人機每月可飛行天數占比.....	3-14
表 4-1 有毒及易燃氣體感測器實驗設置.....	4-9
表 4-2 有毒及易燃氣體感測器實驗結果.....	4-9
表 4-3 紅外線熱像儀實驗結果.....	4-10
表 5-1 過去已辨識之標的物.....	5-1
表 5-2 岸邊設施 Mask R-CNN 辨識模型統計於驗證資料集之效能	5-2
表 5-3 測試資料模型辨識結果統計(以臺中港成果為例).....	5-3
表 5-4 舊模型的訓練細節.....	5-12
表 5-5 新模型的訓練細節.....	5-15
表 5-6 模型表現.....	5-16
表 6-1 基本模型訓練參數設置表.....	6-4
表 6-2 變電箱型訓練成果表.....	6-5
表 6-3 碼頭伸模型訓練成果表.....	6-12
表 8-1 斑馬線影像尺寸檢核表.....	8-2
表 8-2 DSM 誤差精度統計表.....	8-3
表 8-3 折減值計算表.....	8-11
表 8-4 修正折減值計算表.....	8-12
表 8-5 PCI 等級對照表.....	8-13

第一章 前言

1.1 研究動機與目的

1.1.1 研究動機

無人移動載具在近年發展成熟，其具有高度的移動性以及遠距自動導控功能，並已應用於空中、地面、室內與室外空間，能取代人力快速且輕易到達過去不容易接近之區域，此外，搭配現代化的感測與高速通訊技術，則可即時獲取大量空間觀測資訊。然而，為有效利用這些大量空間觀測數據，合適且自動化的分析技術為其重要關鍵。另一方面，人工智慧技術於近期有大幅度發展，透過適當訓練程序與學習策略，可針對大量數據進行快速的分析與判斷。若能有效整合無人飛行載具影像與各式空間資訊，針對特定應用標的導入適當影像辨識學習技術，以港區實際案例進行驗證，便能有效應用這些新科技，建立智慧港區之示範管理方案。

1.1.2 研究目的

港區使用單位多且任務繁雜，相關設施之利用與管理為港區營運之重要工作。然而港區幅員廣大，且人力有限，如何有效率且智慧化的掌握各區域之使用狀況並妥善管理，為一重要議題。另一方面，目前各類感測技術雖可有效獲取大量現地觀測資訊，但以人工判讀耗時費力，反而降低實務應用效能，而特殊任務需求，在有限的管理人力下，若無適當的科技輔助，將更顯額外負擔。

本計畫目的為以臺北港為示範港區，建立一套結合無人移動載具及現代化感測技術之港區多維度空間資訊整合與智慧化應用方案。未來此方案，將能有效且定期整合港區各式空間資料，以自動化演算邏輯進行分析判斷，定期比對港區使用狀況與環境條件，並針對特殊事件開發合適的偵測與即時分析模組，藉以達到港區自動化管理效能。本計畫研究成果，將能提供上述問題實務解決方案，在人力持續精簡的長期趨勢之下，以現代化多維度感測、即時通訊傳輸

與智慧化空間資訊分析技術，來提供港區營運管理與安全之重要參考數據。

1.2 文獻回顧

1.2.1 傳統巡檢

巡檢可以確保設備資產完整，並依據各項數據的變化或趨勢來安排後續檢查及維修保養工作，進而維繫應有效能並提升安全性，以本計畫的港區為例，不僅提供港區物流業者腹地，供其興建倉儲設施，亦搭配各國際商港港口區位，但由於腹地範圍包含陸地及部分出海口，為了管理之方便及維護各項設施的完整，巡檢工作的必要性和重要性因此備受重視。

目前港區巡檢多以人工為主，透過巡檢人員攜帶巡檢紀錄表格進行巡檢作業，依據不同檢查類別，各自判定標準執行檢測診斷，而方法多為目視並依需求配合儀器進行詳細檢測，最後將結果根據量表記錄於表格上，然而，往往會造成 20%至 30%的錯誤率(Drury & Fox, 1975)。儘管現已有相關作業平台，仍必須花費人力將巡檢紀錄結果手動輸入電腦，無形中增加誤植之機率(See, 2012)。此外，在有限的人力及預算下，無法經常性檢測各項目，而是使用定期檢測將分類依照輕重緩急，歸類為年、季、月、周及日，許多設施發生問題無法及時處理。

近年來自動化巡檢觀念的興盛，相關技術已被套用在不同領域，自動化並非意味著人力的取代，相反的是巡檢流程結構的改變，將人力資源應用於更有價值的地方，利用機器從事繁複的任務減少紀錄及判斷錯誤，研究顯示這將提高結果可靠性和準確性(See et al., 2017)，對設施的安全維護提供重要幫助，也可使巡查次數更加頻繁，及時處理突發狀況。

1.2.2 無人載具發展與應用(空中、地面、水下)

不同類型的空中、地面以及水下無人載具（Unmanned Vehicles）在各個領域發展與應用正急速擴展。這些技術的進展帶來了無限的應用潛力，並對當前的生活和各行業產生深遠的影響。

在無人機（Unmanned Aerial Vehicles，UAVs）方面，已在多個領域取得了重大突破。憑藉著可進行遠端操作、相對較低的成本以及高度的機動性，無人機在安全、監控、監視、災害管理、遙感、搜索和救援（SAR）、建設和基礎設施檢查、精準農業、實時交通路況監控以及自動化森林恢復等領域中得到廣泛應用。此外，無人機有望提供新的生產模式、服務形式以及作戰方式。至今無人機系統的應用領域已擴展至農業、林業、畜牧業、工業、服務業和軍事等各個領域。

地面無人載具（Unmanned Ground Vehicles，UGVs）泛指自主車輛或機器人。與空中無人載具不同，它們能夠在複雜的地形中穿梭移動，並執行危險任務，而不需要將人員置於危險之中。UGVs也在自動化倉儲管理和物流方面發揮關鍵作用，透過設定路線來移動和放置貨物，進而提高生產效率。此外，它們還被廣泛應用於城市規劃和基礎設施維護，協助城市實現智慧城市的目標。

水下無人載具包括遙控操作載具（Remotely Operated Vehicles，ROVs）和自主操作載具（Autonomous Underwater Vehicles，AUVs）。ROV 是由遠程操作的無人載具，通常由遙控操作員控制。它們通常與水面船隻相連，透過電纜進行通訊和供電。ROV 的優勢在於可以執行高度精確和複雜的任務，因為受到操作員的實時控制，這使得 ROV 在深海探索、海底工程和油氣開發等領域中有極大幫助。AUV 則是自主操作的無人載具，它們不需要實時人工干預。這些載具通常根據預定的程序和內置的感測器執行各種任務，並能夠在水下環境中自主導航。AUV 在科學研究、海洋調查和環境監測等領域中非常有價值。它們可以長時間在水下工作，執行數據採集、地質研究、海洋生態學等任務。

1.2.3 影像技術發展與應用難度

影像測繪技術隨著時間不斷推陳出新，航空攝影測量領域也因此而受惠，記錄媒介從類比影像演進到數位元影像，許多在電腦視覺計算上的理論，也逐漸被引進到數位攝影測量應用當中。結合無人機飛行拍攝，高機動性優勢條件提供如海(岸)上構造、邊坡崩塌等不易抵達區域進行影像蒐集，Colomina and Molina (2014) 以地理定位高解析影像經正射化、點雲資訊產製有效利用於空間環境監測。然而，當時序性影像執行環境變遷比較時，歷史拍攝影像易因缺乏地理定位參考資訊，需採用人工方式逐張比對辨識，大量影像人力辨識將降低監測效益。

透過拍攝影像中顏色可觀察到目標物屬性特色，然而，外在光源條件如天氣、日夜等變化將使成像特徵顏色有所差異，因此，過去研究採用的策略大致可分為兩種，其一是以紅-綠-藍空間(RGB space)為基礎，計算目標顏色在整幅影像中的相對灰階值大小以做為二值化依據(Soheilian et al., 2013)；另一種方法為 Hearn (1986)提出以 RGB 色彩模型基礎，透過非線性轉換，建構色相-飽和度-明度空間(Hue Saturation Value, HSV)轉換模型，利用色相與飽和度對同樣顏色的穩定性，決定不受光照環境影響的門檻值(Jau et al., 2008)。

影像匹配豐富應用於各影像類別，如近距離攝影、航拍圖像及車輛辨識(Liu et al., 2011; Shan et al., 2014; Malik and Siddiqi, 2014; Li et al., 2015)，此外 Tsai and Lin (2017)和 Zhuo et al. (2017)指出現行無人機影像匹配偵測多建立於已知位置或飛行高度，其中圖像比例大小與旋轉為特徵偵測之效率產生巨大影響。因此，透過無人機影像匹配技術發展，將凸顯空間鏈接與實現時序性監測研究價值。

1.3 工作項目與流程

本計畫 112 年主要工作項目及內容分述如下：

(1) 無人移動載具（包含空中及地面）以及感測器硬體系統分析

依據臺北港環境條件、任務需求，探討相關硬體規格及精度需求，分析評估最適當之無人移動載具及感測器硬體組合，並蒐集水下無人移動載具進行巡查之相關案例。

(2) 港區高細緻空間基礎資料建構

藉由空中無人飛行載具所蒐集之大量資料，建構臺北港細緻化之三維環境模型，包含其空間幾何以及屬性特徵等，做為後續管理應用之基礎。

(3) 感測資料自動化辨識技術發展

藉由無人移動載具所蒐集之資料，建立港區特定物件，除原以辨識之項目外，再新增 3 項標的物（變電箱溫度、伸縮縫及胸牆歪斜）之訓練樣本，並採用機器學習技術，發展自動化辨識技術。

(4) 品質評估與行動依據

評估整體工作流程下所得成果之精度，並以實地觀測成果進行品質驗證，做為後續管理決策行動建立參考依據。

(5) 教育訓練

辦理 1 場教育訓練以推廣研究成果。

(6) 其他相關工作

針對計畫重要成果，製作可供展示之簡報或影片電子檔；將本期計畫成果投稿港灣報導季刊或運輸計劃季刊、國內外期刊、學術研討會；參考「政府研究資訊系統(GRB)」之「績效指標(實際成果)資料格式」及「佐證資料格式」，就本計畫成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究/計畫成果及重大突破，提供至少 1 篇可供投稿之學術論文（國內、外重要學術研討會或期刊論文）與 1 本研究報告。

第二章 無人載具以及感測器硬體系統分析

2.1 空中無人載具

2.1.1 載具類型分析

(1) 多旋翼機介紹

多旋翼機由多個旋翼動力組件組成的飛行器，同時具備垂直起降的功能。根據承載能力和滯空能力，隨時調整飛行速度、高度和方向，具備相對較高的機動性，適用於地形起伏較大的區域。根據民航局多旋翼無人機重量和證照分級規範標準，可分為 Type1、Type2、Type3、Type4 四個類別，其規格如表 2-1 所示。Type1 重量在 250 克以下，例如，K60PRO 6K 屬於較輕型的多旋翼機，大部分 Type1 的無人機飛行時間約為 15 分鐘，飛行總里程(總距離)約 2750 公尺，常用於室外小範圍飛行或定點飛行，不適用於巡檢任務。Type2 重量在 250 克至 2 公斤之間，目前在該級別中表現最佳的是 Yuneec Typhoon H Pro，其重量雖不超過 2 公斤，但能搭載 6 個旋翼，這在同級別中相對較少見，從而提高了穩定性，並具備前置超聲波避障感應器，是目前最新型的機型。本計畫採用美國 Autel Robotics EVO II，其機身設計可靈活執行飛行任務，鏡頭可調角度範圍並為所有機型中最廣的，適合巡檢任務。此外，Type2 也屬於大眾最常使用的多旋翼機，大部分無人機飛行時間約為 25 分鐘，飛行總里程(總距離)約 4850 公尺。

Type3 重量在 2-15 公斤之間，例如，性能較好且較新型的機型是德國 Aibotix X6，它是一款 6 軸無人機，可更換多種傳感器，Type3 大部分無人機的飛行時間約為 20 分鐘。Type2 和 Type3 常被用於地形測繪和巡檢飛行。Type4 的重量在 15-25 公斤之間，是分級中最重的無人機，大部分用於農藥噴灑或其他特殊用途，例如，國產 EG2 Pro 植保機。

表 2-1 多旋翼機載具規格表

項目	Type1	Type2	Type3	Type4
重量	250 克	250 克-2 公斤	2 -15 公斤	15 -25 公斤
旋翼數量	4 槳	4 槳	4 槳 或 6 槳	4 槳 或 6 槳
最大飛行時間	15 分鐘	25 分鐘	20 分鐘	20 分鐘
總飛行距離	2750m	4850m	3800m	3800m
抗風	4 級風	6 級風	4-6 級風	4-6 級風
酬載重量	無法	200 克以下	2 公斤以下	10 公斤以下
重量	250 克	250 克-2 公斤	2 公斤-15 公斤	15 公斤-25 公斤
用途	室外小範圍定點拍攝	地形測繪巡檢飛行	地形測繪巡檢飛行	農噴或特殊用途
駕照規範 (專業高級)	Ia(未達兩公斤)	Ia	Ib	IIc

(2) 定翼機介紹

本案將固定翼飛機按重量分為 4 個類別，如表 2-2 所示分別為 Type1、Type2、Type3、Type4，並通過表 2-2 比較了不同級別無人機之間的差異。Type1 的重量範圍為 250 克至 2 公斤，屬於較輕型的固定翼飛機。在這個級別中，eBee X Fixed 是比較具有代表性的機型，具有高度穩定性且可進行投擲式飛行。在 Type1 中，大部分機型的飛行時間約為 45-60 分鐘，測繪模式下的單次飛行範圍約為 200 公頃，常用於地形測繪和巡檢飛行。Type2 的重量範圍為 2~15 公斤，例如本案中使用的 VX2300 新式固定翼混合動力無人機，採用旋翼垂直起降後變形為定翼飛行，不受地區限制。在 Type2 中，大部分機型的飛行時間約為 60-120 分鐘，測繪模式下的單次飛行範圍約為 700 公頃，可飛行高度達到 4000 公尺。Type3 的重量範圍為 15-25 公斤，例如 Quantum-Systems Tron F90+，也是一種新型固定翼混合動力無人機，其飛行時間和範圍與 Type2 相同，但抗風能力和載重能力優於 Type2。Type2 和 Type3 是目前廣泛使用的無人機，具有優秀的續航能力、載重能力和適中的體積。常見的 LiDAR 和雷達設備通常搭載在這些機型上。Type4 的重量超過 25 公斤，例如，臺灣自主研发的新型 Sky Arrow 55，具有超長飛行時間達 120 分鐘以上，可飛行高度達到 4000 公尺。它具有最大的單次飛行範圍，並且能夠搭載較重

的儀器，在抗風能力方面表現出色，常用於執行特殊任務或氣象數據收集等用途。

表 2-2 定翼機載具規格表

項目	Type1	Type2	Type3	Type4
重量	250 克-2 公斤	2 -15 公斤	15 -25 公斤	25 公斤以上
翼展	1m 以下	1.5m -2m	2m - 2.5m	2.5m - 3m
最大航高	500m	4000m	4000m	4000m
飛行時間	45 – 60 分鐘	60 – 120 分鐘	60 – 120 分鐘	120 分鐘以上
單次飛行範圍	500 公頃	1500 公頃	1500 公頃	3000 公頃
抗風	6 級風	6 級風	6-8 級風	6-8 級風
酬載重量	200 克以下	1.5 公斤以下	5 公斤以下	6 公斤以下
用途	地形測繪 巡檢飛行	地形測繪 巡檢飛行	地形測繪 大範圍巡檢飛行	地形測繪 大範圍巡檢飛行 氣象資料蒐集

2.1.2 飛行里程

(1) 多旋翼機飛行里程計算

本計畫多旋翼無人機主要用於巡檢監測任務，因此，飛行路徑將更為複雜，可能包含多個航線轉折、航高變化以及考慮港區天氣變化。另飛行面積範圍採用圓形，主要是適用於多旋翼機，因多旋翼機飛行里程較短，且多以巡檢任務為主，故以最大可觸及 buffer 來表示。飛行面積採用矩形，主要是適用於定翼機，因定翼機主要適用於地形測繪任務，故採用矩形表示可飛行最大範圍。因此，在評估電力總飛行時間時，除了一般情況下乘以 0.7 的係數外，本計畫額外引入乘以 0.5 的係數，用於不良天氣條件下的評估方式。里程計算方法，如表 2-3 所示，以 Type2 無人機為例，多旋翼機的起降需要較長的時間，因此，起降過程將導致一定的電力損耗，需要考慮在計算中。在 Type2 機型配合 0.7 的安全係數下，預估飛行總距離為 4850 公尺。根據這種計算方法，本計畫估計了不同類型無人機在不同安全係數下的單程最遠飛行距離，如表 2-4 所示，並通過圖 2.1(安全係數 0.5)和圖 2.2(安全係數 0.7)對包含折返時的最遠飛行範圍，進

行可視化呈現。顯然可以看出，在安全係數為 0.5 的情況下，範圍明顯比安全係數為 0.7 時小得多，因此，在天氣狀況較不穩定時，應採取安全係數為 0.5 做為巡檢考量。

表 2-3 多旋翼 UAV 飛行總里程(總距離)範例計算

項目	數值
原廠公告飛行時間	25 分鐘
乘上 0.7 安全係數飛行時間	17.5 分鐘(1050s)
飛行航高	120m(本案最大航高)
飛行速度	5m/s(原廠最佳巡航速度)
起飛速度	3m/s(原廠預設速度)
降落速度	3m/s(原廠預設速度)
起飛時間	40s
降落時間	40s
總飛行時間	1050s-40s-40s=970s
飛行總距離	30m/s*970s=4850m

表 2-4 旋翼 UAV 不同安全係數最遠飛行距離計算(折返)

安全係數	Type1	Type2	Type3	Type4
× 0.5	925 m	1675 m	1300 m	1300 m
× 0.7	1375 m	2425 m	1900 m	1900 m

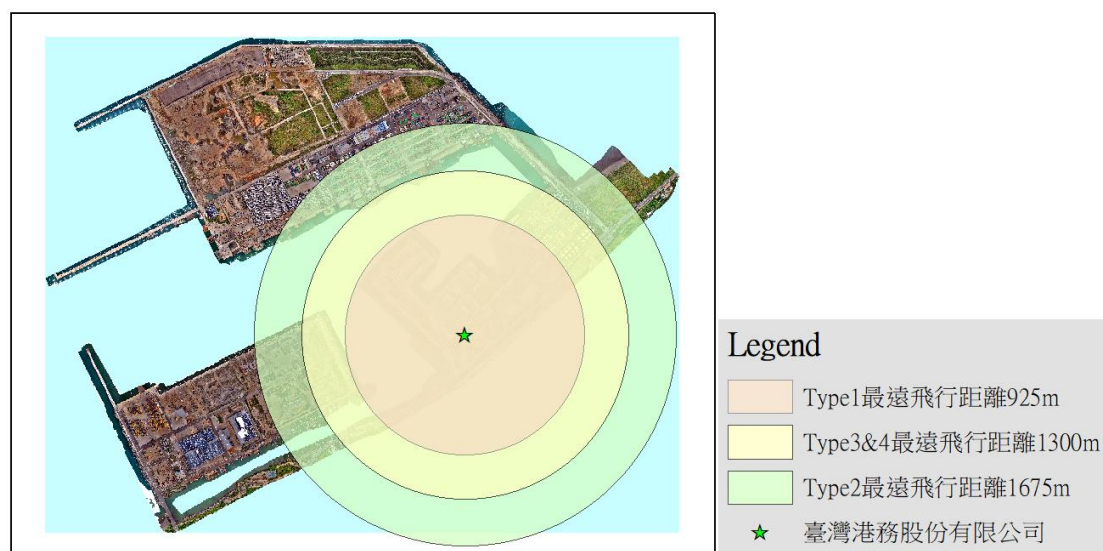


圖 2.1 多旋翼機安全係數 0.5 飛行面積範圍

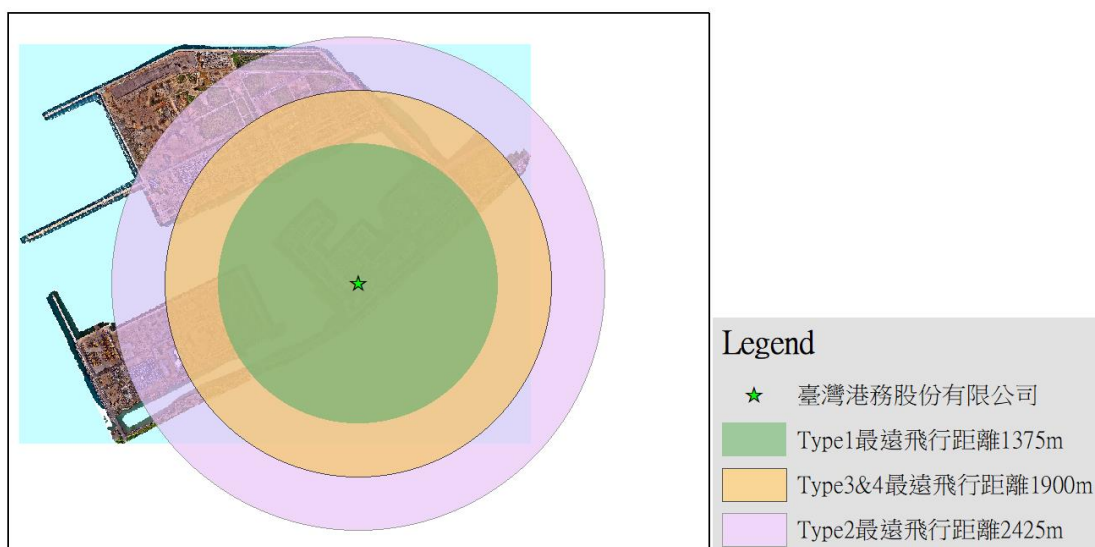


圖 2.2 多旋翼機安全係數 0.7 飛行面積範圍

(2) 定翼機飛行里程計算

由於港區範圍廣闊，因此，需進一步考慮飛行器飛行里程，以便快速評估適用性。影響無人機飛行里程的主要因素為其無人電池續航時間。目前，廠家公告的無人機續航時間是在理想情況下、天氣良好時提供的飛行範圍。然而，考慮到本計畫位於氣候條件不佳的港區，需要將電力總飛行時間乘以安全係數。目前常見的安全係數為 0.7，該係數是本計畫根據天氣條件進行調整。然後，通過總飛行時間來計算里程，如表 2-4 所示，以 Type2 為例，在考慮 0.7 的安全係數下，飛行總里程(總距離)為 113.4 公里。通過表 2-5 估計各種類型無人機在安全係數下的飛行總里程(總距離)，預估飛行範圍如圖 3-3 所示。

表 2-5 多旋翼 UAV 飛行總里程(總距離)範例計算

項目	數值
原廠公告飛行時間	90 分鐘
乘上 0.7 安全係數飛行時間	60 分鐘(3780s)
飛行航高	120m(本案最大航高)
飛行速度	30m/s(原廠最佳巡航速度)
飛行總距離	$30\text{m/s} \times 3780\text{s} = 113.4\text{km}$

表 2-6 定翼機 UAV 飛行總里程範例計算

安全係數	Type1	Type2	Type3	Type4
× 0.7	38km	113km	113km	151km

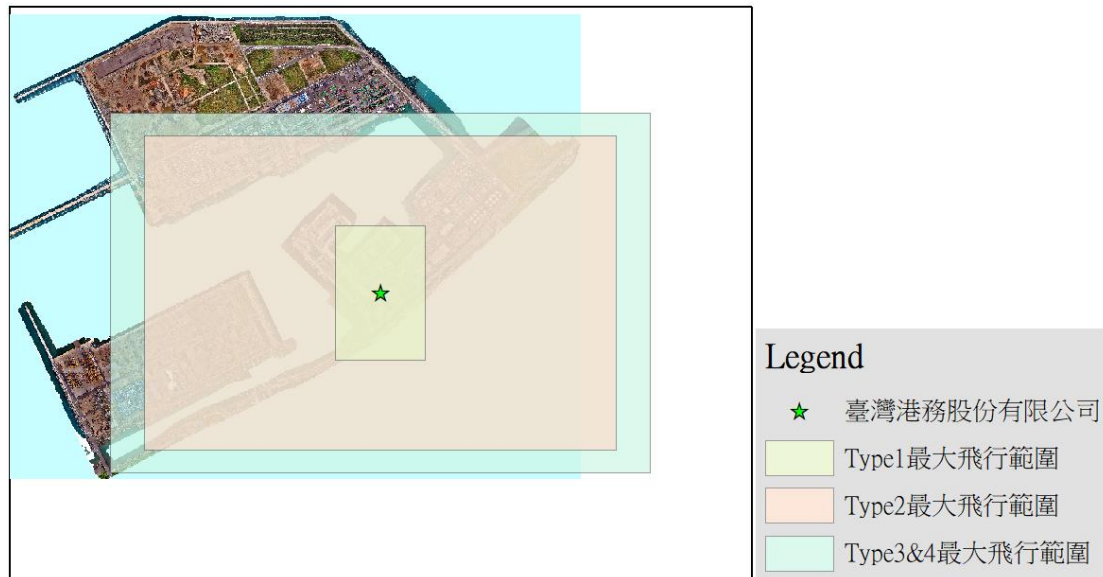


圖 2.3 定翼機安全係數 0.7 飛行面積範圍

2.1.3 感測器分析

無人機具備靈活的飛行能力，對於不同地區地形的數據蒐集具有強大的優勢，因此，可以搭載多種傳感器，包括光學相機、熱感相機和激光雷達。首先是光學相機，通常採用原廠設置鏡頭模塊做為載荷傳感器，提供較完整的系統集成，部分型號並可以更換傳感器。如表 2-7 所示，多旋翼機的主流解析度為 3840×2160，飛行高度 120 公尺時，地面解析度為 4.7 公分/像素。另外，多旋翼機與定翼機也可以搭載高解析度的模塊鏡頭，主流解析度為 5344×4016，飛行高度 120 公尺時，地面解析度為 3.8 公分/像素，這種規格已可滿足大部分監測或測繪需求。也有更高階的相機為 6000×4000，飛行高度 120 公尺時，地面解析度為 3.0 公分/像素。大型定翼機能酬載較重相機，主流解析度為 7952×5304，飛行高度 120 公尺時，地面分辨率為 3.0 公分/像素，大部分為電影製作等級的規格，另可根據需求更換定焦或變焦鏡頭。

第二種傳感器是熱感應相機，其型號與規格如表 2-8 所示。目前在所有型號中，較少配置模塊化鏡頭，只有一般的小型無人機具備模塊化鏡頭，通常需要另外安裝在機身上。另由於多旋翼機受限於載荷重量，無法搭載更優秀的鏡頭，主流解析度為 320×256，飛行高度 120 公尺時，地面解析度為 56.3 公分/像素。另定翼機可以安裝高級鏡頭，主流解析度為 640×512，飛行高度 120 公尺時，地面解析度為 28.1 公分/像素。

第三種感測器為光達，其型號與規格如表 2-9 所示。光達原理為雷射發射器所發出的脈衝雷射光，由載具主動發射出訊號至地面，打到植生或建物後引起散射和反射。一部分光波會經由反向散射返回到載具上的接收器中，將光信號轉變為電信號記錄下來，例如，用於紀錄大範圍地貌三維空間資訊。如表 3-8 所示，光達依據雷射照射的範圍，可分為三種：(1)360°全視野照射，航高 120 公尺點密度為 150pts/m²(2) 46° 向下視野，航高 120 公尺點密度為 300pts/m²(3) 100°半視野，航高 120 公尺點密度為 680pts/m²。

表 2-7 光學相機

光學相機			
型號	K60PRO 6K Cam	Parrot Anafi 4K Cam	SONY A7R II
種類	模組鏡頭&可替換式鏡頭	模組鏡頭&可替換式鏡頭	模組鏡頭&可替換式鏡頭
像素	1200 萬畫素	2100 萬畫素	4240 萬畫素
解析度	3840x2160	5344 x 4016	7952 x 5304
感光元件	1/2.3 英吋 CMOS	1/2.4 英吋 CMOS	1 英吋 CMOS
相機重量	100 克以下	200 克以下	5 公斤以下
航高 120m 地面解析度	4.7cm/pixel	3.8cm/pixel	3.0cm/pixel

表 2-8 熱感應相機

熱感應相機			
型號	FLIR VUE	Parrot anafi usa thermal	FLIR A65
種類	可替換式鏡頭	模組鏡頭&可替換式鏡頭	模組鏡頭
解析度	320x256	320x256	640x512
相機重量	500 克以下	500 克以下	1 公斤以下
航高 120m 地面解析度	56.3cm/pixel	56.3cm/pixel	28.1cm/pixel

表 2-9 光達感測器

光達感測器			
型號	RIEGL miniVUX-3UAV	RIEGL miniVUX-1UAV	RIEGL VUX-120
種類	全視野	向下視野	半視野
雷射脈衝頻率	100 kHz	1.8MHz	1.8MHz
測量頻率	200,000 次/秒	1,00,000 次/秒	1,500,000 次/秒
掃描速度	100 次掃描/秒	150 次掃描/秒	400 次掃描/秒
精度	±2cm	±2cm	±2cm
FoV	360°	46°	100°
重量	1.55 公斤	2.4 公斤	2 公斤
航高 120m 點密度	150pts/m ²	300pts/m ²	680pts/m ²

2.2 地面無人載具

2.2.1 載具類型分析

地面無人載具為搭載多種感測器的無人地面車輛（UGV）。根據不同任務需求，可選用具有不同適應性和耐用性之地面無人載具規格。以本計畫為例，考慮臺北港較為繁忙，UGV 需要選擇較大的尺寸，以容納多個感測器，並同時確保高其可視性。將上述因素納入考量後，本計畫選擇了 Clearpath Jackal UGV 做為為地面無人載具之地面車輛，研究初期先行使用國立臺灣大學實驗室現有改裝版 Robomaster S1 UGV 進行初步測試，即便 Robomaster S1 尺寸相對較小不適合戶外使用，但可做為一個臨時之載具平台，做為本案之實驗測試與問題解決之用。表 2-10 為 Robomaster S1 和 Clearpath Jackal UGV 規格之比較。

表 2-10 Robomaster 和 Jackal UGV 規格比較

UGV		
模組名稱	Robomaster S1	Clearpath Jackal
外部尺寸（長 x 寬 x 高）	320×240×270mm (12.6 x 9.4 x 10.6 in)	508 x 430 x 250 mm (20 x 17 x 10 in)
重量	3.5 kg (7.6 lbs)	17 kg (37 lbs)
酬載重量	10 kg (22 lbs)	20 kg (44 lbs)
最大速度	2.5 m/s (5.5 mph)	2.0 m/s (4.5 mph)
離地高度	30 mm (1.2 in)	65 mm (2.5 in)
操作環境溫度	-10 to +40° C	-20 to +45° C
電池容量	2400mAh	9800mAh
操作時間	0.5 to 1.5 hours	2.0 to 8.0 hours
連接	Wifi, Router	Wifi, Router

2.2.2 行走里程

計算地面機器人的行走里程，本計畫根據以下參數做假設：

- (1) 有效負載重量之假設：本計畫假設機器人有效負載重量達到了上限，這是為了考慮機器人應對各種不同負載的能力，確保其多功能性。
- (2) 速度選擇：本計畫選擇了相對保守的速度，即 0.25 m/s，這比人類步行速度慢 ($\approx 1\text{m/s}$)。考慮安全性和控制，較低的速度有助於避免碰撞和提高操作的精確性。
- (3) 操作時間選擇：本計畫選擇了操作時間的中間值，以涵蓋不同應用場景中的變化。這有助於更好地反映實際應用中的多樣性，同時提供可靠的計算基礎。
- (4) 安全係數設定：本計畫設置安全係數為 0.75，以增加系統的可靠性和安全性。
- (5) 下一步，根據上述的假設，本計畫進行行走里程計算：UGV 速度操作時間安全係數，計算結果如表 2-11。

表 2-11 Robomaster 和 Jackal UGV 安全係數比較

模組名稱	Robomaster S1	Clearpath Jackal
酬載重量	10 kg (負載重量上限)	20 kg (負載重量上限)
UGV 速度	0.25 m/s	0.25 m/s
操作時間	1 hours	5 hours
安全係數	0.75	0.75
行走里程	675m (0.6 km)	3375m (3.3 km)

2.2.3 感測器分析

地面無人載具 (UGV) 可配備不同類型感測器，包括光達 (Lidar)、攝影機、熱像儀、有毒氣體及易燃氣體感測器。這些感測器可提升 UGV 的功能，使其能夠在各種環境中，根據任務類型執行不同任務，進而發揮關鍵作用。

另外，由於 UGV 依賴 ROS1 Melodic，每個感測器都需要有相應的 ROS 驅動程式才能使用，為確保感測器與 UGV 可兼容，如果製

造商未提供所需的 ROS 驅動軟體，或者在 GitHub 等平台上未有開源之軟體，則至少需要一個由 Python 或 C++ 編寫之 SDK（軟體開發工具包），才能夠建立自定義的 ROS 驅動引擎。

本小節將針對光達、攝影機、有毒氣體及易燃氣體進行說明。

(1) 光達 (Lidar)

Lidar 為 UGV 中的關鍵感測器之一，它透過發射雷射脈衝並計算光線返回的時間。Lidar 使 UGV 能夠準確測量距離，檢測物體並建立周圍環境的詳細三維地圖。這些資訊對於後續導航、避障和地形測繪至關重要。

本計畫經評估後，選用 Lidar 做為 UGV 中主要感測器，並比較 Livox Avia 和 Velodyne VLP-16 2 種不同光達規格 (如表 2-12)。Livox Avia 具有較為精細的點雲數據，也具有卓越的精度和擴展範圍，然而，在視野方面，相較於具有全方位 360 度水平視野 (FOV) 的 Velodyne VLP-16，Livox Avia 僅有 70 度的較窄水平 FOV。考量本計畫標的為交通繁忙的臺北港，選擇 Velodyne VLP-16 作為 UGV 所使用之感測器，透過其 360 度視野 (FOV) 的光達感測器，可以為現場工作人員及 UGV 提供更好的防護措施，全方位視野也使得道路檢測和避開障礙物具可能性，從而提升在繁忙環境中的導航和整體營運效率。

表 2-12 光達感測器規格

LiDAR		
模型	Livox Avia	Velodyne VLP-16
技術	中程 LiDAR	16 束 LiDAR
測量範圍	最高 200 公尺	最高 100 公尺
垂直視場角	77.2 度	30 度
水平視場角	70.4 度	360 度
掃描速率	240,000 點/秒	300,000 點/秒
精度	± 2 公分	± 3 公分
運作溫度	-10°C 至 50°C	-10°C 至 60°C
連接方式	以太網	以太網

(2) 攝影機

攝影機已安裝在 UGV 上，提供額外的影像數據，呈現不同的視角與 UAV。UAV 能夠捕捉更廣泛的正射影像，而 UGV 提供了更接近人類視角的視野，有助於更好地了解現場狀況。攝影機所蒐集的 RGB 影像提供操作者的導航操控便利性，並可與熱像影像進行比較，因為每個物體表面的【光學透明性質】和【熱學透明性質】特性各不相同。目前，就 RGB 攝影機而言，本計畫使用 Stereolabs ZED 2i (規格如表 2-13)，具有高達 2208 x 1242 的解析度和 110 度的寬水平視場 (FOV)。

表 2-13 攝影機規格

光學相機	
型號	Stereolabs ZED 2i
解析度	2208 x 1242
焦距	2.12 毫米 (0.008 英寸)
光圈	f/1.8
垂直視場角	70 度
水平視場角	110 度

(3) 有毒及易燃氣體感測器

臺北港是一個繁忙的港口，對於國內和國際貿易至關重要，除了大型輪船運作時排放之廢棄氣體，許多貿易還涉及石油和其他化學物質。在這樣的環境中，有毒和易燃氣體感測器成為無人地面車輛（UGV）中的一個關鍵裝置。這些感測器能夠檢測有害氣體的存在，例如，有毒煙霧或易燃蒸氣，並提前發出警告，以防止事故發生或保護該區域內的工作人員。本計畫蒐集氣體感測器規格，如表 2-14。

下表表示 MPS 氣體感測器的優異性能和簡易的設置。此外，根據本計畫所需，MPS 是市面上唯一具備這種能力的感測器，可確保甲烷在整個環境範圍內的準確性，而其他氣體僅在標準條件下（20°C 和 50%相對濕度）下才能達到同樣標準。MPS 氣體傳感器所提供的讀數是以%LEL（下限爆炸濃度）濃度表示，而不是絕對百分比體積濃度。舉例來說，甲烷屬於 Class 3 氣體，其 100%LEL 相當於 5%體積（體積百分比濃度）。如果氣體偵測器 Conc（%LEL）讀數為 40，則表示為 40%LEL 或 2%體積濃度。有關各種氣體的 %LEL 與 %體積濃度的更多資料，如表 2-15。

表 2-14 氣體感測器規格

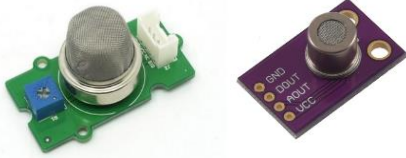
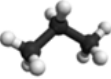
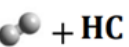
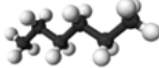
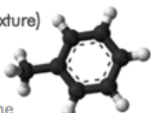
感測器種類		
模型名稱	MQ2 MS100	Nevada Nano MPS™ Flammable Gas Sensor Module
感測技術	金屬氧化物半導體 (MOS)	微機電系統 (MEMS)
目標氣體名稱	MQ2: 液化石油氣、酒精、丙烷、氫氣、一氧化碳、甲 MS100: 甲醛、甲苯、苯	包括丁烷、乙烷、氫氣、甲烷、丙烷、甲苯、二甲苯 詳情請參考表 2-13
目標氣體分類	2 類 (每個感測器 1 類)	6 類(參考表 2-13)
校正需求	需要校正	不需要校正
測量輸出	預設輸出為布林值，表示氣體濃度是否超過閾值 若進行校正，也能提供以百萬分比 (PPM) 表示的氣體濃度	氣體類別編號 (0~6) 氣體濃度 (%LEL) 溫度 (°C) 大氣壓力 (kPa) 相對濕度 (%) 絕對濕度 (%)
精度	取決於校正精度，一般較大	± 3-12% LEL(參考表 2-13)
ROS 支援	需先接 Arduino Board，然後再接機器人的電腦，然後使用 Arduino 之 ROS Driver	有 ROS Driver

表 2-15 有毒及易燃氣體感測器

Gas	Formula	Class ⁵	Detection Range [%LEL]	% Volume of gas at 100 %LEL (ISO 10156)	MPS Accuracy 0 to 50 %LEL (ISO 10156)	% Volume of gas at 100 %LEL (IEC60079-20-1)	MPS Accuracy 0 to 50 %LEL (IEC60079-20-1)
butane	C ₄ H ₁₀	4	0-100	1.8 %VOL	±5 %LEL	1.4 %VOL	±5 %LEL
ethane	C ₂ H ₆	4	0-100	3.0 %VOL	±5 %LEL	2.4 %VOL	±5 %LEL
hydrogen	H ₂	1	0-100	4.0 %VOL	±5 %LEL	4.0 %VOL	±7 %LEL
isobutane	HC(CH ₃) ₃	4	0-100	1.8 %VOL	±5 %LEL	1.3 %VOL	±9 %LEL
isobutylene	C ₄ H ₈	4	0-100	1.8 %VOL	±5 %LEL	1.8 %VOL	±5 %LEL
isopropanol	C ₃ H ₈ O	4	0-100	2.0 %VOL	±10 %LEL	2.0 %VOL	+20 %LEL
methane	CH ₄	3	0-100	5.0 %VOL	±3 %LEL	4.4 %VOL	±3 %LEL
MEK	C ₄ H ₈ O	5	0-100	1.4 %VOL	±5 %LEL	1.5 %VOL	+16 %LEL
pentane	C ₅ H ₁₂	5	0-100	1.5 %VOL	±5 %LEL	1.1 %VOL	±6 %LEL
propane	C ₃ H ₈	4	0-100	2.1 %VOL	±5 %LEL	1.7 %VOL	±6 %LEL
propylene	C ₃ H ₆	4	0-100	2.4 %VOL	±5 %LEL	2.0 %VOL	±5 %LEL
acetone	C ₃ H ₆ O	5	0-100	2.5 %VOL	+20 %LEL	2.5 %VOL	+24 %LEL
ethylene	C ₂ H ₄	4	0-100	2.7 %VOL	-11 %LEL	2.3 %VOL	-11 %LEL
heptane	C ₇ H ₁₆	5	0-100	1.1 %VOL	±12 %LEL	0.85 %VOL	±15 %LEL
hexane	C ₆ H ₁₄	5	0-100	1.1 %VOL	-20 %LEL	1.0 %VOL	-17 %LEL
octane	C ₈ H ₁₈	6	0-100	1.0 %VOL	±12 %LEL	0.8 %VOL	±15 %LEL
styrene	C ₈ H ₈	6	0-100	1.1 %VOL	-20 %LEL	1.0 %VOL	-17 %LEL
toluene	C ₇ H ₈	6	0-100	1.2 %VOL	±12 %LEL	1.0 %VOL	±13 %LEL
xylene	C ₈ H ₁₀	6	0-100	1.1 %VOL	±12 %LEL	1.0 %VOL	±13 %LEL

(<https://docs.allensing.co.kr/allensing-document/product-document/nevadanano>)

MPS 氣體感測器也具備對其他各種氣體的檢測能力，包括氨、乙炔、乙醇和甲醇。該感測器的輸出包括現有氣體的分類，能夠準確讀取超過十幾種可燃氣體的%LEL（氣體濃度對於爆炸下限之百分比）。有關氣體分類的更多訊息，參考圖 2.4 中的氣體分類部分。

CLASS 1: Hydrogen Molecular Weight: 2.0 [g/mol] Density: 0.09 [kg/m³] Number of Carbons: 0 	CLASS 4: Light Gas (or Light Gas Mixture) Avg. Mol. Weight: 25 to 75 [g/mol] Avg. Density: 1.2-2.5 [kg/m³] Typical Number of Carbons: 1-4 Example Gases: Ethane, Propane, Isopropanol 
CLASS 2: Hydrogen Mixture Avg. Mol. Weight: 1-14 [g/mol] Avg. Density: 0.1-0.6 [kg/m³] Number of Carbons: varies *This classification is unique as it guarantees the presence of hydrogen and another flammable gas 	CLASS 5: Medium Gas (or Medium Gas Mixture) Avg. Mol. Weight: 50 to 120 [g/mol] Avg. Density: 1.5-4.0 [kg/m³] Typical Number of Carbons: 2-8 Example Gas: Pentane 
CLASS 3: Methane/Natural Gas Avg. Mol. Weight: 16 to 19 [g/mol] Avg. Density: 0.6-0.9 [kg/m³] Typical Number of Carbons: 0-2 *Gases having molecular properties similar to that of methane may be classified as methane (e.g. ammonia, acetylene) 	CLASS 6: Heavy Gas (or Heavy Gas Mixture) Avg. Mol. Weight: 80+ [g/mol] Avg. Density: 3.5+ [kg/m³] Typical Number of Carbons: 6+ Example Gases: Octane, Toluene, Xylene 

(<chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://nevadanano.com/wp-content/uploads/2021/03/SM-UM-0002-15-MPS-Flammable-Gas-Sensor-User-Manual.pdf>)

圖 2.4 MPS 可燃氣體感測器輸出氣體分類詳細資訊

(4) 紅外線熱像儀

除光達和氣體感測器外，UGV 也可配備熱像儀。這些相機能夠捕捉物體發出的紅外輻射並將其轉換為熱像。通過分析溫度變化，熱成像相機提供了寶貴的洞察力，可用於檢測異常、識別熱源以及進行火災監控、搜救行動和環境監測等任務。表 2-16 根據本案所需列出了各種熱成像相機的規格。

表 2-16 熱感相機

熱感應			
相機	Flir Vue Pro	PureThermal 3 FLIR Lepton FS	Flir Boson
型號	336x256	160x120	640x512
解析度	高增益: < 135 °C (只配有高增益模式)	高增益: < 140 °C 低增益: < 350 °C	高增益: < 140 °C 低增益: < 500 °C
場景	± 5°C	± 5°C	± 5°C
動態範圍	因為熱像資料只記錄在內置的 SD 卡上，目前無法開發 ROS Driver	有 ROS Driver	有 ROS Driver

根據表 2-16 中提供的資訊，Flir Boson 似乎是由於其更高的解析度而成為最合適的選擇。然而，值得注意的是，Flir Boson 通常用於機械或半導體工廠，用於測量小型電子元件的溫度。對於我們的研究，涉及測量變電箱的溫度，Flir Lepton FS 提供的解析度已足夠。然而，在台灣尋找這些產品一直是具有挑戰性的。因此，在我們的研發初期，我們選擇使用 Flir Vue Pro 來收集部分數據。

Flir Vue Pro 的大限制是它主要設計用於無人飛行器（UAV）的使用。因此，所有收集的數據存儲在 SD 卡中，無法實時從地面機器人之電腦存取數據。然而，在我們研究的後期階段，我們已經開始測試 Flir Lepton FS，以滿足我們的需求。

2.3 水下無人載具

2.3.1 載具類型分析

水下無人遙控潛具(Remotely operated underwater vehicle, ROVs)是一種水下遙控無人載具，透過電纜線將載具與水面上的母船或控制站連接，來回傳遞操作指令與資訊回傳以執行各類型水下任務，如水下設施檢查、環境監控、海底地形探索等。ROV 根據國際海事承包商協會 (International Marine Contractors Association, IMCA) 於 2021 年提出 R004. rev5 中定義 ROV 的分類，如表 2-17，主要分為機體龐大，酬載能力較高的工業級與機身輕巧，不具高酬載能的觀察級兩種類型，但隨著水下任務的複雜度與機動性，工業級 ROV 的主體大小趨向觀察級，而觀察級 ROV 的酬載能力亦逐漸提高。工業級的長、寬、高為公尺等級，如台灣海洋科技研究中心所使用的英國 Forum Subsea Technologies Triton XLX 56，其電力來源由母船經纜線提供，作業時間無任何限制，作業深度達 3000 公尺，最大酬載為 250 公斤，因較深的作業深度與持久的作業時間，此類型水下無人載具常應用於深海作業，如海底地形測繪、深海電纜埋設、離岸結構物巡檢等；觀察級以 Qysea FIFISH V6s 為例，儀器大小為 383 mm*331 mm*143 mm，電力來源由機體電池提供，作業時間為 120 至 360 分鐘，作業深度達 100 公尺，最大酬載為 100 公斤，常應用於河川或水壩巡檢，混合級以本案採用之 Chasing M2 PRO 為例儀器大小為 480 mm*267 mm*165 mm，其電力來源亦由機體電池提供，作業時間為 240 分鐘，作業深度達 300 公尺，最大酬載為 100 公斤，常應用於水壩巡檢、岸邊結構物巡檢，以及近海作業等。

表 2-17 無人遙控載具機型

機型	工業級 ROV	觀察級 ROV	微型 ROV
機身尺寸	長、寬、高：公尺以上	長、寬、高小於 1 公尺	長、寬、高 0.5 公尺內
運行速度	6 節以上	4 節以上	2~4 節
作業環境	水下 100m~數千米	水下百米內	50 米內
常見搭載裝備	高解析度攝像機 聲納掃描 抽吸式採樣器 多組液壓式機械手臂 環境感測器(如水溫、USBL)	高解析度攝像機 聲納掃描 簡易型機械手臂 環境感測器(如水溫、USBL)	高解析度攝像機 環境感測器(如水溫、USBL) 無外加酬載能力

2.3.2 航行里程

本案中水下無人機承擔水下結構物之巡檢任務，飛行路徑及測區如圖 2.5，可能包含航線折返、水下深度變化以及考慮港區潮汐流速變化。因此，在評估電力總航行時間時，一般情況下(靜態水域內僅須維持機體浮力)乘以 0.6 的係數外，本案還額外考慮乘以 0.35 的係數，用於動態水域下的評估。里程計算方法如表 2 18 所示，以混合型無人機為例，水下無人機上浮與逆流前進時重力與水流阻力較強，因此需考慮在計算中。在混合型採 0.6 的電力損耗係數下，預估飛行總距離為 12927 公尺。根據以上計算方法，本案亦估計混合型水下載具在不同安全係數下的單程最遠潛行距離，如表 2 18 所示，從表中可得，在安全係數為 0.35 的情況下，其飛行路徑里程為安全係數為 0.6 的 58%，因此在港區內時，應採取安全係數為 0.35 作為巡檢考量。



圖 2.5 航行路徑及測區示意圖

表 2-18 ROV 航行里程計算(混合型)

項目	數值(靜態環境)	數值(動態環境)
原廠表定工作時間	4 小時(240 分鐘)	
電力損耗係數	0.6	0.35
潛水深度	17m(本案水深最深處)	
下潛速度	1.5m/s	
潛行速度	1.5m/s	
上浮速度	1.5m/s	
上(下)潛所需時間	11s	
總潛行時間	$240\text{min} \times 60\text{s/min} \times 0.6 - 11\text{s} \times 2 = 8618\text{s}$	$240\text{min} \times 60\text{s/min} \times 0.35 - 11\text{s} \times 2 = 5018\text{s}$
總潛行距離	$1.5\text{m/s} \times 8618\text{s} = 12927\text{m}$	$1.5\text{m/s} \times 8618\text{s} = 7527\text{m}$

2.3.3 感測器分析

水下無人載具對於不同地形與水理條件下，選用之感測設備亦不同，常見的感測器有包含光學相機、定位模組等。首先是光學相機，通常採用原廠設置的鏡頭模塊作為感測器，其提供較完整的系統，且考慮到市面上之相機防水功能皆不適合執行水下作業，故 ROV 通常以原廠鏡頭模塊為主，解析度為 4000*3000，另外為因應任務需求，部分水下無人機會搭載 gopro 使用，gopro 與原廠鏡頭模組比較如下表 2-19。

定位模組是一種利用水下聲波幾何原理的水聲學進行定位的系統，方法大致可分成有長基線(long baseline, LBL)、短基線(short baseline, SBL)及超短基線 (ultra short baseline, USBL)三種。三者定位皆透過測量信號的到達方位和距離，並藉由計算作業定位點與接收基站陣列間的訊號走時與相位差來獲得水下定位結果，三者差異如表 2-20。USBL 是目前進行海洋探測時的主流方式，其優點是系統及運作費用較低，操作也較其他兩種定位法簡便容易，但其定位元精度需高度仰賴研究母船上的其他設備，如電羅經、姿態感測器和深度感測器等。

表 2-19 適用水下光學相機規格

光學相機		
種類	模組相機	GoPro 10
像素	1200 萬像素	1580 萬像素
解析度	4000*3000	5,312 *2,988
重量	100 克以下	約 150 克

表 2-20 水下定位模組比較

種類	長基線(LBL)	短基線(SBL)	超短基線 (USBL)
固定定位站距離	數十公尺至數公里	數公尺至數十公尺	公尺以內
定位精度	最佳	中等	最差(需仰賴其他儀器要校正)
所需時間	最長	中等	最快

2.4 本章小結

多旋翼機和定翼機無人機在近年來已成為科技航空領域中的重要角色。兩者都具有獨特的優勢，適用於不同的任務和應用場景。從提供的資料可以明確看出，多旋翼機因其機動性和垂直起降的能力而被廣泛使用，特別是在地形複雜或需要精確定位的情境下。而

定翼機因其更長的續航時間和飛行距離，成為適用於大範圍巡檢、測繪和數據收集的理想選擇。無論是多旋翼機或是定翼機，飛行里程的計算都是一項關鍵任務。考慮到不同的氣候和地形條件，安全係數的運用變得尤為重要。從本文中，可以看出無論是以 0.5 還是 0.7 的安全係數計算，對飛行範圍的評估都產生了很大的影響。這強調了在進行飛行任務時，根據當時的天氣和其他環境因素進行調整是多麼重要。

此外，傳感器技術的進步也使得無人機的應用更加多元。從光學相機到熱感相機，再到雷射雷達，這些工具使無人機能夠捕捉到更為詳細和精確的地面數據。尤其是在解析度上，現今的無人機相機已經能夠達到相當高的精度，滿足了多數監測和測繪的需求。無人機技術不斷進步，不只在飛行能力上，同時在數據收集和分析方面都展現了巨大的潛力。

第三章 港區高細緻空間基礎資料建構

3.1 地形資料蒐集

3.1.1 控制點測量

控制測量作業採 GNSS 靜態量測方式獲取三維空間資訊，本計畫於臺北港區共施測 6 個地面控制點，並採用台北市 TPE-CORS 一等衛星連續追蹤站 GDH1 作為約制基準，共同聯測達 40 分鐘以上。經使用衛星定位基線解算軟體，並加入衛星精密星曆，再透過該軟體平差解算後獲得測站之高精度三維坐標成果，同時提供三維坐標後驗精度。控制點分布如圖 3.1 所示，解算成果如表 3-1。除了使用自行布設之控制點外，本案也採用了臺北港既有控制 TP188,TP189,TP276,TP304,TP324,TP358,TP422,TP574,TPS001，做為後續無人機影像解算依據，點位分布如圖 3.2 所示。

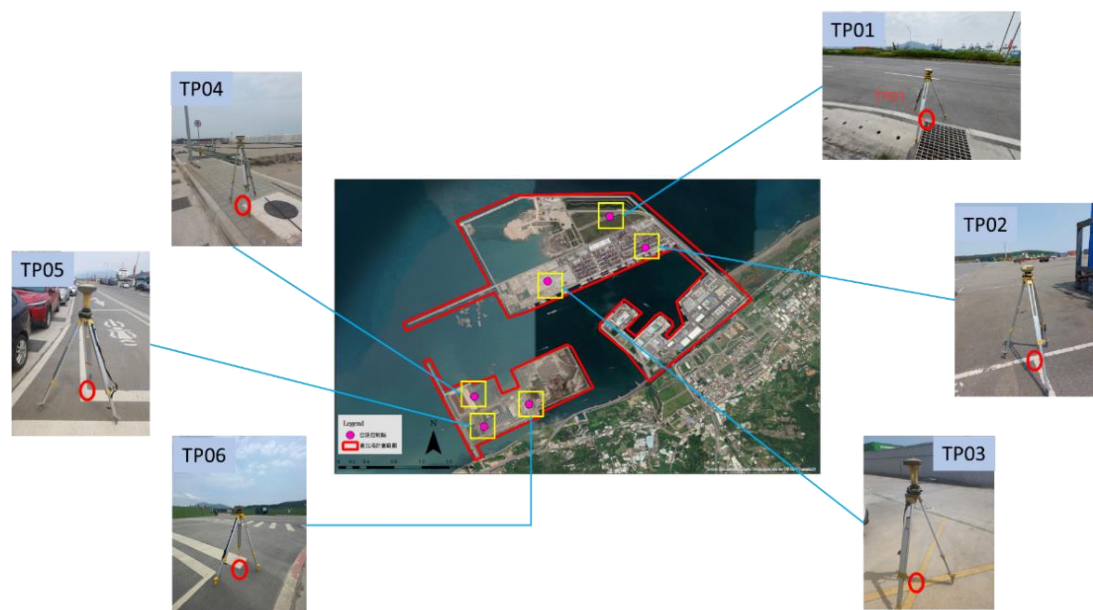


圖 3.1 臺北港 GNSS 控制點分布圖

表 3-1 臺北港 GNSS 控制點觀測成果表

點號	橫坐標 (m)	縱坐標 (m)	橢球高 (m)	正高 (m)
TP1	288782.698	2784595.513	24.209	4.683
TP2	289150.300	2784301.294	26.482	6.937
TP3	287996.740	2783642.972	23.341	3.827
TP4	286955.083	2782068.466	23.047	3.547
TP5	287767.615	2781739.004	22.323	2.784
TP6	287204.442	2781450.325	21.991	2.472

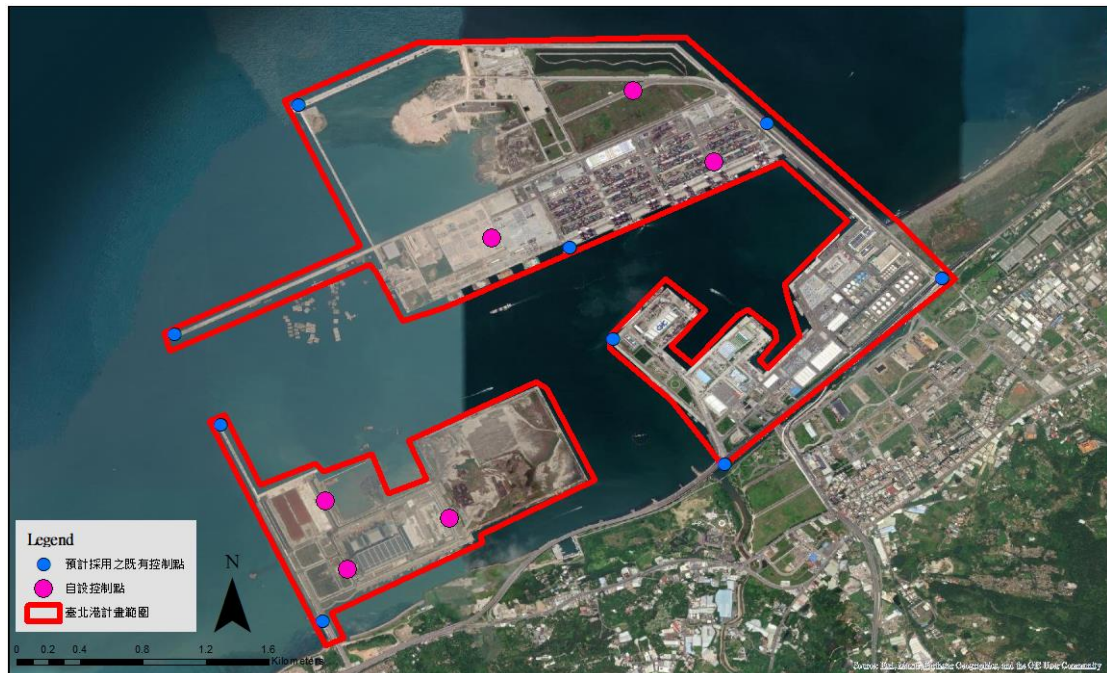


圖 3.2 臺北港 GNSS 控制點與既有控制點分布圖

3.1.2 影像資料蒐集

臺北港區幅員廣大，本次施測面積包含臺北港陸域及部分水域面積共約為 1000 公頃，以航高為 120m 進行影像資料蒐集，另外受限於桃園機場禁航區，故部分區域航高更改為 60m。此航帶涵蓋所有地面控制點，每個控制點至少涵蓋 4 條航帶以上，圖 3.3 為本計畫影像拍攝點位分布，採用多旋翼無人機進行拍攝，總計 30 次起降，拍攝 7949 張影像，單張影像原始解析度寬 5742×高 3648。影像重疊

率如圖 3.3 所示，符合縱向達 80%、橫向達 60%之標準，基本資料表如表 3-2 所示。

表 3-2 影像資料蒐集基本資料表

項目	內容
無人機	Autel Robotics EVO II
航高	120m & 60m
起降次數	30次
影像數量	7949
重疊率	縱向重疊 80% 橫向重疊 60%
單張影像大小	寬5742×高3648

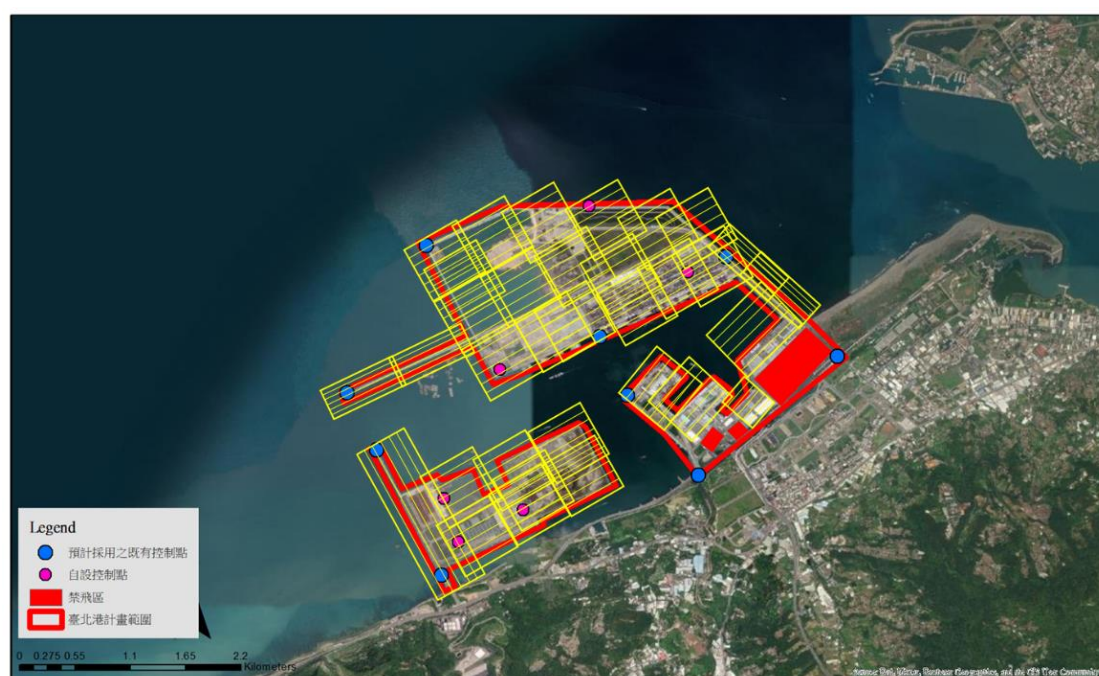


圖 3.3 航帶範圍與控制點分布圖

3.1.3 數值地形模型成果

數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)是採用影像匹配產製點雲製作而成，以數值的形式來表示實際地形特徵的空間分布，再製作精確之數值高程模型資料，能確實反應實際地形面起伏情形，每一個影像網格皆具有高程資訊。本計畫另於數值地形模型使用 2 種水位資料。一種為水域部分使用潮汐資料，採用中央氣象署統計 2007 至 2022 年之潮位資料，平均潮位高為 0.652 公尺，相對於

TWVD2001，第一種成果空間解析度為 10cm，如圖 3.4 所示，因使用平均潮位，故所有水域高程為同一顏色(綠色)。另一種水域資料，為採用 109 年度水下地形資料進行建置，再與本計畫數值地形模型進行合併，空間解析度為 5m(圖 3.5)，因使用水下地形，故所有水域高程具有色階變化性(深綠至淺綠)。

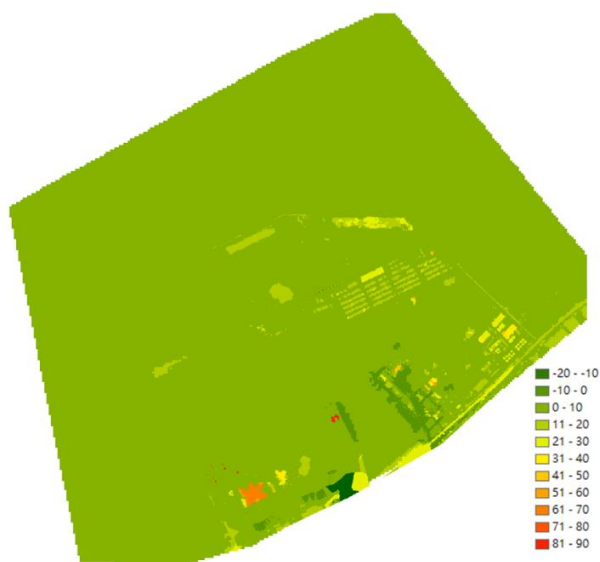


圖 3.4 臺北港陸域合併平均潮位高之數值地形模型圖

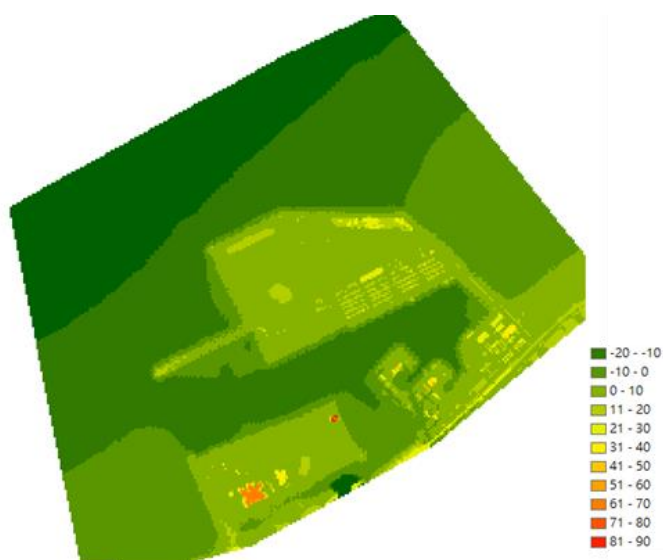


圖 3.5 臺北港陸域水下地形之數值地形模型圖

3.1.4 正射影像成果

正射影像產製基於數值地形(DTM)三維地表變化，再根據影像幾何，由共線式描述投影中心、影像、與地面點的關係，配合數值進行正射糾正，可求得 DTM 每個一個物點(X,Y,Z)在影像上的坐標(x,y)，根據影像點上之灰度值而倒投影填入原物點網格，每一個影像網格皆具有地理坐標資訊。正射影像成果如圖 3.6 所示，影像解析度為 2.38 公分。圖 3.7 與圖 3.8 實際量測影像與初步檢核，誤差約在 1~2 公分左右。



圖 3.6 臺北港正射影像圖

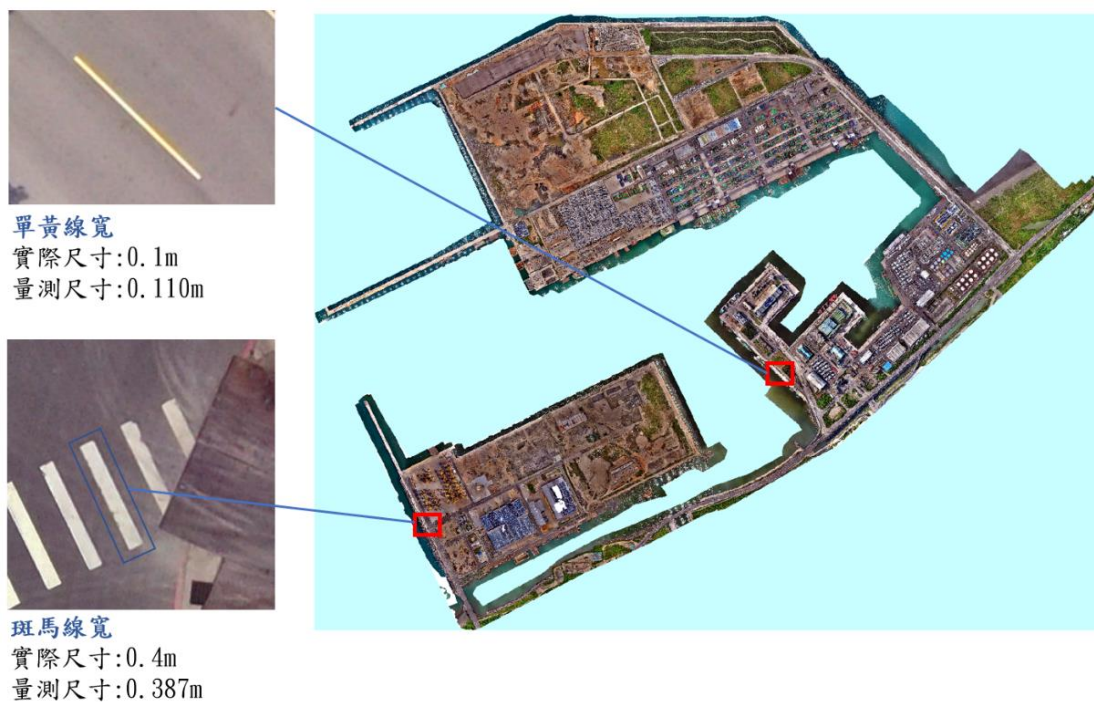


圖 3.7 正射影像解析度展示

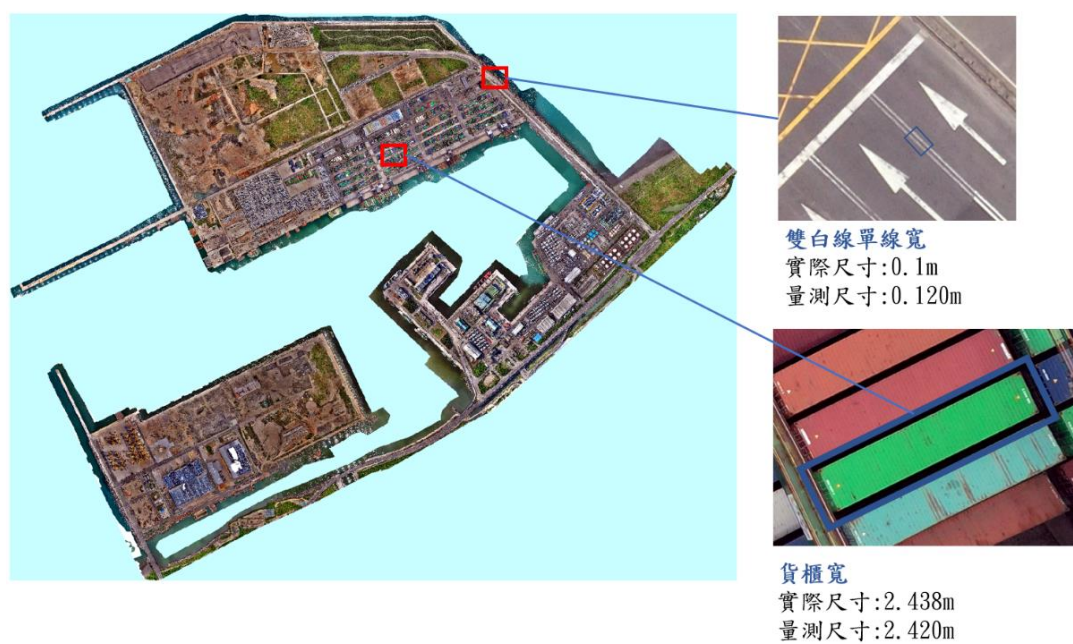


圖 3.8 正射影像解析度展示

3.2 氣象資料蒐集

3.2.1 空中無人載具抗風與防水條件定義

本計畫列出了多旋翼無人機與定翼無人機的最大抗風條件，如表 3-3 所示，各類型無人機對應至蒲氏風力級數。此外，關於無人機防水係數，目前各無人機原廠並無明確說明，但也具有一定能力的防水功能，降水量 20mm/day 的小雨情況視為可飛行，另表 3-3 提供了無人機對應風速建議之安全係數。

表 3-3 蒲氏風力級數與無人機最大抗風條件表

風級	名稱	平均風速 (公尺/秒)	建議安全係數	無人機最大抗風
0	無風	0-0.2		-
1	軟風	0.3-1.5		-
2	輕風	1.6-3.3		-
3	微風	3.4-5.4	× 0.7	多旋翼無人機Type1
4	和風	5.5-7.9	× 0.7	多旋翼無人機Type2,3,4
5	清風	8.0-10.7	× 0.5	定翼無人機Type1,2
6	強風	10.8-13.8	× 0.5	定翼無人機Type2,3
7	疾風	13.9-17.1		-
8	大風	17.2-20.7		-
9	烈風	20.8-24.4		-
10	狂風	24.5-28.4		-

3.2.2 港區風速評估

無人機能否穩定順利完成任務，最大關鍵因素為天候，若執行飛行任務時遭受到較差的天氣狀況，例如，強風、降雨等，可能會造成無人機直接墜毀，或是無法有效率執行任務，因此，天候評估是相當重要的一環。此外，港區位於海陸交界處，天候更為多變，故本計畫蒐集臺北港周邊氣象站，包含小綠燈塔、資料浮標、觀測站樁、北二碼頭、八里站等之逐時風速資料，用以評估無人機的適用性，測站位置分布，如圖 3.9 所示。

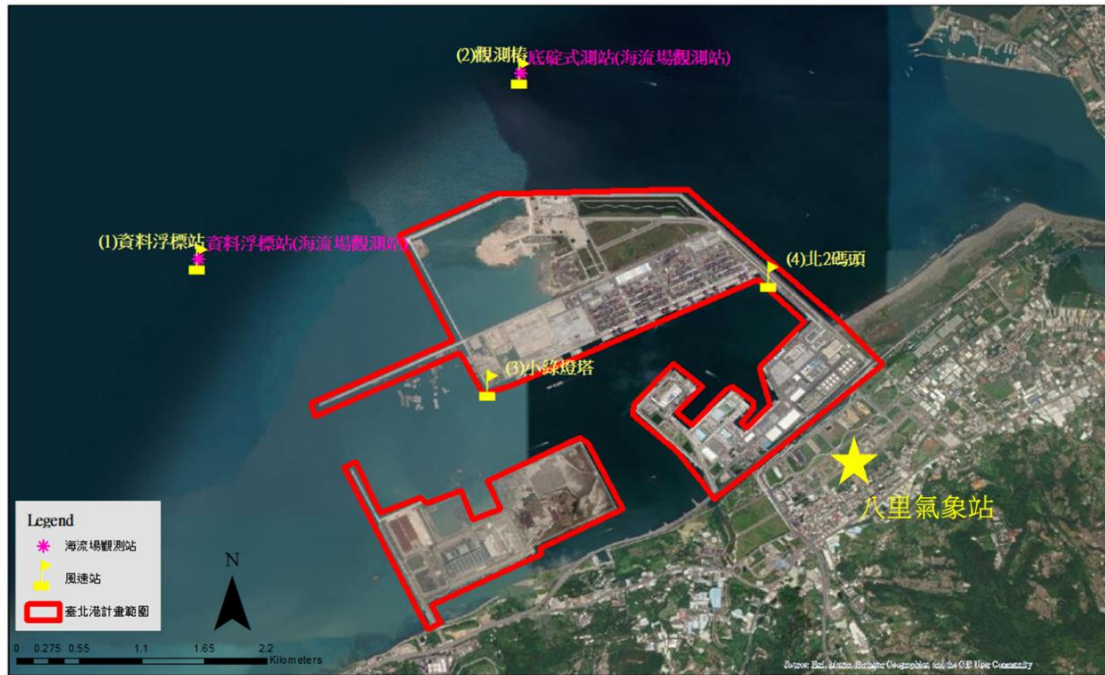


圖 3.9 臺北港氣象站分布圖

多時期風速正規化是指使用多年度的風速資料來進行風力評估的一種方法。通常在這種正規化中，使用多個觀測點蒐集一年的風速數據，並根據這些數據進行統計分析和建模，以了解風速在不同時期的變化情況。這種正規化方法的目的是獲得一年中各個時期的風速特徵，包括風速的平均值、變異性和風速分佈等。通過對風速數據進行統計分析，可以得出各個時期的風能資源潛力。圖 3.10 至圖 3.14 為各站風速資料，已正規化為一年份資料。

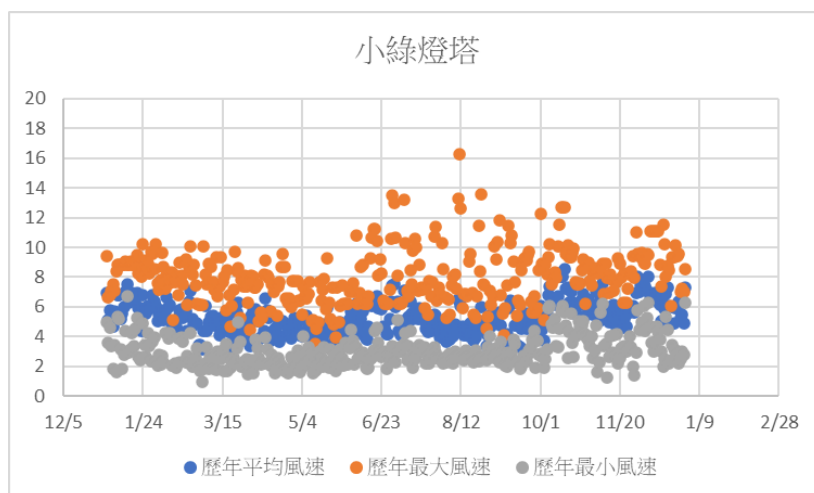


圖 3.10 小綠燈塔站風速資料

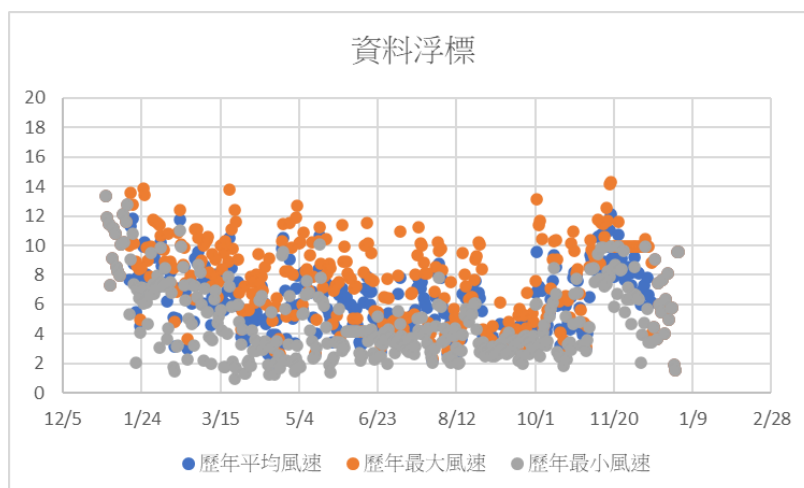


圖 3.11 資料浮標風速資料

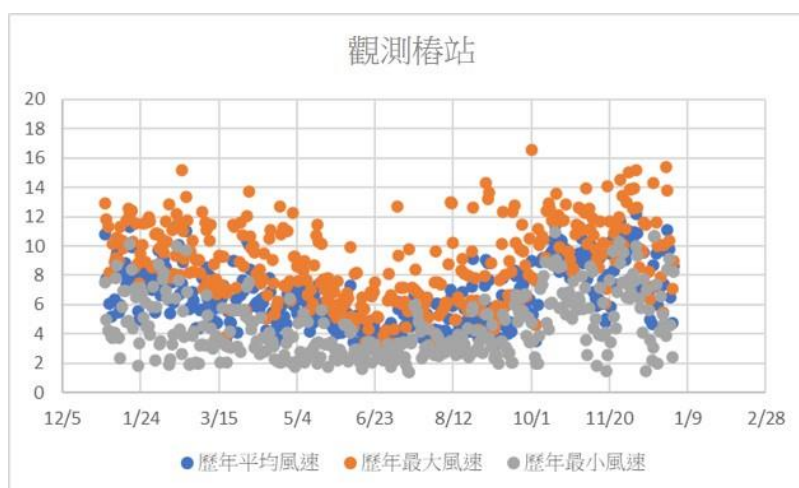


圖 3.12 觀測樁站風速資料

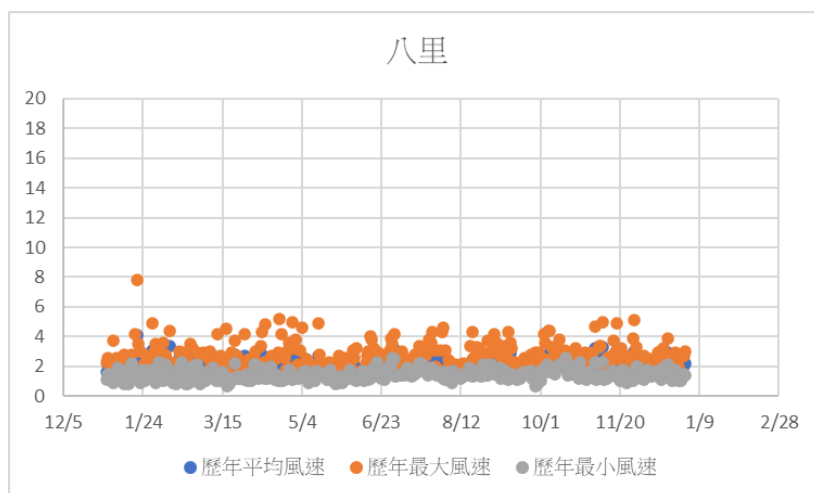


圖 3.13 八里站風速資料

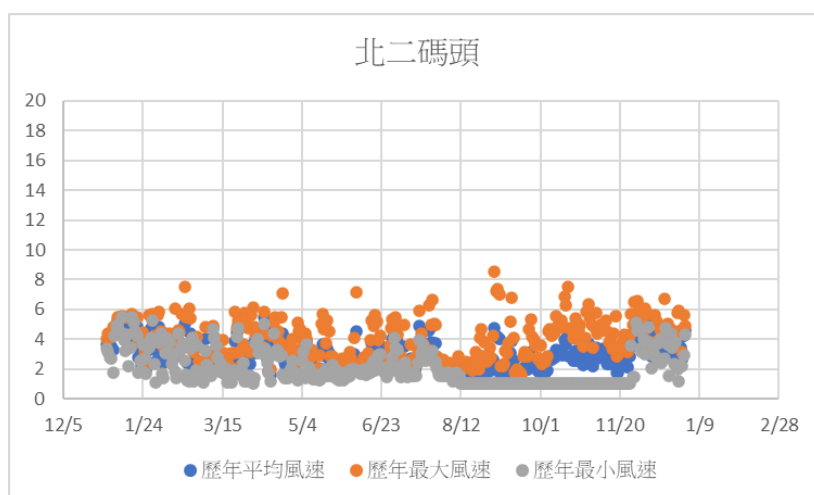


圖 3.14 北二碼頭站風速資料

關於區域與風速之預估，本計畫風速資料採用 FNN（Feedforward Neural Network），FNN 是一種前饋神經網絡，常用於機器學習和深度學習任務，架構如圖 3.15 所示，它由多個連接的神經元層組成，資訊在網絡中單向傳遞，沒有反饋回路。FNN 的架構包括輸入層、隱藏層和輸出層。輸入層接收特徵變數作為網絡的輸入，每個特徵對應一個神經元。隱藏層位於輸入層和輸出層間，由多個神經元組成，並通過權重與前一層的神經元連接。輸出層是網絡的最後一層，輸出神經元的數目取決於問題的性質。FNN 的訓練過程涉及權重的調整和激活函數的應用，以最小化輸出與實際目標之間的誤差。該方法在許多領域中被廣泛應用，包括圖像識別、

語音辨識和自然語言處理。通過調整神經網絡的結構和參數，FNN 能夠捕捉複雜的非線性關係，並實現準確的預測和分類。它具有高度的彈性和擴展性，並在處理大量數據和複雜問題時展現出良好的性能。FNN 的發展和改進不斷推動著機器學習和人工智慧領域的進步。本計畫風速資料訓練架構，如圖 3.16 所示，將每一站的測站坐標以及每個月的風速資料輸入，再使用 FNN 進行訓練，最終預估出研究區域任意位置的風速趨勢圖。訓練精度成果如圖 3.17 與圖 3.18 所示。

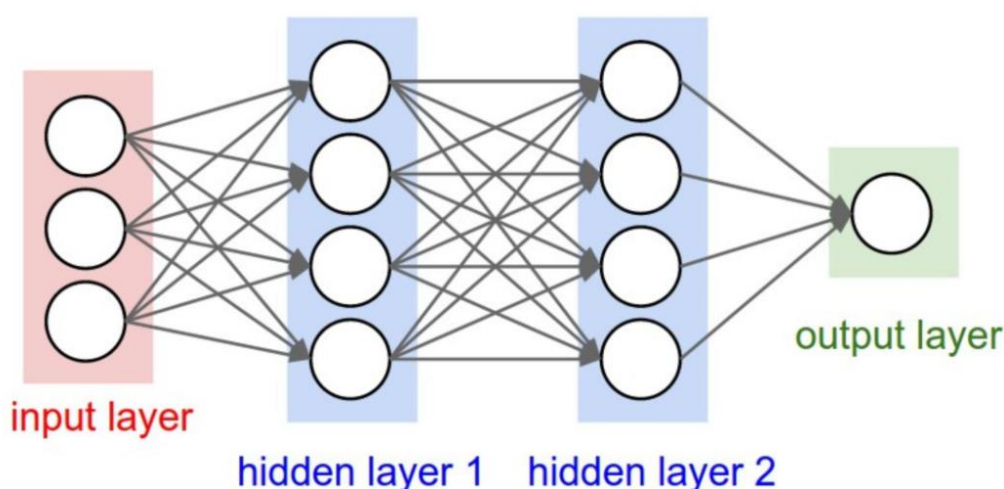


圖 3.15 FNN 架構圖

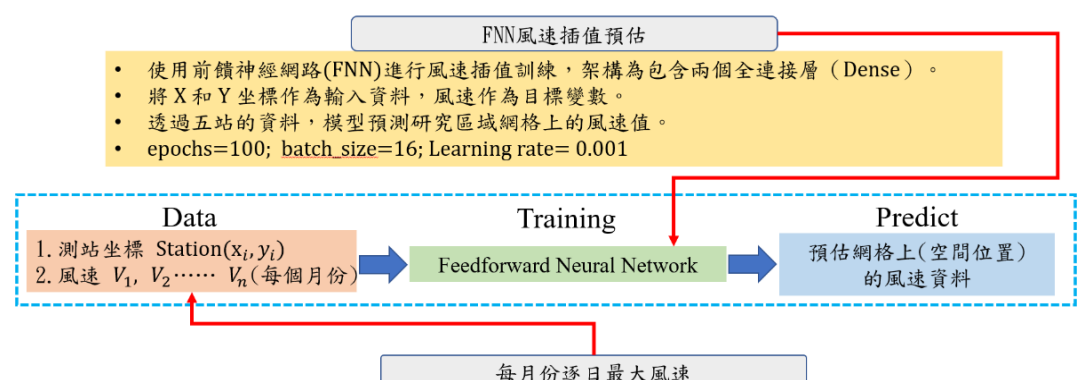


圖 3.16 本計畫風速資料訓練架構圖

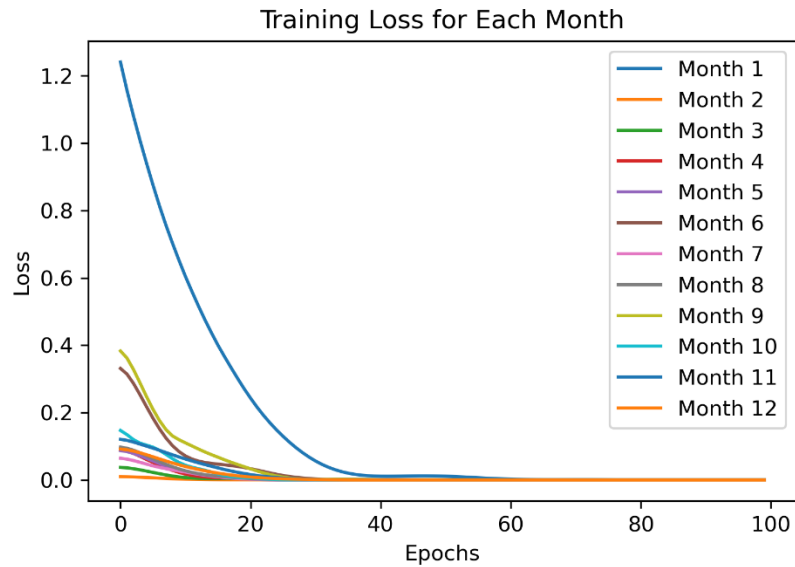


圖 3.17 每個月 Training loss 成果

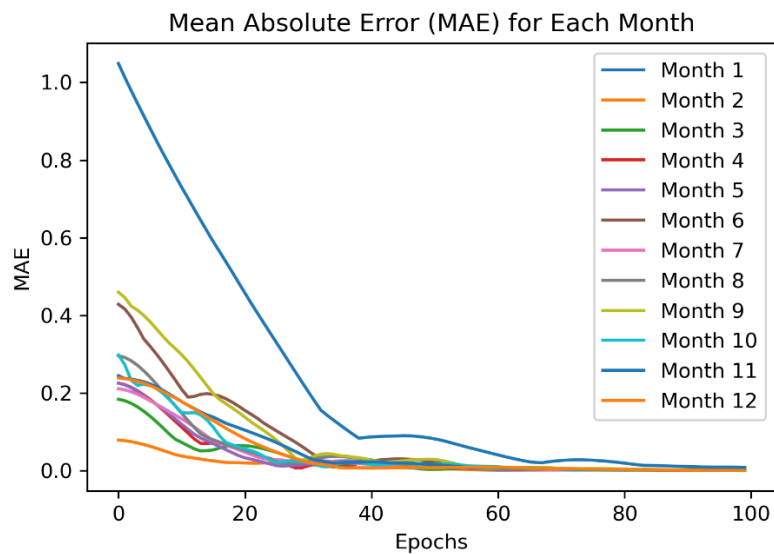


圖 3.18 每個月 MAE 成果

FNN 風速預估成果如圖 3.19 所示，圖中可分為 4 個分級，依據表 3-3 所定義，分為 3 級風、4 級風、5 級風、6 級風。圖中包含風速大小資料以及自動化分區成果，整合成全年 1 張成果圖，使用者可清楚得知不同分級對應適合飛行之無人機。

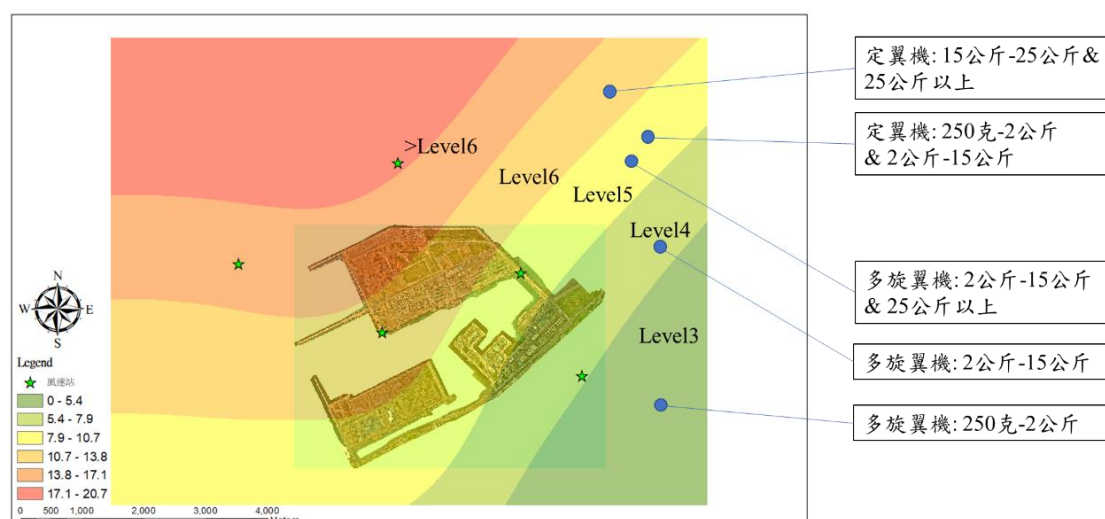


圖 3.19 FNN 風速預估成果圖

3.3 空中載具適宜性評估

將 FNN 的預估成果，如圖 3.19 進行量化，即可分析並得知一個月內共有幾天符合抗風條件，其中抗風條件主要是依據無人機原廠提供之抗風規格，例如，2 公斤以下最大抗風為 5 級風，並換算實際風速，再對應至臺北港風速資料進行評估。將資料標準化除以一個月的天數，即可獲得無人機可飛行天數百分比，可分析每月不同區之各類無人機(Type1~Type4)可飛行天數百分比。並將成果分成多旋翼機與定翼機 2 種。如表 3-4 與圖 3.20 所示，為多旋翼機每月可飛行天數占比，包含無人機種類與分區區域(Level3~Level6)。定翼機每月可飛行天數分析結果，如表 3-5 與圖 3-21。

表 3-4 多旋翼無人機每月可飛行天數占比

月份	Type1-LV3	Type234-LV3	Type1-LV4	Type234-LV4	Type1-LV5	Type234-LV5	Type1-LV6	Type234-LV6
一月	83.9%	100.0%	9.7%	100.0%	0.0%	16.1%	0.0%	3.2%
二月	85.7%	100.0%	10.7%	100.0%	0.0%	46.4%	0.0%	3.6%
三月	87.1%	100.0%	58.1%	100.0%	0.0%	61.3%	0.0%	41.9%
四月	76.7%	100.0%	33.3%	100.0%	0.0%	70.0%	0.0%	46.7%
五月	93.5%	100.0%	58.1%	100.0%	0.0%	96.8%	0.0%	58.1%
六月	86.7%	100.0%	60.0%	100.0%	0.0%	56.7%	10.0%	90.0%
七月	83.9%	100.0%	54.8%	100.0%	0.0%	58.1%	9.7%	83.9%
八月	90.3%	100.0%	87.1%	100.0%	0.0%	64.5%	0.0%	64.5%
九月	83.3%	100.0%	53.3%	96.7%	0.0%	50.0%	0.0%	36.7%
十月	83.9%	100.0%	12.9%	100.0%	0.0%	22.6%	0.0%	9.7%
十一月	80.0%	100.0%	20.0%	100.0%	0.0%	36.7%	0.0%	6.7%
十二月	96.8%	100.0%	3.2%	100.0%	0.0%	16.1%	0.0%	16.1%

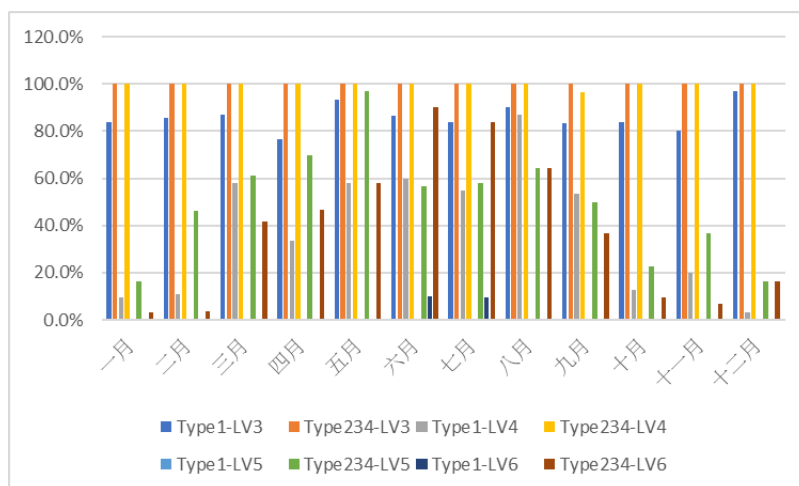


圖 3.20 多旋翼無人機每月可飛行天數占比

表 3-5 定翼無人機每月可飛行天數占比

月份	Type12-LV3	Type34-LV3	Type12-LV4	Type34-LV4	Type12-LV5	Type34-LV5	Type12-LV6	Type34-LV6
一月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	58.1%	100.0%
二月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	57.1%	96.4%
三月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	77.4%	100.0%
四月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	76.7%	100.0%
五月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	90.3%	100.0%
六月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	86.7%	100.0%	100.0%	100.0%
七月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	87.1%	100.0%	96.8%	100.0%
八月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	83.9%	96.8%	90.3%	100.0%
九月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	90.0%	100.0%	76.7%	96.7%
十月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	83.9%	100.0%	45.2%	96.8%
十一月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	96.7%	100.0%	40.0%	90.0%
十二月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	77.4%	100.0%	54.8%	77.4%

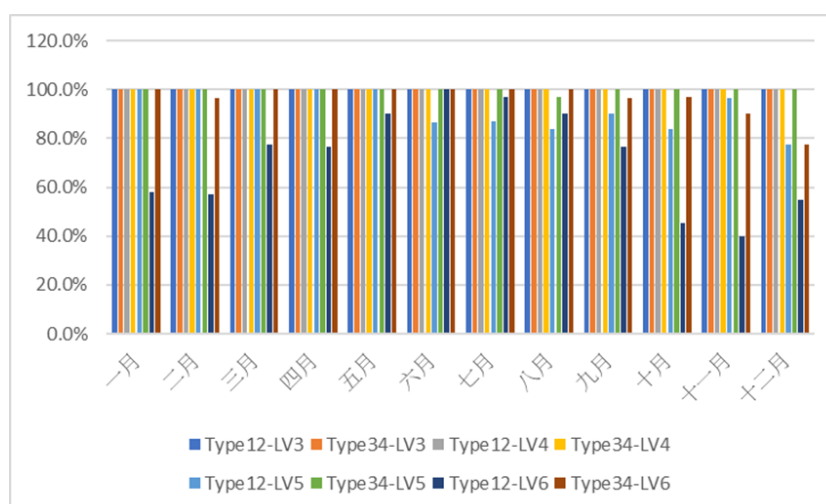


圖 3.21 定翼無人機每月可飛行天數占比

3.4 本章小結

關於基礎資料蒐集，首先，港區風速環境資訊系統被建置，利用 FNN 神經網路技術能夠更準確地預估風速資料，並提供任意區域的風速成果，在自動化分區的問題上，也不需人工介入劃分，應用此技術可更精確預估風速資料，提供相關領域決策可靠依據。此外，本計畫蒐集地面控制點測量和全港區影像資料，透過精確的地面控制點配合攝影測量原理進行影像建模。另在飛行航線以及航高也是至關重要，若某些區域因航高受限導致建模不理想，例如，航高過低導致重疊率不足，需再另外進行小區域航線規劃。或採用傾斜攝影測量進行拍攝補足物件的側面資訊。這項工作產製了高精度與高解析度的正射影像底圖和數值高程模型。每個像素在影像上皆具有精確的空間資訊，因此，這些資料在港區巡檢以及影像對位等相關任務中具有廣泛的應用價值。透過這些基礎資料的蒐集與分析，能夠全面了解港區的環境特徵、地形變化以及風速分佈等重要因素。這些資料將為港區管理和相關任務的執行提供有力支援，例如，風險評估、安全管理和基礎設施規劃等方面，確保港區的運營和發展能夠更加順利。

根據氣象資料評估，如表 3-4 與表 3-5 成果所示，多旋翼機 Type2&3&4，在每個月的 Level3 與 Level4 分區，幾乎能具備將近 100% 的飛行天數。但在 Level5 與 Level6 分區因接近外海，故可明顯看出可飛行天數受到季節影響。在四月至八月才有接近 60% 的可飛行天數，其餘月份因風速較大，可飛行天數低於 60%。定翼機之所有機種在 Level3、Level4 以及 Level5 分區都具備高於 80% 以上的可飛行天數，而在 Level6 分區同樣受到外海強風影響在冬季，可飛行天數百分比降至 40% 至 50%。整體而言，多旋翼機在臺北港建議在三月至八月巡檢，而定翼機建議在二月至十月巡檢，以達到最安全巡檢飛行之目的。

第四章 地面無人載具控制邏輯方法

為了達成無人地面載具（UGV）的自主導航，有三個關鍵模組是不可缺少的：UGV 底盤、開發板和 Lidar 感測器。本研究，UGV 將配備 ROS1 Melodic 操作系統，該操作系統將做為 UGV 控制和導航能力的基礎。

4.1 操作介面說明

ROS 導航堆疊還將 RVIZ 作為一個強大的可視化和控制工具融入其中。RVIZ 為一個 3D 可視化環境，使用者能夠即時互動並檢視機器人的行進過程。在 RVIZ 中，使用者可以將機器人的感測器數據進行視覺化，包含雷達的點雲、拍攝影像和地圖。

圖 4.1 為 RVIZ 的操作界面，提供直觀的圖形用戶界面（GUI），展示其在視覺化感測數據、機器人姿態和計劃路徑方面的能力，顯示目前機器人的所在位置、規劃路徑和偵測到的障礙物。使用者可以自行修改和設置導航目標，監視機器人的移動，並根據需要進行彈性調整。

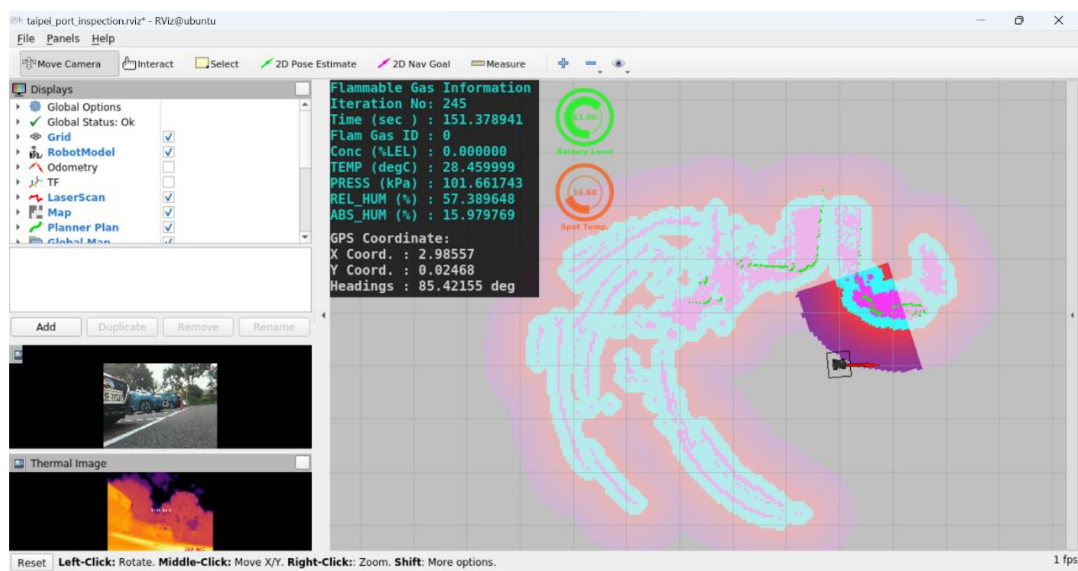


圖 4.1 RVIZ 使用者界面的示意圖

除具備導航控制功能外，RVIZ，在 `jsk_rviz_plugin` 的協助下，還提供了實時可視化我們所收集數據結果的額外優勢。這包括顯示

RGB 影像、熱像影像和氣體感測器的讀數，使其成為一個全面且多功能的全合一機器人圖形用戶界面（GUI）。

4.2 移動模式建構方法

ROS 導航堆棧（ROS navigation stack）是一整組可以讓機器人或自動化載具可以在空間中穩定移動的相關程式，可在 ROS 中運行的機器人提供自主導航能力，示意圖如圖 4.2。它旨在通過整合 Lidar、里程計和 RGB-D 相機等各種感測器，使機器人能夠在動態環境中安全高效地移動。

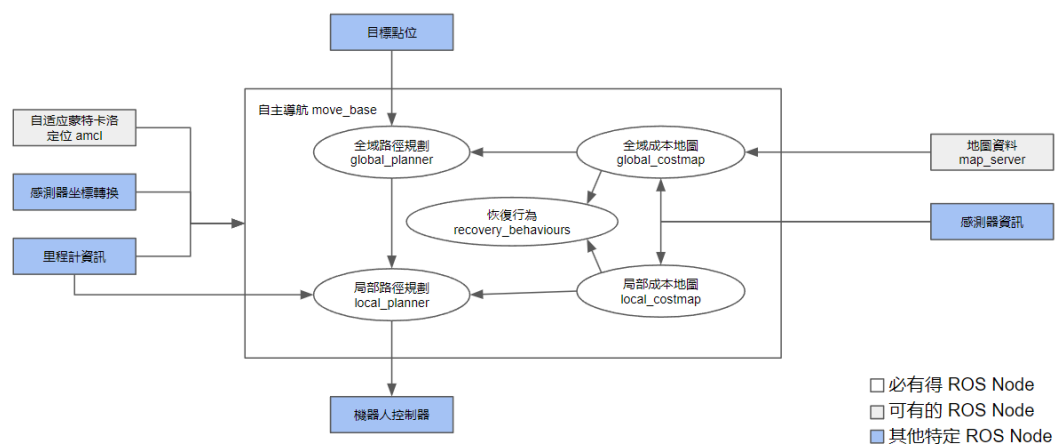


圖 4.2 臺北港港區道路示意圖

導航堆棧包括幾個關鍵組件：

(1) 目標點位

目標點位是指機器人在其環境中試圖達到的特定目標位置或姿態，包括位置（x、y、z）和方向（通常表示為橫滾、俯仰和偏航角度）。目標點位代表了導航任務的期望終點，機器人的主要目標是規劃並執行一條通往該目標的路徑，同時避免障礙物。

(2) 自主導航 Move_base

處理機器人的自主導航的 ROS Node，裏面會包括成本地圖、回復行為、路徑規劃。

(3) 成本地圖（Costmap）

在 UGV 的導航過程中，使用佔有格網（occupancy grid）來表示環境。空間被劃分為格子，每個格子會被賦予一個值，表示是否被障礙物佔據。這使得 UGV 能夠清楚地了解周圍的環境，並對其路徑和移動做出明智的決策。成本地圖（costmap）是一個重要的組件，根據佔有格網為每個格子分配成本值。這個成本反應了 UGV 在穿越該格子時的困難程度。

成本地圖包含兩種類型：全域成本地圖（global costmap）和局部成本地圖（local costmap），見圖 4.3。全域成本地圖提供 UGV 周圍的高級概述，而局部成本地圖則提供更詳細的視圖，顯示其即時環境。局部成本地圖的大小通常是預先確定的。

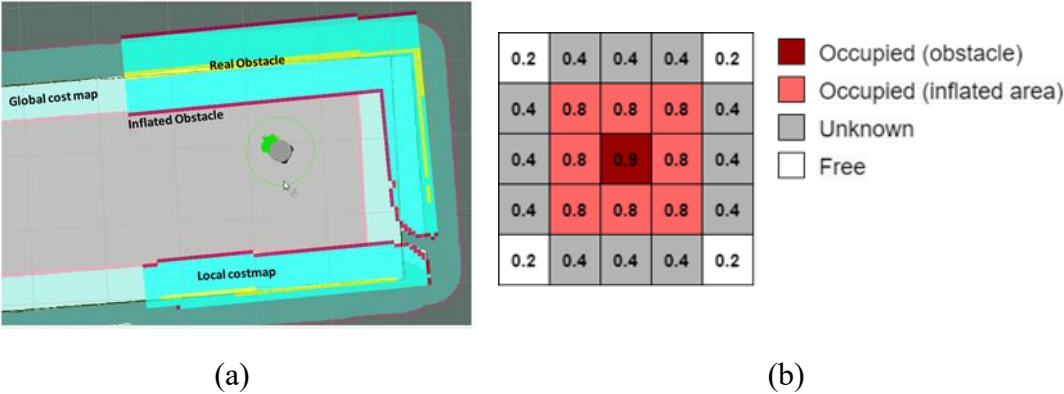


圖 4.3 (a) 局部和全域成本地圖 (b) 成本地圖中的膨脹半徑

成本地圖的兩個重要參數為成本縮放因子和膨脹半徑。成本縮放因子會根據最近障礙物的距離，對成本值進行縮放，以調整成本地圖對障礙物的敏感度；而膨脹半徑則用於在障礙物周圍建立一個安全緩衝區，通過增加靠近障礙物格子的成本值。這確保 UGV 避開障礙物並遵循安全的路徑。這兩個參數需要進行精細調整，以實現最佳導航和避障路徑。

(4) 路徑規劃演算法 (Path Planner)

路徑規劃演算法根據不同的需求和情境，可以分為全域（Global）和局部（Local）兩個類別。

全域路徑規劃演算法的主要功能是生成一條考慮到全域成本地圖和無人地面車輛（UGV）的目的地的路徑。這種演算法通常用於規劃長程或整體導航路徑，以確保 UGV 能夠有效且安全地到達目標點。此外，全域路徑規劃演算法還負責生成 UGV 導航的高層計畫，即確定 UGV 應該經過哪些關鍵點或路徑段。

局部路徑規劃演算法的職責是生成一條考慮到局部成本地圖和 UGV 周圍環境的路徑。這種演算法通常用於處理 UGV 在實際運動中所遇到的障礙物和動態變化，以確保 UGV 可以避免碰撞並按照預定計畫安全地前進。局部路徑規劃演算法負責生成 UGV 導航的詳細計畫，包括考慮到 UGV 的物理尺寸和避免碰撞的機器人腳印（Robot Footprint）參數。這樣的參數用於確保 UGV 在實際環境中的移動是可行且安全的。

(5) 恢復行為 Recovery Behaviours

恢復行為（recovery behavior）是一項關鍵功能，可幫助機器人在面對困難或異常情況時恢復正常操作。這些情況包括機器人可能卡住、無法達到預定目標點，或者遭遇導航困難等問題。預設的恢復行為通常包括機器人在原地旋轉 360 度，以試圖解決問題。

如果即使經過旋轉嘗試後，機器人仍然無法規劃到有效的路徑或無法避開障礙物，恢復行為將自動觸發，並導致機器人中止目標點位導航任務。這樣做是為了保障機器人的安全和有效運作。

需要強調的是，恢復行為是一個自動化的過程，其觸發由機器人的控制系統根據當前情況來決定。這樣的功能確保了機器人在面對挑戰時能夠迅速適應，提高了其可靠性和自主性。

(6) 自適應蒙特卡洛定位 AMCL

AMCL(Adaptive Monte Carlo Localization)自適應蒙特卡洛定位，是機器人在二維移動過程中概率定位系統，採用粒子濾波器來跟踪已經知道的地圖中機器人位姿，對於大範圍的局部定位問題工作良好。

(7) 感測器坐標轉換

在 ROS 系統中，地圖，機器人，感測器各有自己的坐標。感測器坐標轉換用於描述如何轉換這些相對坐標系統。此過程允許機器人理解感測器數據在環境中的準確位置和方向。此資訊對於機器人的定位很關鍵。

(8) 里程計資訊

里程計資訊（通常 ROS Topic 名稱是"nav_msgs/Odometry"）提供機器人在移動時估計位置和方向的重要資訊。這些資料包括機器人位置的 X、Y 和 Z 坐標，用於表示方向的橫滾、俯仰和偏航角度，有時還包括速度資訊。這有助於機器人跟踪其運動，對於導航、控制和定位等任務至關重要。

(9) 地圖資料 Map_server

map_server 是個 ROS Node 用於管理及提供地圖資料給全域成本地圖。map_server 可以讀取的文件格式為.jpg、.png 等圖像格式和.yaml 等 YAML 格式、但最好使用向量圖格式，如 .dwg，以防格網地圖和圖像像素的比例不相同（對像素圖像進行縮放和旋轉會降低像素品質）。

(10) 感測器資訊

在 ROS 導航系統中，感測器源的設置涉及整合從感測器（例如激光雷達或深度相機）獲取的所有感測器數據。根據感測器類型不同，ROS Topic 名稱也會有所不同。這些數據反映了機器人當前的環境狀況，並在用於導航之前被轉換為成本地圖（包括局部和全局地圖）。

(11) 機器人控制器

當區域規劃已經算出一條路徑後，會輸出一個發佈速度的 ROS Topic (名稱爲 /cmd_vel)。這個速度再透過機器人控制器轉成真正對每顆馬達輸出訊號，使馬達轉動，讓機體到達目的地。

4.3 路徑自動規劃

自主導航中的路徑規劃可分為兩種主要類型：全域路徑規劃和局部路徑規劃。全域路徑規劃會建立一條考慮整體成本地圖和 UGV 所需目的地的路徑。主要為 UGV 的移動創建一個高級計劃，確保它能夠達到預定目標。另一方面，局部路徑規劃基於局部成本地圖和 UGV 的即時周圍環境生成一條路徑。它提供了一個更詳細的計畫，考慮附近的障礙物和機器人目前所在的位置。

在路徑規劃過程中，機器人的移動軌跡（footprint）會定義機器人的物理邊界，使規劃器在產生無碰撞路徑時考慮到機器人的大小和形狀（圖 4.4）。

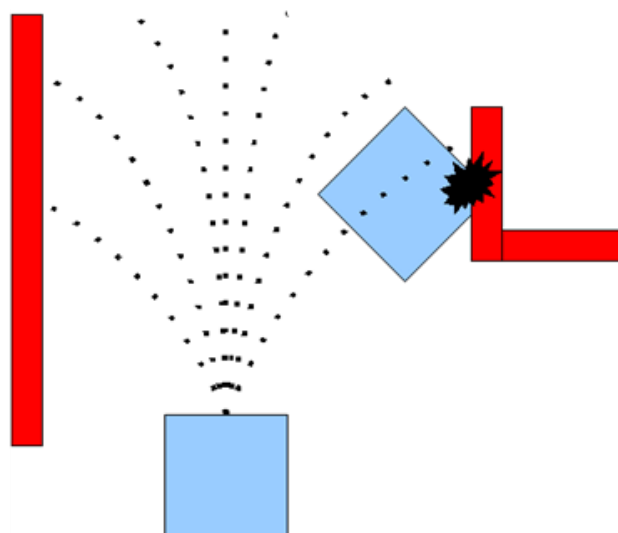


圖 4.4 基於 UGV 運動模式的 DWA Planner 路徑選擇的可視化

為了處理路徑規劃任務，研究中使用了動態窗口方法（Dynamic Window Approach, DWA）進行規劃。該演算法是一種為行進中的機器人所開發的即時避障策略，藉由考慮周圍的障礙物和 UGV 的運動學，確保產生一條安全可行的路徑。透過利用局部成本地圖提供的各項資訊，包括為每個網格內的值，DWA 演算法會計算出使用最小成本的路徑（圖 4.5），同時考慮到機器人的允許線性和角速度。這可確保了在導航過程中產生的路徑在安全性和效率方面都能達到最大化。

本研究中使用的 UGV 根據以下參數進行配置。需要注意的是，這些參數基於臨時 UGV 基礎設置，一旦使用 Jackal UGV，可能會進一步優化。使用參數如下：

- 最大線速度：0.25 公尺/秒
- 最大角速度：1.82 弧度/秒
- LiDAR 離地高度：30 公分
- LiDAR 水平視場角：360 度
- LiDAR 垂直視場角： ± 15 度
- 障礙物檢測範圍：
 - 0.3 公尺 - 1.5 公尺（僅同高層地圖）
 - 1.0 公尺 - 1.5 公尺（3D 投影地圖）
- 最大可避免障礙物速度： $(1.5-1.0) \cdot 0.25 \approx 0.25$ 公尺/秒（最壞情況下，假如彼此朝向移動）
- 路徑規劃放棄（recovery_behaviours）時間：15 秒
-

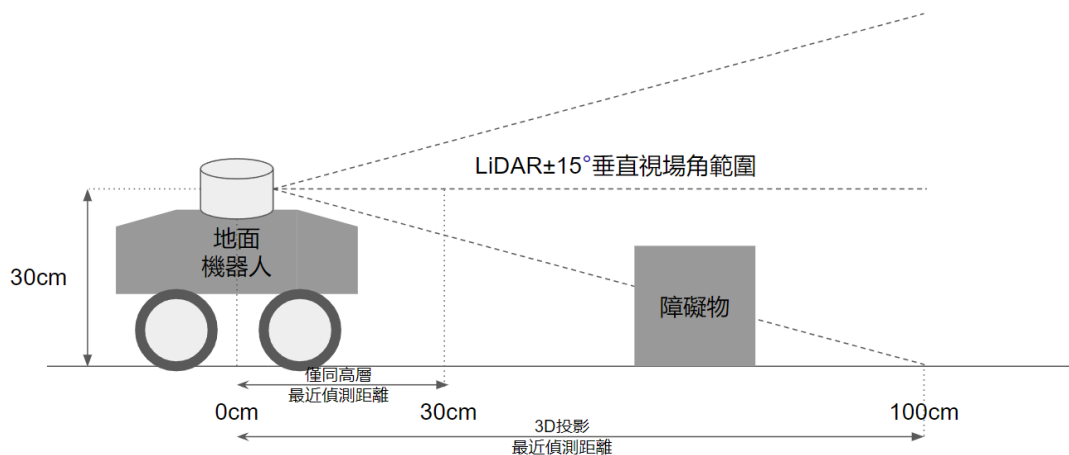


圖 4.5 路徑規劃及避障參數視覺化

4.4 感測器測試(氣體、熱紅外)

4.4.1 有毒極易燃氣體感測器

本研究採 Nevada Nano MPS™ 有毒及易燃氣體感測器裝在 UGV 上。為了測試有毒及易燃氣體感測器，本研究進行了一個小型實驗。這個實驗包含了 4 種不同的情境，第一個是在開放空氣中進行測試，第二個實驗是在封閉空間中測試檢測打火機瓦斯的能力，第三和第四個實驗都涉及使用松香水。在第三個實驗中，松香水被塗抹在封閉空間的牆壁上，而在第四個實驗中，傳感器被放置在松香水瓶口前。更多實驗設置的詳細說明，請參閱圖 4.6 及表 4-1。

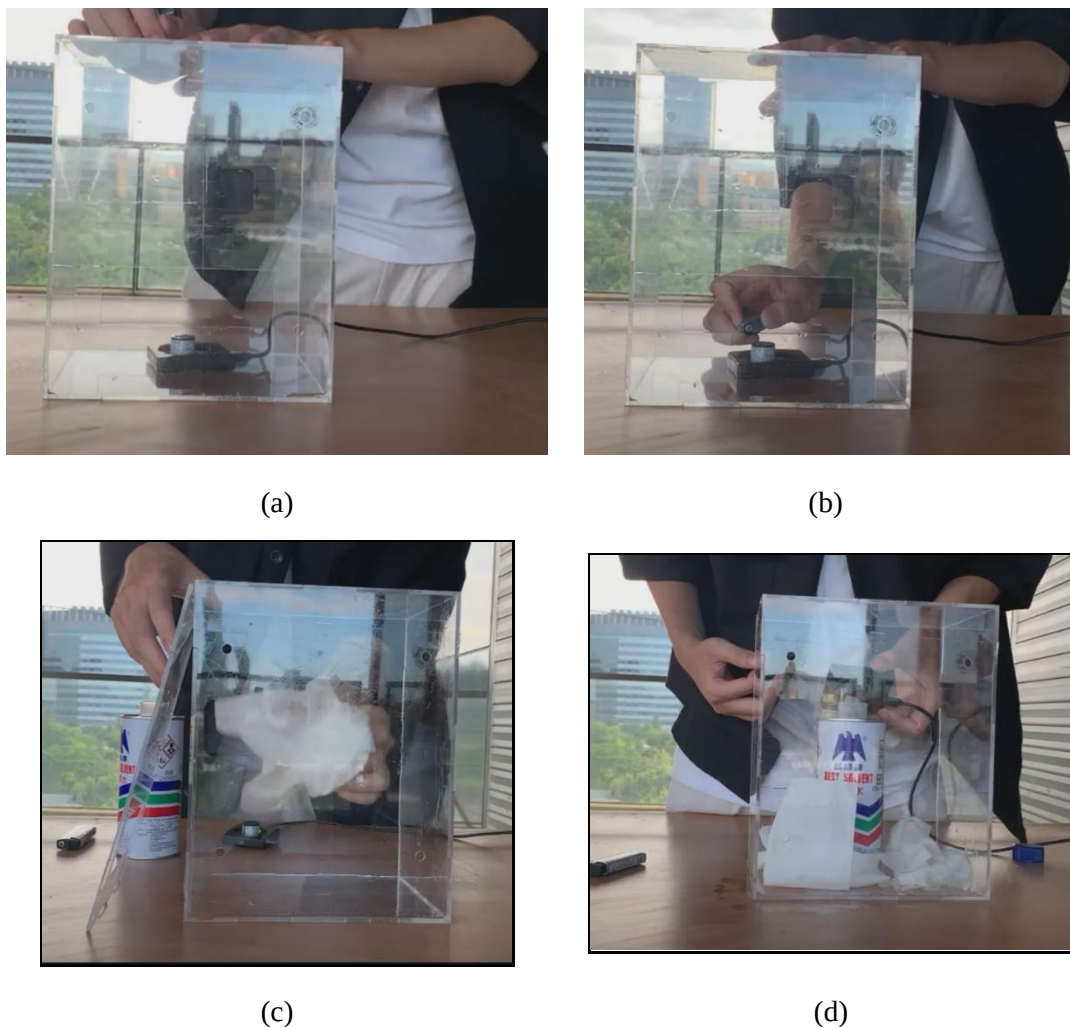


圖 4.6 (a) 實驗 01 (b) 實驗 02 (c) 實驗 03 (d) 實驗 04

表 4-1 有毒及易燃氣體感測器實驗設置

實驗編號	實驗名稱	易燃氣體成分
實驗 01	無易燃氣體之空氣	---
實驗 02	打火機瓦斯	丁烷、丙烷類、石油液化氣
實驗 03	松香水	辛烷、壬烷、苯乙烷、二甲苯

表 4-2 顯示了本本次小實驗的結果。總體而言，結果相當令人滿意，可與圖 4.6 做對比，但有一些需要注意的事項：

- 偵測延遲：該偵測器需要一段時間（約 3-5 秒）才能偵測到氣體的%LEL 濃度。這種延遲是正常的操作特性，需在應用中考慮到。

- Gas ID 不正確：有時偵測到的 Gas ID 可能不正確，特別是在開放空氣的情況下。有時會出現 Gas ID 2 或 3，且%LEL 濃度約為 5%LEL 左右。誤差的可能來源可能包括前一次實驗的殘留氣體或傳感器本身的 $\pm 5\%$ LEL 誤差。

表 4-2 有毒及易燃氣體感測器實驗結果

實驗編號	實驗名稱	易燃氣體成分
實驗 01	Gas ID 0 No Flammable Gas	0.00 %
實驗 02	Gas ID 4 Light Gas	39.76 %
實驗 03	Gas ID 4 Light Gas	29.79 %
實驗 04	Gas ID 5 Medium Gas	105.40 %

觀察結果提供了實驗性能的有用訊息，並有助於更深入地理解傳感器之行為。實際應用中，特性和誤差應該納入考慮，以確保準確的氣體檢測和評估。

4.4.2 熱紅外感測器

本研究將 Flir Lepton FS 紅外線熱像儀整合至 UGV 上 (圖 4.7)。在整合至 ROS 後，驅動程序將發布熱影像，以及場景中的中心點溫度、最低溫度、平均溫度和最高溫度。熱影像中的中心點溫度將以白色（或黑色，取決於熱點溫度是否高於或低於平均溫度）標記，

藍色表示最低溫度，紅色表示最高溫度。利用這一設置，本研究進行了一項小型實驗，使用 Flir Lepton FS 測量了冷熱表面的溫度，並將其與其他熱像相機如 Flir One Pro 以及我們最初使用的 Flir Vue Pro 進行了比較。在實驗中，熱表面是電磁爐的熱表面，而冷表面則是從冷凍庫中取出的新鮮冷凍雞肉。為避免溫度在時間上發生大幅變化，盡可能迅速進行測試。表 4-3 展示了本次小型實驗的結果。

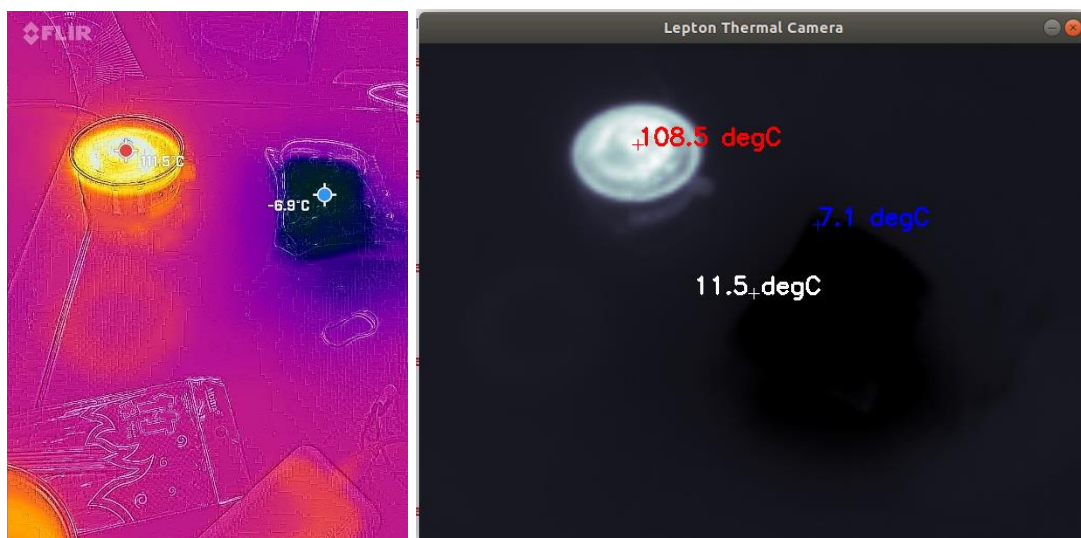


圖 4.7 (a) 紅外線熱像儀測試目標 (b) 使用 Flir Vue Pro 測試物體表面的溫度

表 4-3 紅外線熱像儀實驗結果

熱像儀型號	熱表面溫度	冷表面溫度
Flir One Pro	111.5°C	-6.9°C
Flir Vue Pro	150.3°C	-0.5°C
Flir Lepton FS	108.5°C	7.1°C

根據表 4-3、圖 4.8 與圖 4.9，不同型號的熱像儀在測試中呈現了不同的溫度測量結果。Flir One Pro 在冷表面溫度方面顯示了相對低的數值，而在熱表面測量上則有相對較高的數值。相比之下，Flir Vue Pro 在冷表面和熱表面的測量結果都較高。最後，Pure Thermal Flir Lepton FS 在冷表面和熱表面的溫度測量上顯示了相對平衡的數值。



(a)

(b)

圖 4.8 (a) Flir One Pro (b) FLir Lepton FS

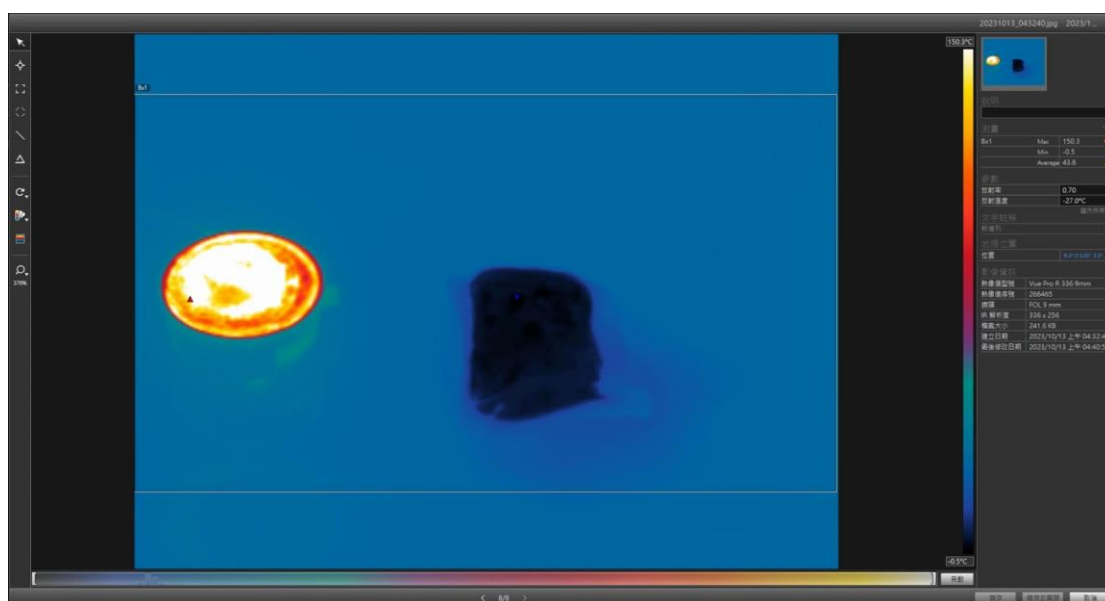


圖 4.9 Flir Vue Pro 測試結果

4.5 本章小結

在本計畫中，UGV 在自主導航方面已經成功地採用了 ROS 導航堆疊（ROS navigation stack）。透過整合成本地圖和路徑規劃器等多個模組，展現出在動態環境中安全高效的導航能力，此外，藉由

微調路徑規劃算法，可同時考慮了全球和區域成本地圖，進一步提高規劃無碰撞路徑的能力。而在使用者介面方面，RVIZ 控制器提供了直觀的視覺化感測器數據、機器人姿態和計劃路徑，有助於控制和監測 UGV 的移動，以上功能皆為本計畫自主導航奠定了堅實的基礎。

第五章 感測資料自動化辨識技術發展於臺中港

5.1 舊有標的物

依照各目標特性與後續多時期比對分析所需資訊，過去針對各目標分別進行任一偵測或整合多項偵測模型進行偵測（如表 5-1）。

表 5-1 過去已辨識之標的物

標的物	方法	實施之多時期檢測邏輯	說明
道路標線	實例分割	不同時期道路標線之損壞程度	道路分向線、禁止變換車道線、行車分向線、車道線、停止線、指向線
人手孔蓋	物件偵測	不同時期物體存在與否、物體位置是否發生偏移	以北堤路設施樣式為目標
岸邊設施	實例分割	不同時期存在與否、物體損壞與否	包含車擋、反光板與碰撞墊，以 20-25 號碼頭設施樣式為目標
道路鋪面裂縫	語意分割	以裂縫數量與裂縫寬度統計出路況損壞程度	以北堤路設施樣式為目標
路燈	物件偵測	不同時期存在與否、是否發生變形偏移	以北堤路設施樣式為目標
紅綠燈	物件偵測	不同時期存在與否、是否發生變形偏移	以北堤路設施樣式為目標

5.2 岸邊設施自動化辨識分析

5.2.1 舊有辨識模型

關於岸邊設施標的物中，臺中港共辨識車擋、反光板與碰撞墊等 3 項，偵測之樣式為臺中港 20-25 號碼頭設施。

臺中港所進行之辨識模型分為兩階段進行。必須先使用語意分割模型 FPN，將圖片區分為海與陸地兩區域，並從中找出岸邊設施的大致位置。而後再將該區域的影像分割出來，變相將物件放大，並針對切割出來的區域，縱向切分成四小分後，使用實例分割模型 Mask R-CNN 進行岸邊設施的自動化偵測，最後合併結果。

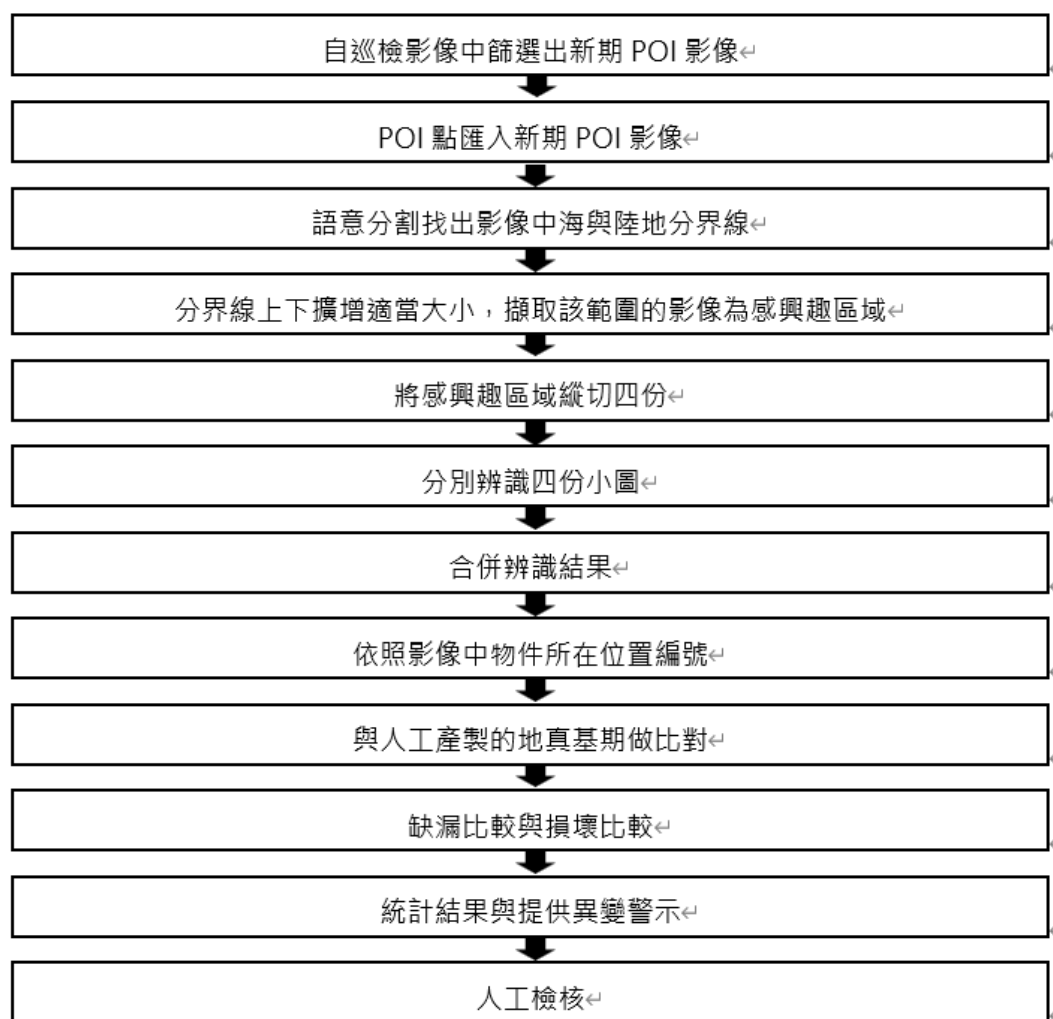


圖 5.1 臺中港岸邊設施自動化辨識分析流程(單張 POI 影像為例)

在模型效能驗證上，使用驗證資料集來進行驗證，得到結果如表 5-2，Bounding Box 的 mean Average Precision(mAP)在 IoU 條件 50%以上為正的條件下，可達到 95.44%；在物件輪廓分割的部分，同樣在 mAP@0.5 的情況下，可達到 95.35%。

表 5-2 岸邊設施 Mask R-CNN 辨識模型統計於驗證資料集之效能

項目	mAP@0.5	mAP@0.75
Bounding Box	95.44%	91.95%
Segmentation	95.35%	91.99%

臺中港案例中，透過此方法進行自動化辨識，雖在驗證資料集中可達到約 90%全物件平均準確率，但實際應用到新期的測試影像上時，辨識準確度下降至 70%，如圖 5.2 與表 5-3 所示，尤其碰墊部份，其原因經分析大致為兩點，一是物件受海水遮蔽影響，特別是碰墊在潮位線較高的時候可能一半以上受遮蔽；二是在切割後影像邊緣物件模型辨識較不穩定，可能是在切割影像時恰好劃過物件，使物體在辨識時體積不完全。



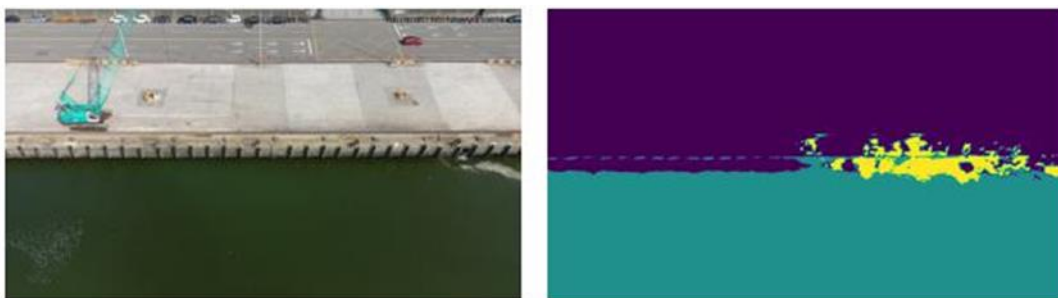
圖 5.2 測試資料模型辨識結果(以臺中港成果為例)

表 5-3 測試資料模型辨識結果統計(以臺中港成果為例)

	各目標物數			
	碰墊	反光板	車檔	總數
實際個數	38	35	30	103
模型發現個數	19	30	25	74
準確率	50%	85%	83%	71%

將臺中港模型套用於臺北港岸邊巡檢影像上，結果如圖 5.3，不論是在語意分割或是在實例分割上，都不及在臺中港的準確，尤其在實例分割上，不同樣態的碰墊難以辨識，在樣態上較為相似的影像中，準確率也僅剩約 50%。

臺中港模型具有兩部分的模型，語意分割與實例分割，要使用在新的地區影像上時需要重新調整，在轉移與維護上較不易。且由於每張 POI 影像的海陸位置不同，兩階段的辨識模式所得到的物件影像坐標要進行整合也不容易，無法發揮 UAV 巡檢拍攝時高重疊率拍攝的優勢。



(a) 語意分割結果



(b) 實例分割結果



(c) 實例分割結果

圖 5.3 臺中港模型套用於臺北港影像上之不同影像分割成果

5.2.2 新模型嘗試

本計畫，嘗試使用近幾年新推出的模型 YOLOv8 進行岸邊設施自動化辨識作業，YOLOv8 為 2023 年 1 月份由 ultralytics 公司發布，是目前最新版的 yolo 演算法。除支援原先的物件偵測外，也提供了能進行實例分割的分支模型。

YOLOv8 其模型架構會針對圖片進行 3 種大小偵測，使模型在偵測小物件上能有更好的表現效果。藉由模型本身的架構設計，使用 YOLOv8 進行岸邊設施自動化辨識時，不再需要透過事前的語意分割找出岸邊設施的大致位置，直接將原始的 UAV 影像輸入到模型之中進行辨識，即可達到良好的辨識結果。

臺北港岸邊設施中，並無存在反光板，因此，臺北港的岸邊設施辨識標的物為碰墊、車檔與繫船柱 3 樣。在臺北港的測試區域中各物件的樣態，如圖 5.4 所示。



(a) 四種車檔



(b) 兩種碰墊共 (左一、二)、一種繫船柱 (右一)

圖 5.4 臺北港岸邊設施各物件樣態

Yolov8 的模型訓練總共使用 162 張巡檢影像，原始影像大小為 8K，標註後將其縮放為長寬 640 像素的影像，並透過模糊、旋轉與裁切進行資料擴增，最後總計有 339 張訓練影像、32 張驗證影像與 17 張測試影像。

使用 Yolov8 做為模型架構進行 100 個 epochs 的訓練，最終訓練出來的模型效能，如圖 5.5，模型損失皆能在多次的訓練後收斂，且最後在驗證資料上的準確率，能達到接近 98%的結果。

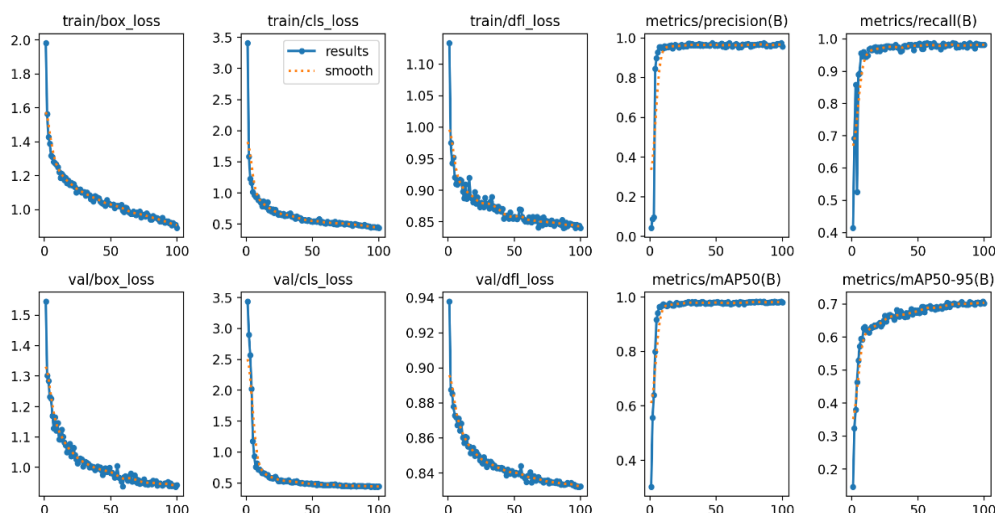


圖 5.5 Yolov8 訓練與驗證的模型效能

模型在驗證資料集中的 32 張影像共計 1044 個物件中，以 IoU 閾值設為 0.5 的全物件平均準確率(mAP@0.5)上可達到 98.4%準確率。

各物件的辨識中，模型在 117 個繫船柱上有 96.5%的準確率；655 個車擋上有 99.5%的準確率；在 272 個上碰墊則有 99.2%的準確率。模型訓練的混淆矩陣，如圖 5.6。

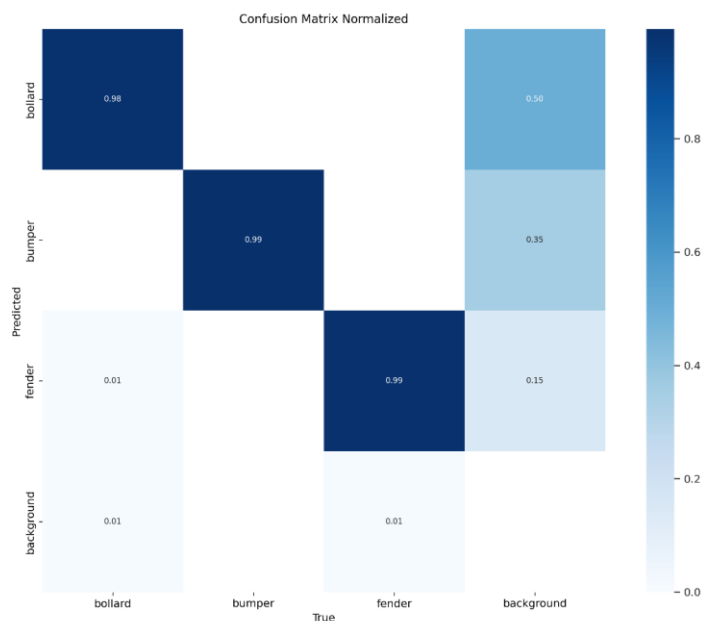


圖 5.6 臺北港 Yolov8 模型於驗證資料集上的混淆矩陣

5.2.3 辨識流程

使用 YoloV8 的辨識流程，如圖 5.7 所示。

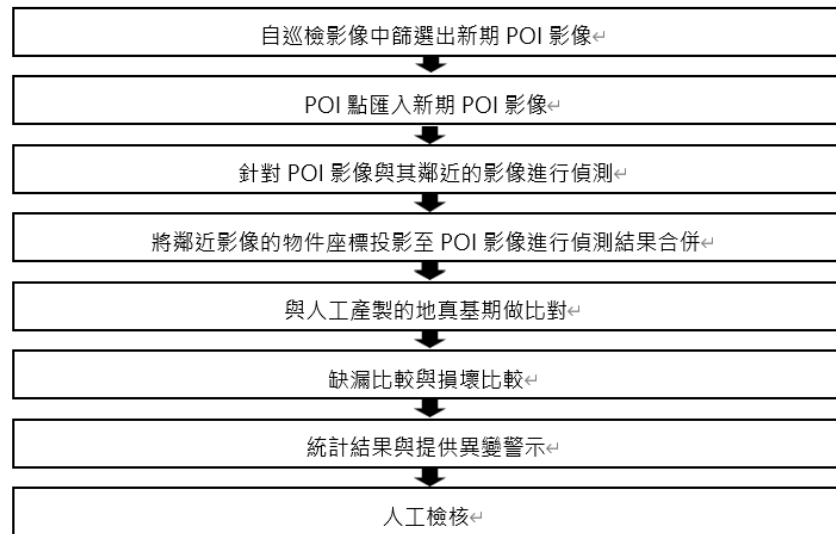


圖 5.7 臺北港模型岸邊設施自動化辨識分析流程(單張 POI 為例)

首先自巡檢影像中挑選出離 POI 點最近的新期影像與其左右鄰近的影像(如圖 5.8)，共 5 張進行 YOLOv8 物件偵測。而後將各自影像上的辨識結果透過投影轉換(如圖 5.9)將其物件坐標投影至 POI 新期影像上(如圖 5.10)，綠點代表辨識物件框的中心位置，可見同一物件上有多個綠點，在多張影像上被辨識到。，以此來發揮 UAV 重疊率高的拍攝方法，即便在單一影像上沒有辨識到物件，只要五張影像中有任意一張影像成功辨識，該物件就能被辨識出來。而後在針對 POI 影像的合併結果與地真基期做異變比較，統計辨識結果，提供給人員檢核。



圖 5.8 POI 影像(中間)與鄰近的影像

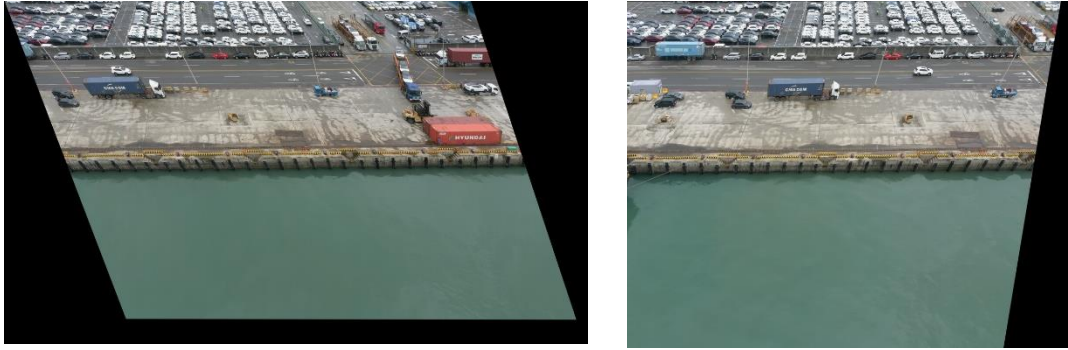


圖 5.9 經投影轉換後的左右離近影像

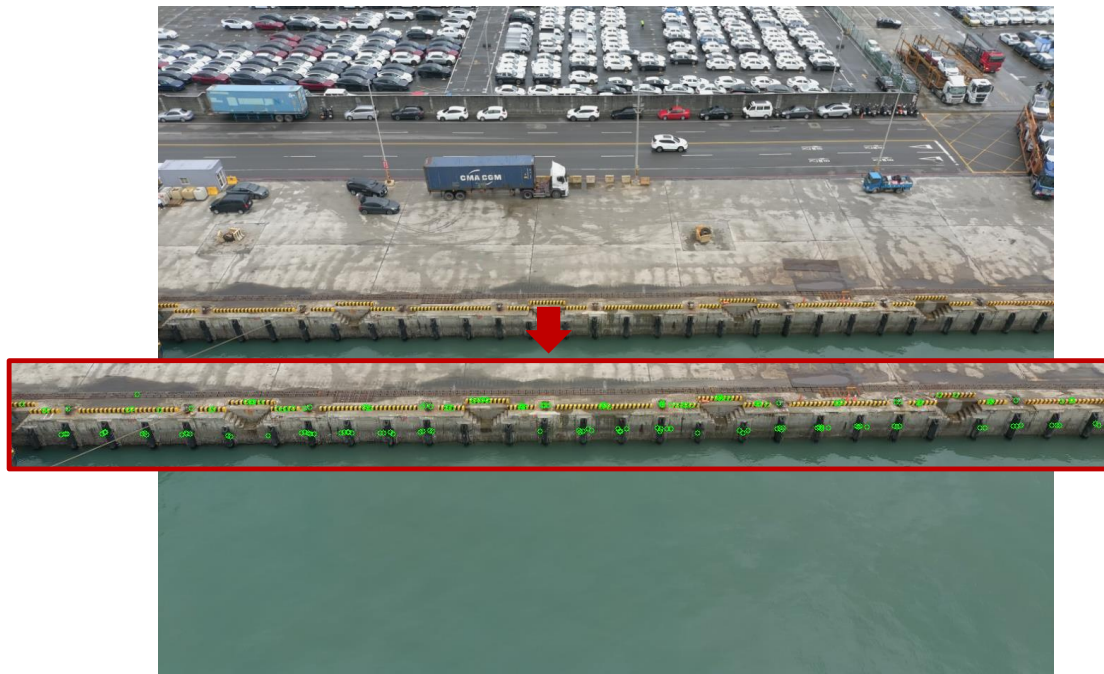


圖 5.10 將鄰近影像的偵測結果投影至 POI 影像上

5.2.4 辨識結果

經過多張影像的辨識重疊整合，單一影像的辨識效果可獲得大幅的提升(如圖 5.11)。在各物件的辨識上，原先 28 個碰墊僅有 15 個被偵測到，透過合併後共有 24 個被偵測到，準確率從 53% 提升到 85%；19 個車擋中原先 14 個被偵測到，合併後 19 個全數偵測到，準

確率從 74%提升到 100%；9 個繫船柱中原先僅有 3 個被偵測到，合併後 9 個全數偵測到，準確率從 33%提升到 100%。

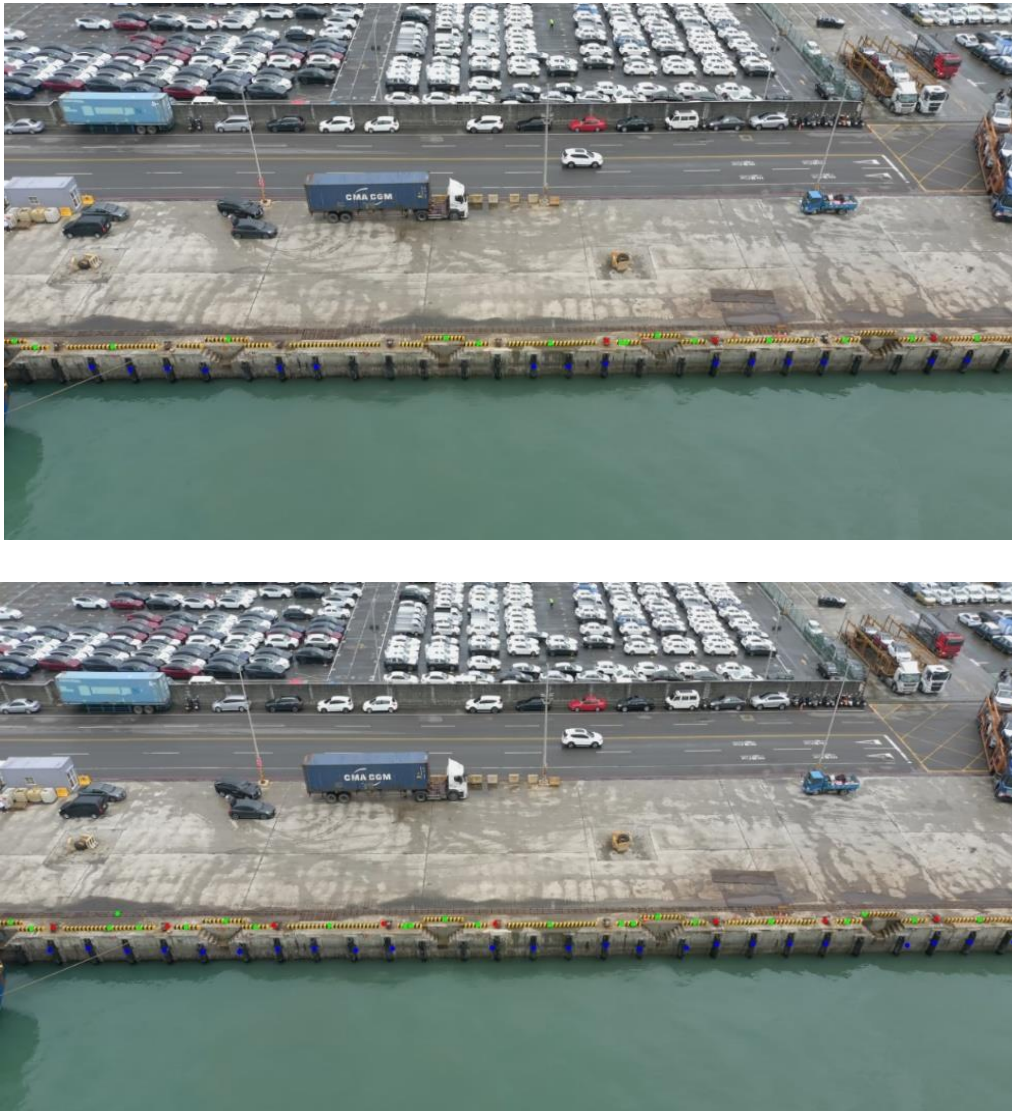


圖 5.11 (a)單一 POI 影像的辨識結果、(b)POI 影像與鄰近影像合併的辨識結果

後續針對地真基期影像進行比對，由於地真基期的影像與每期 POI 影像也略微不同，在比較前須要透過投影轉換將基期影像坐標投影至 POI 影像上(如圖 5.12)。而後比對基期影像的物件框上，POI 影像是否有對應的物件被偵測出來，且偵測到的影像其體積與基期相比是否減少超過閾值(50%)，物件是否作為損壞判斷。

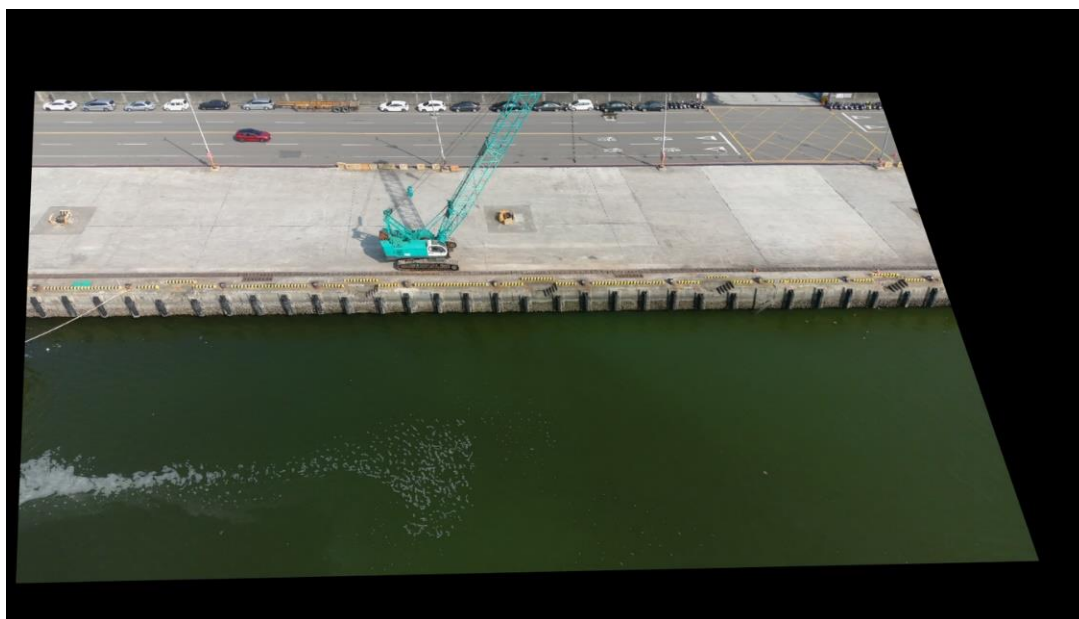


圖 5.12 基期影像投影至 POI 影像

經比對可分析出 POI 影像裡，基期物件被偵測到、基期物件缺失，與在這一期中影像所有找到的物件(如圖 5.13)，供人工檢視。綠色框為基期物件被成功偵測；紅色框為基期物件缺失；綠色點為 POI 影像偵測到的車擋；藍色點為 POI 影像偵測到的碰墊；紅色點為 POI 影像偵測到的繫船柱。



圖 5.13 與基期比對結果

5.3 北堤路路況自動化辨識流程

5.3.1 舊有辨識模型

去年度於臺中港研究案所使用的模型架構為 U-Net，架構如圖 5.14 所示，U-Net(Ronneberger et al., 2015) 是一種基於全卷積網絡 (Fully Convolutional Networks, FCN) 架構下的類神經網路，包括編碼器 (encoder) 和解碼器 (decoder) 部分。傳統的 FCN(Shelhamer et al., 2015) 在降維過程中容易丟失一些關鍵特徵，因此 U-Net 提出了一個解決方案。它在編碼器和解碼器之間引入了殘差連接 (如圖 5.14 中的灰色箭頭)，以確保在降維時保留所有重要特徵，從而提高了預測性能。因此，目前在語義分割領域，大多數模型都採用了 U-Net 架構。

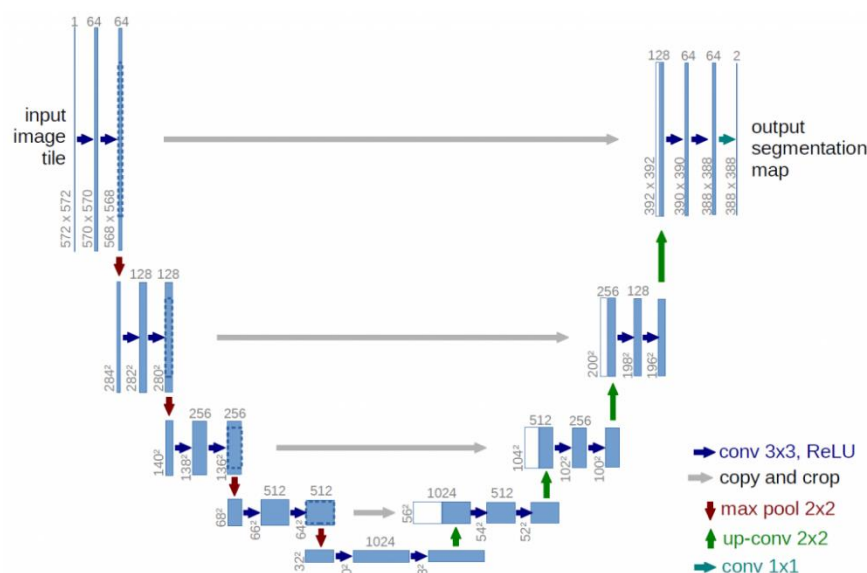


圖 5.14 U-net 架構(Ronneberger et al., 2015)

訓練該模型使用之資料集為民國 111 年 4 月 14 日於北堤路拍的航攝影像來當作本地資料集，一共人工標記了 21 張照片，如圖 5.15，並將每張照片分割成 70 張 500*500 的小照片，因此總共有 1470 張照片來做訓練，其中 1282 張當作訓練集，143 張當作驗證集，45 張當作測試集。



圖 5.15 本地資料集圖片與對應標註

為了增加資料多樣性，本研究對影像資料使用了資料強化 (Data Augmentation) 如圖像隨機翻轉 (Random Flip) 或隨機改變圖像對比度及亮度 (Random Contrast, Random Brightness)，模型訓練平台為 Linux 系統，並有四個 256 GB DDR4 RAM 的 Intel Xeon E5-2620 CPU，及八個 48 GB memory 的 NVIDIA RTX Quadro 8000 GPU。其訓練細節如表 5-4。

表 5-4 舊模型的訓練細節

訓練參數	值
預訓練編碼器	MobileNetV2 (imagenet)
損失方程式	Cross Entropy
優化器	Adam
基礎學習率 (LRbase)	0.0001
學習率調整方程式	$LR = LRbase * (1 - \text{Epochcurrent} / \text{Epochmax})^{0.9}$
最大迭代數 (Epochmax)	50
批次大小	3

5.3.2 新模型嘗試

本年度於臺北港新嘗試的模型為 U-Net++ (Zhou et al., 2018)，模型架構如圖 5.16 所示，它對傳統 U-Net 在殘差連結的方面進行了改進。U-Net++ 在殘差連結上新增了數個節點，以更好地處理淺層和深層之間的特徵傳遞，減少了特徵信息的流失。這種改進使得 U-Net++ 在檢測細微物體方面表現出色，特別適合檢測較細微的物體，如細小的裂縫等，因此，本計畫嘗試以 U-Net++ 增進模型表現。

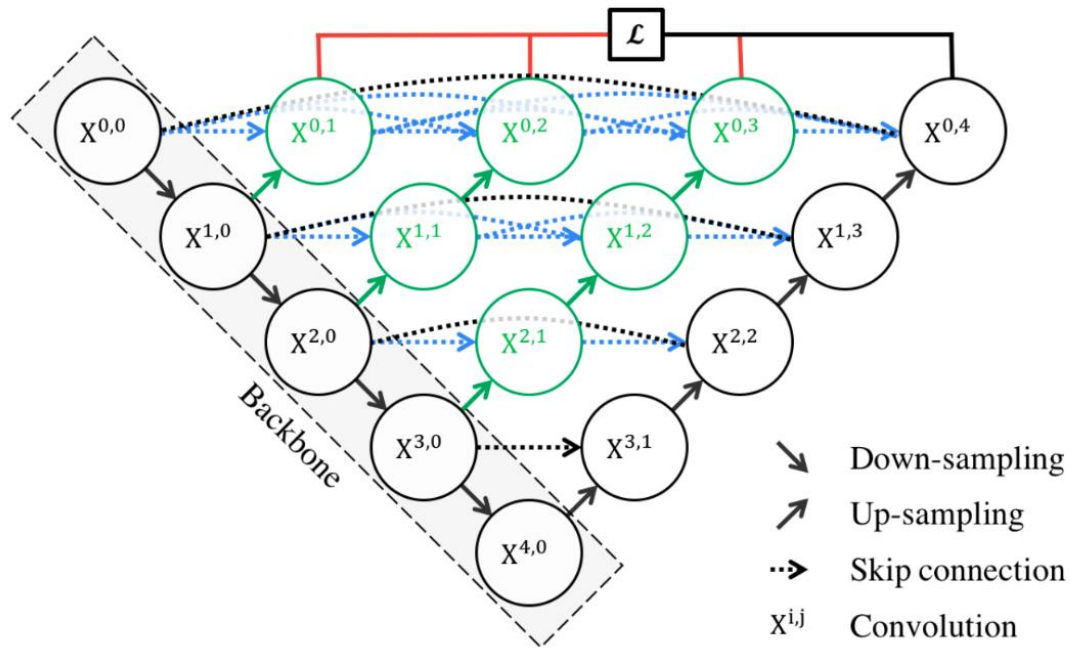


圖 5.16 U-Net++架構

訓練該模型使用之資料集除了去年度的臺中港圖資外，新增了本年度於臺北港的航攝影像混合著進行訓練，拍攝位置如圖 5.17 所示，以期模型能夠應付不同場景的路面裂縫，並於去年臺中港的資料集中刪除了一些非路面的影像。此外，為了因應於今年度新增的檢測目標伸縮縫，標註的種類將分為 3 種，背景、裂縫、以及伸縮縫，如圖 5.18 所示，可以發現臺北港的路面影像顏色較深，因此將 2 種資料混合訓練以強化模型的適應力(d)為新增之伸縮縫標註，此處採用灰色顯示。總共有 1144 張影像，別以 8 : 1 : 1 的比例分為訓練集，驗證集及測試集。

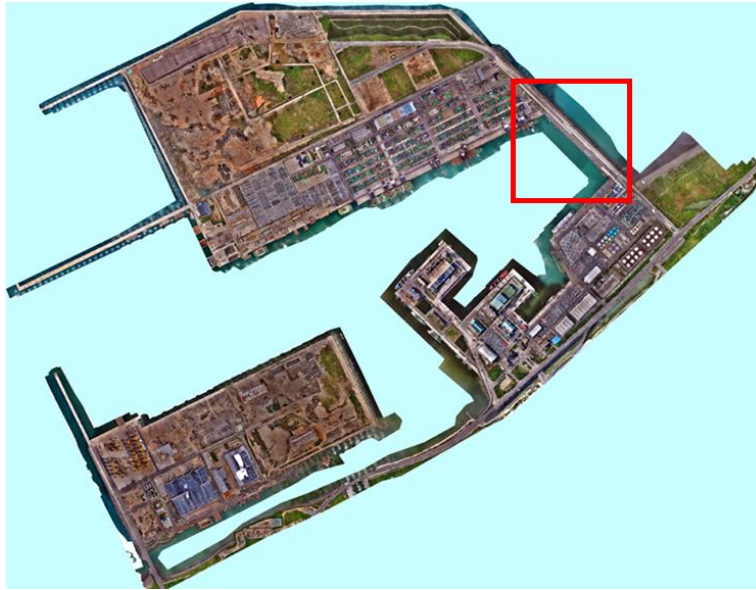


圖 5.17 臺北港正射影像，紅框處即為臺北港測試資料位置

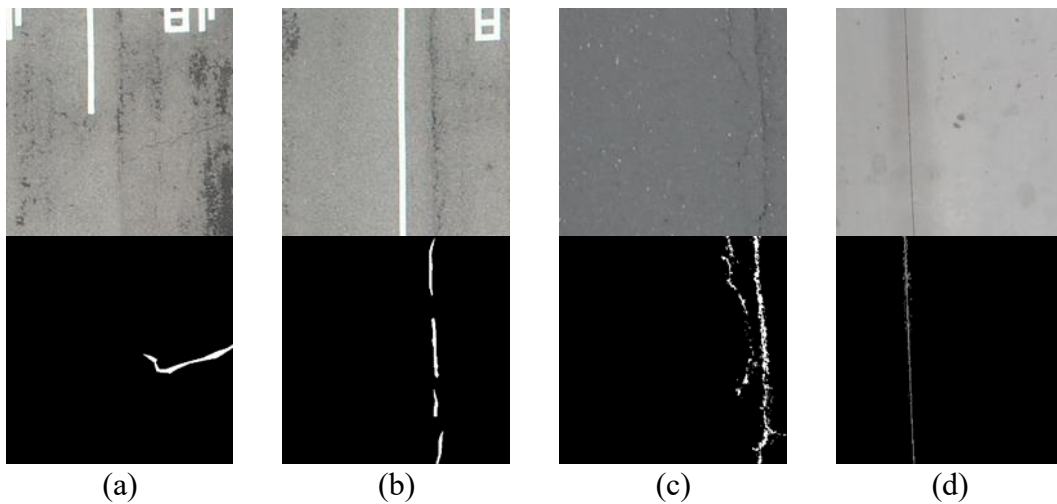


圖 5.18 (a), (b)為臺中港資料，(c), (d)為臺北港資料

除模型架構外，本年度並嘗試將預訓練編碼器換成較大之 Efficientnet-B6(Tan and Le, 2019)強化模型在特徵提取方面的能力，並將損失方程式多加 Lovasz Loss(Maxim et al., 2018)，使訓練過程中模型之預測結果與真實標註的差距，能更正確被評估，使訓練更有效率，並一樣使用資料強化後在相同平台上進行訓練，訓練細節如表 5-5。

表 5-5 新模型的訓練細節

訓練參數	值
預訓練編碼器 損失方程式 優化器	Efficientnet-B6 (imagenet) Cross Entropy + Lovasz Loss Adam
基礎學習率 (LRbase)	0.0001
學習率調整方程式	$LR = LRbase * (1 - \frac{Epochcurrent}{Epochmax})^{0.9}$
最大迭代數 (Epochmax)	50
批次大小	3

5.3.3 辨識流程

由於原始影像尺寸太大，模型在預測時會先將圖片分割成 480*480 的小圖再一一進行預測，最後將結果重新拼成原圖尺寸，過程如圖 5.19 所示，首先模型會將圖片切割為一張張的小圖片再一起輸入模型中，最後將結果重組成原圖的樣子。

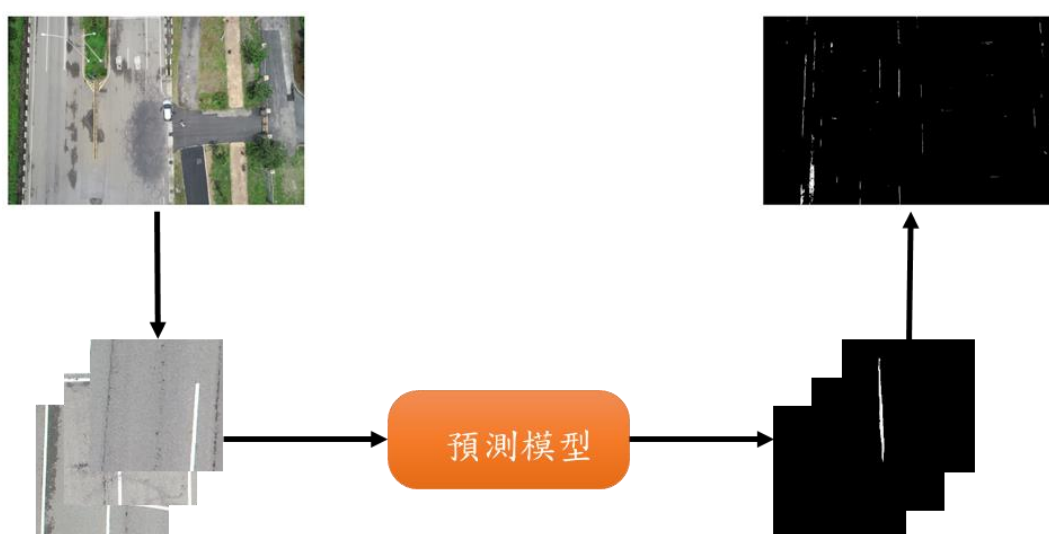


圖 5.19 模型預測流程

5.3.4 辨識結果

此節比較新模型與舊模型在測試集上之表現，使用 intersection over union (IoU)指標進行評估，如圖 5.20 所示，該指標是一種常用於評估圖像分割性能的指標。嚴謹以像素級之方式，單個像素的衡量模型預測之分割區域，與實際分割區域之間的重疊程度，值在 0

到 1 之間，越大則代表重疊度越高，模型預測效能越好，通常應用於物體檢測和語義分割等應用中。

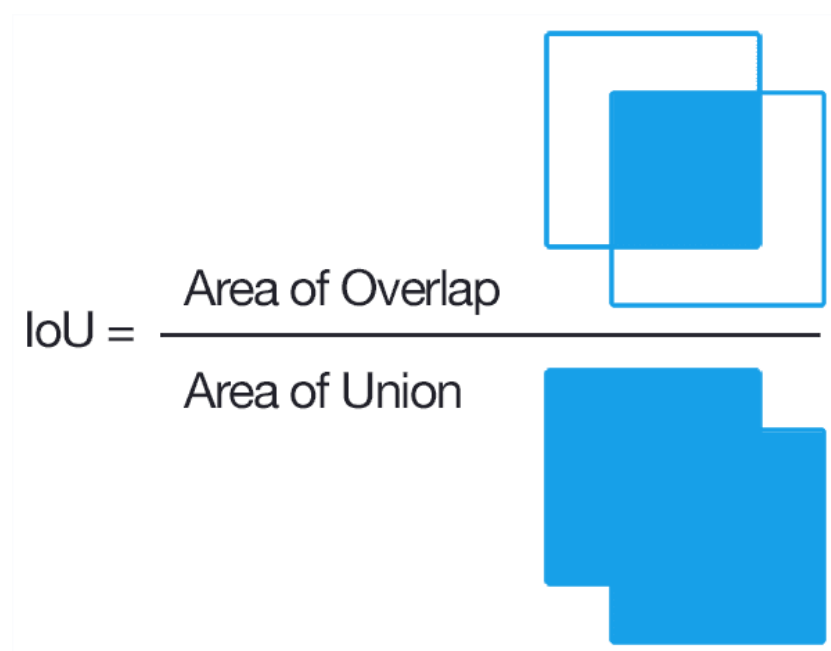


圖 5.20 圖解 intersection over union(IoU)。

比較結果如表 5-6 所示，因為舊模型不含伸縮縫之預測種類，因此，僅比較 2 個模型在裂縫預測上的性能差異，修改模型參數後，新模型在臺中港圖資的表現比舊模型好 3.8%，這在 IoU 指標中是一個大的進步，後續相關研究將以新模型為預測工具。

表 5-6 模型表現

IoU(%)		
	背景	裂縫
舊模型	99	33.1
新模型	99	36.9

5.4 本章小結

本計畫優化過去臺中港的自動化辨識流程，模型上使用最近發布的 YOLOv8 模型取代過去偵測使用的 Mask R-CNN 實例分割模型，與前一步驟所需的 FPN 語意分割模型，將兩步驟模型簡化為一步驟，不需再透過語意分割模型，額外切分出感興趣區域並儲存後，再輸

入給實例分割模型進行偵測，直接輸入 UAV 原始影像給偵測模型即可，同時也能維持良好的辨識效果。

由於單一步驟的模型簡化輸出格式，使相近影像的結果能被合併統計，除去模型本身的提升外，針對提升辨識成功率上，本計畫發揮 UAV 巡檢高重疊率優勢，將多張照片的偵測結果合併，進一步提升在測試影像上之表現。

此節分析將模型更改為新架構及調整訓練參數後是否能對結果有提升，實驗結果是肯定的，在使用 IoU 評分方式下，新模型在臺中港圖資表現提升 3.8%，代表模型增加對於裂縫的辨識能力，使其對於路面品質的評估可更精確，且模型在訓練時新增臺北港資料，藉此強化模型適應力。

第六章 感測資料自動化辨識技術發展於臺北港

6.1 新增標的物(變電箱、堤面胸牆、碼頭伸縮縫)

除臺中港原有標的物外，112 年度臺北港新增 3 項標的物，分別為變電箱之熱紅外偵測、堤面胸牆歪斜辨識及碼頭伸縮縫，以下將逐一介紹。

6.2 變電箱自動化辨識分析

6.2.1 模型選擇

本計畫變電箱物件偵測運用最新深度學習技術 YOLOv8 模型。核心部分，YOLOv8 遵循一組簡單原則。一切始於輸入圖像，此圖像可為不同尺寸，使其成為廣泛應用的多功能工具。然而，圖像經神經網絡之特徵提取過程。此網絡經過設計和訓練，擅長識別和突顯圖像最相關之特徵。YOLOv8 獨特之處在於，它不僅可以在單一尺度上檢測物體，還可同時在不同尺度上進行物體檢測，確保能有效識別物體大小。YOLOv8 之架構，如圖 6.1。

YOLOv8 在物件偵測關鍵是其使用 bounding boxes。這些錨定框充當預定義的不同物體模板，幫助算法對特定網格單元內物體位置和大小做出明智之預測。通過利用錨定框，YOLOv8 提高其準確性和精確性，進一步增強對圖像中物體之識別能力。如同擁有一組標準化模具，幫助 YOLOv8 確定它所遇到物體之形狀和大小，有助於更準確預測。除了識別物體及其大小外，YOLOv8 額外進一步對所偵測到之物體進行分類並賦予信心分數。對於每個發現的物體，YOLOv8 提供對該物體可能是什麼的猜測（例如本案分類不同型態的變電箱），並量化對該猜測的信心程度。

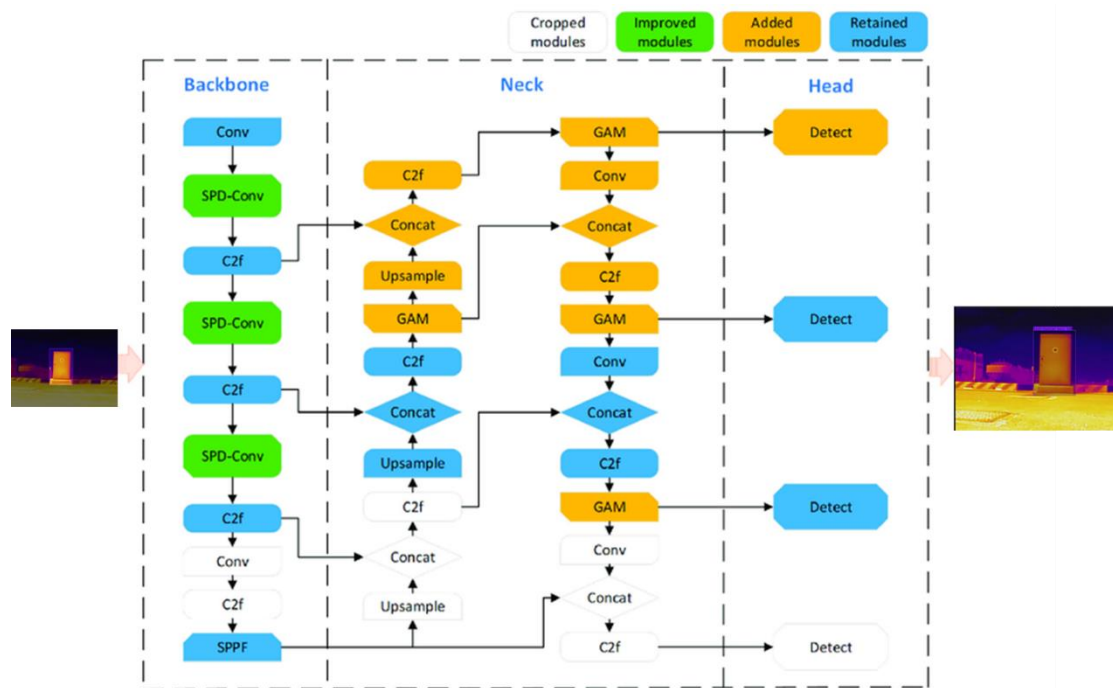


圖 6.1 YOLOv8 物件辨識(變電箱)架構圖(Aboah et al 2023)

6.2.2 辨識流程

變電箱偵測在現代電力系統的管理和維護中扮演了至關重要的角色。這個過程不僅有助於確保供電的穩定性，還有助於減少潛在的故障和安全風險。本計畫將深入探討變電箱偵測流程(圖 6.2)，包括影像資料蒐集、影像資料標註、模型訓練、模型偵測成果，以及進一步的偵測溫度。流程的第一步是影像資料的蒐集。需要從實際場景中收集大量的變電箱影像，這些影像可能包括不同天氣和光線條件下的變電箱照片，以模擬真實世界的應用情境。

接下來，影像資料需要進行標註(圖 6.3)，這一步驟是為了讓深度學習模型能夠識別變電箱及其各個組件。標註過程需要人工參與，將變電箱的邊界在影像上標記出來，這是訓練模型所必需的步驟。模型訓練是進一步的關鍵步驟。使用 YOLOv8 模型進行訓練，並使用約 150 張訓練影像(樣本增強 Data Augmentation)，同時運用數據增強技術，以擴充訓練集，提高模型的魯棒性。訓練資料集被分為 70%的訓練資料 (Training Set)、20%的驗證資料 (Validation Set) 以及 10%的測試資料 (Test Set)。模型的訓練參數，如表 6 1 所示，

包括 epochs 設定為 200，batch size 為 8，學習率為 0.0001，IoU（Intersection over Union）設為 0.5，以確保模型在訓練過程中能夠達到良好的收斂。

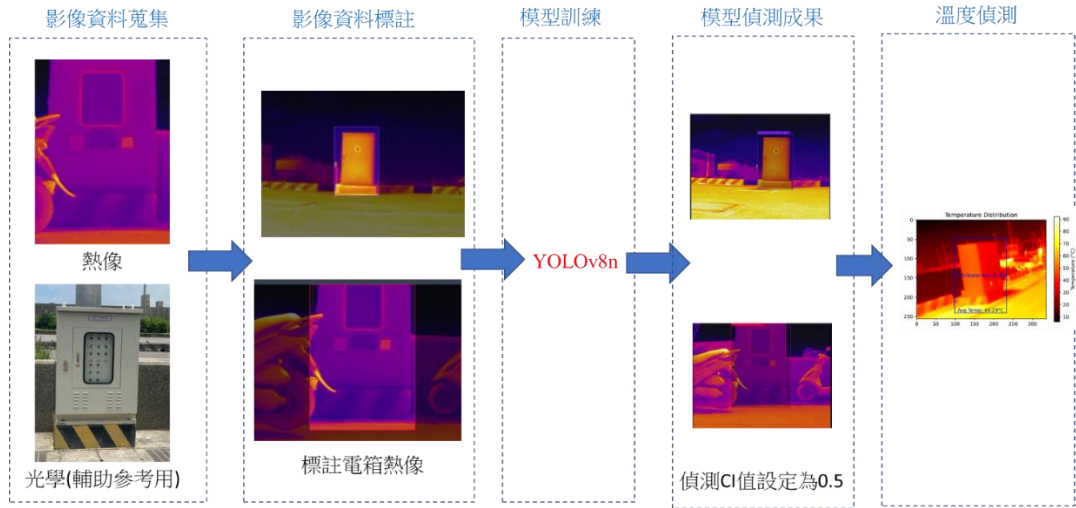


圖 6.2 變電箱辨識流程

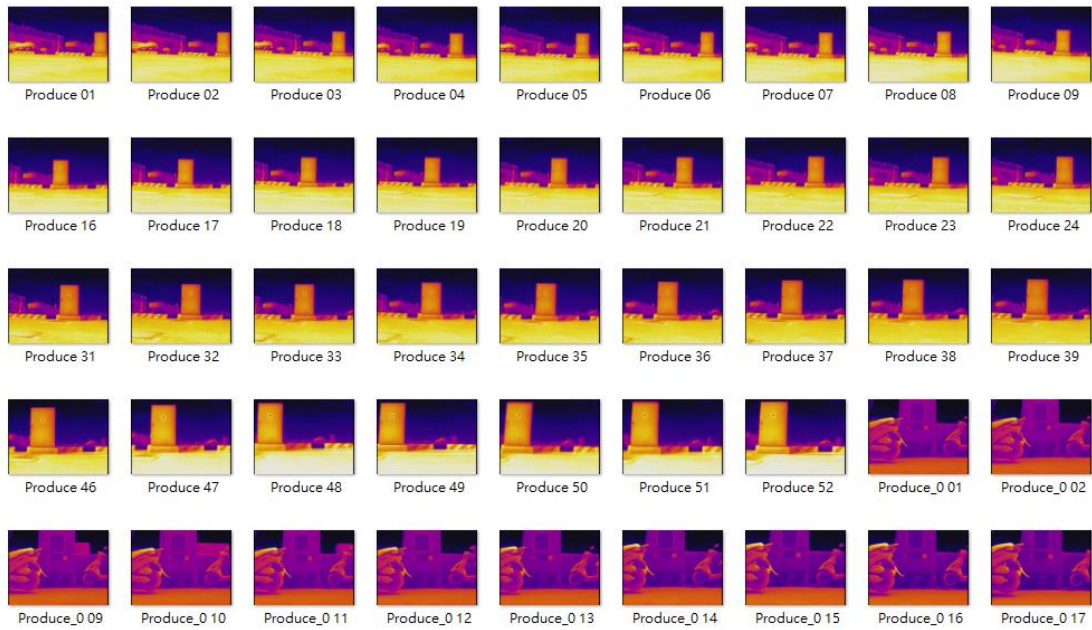


圖 6.3 變電箱訓練樣本(樣本增強 Data Augmentation)

表 6-1 基本模型訓練參數設置表

模型參數	設置數值
Epochs	200
Batch Size	8
Learning rate	0.0001
IoU	0.5

一旦模型訓練完成，可以應用它來進行變電箱的物件偵測。YOLOv8 模型以其高效的多尺度物件偵測能力而著稱，能夠同時檢測不同大小和形狀的物件，並提供高精度的偵測結果。這將有助於運維人員更快速地識別變電箱的狀態和任何潛在的問題。最後，除了物件偵測，變電箱的溫度偵測也是至關重要的。這可以通過添加適當的溫度感測器和監控系統來實現，以確保變電箱內部的溫度在安全範圍內。這樣的監測可以幫助預防潛在的過熱問題，確保變電箱的正常運作。變電箱偵測是一個綜合的流程，它結合了影像處理技術和深度學習模型，有助於確保電力系統的可靠運作和安全性。這項技術在電力行業中具有重要的應用價值。

6.2.3 辨識結果

根據提供之訓練成果如圖 6.4 與表 6-2 所示，由圖表顯示變電箱之偵測模型有良好表現。以下為對此成果分析：首先，平均精度均值（mAP）達到 99.5%，表示該模型偵測變電箱方面的準確性非常高，mAP 為一個綜合性能指標，綜合考慮模型之準確性和召回率，高 mAP 值代表模型在不同情景下的穩健性，即使在各種挑戰性的場景中，模型也能保持高水準的物件偵測能力。其次，精度（Precision）達到了 98.8%，表示當模型報告某個物件存在時，有 98.8%機會該報告為正確，而非誤報。這對於實際應用中的物件偵測非常重要，特別是在需要快速反應和高精度之情境下，如安全監控和故障檢測。

最後，召回率（Recall）達到 99.5%，召回率表示模型能成功偵測出實際存在的變電箱能力。在此情境下，99.5%的召回率意味模型幾乎可以找到現有的變電箱，僅有極少數的變電箱未被偵測到，這

對於確保高效的監控和預防潛在問題非常關鍵。總之，這些訓練成果表明所使用的 YOLOv8 模型在變電箱偵測任務中取得了卓越的性
能。高 mAP、精度和召回率值表明模型能夠在各種情境下準確地識
別變電箱，這對於電力系統的管理和維護具有重要意義，能夠提高
效率並降低潛在的風險。這表明模型在變電箱偵測方面具有很高的
可信度和應用價值。

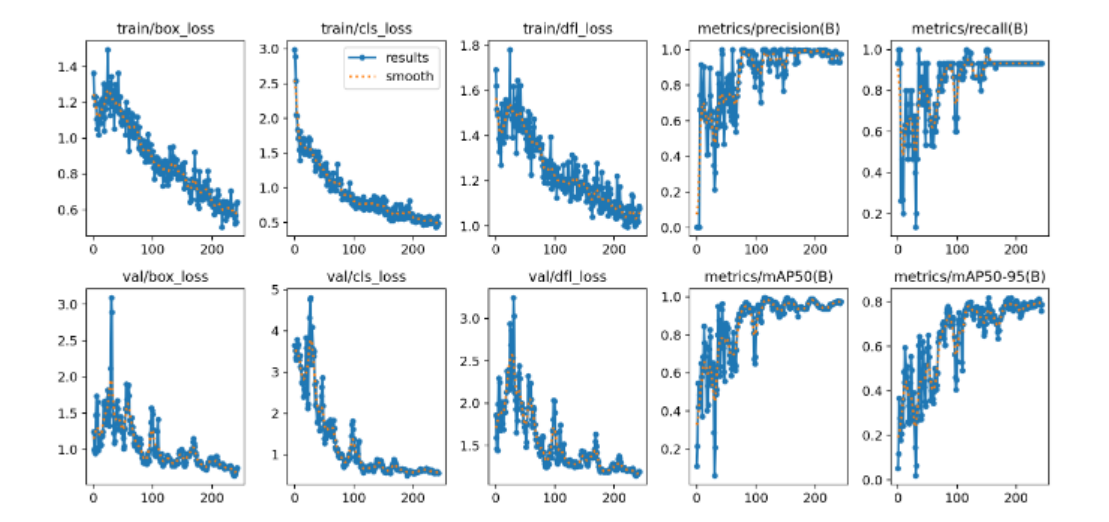


圖 6.4 模型訓練成果圖

表 6-2 變電箱型訓練成果表

項目	mAP	Precision	Recall
變電箱	99.5%	98.8%	99.5%

在完成變電箱的辨識後，如圖 6.5 隨機選取了 3 個不同的例子，
並對其進行熱影像的溫度偵測。結果顯示，變電箱偵測模型表現出
了相當高的準確度，分別為 0.92、0.91 和 0.83。接下來，使用
bounding box 的範圍，精確地捕捉這些變電箱的溫度資訊。在進一步
的分析中，計算了每個 bounding box 範圍內的平均溫度。這些計算
的結果分別為 39.1 度、38.17 度和 44.29 度。這些精確的溫度資訊對
於變電箱的健康狀態監控和故障檢測非常重要。透過這些高準確度
的溫度偵測和分析結果提供電力行業一個有力的工具，有助於維護
和優化電力設施的運行。

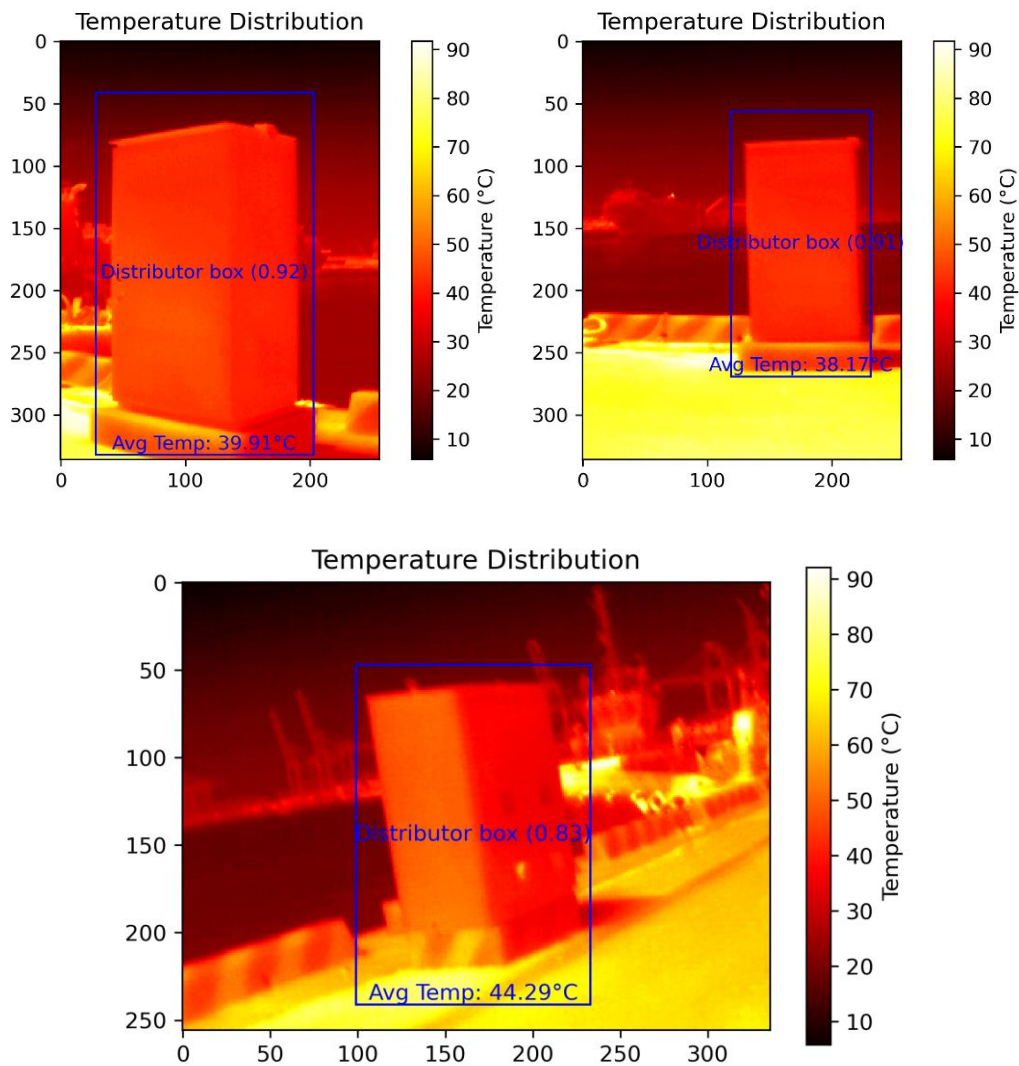


圖 6.5 變電箱偵測以及溫度萃取

6.3 堤面胸牆智慧化辨識流程

胸牆為港區為抵擋海水入侵背後地的設施，設施受海浪長時間推動可能發生與原先位置偏移的情況，本計畫胸牆智慧化分析的目的即為希望透過無人機巡檢影像，搭配影像處理技術，找出胸牆區塊是否發生偏移。

6.3.1 模型選擇

為分析胸牆是否發生偏移，須先找出巡檢影像中歸屬於胸牆的位置，本計畫使用 FPN(Lin, T. Y., et al., 2017) 架構的語意分割模型

(圖 6.6) 來偵測影像中屬於胸牆的部分，以 ResNet101 作為特徵提取層，損失函數以 softmax，進行多類別的語意分割。

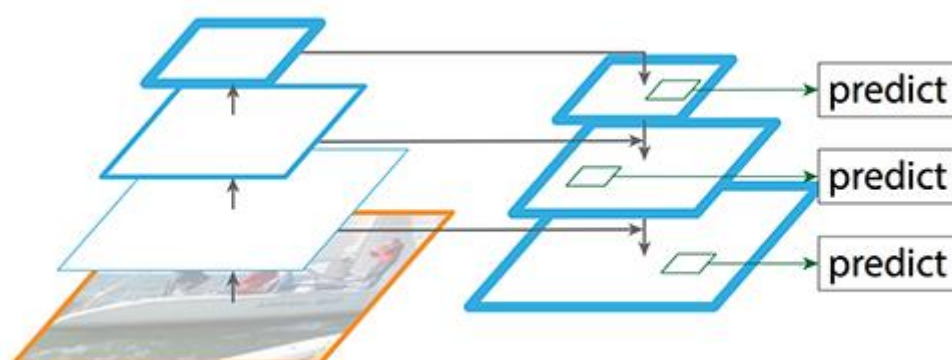


圖 6.6 FPN 語意分割模型架構(Zhao, K. et al., 2019)

本計畫以離地 20 公尺的高度垂直地面拍攝胸牆影像，共收集 130 張訓練影像、33 張驗證影像，以人工方式進行資料標註，將胸牆的區域標註胸牆，其餘區域皆標示（如圖 6.7，白色為胸牆部分，黑色為背景），以此作為模型資料集進行訓練。



圖 6.7 胸牆原始影像資料（左）與標注資料（右）

訓練總共進行 100 個迭代，最後模型在訓練資料上的 IoU 分數能達到 0.803，而在驗證資料的 IoU 分數上能達到 0.993。分析出影像中胸牆區域，而後取語意分割結果中的最大相連區域，萃取出該區域的影像避免非胸牆區域在進行邊緣分析時的雜訊，針對萃取區域的中最大亮暗通道以增強影像特徵，以康寧邊緣偵測(Canny, 1986)與霍夫直線偵測判斷胸牆的法線趨勢，在霍夫直線偵測

(Ballard ,1981)的參數設計上以高閾值、高最小長度來避免雜訊，保留長直線段來盡可能的代表胸牆走向，結果如圖 6.9，由左至右分別為萃取區域、萃取區域的亮暗通道、邊緣偵測結果及霍夫直線。

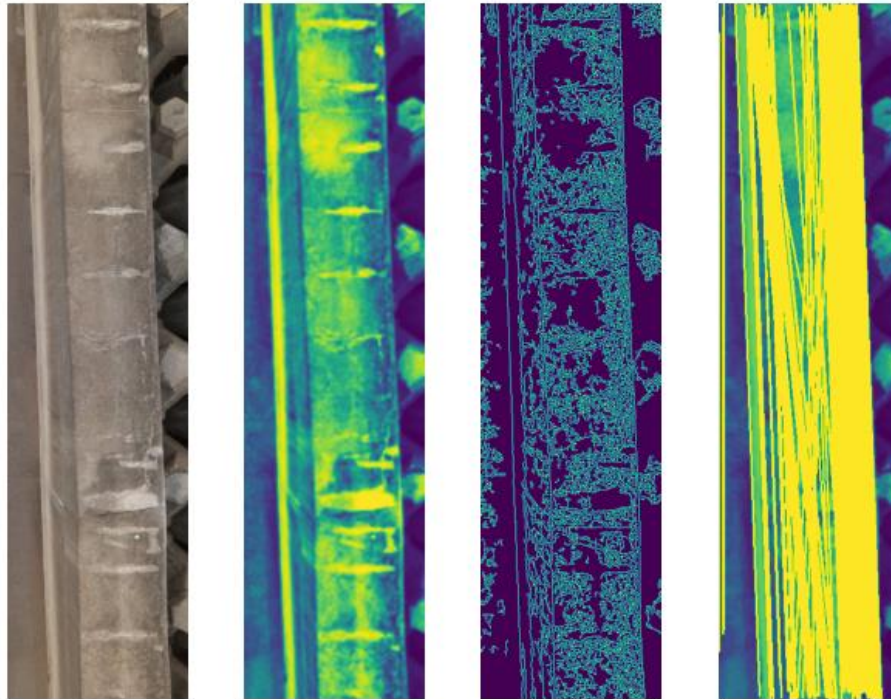


圖 6.8 霍夫直線偵測各階段成果

6.3.2 辨識流程

辨識流程如圖 6.9，根據設置的胸牆 POI 點位，找尋巡檢影像中離 POI 影像最近的照片做為該 POI 點的新期影像，而後透過上述辨識模型找出胸牆的走向區域，取演算法得出的線段斜率平均做為胸牆走向，比對過去的斜率與該期的斜率，判斷胸牆是否歪斜發生。

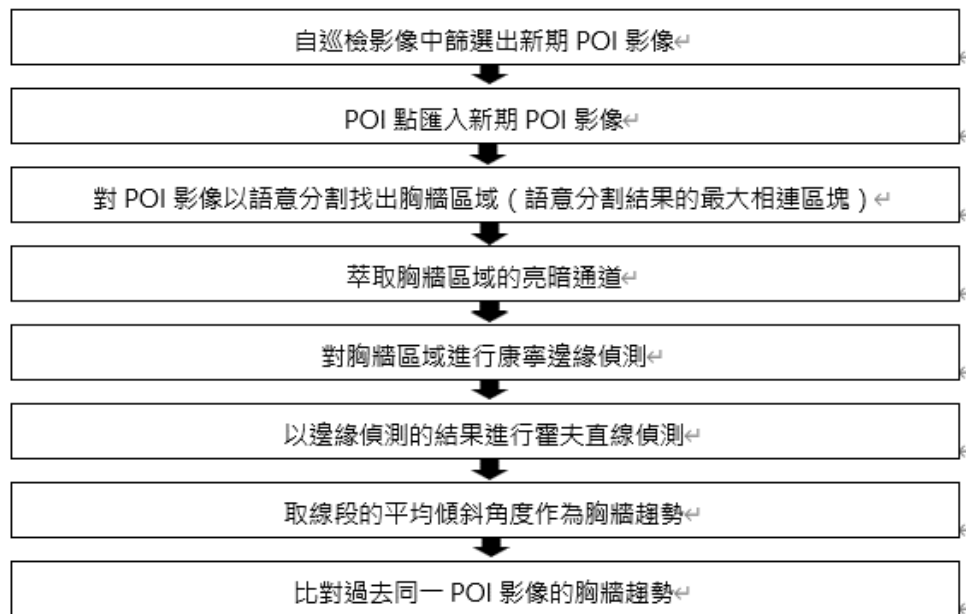


圖 6.9 胸牆歪斜辨識流程

6.3.3 辨識結果

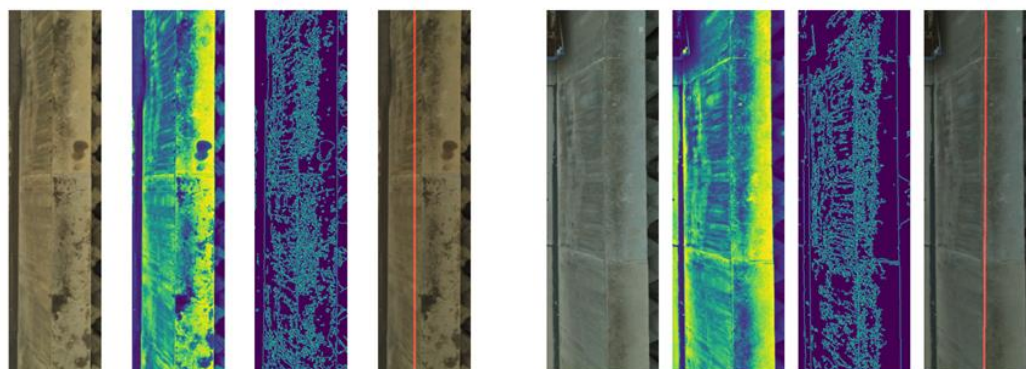
以相同 POI 點的 2 期影像（圖 6.10）進行上述的辨識流程，結果如圖，並計算 2 張影像分析出的胸牆走向角度（圖中紅線），角度之計算公式為：

$$\theta = \arctan\left(\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2}\right) \quad (1)$$

以圖之範例來說，2 期的胸牆斜率分別為九月 89.73 度與十月 89.66 度，相差 0.13 度，胸牆並無顯著偏移與歪斜。



圖 6.10 POI 影像的 2 期影像



(a)9 月

(b)10 月

圖 6.11 兩期胸牆辨識流程的各步驟結果

6.4 碼頭伸縮縫自動化辨識流程

6.4.1 模型選擇

同 5.3 使用之模型，詳見 5.3.2 之模型介紹。

6.4.2 辨識流程

檢測流程同 5.3.3，此外，為評估伸縮縫是否具有變形等會造成水泥路面破損的危害，本計畫設計了另一種演算法來計算伸縮縫的走向是否異常，首先模型會將圖片切割為一張張的小圖片，再一起輸入模型中，最後將結果重組成原圖的樣子。流程如圖 6.12 所示。

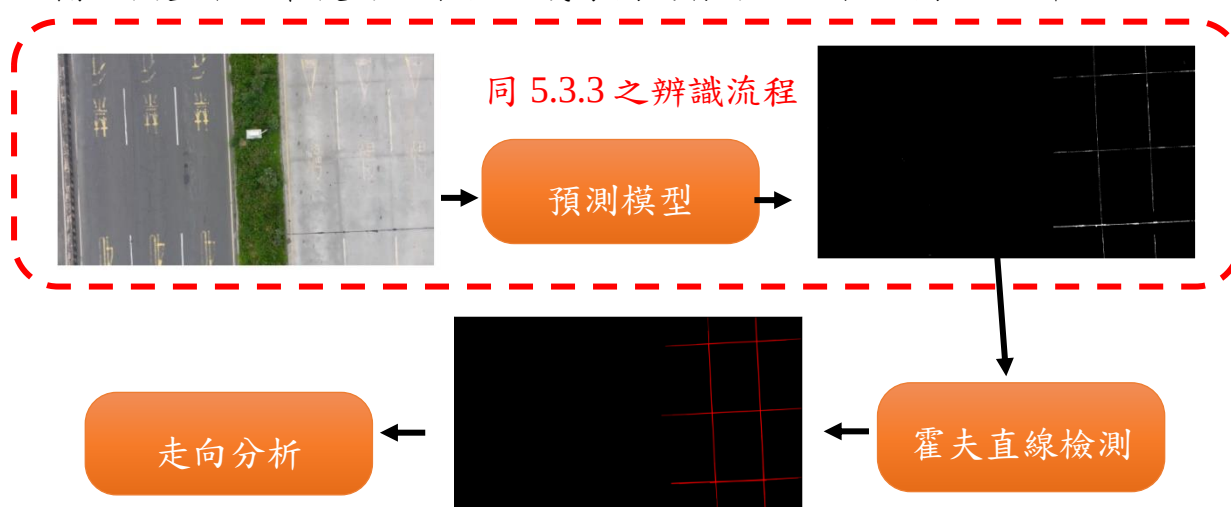
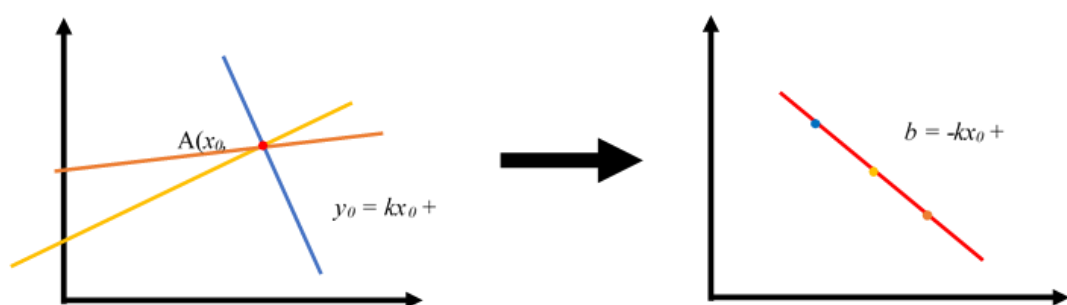


圖 6.12 伸縮縫檢測流程

霍夫直線檢測(Ballard, 1981)是一種圖像處理技術，用於偵測圖像中的直線。它的原理基於數學變換，將圖像中的像素映射到一個稱為霍夫空間的參數空間中。在霍夫空間中，每條直線都表示為一個點，該點的坐標表示直線的斜率和截距，在經過霍夫轉換後，每個直線可以用一個點代表，因此可以知道圖上的幾個像素點在同一條直線上，有更多的點共線則代表該處為直線的機率越大。如圖 6.13 所示，(a)中 x - y 坐標系之紅點 $A(x_0, y_0)$ 被無限多條直線相交，而每條直線在霍夫空間 b - k 坐標系中都為一個點，這些點可以組成一條直線，因此，若有兩個點轉換成兩條直線到霍夫空間中，且該兩條直線有交點，該交點轉換回 x - y 坐標便會同時經過該兩個點，若 x - y 空間中三點共線，則轉換到霍夫空間中三條線會交在同一點，如(c), (d)所示。而詳細檢測步驟如下：

- 1.對圖像進行邊緣檢測，以獲得圖像中的邊緣像素。
- 2.遍歷每個邊緣像素，對每個像素進行霍夫變換，將其映射到霍夫空間中。
- 3.在霍夫空間中，檢測峰值，這些峰值表示可能的直線。
- 4.將霍夫空間中的峰值轉換回圖像空間，得到檢測到的直線的參數。



(a)

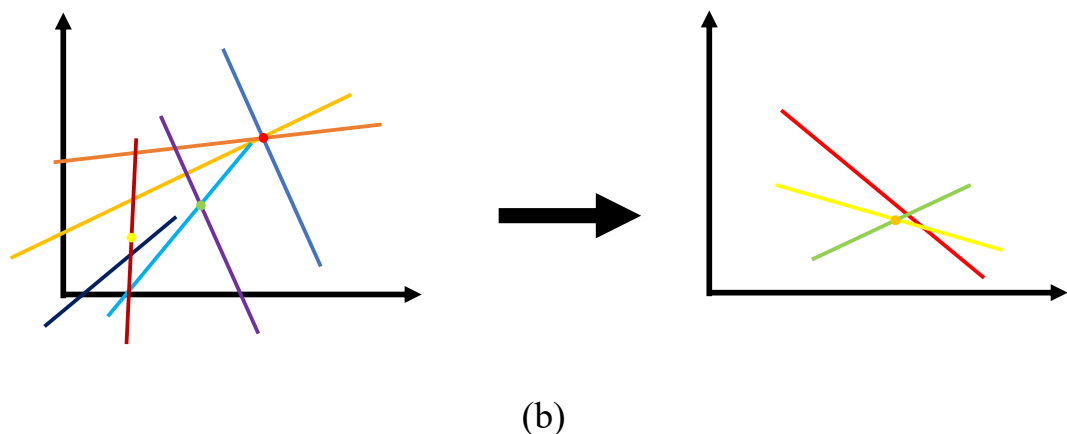


圖 6.13 圖解霍夫直線檢測

6.4.3 辨識結果

(1) 語意分割結果

此節與 5.3.4 一樣使用了 IoU 指標進行評估，模型在臺北港圖資的測試資料級的成果，如表 6-3 所示，伸縮縫因為外型較裂縫簡單且規律，因此辨識難度較低，能有比較好的表現，平均來到 66.2%，較裂縫的 61.7 高，預測圖如圖 6.14 所示。

表 6-3 碼頭伸模型訓練成果表

IoU(%)		
背景	裂縫	伸縮縫
99.5	61.7	66.2

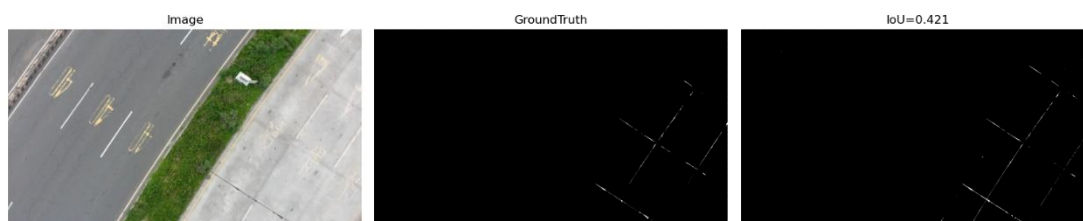


圖 6.14 模型的預測結果

(2) 伸縮縫走向計算

伸縮縫走向的計算方式如式(2)所示，首先使用霍夫直線所檢測出直線的兩個點的坐標 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) ，即可計算斜率 (m) 如下：

$$m = \frac{dy}{dx} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

即使用反正切函數 $(\arctan)$ 將斜率轉換角度 (θ) 。如式(3)所示：

$$\theta = \arctan\left(\frac{dy}{dx}\right) \quad (3)$$

因伸縮縫兩兩互相垂直，因此僅有平行於路面走向 (θ) ，及垂直於路面走向 $(\theta - 90)$ 兩種，非此兩種則判定為異常。

(3) 伸縮縫走向分析結果

原始預測結果經過霍夫直線檢測後結果如圖 6.15 所示，可看到該方法能檢測出圖中直線，即使有些區域並不連續，但都被檢測出變成完整直線，而檢測出直線方向後便將其與路的走向做比較，理論上路的方向會與伸縮縫的走向平行或垂直，則便將二者做比較，若走向與理論值相差正負 5 度變標示為危險區域。在所有圖像經過此分析後，發現並無伸縮縫有這個情形，代表無異狀。

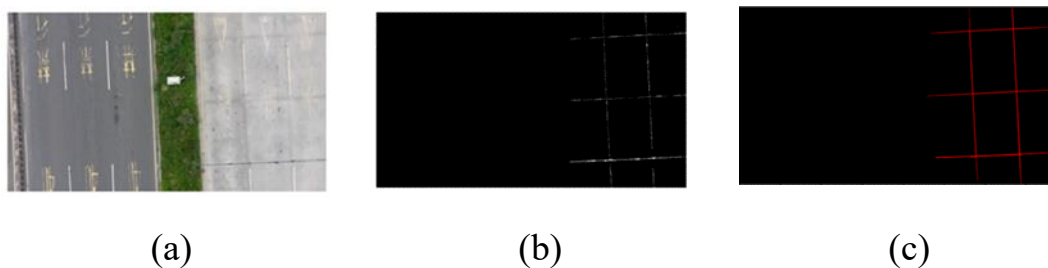


圖 6.15 (a)原圖 (b)原始預測結果 (c)霍夫直線檢測法檢測出直線

6.5 本章小結

本結實驗證明了模型檢測路面伸縮縫之能力，並使用霍夫直線檢測法設計出了能夠算出伸縮縫走向的演算法，並與路面走向做比較來評估路面品質，最後結果走向都沒問題，與肉眼觀測結果相符。

本次所採用的胸牆走向偵測方法，雖大致可找出胸牆的走向趨勢，但受一些限制影響，一是港區在胸牆上會布設重物來增強胸牆的穩定度（圖 6.16），這部分的結構會影響霍夫直線偵測得出的直線。二是以直線的平均斜率來判斷多期間是否有歪斜，易受雜訊影響，不容易設立一個妥善的閾值判斷該期影像的胸牆是否歪斜，後續能針對這部分再做強化與改善。

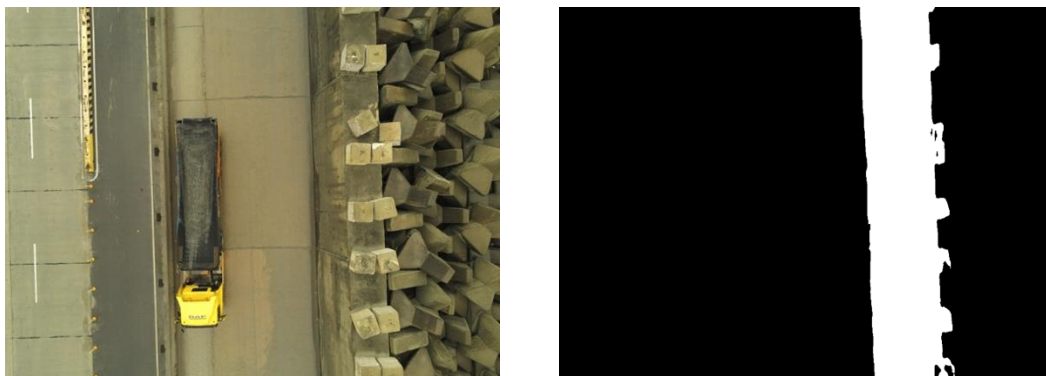


圖 6.16 受重物補強的胸牆與其語意分割結果

第七章 系統整合平台

7.1 平台架構與功能介紹

本平台以 Node.js 語言進行開發，搭配資料庫系統 Mysql，建構軟體開發環境，在網頁前端部分使用開源技術 CesiumJS 進行開發，CesiumJS 為 Cesium 公司所釋出之開源 Javascript 函式庫，應用於 Web3D 地圖呈現、互動操作等，CesiumJS 具備輕量化、快速使用者體驗，此外，CesiumJS 除支援 3D 圖形化之呈現外，對於地理資訊之坐標系統與常見之空間資料格式，亦有具備高支援度與整合性。

本平台預計提供之功能包括 UAV 航線規劃、UAV 影像辨識及歷史影像查詢等模組，透過平台之建立，期能輔助港區管理人員針對港區轄管區域及重要設施進行高效率、高強度之維護管理，平台功能架構圖，如圖 7.1 所示。

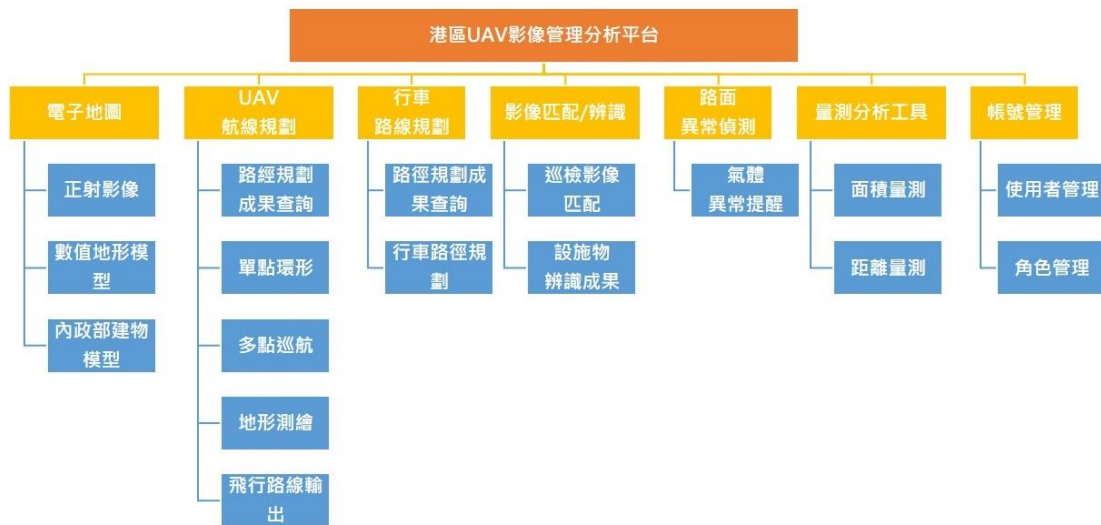


圖 7.1 平台功能架構圖

7.1.1 基本圖層

系統提供多重圖資之存取展示，有利使用者進行相關資料之查詢與評估，介接的圖資包含國土測繪中心正射影像(圖 7.2)、本計畫

拍攝製作之正射影像(圖 7.3)、數值地形模型(圖 7.4)及內政部提供之建物 3D 模型(圖 7.5)等。



圖 7.2 國土測繪中心正射影像



圖 7.3 本計畫拍攝製作的正射影像

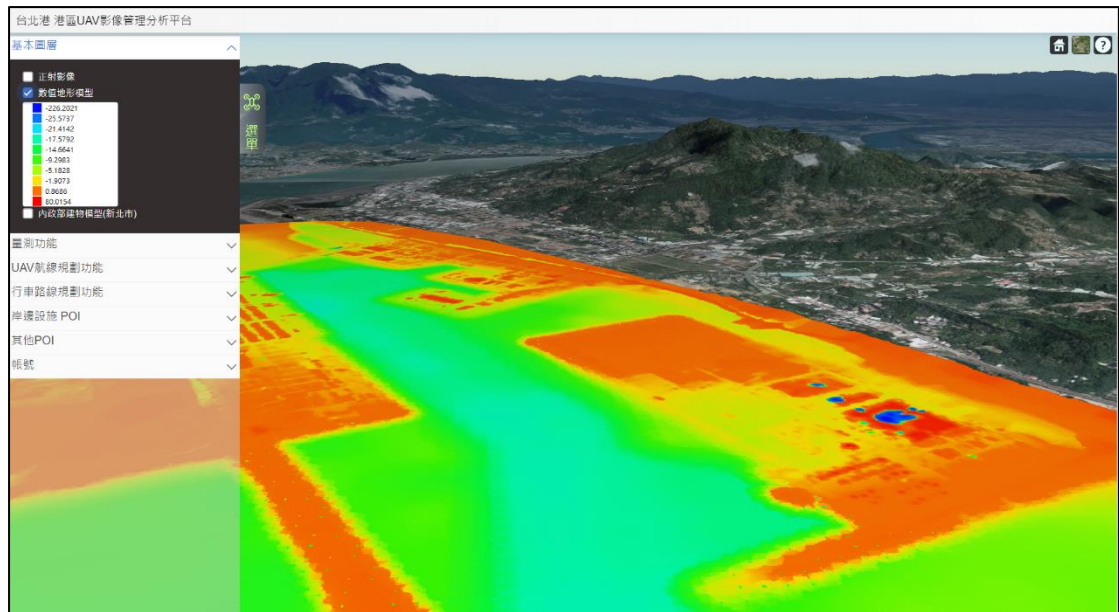


圖 7.4 本計畫拍攝製作的數值地形模型



圖 7.5 內政部提供的建物 3D 模型

7.1.2 量測功能

系統支援使用者於圖台進行量測，透過圖台上點選特定點位，系統自動取得該點位之坐標值，將相關資訊呈現給使用者。

點擊系統左側選單，開啟影像量測功能選單(圖 7.6)，系統具備距離量測及面積量測 2 種工具，點擊對應之按鈕啟動量測工具後，可於右側之影像上進行特定點位置之選取，系統可根據正射影像或

數值地形模型中之相關資訊，計算劃定範圍內於真實物空間中之面積、距離，如圖 7.6 及圖 7.7 所示。

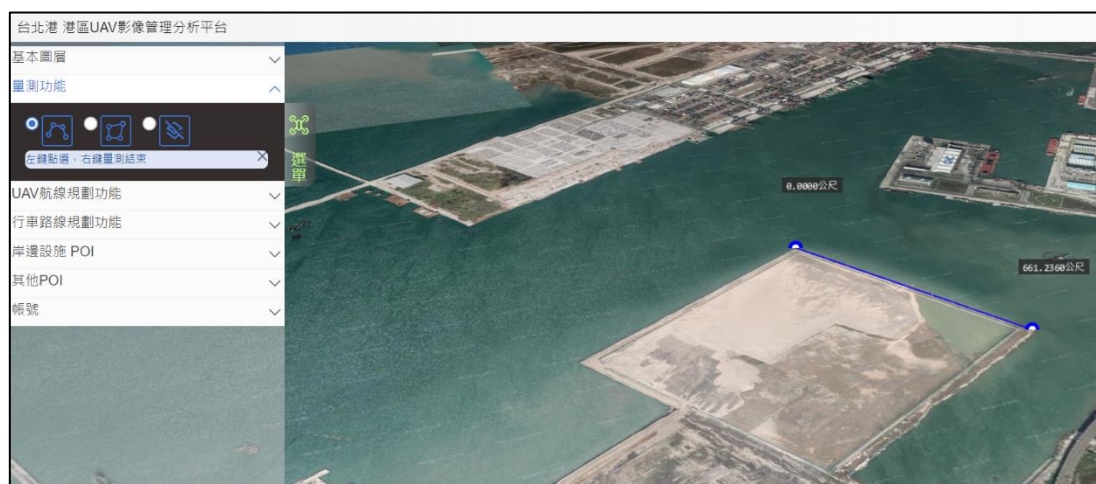


圖 7.6 距離量測功能

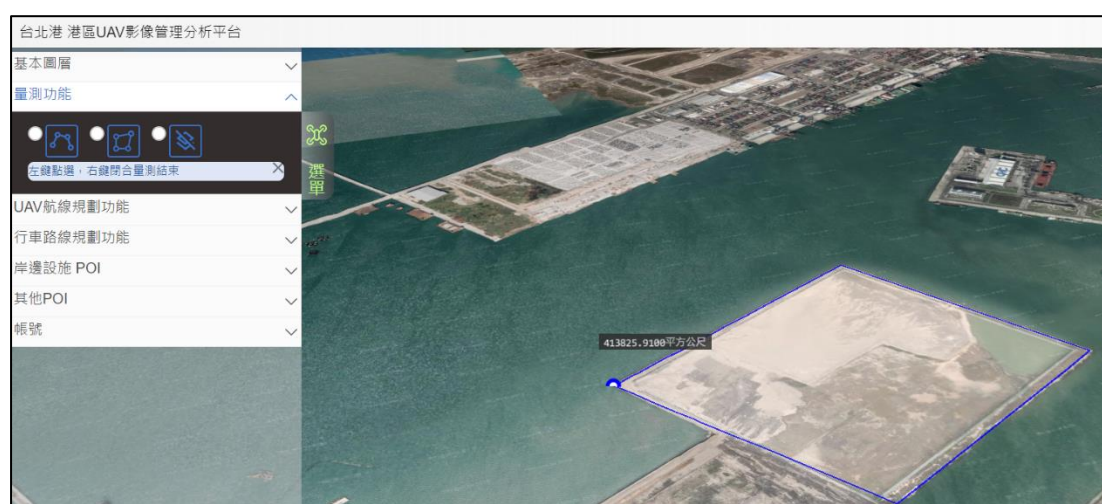


圖 7.7 面積量測功能

7.1.3 UAV 航線規劃

針對不同之資料蒐集目的，平台提供 3 種飛行模式，各模式規劃之成果如圖 7.8 所示。

- 單點環行：選擇指定目標物後，系統自動根據與目標物距離、周圍建物高度及資料蒐集精細程度等條件，以目標物為中心，生成圓形之飛行軌跡。
- 多點巡航：選擇指定目標物後，點擊指定飛行點位，系統根據相關資訊生成飛行軌跡。

- 地形測繪：圈繪指定飛行區域後，系統根據選取區域及預設之影像重疊率進行航線規劃。

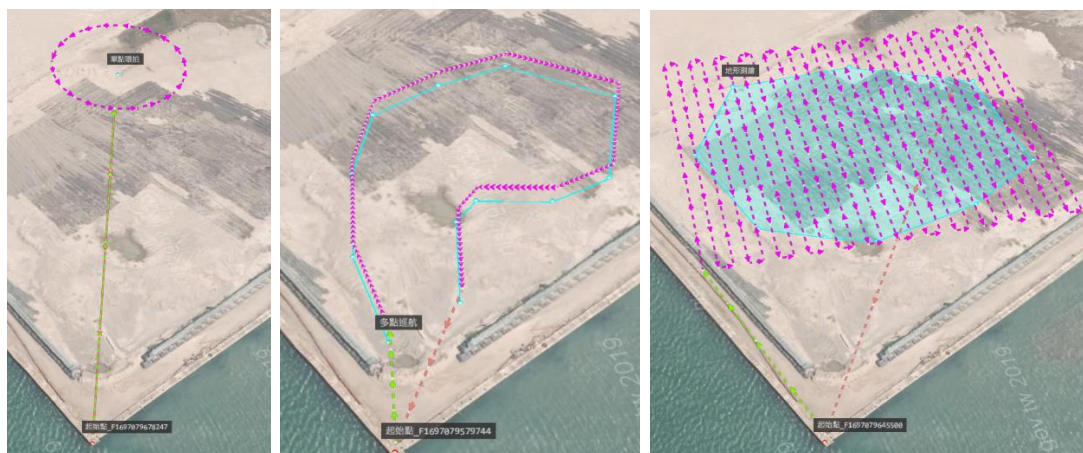


圖 7.8 航線規劃成果(單點環行(左)、多點巡航(中)、地形測繪(右))

使用者開啟各飛行路徑規劃模式(圖 7.9)後，於右側電子地圖內點選輸入起訖點及目標區域，點擊左側規劃參數設定按鈕，輸入各項飛行參數後(圖 7.10)，點擊規劃參數設定對話框中，執行飛行路線規畫之按鈕(圖 7.10 紅框處)，系統自動規劃飛行路徑並跳出提示(圖 7.11)。

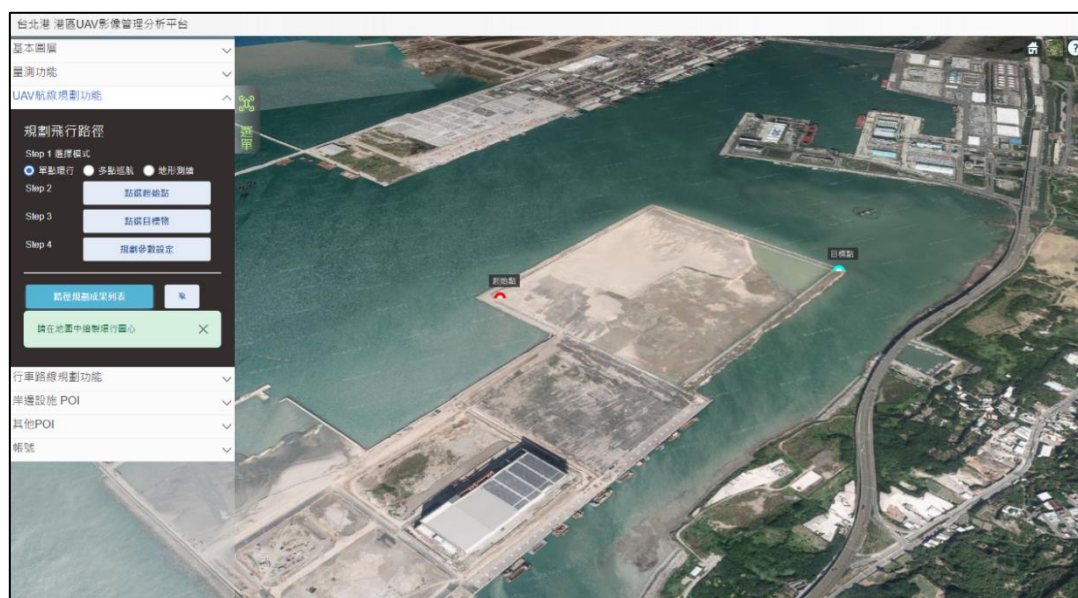


圖 7.9 飛行路徑規劃功能

航線規劃參數設定

環拍半徑:
20

起始點位(X): 287585.66870 起始點位(Y): 2782327.21092 路徑點位(X): 288503.06081 路徑點位(Y): 2782104.75040

飛行速率(m/s): 3 航高(m): 30 相對飛行方式: 0 緩衝區大小: 6

可飛行時間(min): 20 拍攝角度(度): 45 安全係數: 0.7

執行飛行路線規劃 取消

圖 7.10 飛行點位圈繪及規劃參數輸入

程式執行中!,稍後請查詢專案編號: 39

確定

圖 7.11 規劃提示視窗

使用者透過系統頁面輸入相關規劃資訊後，系統自動進行航線規劃，規劃完成後，使用者可開啟規劃路線列表(圖 7.12)操作相關管理行為，包括：查看規劃狀態、查看規劃路線、查看細節參數、匯出路線檔案、刪除飛行規劃及重新執行規劃。

規劃路線列表

專案編號	建立時間	模式	狀態	規劃耗時(秒)	展示	詳細內容	匯出	刪除	REDO
39	2023/10/11 17:12:25	單點環拍	規劃完成	0.012	 				
38	2023/09/05 15:20:34	單點環拍	規劃完成	0.021	 				
37	2023/08/29 14:31:57	地形測繪	規劃完成	0.01	 				
36	2023/08/29 14:31:20	地形測繪	規劃完成	0.019	 				
35	2023/08/29	地形測繪	規劃完成	0.04	 				

1 2 3 4 >> 1 of 4

圖 7.12 規劃成果列表

7.1.4 UAV 斜拍調查影像查詢

系統支援使用者透過網頁介面(圖 7.13)將 UAV 影像上傳，上傳完成，系統擷取影像資訊檔內坐標訊息，將該影像歸類於特定位置之 poi(Point of Interest, POI)內，並且於上傳完成後，提供 AI 物件辨識之功能，針對碰墊、反光板、車擋及繫船柱存在狀態進行辨識，並將成果呈現於頁面供使用者查看。

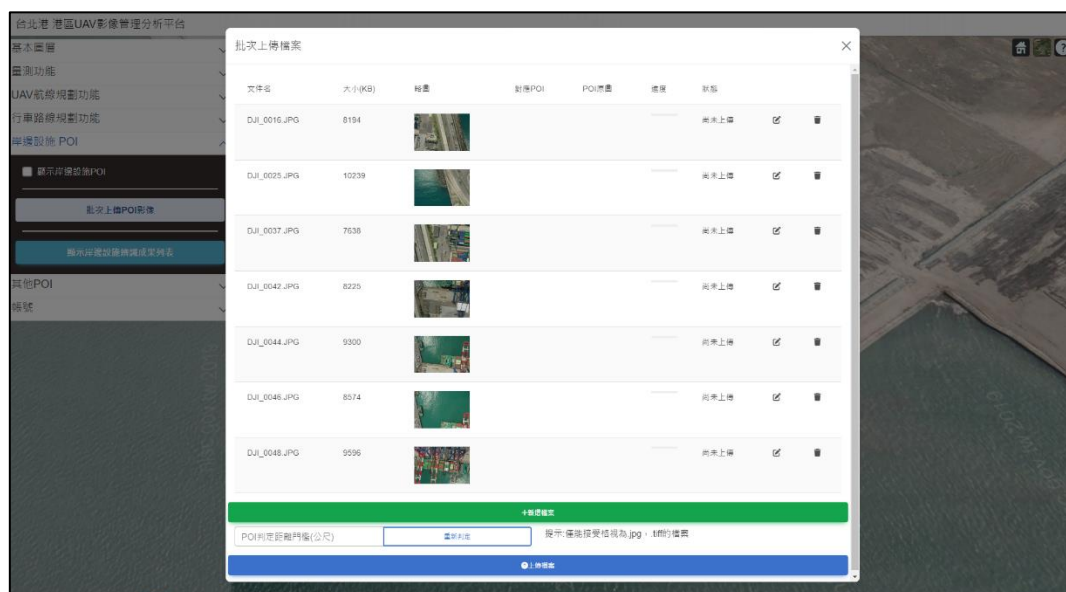


圖 7.13 巡檢影像上傳

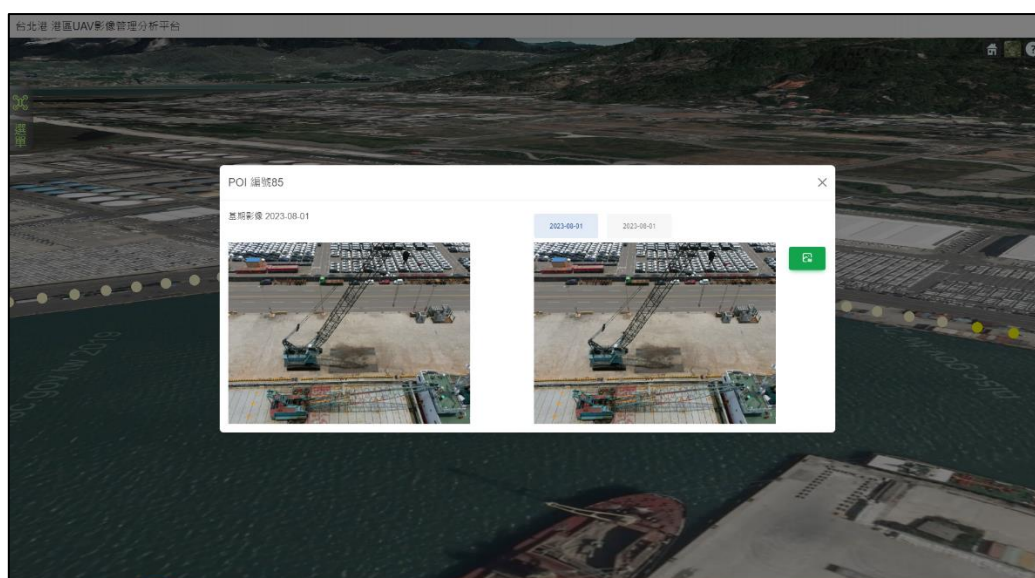


圖 7.14 巡檢影像查看頁面

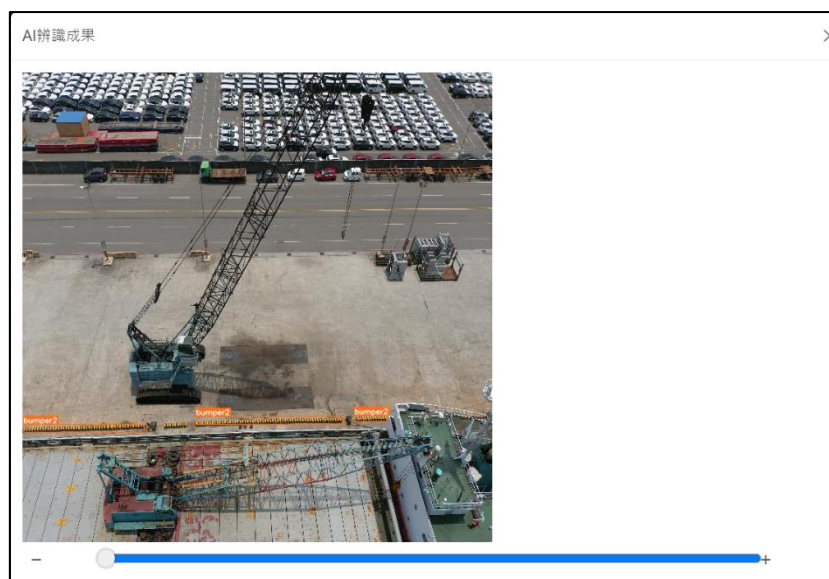


圖 7.15 AI 辨識成果查看

7.1.5 Footprint 查詢功能

透過計算相機高程、位置、影像投影計算等過程，系統支援將影像於地表之涵蓋範圍顯示於圖台之上，供使用者確認該次拍攝，是否有涵蓋到所有欲拍攝之位置，展示畫面如圖 7.16 所示。



圖 7.16 影像 footprint 展示示意圖

7.1.6 岸邊設施物件辨識成果列表

影像上傳完成後，系統即會自動進行設施物辨識，設施物內容包含反光板、車檔及碰墊，使用者透過點擊頁面上岸邊設施 POI 頁

籤->顯示岸邊設施辨識成果列表，列表(圖 7.17)內顯示 poi 編號及各期影像之辨識成果，其中，點擊 poi 編號超連結可查看該 poi 之基礎資料影像，後續的比對都是與基礎資料做比對；各期辨識成果內容為，相較於基礎資料，各設施物之存在、毀損及缺失數量，點擊該超連結，可查看該期影像辨識成果(圖 7.18)，成果中，藍色點為缺失物件之位置，綠色點為毀損物件之位置。

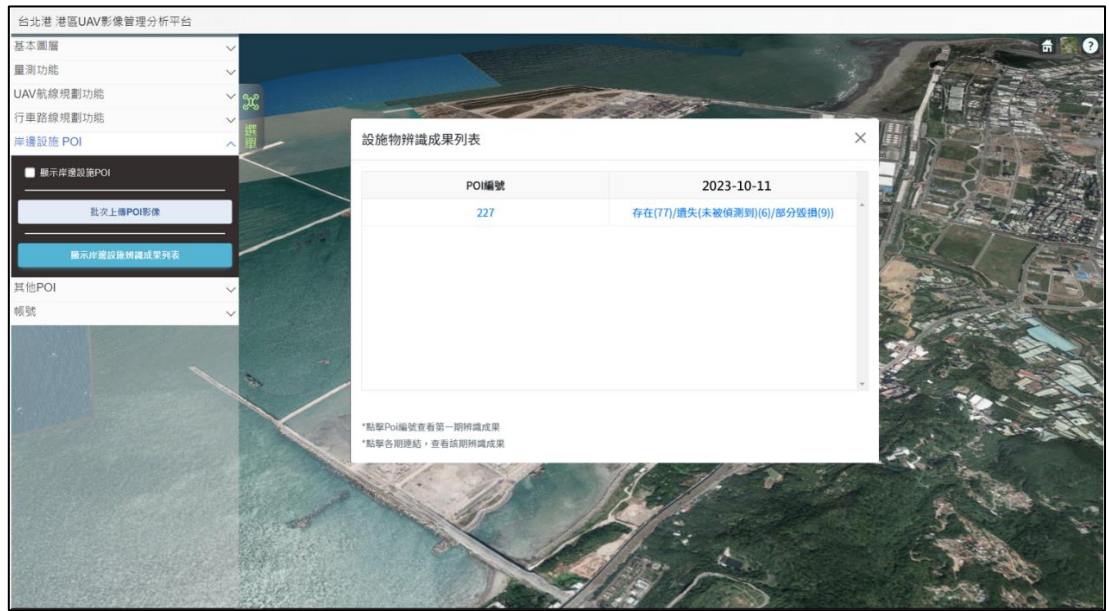


圖 7.17 岸邊設施辨識成果列表示意圖



圖 7.18 設施辨識成果展示示意圖

7.1.7 路面破損評分

本計畫將使用 AI 影像辨識所得之各類型異狀，根據路面分級制度，將各區塊路面進行評級，並使用不同顏色標註，以利使用者快

速了解各路面區段之狀態，使用者點擊開啟對應圖層後，路段位置會有顏色區塊的圖層展示(圖 7.19)，並於左下方產生圖例，方便使用者進行比對查看。

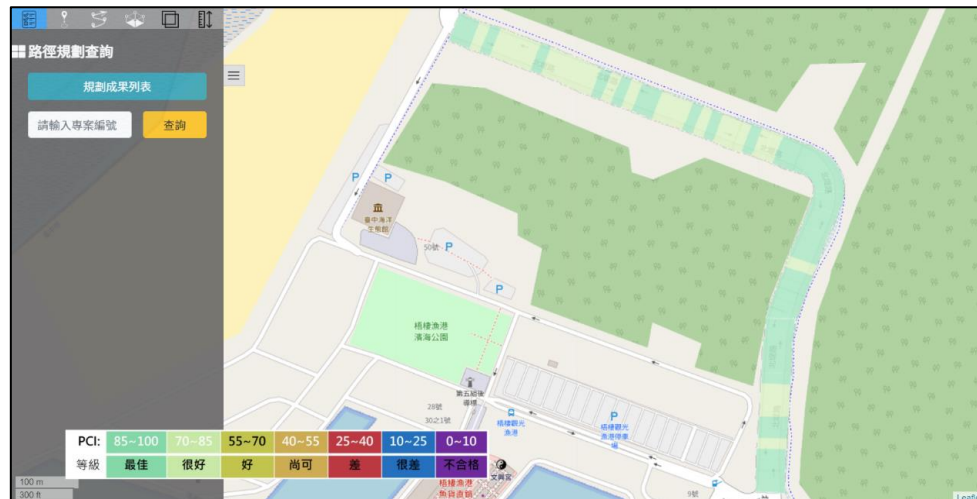


圖 7.19 路面破損評分展示畫面示意圖

7.2 預計功能規劃

7.2.1 路面行車路線規劃功能

使用者開啟行車路徑規劃功能(圖 7.20)後，於右側電子地圖內點選輸入行程起訖點，執行行車路線規劃，系統自動規劃車行路徑。

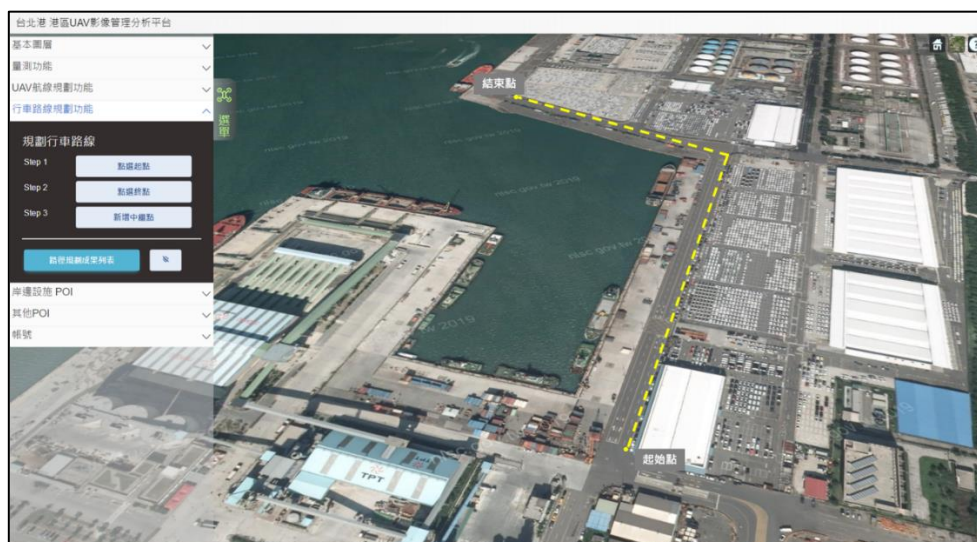


圖 7.20 路面行車路線規劃功能示意圖

7.2.2 氣體偵測異常提示

系統於指定位置放置 POI，若相關檢測車輛，偵測到該位置有氣體異常訊號，即將資訊更新至系統資料庫內，對應位置之 POI 即以不同顏色提醒管理者該位置有異常情況發生，點擊該 POI 可查看相關數據，如圖 7.21 所示。



圖 7.21 氣體偵測異常提示功能示意圖

7.3 本章小結

本計畫開發建立 3D 電子地圖圖台，做為資料展示介面，介接其他單位提供之 WMS/WMTS 標準化圖磚資料做為底圖外，並基於團隊過去執行飛行任務的成果影像，進行各項分析與辨識，將相關成果整合於圖台之上，提供使用者一快速掌握港區情況之實用工具，輔助使用者進行港區及周遭位置狀態之理解及判斷。除資料展示，系統亦提供 UAV 航線規劃功能及量測功能等工具，輔助使用者順利推進相關業務執之進行，並預計於 113 度進行地面車輛相關功能之開發及整合，期能提供更全面的業務支援。

第八章 實地驗證與品質評估

8.1 無人機影像品質檢核

8.1.1 原始影像解析度檢核

為製作高解析度正射影像和三維點雲，原始拍攝影像品質至關重要。本計畫隨機選取原始製作全測區正射影像所使用之影像，以確保原始影像解析度是否足夠。由於原始影像本身沒有真實之尺度資訊，必須透過像素級別觀察來評估其解析度。因此，選擇路面標線做為參考物件，並查看白線和雙黃線之寬度，白線和雙黃線單線寬度皆為 10 公分。本計畫設定目標解析度為 5 公分，根據此目標，需確保原始影像上之白線寬度大致等於 2 到 3 個像素大小。



圖 8.1 原始 UAV 航拍影像

觀察圖 8.1 中之標線皆呈現均勻 2-3 像素寬度，且肉眼可清晰識別其邊界，此代表原始拍攝之影像提供足夠解析度，且無模糊或扭曲之現象發生，因此，品質足夠可用來生成高解析度之正射影像。

8.1.2 正射影像幾何精度檢核

關於正射影像幾何精度檢核，本計畫選擇斑馬線和雙白線做為檢核對象。斑馬線具高度對比之地面特徵，相較容易識別。根據目前交通部和內政部規定（道路交通標誌標線號誌設置規則第 185 條），斑馬線應設置在交岔路口上，其線型為枕木紋白色實線，線段長度應在 3 公尺至 8 公尺之間，寬度為 40 公分。因此，將檢查斑馬線之寬度是否符合此項規定。其次檢核對象為雙白線，依據道路交通標誌標線號誌設置規則第 158 條規定，此種標線為 1 條雙白虛線，每段長度為 4 公尺，間距為 6 公尺，線寬為 10 公分，間隔為 10 公分。考慮整體雙白線之寬度，將檢查其是否符合整條線寬度為 30 公分之要求。使用均方根誤差公式來檢核，如式(1)，其中 X_i 為量測值、 x_i 為真值、 N 為檢核數量。檢核成果如表 8-1 所示，整體誤差約為 ± 0.056 m。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - x_i)^2}{N}} \quad (1)$$

表 8-1 斑馬線影像尺寸檢核表

數量	量測值(m)	誤差(m)
1	40.015	0.015
2	40.034	0.034
3	40.081	0.081
4	39.985	-0.015
5	39.895	-0.105
6	40.017	0.017
7	40.055	0.055
8	40.066	0.066
9	40.057	0.057
10	40.038	0.038
RMSE= ± 0.056 m		

8.1.3 數值地形模型高程精度檢核

為評估臺北港港區 DSM 高程數據品質，本計畫使用 112 個既有控制點（E，N，H）如圖 8.2。此控制點為 111 年測繪成果，具有已

知 TWD97/Zone 121 地理座標（Easting 和 Northing）及高程（H）。本計畫目標是檢查 DSM 中高程數據是否與這些控制點之已知數據一致，以評估其準確性。首先，從 DSM 中提取 112 個控制點的高程數據，這些點在臺北港區域內均勻分佈。接下來，如式(1)使用均方根誤差（RMSE）公式來統計 DSM 高程數據的誤差。檢核精度如表 8-2 所示。



圖 8.2 檢核點坐標分布圖

表 8-2 DSM 誤差精度統計表

項目	內容
最大值	0.855m
最小值	-0.755m
RMSE	$\pm 0.339\text{m}$

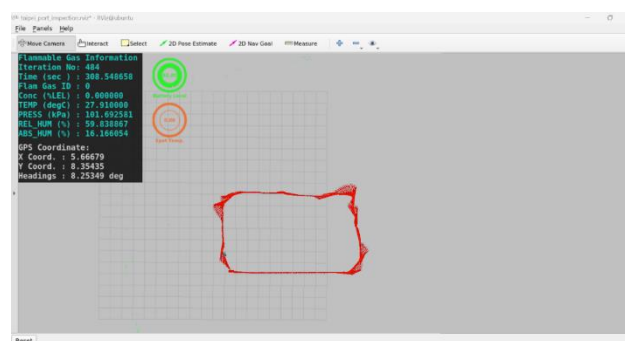
8.2 取像邏輯規劃檢核

8.2.1 地面機器人路徑正確性檢核

本計畫於至臺北港執行工作項目之前，進行 1 次 UGV 測試，測試 UGV 於戶外環境之自主導航和資料蒐集能力。測試地點為國立臺灣大學土木工程研究大樓戶外停車場(圖 8.3)。這次測試的目標是前往停車場內的 4 個目標點，並檢查其路徑軌跡記錄。檢查清單的目的是確保機器人是否抵達了預定的目標點，以及在過程中是否碰撞到了任何物體。



(a)



(b)

圖 8.3 (a) 地面機器人路徑正確性檢核實驗地點
(b) 地面機器人路徑記錄在 RVIZ 顯示

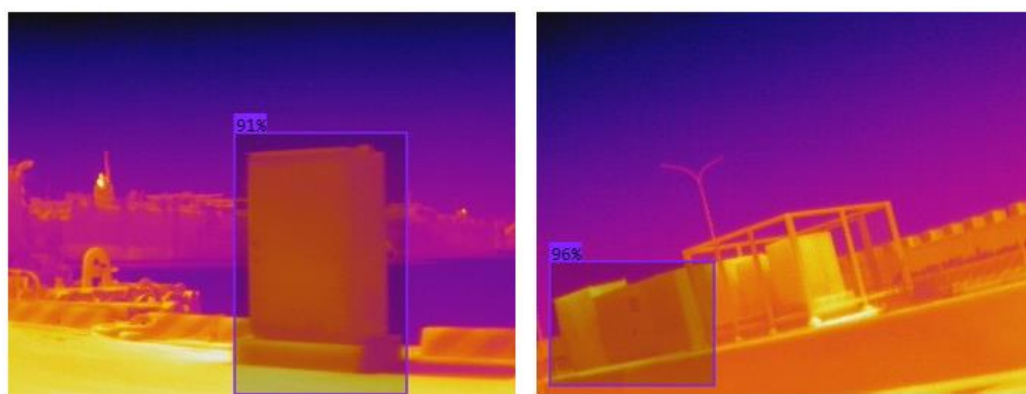
測試結果令人滿意，UGV 在實驗中成功達到了所有預定的目標點，並在整個過程中未出現任何碰撞或障礙。然而，在戶外環境中還有機會失敗，尤其是在沒有靠牆壁的地方（之前在土木研究大樓的第七層室內進行測試時，表現非常順暢，完全沒有問題）。這可能是由於定位算法無法在戶外環境中正確運作。此外，戶外道路的狀況並不像室內建築那樣平坦，這可能導致機器人在運行時漂移，造成輪式里程計的數據不準確。同時，本次測試中觀察到，在戶外

環境中，激光雷達的測量結果相對於室內環境有所不同，這可能是由於陽光導致雷達雷射的紅外線出現過曝光的現象。

鑒於本計畫多數情況下需要在戶外進行，本研究對於這問題很看重。為了改進定位算法，本計畫規劃在未來實施更多的感測器融合策略，包括使用 IMU、視覺里程計或 GPS 感測器，以輔助輪式里程計，從而提高機器人的定位能力。

8.3 標的物件辨識及變遷偵測信賴度評估

根據實際偵測變電箱成果，如圖 8.4 發現模型信心值在多個測試情境下非常穩定。以下為對這些成果進一步分析，在實際偵測過程中，模型產生之信心值分別為 0.91、0.96、0.64、0.90、0.56、和 0.75。這些信心值表示模型對於偵測到變電箱的信心程度，信心值越高代表模型對於偵測結果的信心越高。在此成果中，所有信心值皆高於 0.5，此表明模型對於其偵測結果非常自信且可信度較高。值得注意，本模型經過樣本增強後，在不同拍攝角度都能成功辨識變電箱。此顯示模型在面對不同視角和場景時都能保持穩定性能，對於實際應用非常關鍵。不論是變電箱位於不同位置、角度或光線條件下，模型都能夠可靠地偵測變電箱，這增強其實用性。



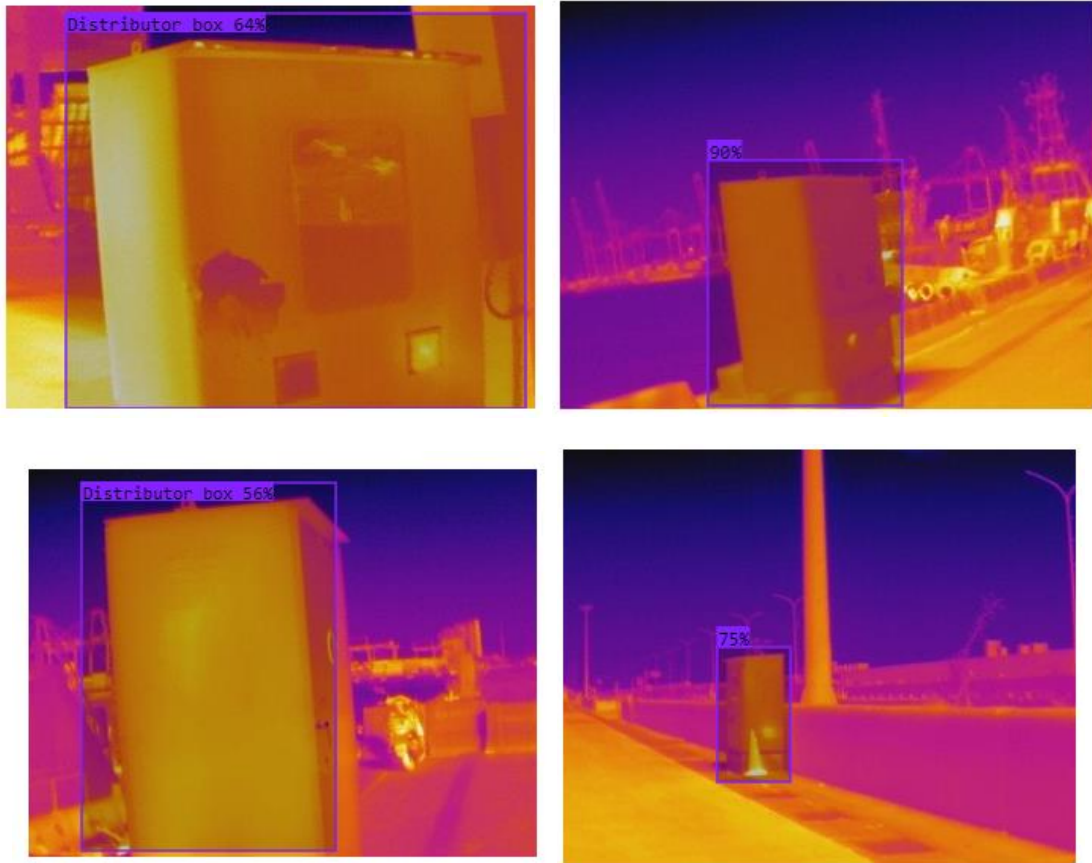


圖 8.4 不同拍攝角度變電箱偵測成果

8.4 道路破損評分

此結使用之模型同 5.3 使用之模型，詳見 5.3.2 之模型介紹，而成果如表 6-3 所示，而該模型在裂縫的預測結果，如圖 8.5 所示，之後便基於該預測結果進行路面破損評估，詳述於以下小結。

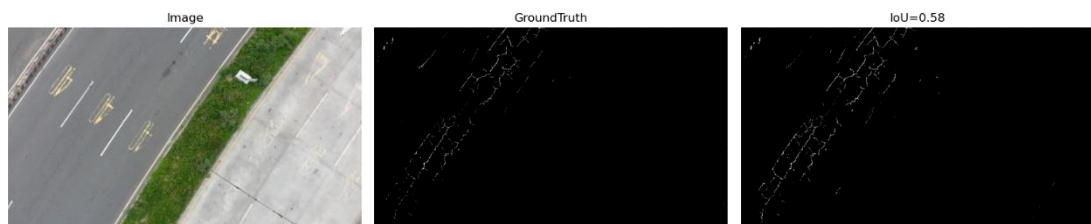


圖 8.5 模型的預測結果。

8.4.1 裂縫分級定義

評分方式要將裂縫的嚴重程度分為三級：

(1) 輕級：

裂縫型態呈細小毛髮狀，且裂縫沒有破裂現象，裂縫可填補但不可有滲水情況，無填補之裂縫平均寬度須小於 0.3 公分以下，不會導致車輛有明顯跳動現象，如圖 8.6。

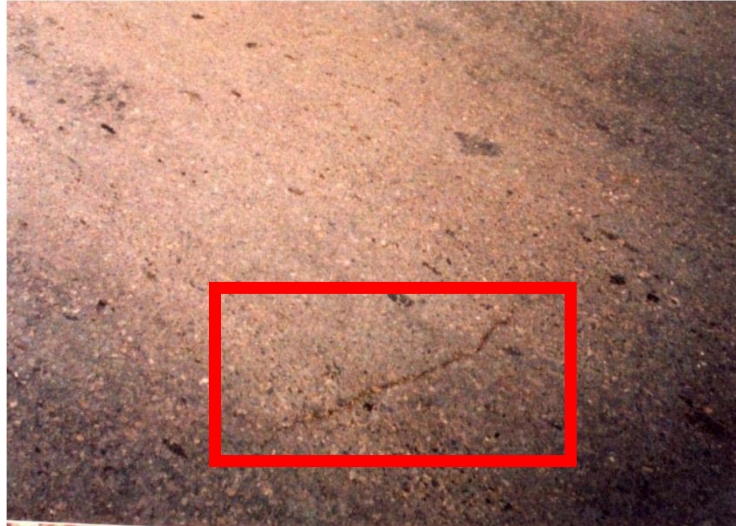


圖 8.6 輕級裂縫

(2) 中級:

裂縫有輕微破裂現象，且裂縫周圍或相交處有其他細小、不規則裂縫出現。有填補之裂縫會有滲水情況，無填補之裂縫平均寬度須介於 0.3 公分至 0.5 公分，導致車輛較明顯跳動現象，如圖 8.7。

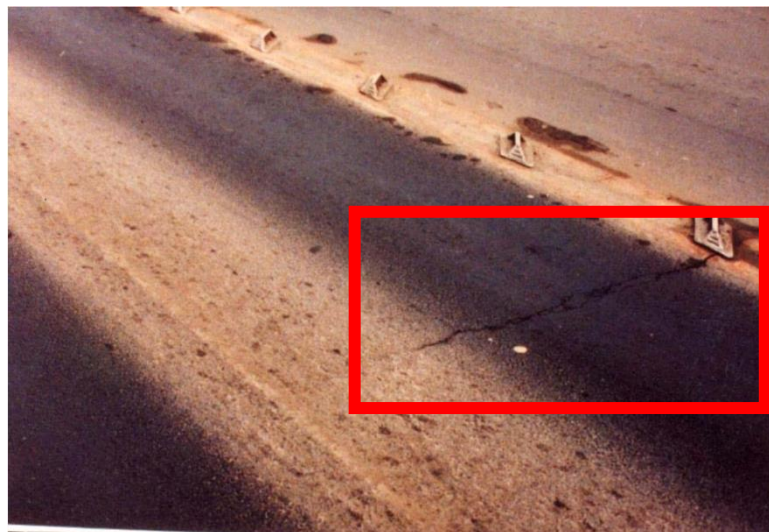


圖 8.7 中級裂縫

(3) 重級：

裂縫有嚴重破裂現象，且裂縫周圍或相交處有其他中級至重級嚴重程度之不規則裂縫出現。已填補之裂縫有滲水情況，無填補之裂縫平均寬度會大於 0.5 公分，導致車輛有較劇烈跳動現象，如圖 8.8。

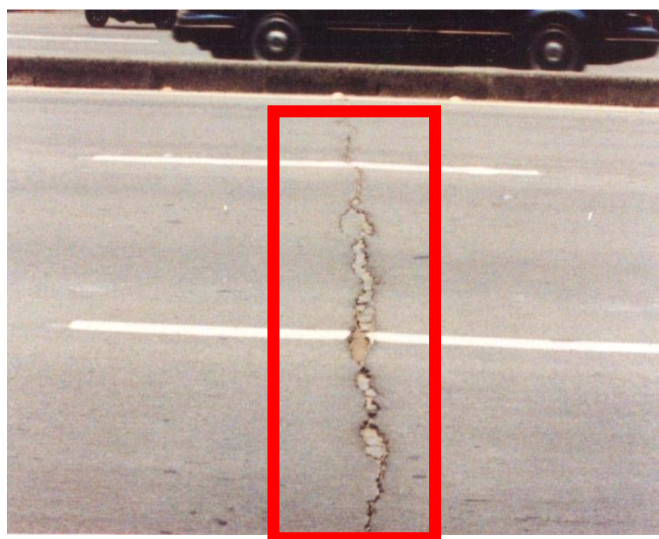


圖 8.8 重級裂縫

8.4.2 裂縫密度計算方法

(1) 裂縫寬度量化

本計畫參考骨架正交法(Sunet al., 2021)來評估裂縫的寬度，以圖 8.9 為例，流程如下：

1. 利用骨幹化(詳見 8.5.2.2)的方式求得裂縫中線。
2. 用 SVD(Klema and Laub, 1980)算出中線上某個點的法線（藍線 y 軸）。
3. 將裂縫輪廓線上最接近法線的兩個點連線並找出與法線的交點（紅點）。
4. 於另一邊重複步驟三，並將兩交點連起來，連線長度即為該點寬度。
5. 在每條裂縫上每 20 公分量一次長度，不到 20 公分者則不量，最後即可算出該裂縫的最大，最小及平均寬度。

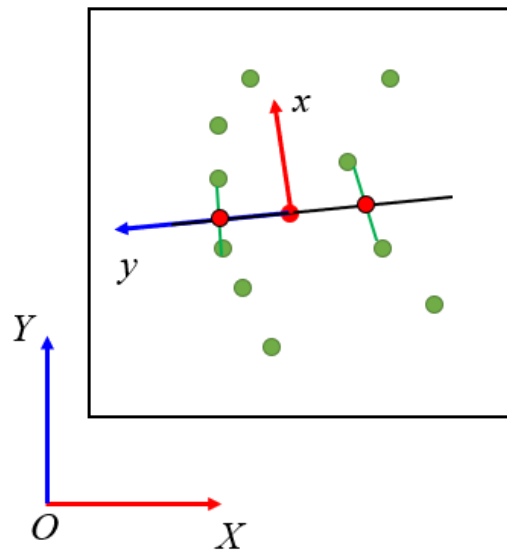


圖 8.9 圖解骨架正交法

(2) 骨幹化(Skeletonize)

本計畫參考 Zhang and Suen(1984)論文提出方式來進行骨架化，骨架化目的為找出裂縫走向，如此，才能找出法向量並算出寬度，流程如下(用預裂縫上的成果則如圖 8.11 所示)：

1. 將圖片轉換成二值圖，以圖 8.10 為例，符號@代表 1，而符號. 代表 0。
2. 將圖中 1 的部分由最外層一層一層的轉換成 0，直到留下來的部分滿足以下條件：
 - a、寬度只有一個像素寬，並為骨架的端點。
 - b、該像素兩端都是骨架，為骨架的中點。

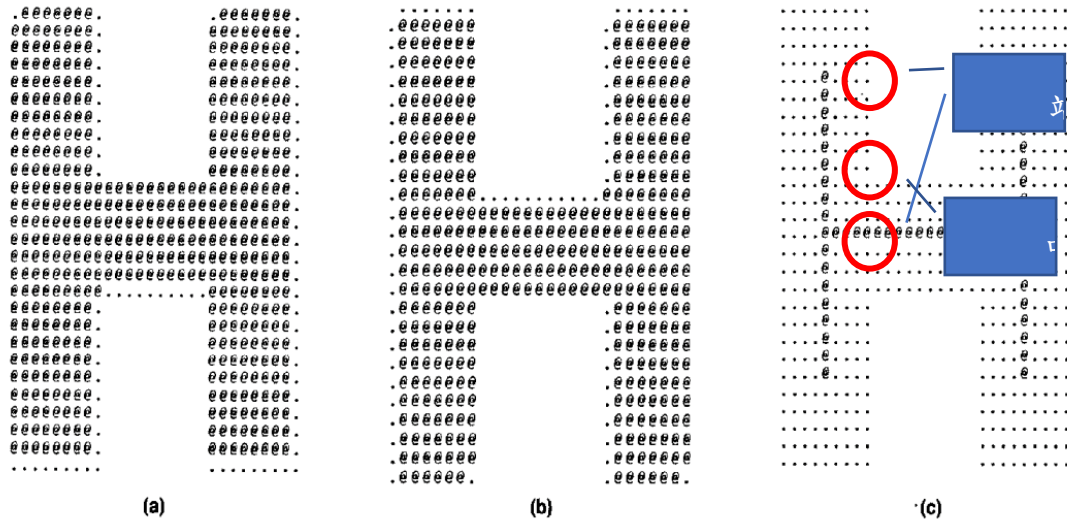


圖 8.10 圖解骨幹化

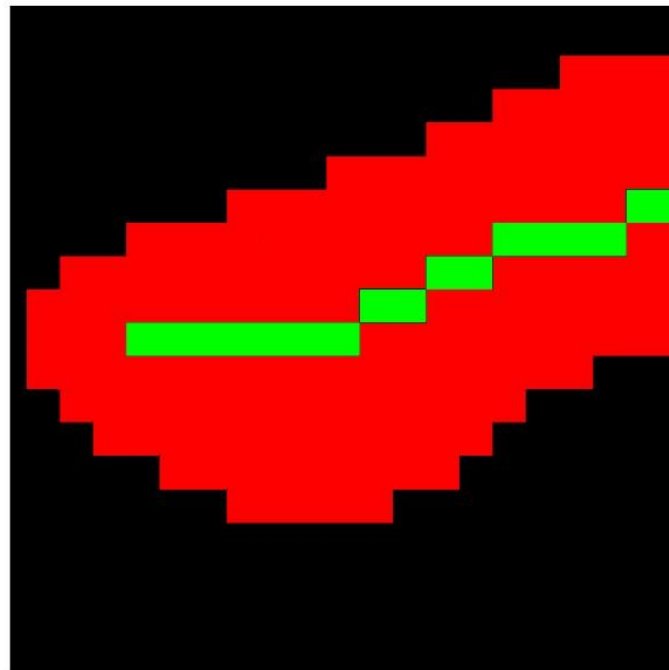


圖 8.11 骨架化成果(紅色為放大的裂縫，綠色為骨架)

(3) 路面狀況評估

路面狀況評估流程如下：

1. 將原圖放入模型並將計算區域所有裂縫骨架化。

2. 將每條裂縫每 0.2m 量一次寬度，並將所有得到的寬度用 8.5.1. 的標準分級。
3. 因每個寬度都代表一個 0.2m 的裂縫，所以將各級裂縫的數量乘 0.2m 即可獲得總長。
4. 將總長除以估算區域面積，得到各級裂縫密度。
5. 將各級裂縫密度分別帶入各自級數的公式(式 2)，最後會得到各自的折減值 d。

$$\text{輕級 } d = -1.7 + 4.45 \log x + 5.18(\log x)^2$$

$$\text{中級 } d = 2.1 + 11.51 \log x + 4.93(\log x)^2$$

$$\text{重級 } d = 8.3 + 14.06 \log x + 12.96(\log x)^2$$

式 2. 折減值公式(d 代表折減值，x 代表裂縫密度)

6. 計算最大容許損壞折減值數量 m 值，計算公式如式 3:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - HDV) \leq 10$$

式 3. 最大容許損壞折減值數量公式(HDV=最大折減值)

7. 以 m 值作為填入表 8-4 之資料量，若原有之折減值數量不到 m 個，則選取全部資料量，但最多只能選取 10 個折減值作為依據。在表 8-3 範例當中，其 $m = 1 + (9/98)(100 - 20) = 8.3$ ，m 值採整數且小數部份一律進位，故本例選取 8 個折減值做為運算根據，但實際中只有 3 個折減值，故全部採用。

表 8-3 折減值計算表

折減值計算表		
損壞類型級嚴重程度	密度(%)	折減值
輕級	5	3.9
中級	12	20.3
重級	2	13.7

8. 依據表 8-3 的損壞型式折減值，由大至小之順序填入表 8-4 中第一列內，並將折減值橫向加總後，填入表 8-4 的第一列的 Total 欄內。本例之 Total 為 38。
9. 計算出取樣單位大於 2 折減值之個數，填入表 8-4 的第一列的 q 值欄內。本例開始之 q 值為 3，依據 q 值及總折減值，按式 4 將 total 帶入 x 找出修正折減值(CDV)，填入表 8-4 的第一列的 CDV 欄內。本例之 CDV 值為 23。

$$\begin{aligned} \text{if } q=1 & \quad \text{CDV} = x \\ \text{if } q=2 & \quad \text{CDV} = -3.6 + 0.91x - 0.0017x^2 \\ \text{if } q=3 & \quad \text{CDV} = -6.4 + 0.82x - 0.0013x^2 \\ \text{if } q=4 & \quad \text{CDV} = -13 + 0.86x - 0.0015x^2 \\ \text{if } q=5 & \quad \text{CDV} = -12 + 0.76x - 0.0011x^2 \\ \text{if } q=6 & \quad \text{CDV} = -14.7 + 0.75x - 0.0011x^2 \\ \text{if } q=7 & \quad \text{CDV} = -18.5 + 0.86x - 0.0018x^2 \end{aligned}$$

10. 進行第二次計算柔性鋪面之 CDV，仍將第一列之損壞型式折減值抄錄至第二列，僅將最末一項大於 2 之損壞型式折減值以 2 代替 (本例之最後一項原為 4，於第二列中以 2 代替之)，然後將所有第二列折減值加總後，填入表 8-4 的第二列的 Total 欄內，再以公式算出對應之 CDV。
11. 再依據 9 至 10 等步驟，依序算出 q 值及修正折減值，填入表 8-4 的第二列的第三及四列，直至 q=1 時為止。

表 8-4 修正折減值計算表

#	折減值			Total	q	CDV
1	20	14	4	38	3	23
2	20	14	2	36	2	27
3	20	2	2	24	1	24

12. 當取樣單位之 $q=1$ 時為完成修正折減值計算作業。由表 8-5 中 CDV 欄內取其最大值(本例為 27)，本例之 PCI 值即為 $(100-27=73)$ 。照表 8-5 標準來看，其鋪面狀況等級為「很好」。

表 8-5 PCI 等級對照表

PCI 值	等級(Rating)
85~100	最佳(Excellent)
70~85	很好(Very good)
55~70	好(Good)
40~55	尚可(Fair)
25~40	差(Poor)
10~25	很差(Very poor)
0~10	不合格(Failed)

8.4.3 路面裂縫評估成果

本次的評估方法是將路面每 20 公尺分為一段並進行 PCI 檢測，不同於 111 年度於臺中港人工分割、拼湊出一張張圖片後再一一檢測，這次使用的是較系統化的分割流程，能夠自動的將檢測的路面航攝圖投影回具有 TWD97 坐標資訊的正射圖上，使模型可以精確地知道每條裂縫在哪個路段，方便對每個路段進行路況評估，流程圖如圖 8.12 所示，上半部為計算正射影像及該張航攝影像的角度及坐標關係，下半部為裂縫預測及評估，兩者資訊結合即可算出該航攝影像的路面狀況及位置。以下小結將詳述裂縫定位方法級路況評估結果。

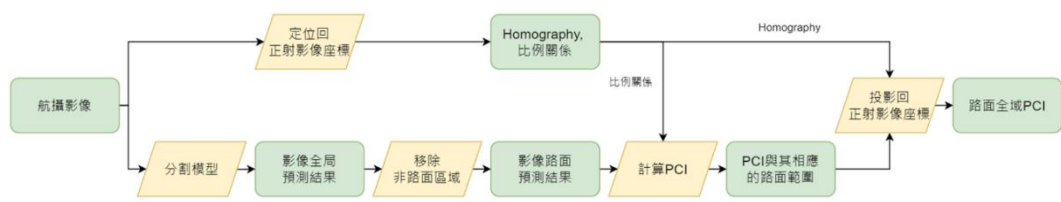


圖 8.12 裂縫預測及定位之流程圖

(1) 裂縫定位

本計畫利用航攝影像資訊以及正射影像之間的關係進行定位，如圖 8.13 所示，利用這些資訊即可求出兩者間的 Homography。首先從航攝影像的 Exif 資訊可以粗估影像的位置，即可將該位置附近的正射影像切割與航攝影像進行特徵點匹配，求得二者相對關係的 Homography。本計畫所使用的特徵點匹配方式為 SIFT，SIFT 是一種用於計算機視覺和圖像處理的特徵檢測和描述方法。SIFT 的主要目標是在不同尺度和旋轉下找到圖像中的關鍵特徵點，並將它們轉換成一個具有不變性的特徵向量，以便在不同圖像之間進行匹配和識別，如此，即可得知航攝圖中的某一點在正射影像的位置，進而回推出兩者間的 Homography 如圖 8.14 所示，這些對應點便可用於計算兩者轉換之 Homography。

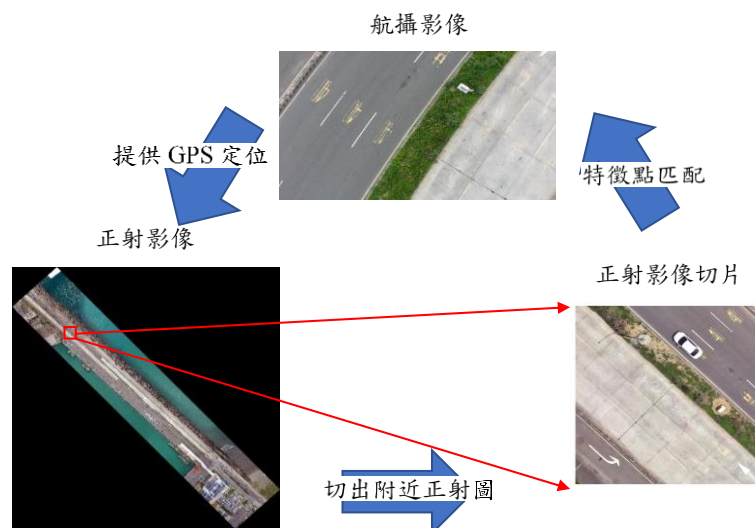


圖 8.13 航攝影像的資訊以及正射影像之間的關係



圖 8.14 SIFT 檢測的成果

(2) 路段劃分及編號

本計畫將目標檢測路段每 20 公尺分為一段，總共 82 段，每期固定分析相同位置，以利後續監測路面狀況，如圖 8.15 所示，每 20 公尺分為一段，總共 82 段，以此監控每段之路面狀況。模型能依據該期 UAV 影像所涵蓋到的範圍進行 PCI 估算，且因為能把每張航攝影像精準投放到正射影像上，因此，不會重複計算到影像重疊範圍，如圖 8.16 所示，可估算出各路段之路況。

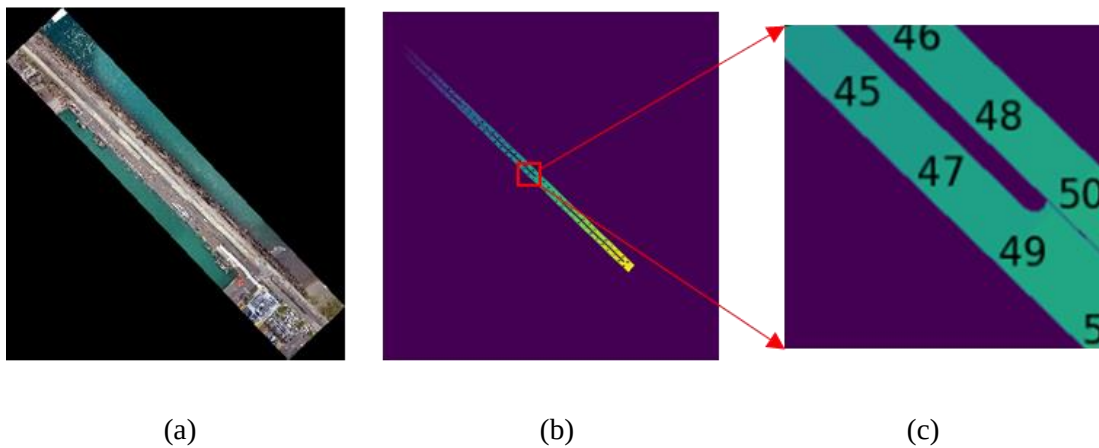


圖 8.15 (a)正射影像原圖 (b)路面分段圖 (c)放大檢視

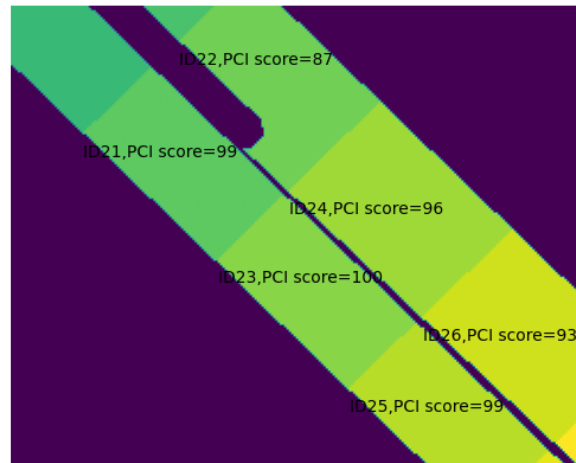


圖 8.16 分段評分結果

(3) 路面裂縫評估成果

路面裂縫評估圖如圖 8.17 所示，依據表 8-5 的 PCI 等級對照表現，使用資料為 112 年 5 月 30 號於臺北港所拍攝之 UAV 影像，深綠代表最佳，淺綠代表很好，而結果僅有編號 20 路段路中間車道有些許較粗裂痕，因此，判定為很好，其他都為最佳。為了印證模型成果，在此將編號 20 路段與其他路段進行比較，如圖 8.16 ~圖 8.20 所示。可見模型能夠確實將路面裂縫辨識出，並不會受到路面的污漬(圖 8.19)，或是護欄等雜物(圖 8.20)影響。

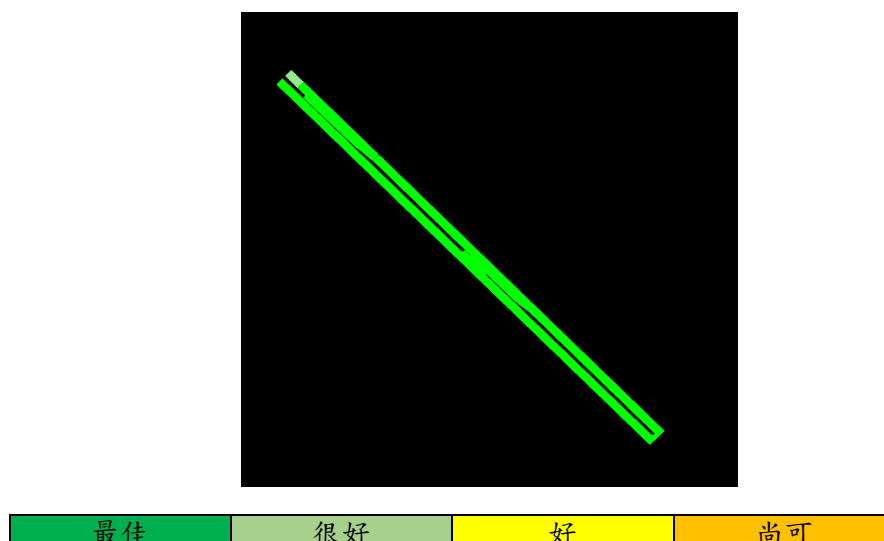


圖 8.17 路面裂縫評估圖

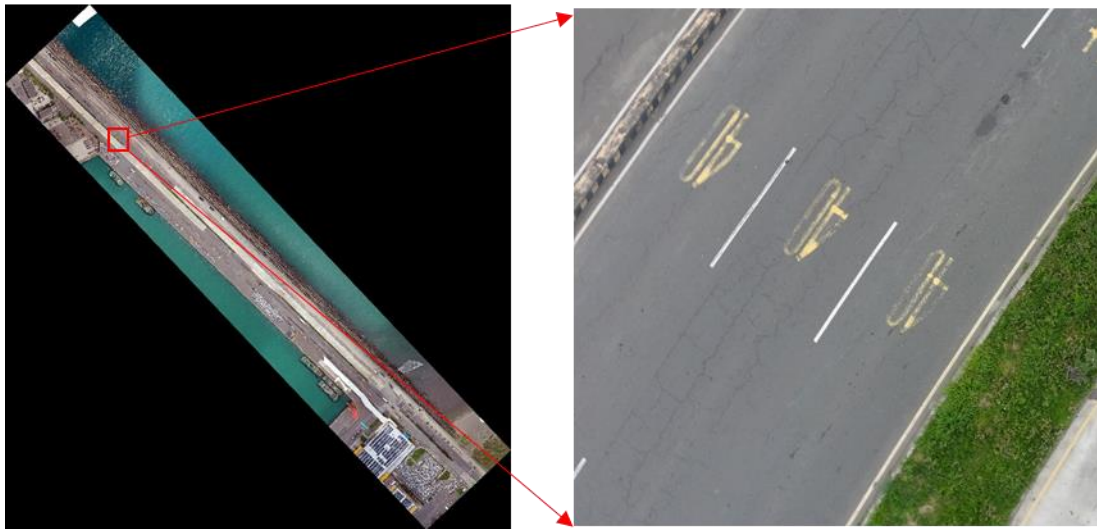


圖 8.18 編號 20 路段



圖 8.19 編號 32 路段

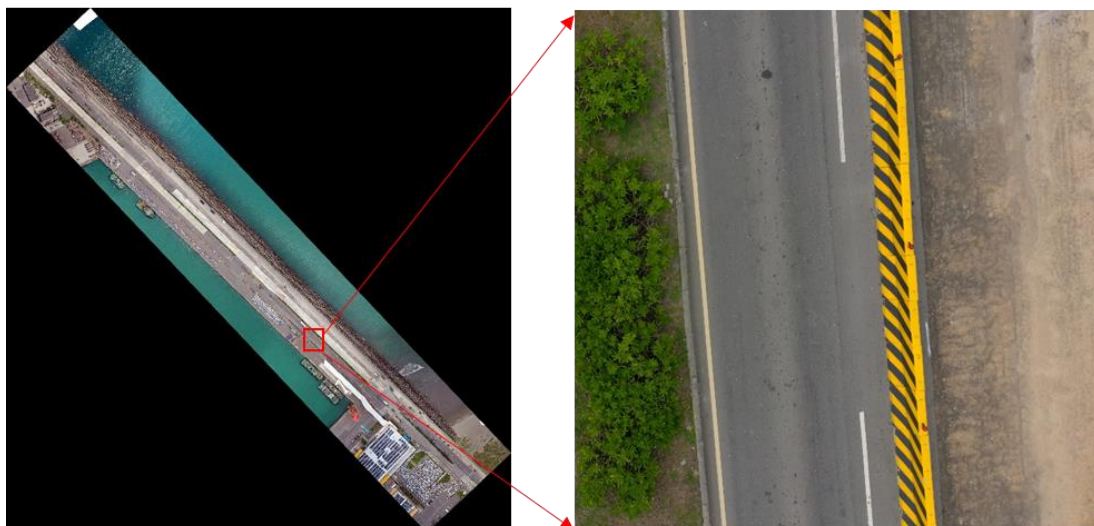


圖 8.20 編號 71 路段

8.5 本章小結

本章說明並證實如何將原始的像素級預測結果，利用骨幹化及寬度計算等影像處理方法，系統化量化成路面狀況指標。此方法能夠將路面分割成小區域，以便定期檢查路面狀況。此外，其可將裂縫位置轉換成世界座標，以計算各路段的路面狀況，從而達到定期檢測的目標。最後目視結果證明該算法準確性，且不易受其他雜訊干擾。

第九章 結論與建議

為建立完善的港區 UAV 影像管理與分析平台，以降低港區未來在巡檢所需的人力成本，並提高港區構造物管理的效率及處理損壞的即時性。本計畫第一年期提出從港區高精度空間資料庫開始建立的概念，藉由定期的影像蒐集，逐步匯入平台中累積樣本數，並結合物件辨識技術，發展出自動化的影像管理平台。茲將研究結論與建議敘述如下：

9.1 結論

(1) 港區高細緻空間基礎資料建構

利用 FNN 神經網路技術建置港區風速環境資訊系統，在自動化分區的問題上，也不需人工介入劃分，這項技術的應用使得風速資料的預估更為精確，為相關領域的決策提供了可靠的依據。此外，本案進行了地面控制點測量和全港區影像資料蒐集，透過精確的地面控制點配合攝影測量原理進行影像建模，並在某些因航高受限導致建模不理想區域，採用傾斜攝影測量進行拍攝補足物件的側面資訊。

(2) 無人載具以及感測器硬體系統分析

分別整理了空中無人載具、地面無人載具及水下無人載具，並羅列各自可搭載之感測器，以及不同重量大小下可航行、移動或航行的最大距離及時間。

(3) 地面無人載具控制邏輯方法

UGV 在自主導航方面成功地採用了 ROS 導航堆疊（ROS navigation stack），展現出在動態環境中安全高效的導航能力，並透過微調路徑規劃算法，進一步提高了生成無碰撞路徑的能力。

(4) 感測資料自動化辨識技術發展於臺中港

在岸邊設施方便，將過去在臺中港的自動化辨識流程優化，使用最近發布的 YOLOv8 模型取代過去偵測使用的 Mask R-CNN 實例分割模型與前一步驟所需的 FPN 語意分割模型，將兩步驟的模型簡化為一步驟，同時也能維持優秀的辨識效果；路面裂縫則分析了將模型更改為新架構及調整一些訓練參數後是否能對結果有提升，而實驗結果是肯定的，新模型在臺中港圖資的表現提升 3.8%，代表模型增加了對於裂縫的辨識能力，且模型在訓練時新增了臺北港的資料，因此強化了模型的適應力。

(5) 感測資料自動化辨識技術發展於臺北港

針對今年新擇定三項物件:變電箱、堤面胸牆及馬頭伸縮縫進行辨識。在伸縮縫及胸牆皆使用霍夫直線檢測法，設計出了能夠算出伸縮縫走向的演算法，並與路面走向做比較來評估路面及胸牆品質；在變電箱方面運用了最新的深度學習技術 YOLOv8 模型，進行變電箱物件偵測，而後進行了熱影像的溫度偵測，以確保變電箱內部的溫度在安全範圍內。

(6) 系統整合平台

以臺中港平台功能為基礎，將維度由二維轉至三維，做為資料展示介面，並基於團隊過去執行飛行任務的成果影像，進行各項分析與辨識，將相關成果整合於圖台之上，提供使用者一快速掌握港區情況之實用工具，並預計於下一年度進行地面車輛相關功能之開發及整合，期能提供更全面的業務支援。

9.2 建議

本年度主要目的為建置臺北港的空間基礎資料，輔以臺中港成果為基礎進行精進及優化，新納入除空中無人載具外之無人載具作為研究項目，測試不同感測器功能、路徑規劃方式及辨識項目，然現階段尚在各自實驗階段，預計明年度開始進行載具功能整合，並再新增三項辨識物件，最終逐一將各項功能整合置平台，在研究範疇下提供港區營運單位更全面的管理系統。

9.3 成果效益與後續應用情形

透過本計畫建構之平台，可蒐集不同飛行模式所拍攝之影像，並進行匹配，此可長期監測港區環境，更可透過匹配得知變化之處，並進行政策調整或立即性維護。另隨著後續物件辨識功能納入平台，使用者可更直覺地將各項巡檢標的進行分類，提升對各項港區設施的巡查效率，達到精簡人力同時不影響巡檢品質之效益，協助臺灣港務股份有限公司以自動化方式快速掌握港區之使用狀況，針對港埠重要設施進行巡查，精確地掌握設施的穩定性，及早獲知港區各項設施可能的變動或損壞狀況，增進港區的管理效能與營運安全。

參考文獻

1. Ballard, D. H. (1981). Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes. *Pattern recognition*, 13(2), 111-122.
2. J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-8, no. 6, pp. 679-698, Nov. 1986, doi: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
3. Lin, T. Y., Dollár, P., Girshick, R., He, K., Hariharan, B., & Belongie, S. (2017). Feature pyramid networks for object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2117-2125).
4. Maxim Berman, Amal Rannen Triki, & Matthew B. Blaschko. (2018). The Lovasz-Softmax loss: A tractable surrogate for the optimization of the intersection-over-union measure in neural networks.
5. Ronneberger O., Fischer P., Brox T.(2015). "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation". arXiv:1505.04597
6. Shelhamer E., Long J., Darrell T.(April 2017). "Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 39 (4): 640–651. arXiv:1411.4038. doi:10.1109/TPAMI.2016.2572683. PMID 27244717. S2CID 1629541.
7. Sun, P., Wu, Z., Zhang, Y., & Wu, J. (2021). A Novel Assessment Method of Cracks Width Quantitative Model Based on Computer Vision. In *2021 17th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS)*. 2021 17th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS). IEEE. <https://doi.org/10.1109/cis54983.2021.00072>
8. Tan, M., & Le, Q. (2019, May). Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In *International conference on machine learning* (pp. 6105-6114). PMLR.

9. Klema, V., & Laub, A. (1980). The singular value decomposition: Its computation and some applications. *IEEE Transactions on automatic control*, 25(2), 164-176.
10. Zhang, T. Y., & Suen, C. Y. (1984). A fast parallel algorithm for thinning digital patterns. *Communications of the ACM*, 27(3), 236-239.
11. Zhao, K., Liu, L., Meng, Y., & Gu, Q. (2019). Feature deep continuous aggregation for 3D vehicle detection. *Applied Sciences*, 9(24), 5397.
12. Zhou, Z., Rahman Siddiquee, M. M., Tajbakhsh, N., & Liang, J. (2018). Unet++: A nested u-net architecture for medical image segmentation. In *Deep Learning in Medical Image Analysis and Multimodal Learning for Clinical Decision Support: 4th International Workshop, DLMIA 2018, and 8th International Workshop, ML-CDS 2018, Held in Conjunction with MICCAI 2018, Granada, Spain, September 20, 2018, Proceedings 4* (pp. 3-11). Springer International Publishing.

附錄一、工作會議紀要

112 年 3 月工作會議紀要

採購編號：MOTC-IOT-112-H2CB001a

會議名稱：「港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展」合作研究案 112 年 3 月份工作會議

時間：112 年 3 月 17 日(星期五)下午 2 時 0 分至 4 時 20 分

地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：李俊穎科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所港灣技術研究中心第二科

執行廠商：國立臺灣大學

紀錄：洪維屏

壹、討論議題

一、工作進度說明：

- (一) 計畫整體執行內容討論。
- (二) 完成高細緻空間基礎資料建構之流程規劃。
- (三) 完成本年度港區辨識項目之初步規劃。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- (一) 高細緻空間基礎資料建構流程說明。
- (二) 無人移動載具性能說明。
- (三) 港區物件自動化辨識技術之標的物討論。

貳、主要結論

- 一、有關 UAV 飛行申請相關事宜：臺北港區定義黃區區域請國立臺灣大學依程序向民航局提出申請；其餘可供飛行之區域請基隆港務分公司評估後，協助本所依規定提出申請。
- 二、本所將提供臺北港近 5 年逐時風速及流速觀測資料，以利國立臺灣大學進行無人移動載具可應用性分析。
- 三、請基隆港務分公司提供臺北港區現有控制點座標，以利國立臺灣大學評估是否可加以沿用，或進行補設。

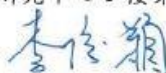
會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-112-H2CB001a 港區影像智慧辨識技術之研究
(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展」合作
研究案 112 年 3 月份工作會議

貳、時間：112 年 3 月 17 日(星期五)下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：李俊穎科長



伍、出(列)席人員：

出席單位	職稱	姓名
臺灣港務股份有限公司		請假
基隆港務分公司	技術員	張郁蓁
	高級技術員	林彥良
合作研究單位： 國立臺灣大學	計畫主持人	蔣仁毓
	專任研究助理	甘羽瑩
	研究助理	林育銘
本所港灣技術研究中心	研究員	吳維屏
	助理研究員	許師瑜

112 年 4 月工作會議紀要

採購編號：MOTC-IOT-112-H2CB001a

會議名稱：「港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展」合作研究案 112 年 4 月份工作會議

時間：112 年 4 月 13 日(星期四)上午 10 時 0 分至 11 時 45 分

地點：國立臺灣大學土木工程系土木館307會議室

主持人：李俊穎科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所港灣技術研究中心第二科

執行廠商：國立臺灣大學

紀錄：洪維屏

壹、討論議題

一、工作進度說明：

- (一) 計畫整體執行內容討論。
- (二) 完成臺北港區現勘及控制點佈設。
- (三) 完成臺北港區風速及流速觀測資料初步分析。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- (一) 高細緻空間基礎資料建構說明。
- (二) 無人移動載具性能分析說明。
- (三) 港區氣象環境分析討論。

貳、主要結論

- 一、有關 UAV 飛行申請相關事宜，本所已於 112 年 4 月 12 日函文提出申請，俟基隆港務分公司審核後，將通知國立臺灣大學進場作業，以利本計畫順利進行。
- 二、本年度港區辨識項目之測試區域，請國立臺灣大學依會議當天討論情形，進行評估規劃。
- 三、請國立臺灣大學依規劃之期程，進行後續工作。

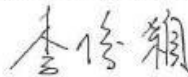
會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-112-H2CB001a 港區影像智慧辨識技術之研究
(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展」合作
研究案 112 年 4 月份工作會議

貳、時間：112 年 4 月 13 日(星期四)上午 10 時

參、地點：國立臺灣大學土木工程系土木館307會議室

肆、主持人：李俊穎科長



伍、出(列)席人員：

出席單位	職稱	姓名
臺灣港務股份有限公司		請假
基隆港務分公司	高級技術員 技術員	林彥良 張育莉
合作研究單位： 國立臺灣大學	計畫主持人 協同主持人 專任研究助理	韓仁競 謝三謙 甘立羽萱
本所港灣技術研究中心	研究員	洪維屏

112 年 5 月工作會議紀要

採購編號：MOTC-IOT-112-H2CB001a

會議名稱：「港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展」合作研究案 112 年 5 月份工作會議

時間：112 年 5 月 17 日(星期三)下午 2 時 0 分至 16 時 0 分

地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室

主持人：李俊穎科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所港灣技術研究中心第二科

執行廠商：國立臺灣大學

紀錄：洪維屏

壹、討論議題

一、工作進度說明：

- (一) 計畫整體執行內容討論。
- (二) 完成臺北港區初步影像匹配及建模。
- (三) 完成臺北港區風速及流速觀測資料分析。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- (一) 高細緻空間基礎資料建構說明。
- (二) 港區海氣象環境分析討論。
- (三) 岸邊設施及道路裂縫辨識模組測試說明。

貳、主要結論

- 一、國立臺灣大學已進行第 1 階段臺北港區全區空拍作業，並初步完成影像匹配及建模，後續請依基隆港務分公司相關規定，執行本年度巡查標的物之影像蒐集空拍作業，以利計畫順利進行。
- 二、本所將提供臺北港近 5 年逐時潮位觀測資料，以利國立臺灣大學進行水下無人移動載具可應用性分析。
- 三、請國立臺灣大學依規劃之期程，進行後續工作。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H2CB001j 無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究(II)-空間資訊整合分析平台建置」合作研究案 112 年 5 月份工作會議

貳、時間：112 年 5 月 17 日(星期三)下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：李俊穎科長 李俊穎

伍、出(列)席人員：

出席單位	職稱	姓名
臺灣港務股份有限公司		請假
基隆港務分公司		請假
合作研究單位： 國立臺灣大學	計畫主持人 協同主持人 專任研究助理	韓仁範 李育豪 甘明堃
本所港灣技術研究中心	研究員	洪維偉

112 年 6 月工作會議紀要

採購編號：MOTC-IOT-112-H2CB001a

會議名稱：「港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展」合作研究案 112 年 6 月份工作會議

時間：112 年 6 月 15 日(星期四)上午 10 時 0 分至 12 時 30 分

地點：國立臺灣大學土木工程系土木館215會議室

主持人：李俊穎科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所港灣技術研究中心第二科

執行廠商：國立臺灣大學

紀錄：洪維屏

壹、討論議題

一、工作進度說明：

- (一) 計畫整體執行內容討論。
- (二) 完成臺北港區高細緻空間基礎資料建構。
- (三) 完成臺北港區風速觀測資料分析。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- (一) 高細緻空間基礎資料建構說明。
- (二) 港區風速資料分析討論。
- (三) 岸邊設施辨識模組測試說明。

貳、主要結論

- 一、國立臺灣大學已完成臺北港區風速資料初步分析，後續請再蒐集附近觀測站之風速觀測資料，並進行模式驗證和比對，以強化模式之正確性。
- 二、請國立臺灣大學針對臺北港區測試範圍之標的物進行編號，並將相關資料建置於平台上，以利後續使用者方便操作。
- 三、請國立臺灣大學依規劃之期程，進行後續工作。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H2CB001j 無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究(II)-空間資訊整合分析平台建置」合作研究案 112 年 6 月份工作會議

貳、時間：112 年 6 月 15 日(星期四)上午 10 時

參、地點：國立臺灣大學土木工程系土木館 215 會議室

肆、主持人：李俊穎科長 李俊穎

伍、出(列)席人員：

出席單位	職稱	姓名
臺灣港務股份有限公司		請假
基隆港務分公司		請假
合作研究單位： 國立臺灣大學	計畫主持人 協同主持人 專任研究助理	許仁志 林三謙 甘翎萱 林育銘
本所港灣技術研究中心	研究員	洪維嵩

112 年 7 月工作會議紀要

採購編號：MOTC-IOT-112-H2CB001a

會議名稱：「港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展」合作研究案 112 年 7 月份工作會議

時間：112 年 7 月 25 日(星期二)上午 9 時 30 分至 10 時 50 分

地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

主持人：李俊穎科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所港灣技術研究中心第二科

執行廠商：國立臺灣大學

紀錄：洪維屏

壹、討論議題

一、工作進度說明：

- (一) 計畫整體執行內容討論。
- (二) 完成臺北港區第 3 次巡查影像資料蒐集。
- (三) 完成臺中港之成果架構應用於臺北港之初步測試。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- (一) 巡查設施影像資料討論說明。
- (二) 道路設施辨識模組測試說明。
- (三) 地面無人載具分析說明。

貳、主要結論

- 一、國立臺灣大學已完成臺中港之成果架構應用於臺北港之初步測試，後續請再調整及精進相關辨識模組，並增加影像資料蒐集數量，以提高辨識率。
- 二、請國立臺灣大學針對本計畫新建置之辨識模組，預先規劃如何整合於系統平台內，以利後續使用者方便操作。
- 三、請國立臺灣大學依規劃之期程，進行後續工作。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H2CB001j 無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究(II)-空間資訊整合分析平台建置」合作研究案 112 年 7 月份工作會議

貳、時間：112 年 7 月 25 日(星期二)上午 9 時 30 分

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：李俊穎科長 李俊穎

伍、出(列)席人員：

出席單位	職稱	姓名
臺灣港務股份有限公司		請假
基隆港務分公司		請假
合作研究單位： 國立臺灣大學	協同主持人 專任研究助理	黃春嘉(視訊) 甘翊萱(視訊)
本所港灣技術研究中心	研習員	洪雅屏

112 年 9 月工作會議紀要

採購編號：MOTC-IOT-112-H2CB001a

會議名稱：「港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展」合作研究案 112 年 9 月份工作會議

時間：112 年 9 月 7 日(星期四)上午 10 時至 12 時 15 分

地點：國立臺灣大學土木工程系土木館217會議室

主持人：李俊穎科長

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所港灣技術研究中心第二科

執行廠商：國立臺灣大學

紀錄：羅冠顯

壹、討論議題

一、工作進度說明：

- (一) 計畫整體執行內容討論。
- (二) 完成臺北港空間資訊平台架構初步規劃。
- (三) 完成臺中港之成果架構應用於臺北港之測試。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- (一) 巡查設施影像資料討論說明。
- (二) 物件辨識模組測試說明。
- (三) 地面無人載具分析說明。

貳、主要結論

- 一、為精進巡查物件辨識模組且提高辨識率，請國立臺灣大學提前規劃後續臺北港區空拍作業，以增加影像資料蒐集數量。
- 二、有關臺中港路面裂縫辨識模組應用於臺北港之測試，請國立臺灣大學針對港區路面材質是否影響裂縫辨識率進行探討，以降低誤判率。
- 三、請國立臺灣大學依規劃之期程，進行後續工作。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-111-H2CB001j 無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究(II)-空間資訊整合分析平台建置」合作研究案 112 年 7 月份工作會議

貳、時間：112 年 7 月 25 日(星期二)上午 9 時 30 分

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：李俊穎科長 李俊穎

伍、出(列)席人員：

出席單位	職稱	姓名
臺灣港務股份有限公司		請假
基隆港務分公司		請假
合作研究單位： 國立臺灣大學	協同主持人 專任研究助理	黃春嘉(視訊) 甘翊萱(視訊)
本所港灣技術研究中心	研習員	洪雅屏

112 年 10 月工作會議紀要

採購編號：MOTC-IOT-112-H2CB001a

會議名稱：「港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展」合作研究案 112 年 10 月份工作會議

時間：112 年 10 月 20 日(星期五)上午 9 時 30 分至 11 時 30 分

地點：本所運輸技術研究中心5樓第二會議（視訊會議）

主持人：李俊穎副研究員

出席者：如後附簽到表

主辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

執行廠商：國立臺灣大學

紀錄：羅冠顯

壹、討論議題

一、工作進度說明：

- （一）影像資料蒐集模組執行情形。
- （二）物件辨識模型測試成果。
- （三）地面無人載具分析結果。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- （一）道路、岸邊設施、碼頭伸縮縫及胸牆巡檢說明。
- （二）岸邊設施、胸牆裂縫、路面裂縫及變電箱辨識說明。
- （三）熱影像模組整合說明。

貳、主要結論

- 一、透過增加巡檢影像資料蒐集量，已大幅提升車擋及繫船柱辨識成功率，惟碰墊辨識成功率雖有提升，但仍有改善進步空間，請國立臺灣大學構思改善對策，以提升成功率。
- 二、裂縫偵測模型於胸牆裂縫辨識效果不佳，目前已嘗試將胸牆範圍先行切割，以提升辨識成功率，後續胸牆變位偵測請持續努力。
- 三、本年度教育訓練訂於 112 年 11 月 9 日辦理，請妥適規劃課程，以利教育訓練如期、如質舉行。
- 四、請國立臺灣大學依規劃之期程，進行後續工作。

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-112-H2CB001a 港區影像智慧辨識技術之研究
(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展」合作研
究案 112 年 10 月份工作會議

貳、時間：112 年 10 月 20 日(星期五) 上午 09 時 30 分

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第二會議 (視訊會議)

肆、主持人：李俊穎副研究員 李俊穎

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
臺灣港務股份有限公司		請假
臺灣港務股份有限公司 基隆港務分公司		請假
合作研究單位： 國立臺灣大學	計畫主持人	韓仁毓教授（視訊）
本所運輸技術研究中心	副研究員 副研究員	張道光 羅冠顯

附錄二、期中審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監

測應用技術發展

合作研究單位：國立臺灣大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
一、王聖鐸委員		
執行進度符合規畫，內容豐富，值得肯定。	感謝委員肯定。	符合。
P.2-2-2-4 提出安全係數概念極佳，請問是否可以切入考慮電池老化程度(透過充放電循環測試)?是否可在表 2-1、2-2 加入無人機駕照規範?	每一次充放電皆會記錄電池循環次數，可根據此循環次數，並依據原廠提供規格來評估電池老化程度，並補充說明於報告書。 感謝委員建議，已加入無人機駕照規範並說明。	依處理情形辦理。
P.2-6 表 2-5、表 2-6 應為「定翼機」而非「多旋翼」。	感謝委員建議，已修正。	所提意見及執行內容調整，列入期末報告辦理。
P.2-19 表 2-19 中最大抗風應為廠商建議值，是否做過攝影測量需求下的最大抗風等級?	目前皆以廠商提供最大抗風等級作為評估，未來有機會可嘗試以地形測繪之攝影測量任務以進行評估。	符合。
專有名詞建議採用國教院樂詞網所提供翻譯，若無詞條也請自行提供中文翻譯，如：p.2-24 的 Training Loss, level, p.3-1 的 stack 應翻為堆疊，p.3-2 的「集成」應為「整合」、「格網」應為「網格」、「高級」，「占比」應為「進階」或「詳細」、p.4-7「標注」	感謝委員建議，已將專有名詞於報告書內進行更正，並於期末報告中呈現。	依處理情形辦理。

應為「標註」或「註記」。		
P. 4-6 建議加入投影片有呈現的成果。	感謝委員建議，已將各項新增成果更新於報告書。	所提意見及執行內容調整，列入期末報告辦理。
P. 2-40 最後一句的「%LEL」建議改為「氣體濃度」。	感謝委員建議，本研究中的「%LEL」是指「% Lower Explosive Limit」，它指氣體混合物中引發爆炸的最低濃度百分比。雖然「氣體濃度」是指氣體在特定條件下的濃度，但考慮到兩者之間的關聯，後續將於報告中進行調整。	依處理情形辦理。
二、王驥魁委員		
期中報告已有針對報告書內容進行更新，例如：P. 5 研究方法及流程圖；P. 12 各項巡檢設施的位置圖；P. 30 風速插值成果疊圖於港區正射影像；P. 33 新增辨識項目等，請依此更新修正報告。	感謝委員建議，已將各項新增成果更新於報告書。	所提意見及執行內容調整，列入期末報告辦理。
請說明路面裂縫辨識(PPT)使用的 IoU 的計算式。	Intersection over Union (IoU)，為衡量語意分割模型表現的指標之一，其定義為預測之分割面積與實際標註值之交集除以聯集，因此最高為1，最低為0，值越大則模型表現越佳。	符合。
巡檢的操作情境請多做說明，例如：以 UAV 為主，UGV 為輔？或二者皆為未來使用的平台？白天或夜晚巡檢？巡檢成果有即時運算的需求嗎？巡檢成果預期如何呈現讓使用者使用？	感謝委員建議，本年度主要著重於基礎資料蒐集與建置，操作方式以白天執行 UAV 為主，UGV 則為測試階段，另後續巡檢相關規劃及整體預期呈現之成果，未涵蓋於本年度執行之工作項目。	符合。

三、江文山委員		
今年是 3 年期計畫的第 1 年，重點工作是技術設備功能規格盤點，以及基礎資料的蒐集分析等，報告內容基本符合規劃進度。	感謝委員肯定。	符合。
前期針對臺中港所發展的技術已建立非常良好的基礎，基於前期的成果，此階段的技術發展重點，建議於報告前段部分補充說明。	感謝委員建議，將於期末報告內進行補充說明。	依處理情形辦理。
基礎資料的空間資料部分，蒐集風速與流速，未見波浪部分，建議增補。	水下無人載具作業環境以水下環境的作業時間較多，故波浪部分經文獻查找後對其影響較小，故未加以分析計算。	符合。
風速分析基於實測的測站資料，利用機器學習技術，嘗試推算全區的風速空間分布，構想良好，惟說明過於簡略，後續補充。	感謝委員建議，主要方法為透過多個風速測站數據，可以使用 FNN 內插法來推估特定區域風速。FNN 將通過將多個測站數據(五個測站位置&五個測站時序風速)進行分析和計算，以預測整個研究區域位置或時間點的風速。已詳細補充於報告書。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
流速的分析，基於港外的 2 個測站為之，然港內外差異甚大，可參考性較低，是否可結合實測與模擬進行，請考量。	感謝委員建議，目前港內流速分析尚在進行中，會再將模擬結果補充於期末報告書內。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
P. 2-26 「…得知…共有幾天符合抗風條件…」，請補充判斷的依據。	抗風條件主要是依據無人機原廠提供之抗風規格，例如 2 公斤以下最大抗風為 5 級風，並換算實際風速，再對應至臺北港風速資料進行評估，已補充並說明於報告書。	依處理情形辦理。

計畫目的係基於精進港區自動化管理效能，建議於報告第一章針對港務公司的管理現況與需求補充說明。	感謝委員建議，因本年度主要為基礎資料蒐集與建置，將於期末報告斟酌納入管理現況。	依處理情形辦理。
四、鄭志宏委員		
感謝運研所及研究團隊努力，成果很棒。期中建議通過。	感謝委員肯定。	符合。
無人載具仍以安定，可全年作業為目標，每港巡查範圍可分區，但應注意意外防止及無人機之意外處理。	感謝委員建議。	符合。
P2-6，表 2-6，飛行總里程是否有誤，是單趟嗎？	飛行總里程為定翼機總飛行距離，該里程為測繪模式下計算，已補充並說明於報告書。	所提意見及執行內容調整，列入期末報告辦理。
無人車應注意避障，遵守號誌為宜。	感謝委員提醒，本次研究階段的無人機在一定程度上能夠避免不僅是靜態障礙物，還包括動態障礙物。隨著項目的進展，避障演算法將會改進，使其更有效。另外，地面無人機操作區域限定在人行道上，以確保無人機不會對港口交通造成任何安全問題。	符合。
表 2-10，設備速度太慢、太低、太小(不容易被察覺)。	目前研究階段，本研究採用本團隊實驗室的小型無人機作為原型，未來將嘗試使用更大尺寸的無人機，例如 Clearpath Jackal 或 Husky。新的無人機能力會影響速度的調整。持續改進將確保無人機性能和速度符合項目需求。	符合。
水下 Rov 有纜線，路徑受限，且可討論可否用於海堤、碼頭檢測，可考慮搭	謝謝委員建議，水下 ROV 對於海堤、碼頭檢測，以及可搭配高精攝影機、機械手臂、金屬	依處理情形辦理。

配高精攝影機、機械手臂、金屬測厚、聲納、定位等儀器。	測厚、聲納、定位等儀器會再補充說明於報告書內。	
水下 Rov 應討論船機波、海流影響。	謝謝委員建議，船機波的發生是因船隻經過所造成，但在於水下無人載具作業時，為了作業安全與穩定性，會盡量避開船隻，這方面故影響較小。海流的方面則如同前述會針對港內進行分析討論，並補充說明於報告書內。	所提意見及執行內容調整，列入期末報告辦理。
P2-36，圖 2.28 先排除陸域色標，其用意為何？圖 2.29 精度為何？	圖 2.28 為陸域與水域之實際高程，不應排除任何顏色，但為了使陸域與水域能清楚顯示，已加入邊界框線，並修正於報告書。 已將精度說明補充於報告書。另並非都一樣顏色，而是港區高程平緩變化不構明顯，故 colorbar 顯示色階變化不夠明顯。	依處理情形辦理。
Ch4. 可討論提高辨識率方法，討論排煙、空氣品質、噪音、植栽、道路、掉落物、防鼠盾等項辨識。	感謝委員建議，本年度已於工作會議和臺北港營運處同仁討論出今年將發展影像自動化辨識之 3 種物件，另已補充現有模型可精進之方法。	符合。
可討論通訊傳輸方式，以及整體事件回報模式。是否可將成果自動回傳港灣構造物維護管理系統。	感謝委員建議，本年度主要著重於基礎資料蒐集與建置，通訊傳輸方式及整體事件回報模式，未涵蓋於本年度執行之工作項目。	符合。
偵測項目可討論無人載具或加裝固定式偵測器。	感謝委員建議，報告已經將「無人載具或加裝固定式偵測器」的討論納入在報告的 2.1.1 節「空中無人載具」及 2.1.2 節「地面無人載具」中。	依處理情形辦理。
五、張瑞隆委員		

P.2-1~P.2-3 提到多款式無人機，建議品牌、型號撰寫清楚。	感謝委員建議，已補充相關無人機之品牌以及型號。	依處理情形辦理。
P.2-5~P.2-6 圖 2.3 飛行面積範圍示意圖用矩形表示，與圖 2.2 圓形不同，建議再做說明。	飛行面積範圍採用圓形，主要是適用於多旋翼機，因多旋翼機飛行里程較短，且多以巡檢任務為主，故以最大可觸及buffer來表示。飛行面積採用矩形，主要是適用於定翼機，因定翼機主要適用於地形測繪任務故採用矩形表示可飛行最大範圍。已補充於報告書。	所提意見及執行內容調整，列入期末報告辦理。
P.2-19"降雨量 20mm/day 視為可飛行"，本案 UAV 飛行目的是做正射影像，有雨的狀況可能不合適，建議可再斟酌。	感謝委員建議，降雨條件會再斟酌納入。	依處理情形辦理。
六、港研中心蔡立宏主任		
本計畫本所與臺灣大學召開多次工作會議，後續請臺灣大學彙整各次會議紀要及本次期中審查委員意見處理情形表納為期末報告審查之必要附件，俾利審查委員瞭解研究過程，以及是否已參考期中審查意見進行調整。	感謝委員建議，已將委員意見補述於報告中。	所提意見及執行內容調整，列入期末報告辦理。
本計畫未來投稿之學術論文，請臺灣大學應先知會本所承辦單位確認，依據「公務員發表職務言論同意辦法」相關規定辦理。	感謝委員建議，未來投稿之學術論文將依相關規定辦理。	依處理情形辦理。
本計畫報告採用圖表如非自行製作，需加註資料來源；表格標題與內容之文字大小編排，建議依本所出版品規定；參考文獻建	感謝委員建議，相關報告格式將依貴所出版品規定進行調整，另已將報告中提及之前期	依處理情形辦理。

議加列編號，並請增加報告內容提及之前期計畫報告或其他引用之資料來源，例如：臺北港氣象、水理及風速資料及蒲氏風速分級等。	計畫和非自行產製之圖表，加註資料來源。	
本計畫研究成果將可提供臺灣港務股份有限公司等港務單位參考應用，由於港區設施需檢測項目繁多，臺灣港務股份有限公司另已委託本所辦理港灣構造物維護管理系統，並已有應用檢測實務，建議可以訪談或邀請各港務單位維護管理部門參與，俾利後續順利推廣，符合港務單位實際應用；另未來亦請本中心承辦港灣構造物維護管理系統之第一科參與工作會議。	感謝委員建議。	符合。
七、港研中心李俊穎科長		
報告請依本所出版品格式修改。	感謝委員建議，期末報告將依貴所出版品規定進行調整。	依處理情形辦理。
報告內容後續建議將簡報及說明加以補述。	感謝委員建議，已將簡報內容補述於書面報告中。	所提意見及執行內容調整，列入期末報告辦理。
本案要建立不同載具感測技術及多維度資訊整合與應用方案，有關資訊平台請先行規劃，以利資料蒐集。	感謝委員建議，期末報告將放入本年度平台架構與規劃。	所提意見及執行內容調整，列入期末報告辦理。
2.4 節請加入實際作業，如飛行軌跡或受限行高要補做情形，都能補述。	謝謝委員建議，已加入飛行航線以及航高說明，若某些區域因航高受限導致建模不理想，可說明另外施作情形，例如採用傾斜攝影測量進行拍攝，已說明並補充於報告書。	依處理情形辦理。

附錄三、期末審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間基礎資料建構及影像檢監測應用技術發展

合作研究單位：國立臺灣大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
一、余騰鐸委員		
1. 坐標與坐標用法應一致。	感謝委員提醒，已經用法統一改為坐標。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
2. 請說明巡檢對不同標的檢測成功比率。	透過合併成果，在無船與潮位遮擋的測試影像上，碰墊的檢測成功比率有約 85%；車檔的檢測成功比率有 100%；繫船柱的成功比率有 100%。	符合。
3. AI 採用原圖非正射影像，像元對應坐標值如何處理？	原圖照片會透過拍攝地點與 POI 點進行匹配，將最鄰近的照片匯入為該 POI 點的新期圖片，在每個 POI 點的圖片中影像的拍攝涵蓋範圍差不多，透過投影轉換可將兩期的像元與影像坐標對齊。	依處理情形辦理。
4. 航攝影像中的 GPS 定位資訊切出該坐標於正射圖附近的圖像，語意不明。	該處的意思為使用該目標航攝影像中 GPS 定位出的經緯度坐標，並以此坐標為中心點在正射圖切出一個 2000*2000 的小圖來與目標航攝影像做特徵匹配，目的是為了找出兩者間的 Homography。	符合。
5. 不同航高影像對應不同最小繪圖單元，對於道路 PCI 等級的 AI 分類，應探討適宜航高、傾角、日照條件、AI 效能等。	目前模型對航攝影像的需求在於是否能清楚拍出裂縫，因此傾角最好為正對路面，日照條件也以明亮，能看清路面裂縫為主，至於航高則關係到了相片解析度，本研究第一次蒐集樣本採用的航高為 140 公尺左右(海拔高度)，因為解析度問題模型表現不佳，第二次降至	依處理情形辦理。

	60 公尺則模型表現優異，因此保守建議最高就在 60 上下即可，但高度太低也會造成影像範圍過小而缺乏語意信息使特徵匹配不易，因此建議航高為海拔 50~60 公尺左右。	
二、王驥魁委員		
1. 請說明期末簡報 p.10 “實測大小”如何獲得數值？	實測大小，為現場抽樣部分線寬量測。另也依據道路交通標誌標線號誌設置規則如：劃分各線車道，指示車輛駕駛人循車道行駛。本標線為白虛線，線段長四公尺，間距六公尺，線寬一〇公分。以上資訊可獲得實測大小數值。請參閱報告書 P8-2 相關說明。	符合。
2. 請說明期末簡報 p.13 進行各項巡檢時，是否會受太陽角度影響？	從多期影像的結果上來看，太陽角度對辨識的影響主要是陰影的部分，若物件受到陰影遮蔽會降低辨識成功率，但如果物件不受遮蔽，即便是不同的日照時間拍攝的影像也能辨識。	符合。
3. 期末簡報 p.34 各項巡檢的 AI 辨識成效，是否有考量提高漏授率或誤授率？	在進行時，團隊以較低的信心閾值進行偵測(0.3)，由於大部分的巡檢項目都是與安全相關的物件，寧願誤報也不願沒報，因此傾於降低漏受率，而誤受率可接受相對較高一點。	依處理情形辦理。
4. 期末簡報 p.36 請說明航拍影像的定位運算量，是否需高階電腦？	本研究使用的電腦配置為 Intel Xeon E5-2620 CPU, 256 GB DDR4 RAM 和 NVIDIA RTX Quadro 8000 GPU ,48 GB memory，若單純定位不含模型預測，則處理一張影像僅需一秒即可，對電腦需求也不高僅使用 CPU，但若加上模型預測需要六秒左右，需要用到 GPU，且預測時間也與 GPU 等級有關，對硬體需求相對較高。	依處理情形辦理。

5. 期末簡報 p. 44 請說明 AI 辨識伸縮縫的未來應用情境？	因為水泥路面為一塊塊的水泥板組成，若有水泥板產生錯動則會與相鄰的水泥板產生擠壓造成破損，而若兩個水泥板間有錯動則會影響到伸縮縫的角度，因此本研究使用監測伸縮縫的方式來檢查水泥板是否有錯位的情況，提早預防因水泥板擠壓而造成的破損。	依處理情形辦理。
6. 期末簡報 p. 45-47 請說明航拍影像造成的高差位移是否會影響辨識成果？	由於每次航拍的影像是固定的巡檢路線，因此與地面高度是相同的，而胸牆也是固定高度的物件，因此多期間不會有高差位移的變化，辨識上不會影響。	符合。
7. 期末簡報 p. 50 變電箱 AI 偵測是否不受日夜影響？	在夜間變電箱的外部光線環境可能比日間暗淡，但紅外線攝像頭或熱像儀，這些技術不依賴於可見光線，可以在低光環境下工作。因此，這些 AI 系統能夠持續監測變電箱的狀態，無論是在日間還是在夜間。	符合。
8. 報告 p. 2-3 “數字的形式”改為“數值的形式”。	感謝委員提醒，已於報告書內進行文字修正。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
三、江文山委員		
1. 報告內容針對技術方法發展與各項應用包括可見光、紅外線、空氣品質與數值高程等說明詳細，建議考量整合所調查收集得到的資訊，架構一個完整的系統，有助於瞭解與思考計劃的全貌。	感謝委員提醒，已進行架構調整。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
2. 章節的安排建議參考工項順序，目前的內容在第二章就已提到無人機分類的應用，然具體的分類在第三章才說明，	感謝委員提醒，已進行架構調整。	符合。

順序不妥適。		
3. 摘要中主辦單位名稱更新，內容中相關工項都是以未來式表達，請針對已完成的工項具體說明成果。	感謝委員提醒，已於報告書內進行文字修正。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
4. 表 2-1 請加註坐標系統。	感謝委員建議，已於表 2-1 加入各項坐標系統。	符合。
5. 圖 2.2 與圖 2.3 控制點不一致位置。	感謝委員建議，已重新修正圖 2.2 與 2.3。	依處理情形辦理。
6. 圖的物理量請加註單位。	感謝委員提醒，已於報告書內進行文字修正。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
7. 目前的技術主要針對地表以上的資訊收集，未來加入地表下的資訊收集可行性如何？	感謝委員建議，根據工作內容本年度發展之技術以辨識地面標的物為主，有關地表下資訊蒐集部分，未來可再進行討論。	依處理情形辦理。
8. 風速與流速使用內外插運算，以進行評估可操作時間，請考量其必要性。	感謝委員建議，由於受限於觀測資料不足，例如氣象站與流速站在部分關鍵區域可能沒有資料，故僅能以內插方式進行推估。然而其評估之必要性主要是考量，無人載具的安全運作時間，計算成果已加入安全性數考量，故不會出現評估成果超出載具負荷之情形。	符合。
四、鄭志宏委員		
1. 報告內容充實完整具運用價值。	感謝委員肯定。	符合。
2. p2-5 實測誤差在 1~2 公分相當準確。	感謝委員肯定。	符合。
3. p2-15 流速內插成果圖，較不具參考性，建議不放。	感謝委員建議，已將該部分刪除。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
4. 多翼無人機功能較符使	感謝委員建議，將持續測試不	符合。

用。	同種類無人機功能，期待發揮各自所長。	
5. 地面無人載具視角較低，速度較慢運用上較不易，且需考量交通問題，及是否有避障功能。	感謝委員建議，避障功能於報告書第四章內有提及。	依處理情形辦理。
6. 水下 ROV 在 p 3-17 以觀察級較符合需求，但在水下巡檢上，仍多有不便，如海生物無法刮除，海港濁度太高，路線上也有很多限制。	感謝委員提醒。	符合。
7. 採 YOLOV8 後，準確率很高，但也可考慮加上道路異物、違停車輛、船舶排煙、路燈異常、防鼠盾、植栽等檢核。	感謝委員建議，會持續的新增不同的物件，以期望最後能有完整的巡檢系統。	依處理情形辦理。
8. 另可討論通訊及傳輸。	感謝委員建議，有關通訊及傳輸部分，未來可再進行討論。	依處理情形辦理。
9. 臺灣港務股份有限公司另有圖資系統及設施維護管理系統、3D 圖台系統等，相關系統之間的整合，也可分析討論。	後續可視需求評估系統整合之可行性。	符合。
10. 船舶結果之辨識，可否立即通知管理單位。	目前是在無人機完成拍攝後，在取出影像進行分析的方式進行。若有立即性的通報需求，需搭建無人機與本地端電腦的連線橋梁，若可直接將無人機的影像傳回電腦之中進行分析，以Yolov8的辨識速度可以達成即時通報。	符合。
11. 變電箱檢測可否有其他檢測方法，以熱感看不一定看出問題，臺灣港務股份有限公司作法	其他方法如實地使用高精度溫度計進行驗證監測。在前一個年度之臺中港計畫案，已使用現地溫度計驗證熱像儀，實測達可接受之精度範圍。另目前	符合。

是在箱體內裝溫度感測計，因為要持續監測。	主要以無人車搭載熱像儀為最為快速且有效率之方法，因港區面積幅員廣大，若使用人力實地驗證將不符合成本效益。	
12. 未來要注意圖資系統效能，再加上 3D 圖資後，怕會跑不動。	3D 圖資對系統的負擔的確是比較大，未來將視情況進行軟體或硬體之優化	依處理情形辦理。
五、張瑞隆委員		
1. p2-7 表 2-3 無人機 Type1、2、3、4 的定義建議加註在第三章說明。	感謝委員建議，已加入說明。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
2. p3-2 表 3-1 “用途”與“重量”項目放置錯誤。	感謝委員建議，已於報告書內進行文字修正。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
3. p3-4 表 3-3 飛行總距離計算式有誤。	飛行總距離計算方式為折返距離，然而可見 Type2 無人機之飛行總距離大於 Type3, Type4 主要是因為隨著無人機載重越重，飛行的時間不一定成正比。	符合。
4. p3-6 感測器分析中多旋翼機的主流解析度為 2,000 萬畫素，建議適度修正。	感謝委員建議，已於報告書內進行文字修正。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
5. p3-7 表 3-7 SONY A7RII 相機重量應在 1KG 以下。	謝感謝委員建議，已於報告書內進行文字修正。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
六、運技中心蔡立宏主任		
1. 胸牆目前可辨識法線水平變化，未來對於高程變化，可辨識嗎？	欲得知高程資訊需透過多張影像解算 DEM，若以單一航拍影像來判斷的話，除非胸牆的高度變化很劇烈，使它與周圍的胸牆走向有明顯的不連續，不然影像上若無差異是難以辨識的。	依處理情形辦理。
2. 路面破損評估中，目前以裂縫做分級，未來在	目前的技術主要立基於電腦視覺的方法，因此若沉陷與否能	符合。

沉陷評估上，技術是否可行。	從外觀上辨識的話那應當可行，不能的話可能須另求他法。	
3. 為推廣本計畫成果，未來可規劃至臺灣港務股份有限公司推廣。	謝感謝委員建議。	符合。
七、運技中心李俊穎科長		
1. 建議圖 2.23 臺北港全年流速內插圖，可不放或調整，因該圖非本案必要之項目，未考量結構物及港內觀測及淡水河，與實際不同。	感謝委員建議，已將該部分刪除。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
2. 部分格式及文字請調整：(1)目錄及參考文獻格式、(2) 1.3 節工作項目建議改成實際工作成果、(3) 內文中的“台”請改成“臺”，9.1 節(3)“本章”文字請刪除。	感謝委員建議，已於報告書內進行文字修正。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。
3. 5.2.4 節碰墊辨識較低，似乎在階梯旁的碰墊較不易辨識出，或許後續可加強此類似案例加標註及訓練。	感謝委員建議，階梯旁、船隻旁以及被海線半遮擋的碰墊皆是較不易辨識出的案例，後續會持續增加這方面的樣本來使模型預測更完善。	依處理情形辦理。
4. 建議後續考量如何與港灣結構物維護管理系統聯結。	後續可視需求評估系統整合之可行性。	依處理情形辦理。
5. 建議變電箱溫度辨識可補述溫度如何擷取方式。	謝謝建議，已補充於 P6-5。	所提意見及執行內容調整，列入修正定稿辦理。

附錄四、期末審查簡報資料



交通部運輸研究所運輸技術研究中心

港區影像智慧辨識技術之研究(1/3)-空間 基礎資料建構及影像 檢監測應用技術發展

11/15期末審查

計畫主持人 韓仁毓 教授
協同主持人 林之謙 教授
協同主持人 吳日騰 教授
協同主持人 黃春嘉 博士後研究員



國立臺灣大學
National Taiwan University

簡報大綱

- 計畫目的及效益
- 研究方法及流程
- 期末進度說明
 - 高細緻空間基礎資料建構
 - 無人載具性能以及感測器硬體系統分析
 - 港區氣象環境分析
 - 港區AI自動化物件辨識(台中港、台北港)
 - 地面無人載具測試
 - 平台現況
 - 教育訓練
 - 成果彙整及後續工作

計畫目的及效益

(一)計畫目的

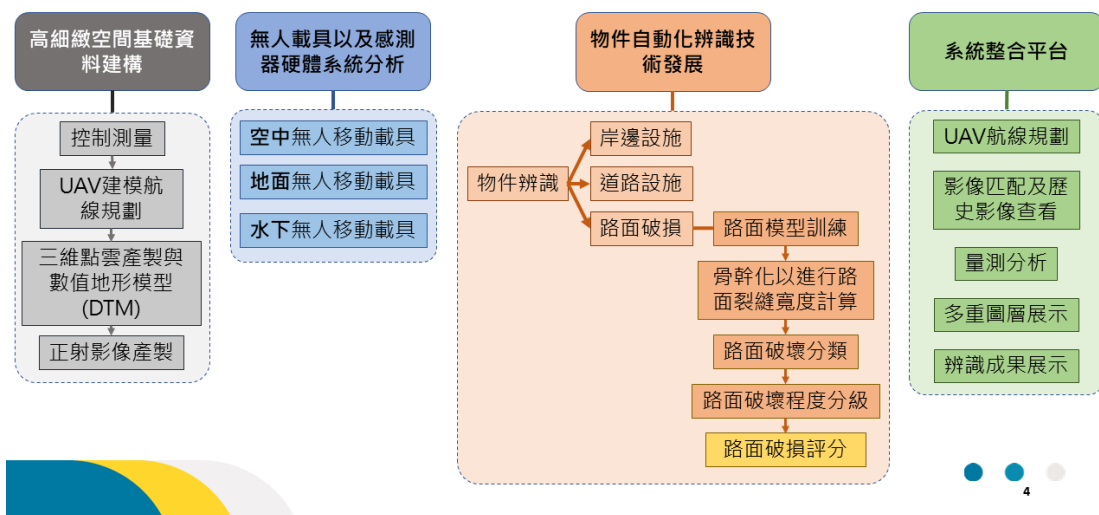
建立一套結合機器學習技術與無人機影像的港區空間資訊整合應用方案，能有效利用定期且自動化獲取港區之大量空拍影像，藉以促進港區精準的智慧化空間資訊管理應用。

(二)預期效益

1. 可應用於港區的定期巡檢任務，並可針對特定任務與目標進行自動化的追蹤與判斷，降低人力負擔並提升任務執行品質。
2. 透過空間資訊的整合，可有效發揮各式資訊之特色，建構港區更為完整的空間資訊智慧管理基礎。



研究方法及流程



高細緻空間基礎資料蒐集分析

控制點佈設規劃

- 台北港已提供既有控制點(左圖)，包含一等水準點、主控制點、監測點(採用導線與水準測量)。
- 採用台北港既有控制點**TP188, TP189, TP276, TP304, TP324, TP358, TP422, TP574, TPS001**為後續無人機影像解算依據(右圖藍點)。
- 本計畫**自行布設控制點**(右圖紫色點)，採用GNSS高精度靜態測量，用於提升影像建模精度。



台北港提供既有控制點



團隊設立控制點

控制測量-現地GNSS靜態測量



控制測量-測量成果

點號	橫坐標 (m)	縱坐標 (m)	橢球高 (m)	正高 (m)	平面精度(m)	高程精度(m)
TP1	288782.698	2784595.513	24.209	4.683	0.002	0.017
TP2	289150.300	2784301.294	26.482	6.937	0.003	0.015
TP3	287996.740	2783642.972	23.341	3.827	0.006	0.014
TP4	286955.083	2782068.466	23.047	3.547	0.004	0.009
TP5	287767.615	2781739.004	22.323	2.784	0.005	0.010
TP6	287204.442	2781450.325	21.991	2.472	0.007	0.013
RMSE(m)					0.005	0.013

控制點成果已納入管理系統之圖層

平面精度達0.5公分・高程精度達1.3公分

111年臺北港控制點測量成果表

點號	點名	經度	緯度	橢球高	正高	平面精度	高程精度	備註
TP01	臺北港控制點	121.871000	25.131000	24.209	4.683	0.002	0.017	GNSS靜態測量
TP02	臺北港控制點	121.871000	25.131000	26.482	6.937	0.003	0.015	GNSS靜態測量
TP03	臺北港控制點	121.871000	25.131000	23.341	3.827	0.006	0.014	GNSS靜態測量
TP04	臺北港控制點	121.871000	25.131000	23.047	3.547	0.004	0.009	GNSS靜態測量
TP05	臺北港控制點	121.871000	25.131000	22.323	2.784	0.005	0.010	GNSS靜態測量
TP06	臺北港控制點	121.871000	25.131000	21.991	2.472	0.007	0.013	GNSS靜態測量
RMSE						0.005	0.013	

正射底圖拍攝---無人機航線

拍攝日期:5/3~5/7

- 因廠房、碼頭天車、部分設施過高(80m~100m)，超過預計60m規劃航。
- 綠區之部分區域拉至100~120m進行拍攝;黃區部分維持60m，並以側拍拍攝。



台北港全區飛行航線



- 前後重疊率:80%
- 左右重疊率:60%
- 航高120/60m
- 總計30次起降任務
- 總共7949張影像

影像解析度為: 2.38公分

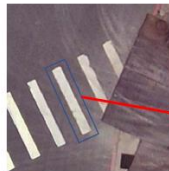


9

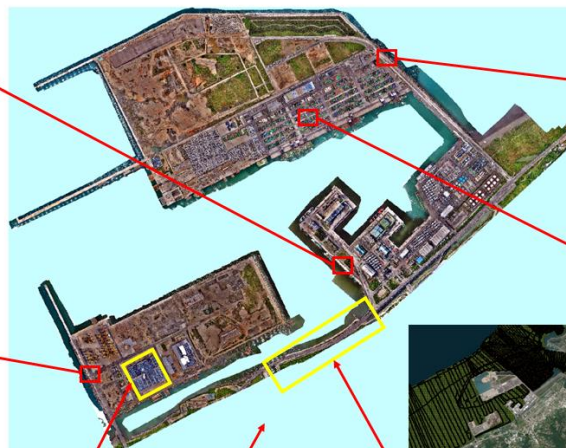
台北港正射底圖產製



單黃線寬
實際尺寸:0.1m
量測尺寸:0.110m



斑馬線寬
實際尺寸:0.4m
量測尺寸:0.387m



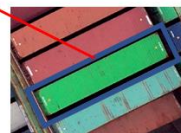
破洞修補

填入底色

補上缺漏道路



雙白線單線寬
實際尺寸:0.1m
量測尺寸:0.120m



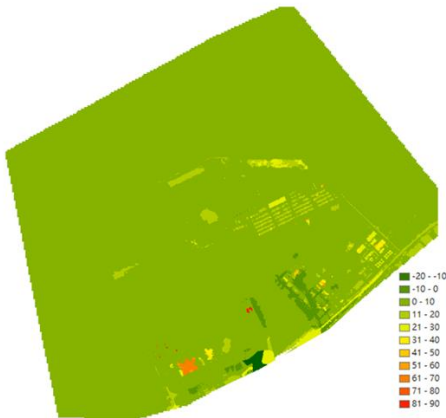
貨櫃寬
實際尺寸:2.438m
量測尺寸:2.420m



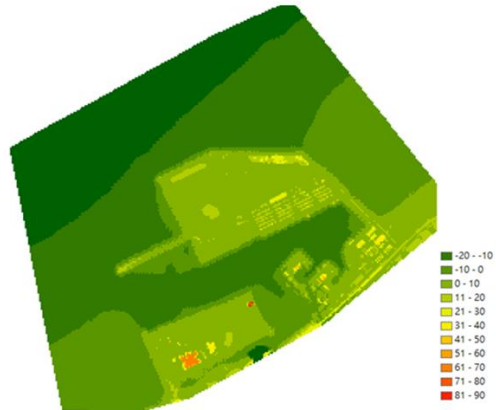
10

台北港數值地形圖產製

- 海域使用台北港水下高程點(軌跡高程+Grid高程資料)。
- 產出的DSM為結合陸域與海域高程(TWVD2001)。



臺北港陸域合併平均潮位高之數值地形圖



臺北港陸域水下地形之數值地形圖

各項巡檢設施-無人機航線設置說明

• 道路巡檢

航高: 20m
地面解析度: 0.3cm
拍攝時間間隔: 2秒/張
拍攝角度: 90度



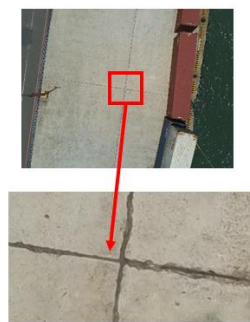
• 岸邊設施巡檢

航高: 40m
離岸距離: 40m
拍攝時間間隔: 2秒/張
拍攝角度: 45度



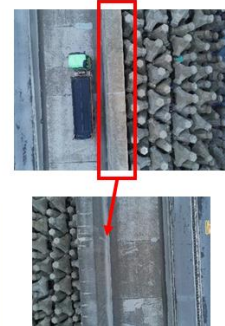
• 碼頭伸縮縫巡檢

航高: 20m
地面解析度: 0.3cm
拍攝時間間隔: 2秒/張
拍攝角度: 90度



• 胸牆巡檢

航高: 20m
地面解析度: 0.3cm
拍攝時間間隔: 2秒/張
拍攝角度: 90度



各項巡檢設施-位置圖及航線範圍



13

無人載具性能以及感測器硬體系統分析

...

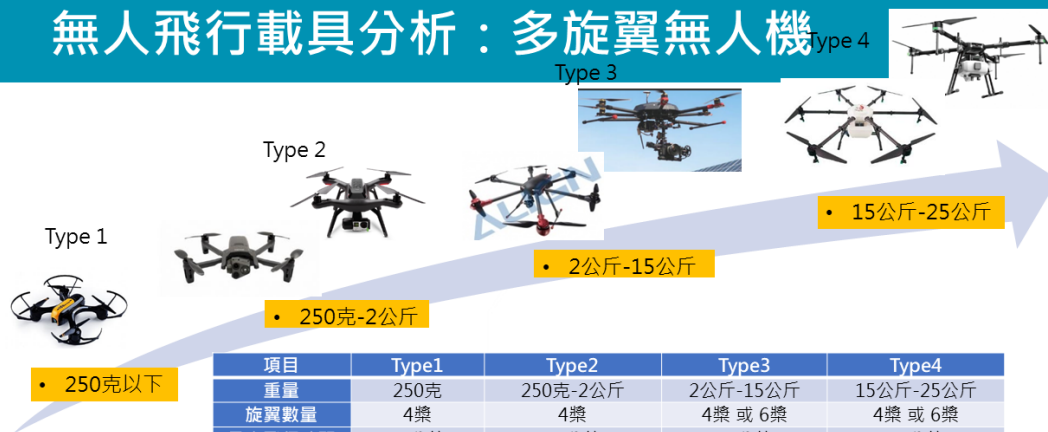
無人飛行載具等級分類說明

多旋翼無人機	定翼無人機	重量	自然人	法人
Type1	-	未達2kg(250g以下)	免註冊、免操作證	註冊、 專業高級操作證Ia
Type2	Type1	未達2kg(250g-2kg)	註冊、免操作證	
Type3	Type2	2kg-15kg	註冊、普通操作證	
Type4	Type3	15kg-25kg	註冊、專業基本級操作證I	註冊、 專業高級操作證Ib
-	Type4	25kg-150kg	註冊、專業基本級操作證II	註冊、 專業高級操作證IIc

民航局無人機重量與證照分級規範標準

15

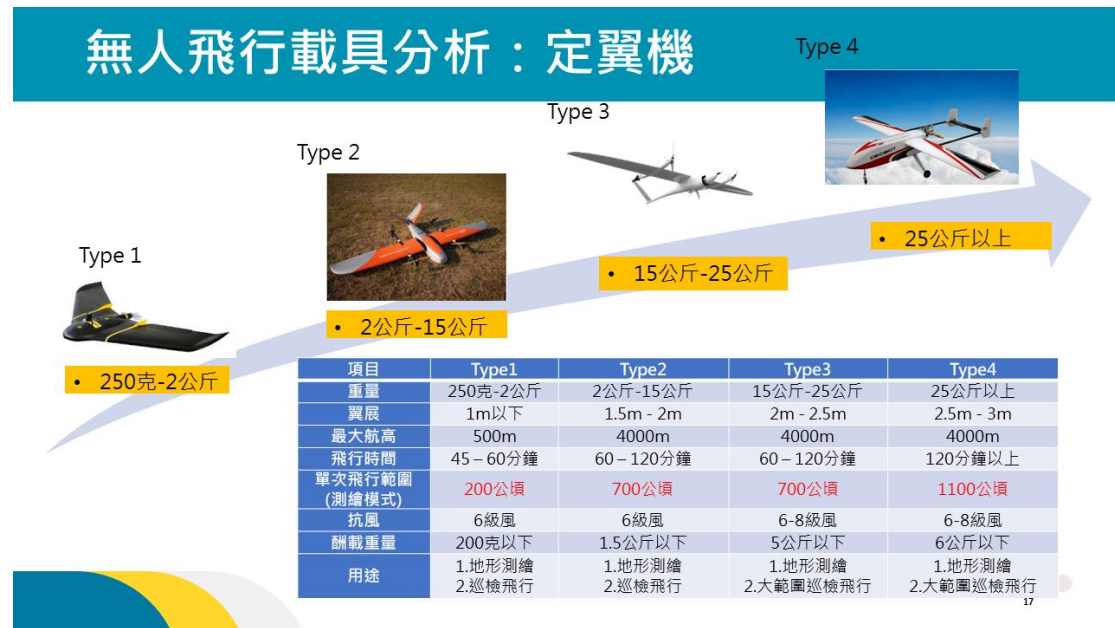
無人飛行載具分析：多旋翼無人機



項目	Type1	Type2	Type3	Type4
重量	250克	250克-2公斤	2公斤-15公斤	15公斤-25公斤
旋翼數量	4槳	4槳	4槳 或 6槳	4槳 或 6槳
最大飛行時間	15分鐘	25分鐘	20分鐘	20分鐘
總飛行距離	2750m	4850m	3800m	3800m
抗風	4級風	6級風	4-6級風	4-6級風
酬載重量	無法	200克以下	2公斤以下	10公斤以下
用途	室外小範圍 定點拍攝	1.地形測繪 2.巡檢飛行	1.地形測繪 2.巡檢飛行	農噴或特殊用途

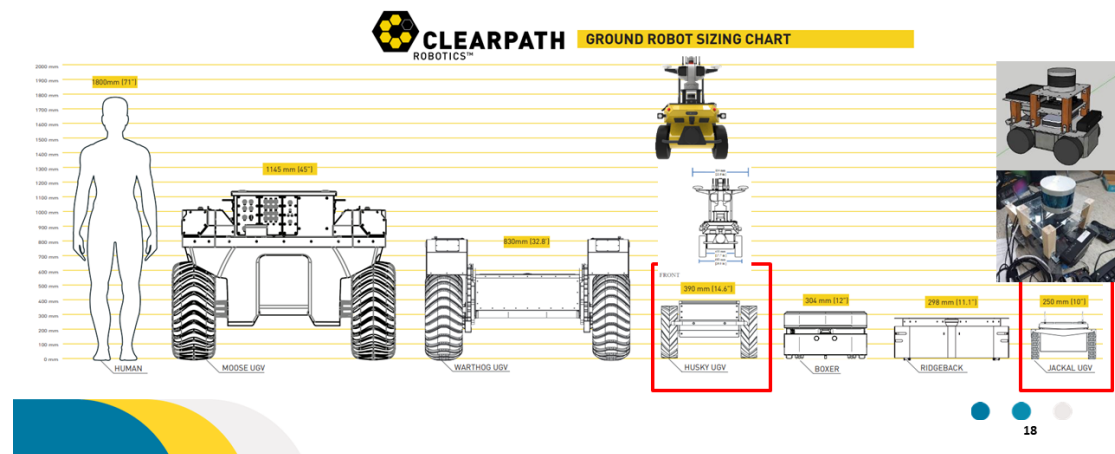
16

無人飛行載具分析：定翼機



地面無人載具分析

- Clearpath Robotics



地面無人載具分析

UGV Base	Robomaster S1	Clearpath Jackal
		
外部尺寸 (長 x 寬 x 高)	320 x 240 x 270 mm (12.6 x 9.4 x 10.6 in)	508 x 430 x 250 mm (20 x 17 x 10 in)
重量	3.5 kg (7.6 lbs)	17 kg (37 lbs)
酬載重量	10 kg (22 lbs)	20 kg (44 lbs)
最大速度	2.5 m/s (5.5 mph)	2.0 m/s (4.5 mph)
離地高度	30 mm (1.2 in)	65 mm (2.5 in)
操作環境溫度	-10 to +40° C	-20 to +45° C
電池容量	2400mAh	9800mAh
操作時間	0.5 to 1.5 hours	2.0 to 8.0 hours
連接	Wifi, Router	Wifi, Router

19

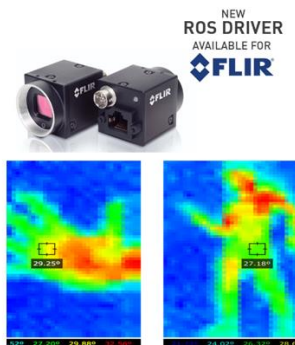
地面無人載具測器分析

氣體偵測器

感測器				
品牌	BSIDE EGD01 Handheld Gas Leak Detector Analyzer	Klein Tools ET120 Gas Leak Detector	Nevada Nano Methane Gas Detector	The Grove - Gas Sensor (MQ3) module
用途	偵測易燃物(天然氣、酒精、甲烷、硫化物、石油醚、稀釋劑、煙霧)	偵測可燃氣體外洩 50-10,000 ppm	偵測甲烷易燃物外洩，使得在溫度-40°C到75°C及相對濕度0%到99%下	偵測可燃氣體外洩(瓦斯、酒精、苯、甲烷、己烷、液化石油氣和一氧化碳)

選定作為測試

紅外線熱像儀



20

氣體感測器---偵測標的

Gas	Formula	Class	Detection Range [%LEL]	% Volume of gas at 100 %LEL (ISO 10156)	MPS Accuracy 0 to 50 %LEL (ISO 10156)	% Volume of gas at 100 %LEL (IEC60079-20-1)	MPS Accuracy 0 to 50 %LEL (IEC60079-20-1)
butane	C ₄ H ₁₀	4	0-100	1.8 %VOL	±5 %LEL	1.4 %VOL	±5 %LEL
ethane	C ₂ H ₆	4	0-100	3.0 %VOL	±5 %LEL	2.4 %VOL	±5 %LEL
hydrogen	H ₂	1	0-100	4.0 %VOL	±5 %LEL	4.0 %VOL	±7 %LEL
isobutane	HC(CH ₃) ₃	4	0-100	1.8 %VOL	±5 %LEL	1.3 %VOL	±9 %LEL
isobutylene	C ₄ H ₈	4	0-100	1.8 %VOL	±5 %LEL	1.8 %VOL	±5 %LEL
isopropanol	C ₃ H ₈ O	4	0-100	2.0 %VOL	±10 %LEL	2.0 %VOL	±20 %LEL
methane	CH ₄	3	0-100	5.0 %VOL	±3 %LEL	4.4 %VOL	±3 %LEL
MEK	C ₄ H ₈ O	5	0-100	1.4 %VOL	±5 %LEL	1.5 %VOL	±16 %LEL
pentane	C ₅ H ₁₂	5	0-100	1.5 %VOL	±5 %LEL	1.1 %VOL	±6 %LEL
propane	C ₃ H ₈	4	0-100	2.1 %VOL	±5 %LEL	1.7 %VOL	±6 %LEL
propylene	C ₃ H ₆	4	0-100	2.4 %VOL	±5 %LEL	2.0 %VOL	±5 %LEL
acetone	C ₃ H ₆ O	5	0-100	2.5 %VOL	+20 %LEL	2.5 %VOL	+24 %LEL
ethylene	C ₂ H ₄	4	0-100	2.7 %VOL	-11 %LEL	2.3 %VOL	-11 %LEL
heptane	C ₇ H ₁₆	5	0-100	1.1 %VOL	±12 %LEL	0.85 %VOL	±15 %LEL
hexane	C ₆ H ₁₄	5	0-100	1.1 %VOL	-20 %LEL	1.0 %VOL	-17 %LEL
octane	C ₈ H ₁₈	6	0-100	1.0 %VOL	±12 %LEL	0.8 %VOL	±15 %LEL
styrene	C ₈ H ₈	6	0-100	1.1 %VOL	-20 %LEL	1.0 %VOL	-17 %LEL
toluene	C ₇ H ₈	6	0-100	1.2 %VOL	±12 %LEL	1.0 %VOL	±13 %LEL
xylene	C ₈ H ₁₀	6	0-100	1.1 %VOL	±12 %LEL	1.0 %VOL	±13 %LEL

Notes:
 1) Accuracy guaranteed for methane across full environmental range.
 2) Other gases will typically meet published tolerances across the full environmental range, but guaranteed only near standard conditions: 20°C, 50%RH.
 3) Accuracy (+) %LEL corresponds to a higher-than-delivered reading and Accuracy (-) %LEL corresponds to a lower-than-delivered reading.
 4) The MPS is also confirmed to detect other gases including ammonia, acetylene, ethanol, and methanol. Contact info@measosensors.com for more information.
 5) Refer to Gas Classification section on page 2.

台塑16類:

- 油品 (92號、95號、98號)
Petroleum (may also include methane, ethane, butane, hexane, propane)
- 無鉛汽油 Unleaded gasoline

友亦12類:

- 二甲苯 xylene
- 冰醋酸 glacial acetic acid

淳品19類:

- 甲苯 toluene
- 二甲苯 xylene
- 汽油類 gasoline
- 氯乙烯 vinyl chloride



21

港區氣象環境分析

風速分析



風速資料處理

- 使用5氣象站資料。
- 以風速時序資料計算逐日資料。
- 使用Feedforward Neural Network進行風速插值預估，並進行分區。



風速時序資料計算

時間 序列	2018 風速	2019 風速	2020 風速	2021 風速	2022 風速
T_i	A	B	C	D	E

- 時間序列統一以天(日期)為單位
- 取該時間序 T_i 的風速平均值
- 取該時間序 T_i 的最大風速值
- 取該時間序 T_i 的最小風速值

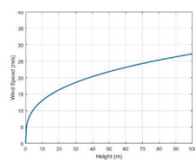
23

風速時序資料處理---垂直風速計算(Power Law)

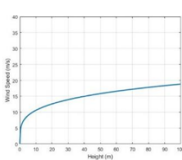
$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^\alpha$$

假設測站高度0公尺時風速為5m/s，高度每0.5公尺計算一筆風速至高度100公尺。

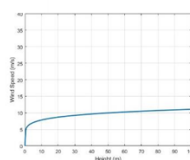
- V_1 ：在已知高度 H_1 的風速
- V_2 ：待計算的風速，在另一個高度 H_2 的風速
- H_1 ：已知風速 V_1 的高度
- H_2 ：待計算風速的高度
- α ：風剪切指數，它描述了風速如何隨著高度的改變而變化



風剪切指數=0.15



風剪切指數=0.25



風剪切指數=0.32

地況種類	地況特性	α 值
地況 A	大城市市中心區，至少有 50% 之建築物高度大於 20 公尺者。	0.32
地況 B	大城市市郊、小市鎮或有許多像民舍高度 (10 ~ 20 公尺)，或較民舍為高之障礙物分布其間之地區者。	0.25
地況 C	平坦開闊之地面或草原或海岸或湖岸地區，其零星座落之障礙物高度小於 10 公尺者。	0.15

地況特性-風剪切指數

地況C

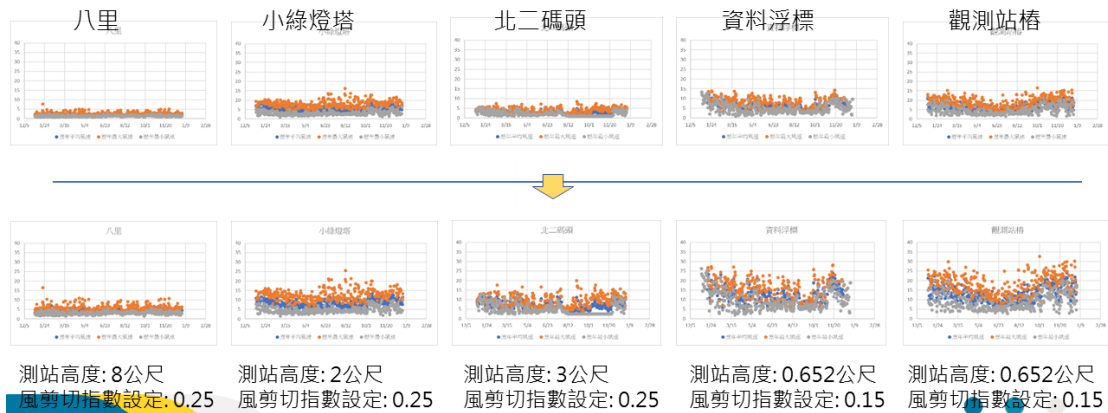
地況B

地況A

24

風速時序資料處理

將風速根據測站高度進行調整



風速插值預估成果

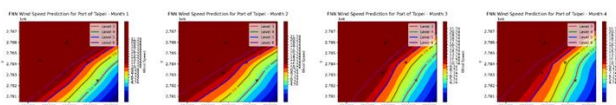
- 蒲氏風力級數與無人機最大抗風條件表

風級	名稱	平均風速 (公尺/秒)	建議安全係數	無人機最大抗風
0	無風	0-0.2		-
1	軟風	0.3-1.5		-
2	輕風	1.6-3.3		-
3	微風	3.4-5.4	$\times 0.7$	多旋翼無人機 Type1
4	和風	5.5-7.9	$\times 0.7$	多旋翼無人機 Type2,3,4
5	清風	8.0-10.7	$\times 0.5$	定翼無人機 Type1,2
6	強風	10.8-13.8	$\times 0.5$	定翼無人機 Type2,3
7	疾風	13.9-17.1		-
8	大風	17.2-20.7		-
9	烈風	20.8-24.4		-
10	狂風	24.5-28.4		-

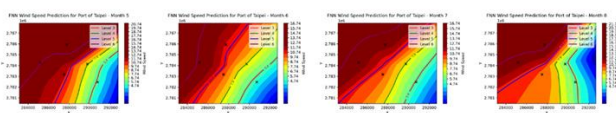
風速插值預估成果



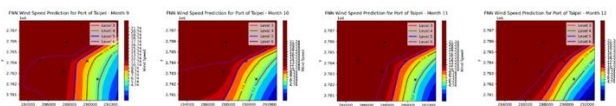
1~4月



5~8月

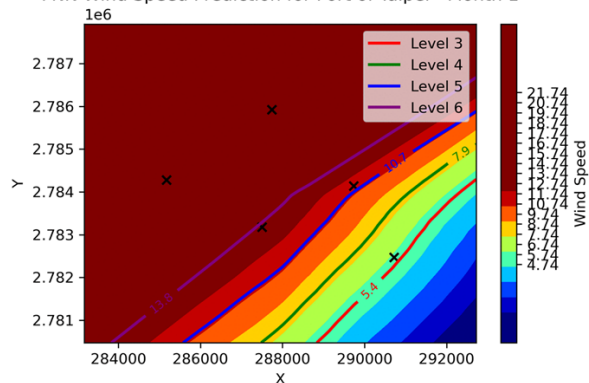


9~12月



風速插值預估成果(一年)

FNN Wind Speed Prediction for Port of Taipei - Month 1



Level 3	多旋翼無人機type1
Level 4	多旋翼無人機type2,3,4
Level 5	定翼無人機type1,2
Level 6	定翼無人機type2,3

港區AI自動化物件辨識

台中港舊有物件

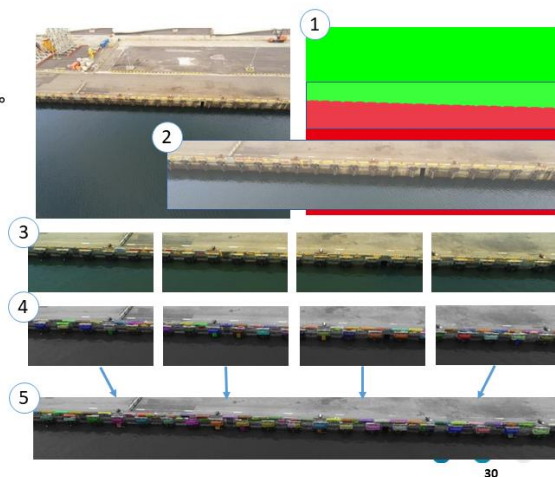


岸邊設施辨識 – 台中港辨識方法

• 台中港辨識步驟

1. 原圖進行語義分割。
2. 裁取海陸交界處影像進行後續。
3. 影像切分成小圖。
4. 小圖進行實例分割辨識。
5. 結果合併回原圖進行統合。

- 為了解決Mask R-CNN在小物件辨識上表現較差的問題。
- 透過找出影像關鍵區域並分成小圖進行來增加物件於影像中的大小比例。

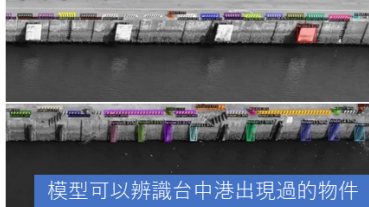


岸邊設施辨識 – 台北港

使用原有台中港模型

語意分割(FPN)+實例分割(Mask R-CNN)

套用台中港的模型與步驟於台北港

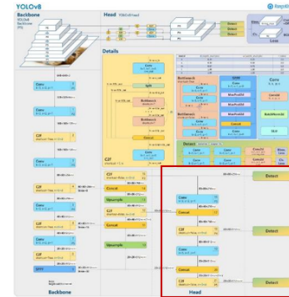


1. 兩步驟的辨識方法產生中繼資料，需要較高的記憶體需求。
2. 兩步驟的方法在更新與維護上較不容易。
3. Mask R-CNN是2017年的模型。

新訓練台北港模型

物件偵測(Yolov8) - 實例分割(Yolov8)

Yolov8為2023年1月發表的最新版本Yolo模型，能進行物件偵測與實例分割。



Yolov8模型結構圖
(from <https://github.com/ultralytics/ultralytics/issues/189>)

Yolov8會進行三種不同視野域的特徵偵測並統合結果，有助於小物件的偵測。

1. 無需進行裁切影像的一步驟。
2. 端到端的模型維護較簡單。

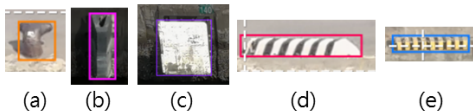
31

岸邊設施辨識 – 台北港模型

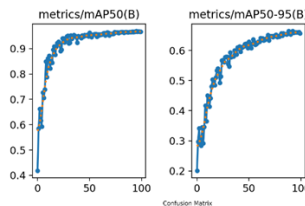
• 台北港模型訓練

模型訓練：2023/5/6搜集之影像

1. 147張UAV巡檢影像
2. 縮小尺寸 (8k - 640 * 640)
3. 7:2:1切分為訓練、驗證與測試影像
4. 對訓練影像以亮度與模糊進行影像擴增至3倍，共339張。
5. 最後資料集為：339、32、17張訓練、驗證與測試影像。



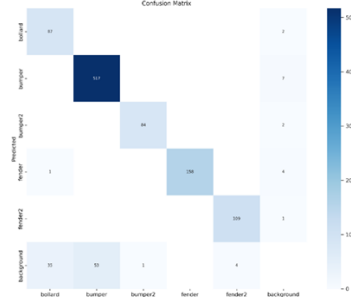
台北港模型標註之類別。
繫船柱(a) 碰墊1(b) 碰墊2(c) 車擋1(d) 車擋(e)



訓練結果

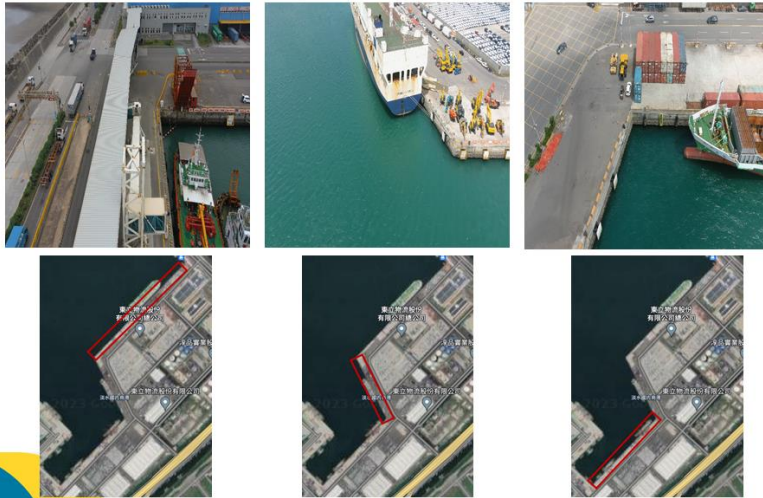
模型表現很不錯。

- mAP@50約有0.9
- mAP@50-95有0.6



32

岸邊設施辨識－台北港辨識結果



岸邊設施辨識－五張巡檢影像結果合一

- 以離POI最近的那張為基準(MAX_0973)，透過單應性變化將其他張的結果合併於其中。

MAX_0973
單獨的偵測結果



最近的五張影像
偵測結果合併

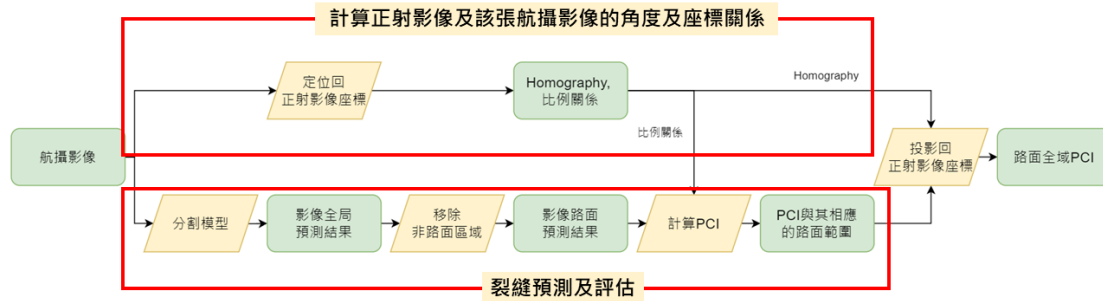


車擋
繫船柱
碰墊

: 多偵測到5個(0.74 → 1)
: 多偵測到6個(0.33 → 1)
: 多偵測到9個(0.53 → 0.85)



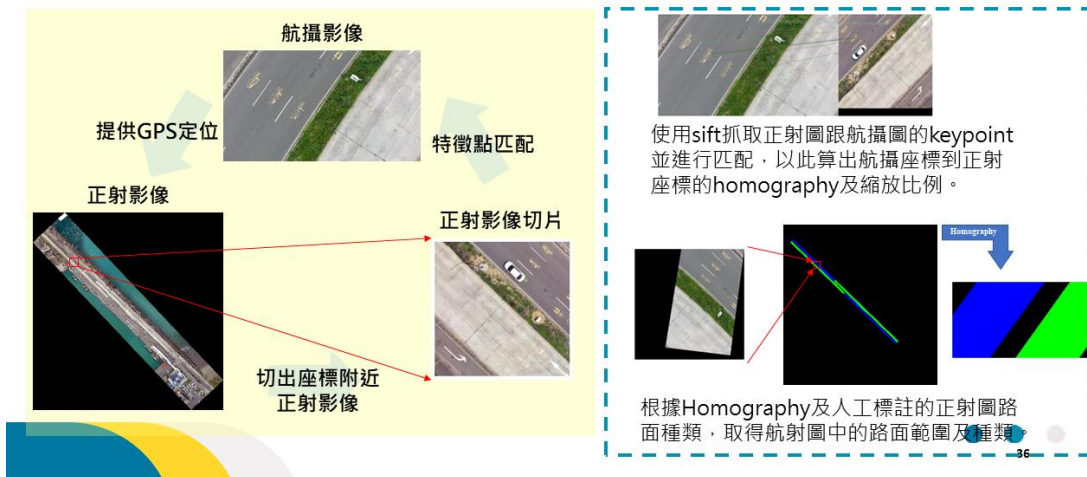
路面裂縫---辨識流程



35

路面裂縫---定位方法

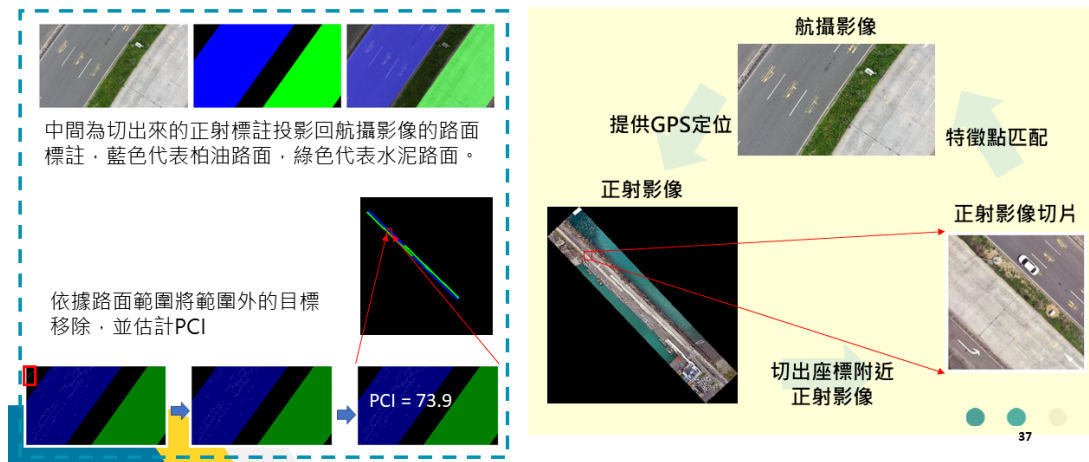
- 根據航攝影像中的gps定位資訊切出該座標於正射圖附近的圖像，以利後續的特徵點匹配。



36

路面裂縫---定位方法

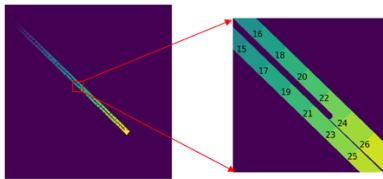
- 根據航攝影像中的gps定位資訊切出該座標於正射圖附近的圖像，以利後續的特徵點匹配。



路面裂縫---PCI評分方法

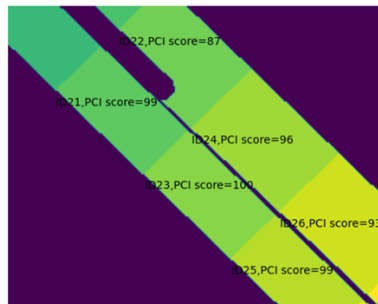
路段編號方法

將範圍內路面不分鋪面材質每20公尺標一段，共分為82段，以利後續監測路面狀況



檢測範圍設定

模型能依據該期UAV影像所涵蓋到的範圍進行PCI估算，且不重複計算到影像重疊範圍



PCI等級對照表

暫以去年度台中港對照表為標準

PCI值	等級(rating)
85~100	最佳(excellent)
70~85	很好(very good)
55~70	好(good)
40~55	尚可(fair)
25~40	差(poor)
10~25	很差(very poor)
0~10	不合格(failed)

路面破損評估(PCI)--- 流程圖

基於市區道路管理維護與技術規範手冊研究【**柔性鋪面損壞調查手冊**】

13種類別(龜裂、縱向及橫向裂縫、塊狀裂縫、坑洞及人孔、車轍、補綻及管線回填、推擠、隆起與凹陷、冒油、波浪狀鋪面、車道與路肩分離、滑溜裂縫、骨材剝落)中僅取**龜裂**、**坑洞及人孔**兩項評估
嚴重程度分為**輕級**、**中級**及**重級**

根據先前裂縫寬度分別設定1.8、3公分作為門檻標準

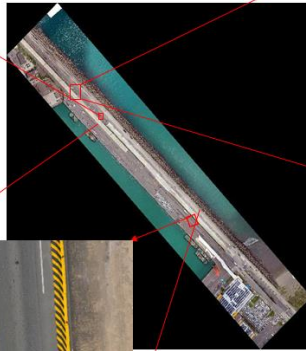
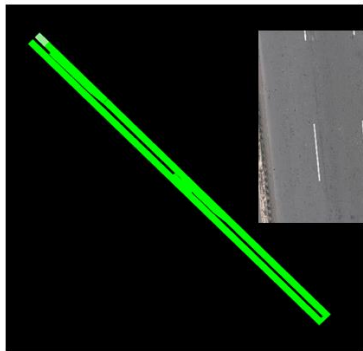


裂縫分級定義

輕級		裂縫型態呈細小毛髮狀，且裂縫沒有破裂現象，裂縫可填補但不可有滲水情況，不會導致車輛有明顯跳動現象。 平均寬度須小於 1.8 公分以下
中級		裂縫有輕微破裂現象，且裂縫周圍或相交處有其他細小、不規則裂縫出現。有填補之裂縫會有滲水情況，導致車輛有較明顯跳動現象。 平均寬度須介於 1.8公分至 3 公分
重級		裂縫有嚴重破裂現象，且裂縫周圍或相交處有其他中級至重級嚴重程度之不規則裂縫出現。已填補之裂縫有滲水情況，導致車輛有較劇烈跳動現象。 平均寬度會大於 3 公分

路面裂縫---PCI評分結果

- 依據PCI等級對照表現在僅有編號20路段路況為很好，其他都為最佳。



41

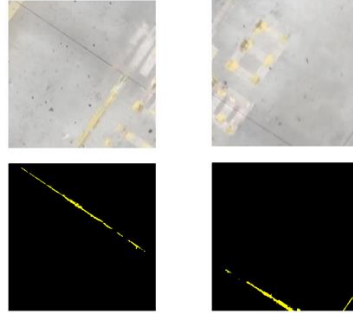
港區AI自動化物件 辨識

台北港新增物件



伸縮縫辨識

- 670張資料: Train:469, Validation:134, Test:67
- Architecture: UNet++
- Pretrain encoder: EfficientNet-B6 (imagenet)
- Loss function: Cross Entropy + Lovász-Softmax
- Optimizer: Adam
- Max epoch: 80
- Batch size: 3



伸縮縫辨識結果



可分辨道路裂縫及伸縮縫

胸牆歪斜邊緣偵測

1. 找出胸牆區域的Segmentation。

1. 語意分割模型: FPN
2. 資料集: 130(訓練) / 33(驗證)
3. 100個epoch的訓練後：
 - Training IoU score: 0.803
 - Validation IoU score: 0.993



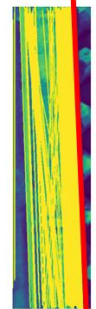
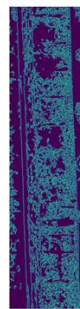
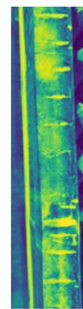
目標為分割出胸牆範圍



胸牆歪斜邊緣偵測

1. 以最大相連區域篩選出胸牆區域。
2. 選擇YUV中的Y（明暗）通道進行坎尼邊緣檢測(Canny Edge detect)
3. 以霍夫直線轉換找出區域中的直線
4. 直線的平均斜率代表胸牆的走向，以此判斷胸牆是否歪斜。

找出邊緣線後計算斜率



胸牆區域

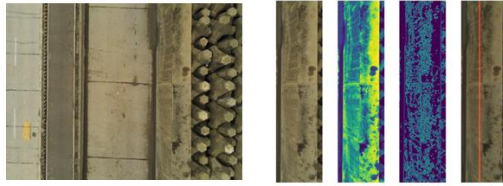
YUV中的Y

Canny

Hough Line

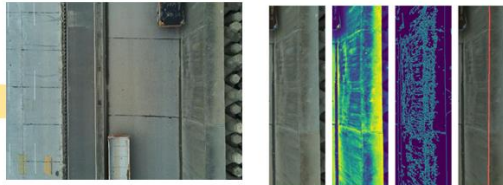
胸牆歪斜不同期比對

9月邊緣偵測結果



斜率=0.127

10月邊緣偵測結果



斜率=0.132

變電箱辨識---位置及辨識流程

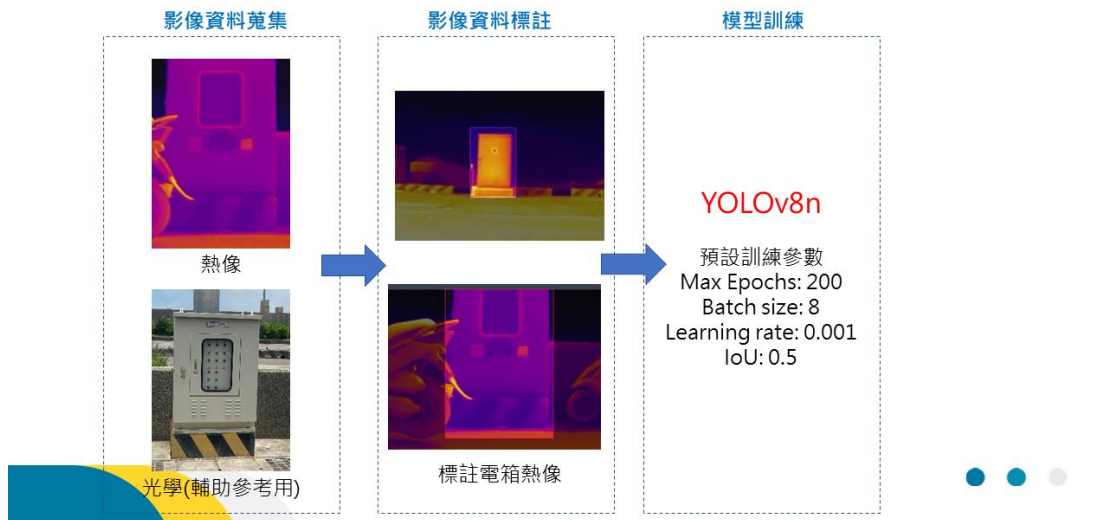


變電箱位置圖



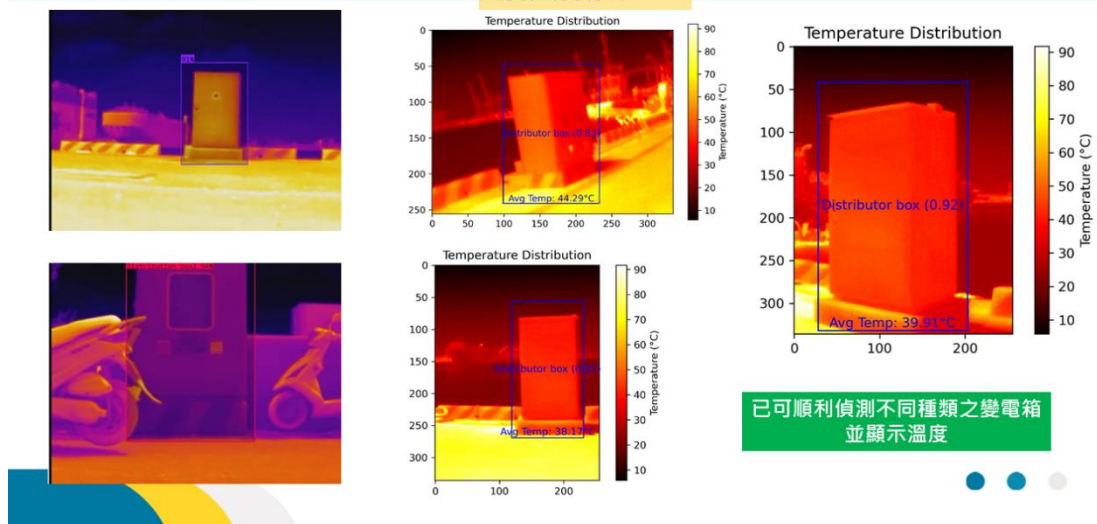
變電箱現地照片

變電箱偵測規劃流程



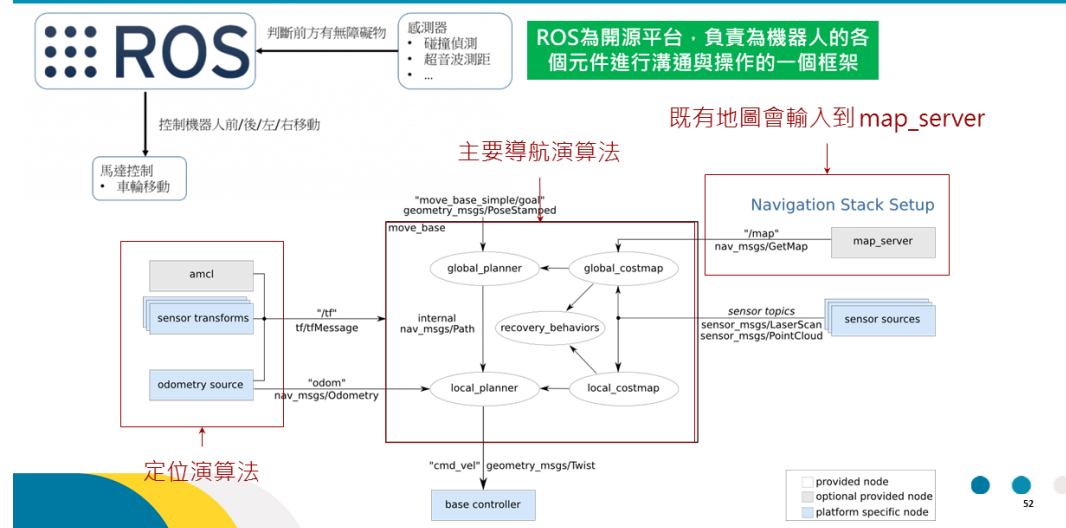
變電箱偵測成果

mAP:99.5%
Precision:98.8%
Recall:99.5%



地面無人載具測試

地面無人載具操控平台



地圖資料收集&導航－標準導航設置



成本地圖 (Costmap)

使用佔用格 (Occupancy Grid) 表示環境的方式

- 每個格子分配一個成本值，該值反映了UGV通過該格子的難度有多大。

- 每個格子分配一個成本值，該值反映了UGV通過該格子的難度有多大。

- 成本縮放因子 (Cost Scaling Factor) :

成本值根據到最近障礙物的距離，並使用成本縮放因子進行調整，以調節成本地圖對障礙物的敏感度。成本縮放因子可以調整成本值的範圍和敏感度，影響著路徑規劃的結果。

- 膨脹半徑 (Inflation Radius) :

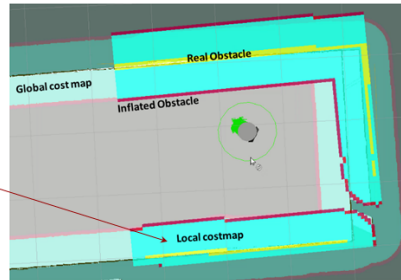
為了確保UGV避開障礙物並遵循安全路徑，成本地圖通常會在障礙物周圍進行膨脹，膨脹半徑增加了靠近障礙物的格子的成本值，創建了一個安全緩衝區域。通過調整膨脹半徑，可以影響UGV在規劃路徑時的安全距離和避障策略。

0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	Occupied (obstacle) Occupied (inflated area) Unknown Free
0.4	0.8	0.8	0.8	0.4	
0.4	0.8	0.9	0.8	0.4	
0.4	0.8	0.8	0.8	0.4	
0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	
0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	

成本地圖 (Costmap)

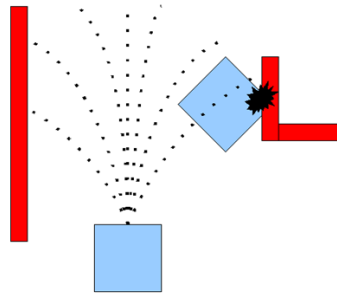
- 成本地圖分為兩個部分：
 - **全域 (Global) 成本地圖**：代表UGV在全域層面上的環境，會提供UGV周圍環境的高層視圖。
 - **局部 (Local) 成本地圖**：代表UGV在局部層面上的環境，會提供UGV周圍環境的詳細視圖。通常情況下，局部成本地圖的大小已經確定。

Local Costmap
大小 3x3m



路徑規劃演算法

- 本次研究的路徑規劃會使用Dynamic Window Approach演算法 (DWA Planner)
- DWA Planner會考慮周圍的障礙物和UGV的運動學參數，生成一條安全的路徑。
- 該算法考慮了每個格子的值 (由本地成本地圖提供) 和機器人允許的線性和角速度，以計算最小成本的路徑。

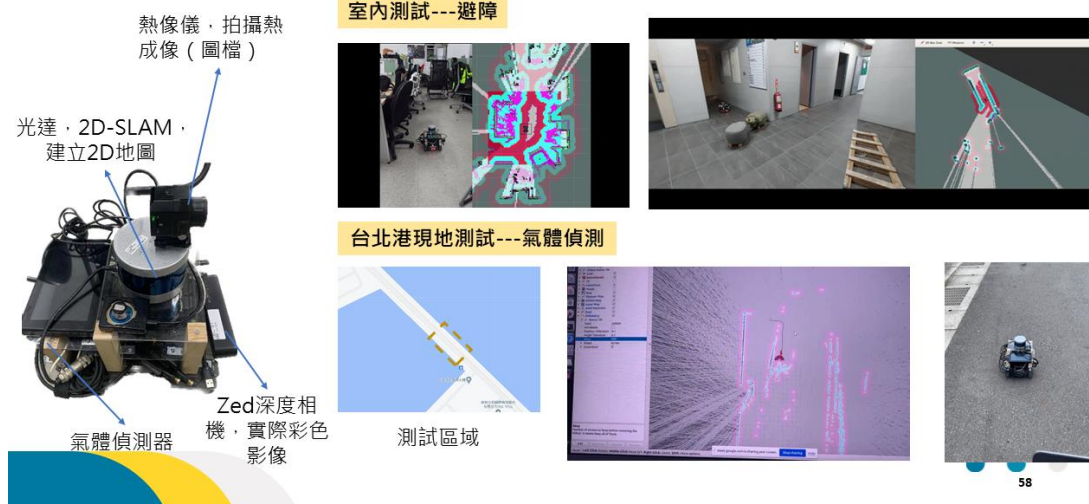


地面無人載具測試場域



57

無人車測試DEMO



58

氣體感測器

LEL (Lower Explosive Limit) (氣體爆炸下限)

Gas	Formula	Class	Detection Range [%LEL]	% Volume of gas at 100 %LEL (ISO 10156)	MPS Accuracy 0 to 50 %LEL (ISO 10156)
butane	C ₄ H ₁₀	4	0-100	1.8 %VOL	±5 %LEL
ethane	C ₂ H ₆	4	0-100	3.0 %VOL	±5 %LEL
hydrogen	H ₂	1	0-100	4.0 %VOL	±5 %LEL
isobutane	HC(CH ₃) ₃	4	0-100	1.8 %VOL	±5 %LEL
isobutylene	C ₄ H ₈	4	0-100	1.8 %VOL	±5 %LEL
isopropanol	C ₃ H ₈ O	4	0-100	2.0 %VOL	±10 %LEL
methane	CH ₄	3	0-100	5.0 %VOL	±3 %LEL
MEK	C ₄ H ₈ O	5	0-100	1.4 %VOL	±5 %LEL
pentane	C ₅ H ₁₂	5	0-100	1.5 %VOL	±5 %LEL
propane	C ₃ H ₈	4	0-100	2.1 %VOL	±5 %LEL
propylene	C ₃ H ₆	4	0-100	2.4 %VOL	±5 %LEL
acetone	C ₃ H ₆ O	5	0-100	2.5 %VOL	+20 %LEL
ethylene	C ₂ H ₄	4	0-100	2.7 %VOL	-11 %LEL
heptane	C ₇ H ₁₆	5	0-100	1.1 %VOL	±12 %LEL
hexane	C ₆ H ₁₄	5	0-100	1.1 %VOL	-20 %LEL
octane	C ₈ H ₁₈	6	0-100	1.0 %VOL	±12 %LEL
styrene	C ₈ H ₈	6	0-100	1.1 %VOL	-20 %LEL
toluene	C ₇ H ₈	6	0-100	1.2 %VOL	±12 %LEL
xylene	C ₈ H ₁₀	6	0-100	1.1 %VOL	±12 %LEL

檢測範圍和精度說明

Cycle	Time (s)	Gas ID	Conc (%LEL)	TEMP (C)	PRESS (kPa)	REL_HUM (HABS_HUM %)
133	89.8577	0	0	43.95	100.5031	39.38381 24.44142
134	90.49887	0	0	43.95	100.5031	39.38381 24.44142
135	91.20018	0	0	43.96	100.5032	39.28223 24.39091
136	91.84214	0	0	43.96	100.5032	39.28223 24.39091
137	92.49907	0	0	43.96	100.5032	39.28223 24.39091
138	93.17053	0	0	43.96	100.5032	39.28223 24.39091
139	93.81091	4	11.8	43.96	100.5065	39.39551 24.46125
140	94.48472	4	11.8	43.96	100.5065	39.39551 24.46125

偵測資料範例

CLASS 1: Hydrogen Molecular Weight: 2.0 [g/mol] Density: 0.09 [g/l] Number of Carbons: 0 	CLASS 2: Hydrogen Mixture Avg. Mol. Weight: 1.14 [g/mol] Avg. Density: 0.1-0.8 [g/l] Number of Carbons: varies This classification is unique in it recognizes the presence of hydrogen and enables flameproofing.	CLASS 3: Methane/Natural Gas Avg. Mol. Weight: 1.6 to 19 [g/mol] Avg. Density: 0.6-0.9 [g/l] Typical Number of Carbons: 0-2 Classifies heavy petroleum gas products relative to the full of carbon molecules based on methane (e.g. acetylene, acrylonitrile)	CLASS 4: Light Gas (or Light Gas Mixture) Avg. Mol. Weight: 25 to 75 [g/mol] Avg. Density: 1.2-2.5 [g/l] Typical Number of Carbons: 1-4 Example Gases: Ethane, Propane, Isopropane	CLASS 5: Medium Gas (or Medium Gas Mixture) Avg. Mol. Weight: 50 to 120 [g/mol] Avg. Density: 1.5-4.0 [g/l] Typical Number of Carbons: 2-8 Example Gases: Butane	CLASS 6: Heavy Gas (or Heavy Gas Mixture) Avg. Mol. Weight: 80+ [g/mol] Avg. Density: 3.5+ [g/l] Typical Number of Carbons: 6+ Example Gases: Octane, Toluene, Xylene
--	--	--	---	---	--

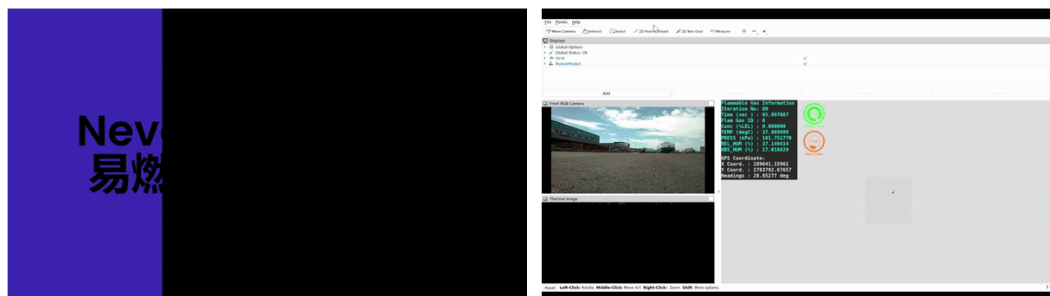
Figure 2: The MPS Flammable Gas Sensor outputs the class of gas present. This capability to discriminate amongst gases is what enables the sensor to provide accurate %LEL readings for over a dozen different flammable gases. The MPS is the only technology on the market with this capability.

氣體分類說明

例如：

- methane 是屬於 Class 3 之氣體，它的 100%LEL 等於 5%Volume (體積百分濃度)
- 如果氣體偵測器的 Conc (%LEL) 讀數為 40，意思為 40% LEL 或 2%Volume

氣體感測器實地測試



熱像儀

已取得PureThermal 3
FLIR Lepton FS 熱像儀
模組 (USB-C)

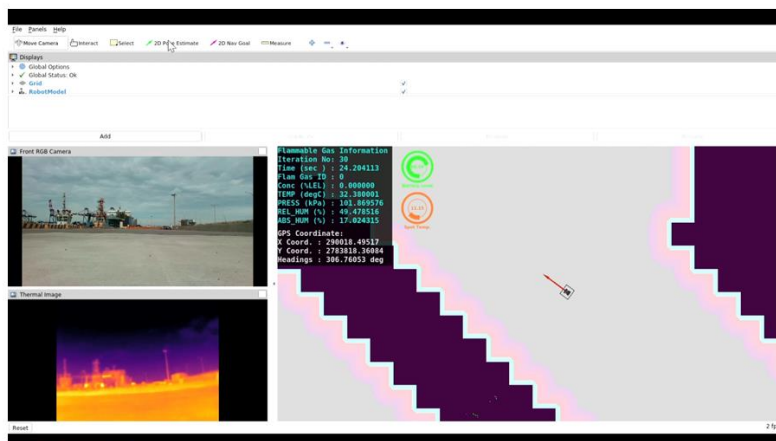


熱感相機		
型號	Flir Vue Pro (舊的熱像儀)	PureThermal 3 FLIR Lepton FS (新的熱像儀)
解析度	336x256	160x120
場景動態範圍	高增益: < 135 °C (只配有高增益模式)	高增益: < 140 °C 低增益: < 350 °C
溫度精度	± 5°C	± 5°C
ROS支援	無ROS Driver	有ROS Driver

將使用ROS Driver進行測試



熱像儀實地測試



可搭載無人車之感測器測試結果

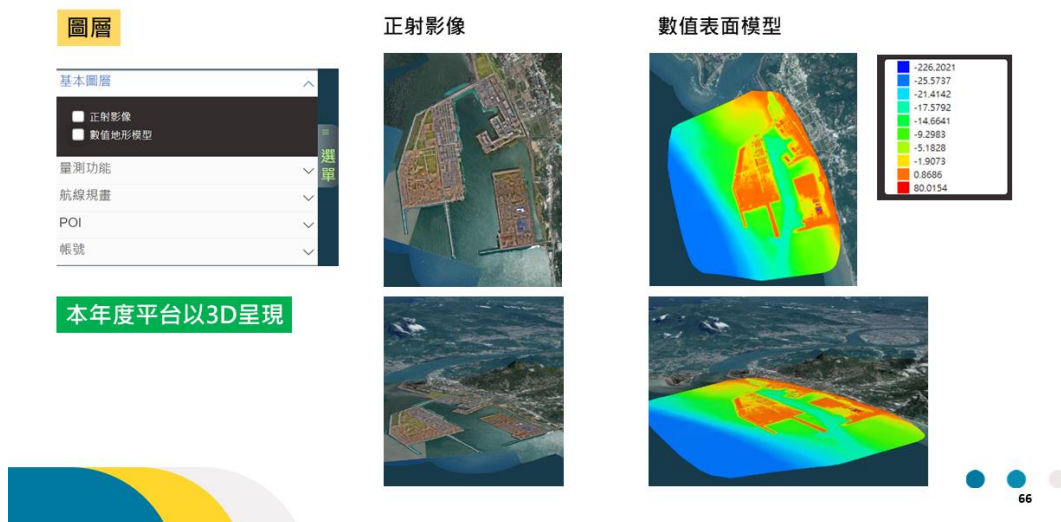


平台現況

平台架構(112年度)



功能現況---圖層



功能現況---量測功能

量測功能



距離量測



面積量測

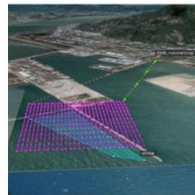


功能現況---飛行路徑規劃

飛行路徑規劃



地形測繪



多點巡航



單點環行



功能現況---飛行路徑規劃

飛行路徑規劃

基本圖層

量測功能

航線規畫

規劃飛行路徑

Step 1 選擇模式
☒ 單點飛行 ☐ 多點巡航 ☐ 地形測繪

Step 2
 點選起始點

Step 3
 點選目標物

Step 4
 規劃參數設定

點選規劃成果列表

POI

帳號

路徑規劃列表

規劃路線列表

專案編號	建立時間	模式	狀態	規劃耗時(秒)	顯示	詳細內容	匯出	刪除	REDO
35	2023/08/29 14:29:12	地形測繪	規劃完成	0.04					

規劃參數查詢

新選擇式:
 地形測繪

起始點位(X,Y): [289293.18018] [2782239.42] 路徑點位(X): [289156.92080, 287192.12227] 路徑點位(Y): [2783115.51487, 2783578.793]

飛行速度(m/s): 3 航高(m): 30 相對飛行方式: 0 繪圖大小: 6

可飛行時間(分): 20 實際飛行時間(分): 64.0 拍攝角度(度): 45 安全係數: 0.7 飛行距離(m): 106915

警告代碼: 警告訊息:

69

功能現況---POI

POI

基本圖層

量測功能

航線規畫

POI

☒ 顯示POI

批次上傳POI影像

帳號

影像上傳

批次上傳檔案

文件名	大小(KB)	結果	對應POI	POI標高	速度	狀態
+ 新增檔案						

POI內距距離門框(公尺): [] 重新設定

☐ 正射 ☐ 斜拍 提示: 僅能接受格式為 jpg + 拍攝日期

上傳檔案

POI影像

影像名稱: []

影像縮略圖

70

教育訓練

教育訓練---活動時間、地點、對象

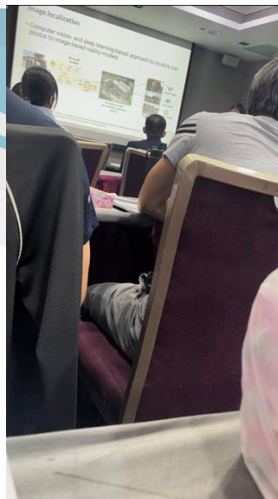
- 活動時間地點：

時間:112 年 11 月 9 日(星期四) 10:00-12:30

地點:臺大醫院國際會議中心
(台北市中正區徐州路2號)

- 參與對象：

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心、航港局及港務總(分)公司同仁、無人機大聯盟
參加人數30人



教育訓練議程

時間	活動內容	講者
09:00 -10:00	人員報到	
10:00-10:10	開場與計畫背景說明	蔡立宏 主任 港灣技術研究中心
10:10-10:50	計畫成果分享與討論	韓仁毓 教授 國立臺灣大學
11:00-11:25	自動化工程生產管理	韓仁毓 教授 國立臺灣大學
11:40-12:05	生成式 AI 於橋柱破壞模式預測之研發	林之謙 教授 國立臺灣大學
12:05-12:30	後會討會&賦歸	

73

成果彙整與後續工作

112年度總結

工作項目	實際內容
無人移動載具（包含空中及地面）以及感測器硬體系統分析	分析不同空中、地面及水下無人載具，及其可搭仔感測系統。在空中及水下無人載具街友根據安全係數等資訊進行飛行/航行範圍分析。
港區高細緻空間基礎資料建構	定期蒐集巡檢影像資料，並建立高精度正射底圖及數值地形圖， 正射底圖精度為3公分，數值地形圖則為5公分。
感測資料自動化辨識技術發展	1.既有臺中港物件辨識模型轉移與優化 2.新增物件自動化偵測（伸縮縫、胸牆、變電箱），為第二年度平台整合測試 3.地面無人載具感測器測試(熱像儀、氣體偵測器)
品質評估與行動依據	確立成果品質並建構各流程架構，整合至系統平台內。
教育訓練	舉辦教育訓練說明整年度計畫內容，以及相關應用技術分享。

75

後續工作

1. 持續精進112年度成果
2. 多來源感測資料整合（發展與無人移動載具感測資料之整合技術）
3. 基於高細緻港區空間資料之環境分析-分析港區環境特性現況（如建築物能耗、屋頂太陽光電潛能、環境危害因子等）
4. 優化感測資料自動化辨識技術（新增3標的物）
5. 系統平台持續建構
6. 品質評估與行動依據

76

感謝聆聽
敬請指教



國立臺灣大學
National Taiwan University

