

111-019-7D03
MOTC-IOT-110-H2CB001j

無人機影像監測技術應用於臺中 港區管理之研究



交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

111-019-7D03
MOTC-IOT-110-H2CB001j

無人機影像監測技術應用於臺中 港區管理之研究

著 者：韓仁毓、蔡立宏、李俊穎、洪維屏、林彥廷、
甘翊萱、黃春嘉、李政軒、陳俊廷

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究
/ 韓仁毓, 蔡立宏, 李俊穎, 洪維屏, 林彥廷,
甘翊萱, 黃春嘉, 李政軒, 陳俊廷著.-- 初版.--
臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 111.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-375-3(平裝)

1.CST: 港埠管理 2.CST: 遙控飛機

557

111000877

無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究

著 者：韓仁毓、李俊穎、洪維屏、林彥廷、甘翊萱、黃春嘉、
李政軒、陳俊廷

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 111 年 3 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 60 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：104472 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：1011000147 ISBN：978-986-531-375-3 (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：無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-375-3(平裝)	政府出版品統一編號 1011100147	運輸研究所出版品編號 111-019-7D03	計畫編號 MOTC-IOT-110-H2CB001j
本所主辦單位：港研中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：李俊穎 研究人員：洪維屏 聯絡電話：04-26587126 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：陳柏華、林之謙 研究人員：林彥廷、黃春嘉、甘翊萱、李政軒、陳俊廷 地址：臺北市羅斯福路四段一號聯絡電話：02-3366-4347		研究期間 自 110 年 3 月 至 110 年 11 月
關鍵詞：無人飛行載具、影像技術、土地使用管理、設施巡檢			
摘要： 無人飛行載具在近年來發展成熟，其可搭載高解析攝影機同時具高度的移動性以及遠距遙控功能，能夠取代人力快速且輕易地到達過去不容易接近的區域。再者目前無人飛行載具結合影像技術已經廣泛應用於大範圍或特殊環境條件下的資料收集任務中，為在有限人力之下要能持續監測港區設施安全穩定的理想選擇。 本研究透過無人飛行載具以及影像分析技術建立一個監測系統平台。計畫將測區分為兩階段執行，先以第一期完成臺中港核心區域，最終完成臺中港區 4,700 公頃之高精度三維及正射底圖，接著由整合載具控制與取像邏輯之分析，建構無人機飛航作業之軟體流程，並基於該流程取得穩健影像資訊來源進行特徵辨識，最後建置系統整合平台，藉由定期收集的影像進行分析判識，並與前期成果比較，可應用於港區的巡檢任務，追蹤港區土地使用狀況以及特定設施之安全穩定性。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
111 年 3 月	230	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: Application research of the Management of Taichung Port Area based on UAV image monitor technique			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-375-3 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011100147	IOT SERIAL NUMBER 111-019-7D03	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-110-H2CB001j
DIVISION: Center of Harbor & Marine Technology 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 Mar. 2021 TO Dec. 2021
RESEARCH AGENCY: National Taiwan University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jen-Yu Han Co-PRINCIPAL INVESTIGATOR: Albert Chen, Jacob Je-Chian Lin PROJECT STAFF: Yen-Ting Lin, Yi-Hsuan Kan, Chun-Jia Huang, Zhen-Xuan Li, Chun-Ting Chen ADDRESS: No. 1, Sec. 4, Roosevelt Rd., Taipei City PHONE: 886-2-3366-4347			
KEY WORDS: UAV 、 IMAGE ANALYSIS TECHNIQUES 、 LAND-USE 、 FACILITIES TRACKING			
ABSTRACT : Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technologies have shown dramatic development in recent years. Capable of carrying high-resolution cameras and with the function of high maneuverability and remote control, UAV can replace human labor and go safely and fast where it was inaccessible. Currently by combining with image processing, UAV technologies have further been widely applied to data acquisition tasks in large areas or areas of particular environmental conditions as an ideal option for long-term monitoring to keep the safety of the facilities in the harbor where human resources are limited. This project aims to build a web-based tracking platform with the UAV and image analysis techniques. The survey of the areas is intended to be performed in two stages. In the beginning, the core area of Taichung port will be scanned, and last, a high-resolution 3D orthophoto map of the 4,700 ha port area will be generated. That is followed by making the software process for UAV flight route planning by integrating UAV control and image acquisition logic; the details of robust images captured by that process will be put to image feature matching. Finally, a platform for system integration will be implemented. Images collected on regular basis will be analyzed and compared with previous results to be applied in the patrol tasks of the port, tracking the condition of land use and the security of certain facilities.			
DATE OF PUBLICATION March, 2022	NUMBER OF PAGES 230	PRICE 300	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	XIII
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 研究目的及重要性.....	1-1
1.2 文獻回顧.....	1-2
1.2.1 傳統巡檢.....	1-2
1.2.2 UAV發展與應用.....	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.....	1-6
第二章 基礎資料蒐集分析.....	2-1
2.1 基於UAV影像技術之空間資訊建構.....	2-1
2.2 臺中港區空間資料蒐集與建構.....	2-3
2.2.1 控制點測量.....	2-3
2.2.2 影像資料蒐集.....	2-5
2.3 數值地形模型成果.....	2-6
2.3.1 臺中港區高解析度正射影像成果.....	2-7

2.4 本章小結	2-10
第三章 無人飛行載具以及影像感測器硬體分析	3-1
3.1 無人機載具種類性能與感測器分析	3-1
3.1.1 定翼機性能與搭配感測器分析	3-1
3.1.2 旋翼機性能與搭配感測器分析	3-7
3.2 港區氣象資料	3-14
3.2.1 無人機抗風與防水條件定義	3-15
3.2.2 港區風速評估	3-16
3.3 無人機適宜性評估	3-21
3.4 本案巡檢無人機設備成本估算	3-22
3.5 本章小結	3-23
第四章 載具控制與取向邏輯方法	4-1
4.1 飛行模式建構方法	4-1
4.1.1 無人機地形測繪	4-1
4.1.2 無人機多點巡航	4-2
4.1.3 無人機單點環飛	4-3
4.2 無人機取像邏輯方法	4-4
4.2.1 影像參數	4-4
4.2.2 A star演算法	4-5
4.2.3 飛航障礙物迴避	4-7
4.2.4 控制與取像參數設定	4-9
4.3 本章小結	4-10
第五章 多時期UAV影像匹配辨識	5-1
5.1 UAV影像定位資訊	5-1

5.2 影像位置偵測及量測	5-2
5.3 多期UAV影像搜尋及比對	5-8
5.4 本章小結	5-9
第六章 UAV影像技術之延伸應用	6-1
6.1 港區設施自動化物件辨識	6-1
6.1.1 物件辨識模型選擇	6-1
6.1.2 Yolov4模型架構	6-2
6.2 港區設施物件辨識模型訓練方式	6-3
6.2.1 單物件偵測	6-4
6.2.2 多重物件偵測1	6-6
6.2.3 多重物件偵測2	6-7
6.3 港區特定設施變遷偵測	6-8
6.3.1 Mask Rcn Pixel-wise偵測與變遷	6-8
6.4 構造物位移監測	6-9
6.5 淤沙範圍變化分析	6-13
6.6 本章小結	6-14
第七章 無人機影像整合管理平台	7-1
7.1 Node.js特色	7-1
7.2 資料庫建立	7-1
7.3 使用者操作平台系統架構	7-2
7.3.1 UAV航線規劃	7-4
7.3.2 多時期UAV正拍巡檢影像套疊	7-5
7.3.3 多時期UAV斜拍巡檢影像查詢	7-6
7.4 本章小結	7-6

第八章 實地驗證與品質評估	8-1
8.1 無人機飛行相關檢核	8-1
8.1.1 飛行範圍與作業時間	8-1
8.1.2 無人機飛行穩定性及機動性	8-4
8.2 無人機影像品質檢核	8-7
8.2.1 原始影像解析度檢核	8-7
8.2.2 無人機路徑正確性測試	8-8
8.2.3 影像匹配品質評估	8-9
8.2.4 正射影像幾何精度檢核	8-10
8.2.5 數值地形模型高程精度檢核	8-14
8.3 取像邏輯規劃測試	8-16
8.3.1 無人機實際飛行測試	8-16
8.4 特定物件辨識及變遷偵測信賴度評估	8-17
8.4.1 物件辨識信賴指數說明	8-18
第九章 結論與建議	9-1
9.1 成果結論	9-1
9.2 後續建議	9-3
9.3 成果效益與後續應用情形	9-4
參考文獻.....	參-1
附錄一、 UAV於港區設施巡檢可行性評估表	附1-1
附錄二、 UAV巡航模式拍攝說明	附2-1
附錄三、 管理平台功能頁面	附3-1
附錄四、 無人機申請流程	附4-1
附錄五、 期中審查意見處理情形表	附5-1

附錄六、 期末審查意見處理情形表 附6-1

附錄七、 期末審查簡報資料 附7-1

圖目錄

圖 2.1 物像空間幾何關係圖	2-1
圖 2.2 SfM空間資訊建構流程圖	2-2
圖 2.3 正射影像倒投影(Mikhail et al., 2001)	2-3
圖 2.4 臺中港區地面控制點與基線分布圖	2-4
圖 2.5 航帶範圍與控制點分布圖	2-5
圖 2.6 影像拍攝重疊率	2-5
圖 2.7 臺中港區105年至110年平均潮位圖（海軍大氣海洋局潮汐表計算）	2-6
圖 2.8 臺中港數值地形圖	2-7
圖 2.9 臺中港區高解析正射影像圖	2-8
圖 2.10 臺中港區正射影像解析度展示圖	2-10
圖 3.1 (a)Type1e定翼機 Bee X Fixed (b)Type2定翼機VX2300	3-3
圖 3.2 (a)Type3定翼機 Quantum-Systems Tron F90+ (b)Type4定翼機Sky Arrow	3-3
圖 3.3 定翼機最大飛行範圍圖（以港研中心為中心）	3-4
圖 3.4 定翼機安全係數0.7飛行面積範圍圖（以港研中心為中心）	3-4
圖 3.5 (a)Type1多旋翼機K60PRO (b) Type2多旋翼機 Yuneec Typhoon H Pro	3-9
圖 3.6 (a)Type3多旋翼機 Aibotix (b) Type4多旋翼機 EG2 Pro	3-9
圖 3.7 多旋翼機安全係數0.7飛行面積範圍圖（以港研中心為中心）	3-10
圖 3.8 多旋翼機安全係數0.5飛行面積範圍圖（以港研中心為中心）	3-11

圖 3.9 臺中港氣象站分布圖	3-錯誤! 尚未定義書籤。
圖 3.10 臺中港區分區範圍圖	3-17
圖 3.11 臺中港區一月至六月平均風勢趨勢圖	3-17
圖 3.12 臺中港區七月至十二月平均風勢趨勢圖	3-17
圖 3.13 臺中港A區與B區可飛行天數百分比圖	3-18
圖 3.14 臺中港C區與D區可飛行天數百分比圖	3-19
圖 3.15 各區適宜無人機與可掛載感測器分布圖	3-22
圖 3.16 Type2多旋翼無人機硬體購置與維護成本估算清單	3-22
圖 4.1 無人載具之飛行與取向邏輯之整體流程	4-1
圖 4.2 無人機地形測繪示意圖	4-2
圖 4.3 無人機多點巡航示意圖	4-3
圖 4.4 無人機單點環飛示意圖	4-4
圖 4.5 無人機取像邏輯分析(a)GSD圖示 (b)重疊率圖示	4-5
圖 4.6 A-star 演算法搜尋過程	4-6
圖 4.7 A-star 演算法繞行障礙物	4-8
圖 4.8 無人機飛航避障路徑圖（緩衝區設定為5公尺）	4-8
圖 4.9 無人機飛航避障路徑圖（緩衝區設定為10公尺）	4-9
圖 5.1 UAV影像辨識方法流程示意圖	5-1
圖 5.2 巡檢照片範例	5-2
圖 5.3 依目標位置進行UAV候選影像相關性篩選示意圖	5-3
圖 5.4 影像色彩RGB與HSV轉換角度涵蓋圖	5-4
圖 5.5 UAV彩色影像萃取明度資訊圖(a)原始UAV影像、(b)紅綠藍光 譜影像、(c)色相、飽和度及明度影像	5-5
圖 5.6 SURF主方向(Bay et al, 2008)	5-6

圖 5.7 SURF描述元(Bay et al, 2008)	5-6
圖 5.8 UAV影像中描述元方向及匹配偵測圖	5-6
圖 5.9 糾正後UAV影像套疊於正射底圖	5-7
圖 5.10 多期糾正後UAV影像提供地理定位及量測資訊.....	5-7
圖 5.11 多期影像搜尋及比對篩選預設條件	5-8
圖 5.12 具位移且相同方位角及傾斜角之多期影像匹配套圖	5-9
圖 5.13 在同方位角下具位移且傾斜角之多期影像匹配套圖	5-9
圖 6.1 多數物體偵測模型準確度與速度比較圖(Bochkovskiy Alexey et.al.,2020).....	6-1
圖 6.2 普通卷積與CSPNet差別(Wang Chien-Yao et al.,2019)	6-2
圖 6.3 SPP示意圖	6-3
圖 6.4 單物件自動辨識 (a)原始圖片 (b)人工標記圖	6-4
圖 6.5 單物件自動成功示意圖－標示出碰墊與偵測信心指數	6-4
圖 6.6 單物件自動辨識失敗示意圖－拍攝角度變大導致偵測成功率下 降.....	6-5
圖 6.7 單物件自動辨識模型6000次訓練後之損失曲線圖	6-5
圖 6.8 雙物件自動辨識 (a)原始圖片 (b)人工標記圖	6-6
圖 6.9 雙物件自動辨識模型6000次訓練後之損失曲線圖	6-6
圖 6.10 雙物件偵測1偵測效果圖	6-7
圖 6.11 多物件自動辨識(a)原始圖片 (b)人工標記圖	6-7
圖 6.12 模型6000次訓練後之損失曲線圖	6-8
圖 6.13 多重物件偵測2 偵測效果圖	6-8
圖 6.14 以UAV影像配合自動辨識技術之設施變遷監測流程圖	6-9
圖 6.15 設施影像辨識後之(a)Yolov4框選原圖(b)MaskRcnn辨識結果	6-9

圖 6.16 臺中港南堤(a)第一期正射影像(b)第一期三維點雲	6-10
圖 6.17 臺中港南堤(a)第二期正射影像(b)第二期三維點雲	6-10
圖 6.18 臺中港南堤(a)第三期正射影像(b)第三期三維點雲	6-11
圖 6.19 臺中港南堤道路中心線位置圖	6-11
圖 6.20 臺中港南堤多時期斷面	6-12
圖 6.21 臺中港南堤多時期斷面差值	6-12
圖 6.22 南堤多時期水平位移差值	6-13
圖 6.23 (a)第一期北防沙堤影像 (b)第二期北防沙堤影像 (c)兩期套疊	6-14
圖 7.1 (a)臺中港區無人機影像管理平台架構(b)管理平台頁面	7-3
圖 7.2 平台飛航規劃功能	7-4
圖 7.3 參數設定欄	7-4
圖 7.4 UAV影像定位及其影像坐標資訊	7-5
圖 7.5 UAV正拍影像仿射改正前後比較於正射影像圖	7-5
圖 7.6 中突堤區域影像POI點分布及多時期影像	7-6
圖 8.1 (a)案例1電量與飛行時間關係圖(b)飛行時間與距離關係圖 ..	8-1
圖 8.2 (a)推估電量與飛行時間關係圖(b)推估飛行時間與距離關係圖 (2級風)	8-2
圖 8.3 (a)案例2電量與飛行時間關係圖(b)飛行時間與距離關係圖 ..	8-3
圖 8.4 (a)推估電量與飛行時間關係圖(b)推估飛行時間與距離關係圖 (5級風)	8-3
圖 8.5 無人機設定航高與實際飛行航高對照圖	8-5
圖 8.6 無人機航高穩定性殘差圖	8-5
圖 8.7 無人機水平位置穩定性殘差圖	8-5

圖 8.8 無人機現地巡檢圖	8-6
圖 8.9 無人機拍攝原始影像上呈現之港區斑馬線與雙白線圖	8-8
圖 8.10 (a)地形測繪之平台展示圖(b)google Earth結果圖	8-9
圖 8.11 影像匹配示意圖.....	8-10
圖 8.12 正射影像檢核用貨櫃圖	8-10
圖 8.13 長榮海運貨櫃尺寸表(來源:長榮海運官網)	8-11
圖 8.14 正射影像港區斑馬線與雙白線圖	8-12
圖 8.15 正射影像檢核物件位置分布圖	8-12
圖 8.16 港區控制點及檢核用貨櫃分布圖	8-14
圖 8.17 貨櫃高量測示意圖	8-15
圖 8.18 平台輸出GPS點與實際飛行坐標	8-16
圖 8.19 平台輸出UAV航跡點與實際飛行坐標	8-17
圖 8.20 平台輸出UAV航跡點與實際飛行坐標誤差	8-17
圖 8.21 IOU (Intersection Over Union) 指標計算示意圖	8-18
圖 8.22 (a)高於50% (b)低於50%.....	8-18

表目錄

表 2-1 臺中港區地面控制點測量成果與精度表	2-4
表 2-2 影像資料蒐集基本資料表	2-6
表 3-1 民航局無人機證照與重量分級表（整理自遙控無人機管理規則）	3-1
表 3-2 定翼機載具分級表	3-2
表 3-3 定翼機飛行總里程範例計算	3-4
表 3-4 定翼機不同安全係數飛行總里程計算	3-4
表 3-5 定翼UAV可搭載之光學相機規格表	3-6
表 3-6 定翼UAV可搭載之熱感應相機規格表	3-6
表 3-7 定翼UAV可搭載之光達規格表	3-7
表 3-8 定翼UAV可搭載感測器統整表	3-7
表 3-9 多旋翼機載具規格表	3-8
表 3-10 多旋翼UAV飛行總里程範例計算	3-10
表 3-11 多旋翼UAV不同安全係數飛行總里程計算	3-10
表 3-12 多旋翼UAV Type1、2可搭載之光學相機規格表	3-12
表 3-13 多旋翼UAV Type3、4可搭載之光學相機規格表	3-13
表 3-14 多旋翼UAV可搭載之熱感應相機規格表	3-13
表 3-15 多旋翼UAV可搭載之光達規格表	3-14
表 3-16 多旋翼機可搭載之感測器統整表	3-14
表 3-17 蒲氏風力級數與無人機最大抗風條件表	3-15
表 3-18 臺中港A區可飛行天數百分比表	3-20
表 3-19 臺中港B區可飛行天數百分比表	3-20

表 3-20 臺中港C區可飛行天數百分比表	3-20
表 3-21 臺中港D區可飛行天數百分比表	3-21
表 3-22 Type2多旋翼無人機五年攤提費用計價表	3-23
表 4-1 無人機控制與取像參數設定對應表	4-10
表 5-1 UAV飛行經緯度與海拔高度	5-2
表 5-2 UAV飛行旋轉角度與相機旋轉角度	5-2
表 6-1 不同模型訓練統整表	6-3
表 6-2 臺中港南堤不同時期垂直（高程）之均方根誤差值	6-12
表 6-3 臺中港南堤不同時期水平位置之均方根誤差值	6-13
表 8-1 實際飛行數據表(2級風)	8-1
表 8-2 以實際案例推估飛行數據表（2級風）	8-2
表 8-3 實際飛行數據表(5級風)	8-3
表 8-4 以實際案例以實際案例推估飛行數據表(5級風)	8-4
表 8-5 建議飛行參數表統整	8-4
表 8-6 無人機飛行穩定度精度表	8-6
表 8-7 實際飛行位置精度表	8-6
表 8-8 貨櫃影像尺寸檢核表	8-13
表 8-9 斑馬線影像尺寸檢核表	8-13
表 8-10 雙白線影像尺寸檢核表	8-14
表 8-11 臺中港區DSM絕對高程檢核表	8-15
表 8-12 臺中港區DSM貨櫃高度檢核表	8-16

第一章 前言

1.1 研究動機與目的

1.1.1 研究動機

臺中港為我國國際商港，為以近洋航線為主的中部區域加值型物流港，是主要能源、重工、石化原料進口港及油品儲轉中心，港區用地包括專業區、碼頭區、自由貿易港區等區域。臺中港務分公司，自八十五年度起即逐年委託辦理「臺中港區環境（污染源）調查監測分析」，以追蹤及評估臺中港區環境各項數據以建立背景資料，也因此每年需要編列巨額預算來進行不同環境監測。隨著無人飛行載具在近年來發展成熟，其具有高度的移動性以及遠距遙控功能，能夠取代人力快速且輕易地到達過去不容易接近的區域。此外，其可搭載高解析攝影機，如同取代人眼，從空中的角度俯視地表，並將地表一切細節真實的紀錄在數值影像中而不遺漏。目前無人飛行載具結合影像技術已經廣泛應用於大範圍或特殊環境條件下的資料收集任務中。另一方面，隨著數值影像與電腦視覺的發展，影像不單純只是用來記錄與提供視覺檢視，並可透過電腦處理程序與光譜分析，從影像中提取許多重要資訊，甚至自動化的進行特定物件的辨識與追蹤，此外透過電腦視覺技術可將這些二維平面影像轉換為具有空間坐標的三維資訊，若再輔以無人機導航定位或地表控制資料，可提供地表物體精確的空間位置以及幾何資訊。本計畫將結合上述無人飛行載具影像技術之優勢，建立一套便利且能快速涵蓋大範圍港區地表資訊的收集技術，藉由開發合適的影像處理技術，對於所收集到的影像進行自動化的分析辨識以及精確空間幾何資訊的建立，並妥善利用這些資訊建立港區土地利用狀況以及重要設施的監測管理機制，達到以創新科技提升管理效能的目的。

1.1.2 研究目的及重要性

港區使用單位以及使用名目繁多，相關之土地利用與規劃是港區營運的重要工作之一。然而港區幅員廣大，且人力有限，如何快

速掌握各區域之使用狀況並妥善管理不易。另一方面，港區設施受海潮以及劇烈天氣狀況（如颱風地震等）衝擊影響之下，其穩定性與安全性備受考驗，同樣的在有限人力之下要能持續監測港區重要設施之安全穩定性並及早採取預防或補強措施，也成為一項難題。

因此，本計畫的目的為建立一套基於無人飛行載具以及影像分析技術的港區監測管理方案。未來利用此方案，將能以自動化方式掌握港區之使用狀況與異動，並針對重要設施進行監測，除可應用於港區土地之維護管理，並可更精確的掌握重要設施的穩定性，及早獲知可能的變動或破壞狀況，確保港區的營運安全。而計畫之成果，將能提供上述挑戰一實務解決方案，並在人力持續精簡化的長期趨勢之下，確保甚至提升港區的營運管理品質。

1.2 文獻回顧

1.2.1 傳統巡檢

巡檢可以確保設備資產的完整，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，以本研究的港區為例，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。

然而，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，依據不同檢查類別將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，然而這往往會造成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，無形中增加誤植的機率(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，讓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 UAV 發展與應用

無人機是一種無人駕駛飛行器，最初是在 20 世紀開發的，應用於軍事任務 (Tice, 1991)。，是一種不需要駕駛員的飛行控制器。無人機的系統還包括地面控制系統和一個與通訊系統。無人機的飛行可以在操作員的遠端控制下執行任務 (Hu and Lanzon, 2018)，同時降低了執行任務的風險。無人機也具有不同程度的自主權，例如自動航線飛行而無需人工干預 (Cary and Coyne, 2012)。隨著時代進步與無人機控制技術的改良和成本下降，現代化的無人機包含了電子陀螺儀、衛星定位系統 (GNSS)、慣性導航系統(IMU)和電傳飛控等 (Anderson, 2013)，比起早期無人機能使得飛行更穩定與靈活。在2000年代初期，由於無人機成本的降低和更多功能平台的可用性，大眾開始對無人機技術表現出更大的興趣。許多科學和工程界也深入研究無人機技術開發或將無人機納入各自領域(Greenwood et al., 2019)。

現今無人機的快速發展並隨著低成本與發展技術穩定的優勢，已被廣為應用於各個領域。在工程檢測方面，可檢測建築物外觀損壞程度，Escobar (2018) 透過搭載光學與熱像儀之無人飛機，計算放射率快速得知橋面裂縫潛勢位置，另外也有搭載光達進行檢測的方法 (Bolourian et al., 2017)。Tan and Li (2019) 透過無人機搭載光學影像配合偵測演算法進行道路三維破壞性監測。在營建工程方面，應用無人機於工地現場之安全監測，特別針對人員無法到達之處，配合無人機查看，可評估危險之處 (Martinez et al., 2020)。在交通領域方面，應用於監視和監控、識別交通違規、幫助管理交通擁堵、

信號優化和提取車輛軌跡以評估事故風險 (Menouar et al., 2017)。在測繪方面，無人機目前可取代部分傳統測量作業，如地形圖測繪，透過UAV拍攝影像可快速產製數值地形模型(Yeh et al., 2018)。在災害監測方面Ambrosia et al. (2013)評估在美國以UAV監測偏遠地區火災之可行性，Feng et al. (2015)運用機器學習演算UAV影像中淹水紋理資訊，進行淹水災害影像辨識。在農業應用方面，Radoglou et al. (2020)應用無人機於精準農業，以無人機監測與噴灑農藥於作物上。在許多文獻中顯現無人機的價值與應用優勢，包括測繪、精準農業、工程應用、巡檢基礎設施等，是現代多樣化應用任務之一大邁進方法。

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。

欲建立兩張對於同一區域不同拍攝方位影像，需於影像中搜尋共同存在共軛點位(稱之為特徵點位)進行連結，其中連結方式可透過影像區域匹配(regional matching)和特徵匹配(feature matching)建構其關聯性。

區域式匹配透過預設罩窗匹配圖像獲得最佳特徵位置，例如歸一化互相關匹配(Normalized Cross Correlation method, NCC)和最小二乘匹配(Schenk, 1999)。Ye et al. (2017)在匹配計算過程中發現影像間比例和視角是否達到一致性而有所受限，Yang (2010)也針對搜尋罩窗大小設定差別，而成果顯著影響匹配操作運算效率。另外，特徵

匹配主要透過影像中明顯變化處之梯度作為特徵標示，再藉由共同特徵間的鏈接距離篩選辨識是否為共軛特徵，例如角、條紋、T形結(Rosten et al., 2008; Alcantarilla and Solutions, 2011)。Castillo-Carrión and Guerrero-Ginel (2017)、Zhang et al.(2018)和Zhao et al.(2019)分別應用常見特徵匹配如SIFT和SURF算法，提供圖像旋轉不變性優勢，有效輔助圖像偵測獲得共軛點。

影像對中找尋共軛特徵點主要可簡化成三個主要步驟：第一步在影像中找尋並選擇出特殊位置的點位，例如角點、斑紋點、T字型交界點等等，此特徵偵測子(detector)有良好的重複性(repeatability)，使得儘管影像對在拍攝上的角度與條件不同，依舊能找尋到可能的特徵共軛點。檢測到特徵點後，接下來的工作便是對特徵點進行有效地描述，形成特徵向量。特徵描述子(descriptor)所描述的點要與眾不同，跟其他的特徵點有良好的區別度(distinctive)，對於雜訊、位移、幾何變形上也要有良好的抵抗性。最後利用特徵描述子向量所提供的資訊進行兩張影像間的匹配。Lowe (2004)提出了scale-invariant feature transform (SIFT)演算法，在特徵點偵測時針對原影像，進行高斯平滑處理與再取樣的過程以形成影像金字塔，並檢測局部極值點集成SIFT候選特徵點，再依序將對比度的點位元與位元於影像邊緣的點位元予以剔除，最後以一128維的向量記錄每一特徵點的特徵描述子。Bay et al. (2008)提出了加速穩健特徵(speeded up robust features, SURF)演算法希望藉由其對於演算過程中的革新來改良SIFT演算法在使用上所產生的缺點，包括先前所提到計算效率會與特徵描述子的維度有著絕對的關係，以及在建立尺度空間上的效能與資料流失，因此利用積分影像(Integral image)與簡化的box filter來建立尺度空間，此外在特徵描述子上引入了Haar小波的方式來計算，簡化了原先在SIFT演算法中特徵描述子的維度。Juan and Gwun (2009)的研究中假使對於影像做了旋轉、平移、仿射轉換等等改變，對於SIFT與SURF兩種方法進行了比較，成果顯示SURF演算法於運算時間及明亮度偵測因素具備穩定運算優勢。

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作為二值化依據(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

(一)無人飛行載具以及影像感測器硬體系統分析

依據本工作環境條件、任務需求，分析評估最適當之無人飛行載具以及影像感測器硬體組合，並設定特定情境進行營運成本分析。

(二)飛行載具控制與取像邏輯分析

藉由設定欲監測之目標、載具飛行模式，透過路徑演算法預先規劃載具飛行路徑，並顯示載具之飛行路徑、取像位置、影像涵蓋區域、與目標之相對位置關係，建立自動化控制載具之飛行任務規劃，降低人為控制影響，以達到重複性之飛行任務一致性，再利用取像參數之細部調變分析，修正飛行任務，建立以符合任務需求且最有效率之載具路徑控制以及最佳取像位置邏輯判斷。

(三)自動化影像三維建構與空間資訊賦予

引入適當之影像處理以及電腦視覺技術，建立自動化立體建構技術，賦予影像中各點位之精確三維空間坐標值，利於後續判斷分析。

(四)特定物件辨識以及變遷偵測分析技術

建立多時期影像匹配技術，以偵測影像位置並改正視角差異，並藉由不同時期成果比較，判定物件變遷行為。

(五)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，並作為後續管理決策行動建立參考依據。

第二章 基礎資料蒐集分析

2.1 基於 UAV 影像技術之空間資訊建構

UAV搭載相機拍攝影像時，相機與場景具備空間與方位特性，可以由內方位(Interior orientation)與外方位(Exterior orientation)表示，其中內方位參數描述以相機主體及影像為主，包含像主距(Focal length)、像主點偏移量、透鏡畸變參數等，這些參數可利用相機率定方式，於影像拍攝前獲得資訊；外方位參數描述相機於空間中位置及角度，以透視投影中心之空間位置參數(X_L 、 Y_L 、 Z_L)與三軸姿態參數(ω 、 φ 、 κ)(圖2.1)，建構拍攝時物像空間幾何，並以共線方程式(Collinear equation)(式1)示之，透過空間後方交會(Resection)解算獲得外方位參數。

$$\begin{aligned} x - \Delta x &= -f \frac{m_{11}(X - X_L) + m_{12}(Y - Y_L) + m_{13}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} \\ y - \Delta y &= -f \frac{m_{21}(X - X_L) + m_{22}(Y - Y_L) + m_{23}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} \end{aligned} \quad (1)$$

其中(x, y)為像點坐標， Δx 、 Δy 為內方位改正項，包含像主點偏移量、透鏡畸變差， f 為像主距， $m_{11} \sim m_{33}$ 為構成旋轉矩陣之各元素，(X_L, Y_L, Z_L)為透視投影中心的坐標，(X, Y, Z)為物點坐標。

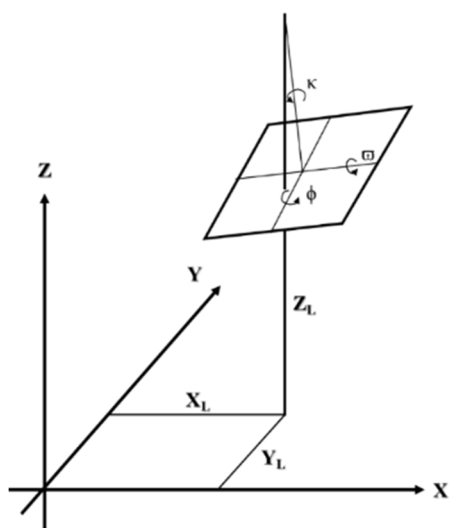


圖 2.1 物像空間幾何關係圖

搭載的相機存在透鏡畸變差，透過自率光束法(self-calibrating bundle adjustment)彈性且快速修正優勢(Remondino and Fraser, 2006)，以連續重疊影像於空中三角平差計算中求解內方位參數及物點坐標，同時由修正量及修正像主點偏移、輻射畸變差與離心透鏡畸變差等問題，其修正式如式2所示。

$$\begin{cases} \Delta x = -\Delta x_0 - \frac{x_i}{f} \Delta f + K_1 x r^2 + K_2 x r^4 + K_3 x r^6 + P_1 (r^2 + 2x^2) + 2P_2 xy \\ \Delta y = -\Delta y_0 - \frac{y_i}{f} \Delta f + K_1 y r^2 + K_2 y r^4 + K_3 y r^6 + 2P_1 xy + P_2 (r^2 + 2y^2) \end{cases} \quad (2)$$

其中的八參數包含像主距修正量 Δf 與像主點偏移量 Δx_0 、 Δy_0 ，輻射透鏡畸變差參數 K_1 、 K_2 、 K_3 ，離心透鏡畸變差參數 P_1 、 P_2 ， r 為像點與像主點之距離。

由已知內方位參數與三個以上不共面的地面控制點(Ground control point)，解算得影像之外方位參數(Mikhail *et al.*, 2001)，可透過多張影像前方交會定義像點之物空間坐標值，完成空間幾何於絕對方位(Absolute orientation)系統中分布(Heipke, 1997)；亦可以透過UAV搭載簡易GNSS定位接收器，粗略定義透視投影中心拍攝位置，進而解算相機三軸姿態。當內、外方位參數初值已知，利用連續拍攝影像進行運動獲取空間結構(SfM)分析(Tomasi and Kanade, 1991)，以SURF特徵匹配技術取得共軛點連結多重影像，以核面幾何推估與修正相機位置，再由共線式進行光束法平差分析，迭代修正內、外方位參數並重構物空間幾何，其概要流程如圖2.2所示。

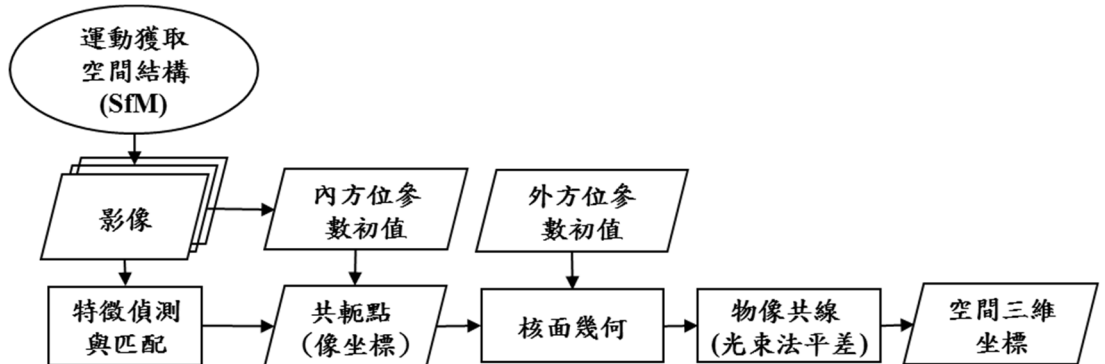


圖 2.2 SfM 空間資訊建構流程圖

透過共線式求解影像的內、外方位參數，進一步計算影像重疊區之數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)，再以DEM空間資訊產製正射影像。製作正射影像目的，在於移除拍攝時因透視投影及透鏡畸變差產生地物變形，一般而言製作正射影像可分為倒投影及重新取樣(resampling)兩大部分，倒投影示意如圖2.3，DEM上物點P、透視中心以及影像上像點p三點共線，在物點坐標、相機的內、外方位參數為已知條件，透過式1以倒投影方式，求解對應影像坐標，倒投影方式為線性方程式，不需經過迭代直接計算影像坐標。影像資訊依倒投影格網分布，以內插方式進行重新取樣填入，避免像片坐標不為整數問題。重新取樣方法建立於高重疊率影像條件下，盡可能保留原始影像資訊，完成正射影像製作。

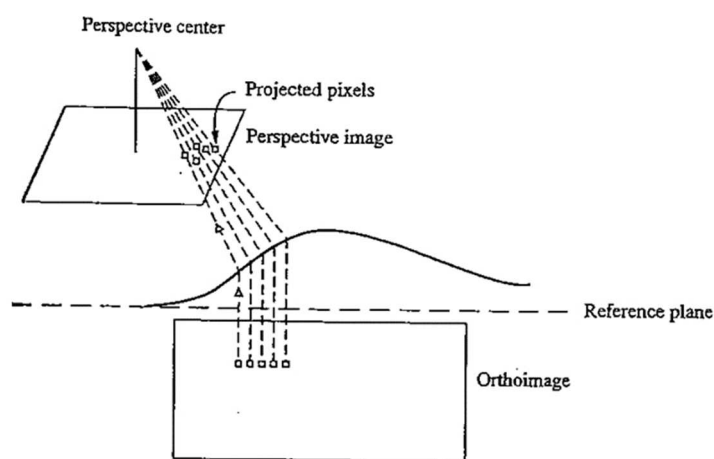


圖 2.3 正射影像倒投影(Mikhail et al., 2001)

2.2 臺中港區空間資料蒐集與建構

2.2.1 控制點測量

控制測量作業採用GNSS靜態量測方式獲取三維空間資訊，本計畫於臺中港區共施測16個地面控制點，並採用臺中港一等衛星連續追蹤站TACH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2.4所示。表2-1為測量成果與精度，其平面精度達 ± 0.6 公分，高程精度達 ± 1 公分，優於本案所設定平面 ± 2 公分高程 ± 5 公分之需求。

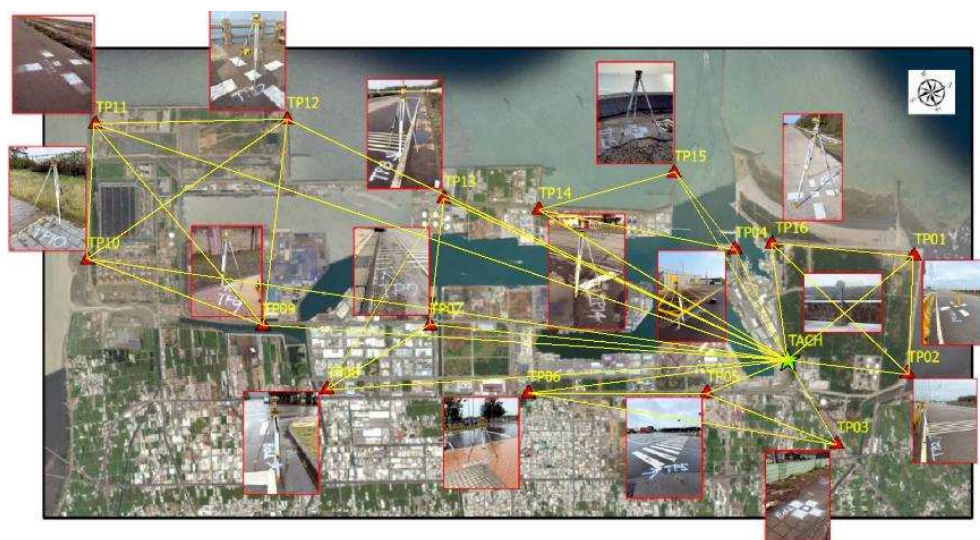


圖 2.4 臺中港區地面控制點與基線分布圖

表 2-1 臺中港區地面控制點測量成果與精度表

點號	縱坐標(m)	橫坐標(m)	橢球高(m)	正高(m)	高程精度 (m)	平面精度 (m)
TACH	2687312.357	202810.418	33.793	15.041	-	-
TP01	2689675.952	202050.486	23.829	5.168	0.006	0.004
TP02	2688907.761	203647.390	23.549	4.803	0.004	0.003
TP03	2687519.287	204220.450	23.911	5.110	0.003	0.002
TP04	2687220.221	200934.204	22.183	3.523	0.002	0.002
TP05	2686004.906	202771.865	23.064	4.292	0.005	0.003
TP06	2683517.914	201749.579	23.220	4.481	0.009	0.006
TP07	2682535.014	200242.816	23.794	5.095	0.005	0.003
TP08	2680734.793	200537.762	24.006	5.282	0.006	0.004
TP09	2680209.661	199282.845	23.876	5.203	0.006	0.005
TP10	2678145.196	197359.104	24.433	5.810	0.008	0.006
TP11	2679032.276	195521.533	23.932	5.381	0.017	0.010
TP12	2681723.685	196561.201	29.500	10.947	0.015	0.007
TP13	2683454.603	198557.167	23.167	4.557	0.014	0.007
TP14	2684714.113	199262.772	22.899	4.275	0.003	0.002
TP15	2686807.186	199524.408	24.042	5.436	0.002	0.002
TP16	2687767.314	201070.195	23.451	4.795	0.002	0.002
RMSE	-	-	-	-	0.010	0.006

2.2.2 影像資料蒐集

臺中港區幅員廣大，本次施測面積包含臺中港陸域及部分水域面積共約為五千公頃，全案以多個視角蒐集全臺中港測區影像，其基本資料如表2-2所示，以航高為120m共計飛行25條航帶，涵蓋所有地面控制點，每個控制點至少涵蓋兩條航帶，圖2.5為本案影像拍攝點位分布，採用VTOL定翼機進行拍攝，每一位位置同時拍攝5張影像，總計拍攝8885張影像，單張影像原始解析度寬11608x高8708。影像重疊率如圖2.6所示，符合縱向達80%、橫向達60%之標準，基本資料表如表2-2所示。

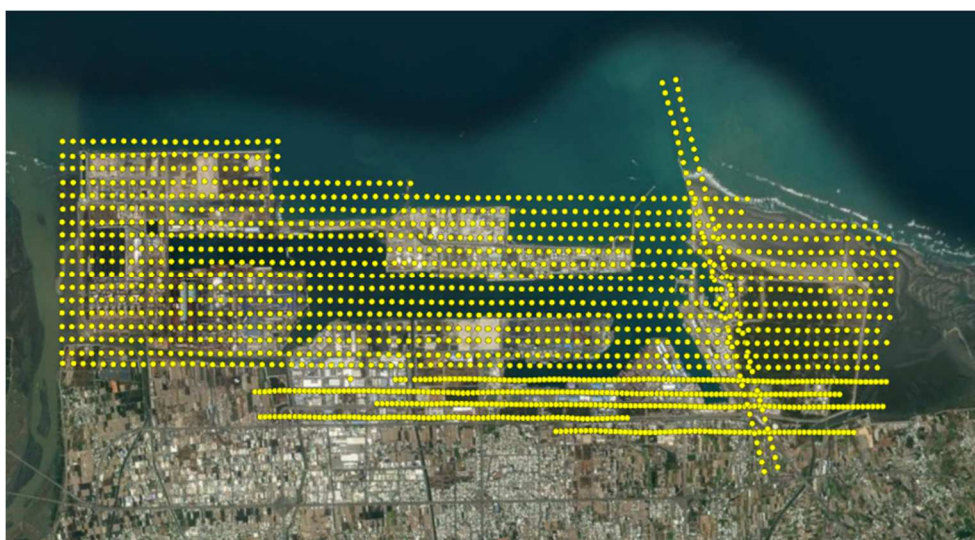


圖 2.5 航帶範圍與控制點分布圖

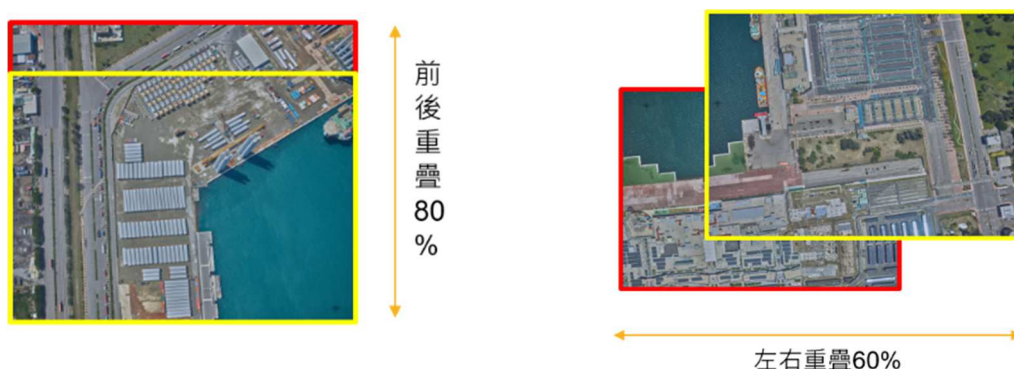


圖 2.6 影像拍攝重疊率

表 2-2 影像資料蒐集基本資料表

項目	內容
無人機	VTOL 定翼機
航高	120m
航帶數量	25 條
航線間距	65m
影像數量	8885(每一位置五張)
重疊率	縱向重疊 80% 橫向重疊 60%
單張影像大小	寬 11608×高 8708

2.3 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，以數字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。另關於數值地形模型中水位資料，本案依據海軍大氣海洋局公告105年至110年潮汐表，計算潮位資料，如圖2.7計算近六年平均潮位為3.089m，再依據中央氣象局臺中港潮位資料，對應至平均潮位高(正高)為0.096m，此高程是相對於TWVD2001高程基準，此平均潮位高將用於修正DSM水域高程資料，數值地形模型成果如圖2.8所示，空間解析度達10cm。

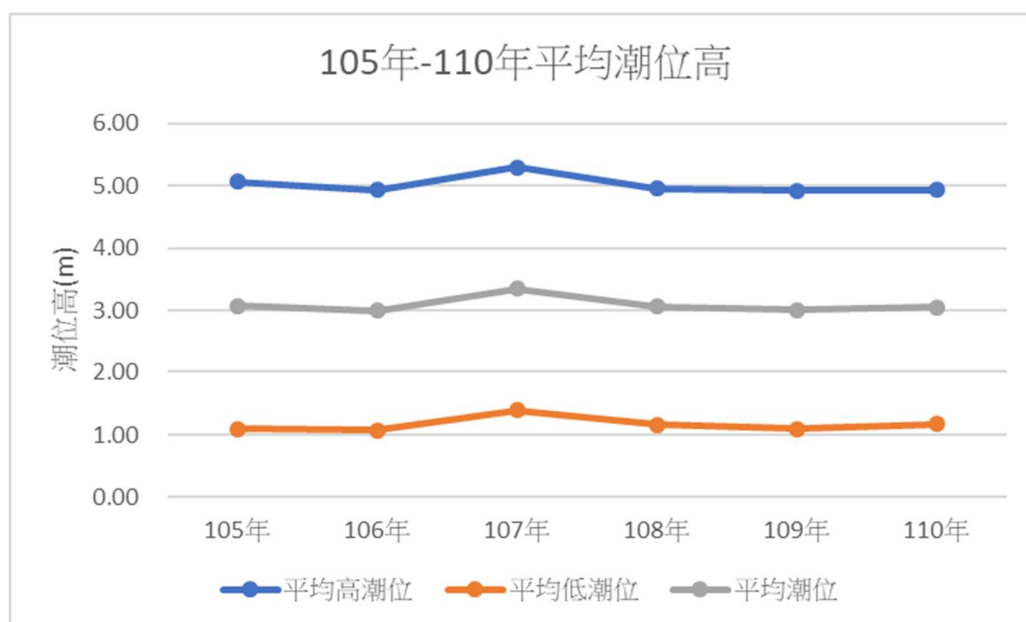


圖 2.7 臺中港區 105 年至 110 年平均潮位圖（海軍大氣海洋局潮汐表計算）

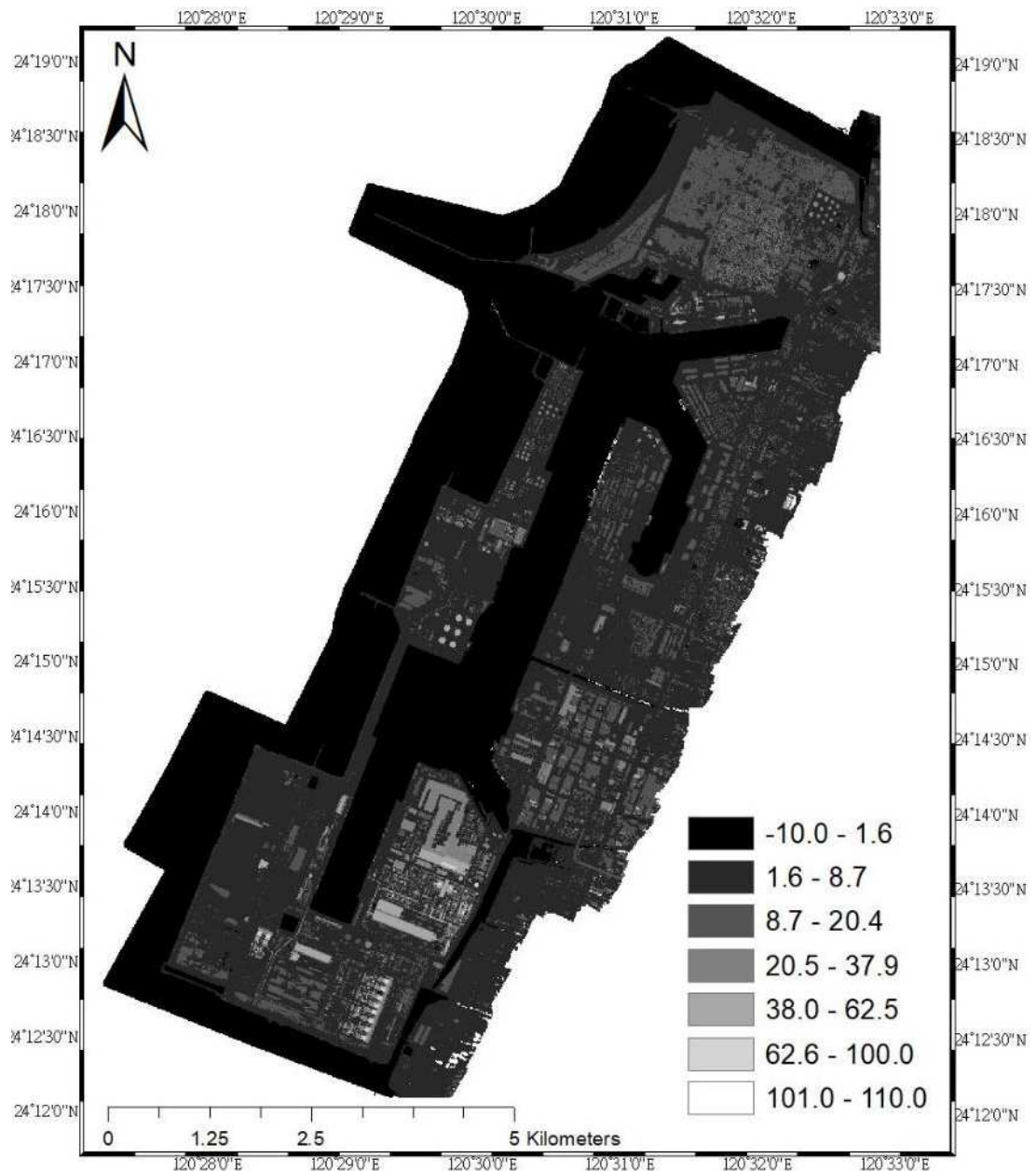


圖 2.8 臺中港數值地形圖

2.3.1 臺中港區高解析度正射影像成果

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2.9所示，再由圖2.10(a)與圖10(b)經實際驗證，影像解析度達5cm。

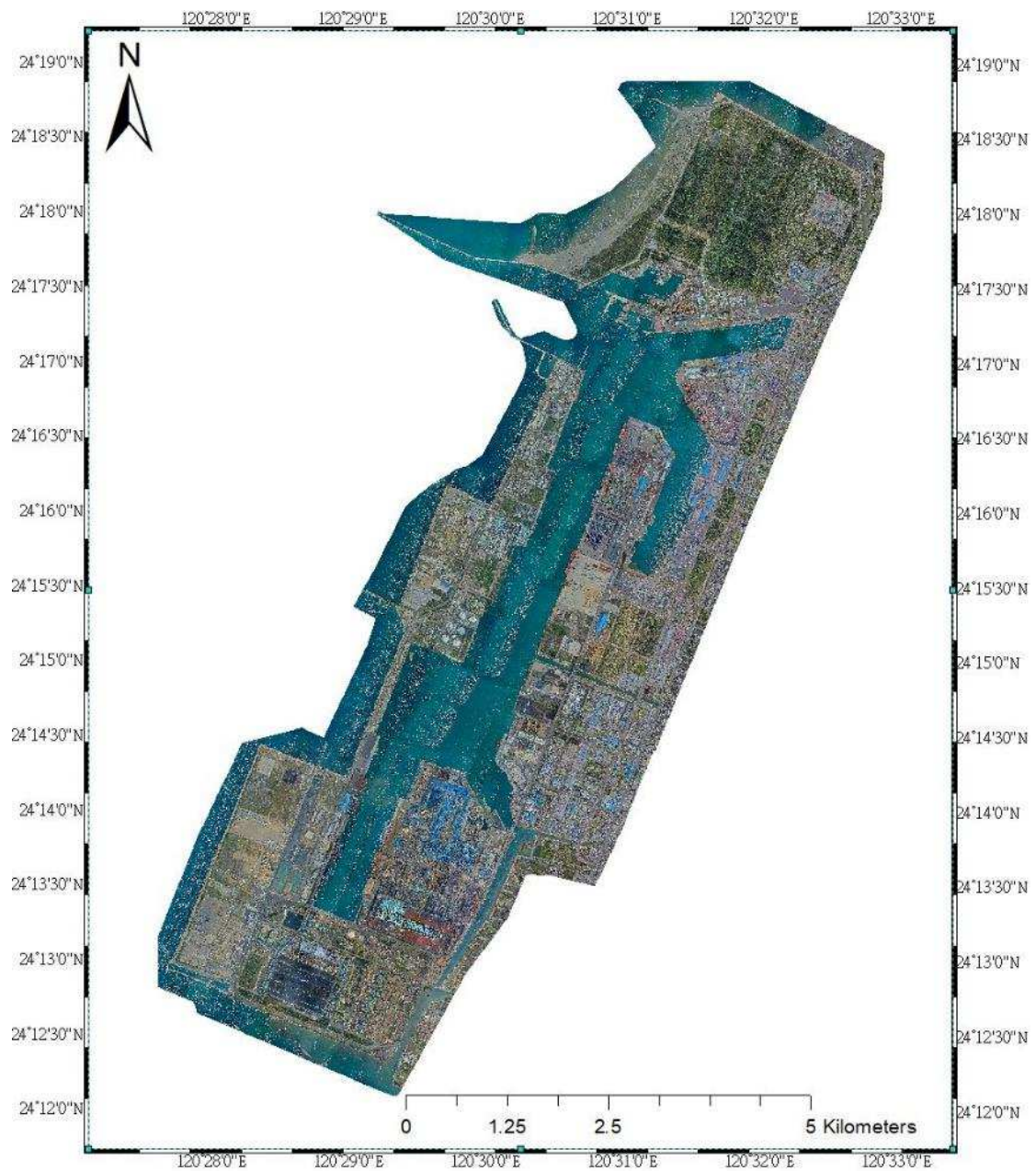
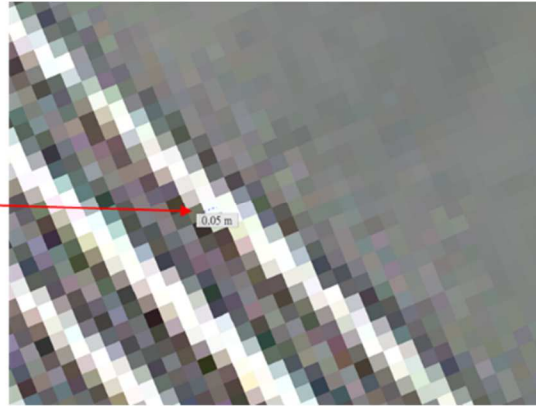


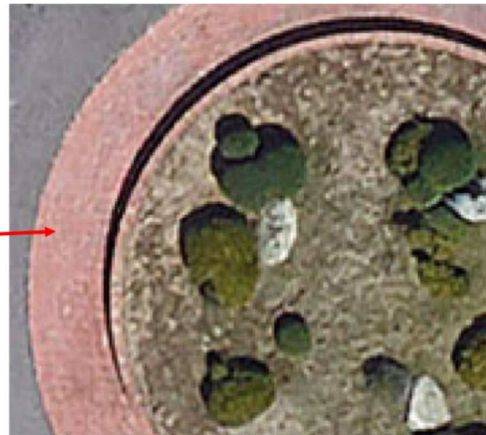
圖 2.9 臺中港區高解析正射影像圖



(a)



(b)



(c)



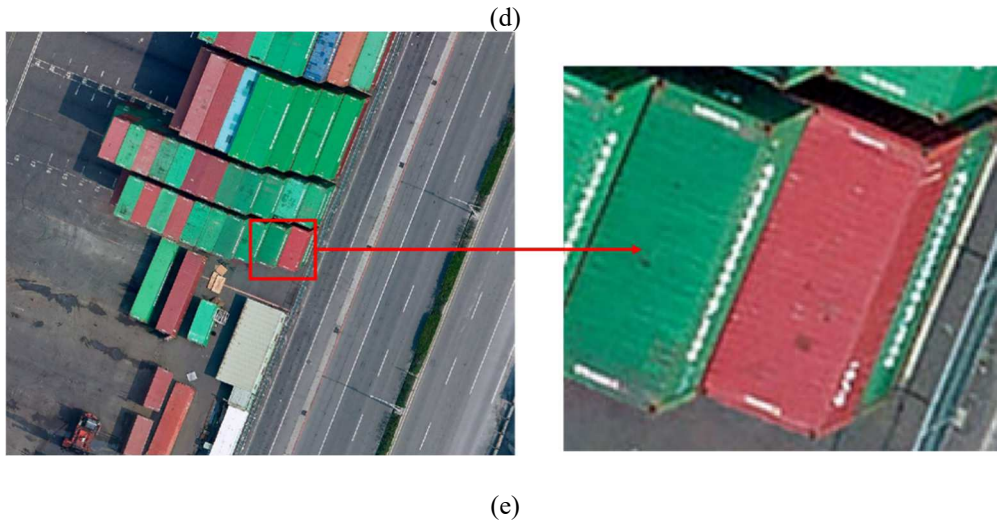


圖 2.10 臺中港區正射影像解析度展示圖

2.4 本章小結

關於基礎資料蒐集，本案進行了地面控制點測量與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，產製高精度與高解析度之正射影像底圖與數值高程模型，在影像上每個像素皆具有精確之空間資訊，後續將有效應用於港區巡檢以及影像對位等相關任務。

第三章 無人飛行載具以及影像感測器硬體分析

3.1 無人機載具種類性能與感測器分析

3.1.1 定翼機性能與搭配感測器分析

(1) 載具類型

定翼機獲得的升力是來自於空氣相對機翼的作用力所提供。因此執行任務時，不容易在天空停留，必需持續的前進。載具的推力則使用螺旋槳推進，或是噴射引擎提供。此外，定翼機的大小，決定了飛行的時間與範圍，也影響著能酬載的重量大小，更重要的是影響著飛行的穩定性。因此，本案針對定翼機的重量進行分析，如表3-1所示，依據民航局遙控無人機管理規則進行分類。此外，為了方便說明，本案將不同級別的無人機以Type1至Type4呈現。

表 3-1 民航局無人機證照與重量分級表（整理自遙控無人機管理規則）

旋翼無人機	定翼無人機	重量	個人休閒娛樂 用、無涉例外限制排除	執行政府機關(構)、 學校或法人業務 (得執行例外限制排除項目)
本案代稱				
Type1	-	未達 2kg (250g 以下)	免操作證	1a(未逾 2 公斤註記) (高級專業操作證)
Type2	Type1	未達 2kg (250g-2kg)		
Type3	Type2	2 公斤以上、未達 15 公斤 (裝置導航設備)	普通操作證 (學科測驗)	
Type4	Type3	15 公斤以上、未達 25 公斤	同基本級操作證 (學、術科測驗)	1b (高級專業操作證)
-	Type4	25 公斤以上、未達 150 公斤		11c (高級專業操作證)

本案將定翼機依照重量分為四個類別，如圖3.1與圖3.2所示為Type1、Type2、Type3、Type4，再以表3-2比較不同級距無人機之差異。Type1重量為250克-2公斤，屬於較輕量型的定翼機，這個級別中較具代表性的機種為eBee X Fixed，具有高度穩定性，且可投擲飛行。在Type1大部分的機種可飛行時間約為45-60分鐘，測繪模式單次飛行範圍約200公頃，常見用於地形測繪與巡檢飛行。Type2重量

為2公斤-15公斤，如本案使用VX2300新式固定翼混合動力無人機，以旋翼的方式垂直起降後再變形為定翼飛行，不受限於地區影響。在Type2大部分的機種可飛行時間可飛行時間約為60-120分鐘，測繪模式中單次可飛行範圍約700公頃，航高可達4000m。Type3重量為15-25公斤，如Quantum-Systems Tron F90+同樣也是新型固定翼混合動力無人機，可飛行時間與飛行範圍皆與Type2相同，但抗風性與載重能力優於Type2。Type2與Type3是目前是最為被廣泛使用的無人機，包含了續航力佳、載重佳，與體積適中等優點。常見的光達學雷達儀皆載重於此機型上。Type4重量為25公斤以上，如臺灣國產研發新式Sky Arrow 55，具有超長飛行時間達120分鐘以上，航高可達4000m。單次飛行範圍是最大的機種，同時也能負載較重的儀器，在抗風性的表現上也最為優秀，常用於執行特殊任務，或氣象資料蒐集等用途。

表 3-2 定翼機載具分級表

項目	Type1	Type2	Type3	Type4
重量	250 克-2 公斤	2 公斤-15 公斤	15 公斤-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	1.地形測繪 2.巡檢飛行	1.地形測繪 2.巡檢飛行	1.地形測繪 2.大範圍巡檢飛行	1.地形測繪 2.大範圍巡檢飛行 3.氣象資料蒐集



(a)



(b)

圖 3.1 (a)Type1e 定翼機 Bee X Fixed (b)Type2 定翼機 VX2300



(a)



(b)

圖 3.2 (a)Type3 定翼機 Quantum-Systems Tron F90+ (b)Type4 定翼機 Sky Arrow

(2) 飛行里程計算

港區範圍幅員廣大，因此對於載具的飛行里程，需進一步納入考量，以利後續相關應用能快速評估適用性。然而影響著飛行里程的首要條件為無人機電池續航時間，目前原廠公告的無人機續航時間，是在理想情況下，天候狀況良好時，無人機原廠提供的飛行範圍如圖3.3。然而，考量到本案位於氣候條件不佳的港區，需再將電力總飛行時間乘上安全係數。目前常見的安全係數為0.7。此安全係數為本案根據天候狀況進行調整。接著就是透過總飛行時間來計算里程，如表3-3所示，以Type2作為範例，在0.7安全係數的考量下飛行總里程為113.4km。透過表3-4，估計所有種類的無人機在安全係數下的飛行總距離，再以圖3.4視覺化呈現預估飛行範圍。

表 3-3 定翼機飛行總里程範例計算

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	30m/s*3780s=113.4km

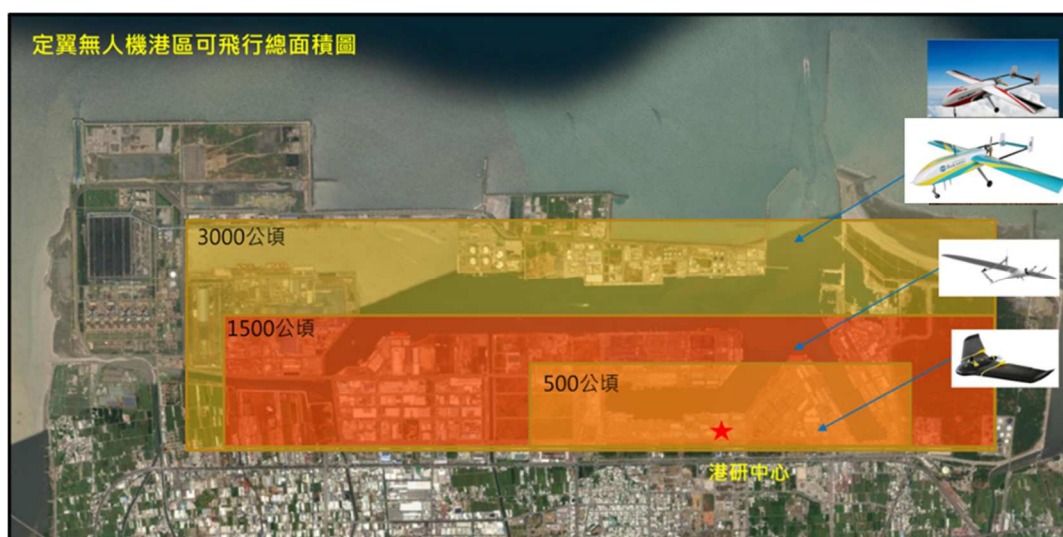


圖 3.3 定翼機最大飛行範圍圖（以港研中心為中心）

表 3-4 定翼機不同安全係數飛行總里程計算

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



圖 3.4 定翼機安全係數 0.7 飛行面積範圍圖（以港研中心為中心）

(3) 感測器分析

定翼機具有體積大，航行穩定的優勢，因此所能酬載的感測器較為廣泛，目前常見的包含光學相機、熱感相機、光達。首先為光學相機，主要用於拍攝可見光影像，提供後續影像辨識、影像分類等分析用途，光學影像解析度越高，所獲得的影像資訊越多。如表3-5所示為光學相機的主要規格，在Type1部分，無人機重量較輕，酬載約在500g以下，因此大部分多為模組鏡頭，較難搭載高解析度規格的相機，解析度主流為5472x3648。在航高120m時可達到3.3cm/pixel的地面解析度。另一方面，Type2,3,4的部分，隨著可搭載較重的酬載，重量約為5kg以下，相機的規格也隨之提升，解析度可高達9504x6336，於航高120m時地面解析度可達2.3cm/pixel。

第二種感測器為熱感應相機，能對於物體散發出的紅外線，進行感光成像，經常用於溫度檢測。如表3-6所示，各種類型的無人機皆有熱像鏡頭模組，或可替換式鏡頭模組，解析度主流規格為640x512，在航高120m時地面解析度可達28.1cm/pixel。

第三種感測器為光達，為雷射發射器所發出的脈衝雷射光，由載具射出至地面上，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3-7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120m點密度為150pts/m²。(2) 46°向下視野，航高120m點密度為300pts/m²。(3) 100°半視野，航高120m點密度為680pts/m²。本案將三種感測器與不同類型無人機整合於表3-8，依照需求選擇適用的無人機機型與感測器。

表 3-5 定翼 UAV 可搭載之光學相機規格表

光學相機	Type1	Type2,3,4
		
型號	senseFly S.O.D.A.	SONY A7RIV A7R4A
種類	模組鏡頭&可替換式鏡頭	模組鏡頭&可替換式鏡頭
像素	1600 萬畫素	6100 萬畫素
解析度	5472x3648	9504 x 5344
感光元件	1 英吋 CMOS	1 英吋 CMOS
相機重量	500 克以下	5 公斤以下
航高 120m 地面解析度	3.3cm/pixel	2.3cm/pixel

表 3-6 定翼 UAV 可搭載之熱感應相機規格表

熱感應相機	Type1	Type2,3,4	Type2,3,4
			
型號	senseFly S.O.D.A.	FLIR A65	HD40
種類	模組鏡頭&可替換式鏡頭	可替換式鏡頭	模組鏡頭
解析度	640x512	640x512	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	28.1cm/pixel	28.1cm/pixel	28.1cm/pixel

表 3-7 定翼 UAV 可搭載之光達規格表

光達	Type2,3,4		
			
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

表 3-8 定翼 UAV 可搭載感測器統整表

類型	光學相機	熱感應相機	光達
用途	1.巡檢拍攝 2.一般監測 3.大範圍地形測繪	溫度檢測	大範圍三維空間資料蒐集
Type2	可掛載、可替換 GSD: 3.3cm/pixel	可掛載、可替換 GSD: 28.1cm/pixel	可掛載、可替換 點密度: 150pts/ m^2
Type3	可掛載、可替換 GSD: 2.3cm/pixel	可掛載、可替換 GSD: 28.1cm/pixel	可掛載、可替換 點密度: 300pts/ m^2
Type4	可掛載、可替換 GSD: 2.3cm/pixel	可掛載、可替換 GSD: 28.1cm/pixel	可掛載、可替換 點密度: 680pts/ m^2

3.1.2 旋翼機性能與搭配感測器分析

(1) 載具類型

多旋翼機是由多個旋翼動力組所組成的飛行器，亦具有垂直起降的功能。根據載台的酬載與滯空能力，可隨時改變飛行的速度、高度及方向，其機動性相對較高，具備垂直起降及停懸的能力，適合地表起伏變化較大的區域。針對多旋翼無人機的重量進行分析，如表3-9示依據民航局所設定多旋翼無人機重量與證照分級規範標準分成Type1、Type2、Type3、Type4四個類別，其規格如表3-9所示。

Type1重量為250克以下，如K60PRO 6K是屬於較輕量型的多旋翼機，Type1中大部分的無人機可飛行時間約為15分鐘，飛行總里程約2750m，常見用於室外小範圍飛行或定點飛行，不適用於巡檢任務。Type2重量為250克-2公斤，目前這個級別表現最佳為Yuneec Typhoon H Pro，2公斤以下的重量但搭載了六旋翼，同級別中少有此配備，固提升了穩定度，並具有前置超聲波避障感應器，是目前最新型的機種。本案使用法國Parrot Anafi 4K，機身設計可靈活執行飛行且鏡頭可調角度整範圍為所有機種中最廣的，適合巡檢任務。

此外，Type2也屬大眾最常使用的多旋翼機，大部分的無人機可飛行時間約為25分鐘，飛行總里程約4850m。Type3重量為2公斤-15公斤，如表現較好且較新型的機種為德國Aibotix X6，為六軸無人機，可替換多種感測器，Type3中大部分的無人機可飛行時間約為20分鐘。Type2與Type3常應用於地形測繪與巡檢飛行。Type4重量為15公斤-25公斤，為分級中最重的無人機，大部分被應用於農噴或其他特殊用途，如國產EG2 Pro植保機。

表 3-9 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 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	250 克	250 克-2 公斤	2 公斤-15 公斤	15 公斤-25 公斤
重量	室外小範圍 定點拍攝	地形測繪 巡檢飛行	1.地形測繪 2.巡檢飛行	農噴或特殊用途



(a)



(b)

圖 3.5 (a)Type1 多旋翼機 K60PRO (b) Type2 多旋翼機 Yuneec Typhoon H Pro



(a)



(b)

圖 3.6 (a)Type3 多旋翼機 Aibotix (b) Type4 多旋翼機 EG2 Pro

(2) 飛行里程計算

本案多旋翼無人機，主要應用於巡檢監測，因此飛行路徑將更為複雜，可能包含多個航線轉折、航高變化以及考量港區天候變化，因此評估電力總飛行時間，除了一般情況下乘上0.7以外，本案另外加入了乘上0.5的係數，用於天候條件不佳時的評估方式。里程計算方式如表3-10所示，以Type2無人機為例，多旋翼機的起降，需要較長的時間，因此起降將會造成一定電力損耗，故需納入考量。在Type2機型配合0.7的安全係數，預估飛行總距離為4850m。依據此計算方法，如表3-11所示本案估計了不同種類之無人機，在不同安全係數下的單程最遠飛行距離，再以圖3.7與圖3.8視覺化呈現包含折返時，最遠飛行範圍。圖中明顯得知0.5的安全係數範圍明顯比0.7安全系要小的多，在天候狀況較不穩定時，應採取安全係數0.5做為巡檢考量。

表 3-10 多旋翼 UAV 飛行總里程範例計算

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 3-11 多旋翼 UAV 不同安全係數飛行總里程計算

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

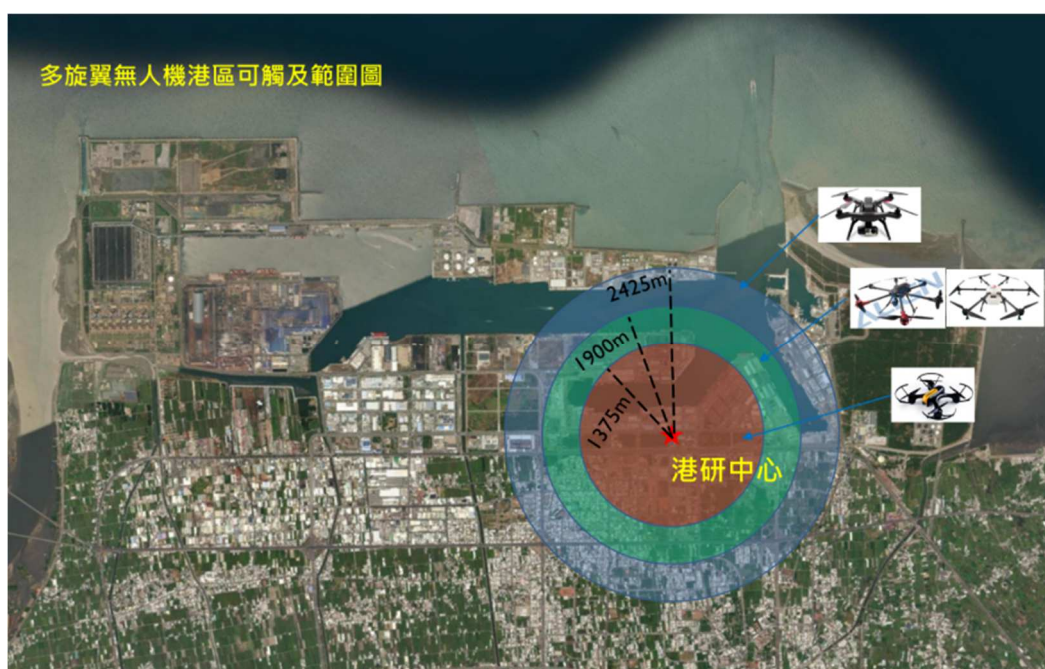


圖 3.7 多旋翼機安全係數 0.7 飛行面積範圍圖（以港研中心為中心）



圖 3.8 多旋翼機安全係數 0.5 飛行面積範圍圖（以港研中心為中心）

(3) 感測器分析

多旋翼無人機具有靈活的飛行優勢，對於不同區域地形的資料蒐集，有強大優勢，因此能酬載的感測器也包含了光學相機、熱感相機、光達。首先為光學相機，表3-12與表3-13列出了完整規格，在Type1與Type2的部分，酬載的感測器通常為原廠設定鏡頭模組，提供了較完整的系統整合，也有部分機種是可更換感測器。Type1主流的解析度為3840x2160，航高120m地面解析度為4.7cm/pixel，Type1被定義為娛樂用無人機，但也能提供不錯的解析度。Type2可搭載高解析度的模組鏡頭，主流的解析度為5344x4016，航高120m地面解析度為3.8cm/pixel，此種規格已能應付大部分的監測或測繪需求。Type3主流解析度為6000x4000，航高120m地面解析度為3.0cm/pixel，Type4主流解析度為7952x5304，航高120m地面解析度為3.0cm/pixel。Type3與Type4可搭載更高規格之可替換式鏡頭，甚至達電影創作等級規格，更可依照需求更換定焦或變焦鏡頭。

第二種感測器為熱感應相機，在表3-14列出了完整規格，目前在所有機種中，較不常見配置模組化鏡頭，目前僅有Type2的機型有

模組化鏡頭，通常需要另外加裝在機身上。Type2由於受限於酬載重量，因此無法加載更優秀的鏡頭，主流解析度為320x256，航高120m地面解析度為56.3cm/pixel。Type3與Type4可掛載高階鏡頭，主流解析度為640x512，航高120m地面解析度為28.1cm/pixel。

第三種感測器為光達，由於受限於儀器酬載極限，目前僅有Type3與Type4可搭載，其規格如表3-15所示。此外，為了配合多旋翼無人機靈活的特性，主流為搭載360°全視野的掃瞄儀，航高80m點密度為85pts/m²。此外，相比定翼機搭載的光達，多旋翼機更能在小區域定點蒐集完整且細緻化的資料。本案將三種感測器與不同類型無人機整合於表3-16，依照需求選擇適用的無人機機型與感測器。

表 3-12 多旋翼 UAV Type1、2 可搭載之光學相機規格表

光學相機	Type1	Type2
		
型號	K60PRO 6K Cam	Parrot Anafi 4K Cam
種類	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
解析度	3840x2160	5344 x 4016
感光元件	1/2.3 英吋 CMOS	1/2.4 英吋 CMOS
相機重量	100 克以下	200 克以下
航高 120m 地面解析度	4.7cm/pixel	3.8cm/pixel

表 3-13 多旋翼 UAV Type3、4 可搭載之光學相機規格表

光學相機	Type3	Type4
		
型號	SONY A7R II	SONY A7RIV A7R4A
種類	模組鏡頭&可替換式鏡頭	模組鏡頭&可替換式鏡頭
像素	4240 萬畫素	6100 萬畫素
解析度	7952 x 5304	9504 x 5344
感光元件	1 英吋 CMOS	1 英吋 CMOS
相機重量	5 公斤以下	5 公斤以下
航高 120m 地面解析度	3.0cm/pixel	2.3cm/pixel

表 3-14 多旋翼 UAV 可搭載之熱感應相機規格表

熱感應相機	Type2	Type2	Type3,4
			
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 3-15 多旋翼 UAV 可搭載之光達規格表

光達	Type3,4	
		
型號	YellowScan	
種類	全視野	
FoV	360°	
重量	1.7 公斤	
航高 80m 點密度	85pts/ m^2	

表 3-16 多旋翼機可搭載之感測器統整表

類型	光學相機	熱感應相機	光達
用途	1.巡檢拍攝 2.一般監測	溫度檢測	小範圍三維空間資料蒐集
Type1	可掛載; GSD: 4.7cm/pixel	無法掛載	無法掛載
Type2	可掛載 GSD: 3.8cm/pixel	可掛載 GSD:56.3cm/pixel	無法掛載
Type3	可掛載、可替換 GSD: 3.0cm/pixel	可掛載、可替換 GSD: 28.1cm/pixel	可掛載、可替換 點密度: 85pts/ m^2
Type4	可掛載、可替換 GSD: 2.3cm/pixel	可掛載、可替換 GSD: 28.1cm/pixel	可掛載、可替換 點密度: 85pts/ m^2

3.2 港區氣象資料

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，天候又更為多變，故本案蒐集了臺中港周邊的氣象站包含T2, T5, T6, T8之逐時風速資料與梧棲站降水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 臺中港氣象站分布圖

3.2.1 無人機抗風與防水條件定義

本案列出了多旋翼無人機與定翼無人機的最大抗風條件，如表 3-17 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 3-17 提供了無人機對應風速建議之安全係數。

表 3-17 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

為了評估各類無人機於適用於港區之飛行範圍，如圖3.10所示劃定A, B, C, D四個區域，長約為13356m，寬約為2000m，並標示四角坐標於圖面上，再以逐時風速資料評估各區域內最適用之無人機。本案以趨勢內插法(Linear Trend Interpolation)(Luo et al., 2008)計算全港區所有範圍風速趨勢。計算式如式(3)。

$$W_i = a_0 + a_1x_i + a_2y_i \quad i = 1, 2 \cdots n \quad (3)$$

其中 (x_i, y_i) 為測站位置平面坐標; a_0, a_1, a_2 為求解擬和參數; W_i 為擬合風速成果。

$$V + B\Delta = f \quad (4)$$

$$N = B^T W B \quad (5)$$

$$t = B^T W f \quad (6)$$

$$\Delta = (B^T W B)^{-1} B^T W f \quad (7)$$

式(4)為使用間接觀測觀測平差公式求解式(3)，其中V為改正數矩陣，表示針對觀測量進行改正;B為係數矩陣，在矩陣中包含了平面坐標所構成的係數; Δ 為未知參數矩陣，也就是 a_0, a_1, a_2 ;f為觀測量矩陣，將每一個位置的風速值代入。式(5)與式(6)N與t為法方程式求解;W權矩陣，在本案中設定為等權。式(7)為法方程式N的逆矩陣與t乘積，透過該式即可求出參擬合參數 a_0, a_1, a_2 之 Δ 矩陣。最後需將擬合參數代回式(3)，只需要輸入分區範圍內任意平面坐標至式即可內插出風速值。

如圖3.11與圖3.12所示，最後再透過式(3)內插成網格資料，將每區的逐時風速的網格資料取平均值，並把逐時風速資料標準化單位為日，依據各區每月逐日風速趨勢變化，再透過表3-17的無人機抗風條件，即可得知一個月內共有幾天符合抗風條件，再除以一個月的天數(標準化)，即可獲得無人機可飛行天數百分比。不同區之各類型無人機可飛行天數百分比如圖3.13至圖3.14呈現，不同顏色表示不同級風，紫色表示風速小於3級風，藍色表示風速介於3到4級風之間，綠色表示風速介於4到5級風之間，最後紅色為風速大於5級風，

表3-18至表3-21為數值成果，藍色為大於60%之可飛行天數百分比。

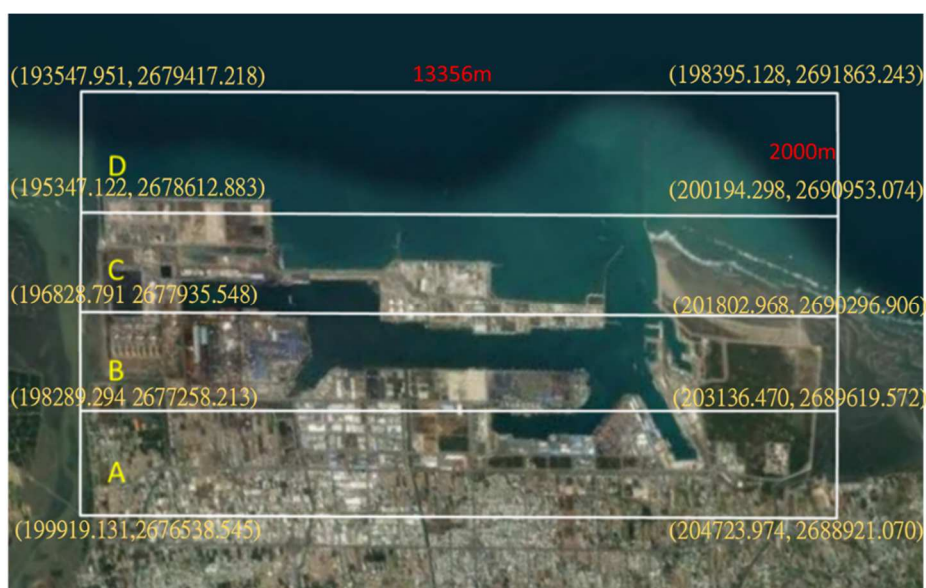


圖 3.10 臺中港區分區範圍圖

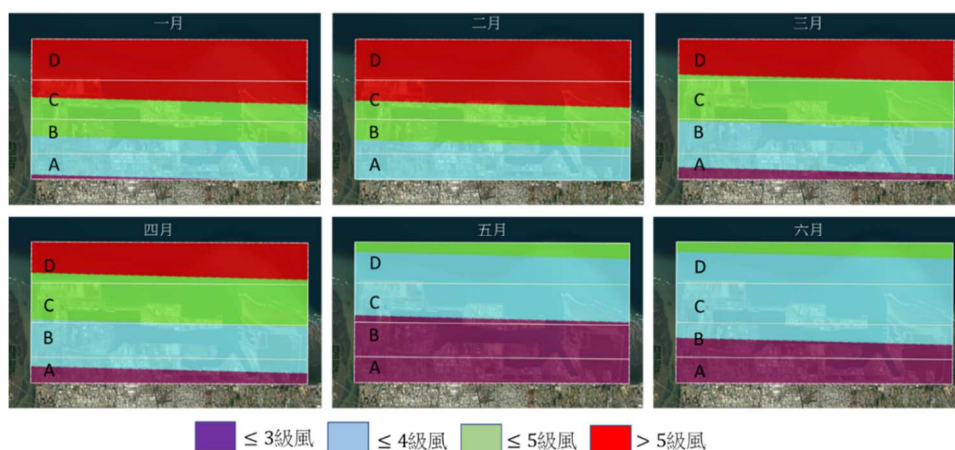


圖 3.11 臺中港區一月至六月平均風勢趨勢圖

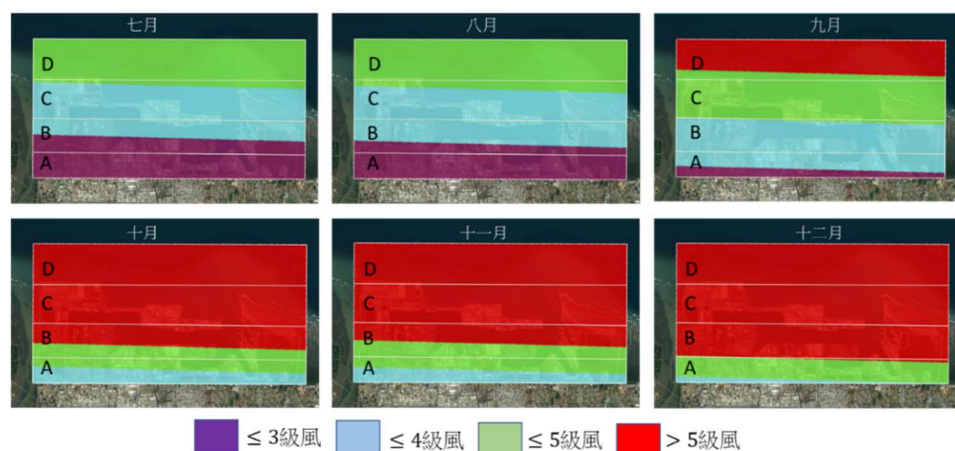


圖 3.12 臺中港區七月至十二月平均風勢趨勢圖

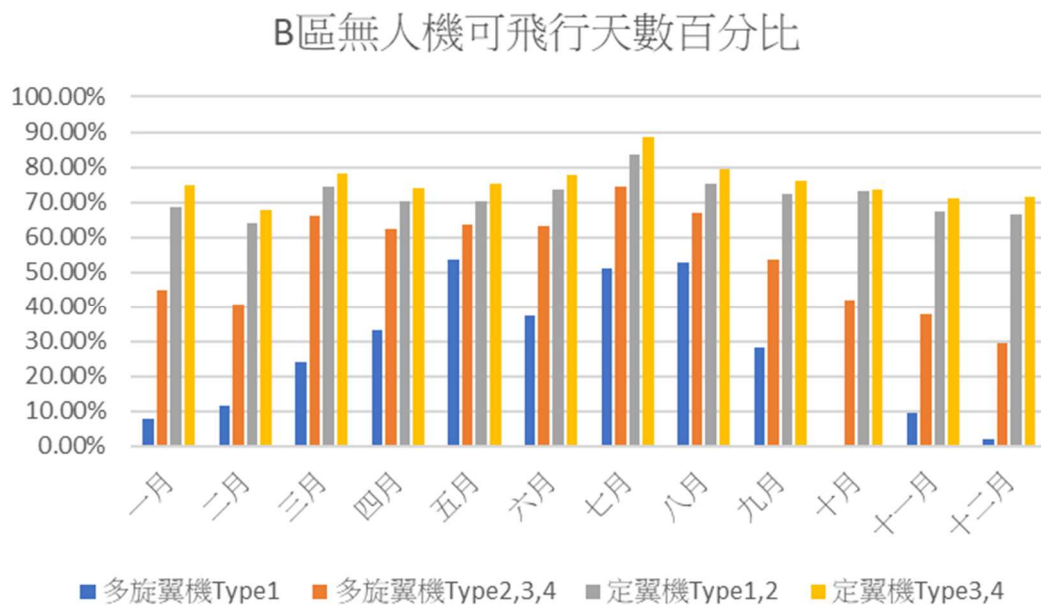
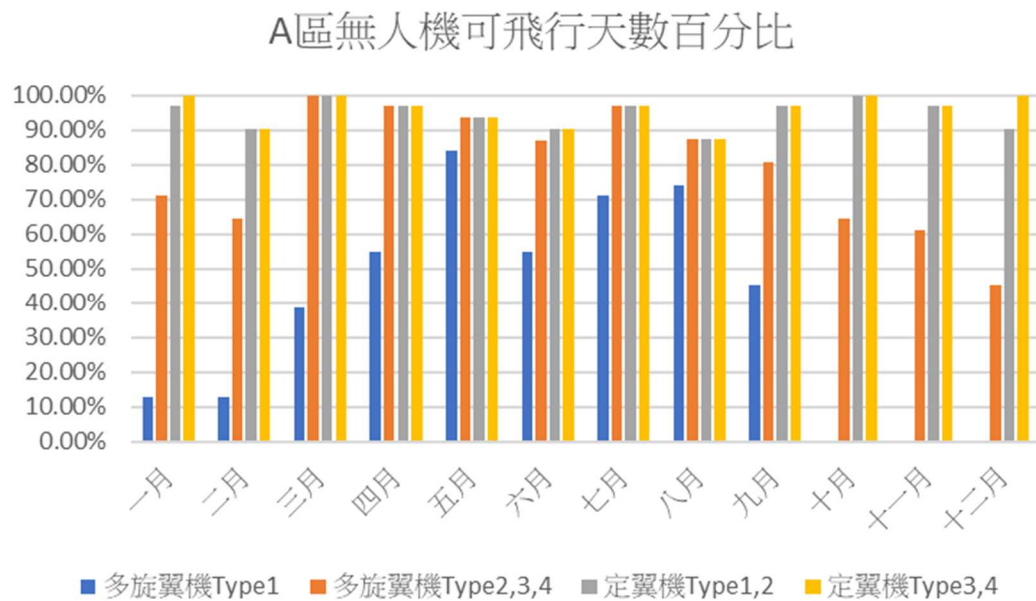
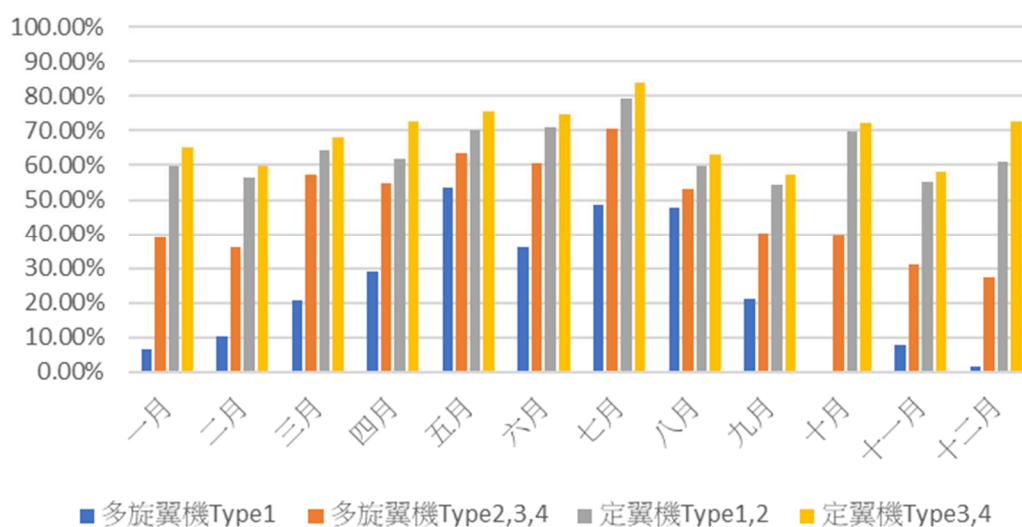


圖 3.13 臺中港 A 區與 B 區可飛行天數百分比圖

C區無人機可飛行天數百分比



D區無人機可飛行天數百分比

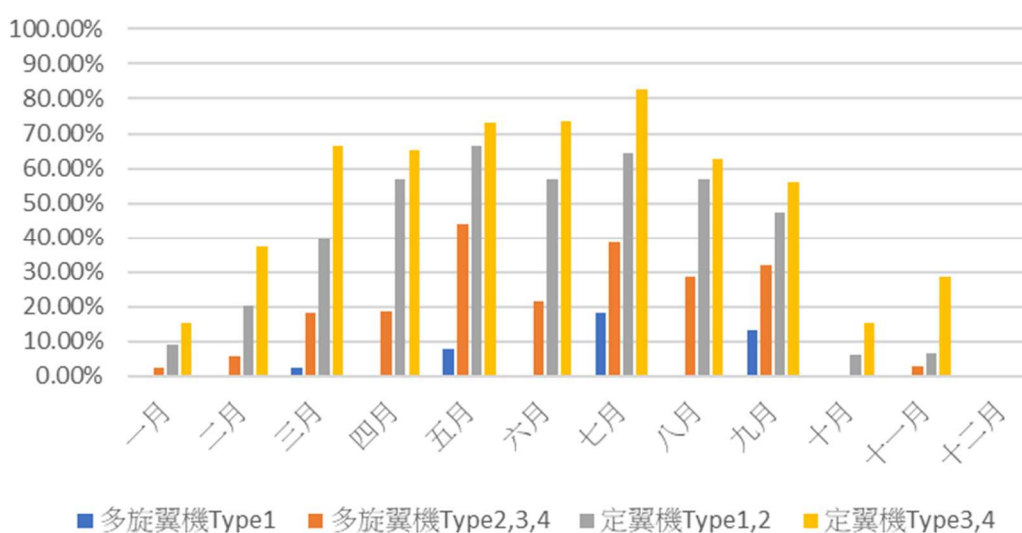


圖 3.14 臺中港 C 區與 D 區可飛行天數百分比圖

表 3-18 臺中港 A 區可飛行天數百分比表

無人機類型	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
多旋翼機 Type1	12.9%	13.0%	38.7%	54.8%	83.9%	54.8%	71.0%	74.2%	45.2%	0.0%	0.0%	0.0%
多旋翼機 Type2,3,4	71.0%	64.5%	100.0%	96.8%	93.5%	87.1%	96.8%	87.4%	80.6%	64.5%	61.3%	45.2%
定翼機 Type1,2	96.8%	90.3%	100.0%	96.8%	93.5%	90.3%	96.8%	87.4%	96.8%	100.0%	96.8%	90.3%
定翼機 Type3,4	100.0%	90.3%	100.0%	96.8%	93.5%	90.3%	96.8%	87.4%	96.8%	100.0%	96.8%	100.0%

表 3-19 臺中港 B 區可飛行天數百分比表

無人機類型	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
多旋翼機 Type1	7.6%	11.5%	23.9%	33.1%	53.5%	37.2%	51.2%	52.9%	28.1%	0.0%	9.3%	1.8%
多旋翼機 Type2,3,4	44.7%	40.6%	65.9%	62.4%	63.4%	63.0%	74.4%	66.8%	53.4%	42.0%	37.8%	29.6%
定翼機 Type1,2	68.6%	64.0%	74.2%	70.2%	70.1%	73.5%	83.7%	75.2%	72.2%	73.3%	67.1%	66.4%
定翼機 Type3,4	74.8%	67.6%	78.3%	74.1%	75.3%	77.5%	88.4%	79.3%	76.2%	73.5%	70.9%	71.5%

表 3-20 臺中港 C 區可飛行天數百分比表

無人機類型	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
多旋翼機 Type1	6.7%	10.1%	20.8%	29.1%	53.3%	35.9%	48.6%	47.7%	21.2%	0.0%	7.6%	1.3%
多旋翼機 Type2,3,4	39.1%	35.9%	57.3%	54.9%	63.6%	60.8%	70.6%	53.1%	40.2%	39.9%	31.0%	27.2%
定翼機 Type1,2	59.9%	56.5%	64.4%	61.7%	70.2%	70.9%	79.5%	59.8%	54.4%	69.6%	55.1%	61.1%
定翼機 Type3,4	65.4%	59.7%	68.0%	72.9%	75.5%	74.8%	83.9%	63.1%	57.4%	72.3%	58.1%	72.7%

表 3-21 臺中港 D 區可飛行天數百分比表

無人機類型	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
多旋翼機 Type1	0.0%	0.0%	2.6%	0.0%	7.8%	0.0%	18.1%	0.0%	13.4%	0.0%	0.0%	0.0%
多旋翼機 Type2,3,4	2.6%	5.7%	18.1%	18.6%	43.8%	21.4%	38.7%	28.4%	32.0%	0.0%	2.6%	0.0%
定翼機 Type1,2	9.2%	20.3%	39.8%	57.0%	66.5%	57.0%	64.3%	57.0%	47.5%	6.2%	6.4%	0.0%
定翼機 Type3,4	15.3%	37.3%	66.5%	65.2%	73.2%	73.6%	82.7%	62.7%	56.1%	15.3%	28.5%	0.0%

3.3 無人機適宜性評估

根據氣象資料評估，A區最適合多旋翼無人機Type1，四月、七月、八月平均風速約為4m/s以下，對應至逐日資料，超過60%可飛行天數，為所有區域中最高。B區最適合多旋翼無人機Type2,3,4，三至八月平均風速約為4m/s~6m/s以下，對應至逐日資料，超過60%可飛行天數。C區最適合定翼無人機Type1,2，三至七月與十月、十二月，超過60%可飛行天數。D區最適合定翼無人機Type3,4，三至八月，超過60%可飛行天數。此外，D區之無人機同時也可飛行於A,B,C區，C區之無人機可飛行A,B區，除了A區之無人機以外，其餘以此類推。

感測器部分，成果依照表3-9與3-16所示，多旋翼機Type1僅能掛載光學相機，以及多旋翼機Type2僅能掛載光學與熱像外，其餘機種皆能掛載各類感測器。本案將各區所適用的無人機飛行區域以及可掛載感測器以圖3.15呈現。



圖3.15 各區適宜無人機與可掛載感測器分布圖

3.4 本案巡檢無人機設備成本估算

以本案Type2多旋翼無人機為例，詳細估算如圖3.16。無人機與電池五年需汰換掉。5年2台無人機總價約為100,000-200,000元，再換算為每一年所耗費的無人機總價約為20,000-40,000元。電池設備五年總價約為40,000-80,000元，再換算為每一年的電池費用總價約為8,000-16,000元。無人機保險費用費兩年兩台總價約為30,000-40,000元，再換算為每一年費用總價約為15,000-20,000元。民航局無人機的申請許可為每一年為2,000元，並不限制無人機數量。無人機法人註冊兩年兩台總價為100元，換算為一年總價為50元。如表24所示，最後單位化為一年的總價為45,050-78,050元。

項目	單價	數量	總價	更新頻率
多旋翼無人機	50,000-100,000	2台	100,000-200,000	每五年
電池	5,000-10,000	8顆	40,000-80,000	每五年
保險	15,000-20,000	2台	30,000-40,000	每一年
民航局飛行申請許可	500	4次/年	2,000	每三個月
無人機法人註冊	50	2台	100	每兩年

圖 3.16 Type2 多旋翼無人機硬體購置與維護成本估算清單

表 3-22 Type2 多旋翼無人機五年攤提費用計價表

項目	換算一年總費用
多旋翼無人機	20,000-40,000 元
電池	8,000-16,000 元
保險	15,000-20,000 元
民航局飛行申請許可	2,000 元
無人機法人註冊	50 元
一年總價	45,050-78,050 元

3.5 本章小結

針對港區無人機作業，本案蒐集了不同種類的無人機，同時也明確定義各種無人機的特性以及飛行性能，再依據無人機的酬載能力選擇可掛載之感測器。此外，巡檢過程中最為重要的影響因素為天候，在天候佳的情況下對於無人機作業過程能更有效率執行，故本案再依據過去天候條件，經由數據分析明確劃分各個區域最適合使用之無人機以及可飛行之月份。透過本案分析，能針對不同種類之任務有最佳選擇之依據。

第四章 載具控制與取向邏輯方法

4.1 飛行模式建構方法

藉由以UAV對於港區地形資料的預先蒐集與繪製，得到相對應之三維空間資訊製作數值地表模型(DSM，Digital Surface Model)，作為無人載具飛行時之地圖資訊使用。本研究將會提供三種飛行模式：(1)地形測繪模式；(2)多點巡航模式；(3)單點環飛模式，作為無人載具執行任務時的功能選擇，完成功能模式之選擇，需設定取像方法之相關參數，包括待測目標物、相對飛行高度、影像參數，經由A-star路徑規劃演算法自動規劃各飛行點位，以完成整體飛行任務。無人載具之飛行與取向邏輯之整體流程如下圖27所示，並將會在下列各小節詳細說明。

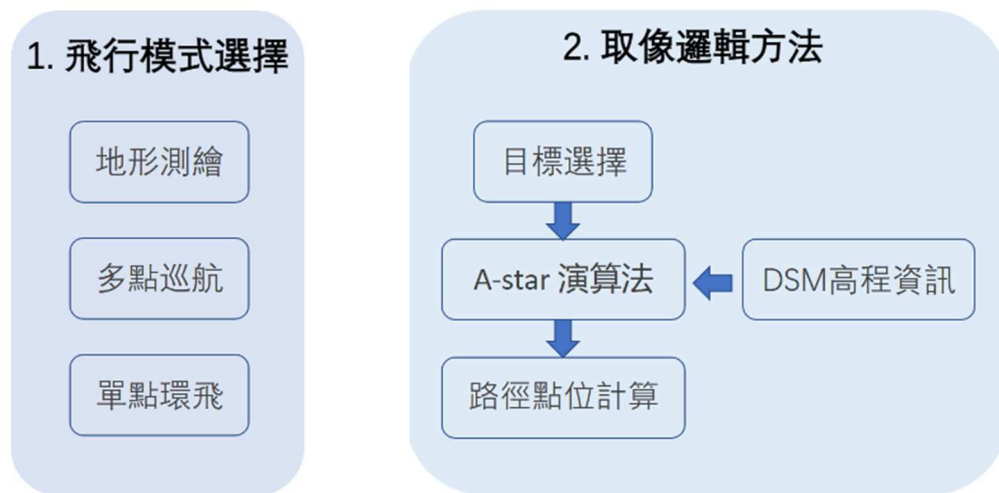


圖 4.1 無人載具之飛行與取向邏輯之整體流程

4.1.1 無人機地形測繪

地形測繪方法係為對指定區域進行範圍式區域檢視，可用於對地形物件之詳細檢驗抑或是連續性蒐集區域資料。在此方法中，需設置待測區域之範圍，並決定載具在任務中的相對飛行航高，相對航高將會決定在連續飛行中每個時刻下的離地高度，且需設定飛行之最大航高與飛行時之基本影像參數，完成上述參數設定後，將會

由A-star演算法計算在目標區域中各飛行點位如下示意圖，並估算任務之飛行時間，與預計拍攝之影像張數，完成飛行任務規劃。



圖 4.2 無人機地形測繪示意圖

4.1.2 無人機多點巡航

多點巡航方法係為連續對於多目標點位進行檢視與拍攝，可用於快速勘查特定區域或用於規律性之巡航作業。多點巡航下，需設置多個目標點位、相對飛行高度、飛行航高限制，與拍攝影像之相關基本參數，載具之飛行順序將依與起始飛行點位之距離進行排序，由A-star演算法計算點與點之間的預計飛行路徑，與估計飛行時間以及預計拍攝之影像張數，再依照點位順序進行飛行作業，並在任務完成後自動飛回起始點位。

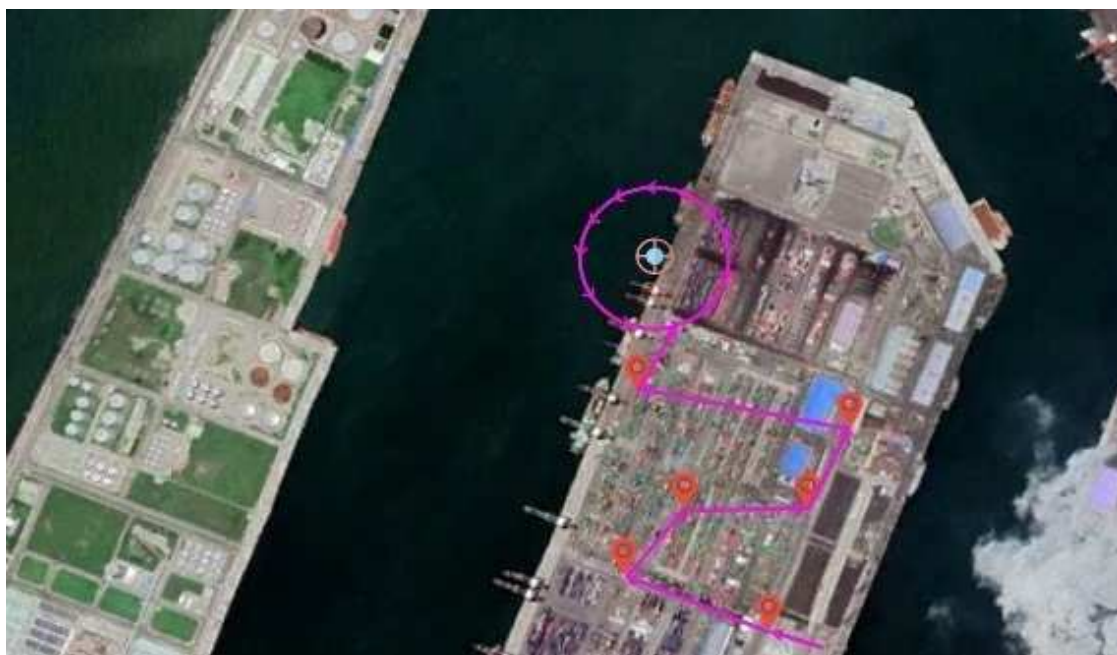


圖 4.3 無人機多點巡航示意圖

4.1.3 無人機單點環飛

單點環飛方法係為對地圖上單一物件或點位進行自動化環繞式飛行任務，在飛行中系統邏輯將會判斷物件之位置調整拍攝角度與方向，對相同特定物件進行連續性的拍攝，可執行針對特定事件之物體監測使用，能蒐集更細部且完整的資訊，以滿足的作業需求。此種模式下，需設置此物件之涵蓋範圍作為環飛範圍之判斷依據，以及相對飛行高度、飛行航高限制，與影像之相關基本參數，將所需條件設定完成後將由A-star演算法依目標物涵蓋範圍邊界計算環繞式飛行之各點飛行路徑，與估計飛行時間以及預計拍攝之影像張數，並在任務完成後自動飛回起始點位。

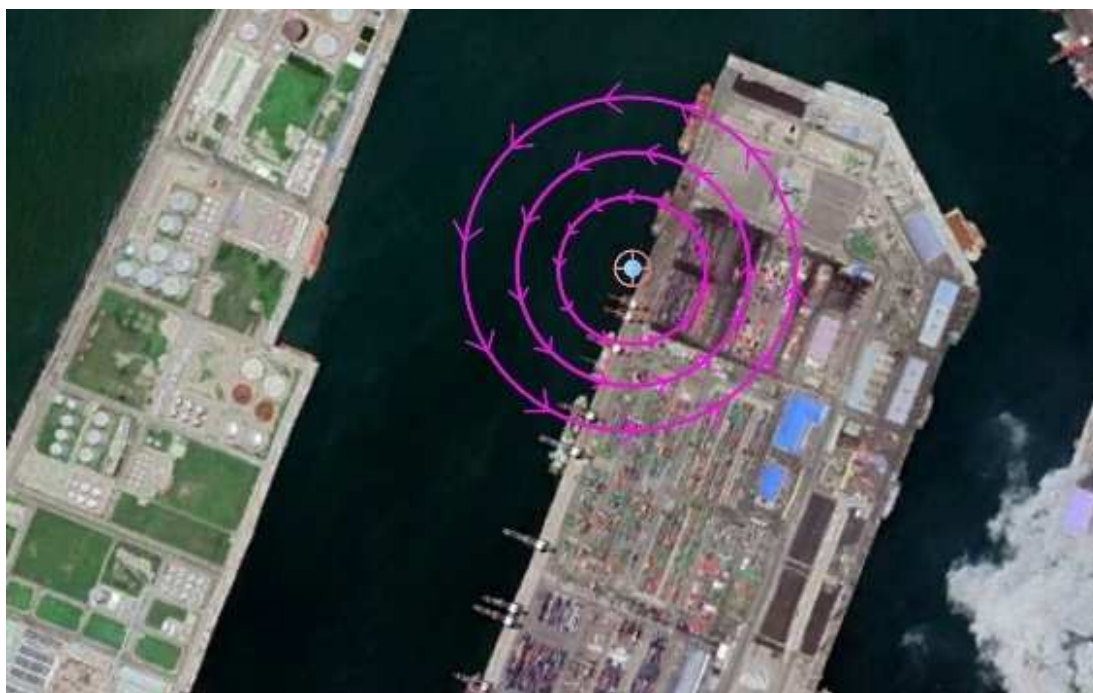


圖 4.4 無人機單點環飛示意圖

4.2 無人機取像邏輯方法

4.2.1 影像參數

在選擇適當飛行模式時，主要會需要輸入目標物、相對飛行高度、飛行高度限制，與影像相關參數，輸入的細節將會依照不同模式有些微差異。而影像相關參數包含影像畫素、影像大小、地面採樣距離(GSD)與重疊率，影像畫素與影像大小將會由不同載重等級之飛行無人載具上，所掛載的相機設備所決定，為一固定數值，以 Parrot Anafi 為例：影像畫素為1600萬畫素，影像大小為4600 x 3400。地面取樣距離係為說明拍攝影像像素與實際拍攝範圍大小之比例關係參數，計算方式如式8所示，實際拍攝範圍大小將會取決無人載具之飛行高度。重疊率為兩張影像間重疊部分之比例關係，而無人飛行載具在任務中為連續性飛行拍攝，故將會以飛行速率(米/秒)、GSD(m/pixel)與總飛行距離決定影像重疊率與影像取樣週期(秒/張)，計算方法將會如式10。

$$GSD = \frac{\text{相對航高}(H)}{\text{焦距}(f)} = \frac{\text{實際距離}}{\text{像素}} \left(\frac{m}{\text{pixel}} \right) \quad (8)$$

$$\text{取像週期(秒/張)} = \frac{\text{總飛行距離}(m)/\text{飛行速率}(m/s)}{\left(\frac{\text{總飛行距離}(m)}{\text{相片大小}(m) * \text{重疊率}} \right) + 1} \quad (9)$$

$$\text{重疊率} = \frac{\text{相片中心距離}(m)}{\text{相片大小}(m)} * 100\% \quad (10)$$

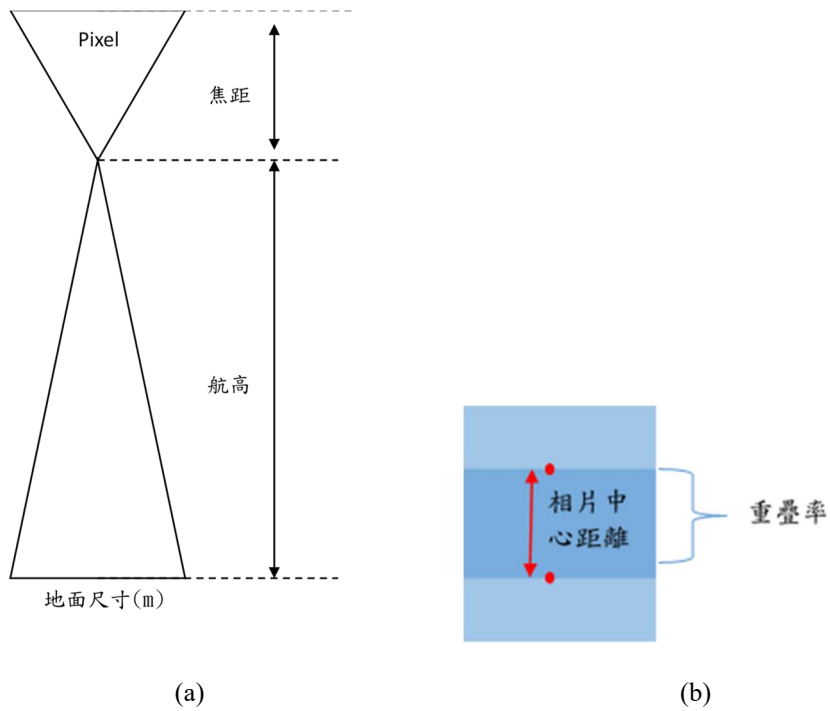


圖 4.5 無人機取像邏輯分析(a)GSD 圖示 (b)重疊率圖示

4.2.2 A star 演算法

藉由預先建構或模擬之底圖，可知在施測範圍的空間資訊，並再選取目標物與目標範圍後，應用A*(A-star)搜尋演算法進行無人機路徑規劃。A*演算法係基於最佳優先演算法(Pearl, 1984)與戴克斯特拉演算法(Dijkstra, 1959)，綜合兩者之優點改進而來，最佳優先演算法結合深度優先演算法與廣度優先演算法的概念，不以增加單一維

度搜尋為主要考量，建構合理的優先排序規則，搜尋節點的同時考量廣度與深度，但通常節點的好壞評估難以界定，故在具先驗資訊的情況下，如已建構之地圖資訊，使用此種演算法將會有較好的成果。戴克斯特拉演算法是以起始點位開始，朝向八方位擴展(如圖 4.6)，計算與相鄰點位的距離成本，直至搜尋到目標點位才停止計算，之後再考慮起始點至目標點的最短路徑，但此種演算法將會耗費較多時間。而A*演算法綜合兩者是概念與特性，同樣將會從起始點開始計算在鄰近點的距離成本，並需要目標點之位置先驗資訊，故得以朝向正確的方位找尋最短路徑，且在計算距離成本的同時將會記錄目前的在相同距離節點的相對最小距離成本值和最小距離成本點位，以此作為優先排序規則，降低點位搜尋的計算量，在找到目標點時，路徑也規劃完成，相較於前述兩種演算法，A*在每一次搜尋都動態排序搜尋成果，不斷更新，因此能不斷修正搜尋方向以減少搜尋的次數，而此演算法的缺點係為需要具可靠度之先驗資訊且不會有詳細的全域搜尋結果，但也因此得以加快搜尋速度，在本研究中將使用此A*搜尋演算法進行飛行路徑之點位內插計算與設置，簡易公式如下：

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (11)$$

其中， $f(n)$ 表示目前節點評價分數， $h(n)$ 代表預測目前節點到結束點的距離，而 $g(n)$ 則是從起始點到目前節點距離。

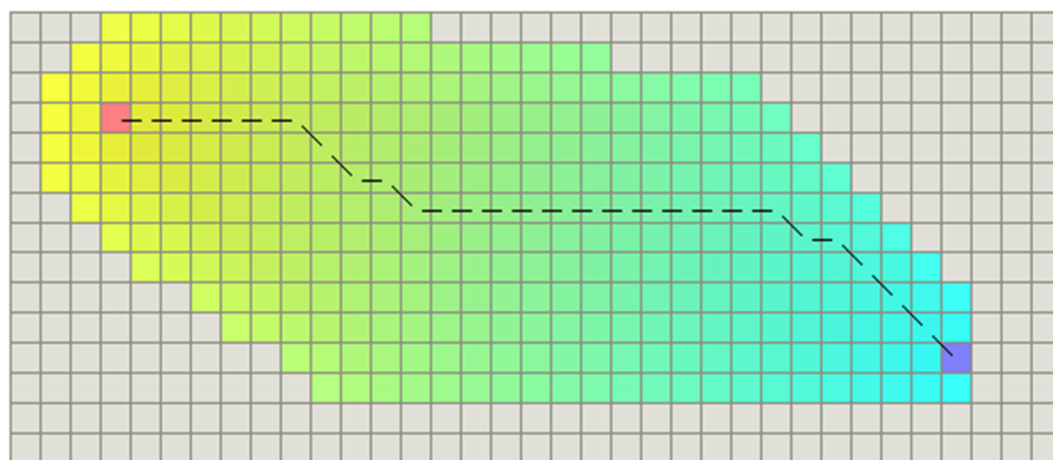


圖 4.6 A-star 演算法搜尋過程

4.2.3 飛航障礙物迴避

在本計畫為使用無人飛行載具進行相關影像蒐集作業，在航線規劃中需考量三維空間資訊，對於避障之功能更是如此，而本研究將會分成兩步驟，對不同維度以(1)調整高度、(2)調整緩衝區，兩方法進行後續分析。

(1) 調整高度

在有數值表面模型(DSM)的狀況下，已知研究區域的高程資訊，而無人飛行載具是以計算相對航高的方式飛行，相對航高為該載具垂直於地面或建物之相對高度，故假使在未達航高限制的情況下，載具將以距離相對於地面或建物之固定高度飛行；當達航高限制時將會視為障礙物，交由(2)調整緩衝區進行處理，此方式可有效處理在高程維度上所遇到的障礙物。

(2) 調整緩衝區(Buffer)

本次所使用之路經規劃演算法：A-star，其演算法邏輯會偵測障礙物之位置，再加以找出適合的路線(如圖4.7)，作為最後規劃之飛行路徑。無人載具之定位是由連線的GPS所決定，在定位精度上會有將近五公尺之誤差範圍，因此本研究加以改進此演算法，使其能夠調整與障礙物之間的距離，稱之為緩衝區(buffer)，使規劃之路徑不會完全貼著障礙物邊界飛行，以避免因載具定位誤差造成與障礙物之碰撞，圖4.8為將緩衝區設為5公尺下測試範例，圖4.9為將緩衝區設置為10公尺的結果，可以看出改良後之演算法不僅能夠避開障礙物，更能與債務邊界保持一定的距離，降低無人載具與建物擦撞損毀情況的發生。

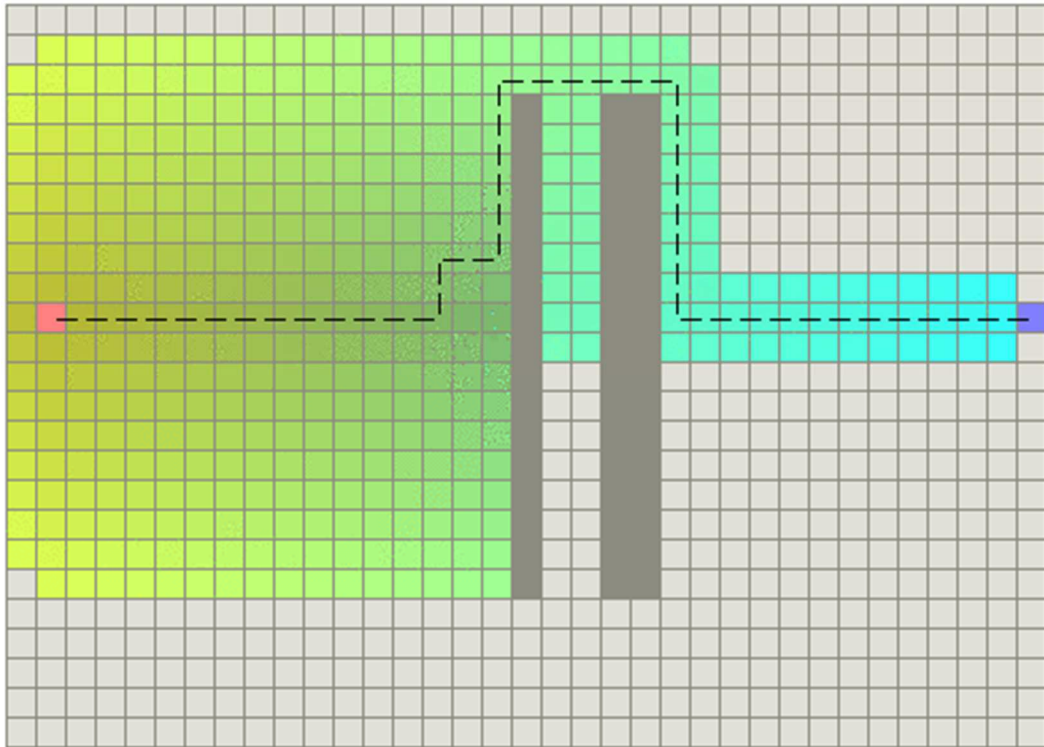


圖 4.7 A-star 演算法繞行障礙物

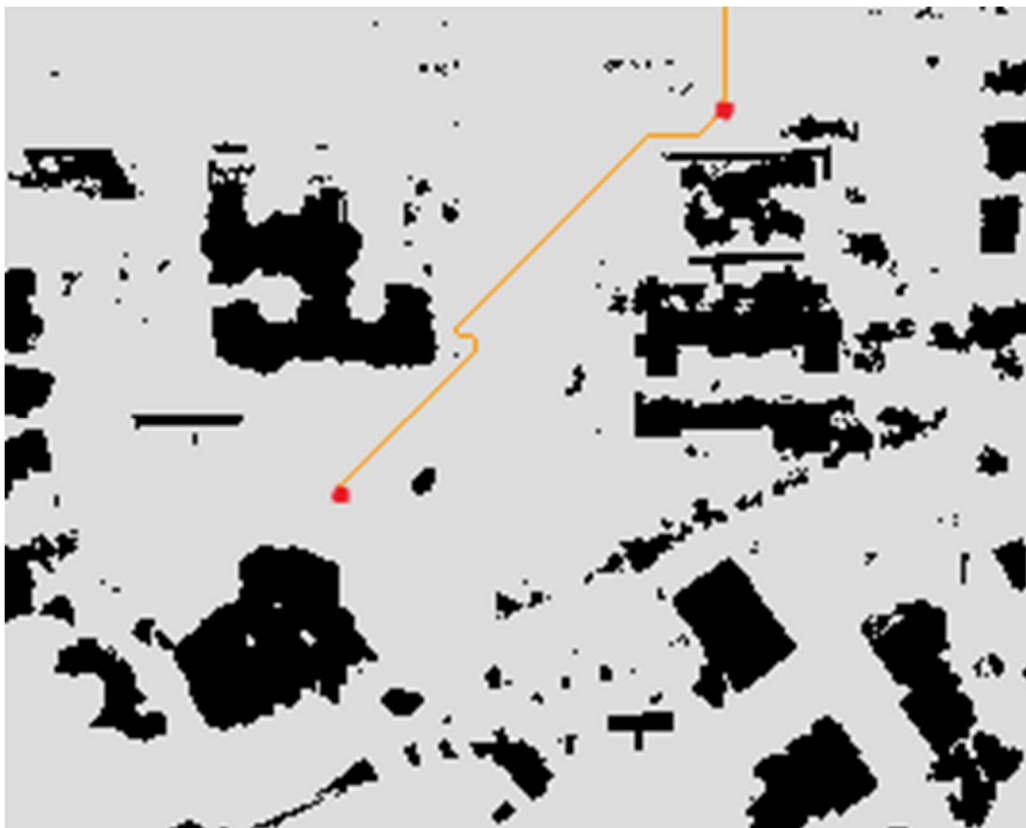


圖 4.8 無人機飛航避障路徑圖（緩衝區設定為 5 公尺）

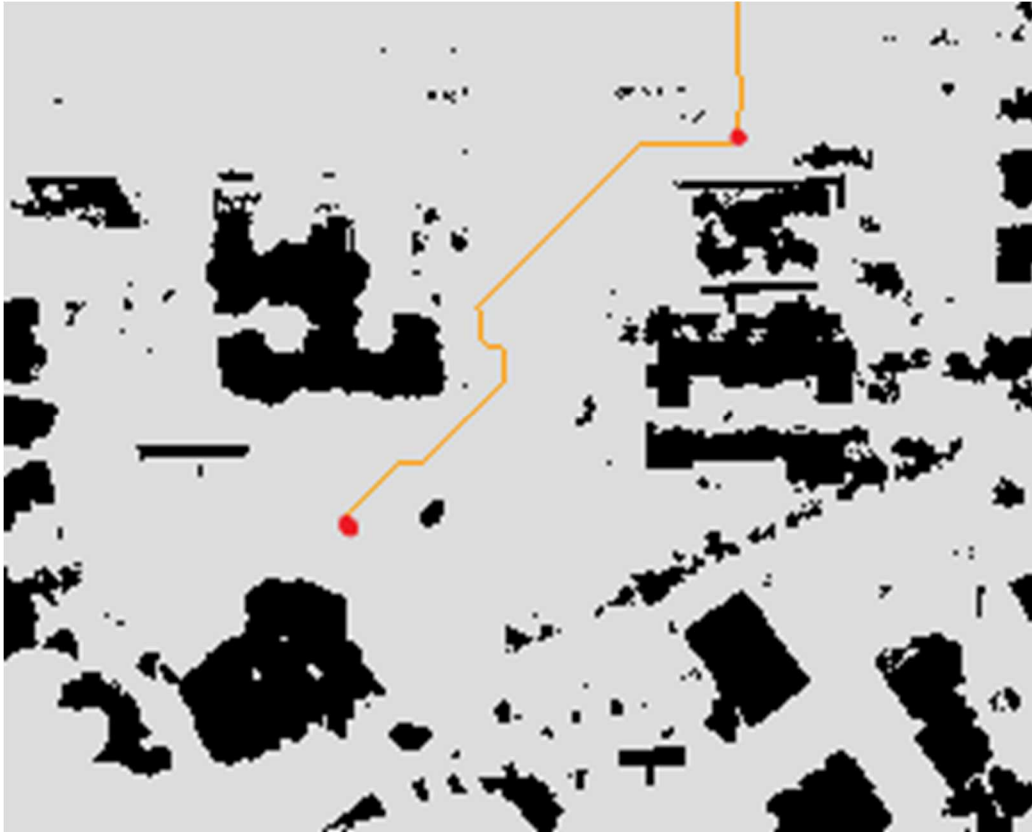


圖 4.9 無人機飛航避障路徑圖（緩衝區設定為 10 公尺）

4.2.4 控制與取像參數設定

在不同飛行模式下所需輸入之參數將如下表4-1。

- (1) 空間參數：目標、相對航高與緩衝區大小為使用者必須設定之參數。
- (2) 載具參數：取像週期與飛行速率，此項參數系統具有預設值，使用者仍可選擇性輸入。
- (3) 影像參數：地面採樣距離(GSD)與重疊率，為系統藉由其他參數計算而得，無法由使用者端進行設定。

在參數顯示部分，所顯示之項目如表 26共8項參數：

- 飛行航高(m)：無人機飛行高度
- 緩衝區大小(m)：與障礙物之間的距離
- 取像週期(秒/張)：設定拍攝頻率與快慢
- 飛行速率(m/s)：無人機速率
- 地面採樣距離GSD(m/ pixel)：判斷影像解析度

- 重疊率(%)：前後拍攝照片重疊比例
- 總飛行時間(min)
- 總飛行距離(m)

表 4-1 無人機控制與取像參數設定對應表

飛行模式 參數設定	地形測繪	多點巡航	單點環飛
空間參數 (使用者輸入)	目標範圍	多目標點	點位與半徑
	相對航高		
	緩衝區大小(buffer)		
載具參數 (系統預設或使用者 輸入)	取像週期		
	飛行速率		
影像參數 (系統計算)	GSD		
	重疊率(僅地形測繪)		

4.3 本章小結

在本章節中，設計了不同模式下的飛行方法：地形測繪、多點巡航、單點環飛，並闡述了不同方法下所需要的參數設定，以及將如何以A-star演算法進行航線規劃與進行避障功能，和後續可應用於不同的用途，建構之後實作時的明確流程與方法。在取像邏輯部分，說明了影像相關參數的意義與計算方法，能給予後續影像處理應用部分合理的影像參數調配與預期成果檢核。且在基於A-star演算法應用於本次研究，進行了細部改良，讓使用者能決定GSD加以動態計算出相對應飛行航高，並因不同飛機在GNSS定位上的誤差，提供對於緩衝區方面的微調空間，使飛行任務能更符合實際應用，最後總結此系統對於使用者需要輸入的參數，以及系統最後會顯示之參數，供後續影像處理使用。

第五章 多時期 UAV 影像匹配辨識

透過UAV測繪技術完成現地影像蒐集，基於UAV空拍影像將進行空間屬性及幾何資訊建構，其中包括三維點雲、數值高程模型及正射影像建置；再者，UAV垂直地面所拍攝影像經與正射影像匹配，能獲得有效地理對位資訊外，亦能由影像糾正及套疊對位提供影像量測；最後，多期UAV影像藉由空間條件篩選，經由影像匹配比對挑選出相同地理位置之影像，提供使用者快速基於影像資訊進行比較。整體UAV影像辨識方法流程如下圖所示，除第一點已於2.1節說明外，其餘將於各小節中詳細說明。

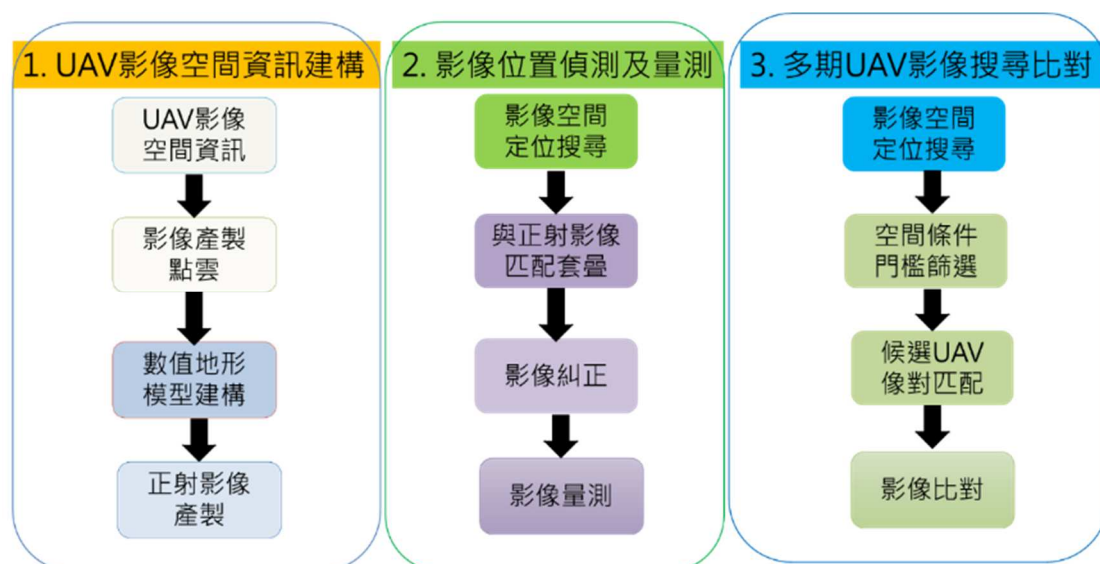


圖 5.1 UAV 影像辨識方法流程示意圖

5.1 UAV 影像定位資訊

UAV在巡檢拍攝的照片，可以在獲取拍攝當下UAV的經緯度、高度與GPS接收衛星數(表5-1)來提供未來定位做資料使用；除此之外，相片資訊中也會記錄拍攝當下飛機姿態與相機姿態(表5-2)，範例如下：



圖 5.2 巡檢照片範例

表 5-1 UAV 飛行經緯度與海拔高度

	緯度	經度	高度
GPS	24deg16'10.53" N	120deg31'16.27" E	7m

表 5-2 UAV 飛行旋轉角度與相機旋轉角度

	Pitch	Roll	Yaw
Drove	-9.195	-5.900	-66.246
Camera	-52.929	-0.032	-65.703

5.2 影像位置偵測及量測

建立物件偵測判定邏輯，標示特定物件位置、形狀以及尺寸，並藉由不同時期成果比較，判定物件變遷行為。UAV影像中具備包括地理定位、拍攝航高及視角資訊(詳見5.1節)，透過以上參考資訊作為初始位置偵測之約制條件(圖5.3)，進而利用目標位置與候選影像參考地理定位之歐式距離，篩選候選影像之相關分級(式12)。依本計畫UAV飛行調查為例，當距離小於30m時可達80%影像重疊率，其範圍中的影像為主要目標；當距離於30m至60m間為高相關影像、60m至100m為中度相關。

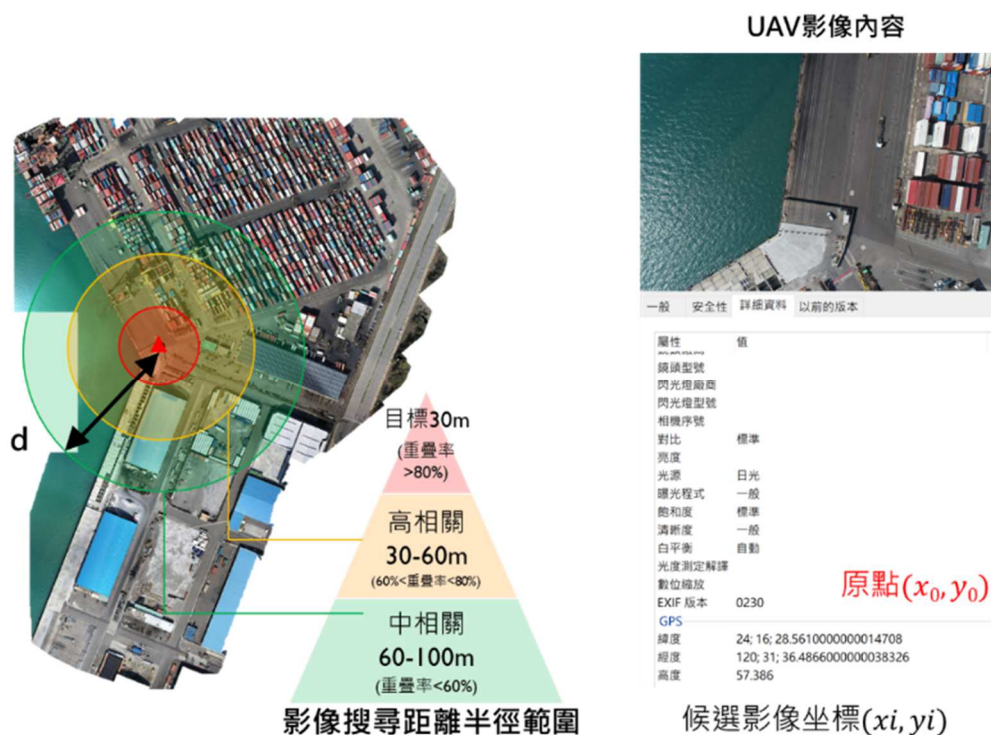


圖 5.3 依目標位置進行 UAV 候選影像相關性篩選示意圖

$$d = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (12)$$

其中 (x_0, y_0) 為目標位置、 (x_i, y_i) 為候選影像位置。

欲建立兩張同一區域但不同拍攝方位影像之關係，須找到兩張影像中皆存在「共同特色」共軛點位(稱之為特徵點位)作為匹配連結；然而不同相機感測器、拍攝航高與時間差異，造成拍攝影像呈不同色差、光線陰影及影像雜訊，增加影像間匹配錯誤率。本研究提出特定物件辨識以及變遷偵測分析技術，將經由影像雜訊濾除局部陰影與色彩轉換等雜訊，以SURF偵測特徵點與匹配點位位置，利用匹配特徵點進行像幅仿射轉換，最後套疊兩幅影像，並提供人工辨識影像中變異。於下分別進行詳細說明。

為改善影像間色彩匹配穩定問題，本研究首先透過彩色影像光譜轉換反射強度(明度)處理，以反射強度值表現地物及地貌之材質屬性，RGB空間轉換為HSV空間(圖5.4)，HSV包括色相、飽和度、明度如式(13)所示。

$$\begin{cases} \text{Hue } (H) = \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 360^\circ - \theta & B > G \end{cases} \\ \text{Saturation } (S) = 1 - \frac{3m}{(R+G+B)} \\ \text{Intensity } (I) = \frac{R+G+B}{3} \end{cases} \quad (13)$$

其中角度 $\theta = \arccos \frac{[(R-G) + (R-B)]}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}$ 、 m 為紅、綠、藍三

項最小值。

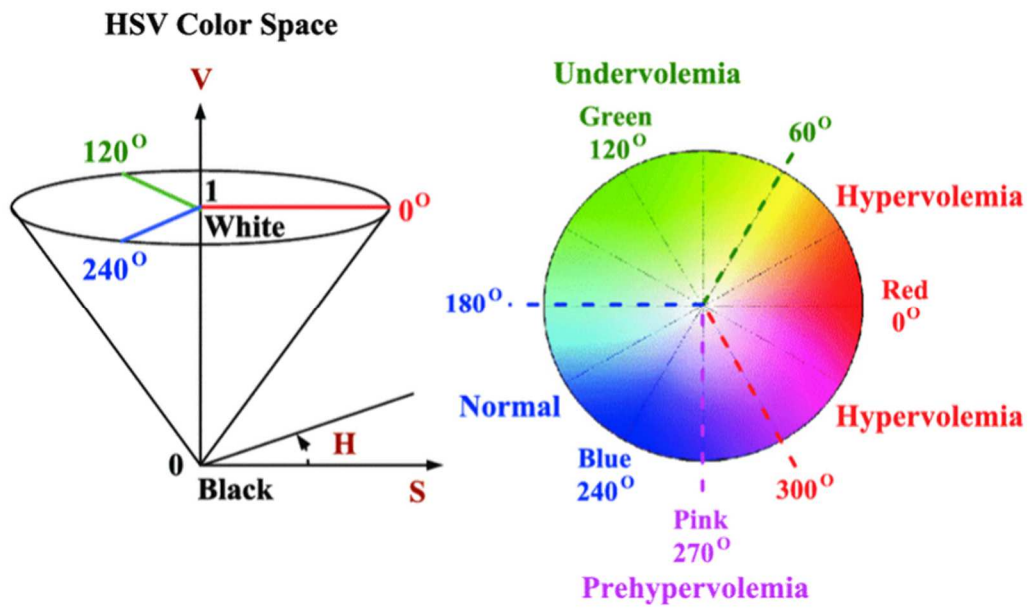


圖 5.4 影像色彩 RGB 與 HSV 轉換角度涵蓋圖

如圖5.5所示，UAV彩色影像經由HSV轉換並萃取獲得影像中明度資訊，透過該資訊可穩定且顯著傳達地表材質特性，如金屬材質、粗糙路面、人工構造物、水體等。

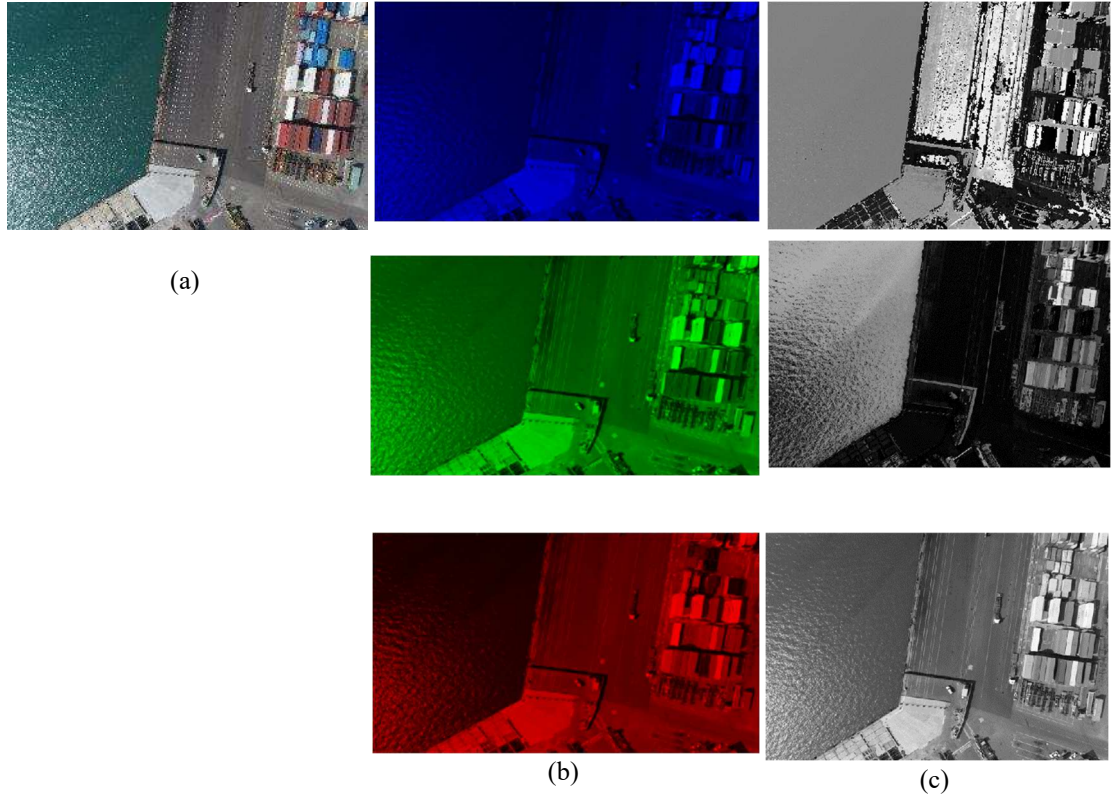


圖 5.5 UAV 彩色影像萃取明度資訊圖(a)原始 UAV 影像、(b)紅綠藍光譜影像、(c)色相、飽和度及明度影像

影像紀錄反射光譜資訊同時也包括許多雜訊，主要雜訊包括高斯雜訊(Gaussian noise)和椒鹽雜訊(impulse noise)，其中明顯的椒鹽雜訊具隨機性，而且可能成為顯著特徵增加匹配辨識困難度，因此需透過濾波器進行降噪處理。眾多濾波器中，中值濾波器為一非線性濾波器，以預設罩窗值域中之中數值作為輸出，保存邊緣特性同時降低斑點及椒鹽雜訊(Hall, 2007)，其運算如式14所示。

$$V(i, j) = med[v(i-1, j+1), v(i, j+1), \dots, v(i, j), \dots, v(i, j-1), v(i+1, j-1)] \quad (14)$$

其中， V 為罩窗中央之影像明度值、 v 為原始影像之明度值、 i 為列數、 j 為行數。

透過影像RGB-HSV轉換及雜訊率除後，以SURF進行影像特徵偵測，其中SURF匹配計算包括主方向與描述元的建構。主方向的建立以尺寸為 $4s$ 的Haar小波計算該特徵點，半徑 $6s$ 內的水平與垂直方

向的響應值(response)， s 為該點對應的尺度。接著以該點為中心，利用高斯權重對Haar小波的響應值進行加權($\sigma = 2s$)，計算完畢後再以60度的扇形滑動罩窗進行加總，估計出該特徵點的主方向(圖5.6)，主方向的建立是為了讓特徵點在匹配時具備旋轉不變性。計算描述元在主方向確立後便以特徵點為中心，沿著主方向上建立一個尺寸為 $20s$ 的罩窗，並將該罩窗分為 4×4 的子區域，Haar小波在計算時又將每個子區域分為 2×2 小區塊(圖5.7)，在每個小區塊上可得到 dx 、 dy 的數值，並且為了增加特徵點在幾何變形與定位誤差的穩健性，再以特徵點為中心進行高斯權重($\sigma = 3.3s$)的加權，最後將每個子區域的 dx 與 dy 進行加總得到每個子區域的特徵向量。又為了抵抗影像灰階值變化的問題而加入 $|dx|$ 、 $|dy|$ ，因此最後在每一個子區域可獲得4個維度的描述元向量 $v = (\sum dx, \sum dy, \sum |dx|, \sum |dy|)$ ，因此在 4×4 的子區域中，每個特徵點的特徵向量長度為64($4 \times 4 \times 4$)，再由特徵長度進行匹配，實際UAV影像於正射底圖中匹配偵測位置如圖5.8所示。

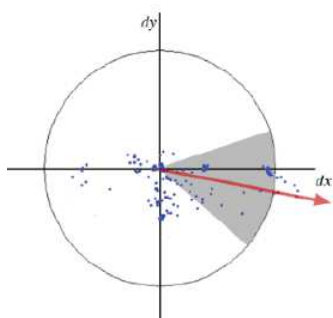


圖 5.6 SURF 主方向(Bay et al, 2008)

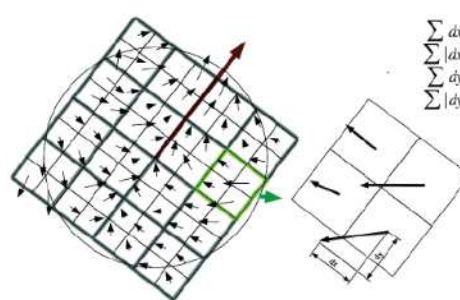


圖 5.7 SURF 描述元(Bay et al, 2008)

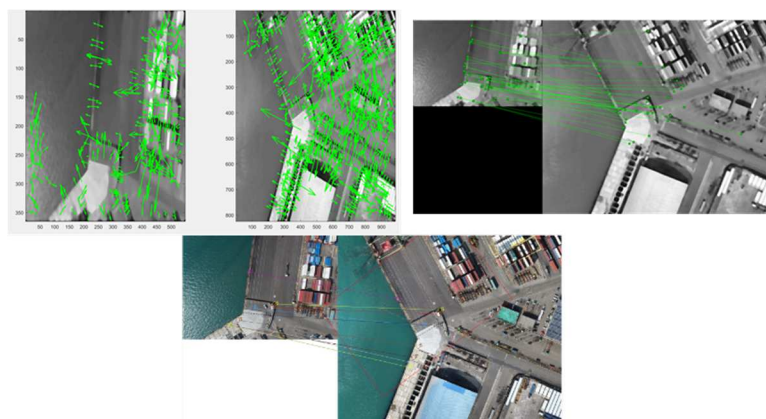


圖 5.8 UAV 影像中描述元方向及匹配偵測圖

UAV影像經匹配獲得特徵點由相似轉換進行影像糾正，相似轉換建立了兩張影像之尺度、旋轉與位移關係表示如式15所示。

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \cos \theta & -S \sin \theta & \Delta_x \\ S \sin \theta & S \cos \theta & \Delta_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

其中 (x_i, y_i) 為原始影像坐標、 (x'_i, y'_i) 為改正後影像坐標、 (Δ_x, Δ_y) 為平移參數、 S 為尺度、 θ 為旋轉角。

實際UAV影像經與正射底圖進行匹配，再由正確匹配點進行影像糾正，經糾正之UAV影像套疊圖層如圖5.9所示，多期的UAV影像經由上述分析流程，可提供管理單位進行影像在地理對位條件下進行屬性變化比較，同時可提供影像直接進行平面幾何量測(圖5.10)。



圖 5.9 糾正後 UAV 影像套疊於正射底圖

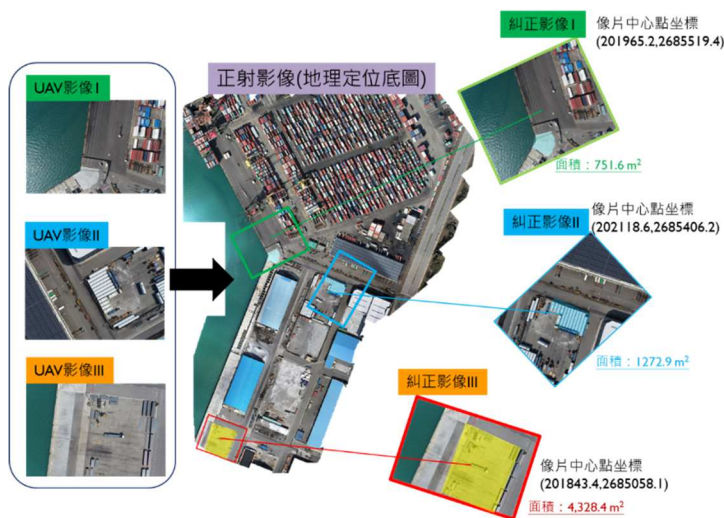


圖 5.10 多期糾正後 UAV 影像提供地理定位及量測資訊

5.3 多期 UAV 影像搜尋及比對

具備地理定位資訊的UAV影像，能利用如同2.1節所述依目標點位坐標，以歐式距離計算方式分級篩選候選影像。此外，多時期UAV影像因拍攝航高、飛行朝向方位、相機俯視仰角角度等差異，使在相同位置拍攝影像呈現不同影像資訊。因此多期UAV影像搜尋及比對除了透過距離篩選外，亦需考量影像拍攝條件篩選候選圖像，於匹配比對前像幅需滿足以下條件(圖5.11)：

1. 多期影像拍攝航高差距需小於50m。
2. 影像位置距離需在60m以內。
3. 影像拍攝傾角需滿足仰俯角差異15度之內。
4. 影像朝向方位角差異15度之內。

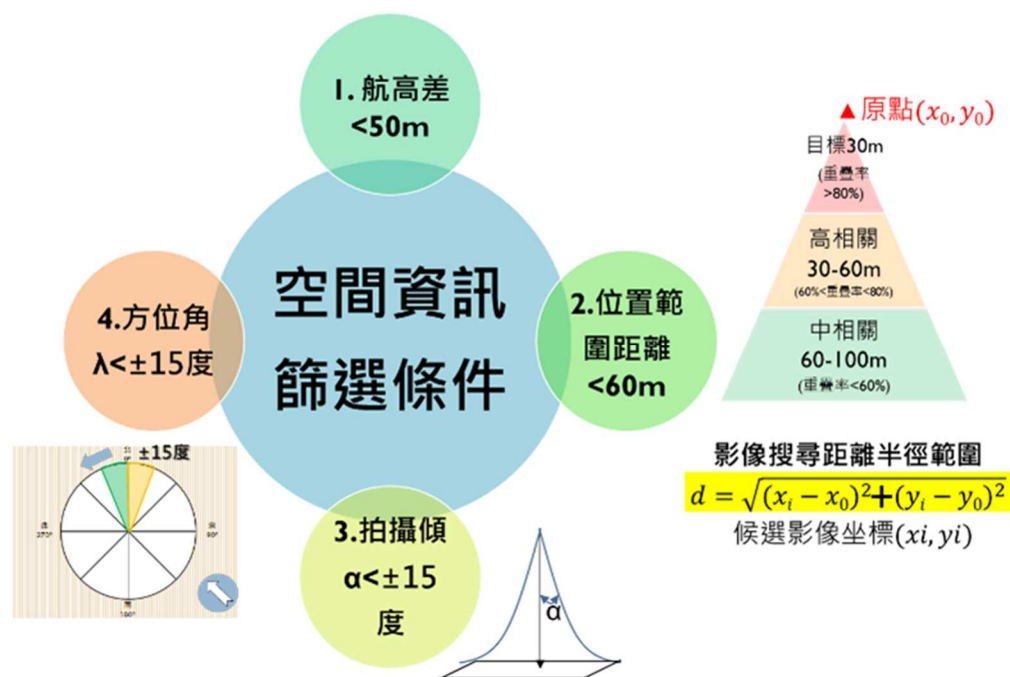


圖 5.11 多期影像搜尋及比對篩選預設條件

滿足四項之影像再依5.1節中SRUF影像匹配及套疊方法，將兩時期影像進行比對。圖5.12顯示兩期具相同方位及傾角在位移小於60m情況時所拍攝影像，經匹配對位後提供左右方向套疊及比對。圖5.13顯示兩期影像具備同方位，但在傾角小於15度及位移小於60m拍攝條件下，經SURF匹配獲得共同影像特徵，經套疊後達到上下幅

重疊供比對辨識。

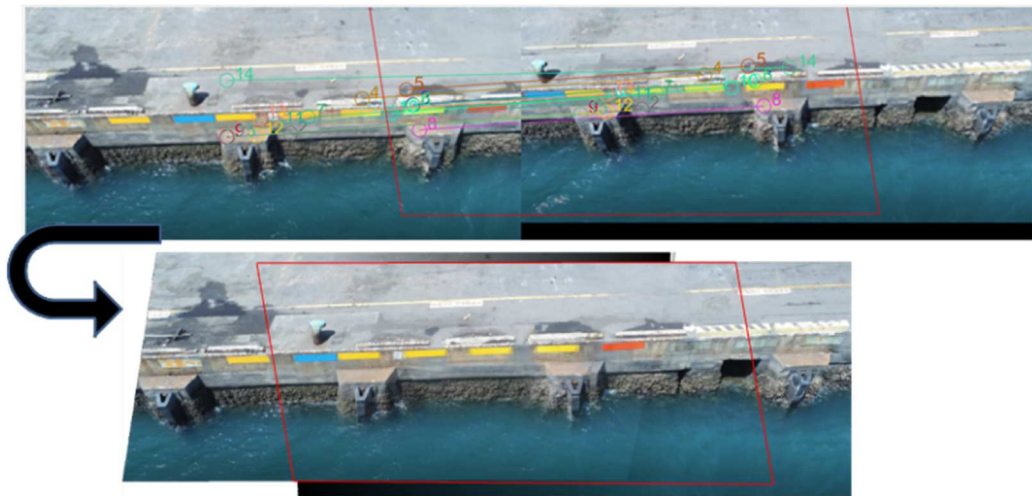


圖 5.12 具位移且相同方位角及傾斜角之多期影像匹配套圖

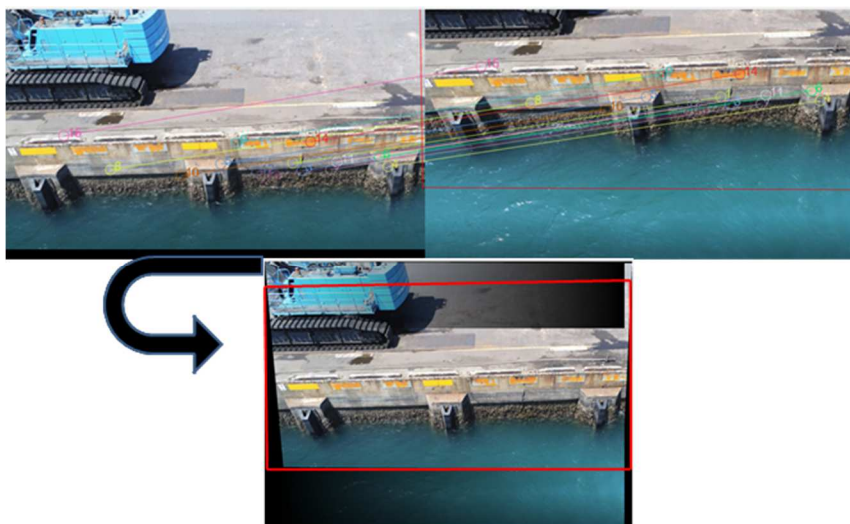


圖 5.13 在同方位角下具位移且傾斜角之多期影像匹配套圖

5.4 本章小結

基於無人機拍攝影像地理定位及色彩資訊，依物像共線及影像立體視覺化分析建構數值高程模型及正射影像，由彩色資訊萃取影像強度(明度)資訊獲得地表屬性特徵，以雜訊濾除罩窗維持影像品質之穩定。基於上述影像資訊強化處理後，利用SURF影像特徵偵測與匹配獲得UAV影像與正射影像間的特徵連結，藉由地理定位及套疊垂直地面拍攝之UAV影像於正射影像中，以仿射糾正UAV影像提供多時期影像進行長度及面積量測比較；另外，非垂直地面拍攝之

UAV影像將依其他相關輔助定義資訊如：方位角、位置、航高及仰俯角進行預先區分類別，進而依類別進行UAV影像匹配比對，達到多時期UAV影像監測空間變遷行為目的。

第六章 UAV 影像技術之延伸應用

6.1 港區設施自動化物件辨識

6.1.1 物件辨識模型選擇

現有的物體偵測與切割模型中，比較有名的如RCNN系列、YOLO與各式因應不同需求與訓練方式所產生的模型，而在模型的選擇中要考慮的為：

- 精度高、速度快
- 可使用GPU做模型訓練
- 使用COCO data做訓練成效好

因此在這樣的前提下我們選擇目前最新的yolov4模型做訓練架構，而其精度與效能更是超越目前大多數的模型(圖6.1)：

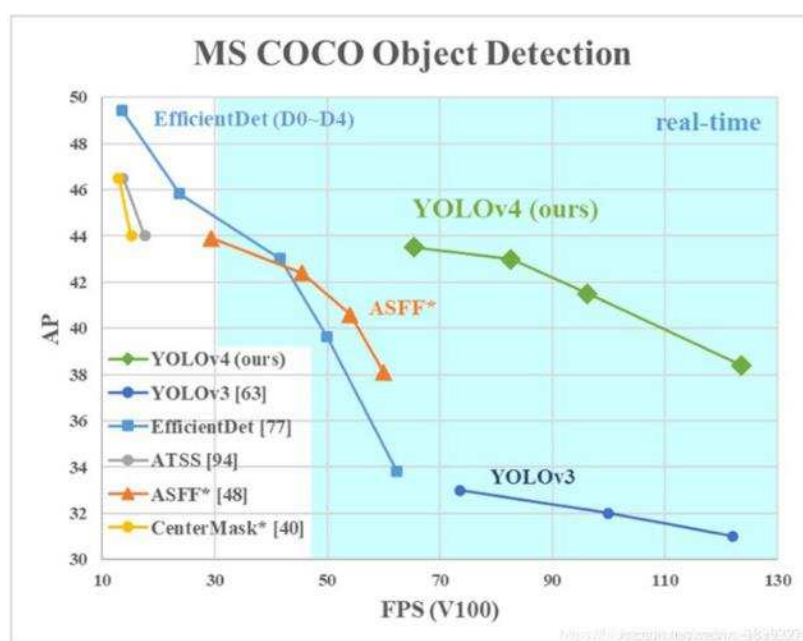


圖 6.1 多數物體偵測模型準確度與速度比較圖(Bochkovskiy Alexey et.al.,2020)

Yolov4不僅繼承了前一代的模型部分架構，更突破其效能，該模型的出現位物體偵測模型帶來下列貢獻：

- 高精度及時目標偵測模型

- 採用先進的Bag-of-Freebies & Bag-of-specials方法對SOTA做改進，更適合單GPU做訓練。

6.1.2 YOLOv4 模型架構

在YOLOv4的模型架構中，依序可以分為以下三部分：

(1) Backbone：CSPDarknet53

因檢測模型的計算量較大，為了加速並達到併行計算優化，作者在論文中做了許多測試，發現Darknet53與Cross Stage Partial Network (CSPNet)最適合用來做檢測；其中CSPNet的目的因模型中做深層的卷積計算會產生梯度訊息損失問題，因此提出跨階段局部網路，使最後獲得訊息較豐富，並降低損失與降低計算量，如圖6.2：

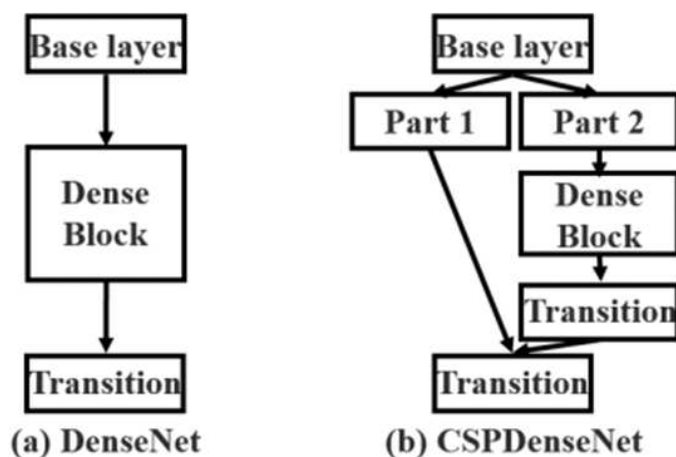


圖 6.2 普通卷積與 CSPNet 差別(Wang Chien-Yao et al.,2019)

因此CSPNet的使用可以解決問題如下：

- 增加CNN學習能力解決計算力過高問題，加快速度
- 降低內存的使用

最後結合Darknet53並作為YOLOv4的BackBone，在BackBone與最後的detector中，加入BoF與BoS來做訓練資料的強化與提高模型精度。

(2) Neck：SPP+PAN

該部份為了增加可偵測範圍與融合不同尺度特徵，結合以下兩種模型：

SPP(spatial pyramid pooling layer，如圖6.3)，該想法則是為了解決過去CNN模型在輸入與輸出大小有嚴格限制，而在該限制下會導致資訊的變形或損失，SPP則使最後輸出的資料固定，因此在yolov4中就可以使用多種不同的池化層大小來做不同程度的特徵萃取，並保證書出的維度：

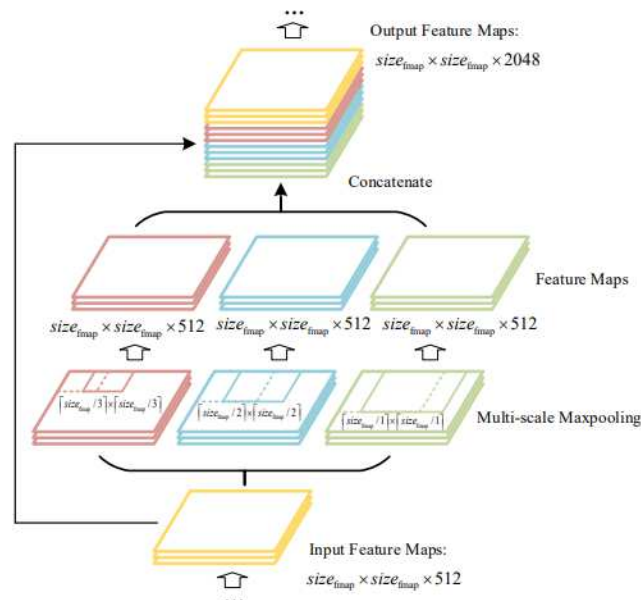


圖 6.3 SPP 示意圖

PANet(Path Aggregation Network)，強化低層及資訊被忽略，縮短低層及特徵的傳遞路徑。

(3)Head：yolov3 head

6.2 港區設施物件辨識模型訓練方式

以下依據訓練樣本不同做3種不同模型訓練測試，詳細資訊如表 6-1：

表 6-1 不同模型訓練統整表

項目	單物件偵測	多重物件偵測 1	多重物件偵測 2
偵測目標	碰墊	碰墊 反光板(黃) 車擋	碰墊 反光板(黃+藍+紅) 車擋
訓練樣本數	100 張	100 張	100 張

6.2.1 單物件偵測

在這次所有資料中，有許多資料的情境是相似的，因此從其中選100張差異較大的照片來做訓練，並利用LabelImg(替深度學習模型做數據的軟體)來做碰墊的選取(圖6.4)，並設定整體訓練次數，因此次使用的訓練照片數較少，故使用作者建議之最少6000次，而6000次訓練下來最終大約使用5~6小時，最後可得到該模型的損失曲線，最終損失值為0.2104%(見圖6.7)，因此可以確定模型有完整訓練資料(圖6.5)。



圖 6.4 單物件自動辨識 (a)原始圖片 (b)人工標記圖

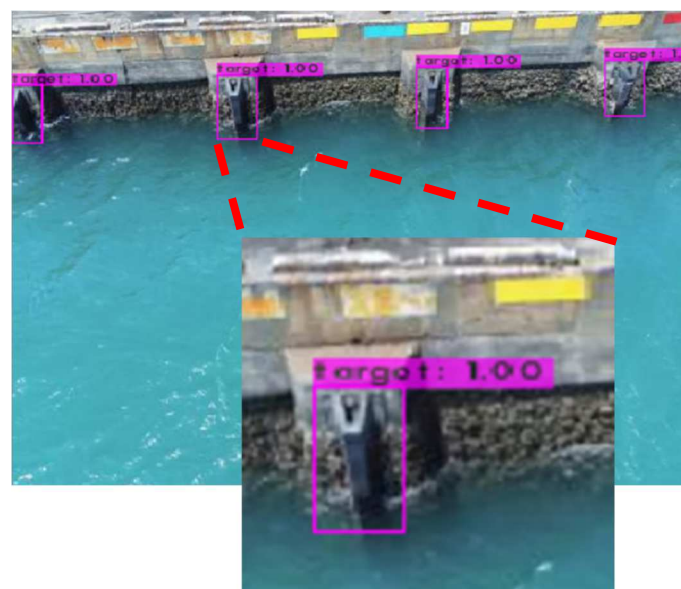


圖 6.5 單物件自動成功示意圖 - 標示出碰墊與偵測信心指數

而在最後的模型中，會將輸入的照片來偵測碰墊位置，並且標

示偵測的信心指數，而在下列圖示中則設定未滿0.6則不標示，在下面結果可以發現因使用的訓練資料大多是同一方向，因此當相機的拍攝角度過斜則會導致碰墊的偵測出現問題，如圖6.6。



圖 6.6 單物件自動辨識失敗示意圖 - 拍攝角度變大導致偵測成功率下降

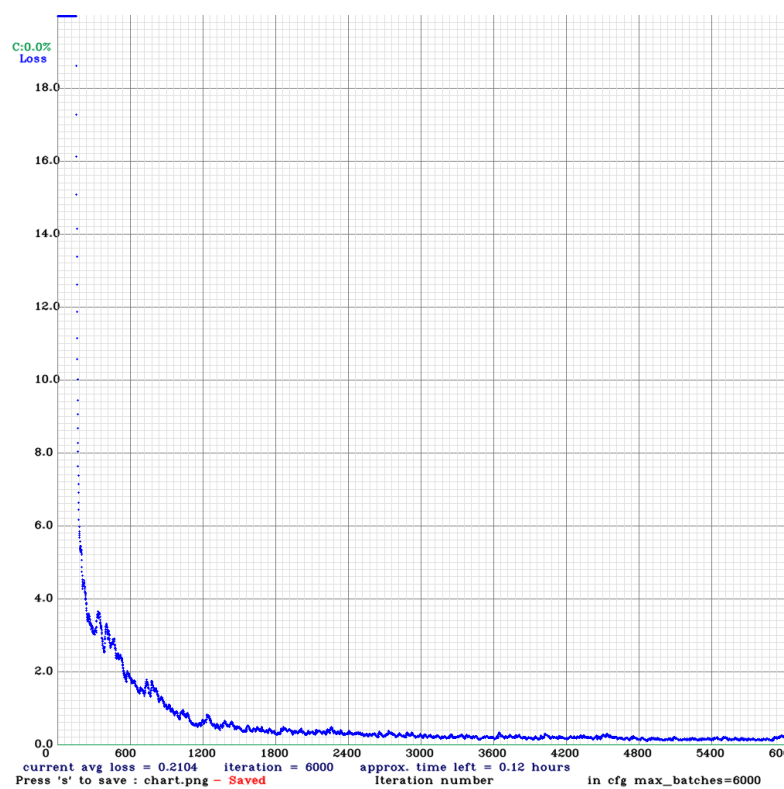


圖 6.7 單物件自動辨識模型 6000 次訓練後之損失曲線

6.2.2 多重物件偵測 1

增加要偵測的目標，來測試其效果，而使用的照片均與前一模型相同，如圖6.8新標註反光板(黃)與車擋，其中反光板標註仍清晰可見的部分，車擋則有無斑馬線均標註，其標註如下：



圖 6.8 雙物件自動辨識 (a)原始圖片 (b)人工標記圖

6000次訓練下來最終大約使用5~6小時，最後可得到該模型的損失曲線，最終損失值為0.8342%(圖6.9)，最後亦有收斂。

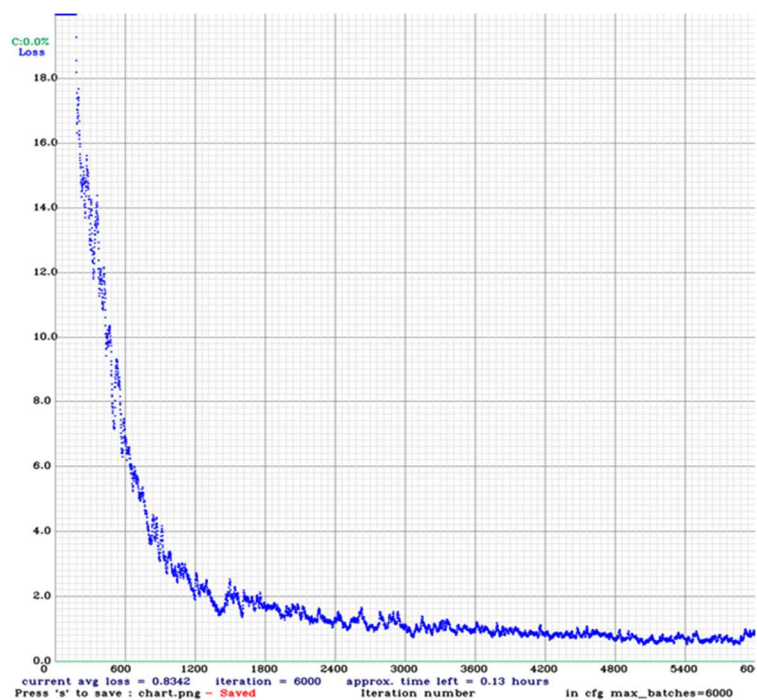


圖 6.9 雙物件自動辨識模型 6000 次訓練後之損失曲線圖

其中偵測結果成效都有成功(圖6.10)：

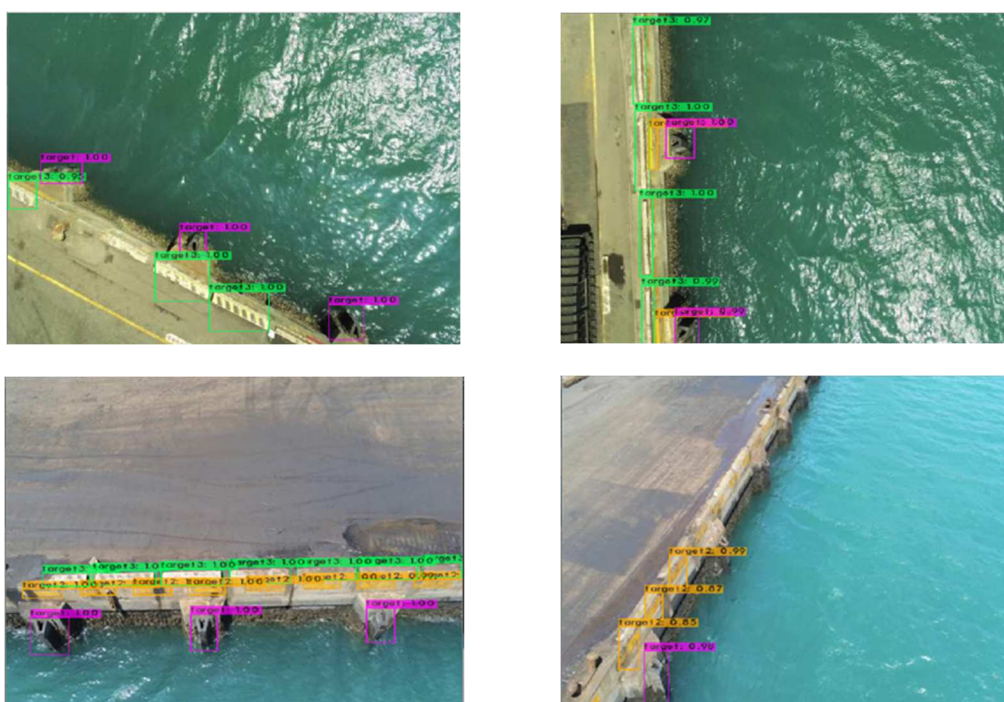


圖 6.10 雙物件偵測 1 偵測效果圖

6.2.3 多重物件偵測 2

第三類模型則是新增加反光板的顏色(藍+紅)，並分析是否會影響模型的預測效果(圖6.11)：



(a)

(b)

圖 6.11 多物件自動辨識(a)原始圖片 (b)人工標記圖

6000次訓練下來最終大約使用5~6小時，最後可得到該模型的損失曲線，最終損失值為0.8753%(圖6.12)，最後亦有收斂，不過因要

判別的目標應增加，故最後的loss值也略增加，不過仍小於1%。

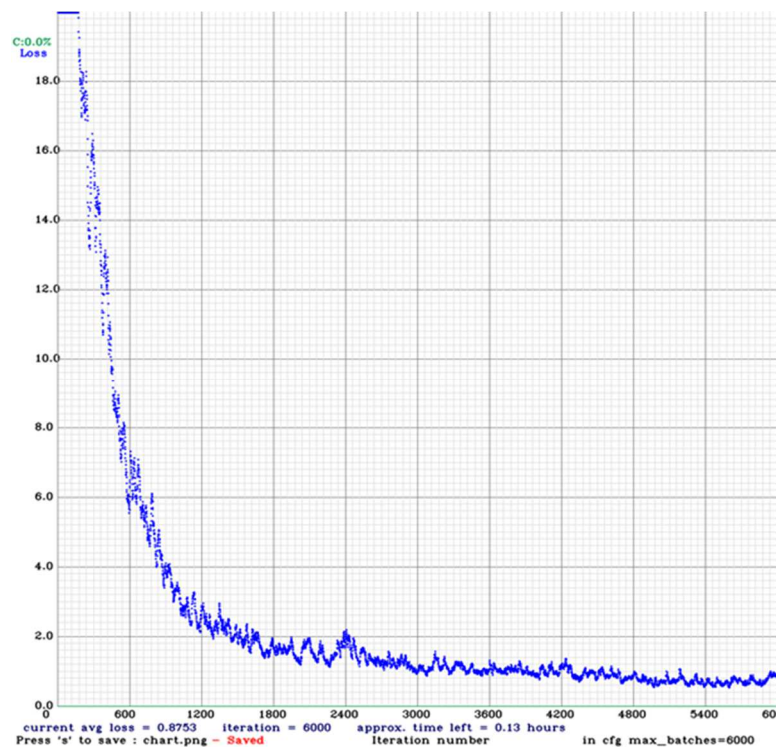


圖 6.12 模型 6000 次訓練後之損失曲線圖

其中偵測結果成效都有成功(圖6.13)：



圖 6.13 多重物件偵測 2 偵測效果圖

不過仍有部分角度拍攝的圖片偵測效果不佳，故未來需要再增加可以供模型訓練用的相片來提升其準確度。

6.3 港區特定設施變遷偵測

6.3.1 Mask Rcn Pixel-wise 偵測與變遷

先利用Yolov4來做港區物件的偵測後，可能會因飛機拍攝角度導致框選物件之Bounding-box中有大面積並非巡檢目標，以及單用Yolov4僅能確認物件是否存在，為了解決上述此一狀況並在未來可以透過Pixel的改變來判斷物件是否有毀損，因此在Yolov4初次辨識出物件位置後，在使用訓練好的Mask Rcn模型來在Pixel-wise的進一步標示，因此巡檢流程如圖6.14：



圖 6.14 以 UAV 影像配合自動辨識技術之設施變遷監測流程圖

利用Yolov4做整幅圖像的物件辨識，尋找目標物件後，再使用instance segmentation 模型 Mask Rcn做變遷偵測。以碰墊做範例如圖6.15：

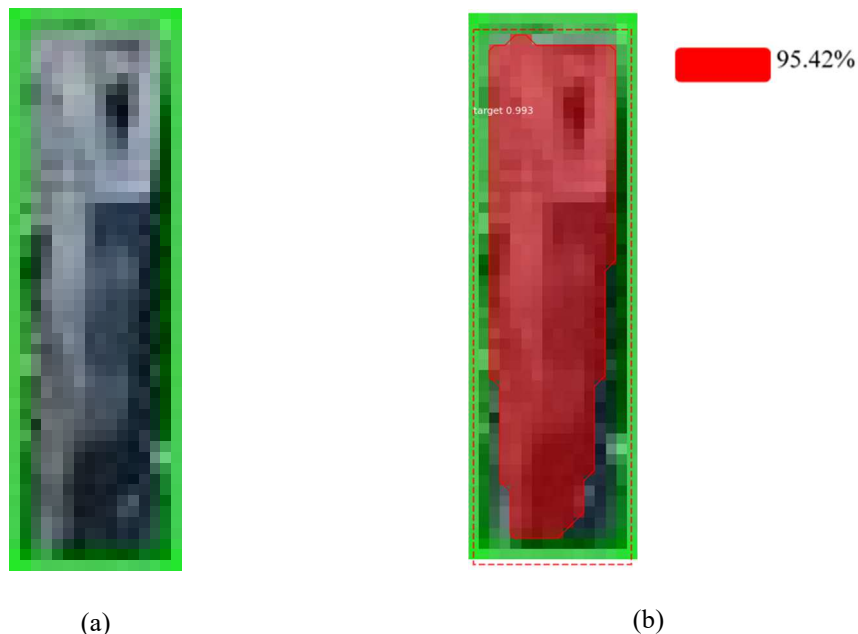


圖 6.15 設施影像辨識後之(a)Yolov4 框選原圖 (b)MaskRcn 辨識結果

6.4 構造物位移監測

透過無人機進行構造物監測分析，本案以南堤為例，共計拍攝

三個時期的南堤影像，第一期為2021/3以定翼機拍攝，航高120m空間解析度5cm。第二期為2021/6以多旋翼機拍攝，航高60m空間解析度約2公分，第三期為2021/9以多旋翼機拍攝，航高60m空間解析度約2公分。由於使用的無人機不同，解析度也有差異，為了使比對成果一致，三個時期的成果統一空間解析度為5cm。圖6.16至圖6.18顯示三個時期所拍攝的正射影像與三維點雲成果，再將這三個時期的成果套疊，並由圖6.19道路中心線位置，透過高精度三維點雲拉出平面坐標與高程坐標，並比較三個時期的差異性。

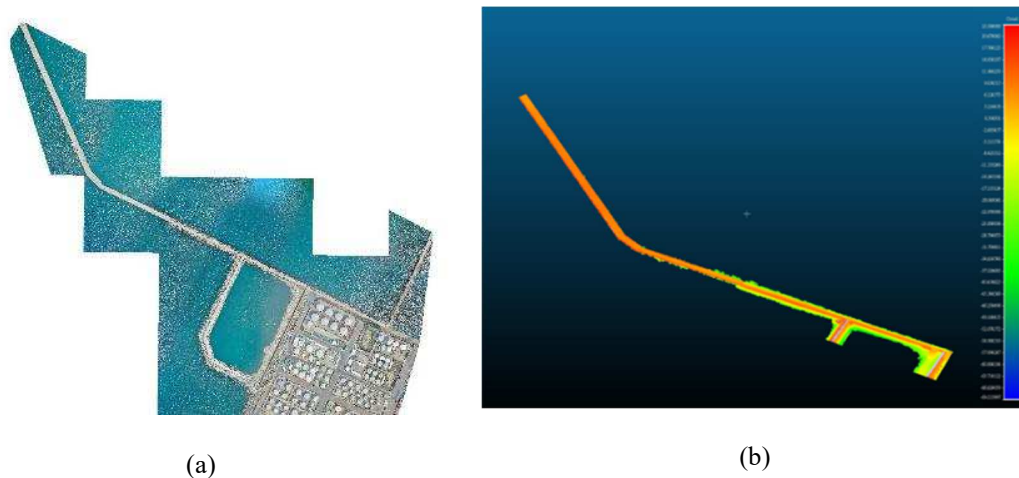


圖 6.16 臺中港南堤(a)第一期正射影像(b)第一期三維點雲

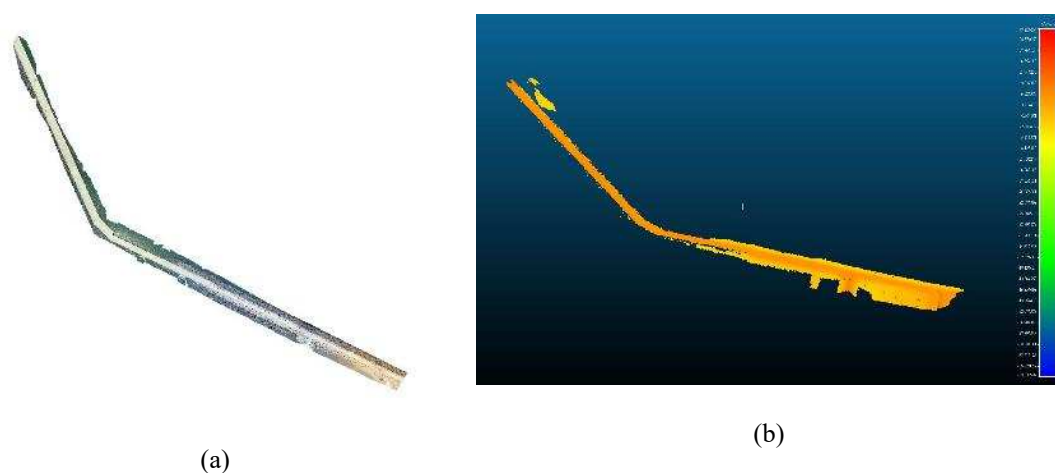


圖 6.17 臺中港南堤(a)第二期正射影像(b)第二期三維點雲

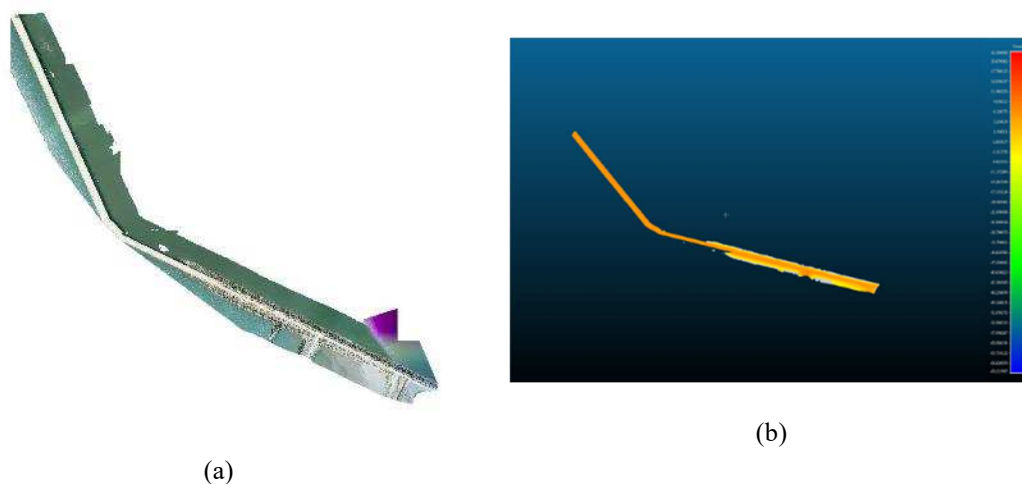


圖 6.18 臺中港南堤(a)第三期正射影像(b)第三期三維點雲

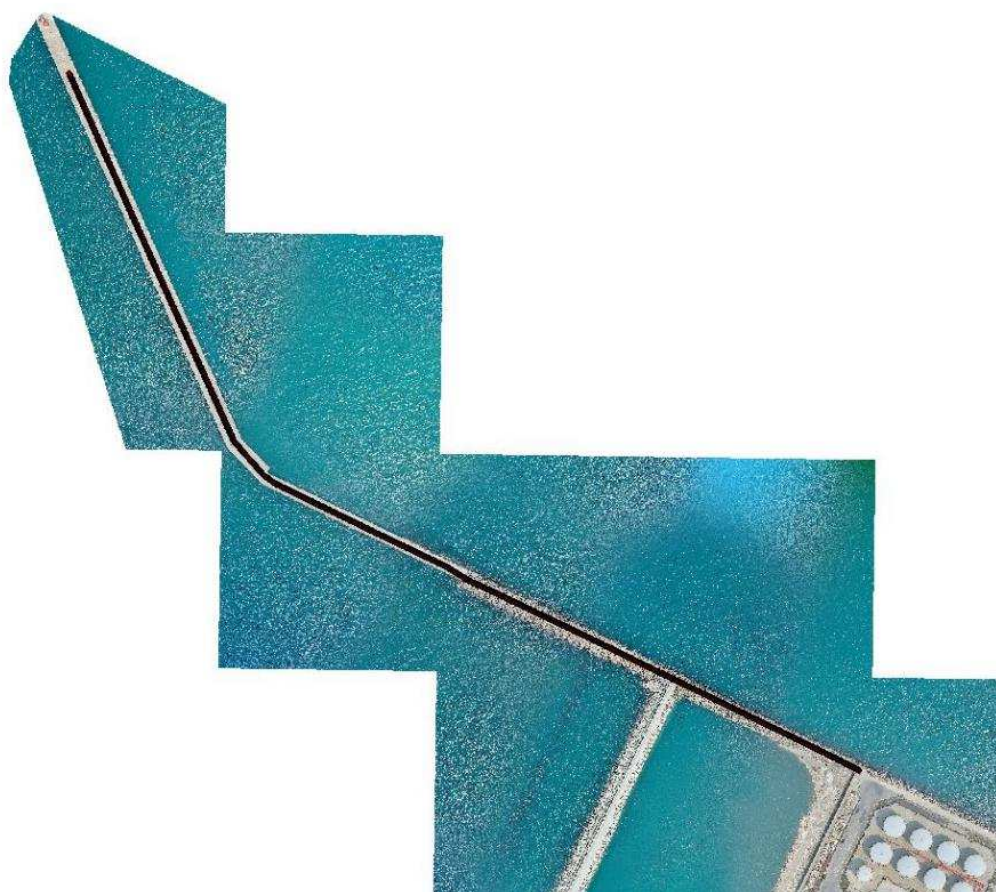


圖 6.19 臺中港南堤道路中心線位置圖

將南堤三個時期的斷面圖展示如圖6.20，距離0m為起點表示內陸，距離1080m為終點表示外海，透過圖面得知垂直位移基本上並

無太大差異，整體呈現平緩。本案以第一期為基準，分析第二期與第一期差異，以及第三期與第一期差異，如圖6.21所示，透過差值圖，能看到出現垂直變化的區域。透過表6-2，可得知第二期與第一期整體差異為 $\pm 10.6\text{cm}$ ，第三期與第一期差異為 $\pm 14.2\text{cm}$ 。此外，透過本案分析三維模型的精度約為 $\pm 15.3\text{cm}$ ，高程變化小於此精度，因此可推斷變化趨勢不大。

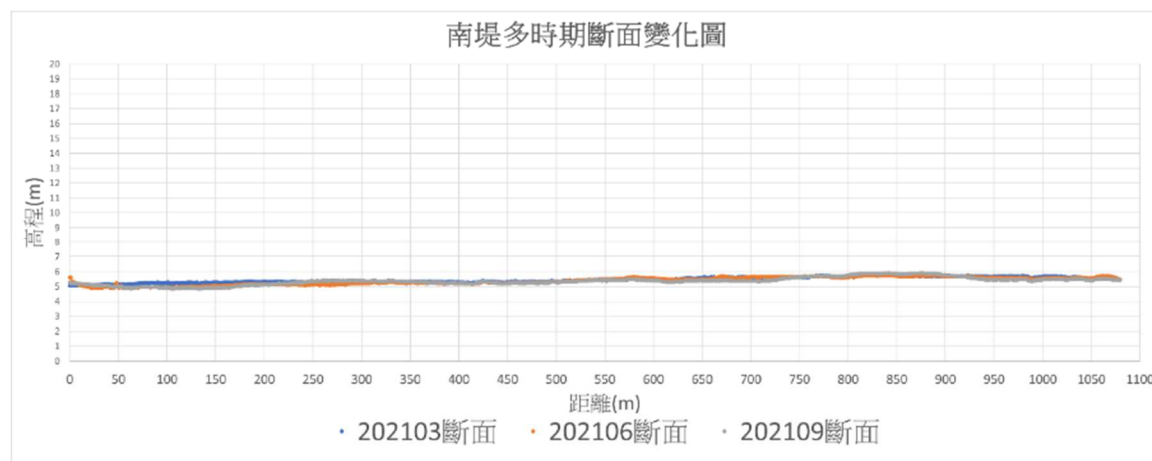


圖 6.20 臺中港南堤多時期断面

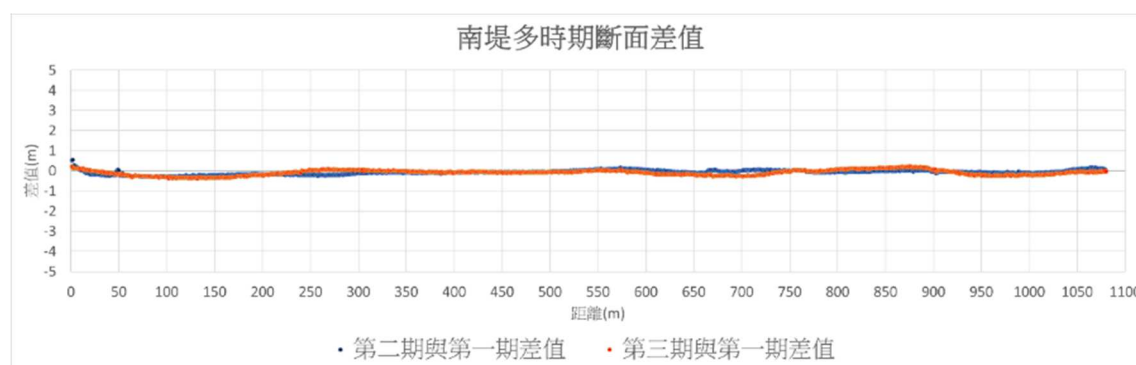


圖 6.21 臺中港南堤多時期断面差值

表 6-2 臺中港南堤不同時期垂直（高程）之均方根誤差值

時期	均方根誤差(m)
第二期與第一期垂直差異	$\pm 10.6\text{cm}$
第三期與第一期垂直差異	$\pm 14.2\text{cm}$

在水平位移的部分，同樣以第一期為基準，分析第二期與第一期差異，以及第三期與第一期差異，如圖6.22所示，透過差值圖，

能看到出現水平位移變化的區域。透過表6-3，可得知第二期與第一期整體差異為 $\pm 5.7\text{cm}$ ，第三期與第一期差異為 $\pm 6.7\text{cm}$ 。此外，透過本案分析三維模型的精度約為 $\pm 9.0\text{cm}$ ，平面變化小於此精度，因此可推斷水平位移變化趨勢非常微小。

整體而言，南堤之垂直精度與水平位移精度小於無人機影像建模之精度，因此目前可視為變動差異微小，另三個月的變化尺度較難以顯示變動量，建議若以無人機進行構造物位移分析，時程可延長至半年或一年監測一次才有顯著成果。

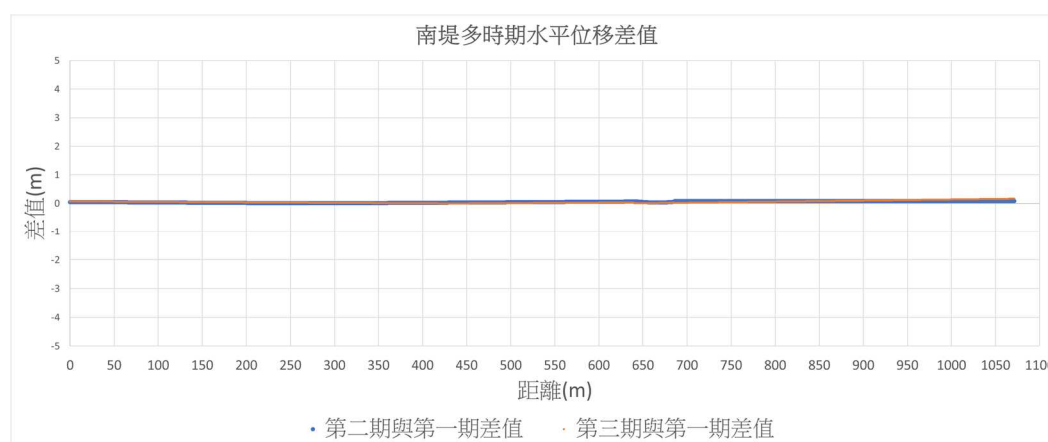


圖 6.22 南堤多時期水平位移差值

表 6-3 臺中港南堤不同時期水平位置之均方根誤差值

時期	均方根誤差(m)
第二期與第一期水平差異	$\pm 5.7\text{cm}$
第三期與第一期水平差異	$\pm 6.7\text{cm}$

6.5 淤沙範圍變化分析

透過無人機進行北防砂堤淤沙範圍分析，共計拍攝二個梯次的北防砂堤全區影像，第一期為2021/3/28(9:00~12:00) 拍攝，第二期為2021/9/2(12:00~16:00) 拍攝。第一期成果如圖6.23(a)所示，黃色實線為沙洲可視面積，共計28.54公頃，黃色虛線為沙洲水下可視面積，共計44.64公頃，該時期沙洲總面積為73.18公頃，以最內陸至海岸線之直線距離量測為300.6公尺。第二期成果如圖6.23(b)所示，沙洲總面積如紅色實線，共計163.86公頃，並於圖標示0m高程線之位置。

以最內陸至海岸線之直線距離量測為738.8公尺。如圖6.23(c)所示，為兩期影像套疊成果，可得知這兩個時期的沙洲可視面積差異約為90.68公頃。此外，第一期拍時間為高潮位，第二期拍攝時間為低潮位，透過正射影像得知，能夠顯示在不同潮位期間，判斷沙洲的裸露面積情況以及海岸線的變化，附件二也有針對北淤沙區所進行的單點環飛及巡檢模式的拍攝參數及結果。

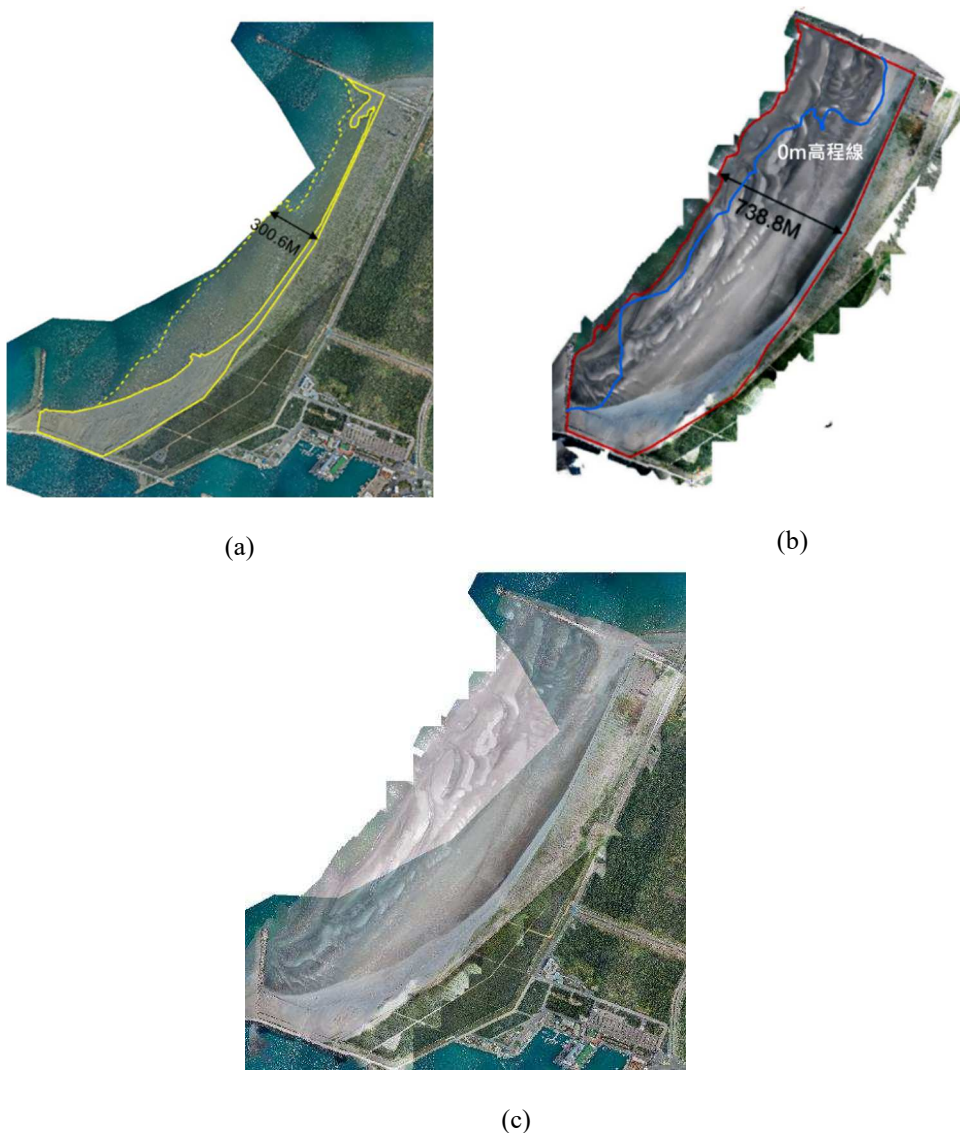


圖 6.23 (a)第一期北防沙堤影像 (b)第二期北防沙堤影像 (c)兩期套疊

6.6 本章小結

為了讓巡檢影像可以獲得更多資訊，諸如是否目標物存在、目標物損失程度等等，使用了Yolov4與Mask RCNN兩種不同種類模型

做連續的辨識，達到適合港區巡檢所需，並且考量該模型偵測的準確性與執行效率，提升無人機巡檢效率。

更加深分析模型提出的信任指數給予未來操作人員參考每次結果，有效利用人力去二次確認有問題位置，未來隨著巡檢次數增加且在不同時段做更多不同樣貌的資料收集，諸如滿潮抑或是退潮、陰天與晴天等各式各樣資料，使巡檢流程所使用的模型仍舊可以更加優化，並提供更多元化驗證資料，未來仍可朝該方向去做探討與改善，並且提供相關巡檢影片驗證影片辨識結果有改善單張相片可能出現角度與其他原因造成的偶然性錯誤。

位移監測與淤沙範圍變化則需要長期觀察，且拍攝時間要考慮漲退潮，方能在後續分析時能有更客觀的驗證，以目前影像精度雖可粗略計算面積或位移變化，但無法進行更進一步分析，建議未來能依據港區潮位資訊，於同一時間點以及注意在退潮零米線進行拍攝，以獲得更一致而完整的淤沙範圍辨識。

第七章 無人機影像整合管理平台

7.1 Node.js 特色

本案採用Node.js語言進程式開發，此語言採用Google所開發的V8引擎執行程式碼，類似於PHP和Python，主要用於編寫像Web伺服器一樣的網路應用，且其使用事件驅動、非阻塞和非同步輸入輸出模型等技術來提高效能，優化應用程式的傳輸量和規模。又V8專注於網路功能，在HTTP、DNS、TCP等方面相對成熟，使Node.js成為一個能夠適用於資料密集且跨平台運行JavaScript的應用程式。

此程式語言與其他語言最大的不同之處在於，PHP等語言是阻塞的（只有前一條命令執行完畢才會執行後面的命令），而Node.js是非阻塞的（多條命令可以同時被執行，通過回呼函式得知命令已結束執行）。事件驅動的特性也使開發者可以在不使用執行緒的情況下開發出一個能夠承載高並行的伺服器。

Node.js大部分基本模組都用JavaScript語言編寫，但在Node.js出現之前，JavaScript通常作為用戶端程式設計語言使用，以JavaScript寫出的程式常在用戶的瀏覽器上執行。Node.js的出現使JavaScript也能用於伺服器端應用。Node.js含有一系列內置模組，使得程式可以脫離Apache HTTP Server或IIS，作為獨立伺服器執行。目前Node.js已經有數十萬的延伸模組，它們可以通過一個名為npm的管理器下載並組合出適用於各種應用的解決方案。

7.2 資料庫建立

本案建立MySQL資料庫進行各項資料的存取，其特色如下所示：

- 支持AIX、BSDi、FreeBSD、HP-UX、Linux、Mac OS、Novell NetWare、NetBSD、OpenBSD、OS/2 Wrap、Solaris、Windows等多種操作系統。
- 使用C和C++編寫，並使用了多種編譯器進行測試，保證源代碼的可移植性。
- 為多種編程語言提供了API。這些編程語言包括C、C++、C#、VB.NET、Delphi、Eiffel、Java、Perl、PHP、Python、Ruby和Tcl等。
- 支持多線程，充分利用CPU資源，支持多用戶。

- 優化的SQL 查詢算法，有效地提高查詢速度。
- 既能夠作為一個單獨的應用程序應用在客戶端服務器網絡環境中，也能夠作為一個庫而嵌入到其他的軟件中。
- 提供多語言支持，常見的編碼如中文的GB 2312、BIG5，日文的Shift JIS 等都可以用作數據表名和數據列名。
- 提供TCP/IP、ODBC 和JDBC 等多種數據庫連接途徑。
- 可以處理擁有上千萬條記錄的大型數據庫。
- 有 multi-threading (多執行緒) 能力。

7.3 使用者操作平台系統架構

平台提供之功能包括電子地圖、UAV航線規劃、UAV影像匹配及量測分析功能等四大模組，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，圖7.1為模組架構圖，平台詳細頁面見附件三，各模組相關說明如下：

(1) 多重圖層展示模組：

除正射底圖外，系統亦提供多重圖資（如土地使用分區或地籍圖資等）之存取與套疊展示，有利使用者進行相關資料之查看與評判，點擊畫面右側影像區域右上角的底圖選擇功能，即可選擇相關資料進行套疊展示，以此可清楚得知各區域的分割關係，以便進行進一步之分析。

(2) UAV航線規劃模組：

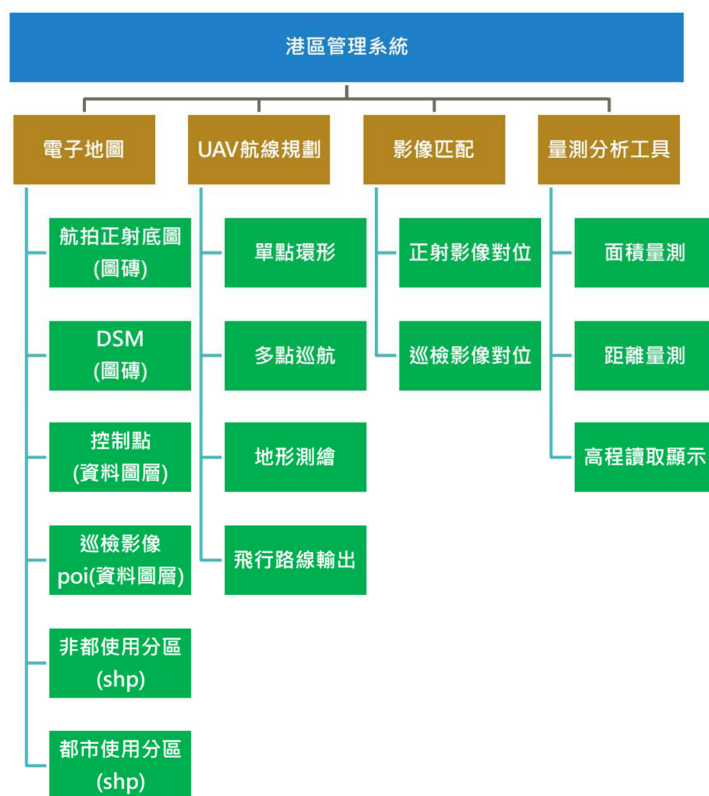
針對不同巡檢任務，平台提供三種飛行模式，分別為1)單點環飛：選擇指定目標物後，系統自動根據與目標物之距離、周圍建物高度及資料蒐集精細程度等條件，以目標物為中心，生成圓形之飛行軌跡；2)多點巡航：選擇指定目標物後，點擊指定飛行點位，系統根據相關資訊生成飛行軌跡；3)地形測繪：圈繪指定飛行區域後，系統根據選取區域及預設之影像重疊率進行航線規劃。

(3) UAV影像匹配模組：

分別在中突堤及北突堤以每10公尺為一單位設置POI(Point of Interest)點，UAV影像將根據拍攝坐標位置匯入對應的POI，匯入的影像會根據拍攝日期依序儲存，同時與基期影像進行校正匹配，讓使用者檢視變化。

(4) 影像量測分析模組：

點擊影像量測區域內之量測按鈕，啟動量測工具，可自行選擇距離量測或是面積量測。若為距離量測，則於右側之影像上進行兩特定點位置或範圍之標定，系統可根據正射影像中之相關資訊，計算該點或該範圍真實物空間中之直線距離和面積；此外，若選擇數值模型圖層，則可以量測點位之高程。



(a)



(b)

圖 7.1 (a)臺中港區無人機影像管理平台架構 (b)管理平台頁面

7.3.1 UAV 航線規劃

飛行模式有地形測繪、多點巡航以及單點巡航模式，平台中除了模式可以選擇外，可再依需求調整專案名稱、起始點與選取點坐標、飛行速度與高度以及緩衝區大小，在讀取DSM後，輸出規劃後路徑於平台上呈現，並輸出TWD97路徑點位資料與高程資料給未來飛機使用(圖7.2、7.3)。



UAV航線規劃

■ 飛行模式

- ☐ 單點環行
- ☐ 多點巡航
- ☐ 地形測繪

規劃參數設定

■ 路徑規劃查詢

請輸入檔案編號:

查詢

規劃路線參數

規劃路線輸出

中美利
油化
股份有
司台
廠

圖 7.2 平台飛航規劃功能



航線規劃參數設定

起始點位(X): 起始點位(Y): 路徑點位(X): 路徑點位(Y):

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

執行飛行路線規劃 取消

圖 7.3 參數設定欄

7.3.2 多時期 UAV 正拍巡檢影像套疊

UAV影像具備無人機衛星定位坐標資訊如圖7.4所示，其資訊提供系統快速搜尋定位影像所涵蓋正射影像範圍，並將正射影像與UAV正拍影像進行SURF匹配偵測共軛特徵點，利用3組以上共軛特徵點進行影像仿射轉換，經轉換UAV影像能夠對應套疊正射影像，即是影像上方為正北方向，經對位及仿射改正UAV影像能協助操作者比對同區塊多時期改變(圖7.5)，其中測試案例一匹配品質RMS指標為0.045公尺(約0.9個pix)；測試案例二匹配品質RMS指標為0.069公尺(約1.4個pix)。



圖 7.4 UAV 影像定位及其影像坐標資訊

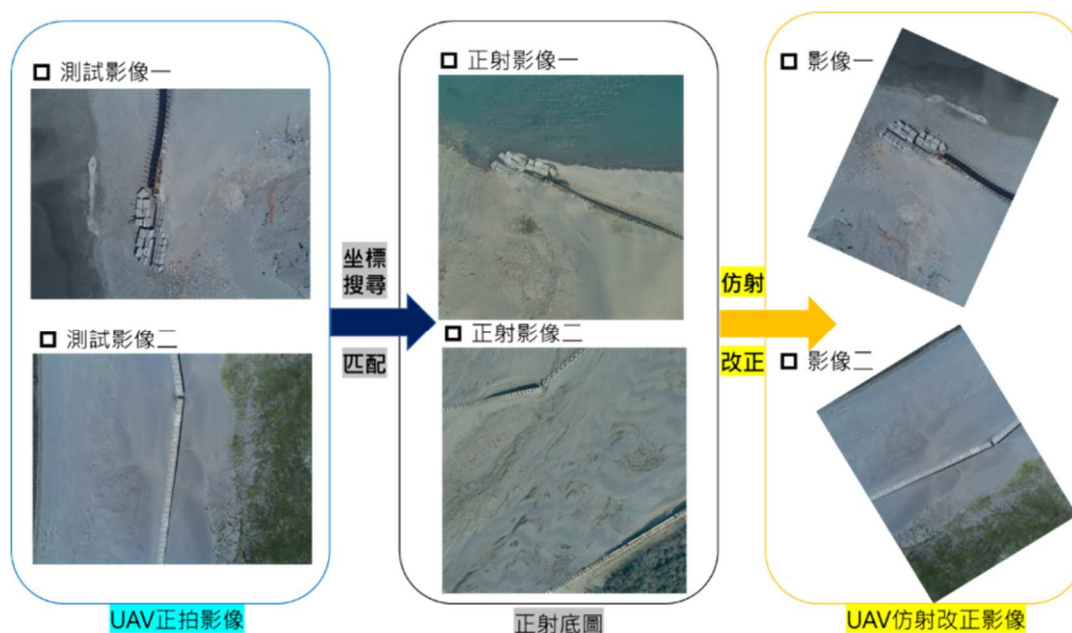


圖 7.5 UAV 正拍影像仿射改正前後比較於正射影像圖

7.3.3 多時期 UAV 斜拍巡檢影像查詢

UAV巡檢調查時搭載相機以斜拍方式，蒐集港區構造物及周邊環境影像，本計畫為提供使用者針對局部區域展開多時期影像資訊比對，因此於系統平台中設置POI點位，各時期UAV影像將依其坐標為參考，並收集於最鄰近的POI點圖層當中，其中POI點位沿著中突堤港口區域佈設，其點位間距為10公尺。圖7.6顯示POI編號點位179之坐標及兩期影像巡檢時間，經點擊時間可展示該點為之多時期UAV斜拍巡檢影像。

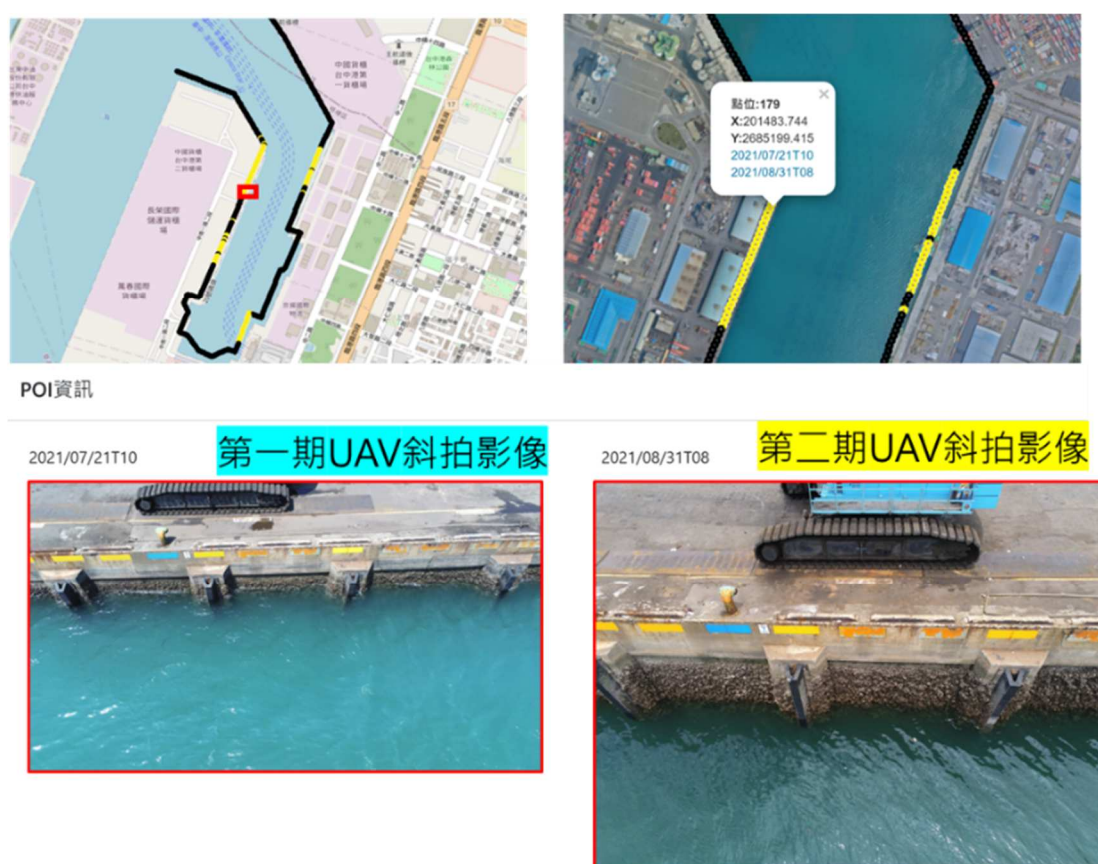


圖 7.6 中突堤區域影像 POI 點分布及多時期影像

7.4 本章小結

根據目前平台雛形有的3種功能量測、航線規劃及影像匹配)，已可進行大部分巡檢任務結果的影像管理及分析，透過各POI點位的影像儲存，雖目前僅有部分點位含有多期影像，但隨著未來影像數量的增加，可更明顯比較出物件所經歷的變化，達到長期監測之效益，後續也可增設更多模組針對特定物件進行自動化的辨識管理。

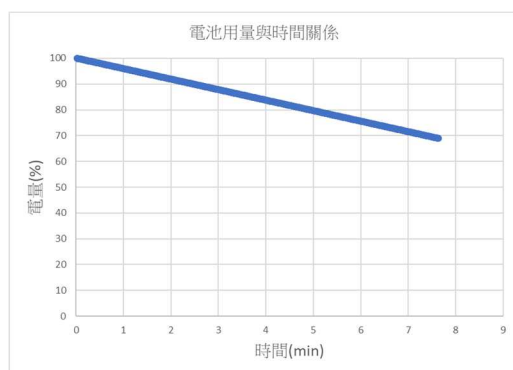
第八章 實地驗證與品質評估

8.1 無人機飛行相關檢核

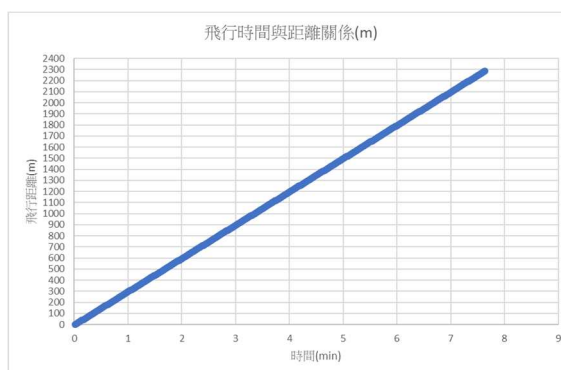
8.1.1 飛行範圍與作業時間

為了確認無人機的飛行能力與作業時間，以確保巡檢作業能夠順利執行，本研究案以兩個實際巡檢的案例進行分析，運用本案 Typr2 Parrot Anafi 無人機比較在不同情況下，以數值驗證方式確認無人機的飛行能力與飛行時間。最後提供適合的建議做為回饋，以利於巡檢作業執行。本案共分為兩個案例探討，首先為案例1，是在天氣晴朗風速較小的條件下進行現地巡檢，詳細飛行條件如表8-1所示。當天風速為3m/s，屬於輕風。透過飛行紀錄顯示，經過7.63分鐘的巡檢後，電量消耗為31.04%，如圖8.1(a)表示電量與飛行時間之關係，如式(15)以一階直線方程式計算後得知每分鐘電量下降4.11%。飛行距離可達到2285m，如圖8.1(b)為飛行時間與距離關係圖。

$$y = ax + b \quad (15)$$



(a)



(b)

圖 8.1 (a)案例 1 電量與飛行時間關係圖(b)飛行時間與距離關係圖

表 8-1 實際飛行數據表(2級風)

項目	數值
風速	3m/s(2 級風)
飛行時間	7.63 分鐘
電池使用量	31.04%
每分鐘下降電量	4.11%
飛行距離	2285m
飛行航高	60m

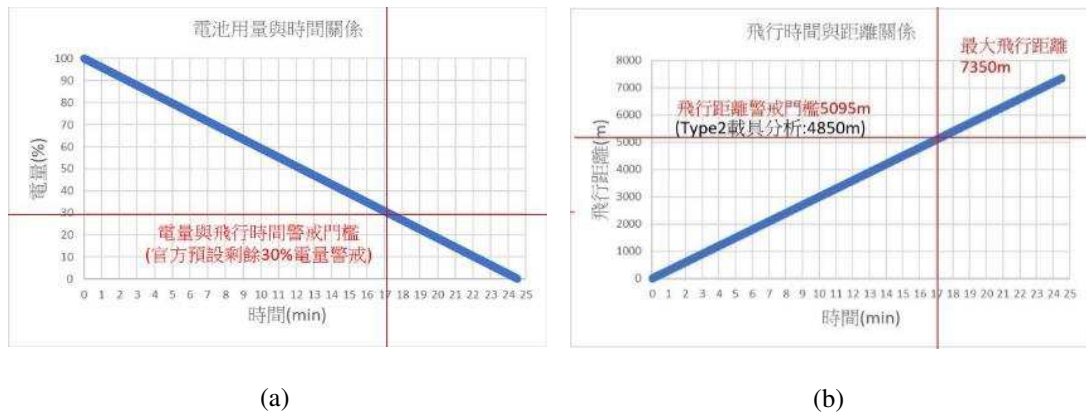


圖 8.2 (a)推估電量與飛行時間關係圖(b)推估飛行時間與距離關係圖(2級風)

透過這樣實際飛行的數值，再以線性推估後續的飛行時間與電量消耗狀況，如圖8.2(a)所示，得知每分鐘電量下降約4.11%，推估直到24.51分鐘時電量完全耗盡，如表8-1所示與圖8.2(b)所示，此時的電量耗盡飛行距離推估為7350m。此外，該台無人機官方數據註明最大飛行時間為25分鐘，得知在天氣狀況良好時，顯示推估的數據成果與官方公告是一致的。

本案依據這個推估成果，提供了建議飛行時間、預留電量、以及飛行距離。如表8-2及圖8.2(a)所示，完整一次任務，建議電量最好預留30%，也就是最大飛行時間為70%，故飛行時間安全係數設定為0.7，扣除起降時間推估建議飛行時間為16.34分鐘，建議飛行距離為4903m(表8-2)。透過這樣的設定，才能確保在飛行途中，遭遇任何緊急情況時有足夠的電量能夠處理。

表 8-2 以實際案例推估飛行數據表（2級風）

項目	數值
電量耗盡飛行時間	24.51 分鐘
電量耗盡飛行距離	7350m
建議剩餘電量	30%(往返)
建議飛行時間	16.34 分鐘(往返)
建議飛行距離	4903m(往返)
飛行時間安全係數	0.7

接著是案例2，是在天氣相當不佳的情況下所進行的巡檢任務，如表8-3所示，當時風速為8m/s(5級風)，接近Type2無人機的抗風極限(6級風)。在經過5分鐘的飛行任務後，電池使用了26%，飛行距離為1495m(表5-3)。如圖8.3(a)與表8-3所示每分鐘下降電量為5.20%，

對案例1下降幅度每分鐘增加了1.09%，表示隨著風速增強電量下降明顯增加。

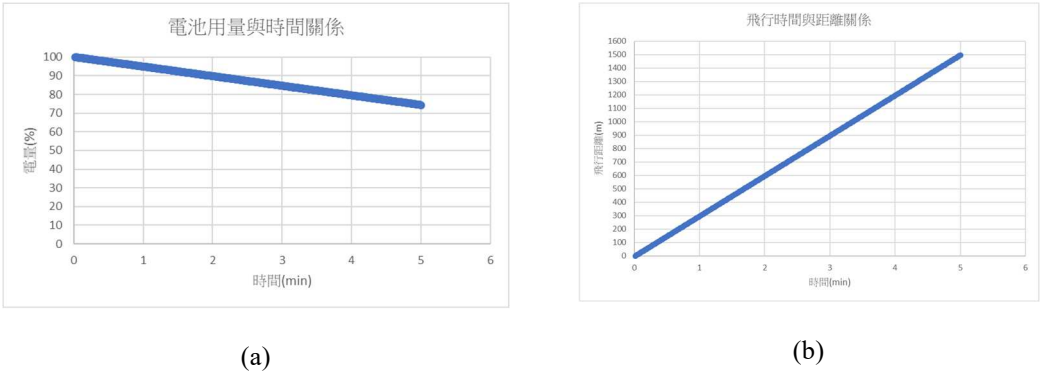


圖 8.3 (a)案例 2 電量與飛行時間關係圖(b)飛行時間與距離關係圖

表 8-3 實際飛行數據表(5 級風)

項目	數值
風速	8m/s(5 級風)
飛行時間	5 分鐘
電池使用量	26.00%
每分鐘下降電量	5.20%
飛行距離	1495m
飛行航高	60m

將案例2推估電量與飛行時間，如圖8.3(a)與表8-4，電量耗盡時間為19.46分鐘，電量耗盡飛行距離為5836m。建議剩餘電量為30%，如圖8.4(a) 扣除起降時間得知飛行時間為12.96分鐘，也就是約為官方公告最大飛行時間的一半，故電量安全係數在天氣狀況不好時，應設定為0.5，建議飛行距離為3889m。

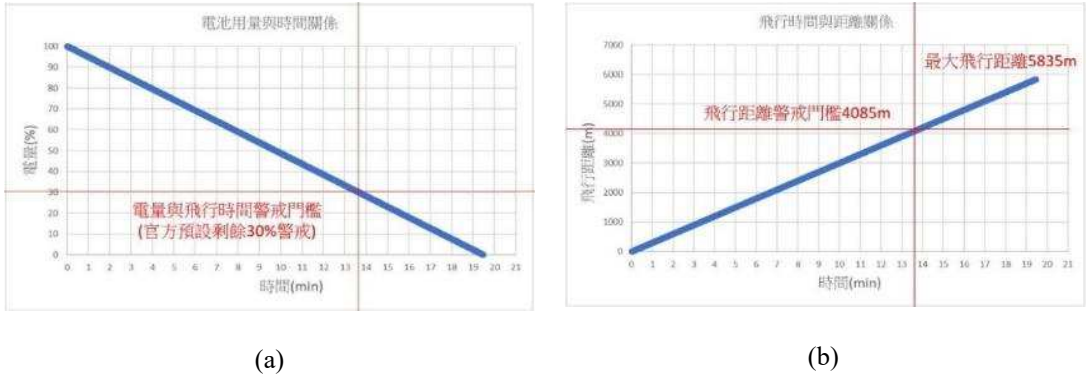


圖 8.4 (a)推估電量與飛行時間關係圖(b)推估飛行時間與距離關係圖(5 級風)

表 8-4 以實際案例以實際案例推估飛行數據表(5 級風)

項目	數值
電量耗盡飛行時間	19.46 分鐘
電量耗盡飛行距離	5835m
建議剩餘電量	30%(往返)
建議飛行時間	12.96 分鐘(往返)
建議飛行距離	3889m(往返)
飛行時間安全係數	0.5

依據這兩個案例的實際驗證，並加以推估無人機的飛行時間與距離，本案提供在天氣良好與天氣不佳時的建議飛行參數，以利後續無人巡檢作業順利進行。如表8-5所示，在天氣良好時(2級風)，建議電量安全係數為0.7，飛行時間不超過16.34分鐘，飛行距離不超過4903m。在天氣狀況不佳時(5級風)，建議電量安全係數為0.5，飛行時間不超過12.96分鐘，飛行距離不超過3889m。

表 8-5 建議飛行參數表統整

天氣狀況	良好	不佳
風速	2 級風(3m/s)	5 級風(8m/s)
飛行時間安全係數	0.7	0.5
建議飛行時間	16.34 分鐘	12.96 分鐘
建議飛行距離	4903m(往返)	3889m(往返)

8.1.2 無人機飛行穩定性及機動性

針對無人機的飛行穩定性，在設定航線規劃後，需驗證實際飛行時，無人機是否依據航線進行飛行。本案將中突堤巡檢的飛行數據取出，以相對航高，以及無人機水平位置行分析精度檢核分析。如圖8.5所示紅色線段為設定航高為60m，藍色點為每個飛行位置的POI相對高度，共計271個。其中可發現高度並非完全重和於設定航高，而是有偶然性的波動，另如圖8.6為設定航高與實際飛行航高的殘差圖。如表8-6所示，航高最大差值為0.566m，最小差值為-2.015m，均方根誤差為±1.084 m。

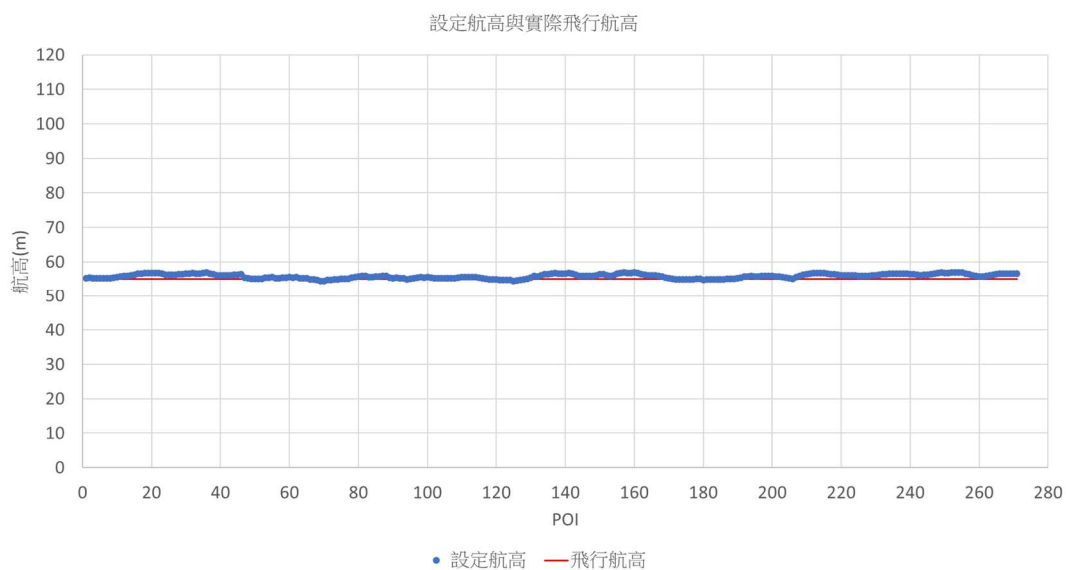


圖 8.5 無人機設定航高與實際飛行航高對照圖

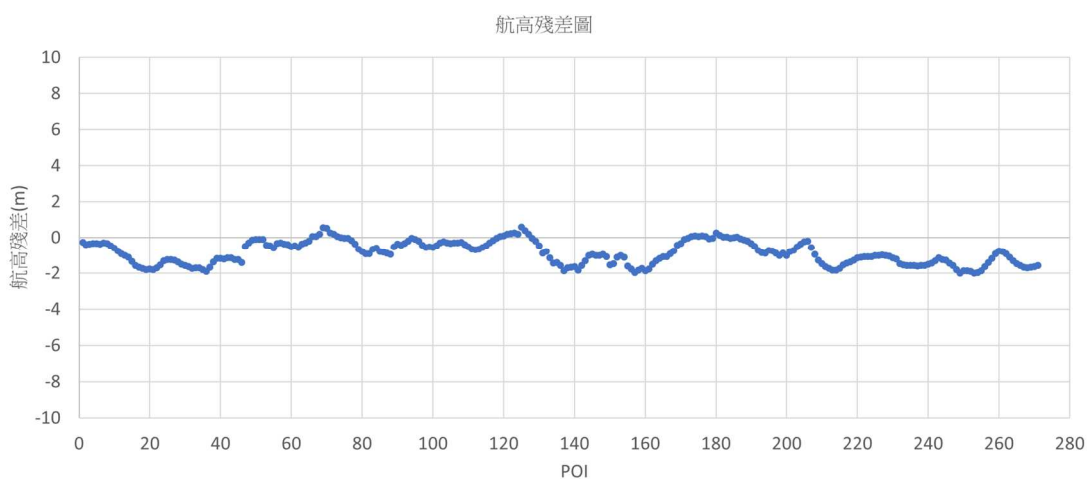


圖 8.6 無人機航高穩定性殘差圖

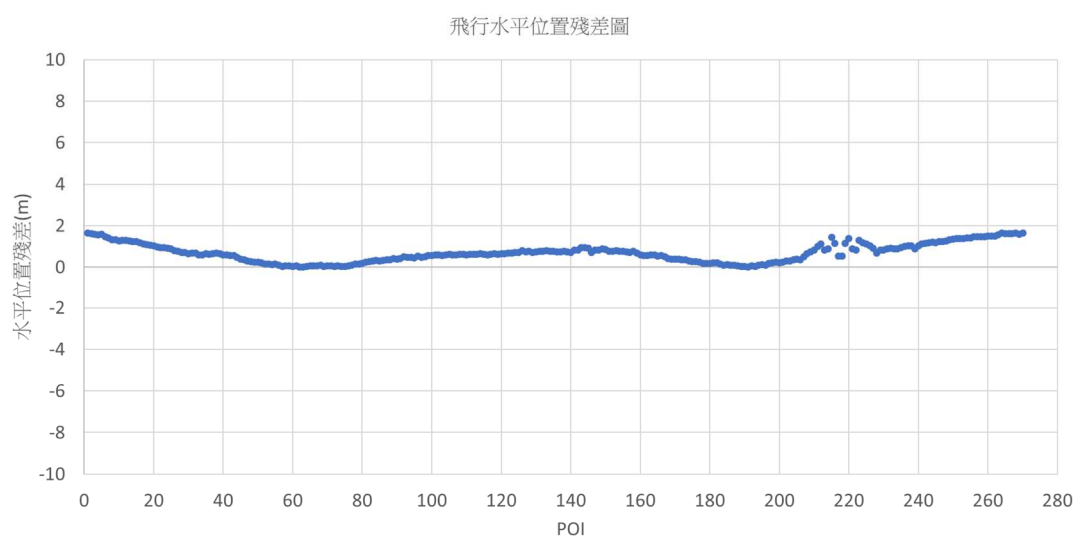


圖 8.7 無人機水平位置穩定性殘差圖

表 8-6 無人機飛行穩定度精度表

項目	航高差值	水平位置差值
最大差值	0.566 m	1.650 m
最小差值	-2.015 m	0.009 m
均方根誤差(RMSE)	± 1.084 m	± 0.817 m

表 8-7 實際飛行位置精度表

項目	航高差值	水平位置差值
最大差值	2.549m	1.601 m
最小差值	0.307m	0.008 m
均方根誤差(RMSE)	± 1.675 m	± 0.870 m

在水平位置方面，將每個POI的水平位置與航線的正交距離視為差值，如表8-6所示最大差值為1.650m，最小差值為0.009m，均方根誤差為 ± 0.817 m。因此得知在高程方面的精度整體約為 ± 0.817 m。此外，在另一個北防砂堤巡檢案例中，共計150個POI，精度分析如表8-7所示，整體精度與表8-6的案例類似，高程差值較大，水平差值較小。整體而言，本案無人機上搭載一般晶片型GNSS定位控制航高精度可在 ± 2 m以內，水平位置精度可在 ± 1 m以內，這樣的定位精度對於無人機巡檢已足敷使用。

關於無人機的機動性，從上述結論可得知，無人機的定位精度良好，在配合本案航線規劃方法之下，應能適用於障礙物較多的港區碼頭進行巡檢。如圖8.8所示，為中突堤碼頭現地巡檢碼頭碰墊。



圖 8.8 無人機現地巡檢圖

8.2 無人機影像品質檢核

8.2.1 原始影像解析度檢核

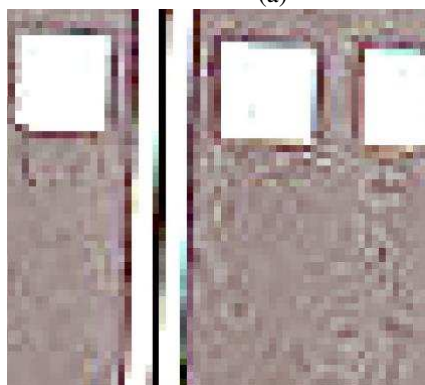
為了在產製正射影像及三維點雲能產生高解析度的成果，原始拍攝影像的品質也就相當重要，本案隨機挑選了原始產製全測區正射影像所拍攝的原始影像，共計十張，以確認原始拍攝影像的解析度是否足夠。由於原始影像沒有真實尺度，但能透過像素判斷尺寸，因此本案以路面標線作為依據，查看白線與雙白線的寬度。另白線與雙白線單線寬度皆為十公分(8.2.3節補充規範說明)。在本案全區目標解析度5公分設定下，原始影像上看到的白線寬度需為2~3個像素大小，如圖8.9(a)至(j)所示標線均勻2-3個像素，尤其肉眼可清楚辨識邊界，表示原始拍攝影像已提供了相當足夠的解析度，足以用來產製高解析度的正射影像。另關於原始影像產製正射影像後之實際尺寸檢核，將於8.2.3節說明詳細的驗證成果。



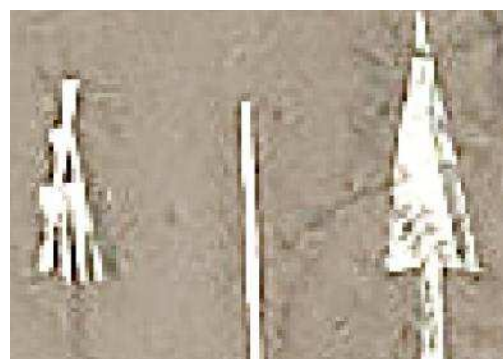
(a)



(b)



(c)



(d)

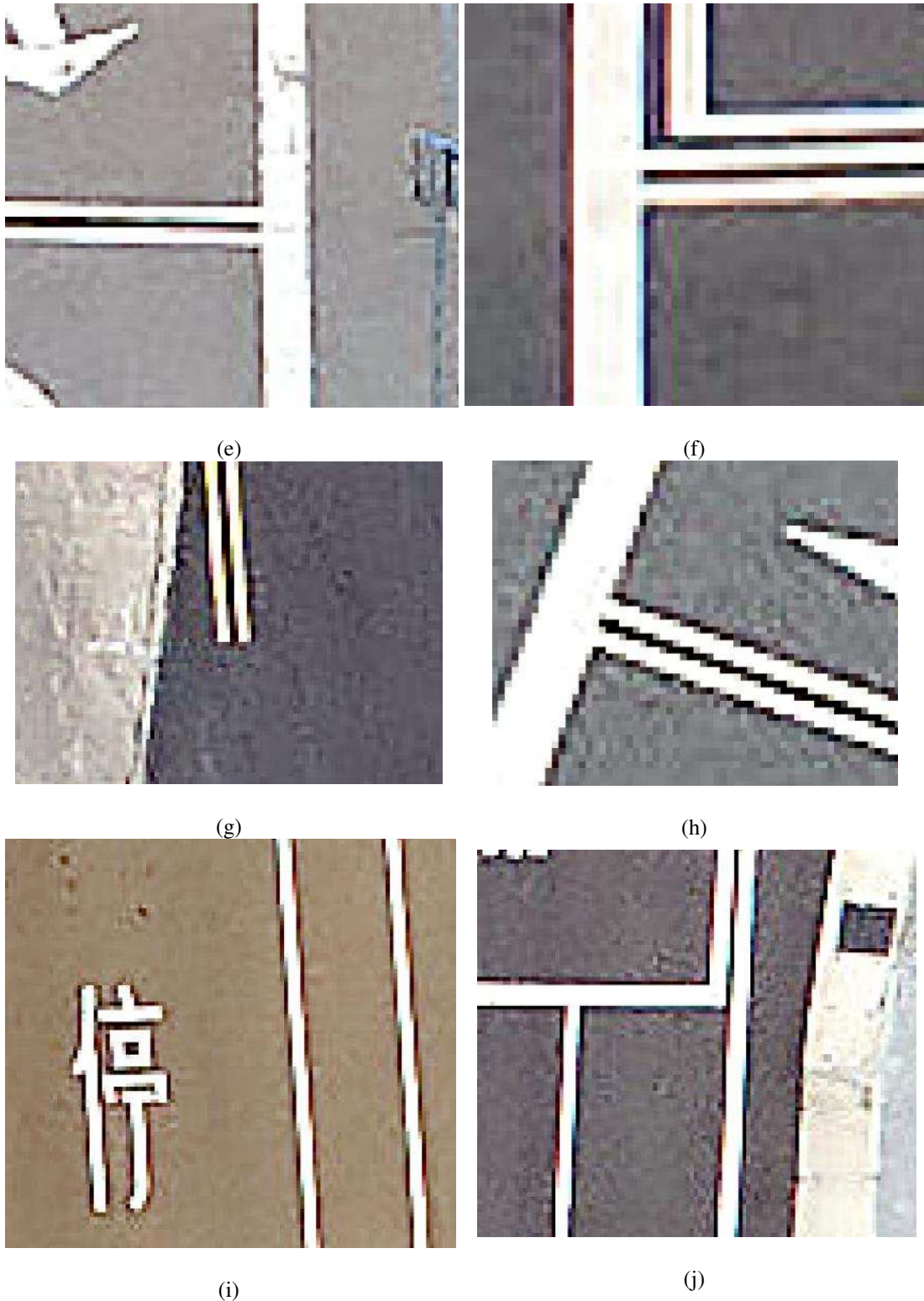


圖 8.9 無人機拍攝原始影像上呈現之港區斑馬線與雙白線圖

8.2.2 無人機路徑正確性測試

無人機的路線規劃透過空拍點做為絕對參考點，再透過像點做相對路徑控制，平台中展示無人機飛行路徑為相對路徑，因此將輸

出的無人機路徑座標輸出至google Earth來分析位置與路徑是否正確(如圖8.10)。

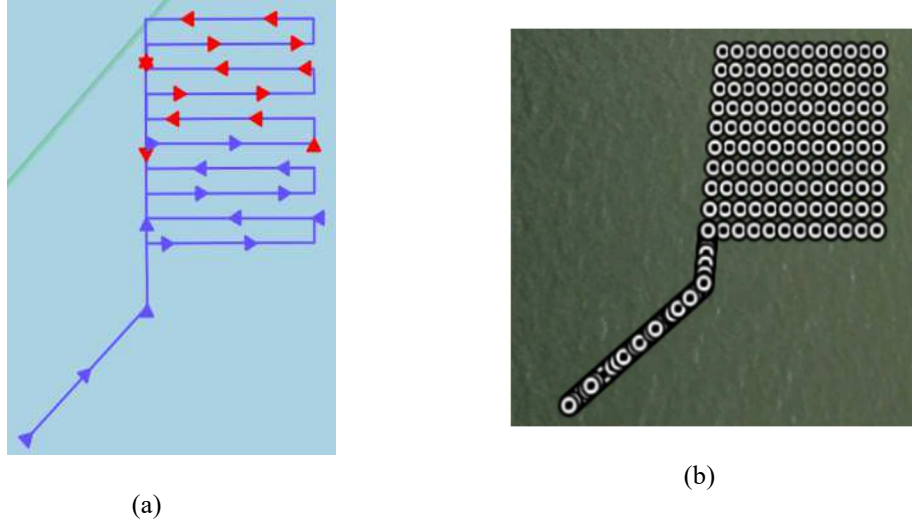


圖 8.10 (a)地形測繪之平台展示圖(b)google Earth 結果圖

8.2.3 影像匹配品質評估

UAV正拍影像與正射底圖進行SURF匹配演算時，依共軛特徵配對獲得匹配點，本研究在眾多的匹配點當中計算共軛點間歐式距離 ΔL ，並依序排列擇選最佳匹配6組匹配點，保留作為UAV正拍影像進行仿射改正使用之外，同時計算其方均根(Root Mean Square, RMS)作為影像匹配成果品質指標，於本研究計畫中設定匹配像對點之方均根為1公尺(即是20個pix)，同時作為是否進行影像改正之門檻依據。

$$\Delta L = \sqrt{(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2} \quad (16)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \Delta \bar{L})^2}{n}} \quad (17)$$

其中， (x_i, y_i) 為UAV影像像上特徵點坐標、 (X_i, Y_i) 為正射影像上特徵點坐標、 i 為特徵點編號、 n 為特徵點總數量，示意圖如8.11。

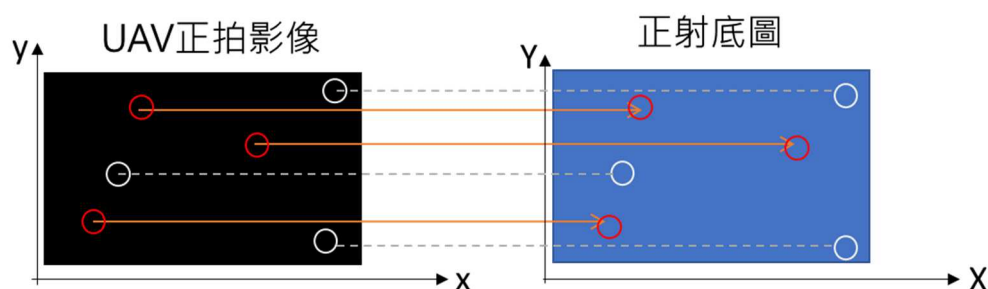


圖 8.11 影像匹配示意圖

8.2.4 正射影像幾何精度檢核

關於正射影像的定位精度，須經由現地特徵明顯之物件進行實際量測與檢核，本案挑選了幾個特徵明顯的物件進行檢核，首先選擇為長榮海運40呎標準貨櫃(圖8.12)，在港區貨櫃中較容易辨認，尤其貨櫃方正的特性，特徵相當明顯。此外在長榮海運的貨櫃中，分為20呎、40呎以及45呎，而40呎這個尺寸為最多，且在影像上不易與其他長榮貨櫃辨識錯誤。



圖 8.12 正射影像檢核用貨櫃圖

在長榮海運的官網也提供了詳細的數據，如圖8.13所示，顯示貨櫃外觀之長度為12.192m，寬度為2.438m，高度為2.591m，提供了

精準的尺寸，因此相當適合用來檢核。

● 四十呎鋼製乾貨貨櫃

外部尺寸		
長	寬	高
40'-0"	8'-0"	8'-6"
12.192 m	2.438 m	2.591 m
內部尺寸		
長	寬	高
39'-5 45/64"	7'-8 19/32"	7'-9 57/64"
12.032 m	2.352 m	2.385 m
重量限制		
總重	空櫃重	貨物淨重
67,200 lb	8,820 lb	58,380 lb
30,480 kg	4,000 kg	26,480 kg

櫃門內徑	
寬	高
7'-8 1/8"	7'-5 3/4"
2.343 m	2.280 m
內容積 (立方米)	內容積 (立方呎)
67.5	2,385



圖 8.13 長榮海運貨櫃尺寸表(來源:長榮海運官網)

第二個檢核物件選用的為斑馬線(圖8.14)，斑馬線的特徵與地面有高反差對比，因此特別容易辨別。在此尺寸方面，現階段臺灣各路口根據交通部、內政部—道路交通標誌標線號誌設置規則第 185 條：枕木紋行人穿越道線（斑馬線），設於交岔路口；其線型為枕木紋白色實線，線段長度以3公尺至8公尺為度，寬度為40公分。本案將斑馬線寬度列為檢核目標。第三個檢核物件選用雙白線(圖8.14)，依據道路交通標誌標線號誌設置規則第 158 條:本標線為雙白虛線，線段長4公尺，間距6公尺，線寬10公分，間隔10公分。得知雙白線整體寬度為30公分，本案將雙白線整體寬度列為檢核目標。

整體檢核分布位置如圖8.15所示，均勻分布於測區，斑馬線共計10處，雙白線共計10處，貨櫃共計30個。此外，貨櫃不同於地面標線，是有不同高度變化的，可能會有些微高差位移的影響，故取樣較多。



圖 8.14 正射影像港區斑馬線與雙白線圖

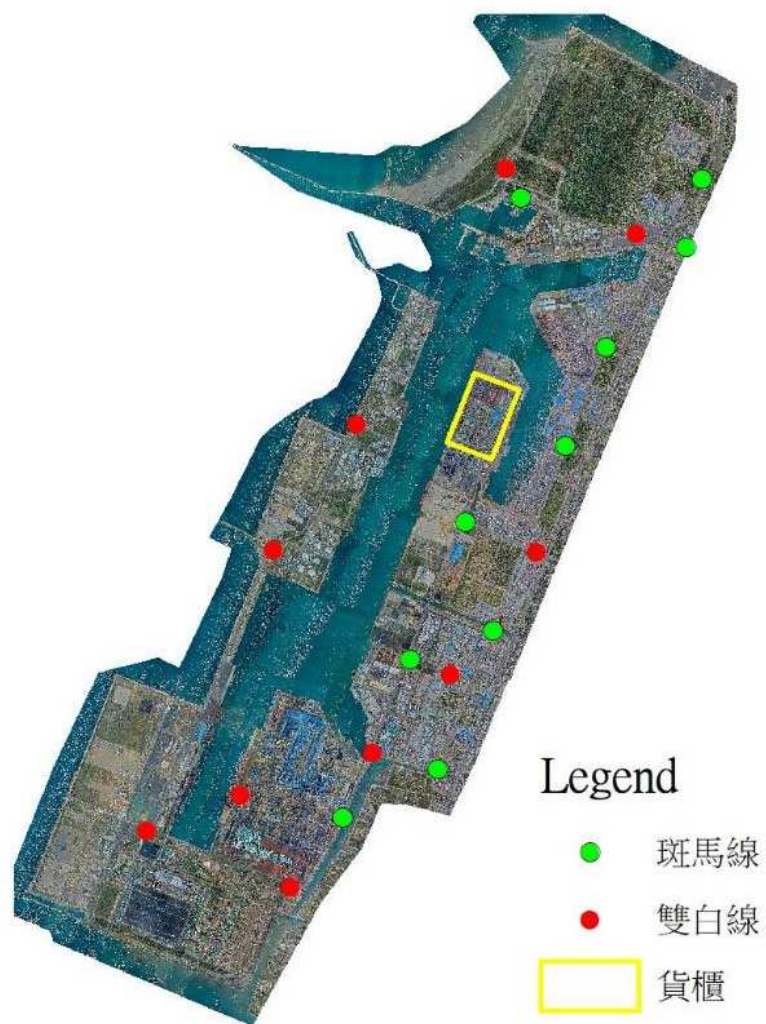


圖 8.15 正射影像檢核物件位置分布圖

貨櫃實際長度為12.192m，表8-8顯示30筆量測的成果，最大誤差0.157m，最小誤差-0.145m，均方根誤差±0.074m。斑馬線實際寬度為0.40m，表8-9最大誤差0.045m，最小誤差-0.011m，均方根誤差±0.028m。雙白線實際寬度為0.30m，最大誤差0.070m，最小誤差-0.011m，均方根誤差±0.044m(表8-10)。最後再使用式(18)和差函數計算，得知整體誤差為±0.090m，故解析度5cm的正射影像整體約為±1.8個像素誤差。

$$\sigma_F = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} \quad (18)$$

表 8-8 貨櫃影像尺寸檢核表

數量	量測值 (m)	誤差值 (m)	數量	量測值 (m)	誤差值 (m)
1	12.112	-0.08	16	12.166	-0.026
2	12.349	0.157	17	12.278	0.086
3	12.216	0.024	18	12.123	-0.069
4	12.221	0.029	19	12.198	0.006
5	12.217	0.025	20	12.163	-0.029
6	12.281	0.089	21	12.204	0.012
7	12.263	0.071	22	12.149	-0.043
8	12.235	0.043	23	12.131	-0.061
9	12.121	-0.071	24	12.233	0.041
10	12.047	-0.145	25	12.285	0.093
11	12.206	0.014	26	12.249	0.057
12	12.168	-0.024	27	12.266	0.074
13	12.057	-0.135	28	12.301	0.109
14	12.197	0.005	29	12.063	-0.129
15	12.102	-0.09	30	12.187	-0.005
誤差值 RMSE=±0.074m					

表 8-9 斑馬線影像尺寸檢核表

數量	量測值 (m)	誤差值 (m)	數量	量測值 (m)	誤差值 (m)
1	0.435	0.035	6	0.42	0.020
2	0.407	0.007	7	0.444	0.044
3	0.412	0.012	8	0.414	0.014
4	0.389	-0.011	9	0.438	0.038
5	0.445	0.045	10	0.424	0.024
誤差值 RMSE=±0.028m					

表 8-10 雙白線影像尺寸檢核表

數量	量測值(m)	誤差值(m)	數量	量測值(m)	誤差值(m)
1	0.361	0.061	6	0.371	0.071
2	0.355	0.055	7	0.338	0.038
3	0.311	0.011	8	0.318	0.018
4	0.354	0.054	9	0.323	0.023
5	0.343	0.043	10	0.328	0.028
誤差值 RMSE=±0.044m					

8.2.5 數值地形模型高程精度檢核

對於數值地形模型高程精度的檢核，本案採用全區控制點，檢核對應到該相同位置DSM上的網格高程，如圖8.16所示為控制點的分布位置，再將控制點絕對高程與DSM高程相減可得到差值，接著評估精度。除了絕對高程，本案也挑選了尺寸明確的貨櫃，如7.3.1節提及的長榮海運貨櫃，在標準20呎及40呎的貨櫃高度均為2.591m，故有相當多的樣本可挑選。如圖8.17的方式進行相對高度量測，需挑選擺放在地面的貨櫃，先量測紅色箭頭貨櫃頂部角點，再量測黃色箭頭或對底部角點，最後將高程相減，可得DSM上貨櫃高，接著再比較實際尺寸的貨櫃高，並計算差值。

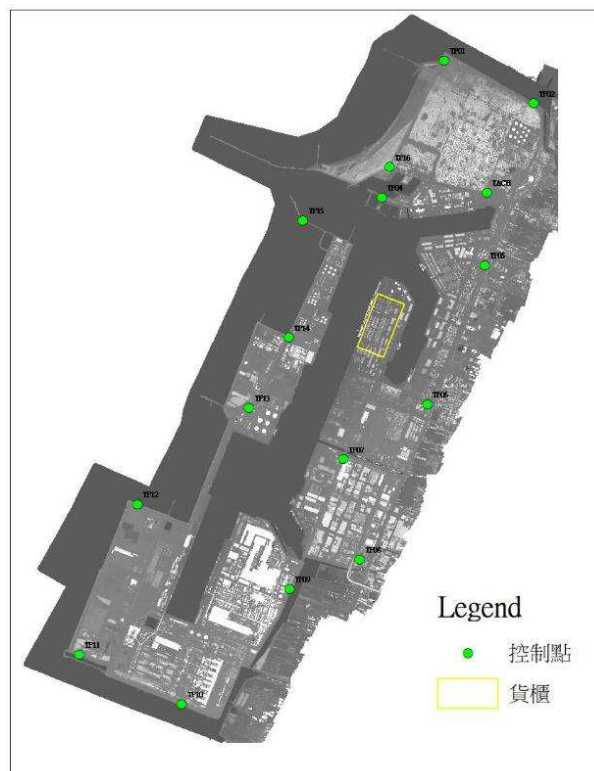


圖 8.16 港區控制點及檢核用貨櫃分布圖



圖 8.17 貨櫃高度測示意圖

如表8-11所示為15個控制點的絕對高程檢核成果，顯示DSM高程最大誤差為0.059m，最小誤差為-0.129m，均方根誤差為 $\pm 0.050\text{m}$ 。另在貨櫃高度的檢核上，採用30筆量測資料，檢核成果如表8-12所示，最大誤差為0.319m，最小誤差為-0.281m，均方根誤差 $\pm 0.145\text{m}$ ，再透過式(17)和差函數計算兩個檢核方式的整體誤差為 $\pm 0.153\text{m}$ ，表示本案的DSM模型高程精度可達 $\pm 0.153\text{m}$ ，誤差約為平面精度的1.6倍，故為合理。

表 8-11 臺中港區 DSM 絕對高程檢核表

點號	控制點正高	DSM 正高	誤差值
TACH	15.041	15.100	0.059
TP01	5.168	5.198	0.030
TP02	4.803	4.835	0.032
TP04	3.523	3.566	0.043
TP05	4.292	4.333	0.041
TP06	4.481	4.531	0.050
TP07	5.095	4.966	-0.129
TP08	5.282	5.338	0.056
TP09	5.203	5.254	0.051
TP10	5.810	5.846	0.036
TP11	5.381	5.404	0.023
TP12	10.947	10.968	0.021
TP13	4.557	4.582	0.025
TP14	4.275	4.299	0.024
TP15	5.436	5.492	0.056
TP16	4.795	4.810	0.015
誤差值 RMSE(m)= $\pm 0.050\text{m}$			

表 8-12 臺中港區 DSM 貨櫃高度檢核表

數量	量測值 (m)	誤差值 (m)	數量	量測值 (m)	誤差值 (m)
1	2.640	0.049	16	2.733	0.142
2	2.510	-0.081	17	2.688	0.097
3	2.550	-0.041	18	2.695	0.104
4	2.390	-0.201	19	2.685	0.094
5	2.910	0.319	20	2.735	0.144
6	2.310	-0.281	21	2.653	0.062
7	2.570	-0.021	22	2.687	0.096
8	2.520	-0.071	23	2.676	0.085
9	2.900	0.309	24	2.684	0.093
10	2.670	0.079	25	2.668	0.077
11	2.740	0.149	26	2.657	0.066
12	2.720	0.129	27	2.451	-0.140
13	2.800	0.209	28	2.700	0.109
14	2.760	0.169	29	2.690	0.099
15	2.767	0.176	30	2.580	-0.011
RMSE=±0.145m					

8.3 取像邏輯規劃測試

8.3.1 無人機實際飛行測試

確認路徑坐標與實際位置的正確性後，將其成果實際應用於無人機上，並分別使用相對坐標與絕對坐標進行測試。

(1) 相對坐標測試

測試飛機利用平台輸出坐標點(圖8.18)，並使用點與點之間相對位移做單點環飛測試，使用為半徑5m及飛行高度10m作為測試參數。

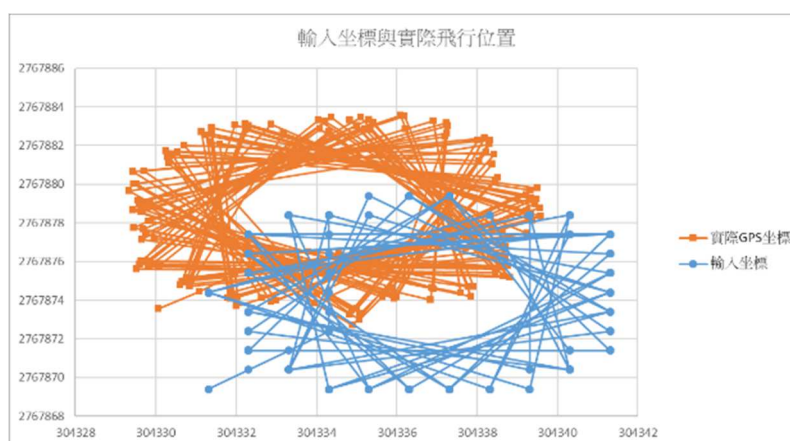


圖 8.18 平台輸出 GPS 點與實際飛行坐標

在這次測試中，因相對飛行與無人機擺放位置有絕對關聯性，因此會出現飛行路徑與預測路徑有系統性誤差，故相對飛行模式並

不適合。

(2) 絕對坐標測試

第二次測試使用絕對位置(圖8.19)，因無人機在飛行時會持續接收衛星訊號做GPS解算，因此這次飛行改使用絕對飛行方式來做測試，並分析其精度狀況(圖8.20)，使用為半徑10m及飛行高度10m作為測試參數。

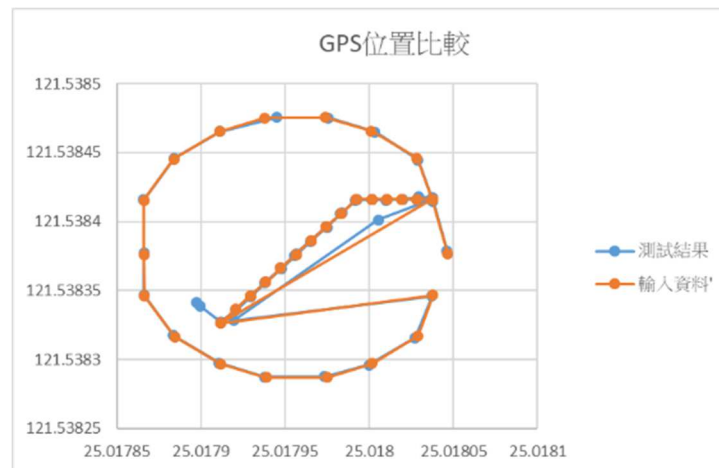


圖 8.19 平台輸出 UAV 航跡點與實際飛行坐標

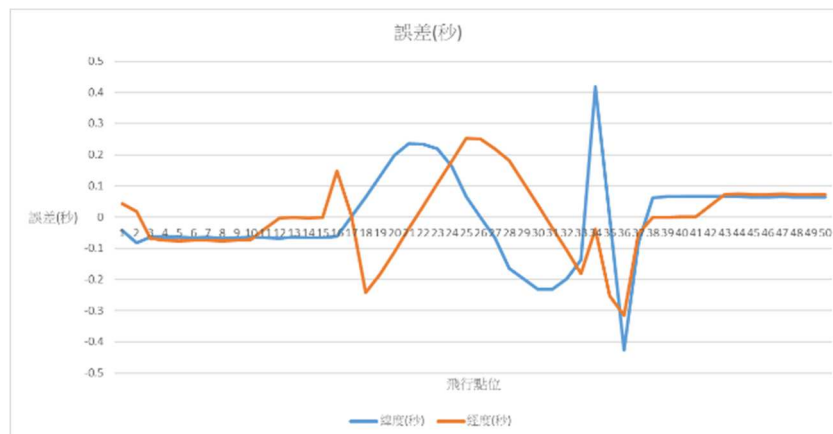


圖 8.20 平台輸出 UAV 航跡點與實際飛行坐標誤差

經這次測試後，僅決定未來飛行方式為絕對位置來做飛行方式，但這次的誤差來源未來可以在釐清當下飛行高度與風速等因素是否會導致最大誤差值改變。

8.4 特定物件辨識及變遷偵測信賴度評估

8.4.1 物件辨識信賴指數說明

Yolov4於辨識後會給予每一結果給出信賴指數(confidence score)，而其定義為預測之Bounding Box 與實際答案的IOU，見附圖8.21：

$$\text{confidence score} = \text{Pr}(\text{object}) * IOU_{pred}^{truth} \quad (19)$$

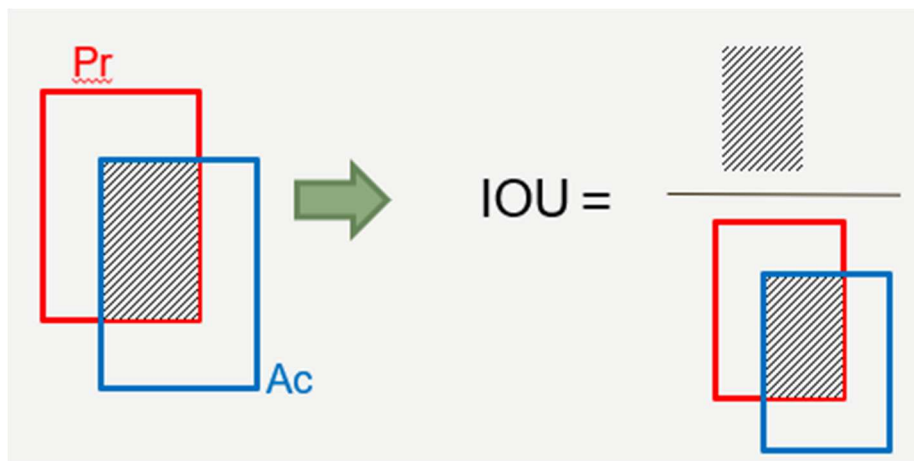


圖 8.21 IOU (Intersection Over Union) 指標計算示意圖

一般而言當該分數高於50%時，可以視為Yolov4有偵測到物件；而低於50%時，則需要人力做進一步檢查，其中可能發生原因可能是物件於相片中邊緣導致重疊率過低所致，如圖8.22：



(a)



(b)

圖 8.22 (a)高於 50% (b)低於 50%

基於港區資料之實際測試成果，本研究建議在信賴指數高於0.7時，表示模型判斷該物件被完整偵測且可信性較高；若信賴指數高若在0.4~0.7之間，則應配合其它角度照片做進一步確認，信賴指數若低於0.4以下且無其它照片可供檢核時，則建議安排人力前往現場做直接判別。

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。本研究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。

9.1 成果結論

(1) 無人載具與感測系統分析成果：

本案蒐集不同種類的無人機並定義各自特性以及飛行性能，再針對酬載能力搭配感測器，並分析港區氣候條件劃分各個區域最適合使用之無人機以及可飛行之月份，提供未來不同飛行任務的最佳依據。

(2) 空間資訊收集成果（包含地控點、航拍影像以及三維數值地形模型）：

進行了地面控制點測量與全港區影像資料蒐集，產製出全港區高精度與高解析度之正射影像底圖與數值高程模型，影像上每像素皆具有精確之空間資訊，用來作為後續影像對位依據。同時，針對南堤進行了3期的拍攝，產置三維點雲進行構造物的位移監測比較三個時期的差異性，分別檢測水平及垂直的位移。北防沙堤則為後期才著手進行的部分，雖僅有2期仍可從兩期影像套疊成果，比較這兩個時期的差異。

(3) 飛行載具取像控制邏輯分析：

已完成設計了不同模式下的飛行方法：地形測繪、多點巡航、單點環飛，並闡述了不同方法下所需要的參數設定，也解釋了航線規劃與避障功能所使用的A-star演算法。在取像邏輯部分，說明了影像相關參數的意義與計算方法，能給予後續影像處理應用部分合理的影像參數調配與預期成果檢核，飛行載具取像控制邏輯已分析並

設計出相對應的實作方法，並透過相對坐標與絕對坐標的實際飛行測試，得出最與模擬情況差異最小、最適合應用的坐標系統，對於後續工作有很大的幫助。

(4) UAV影像變遷辨識技術與成果：

應用無人機搭載相機於港區進行影像拍攝，透過影像蒐集記錄區域環境與監測目標，對於全區域影像可依時序重疊影像，基於攝影測量、立體視覺、衛星定位及光束法平差等原理解算分析獲得港區正射影像、數值高程模型等空間資訊。局部關注區域如：中南突堤、中碼頭、北防沙洲堤等攸關海港交通及海岸保護等設施，透過無人機以垂直地面或傾斜拍攝，計畫執行期間已完成該區域多時性影像資料，而龐大影像資訊透過研擬分析流程以影像定位為基礎，基於POI點位位址收納各時序影像。此外，為提供操作者方便比對各時期影像之差異，以基期參考影像(無人機影像或正射影像)透過影像匹配與仿射改正達到影像轉正目的，同時提供方均根RMS指標作為匹配品質評估，當兩期影像滿足匹配品質評估，後期的無人機影像將進行仿射改正，轉正影像收錄並顯示於POI當中；若無達到評估門檻時，則以原影像資訊收納於POI點位中。

(5) 碼頭設施物件偵測技術與成果：

使用Yolov4模型做訓練架構用，樣本則使用所拍攝之UAV影像，並將模型分為單物件與多重物建物件2類，經由上述機器學習模型訓練後，可以確定在物件偵測上使用UAV影像與Yolov4可以達到即時且準確度足夠的成果，未來將進一步增加訓練的樣本數與驗證樣本來強化目前的模型，並做為未來工作所需的資料的獲取。

(6) 整合型圖台：

匯入全區正射底圖，除了建構影像量測、各式圖層檢視套疊之外，也整合巡檢及影像自動匹配功能，以10公尺為依據設立POI，影像將根據其座標匯入相對應的POI，不同時期的POI影像將進行匹配，供使用者分析比對，完成一個可針對不同巡檢任務執行對應飛行模式進行取像及自動化辨識的平台。

(7) 品質評估與行動依據：

統整本案各項分析流程與軟硬體配置，判定各階段關鍵因子並評估成果。無人機方面將以飛行範圍、作業時間、飛行穩定性、飛行機動性為主；無人機航高與重疊率部分則以影像解析度、影像範圍、影像匹配品質為主；取像邏輯規劃則以無人機模擬路徑與實際路徑的差異為考量；最後，物件辨識及偵測會參考特徵點、拍攝影像定位資訊。這些成果將作為港區無人機管理與應用之參考依據。

9.2 後續建議

(1) 碼頭設施物件偵測技術與成果：

同一位置物件應使用多張相片做Yolov4物件辨識，透過多張相片的辨識與交互確認可以提高偵測正確率並降低人力確認之負擔。此外，因礙於目前影像取像方式，雖已能成功偵測大部分物件，但物件於相片中過小或拍攝角度過大會偵測失敗的可能性，未來應針對欲偵測設施大小以及所需精度，彈性調整取像方式以確保各設施能於影像中被清楚辨識與偵測。

(2) 影像匹配：

本研究計畫利用影像地理定位、匹配結合仿射改正，有效輔助使用者針對關注區域點位快速比對多時期影像，此外本計畫亦針對港區物件如碰墊、繫繩(纜)柱、反光板等構造物進行辨識，後續研究計畫將可基於這些辨識物件作為基礎參考，在物件匹配過程中亦可同時針對是否匹配成功作為物件清查演算方針，預期將能針對港區物件管理提供更節人力之調查效益。

(3) 系統發展：

本案開發建立2D電子地圖圖台，做為資料展示介面，未來可視需求介接其他單位提供之WMS/WMTS標準化資料內容於平台之上，增加資料豐富程度，輔助使用者進行港區及周遭位置狀態之理解及判斷，此外應將本研究所發展之自動化物件辨識技術功能，納入未

來擴充功能的模組之一，使之達到更細緻的影像管理與應用效能。

(4) 巡檢影像拍攝：

關於港區巡檢建議使用2公斤以下之Type 2或2公斤以上未達15公斤之多旋翼無人機，方便於港區機動巡檢。應用在大範圍的港區正射或地形產製，建議使用定翼機執行，能有較長之巡航時間，且飛行更為穩定。關於無人機巡檢天氣，進行巡檢時建議現場最大風速不應超過3級風(5.4m/s)，以維持無人機最佳狀態。另針對無人機巡檢拍攝，相機拍攝角度與航高位置，建議不同時期應為一致的拍攝方法是較良好的方式，由於影像尺度與比例一致，在進行影像匹配時，能增加特徵點被匹配成功的機率。

9.3 成果效益與後續應用情形

透過本案所建構之平台以及平台內所設計之功能，可使相關操作人員進行自動化的巡檢管理。透過不同飛行模式所執行得到的影像，可進行不同類型的影像匹配，不僅可進行長期性的港區環境監測，更能透過匹配後的成果得知改變之處，並進行政策調整或立即性維護。隨著後續物件辨識功能於平台的加入，使用者可更直覺地將各項巡檢標的進行方類，提升對各項構造物的檢查效率，達到精簡人力同時不影響巡檢品質的效益。

參考文獻

1. Alcantarilla, P. F., and Solutions, T., 2011. Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces. *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell.*, 34(7), 1281-1298.
2. Ambrosia, V., Buechel, S., Wegener, S., Sullivan, D., Enomoto, F., Hinkley, E., and Zajkowski, T., 2011. Unmanned airborne systems supporting disaster observations: Near-Real-Time data needs. *Int. Soc. Photogramm. Remote Sens.*, 144, 1-4.
3. Anderson, S.B., 1981. Historical Overview of V/STOL Aircraft Technology .NASA Technical Memorandum,20p.
4. Bay, H., Tuytelaars, T., and Van Gool, L., 2006. Surf: Speeded up robust features. In European conference on computer vision , Graz, Austria, 7 – 13 May 2006, pp. 404-417.
5. Bochkovskiy Alexey, Wang Chien-Yao, Hong-Yuan Mark Liao., 2020, YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection, arXiv preprint arXiv:2004.10934.
6. Bolourian, N., Soltani, M., Albahri, H., and Hammad, A.,2017. High Level Framework for Bridge Inspection Using LiDAR-equipped UAV. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*,34,1-6
7. Cary, L., and Coyne, J., 2012. ICAO Unmanned Aircraft Systems (UAS). 2011-2012UAS Yearbook - UAS: The Global Perspective,112–115.
8. Castillo-Carrión, S., and Guerrero-Ginel, J. E., 2017. SIFT optimization and automation for matching images from multiple temporal sources. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 57, 113-122.
9. Colomina, I., and Molina, P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 92, 79-97.
10. Diganta Misra. Mish: A Self Regularized Non-Monotonic Neural Activation Function.
11. Drury, C. G., Fox, J. G., 1975. The imperfect inspector. In C. G. Drury & J. G. Fox (Eds.) *Human Reliability in Quality Control*, pp. 11–16.

12. Escobar-Wolf, R., Oommen, T., Brooks, C., Dobson, R., Ahlborn, T., 2018. Unmanned aerial vehicle (UAV)-based assessment of concrete bridge deck delamination using thermal and visible camera sensors: a preliminary analysis. *Res Nondestr Eval*,29(4),183-198.
13. Feng, Q., Liu, J., and Gong, J., 2015. Urban flood mapping based on unmanned aerial vehicle remote sensing and random forest classifier—A case of Yuyao, China. *Water*, 7(4), 1437-1455.
14. Ghiasi Golnaz, Lin Tsung-Yi, V. Le Quoc. 2018, DropBlock: A regularization method for convolutional networks, arXiv preprint arXiv: 1810.12890.
15. Greenwood, W. W., Lynch P, J., and Zekkos, D., 2019.Applications of UAVs in civil infrastructure. *J. Infrastruct. Syst*, 25 (2).
16. He Kaiming, Zhang Xiangyu, Ren Shaoqing, Sun Jian., 2015, Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition, arXiv preprint arXiv: 1406.4729.
17. Hearn, D., and Baker, M. P., 1986. Computer Graphics, Prentice Hall International, pp. 205-302.
18. Hu, J.; Lanzon, A.,2018. An innovative tri-rotor drone and associated distributed aerial drone swarm control. *Robotics and Autonomous Systems*,103,162–174.
19. Jau, U. L., Teh, C. S., and Ng, G. W., 2008. A comparison of RGB and HSI color segmentation in real-time video images: A preliminary study on road sign detection. In 2008 International Symposium on Information Technology, 4, 1-6.
20. Juan, L., and Gwun, O., 2009. A comparison of sift, pca-sift and surf. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, 3(4), 143-152.
21. Li, H., Sun, F., Liu, L., and Wang, L., 2015. A novel traffic sign detection method via color segmentation and robust shape matching. *Neurocomputing*, 169, 77-88.
22. Liu, Z., An, J., and Jing, Y., 2011. A simple and robust feature point matching algorithm based on restricted spatial order constraints for aerial image registration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(2), 514-527.
23. Lowe, D. G., 2004. Distinctive image features from scale-invariant

- keypoints. *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110.
24. Luo, W., Taylor, M., Parker, S., 2008. A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales. *International Journal of Climatology*, 28(7), 947–959.
25. Malik, Z., and Siddiqi, I., 2014. Detection and recognition of traffic signs from road scene images. In *2014 12th International Conference on Frontiers of Information Technology*, 330-335.
26. Martinez, J. G., Gheisari, M., and Alarcón, L. F. 2020. UAV Integration in Current Construction Safety Planning and Monitoring Processes: Case Study of a High-Rise Building Construction Project in Chile. *Journal of Management in Engineering*, 36(3).
27. Menouar, H., Guvenc, I., Akkaya, K. , Uluagac, A.S., Kadri, A., 2017. Tuncer UAV-enabled intelligent transportation systems for the smart city: Applications and challenges. *IEEE Commun. Mag*, 55 (3), 22-28.
28. Mikhail, E. M., Bethel, J. S., & McGlone, J. C. (2001). *Introduction to modern photogrammetry*. New York, 19.
29. Radoglou-Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Lagkas, T., and Moscholios, I., 2020 .A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks*, 172.
30. Rafael Müller, Simon Kornblith, Geoffrey Hinton. 2020, When Does Label Smoothing Help? *Google Brain*,
31. Rosten, E., Porter, R., and Drummond, T., 2008. Faster and better: A machine learning approach to corner detection. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 32(1), 105-119.
32. Schenk, T., 1999. *Digital Photogrammetry Volume I*, TerraScience, Laurelville, Ohio, USA, pp. 232-295.
33. See, J.E., 2012. *Visual Inspection: A Review of the Literature*. Sandia National Laboratories.
34. See, J. E., Drury, C. G., Speed, A., Williams, A., Khalandi, N., 2017, September. The Role of Visual Inspection in the 21st Century. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 61, No. 1, pp. 262-266). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

35. Soheilian, B., Paparoditis, N., and Vallet, B., 2013. Detection and 3D reconstruction of traffic signs from multiple view color images. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 77, 1-20.
36. Shan, Q., Wu, C., Curless, B., Furukawa, Y., Hernandez, C., and Seitz, S. M., 2014. Accurate geo-registration by ground-to-aerial image matching. In *2014 2nd International Conference on 3D Vision*, 1, 525-532.
37. Tan, Y., and Li, Y., 2019. UAV Photogrammetry-based 3D road distress detection *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 8 (9), 409
38. Tice, B., 1991. Unmanned Aerial Vehicles – The Force Multiplier of the 1990s . *Airpower Journal*,5(1).
39. Tsai, C. H., and Lin, Y. C., 2017. An accelerated image matching technique for UAV orthoimage registration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128, 130-145.
40. Wang, C. Y., Liao, H. Y. M., Wu, Y. H., Chen, P. Y., Hsieh, J. W., & Yeh, I. H. (2020). CSPNet: A new backbone that can enhance learning capability of CNN. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 390-391).
41. Yang, Z., 2010. Fast template matching based on normalized cross correlation with centroid bounding. In *2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, 2, 224-227.
42. Ye, Y., Shen, L., Hao, M., Wang, J., and Xu, Z., 2017. Robust optical-to-SAR image matching based on shape properties. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(4), 564-568.
43. Yeh, F.S., Huang, C. J., Han, J.Y and Ge, L., 2018. Modeling Slope Topography Using Unmanned Aerial Vehicle Image Technique, *The Third International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment*, Bandung, Indonesia,147.
44. Yun Sangdoo et al., 2019, CutMix: Regularization Strategy to Train Strong Classifiers with Localizable Features, *arXiv preprint arXiv: 1905.04899v2*.
45. Zhuo, X., Koch, T., Kurz, F., Fraundorfer, F., and Reinartz, P., 2017. Automatic UAV image geo-registration by matching UAV images to georeferenced image data. *Remote Sensing*, 9(4), 376.
46. Zhang, W., Li, X., Yu, J., Kumar, M., and Mao, Y., 2018. Remote

sensing image mosaic technology based on SURF algorithm in agriculture. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2018(1), 1-9.

47. Zhao, J., Zhang, X., Gao, C., Qiu, X., Tian, Y., Zhu, Y., and Cao, W., 2019. Rapid mosaicking of unmanned aerial vehicle (UAV) images for crop growth monitoring using the SIFT algorithm. Remote Sensing, 11(10), 1226.

附錄一、UAV於港區設施巡檢可行性評估表

表 附-1 UAV 於港區設施巡檢可行性評估表

無人機巡檢項目		可行性
道路、橋梁及其附屬設施	道路鋪面	可△
	橋梁	可△
	標誌	可△
	標線	可△
	號誌	可
	交通島	可△
	照明設施	可
	護欄	可△
	碰撞緩衝設施	可△
	排水溝渠	可△
	排水孔及人手孔蓋	視現場情況
繫船設施	碼頭面	可△
	冠牆	可△
	車檔	可
	繫船柱	可△
	防舷材	可△
	排水溝渠	可
	排水孔	視現場情況
	人手孔蓋	視現場情況
	軌道	可△
	附屬設施	可
防波堤、海堤、護岸	堤面	可△
	胸牆	可△
	接縫	可△
	消波塊	可△
高壓變電站設備	高低壓電器設備	視現場情況
	電器室	視現場情況

*所有巡檢項目皆需在無人機能可視情況下才得以執行

△若目標小於現有拍攝解析度則無法執行

附錄二、UAV巡航模式拍攝說明

(1) 多點巡航

多點巡航，本案以北防砂堤之構造物為案例，如圖1所示，本案採用多點巡航模式，沿著構造物進行航線規劃拍攝。其操作步驟如下說明：

1. 航高設定: 60m
2. 鏡頭角度(飛機姿態): 面對目標物俯角90度
3. 設定拍照間隔: 10m一張
4. 設定飛行速度: 5m/s~7m/s



圖 1 北防砂堤構造物多點巡航 POI 圖

(2) 單點環飛

單點環飛，本案以北堤進港航道後導標為案例，如圖2所示，本案採用單點環飛模式，沿著構造物進行航線規劃拍攝，圖3為不同視角的環飛拍攝影像，其操作步驟如下說明：

1. 設定目標物中心：圓心
2. 設定環飛高度：70m~80m
3. 設定環飛半徑：60m~70m
4. 鏡頭角度(飛機姿態)：面對目標物俯角40~50度
5. 設定拍照間隔：10~15m一張
6. 設定飛行速度：5m/s~7m/s



圖 2 北堤進港航道後導標單點環飛 POI 圖

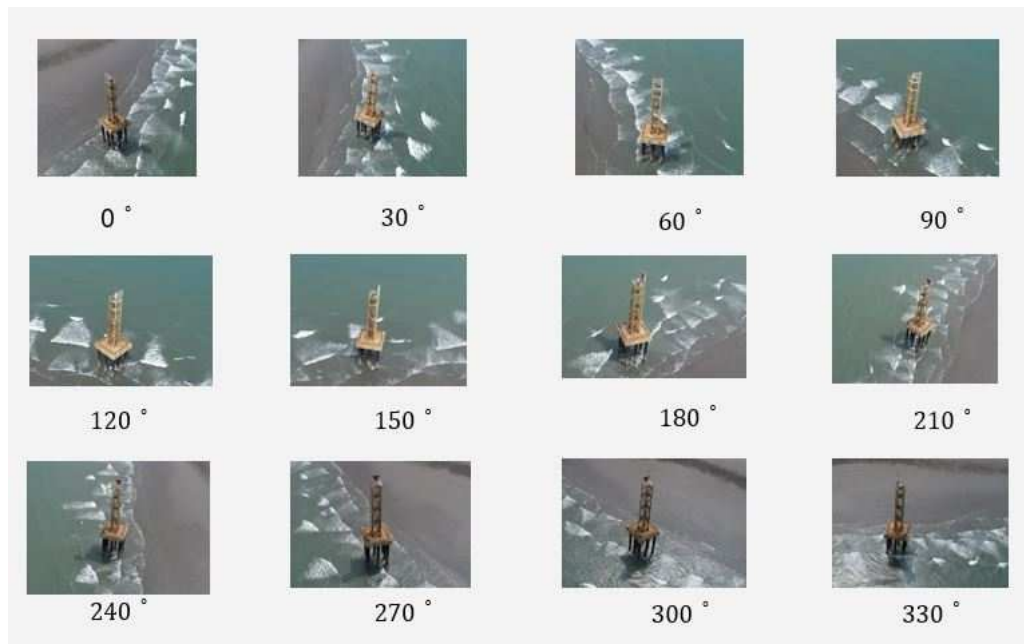


圖 3 單點環飛不同視角影像

(3) 地形測繪

地形測繪，本案以北防砂堤全區為案例，如圖4所示，本案採用地形測繪模式，規劃不同區塊航線進行拍攝。其操作步驟如下說明：

1. 航高: 100m~120m
2. 鏡頭角度: 鏡頭俯角90度
3. 前後左右重疊: 60%以上
4. 飛行速度10m/s~12m/s
5. 潮位接近0m時拍攝



圖 4 北防砂堤地形測繪 POI 圖

附錄三、管理平台功能頁面

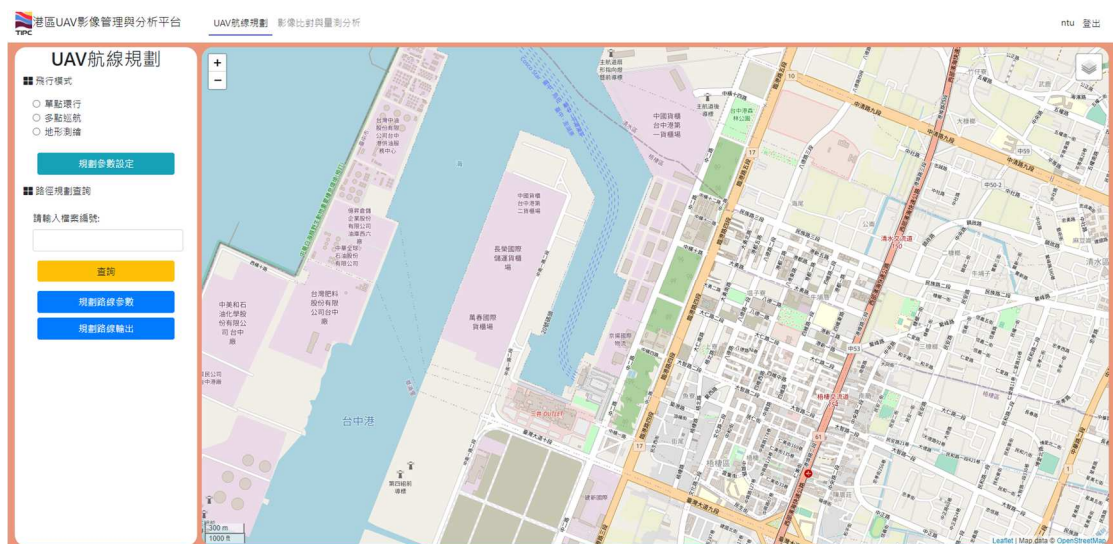


圖 1 平台主頁



圖 2 平台圖層列表



圖 3 (a)平台航線規劃功能頁面 (b)航線規劃參數頁面 (c)查詢實際飛行參數結果



圖 4 (a)直線距離量測 (b)面積量測

附錄四、無人機申請流程

如圖1所示，若政府機關或法人單位需進行無人機飛航作業，需透過民航局第一階段能力審查後，才可進行飛航活動。飛航活動範圍若屬於地方政府公告區域，則需向地方政府申請，若屬於禁限航區及機場四周，以及需要排除限制操作，則向民航局申請。完成申請後每一次飛行任務皆需至民航局官網報到與報離。另如圖2紅色區域為禁限航區，不得起飛降落，需向民航局申請。綠色區域，除了需排除限制操作外，120m以下空域不需向民航局申請。

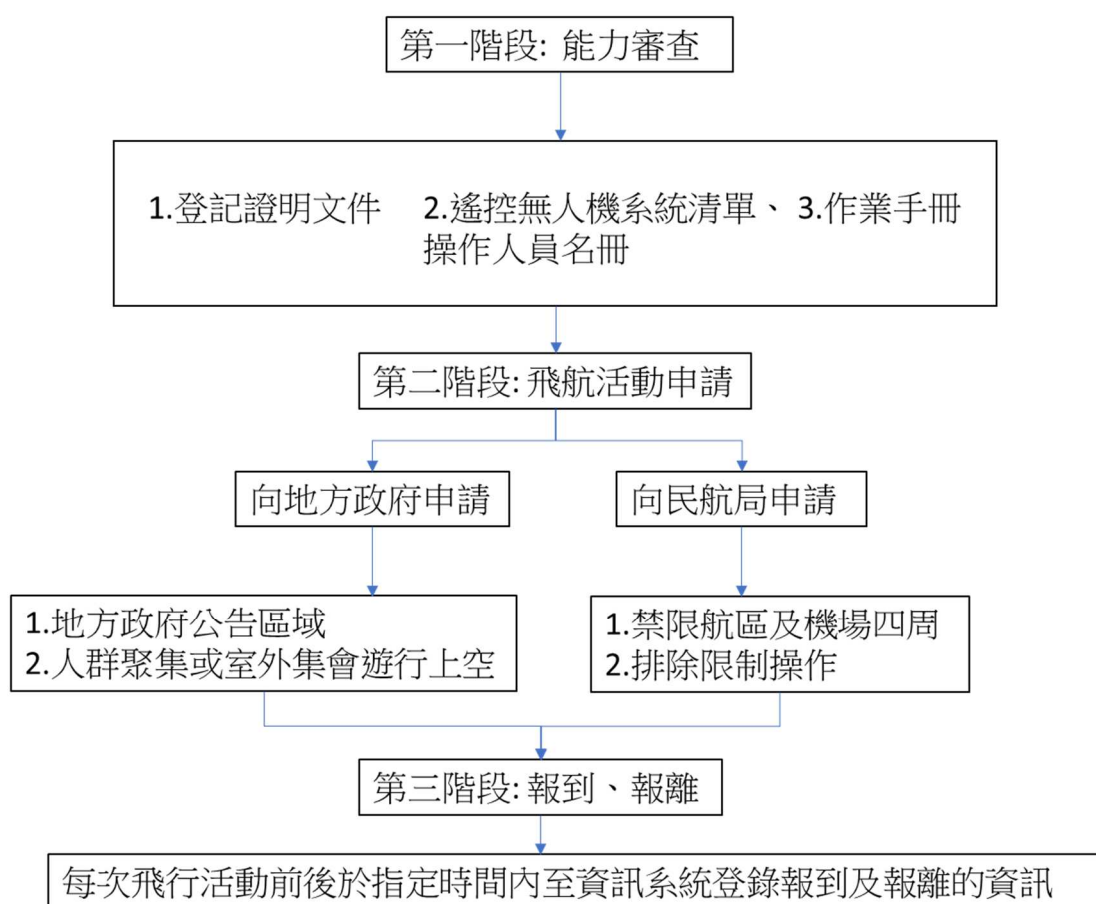


圖 1 無人機飛航申請流程圖



圖 2 臺中港禁航區圖(來源:民航局 Drone Map 2021.11.22 資料)

附錄五、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：無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究

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		
圖 40~45 於報告中未見討論與引 述。	遵照委員建議，已修正。	所提意見及執行 內容調整,列入期 末報告辦理。
P.59 有一參照引用出錯。	已確認並重新檢查圖號編碼。	依處理情形辦 理。
本技術未來是自辦或是委外應該分 別給出建議人力需求與設備規格。	將彙整本計畫執行過程經驗，於期末 報告提出相關營運成本供參考。	所提意見及執行 內容調整,列入期 末報告辦理。
港區現況偵測，差異分析的最小偵 測單元宜先與業主有共識，在往下 測試設備與天候條件。	感謝委員建議，按照不同應用標的會 有不同偵測單元。本年度計畫與影像 解析度及空間解析度有關，本案為 5 公分 定性規劃 5 公分為下限，定量評 估則將於期末提出。	所提意見及執行 內容調整,列入期 末報告辦理。
UAV 影像中特徵萃取或是物件偵測 應該有誤差矩陣顯示判釋結果正確 率、kappa 值等。若是判釋成果不 如預期，宜分別檢視影像解析度、 紋理等特徵，再依此調整航高或是 拍照相機。	目前測試資料大都能依本計畫規劃策 略達成影像匹配分析與物件偵測，於 期中報告 P56 描述影像特徵萃取與匹 配，透過所有特徵點於兩幅影像中的 特徵向量長度作為正確匹配篩選，且 藉由影像糾正與套疊框幅範圍檢視匹 配成果之正確性；另外，物件偵測部 分於 YOLOv4 演算中以偵測信心指數 作為參考指標，於期中報告 P71 圖中 標示，顯示這部分影像分析策略皆預 先考量其品質評估。	依處理情形辦 理。
不同無人機酬載功能性不同，建置 成本也不一。本案目前只針對 RGB 光學影像測試，建議針對業主 需求，對特定酬載如近紅外光或是 光達等納入測試。	感謝委員建議，本年度工作項目依照 契約內容以影像為主。	依處理情形辦 理。
二、王聖鐸委員		
表 5~表 16 UAV 及相機的比較表， 建議直接列出廠牌、型號。	遵照委員建議，後續將持續補充並列 出。	依處理情形辦 理。
表格請畫出內格線，以便正確閱 讀。	遵照委員建議，已修正。	所提意見及執行 內容調整,列入期 末報告辦理。
P.75 圖 62 請移到最前面，以瞭解 是否符合進度。	遵照委員建議，已修正。	所提意見及執行 內容調整,列入期 末報告辦理。
文中 GPS 建議改為 GNSS，以符合	遵照委員建議，已將全文 GPS 修改為	所提意見及執行

多星系的現況。	GNSS。	內容調整,列入期末報告辦理。
UAV 飛行時間與電池健康程度有關,建議增加電量率定流程以便決定安全係數。	謝謝建議,目前原廠 APP 提電池供循環次數與電池健康度資訊,後續會依此作為參考。	依處理情形辦理。
P.18 天候狀況的穩定程度是否可依風速量化修改安全係數。	謝謝建議,團隊後續將嘗試量化風速之安全係數。	依處理情形辦理。
文中公式請從頭編到尾,文中至少出現 3 次不同的式(1),P.25、P.42、P.48 都有式(1),請修正。	遵照委員建議,已修正。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
P.44 開始,圖號與內文中的圖號無法對應,請修正。	遵照委員建議,已修正。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
內文引用文章有太多未列於參考文獻或年代錯誤,請修正。	遵照委員建議,已修正。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
P.48 以 Type2 搭載的相機模組而言,內方位不穩定,不宜事先率定。	遵照委員建議,將 P48 內容改寫「其中內方位參數描述以相機主體及影像為主,包含像主距(Focal length)、像主點偏移量、透鏡畸變參數等,這些參數可利用 UAV 影像與定位資訊以自率光束法(self-calibrating bundle adjustment)方式收斂計算後獲得」。	符合。
P.43 第 3.2.3 節名缺字,內容錯別字多,請修正。	遵照委員建議,已修正。	依處理情形辦理。
避障參考的 DSM 是否包含吊車、水塔、電桿或貨櫃?	目前避障邏輯未包含吊車、燈塔、電桿或貨櫃等移動物體。後續會針對港區內,對於 UAV 飛行有危安因素之較高非固定物體,將其移動範圍劃定為限制區,並於自動路線規畫中予以排除。	符合。
三、朱志光委員		
無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究,本案上半年成果對於無人機設備及功能、影像、程式設計、應用分析之港區條件詳細分析,內容充實,予以肯定,對於未來管理面及執行制度面、組織等,建議在下一年度於資源容許條件下予以著墨,如資源或契約內尚不足以容納,建議可提出後續研究延續項目計畫之建議,供港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)參考。	感謝委員建議,將於期末報告提出。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
對於本計畫執行之契約所列各項工作建議補充說明如下:(1)對應報告各項內容標題,年中 50%進度執行結果,其計算方式及完成項目之對應說明。(2)另如 P.75 飛行載具控制取像邏輯分析部分,在結論中 P.74 第 3 行,“..待程式撰寫完成後將進行實際操作測試..”,似乎該項有需延伸傾向或另含在其他之測試項內予以整合,並未說明清楚,建	飛行載具取像控制邏輯已分析並設計出相對應的實作方法,而此方法在設計完成後,將進行在程式開發與實作,再與管理系統進行整合。	符合。

議可補充說明。		
有關無人機監測技術應用於管理之研究案，其中對於無人機適宜性之評估分析內容部分，天候風速評估所繪分成長方形四個範圍部分，將每月風速變化範圍已有列出，建議評估是否可用等速線方式展示(如等高線圖)。有關風速資料，港研中心之港灣環境資訊網站，網頁內容有臺中港 10 幾點模擬之風速資料，建議可參考一下。	感謝委員建議，後續將透過港研中心獲得相關資料後，參考等速線資料進行風速評估。	依處理情形辦理。
依風力及風速分佈圖，依解析度需求下，其飛行路線可能不是直線，有高低、有左有右等，或許在多少風速以下是直線、多少風速以上靠內陸、避開高建物部分區域可飛曲線，建議多補充說明，未來是否可由 UAV 自動巡檢規劃路線，這樣的路線可否由本系統透過電腦自動智慧設計出來，提出建議路線及最佳飛行時間，起迄點等，或之後再由人工較調，完成後交電腦自動設定操航，也可透過模擬風速、區位條件等，提出對飛行前顯示預警區，臨時禁航區(碼頭臨時靠船/港務處指派)，供使用人判斷確保飛行機具安全。	感謝委員建議，本案今年度先針對固定巡檢、測繪模式主要工作執行。針對特殊需求，團隊會再考慮加入。	依處理情形辦理。
對於飛行高度與解析度之間關係，建議評估一下，是否可作一飛機高度與精度對比曲線，未來管理分析工作項目，所需精度及解析度，再建議出港區飛行高度區分表，或局部區域可降低高度，降低高度後可能增加之作業成本及對成果提供效能之成果比較值，或未來可客製化依所需精度設定高度(需高精度的與不需高精度的)及路線排程，建議可多補充說明。	感謝委員建議，未來會就不同飛機製作飛機高度、相機焦距與影像解析度對比曲線，再放入期末報告。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
P.33 數值地形模型成果，有無對設置測站之實測值作比對，如有其精度如何。另高程部分精度可達 1 公分以下，對於未來可能引入照片資料設施、建物高度估測，其解析度誤差值可能會有許多，例如建物、設施之高度、屋頂(圓型、斜屋頂面積、高差)之研判，建議可補充說明。	後續將檢核設置控制點與 DSM 之精度分析，誤差比較並依據此分析提供 DSM 檢核精度，另屋頂、設施物高度較難以實際檢核，可以據 DSM 檢核精度做為參考值。	符合。
對於未來判斷錯誤、成功、失敗、補救措施之方式為何，建議補充說明。緩衝空間部分，建議港區一般建物構造物高度較低，餘裕空間較寬廣，因此建議未來設定緩衝空間可以稍加放寬，亦可提升飛行操作	後續會持續增加收集資料與樣本，經過完整的評估後，會提出最佳的方法來降低失敗的可能。 為降低飛行載具與各設施發生碰撞的可能，需考量 UAV 定位精度，目前定位精度約為 3~5 公尺，並參考港區實	符合。

空間安全性。	際環境。在航高設定下，內部系統會設定提升 10 公尺垂直高度的緩衝高度為宜，而在平面緩衝部分，將提高緩衝範圍至半徑 10 公尺以提高飛行安全性，	
建議可否評估或說明對於臺中港北側淤砂與北防波堤之飛砂快速堆積部分，未來可否納入監測量及地形變化(北淤砂區)，計算飛砂量、面積提取及灘線、灘地面積與結構受飛砂堆積等高線、防風植林密度及生長高度速度計測等，於現有照片有無可立即轉出之成果，如果無，有無可能評估去試飛幾次，或可評估下一期納入研究辦理之建議。	感謝委員建議，本年度工作項目依照契約內容以影像為主。	依處理情形辦理。
建議可否對於未來有需立即性處理項目(如立即傳輸白海豚入港域現況、日間、夜間)需要增加那些設備(光達、熱感應)，或如增加 5G 基站等等。	感謝委員建議，本年度以靜態影像為主。	依處理情形辦理。
建請補充說明一下，P.52 各項模型訓練，有無考量用於電腦智慧學習採用人工餵圖，對影像判斷基礎有無需求建立數據資料庫，如何建立及提供資料，補充說明未來可能有哪些作法，有無需臺灣港務股份有限公司(以下簡稱港務公司)、港研中心或其他管理單位等需協助提供相關照片(化品、危品、油污、火災、揚塵、漁網、漂流木(物)、港區附近船擱淺、陸上貨物、貨運)，或已有往例明確判定結果圖片。	目前的模型所需資料仍為人工餵圖方式，並利用 yolov4 特有的影像擴建演算來增加資料量，已有優良的成果。而辨識物品盡可能是變化不會過大的物品，如火災、揚塵等變化性過大的現象並不適合，而資料要由其餘單位做提供，但本年度工作先依照契約內容為主。	符合。
港區面積較大，對於無人機飛行距離有限，如無法一次達到，建議未來評估一下，港區範圍可劃設幾個小分區或幾個區塊，於適當處設置可供起降工作地點，包含配合設施電力、通訊、小型機房，如小型飛機停置區、無線網路接收站等。	感謝委員建議，本案將會於期末報告時提供各類型飛機的飛行範圍，飛行使用的距離建議。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
對於未來港區擴建，物體監測是否有包含活動物體，如漁網、漂流木、白海豚等，建議可補充說明。	活動物體可以應用，不過盡可能是特徵明顯且變化性小的物體，如漁網可能就不適合，但仍需嘗試才能驗證，後續會在主辦單位討論後決定是否進行。	依處理情形辦理。
港務公司正辦理 3D 智慧營運圖台之建置，以利未來可接續辦理 3D 智慧營運管理平台建置案，故現正對國際商港 3D GIS 資訊系統暨港口圖台建置案中，針對建物模型之選擇，係以 LOD2 立體建物模型進行規劃，這部分未來是否可與本案有互動，建議作一些評估或說明。	本案以使用效率及應用方向為考量，使用 2D 電子地圖引擎進行相關功能開發，故無法對 3D 模型進行展示，若貴公司平台具備標準格式之 2D 資料，本案可評估該資料介接之可能性。	符合。

對於簡報 P.72、書面報告 P.52、P.59 影像搜尋距離半徑範圍之 $d = \sqrt{(x_i - x_0)^2 - (y_i - y_0)^2}$ 公式根號內之負號，不太一致，建議檢視一下何者正確。	謝謝委員提醒，影像搜尋距離半徑 d 公式應為 $d = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$ ，已更正圖中標示。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
四、林佑任委員		
呼應朱委員對本案的期待，目視為一般巡查的主要執行方式，巡查是為了發現設施的損壞、破壞，藉由光學影像判斷設施表面顯示的劣化損壞現象，也是本研究展開的重要課題目標，目前也獲得初步成果，因為本研究的目標是希望能發現設施的問題，因此辨識出相關物件是第一步，已經不容易且令人振奮，如果能進一步協助辨識出損壞情形，讓港口運維能及時發現進而及時修復，是我們的期待，很不容易，感謝研究團隊的努力，也希望最後能看到這樣的成果或於下期納入研究。	感謝委員建議，本年度工作先依照契約內容為主。	依處理情形辦理。
有關基本資料蒐集部分與本研究所彙整的表 1，7 月 14 日民用航空局公布"遙控無人機管理規則"並自同月 19 日正式施行，有些規定調整建議納入。另最大起飛重量"未達"15 公斤部分，建議載明，特別提到有導航功能的差異，建議註明，另專業基本級操作證為 I2。	感謝委員建議，已依據民航局最新規定調整該表格內容，並註明最大起飛重量未達 15 公斤之項目。	依處理情形辦理。
表 3 的部分可否納入測線間距的數值，由於經常辦理的水深地形測量，單音束、多音束都關係到航線(測線)的間距。	遵照委員建議，已補充測繪模式下之航帶間距。	依處理情形辦理。
表 9 與表 10 的"多旋翼機載具規格表"很重要，由於飛行時間、距離、抗風及酬載重量、飛行速度、飛行距離(例:似乎與 inspire2 差異甚大)關係到後面分析選用定翼機與旋翼機種建議，而旋翼機種與電池技術日新月異，性能越來越提升，不論是參採目前自行組裝的 UAV 規格或市售機種，建議依照目前市場最新機種規格，包含市售商業機種或供組裝機種再重新整理(除非須特別排除機種)。	團隊目前以市售之大眾機種(不包含大陸製無人機)為評估原則，後續也將考量納入最新規格機種進行分析。	依處理情形辦理。
同樣重量之定翼機與旋翼機比較，感覺定翼機之體積更大、受風面積更大，同級風速理應受影響更大。另旋翼機動力甚高、姿態校正回復甚快且靈敏，而定翼機起降需跑道且飛行之機動性與靈活性感覺不如	定翼機受風面積雖大，但機體經由流體力學與仿生設計，能較穩定飛行，另旋翼機必需依靠多個旋翼互相保持平衡，風速較大時，較難以維持平衡，固較不穩定。目前本案所列出之定翼機(Type2,3)機種為新型機種，也包	符合。

旋翼機，建議有關區位選擇之機種適宜性評估，可再將目前新型機種納入考量。	含混合式無人機，同時具有旋翼與定翼兩種功能，可垂直起降升空後再巡航飛行，不需跑道起降。	
有關選擇航高 120 米之原因為何？如果為了地面解析度可以飛低一點以及提升效率，則機關之飛行任務性質，有證照好像也可以解除限高管制。	120m 是符合民航局飛行最高高度法規進行計算，並非以此高度為作業標準，實際執行是依據巡檢目標調整飛行高度。	符合。
表 12~15 有關解析度與相機重量等資料，建議蒐集最新機種更新。	遵照委員建議，表 12 至表 15 之不可替換式鏡頭為原廠無人機搭載，為最新規格，另單眼相機部分，後續將持續補充新規格相機。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
P.24 有關降雨 20 mm 之單位請確認。	降水資料為日雨量，單位為 mm/day，已補充並說明。	依處理情形辦理。
圖 11、12 橘色與紅色顏色太接近不易判別，建議加大顏色差異。	遵照委員建議進行修正並加大色差。	依處理情形辦理。
圖 14 可飛行日數，6 月、8 月與 10 月有不合理降低情形，建議再檢查風速資料與分析過程。	感謝委員建議，將重新檢查確認。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
有關數值地形模型中的水位資料，如果採低潮位系統，通常引用港研中心資料，如果是陸地設施，通常引用內政部高程系統，採海軍與中央氣象局資料分析之水位資料，建議再與港研中心資料比對或做差異註記。	陸地是採用內政部 TWVD2001 正高系統，團隊已將潮位高程系統轉換至正高系統，並補充於報告書內。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
有關飛行模式建構之 3 種飛行路徑方式，似乎較適合旋翼機，於 CD 區之定翼機飛行，可否達成此 3 種飛行方式。	目前之模式的設計以旋翼機為規畫作為使用，定翼機之應用可視未來提出之需求規畫。	依處理情形辦理。
如果影像過於複雜，連人眼亦無法判斷裂縫或破損時，是否透過光學影像之深度學習過程亦無法判斷，可能需採用其他電磁波技術鏡頭才能達成。目視或光學鏡頭的影像有其先天的限制，就是容易被干擾、遮蔽，或破壞發生於內側而無法藉由單純目視發現，但卻是可能得以利用其他技術來發現的狀況，例如配合光達排除植生或附著物含水潮濕的干擾，或熱感應鏡頭來及早發現碼頭或橋梁鋼筋混凝土結構的保護層劣化致內部破壞現象，建議若光學鏡頭因雜訊干擾不夠理想，可以納入考量。	目前初步嘗試用影像為主來取代人眼來做設施的判斷，針對肉眼與影像無法辨識的不在考慮範圍。	符合。
P.57 有關"多期的 UAV 影像經由上述分析過程，可提供管理單位進行影像在地理對位條件下進行屬性變化比較"的敘述，建議最好仍以深度學習方式讓軟體以機器人工智能先挑出異常點先去比較，再交由管理單位以人工目視檢核，比較能降低人力成本。	感謝委員建議，研究團隊將與主辦單位討論並評估是否納入本年度研發進度規劃與設計。	依處理情形辦理。

多期 UAV 影像搜尋比對中，有關高差<50 米，位置距離<60 米之規定，由於航高才 120 米，如此容差規定是否過大。	本計畫以 UAV 載具定點航高 120 米單張影像獲取地面涵蓋範圍約為 150 至 200 米，推算高差 50 米(即是航高 70 米)單張影像獲取地面涵蓋範圍約為 90 至 120 米，在滿足 50%影像場景重疊條件(即是 60 米範圍)設定 UAV 位置距離應小於 60 米。這部分補述將加入於 P58 中說明。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
圖 44 與 45 的示範匹配套圖的各 2 張圖，應屬同日期所拍攝的飛行結果，車與水漬相對位置均相同，未來不同日期匹配套圖時，因為感覺最明顯的參考物已變動，是否會有套疊上的困難。	兩幅圖為同日期拍攝，針對場景光影變化有效執行影像對應辨識，後續將持續影像蒐集，並依此規劃影像分析策略完成測試。	符合。
圖 59 失敗示意圖，有關拍攝角度大造成偵測成功率下降部分，未來改進方式建議儘量採增加照片訓練方式取代嚴格要求飛手採固定角度拍攝，畢竟技術可能有落差也較能節省人力成本。	感謝委員建議，後續會增加不同角度的拍攝照片來改善，並評估改善程度。	依處理情形辦理。
五、李俊穎科長		
報告格式請依本所格式進行調整。	遵照委員建議，已修正。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
建議後續針對不同飛行模式搭配臺中港實例進行操作及說明。	感謝委員建議，後續將會提供相關操作說明。	依處理情形辦理。
建議依飛行需求初步規劃出不同 UAV 起落位置。	不同飛機的可飛行範圍，使用者選定不同 type 後，將對應設定不同航線規畫，再規劃不同的起落位置。	符合。
不同設備第 2 次所擷取影像結果，建議評估依 4.3 節條件，透過圖台判讀其影像能否使用。	後續於期末報告前將進行第二次影像蒐集，將依此規劃影像分析策略完成測試。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
六、林達遠研究員		
報告封面計畫名稱錯誤，請修正。	遵照委員建議，已修正。	依處理情形辦理。
報告格式不符合本所格式且內文有諸多錯誤，如各章節起始頁應另成 1 頁、方程式編號重複(P.25&P.42)及超連結錯誤(P.48&P.59)等，請一併修正。	遵照委員建議，已修正。	依處理情形辦理。
報告參考文獻有諸多遺漏，請補正。	遵照委員建議，已修正。	依處理情形辦理。
報告 P.10，建議表 2 單次飛行範圍改以定翼機原廠公告內容呈現，與圖 3 定翼機最大飛行範圍一致。	遵照委員建議，已修正。	依處理情形辦理。
報告 P.24，無人機防水條件，建議補上降水量單位時間。	遵照委員建議，降水資料為日雨量，單位為 mm/day，已補充並說明。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。
報告 P.25，方程式(1)，建議補充 a0、a1 及 a2 之計算式或結果。	遵照委員建議，a0、a1 及 a2 參數為使用最小二乘法平差求解，已補充並說明。	所提意見及執行內容調整,列入期末報告辦理。

報告 P.32，圖 17，建議將前後重疊及左右重疊修改成縱向重疊及橫向重疊，與報告內文一致。	遵照委員建議，已修正。	依處理情形辦理。
報告 P.33，報告內文第 7 行，請確認 TWVD2001 之潮位高為何種潮位？平均潮位？	遵照委員建議，對應至 TWVD2001 之潮位高為最低低潮位，已補充並說明。	所提意見及執行內容調整，列入期末報告辦理。
報告 P.36，若依報告內文所述「根據氣象資料評估，...」，與報告 P.29 表 18 結果不一致，請確認。	遵照委員建議，已確認並修正。	依處理情形辦理。
報告 P.42，報告內文第 4 行，請確認影像取樣頻率單位是否正確。	未來將改為取樣週期，取樣週期之設定為經過多少秒可以獲取一張影像。	符合。
報告 P.62&P.65，建議修正報告內文所用「作者」一詞，應以所採用技術 Yolov4 為主詞來說明。	遵照委員建議，已修正。	依處理情形辦理。
報告 P.64，C.Head:yolov3 head，請確認報告內文是否遺漏。	本次報告目的為介紹使用的方法，並做簡單的描述，有提供文獻於參考文獻中給予參考。	符合。
報告 P.67，建議增加損失值之定義說明。	遵照委員建議，已修正。	依處理情形辦理。

附錄六、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：無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究

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		
對未來計畫採委外或自辦提出建議。	感謝委員建議，團隊於報告中提出各項分析數據，可供後續相關機關規劃參考之用。	依處理情形辦理。
靜態基礎資料建置頻率、動態、異動資料蒐集啟動機制。	感謝委員建議，不同設施有不同特性，未來可逐步選定標的給予適當蒐集方法。	符合。
目標決定提取像參數再來決定機種與酬載，方能建置 SOP 與經費。	感謝委員建議，團隊於報告中提出各項分析數據，可供後續相關機關規劃參考之用。	依處理情形辦理。
UAV 相幅小，若與參考影像差異過大（如貨櫃堆置場，如何處理）	本案匹配邏輯為基於港內地面設施構造物為參考依據，影像皆會轉為與對照影像同方向，此部分已於修正定稿內做說明。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
海堤變形監測可以加入對空標，與定期 GNSS 測量相互輔助。	今年度計畫為初步測試以 UAV 進行監測之可行性，後續會將委員建議其納入考量，提高分析精度。	符合。
二、朱志光委員		
無人機影像監測技術應用於臺中港區管理之研究，本案辦理期程依書面 P9 頁表至 11 月底尚有半個多月，就書面展現成果，對於無人機設備及功能、影像、程式設計、應用分析於港區應用、條件等一一論述，控制點測量成果經度平面達±0.6 公分高程精度達±1 公分，難能可貴，報告之內容充實，予以肯定，對於未來管理面及執行制度面、組織等等，建議於可多著墨。對於團隊過程中辦理有可開發新的發想，建議可不吝提出，作為下年度後續研究延續項目計畫之建議，提供中心參考。	感謝委員建議，今年度依據契約工項提出智慧化測試，針對未來與管理制度面之結合，可於後續計畫進一步討論。	符合。
對於報告內文字，少部可能為漏（錯）字建議檢查一下，如 P1 之 1.1.1 第 6 行”巨額..來”似乎少”消費”，P2 之 1.1.2 第 4 行第 1 字”朝”及倒數第 2 行”人力	感謝委員建議，已於報告書內進行修正。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。

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
精持續簡化..”，P7 第二段倒數第 2 行”產生巨影像..”，P9 進度累積百分比”10”0”建議調為一行，P122 第 5 行””..最與模擬..”。		
P16 中第 2 行對於臺中港區幅員廣大，涵蓋面積將近五千公頃，可能會讓讀者有誤解。建議調整一下，如”本次施測面積包含臺中港陸域及部分水域面積共約為五千公頃...	感謝委員建議，已於報告書內進行修正。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
有關無人機監測技術應用於管理之研究案，其中對於無人機適宜性之評估分析內容部份，天候風速評估所繪成長方形四個範圍部份，將每月風速變化範圍已有列出，建議 P20、P21 各區劃分可給個座標參考值表、區塊長、寬之相對尺寸。圖 21、22 中之月份數字建議可大粗一點供判讀。	感謝委員建議，已於報告書內進行補充及修正。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
有關港區操作無人機之申請，限航高度等，建議可補充說明。	感謝委員建議，已於報告書內進行補充。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
建議補充說明，對於 P53 頁 4.1.3 節 A-star 演算法等，是否有簡易操作畫面供參。	感謝委員建議，A-star 演算法為背景計算軌跡路線的最佳化演算法，故無操作畫面介紹，僅需使用者透過平台將所需之點位與飛行高度等參數設定後，由平台做規劃與呈現。	符合。
另單點環飛之飛行高度與範圍、取的角度，是否未來可直接於影相圖上用滑鼠點畫即可完成無輸入範圍，如有，建議團隊評估如未來時間人力上許可，提供簡易操作畫面手冊、案例說明，例如未來中分改建完成之導航疊標塔柱高 55m、65m 對於塔身 5 座之檢測，如何設定或未來可客製化依所需設施如照明燈塔等，其精度設定高度（需高精度的與不須高精度的）及路線排程。	感謝委員建議，目前規劃的操作方式即為使用滑鼠點擊畫面，並設定還飛半徑後做還飛的路徑規劃。有關簡易操作畫面手冊、案例說明，未來團隊將進行評估後提供。	依處理情形辦理。
建議研究中心，對於未來下一研究案，可以由電腦、手機 app， <u>智能</u> 規劃、自動導航及對於飛航路徑區域範圍、工作前 <u>提取資料</u> 港研中心之 <u>港灣環境資訊系統之風速、潮位、AI 船靠作業碼頭等資訊</u> ， <u>研判該時段</u> ，是否適宜無人機操作天	感謝委員建議。	符合。

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
候，或避開不良時段、 自動調整適合之工作時段飛行。		
P76 辨識模型，這部份如以設計圖 CAD 檔提供三 D 圖模組圖，如各碼頭碰墊、繫船柱，相對位置、形式等，是否適用訓練辨識，提高辨識效果。	感謝委員建議，CAD 圖與設計圖較屬於尺寸與樣貌的設計圖，而在物件辨識模型為了更能去應對真實環境，故資料的來源還是以實際的物件影像作為辨識訓練資料對模型辨識能力較有幫助。而 CAD 圖檔則可以提供幾何資訊作為物件辨識後的驗證。	符合。
對於未來判斷錯誤如 P120 頁不成功、失敗無法辨識時，系統是否是會批次列出失敗區塊及位置圖像人工辦理補救措施，其效果如太差是否重飛或由系統自動再規劃補測路線及時間段。	感謝委員建議，在進行巡檢拍攝時的影像皆為連續且同角度，因此根據系統評估若低於標準，只要人工檢查失敗影像即可，無須重新拍攝。	符合。
有關 P84 頁 6.4 節內容，因防波堤為線型、大約高程約 10 公尺上下，對於變位沉陷，有三期監測成果比較，水平與高程表 29、30 呈現第三期與第一期，垂直誤差較大 14.2，水平 6.7，這部份可否探究說明原因，建議未來下一期可能降低飛行高度至 30M，提高垂直判讀高程精度。	感謝委員建議，在攝影測量原理中，影像前方交會之垂直誤差應大於水平誤差，故垂直誤差較大屬於正常成果。此外，可能造成的誤差，為正射影像解析度不同導致量測誤差。故後續巡檢可考慮降低飛行航高，獲取更高解析度之影像，以降低量測誤差。	依處理情形辦理。
圖 68、69(P87)，是否能將個別沉箱判讀出，給予測量結果異變質及相對值用大比例圖示出，供判讀，對於局部破壞區（地震、風浪、流），是否可直接由現行系統電腦繪圖或列出，建議多做說明。	感謝委員建議，本年度計畫僅為系統初步建構可行性評估，後續可將此意見納入考量並持續精化。	依處理情形辦理。
P95 頁所提內容，航線規劃對於使用舊路線，或多次重複觀測路線、或多條路線併為一條之設定方式為何，另查詢功能內容建議說明一下。及海保署人員有建議未來港區外對於觀測白海豚出沒，建議中分、台電共同以無人機來拍攝後辨識(海保署有每隻豚 ID)，另或其游入港區之現況、日間、夜間，或有需立即傳輸予保育單位相關單位、或需立即性緊急救援處理項目，建議團隊，提出建言，例如需要增加那些設備（光達、熱感應），或如增加 5G 基站在何處等等。	感謝委員建議，已於報告內進行文字補充。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
消防單位對於港區發生儲區、	感謝委員建議。	符合。

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
雜草地火警、廠區火災事故等，建議中心未來可否納入無人機監測管理中予以研究，針對港區易生火災害熱點監測、評估及提出智慧預警等作為。		
三、林佑任委員		
巡檢所需拍攝的影像實際需求多元，與工程測繪需求有所不同但都有自動航線飛行的需求，巡檢飛行除了有定高持續飛行 90 度正射拍攝需求，也希望對關注的設施或有疑慮需改變高度飛進觀察或使用水平等其他俯角。請問航線規劃的平台是否有可能將以上航行過程需改變航高與視角之功能作為自動航線飛行的開發項目，畢竟照航線飛行能比人力操作更有效率且讓每次拍攝位置姿態更具一致性。	感謝委員建議，目前僅限於飛行航線之規劃，未來可將航高以及攝影角度控制納入技術發展內容。	依處理情形辦理。
表 2 (P17) 有關定翼機中描述影像數量為 8885 (每一位置五張)，因為不是用多旋翼機可懸停定點拍攝而是持續於飛行中拍攝，飛機的位置一直在改變採用何種方式可以得到每一位置五張的拍攝成果。	感謝委員建議，本案所使用之定翼機共配置五個鏡頭，故同一個位置可以同時拍攝五張影像。已於報告書中補充說明。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
使用無人機證照有飛手的操作證及無人機機身登記證供兩張，建議表 3 (P25) 證照資料表中： 無人機證照與重量分級表中旋翼機 Type1 重量寫法建議改為“不要有括號且直接載名”未達 250 克”即可，比較清楚與 Type2 區隔且同機身是否需註冊之級距區分方式。 另建議因機身不需註冊的只有未達 250 克免註冊，因此建議在以往同一個欄位加註即可，如”未達 250 克（機身免註冊）”。	感謝委員建議，已於報告書內進行修正。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
有關 3.2 氣象與 3.3 無人機適宜性評估部份，考量無人機圖 25 (P48) 以港區風速為區分標準以 ABCD 區很明確提出不同機型無人機的抗風與酬載性能與臺中港區天氣特性個別適宜的區域，很有實際執行的參考價值。由於本研究未來將推動港	感謝委員建議，除了風速之外，未來可依照監測物的種類，劃分可能造成無人機飛行的影響因子，並評估飛行之可行性。另外關於不同季節之港區風速與風向，若有實測機會，也可驗證不同季節影響無人機之飛行狀況。	依處理情形辦理。

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
區巡檢規範的修訂並成為重要參考依據，因此建議以下的理由，建議不要只以風速作為”無人機適宜性評估”作為最後結果，可以補充以此研究結果作為依據與基礎，再去延伸，理由與建議如下： 由於旋翼機的高度機動特性與旋停及高度隨時調整特性有定翼機無法取代的近距離裂縫或變位追蹤巡檢觀察等功能特性，加上未來多旋翼機逐漸大型化及電池能量密度逐漸提升，未來抗風與酬載性能也可能會有大幅進展。 巡檢所關心的不同性質可以用不同之適航機型與配合季節風速與及頻率調整去搭配分次飛行，屬於定高航測式的巡檢可以完成之需求項目則全港區可不分季節不分區均可採用大型定翼機飛行得到最高之效率。屬於細部追蹤就近觀察（如已有狀況之警戒追蹤區）式巡檢方須以旋翼機方可完成之所需項目，則可配合天候與季節條件，季風期降低頻率次數或不執行而非季風期則提高觀察頻率等方式。 或預留未來彈性之描述，以利未來港區巡檢規範之合理修訂不會受限於機型與巡檢項目特性之衝突。		
無人機巡檢為主建置的港區管理系統平台是否可再整合其他功能如即時（或含預估）飛行天候、飛航管制申請及給飛手建議訊息，甚至整合飛控系統平台建請考量。	感謝委員建議，若能提供相關即時資料之界接，則可一併納入平台中，使功能更為完整健全。	符合。
有關 8.1.1 飛行範圍與作業時間部分，考量風速對於飛行時間的影響及建議飛行時間預留電量部分是很有用且好用的資訊。另外除風速外是否宜考量： 本推估採用起飛一小段時間（屬於去程）再去外差，但由於去程與回程很可能風速一個是順風一個是逆風，因此單純以去程一個點去推估可能電池	感謝委員建議，無人機在順風飛行時，所耗費之電量是固定的，並不會因為順風就比較省電，但逆風確實相較耗電一點。逆風的確為一個影響因子，但實測時風向為難以掌握之變因，後續若有較適宜的驗證方式，團隊將精化測試方式。另耗盡飛行距離與建議飛行距離，目前是採用一階線性方程式進行推算，已補充於報告書中。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。

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
可使用時間是否造成回程誤差 會過大情形。 風向對飛行時間及電池消耗的影響（逆風、90度風，差異） 如何計算扣除起降時間 請說明耗盡飛行距離與建議飛行距離的計算方式		
對本研究之豐碩成果與團隊努力予以肯定，也很期待未來進一步的應用研究。	感謝委員肯定。	符合。
P7 第二段倒數第三行”圖像比例大小、旋轉為特徵偵測效率產生巨大影響”，應為”圖像比例大小與旋轉為特徵偵測之效率產生巨大影響”	感謝委員建議，已於報告書內進行修正。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
P100 倒數第三行”建議電量最好預留 30%，也就是最大飛行時間的 70%”，應為”建議電量最好預留 30%，也就是最大飛行時間為 70%”。	感謝委員建議，已於報告書內進行修正。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
四、李俊穎委員		
建議補述 2.2.2 小節無人機實際起落位置、次數及航線等作為後續正射影像製作參考。	感謝委員建議，已於報告書內進行修正。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
在 4.2.4 節中並無附件 2 中有關鏡頭角度設定請補述其實際做法為何？能否在航線規劃增加設定角度？	感謝委員建議，無人機航線規劃之角度設定，會因使用的無人機不同而有不同的程式呼叫方式，在本年度中會使用的控制鏡頭角度方式，均為使用程式來做控制。後續平台將角度的設定納入航線規劃中增加角度控制等相關調整，以增加彈性並提供更適合的航線規劃。	依處理情形辦理。
在 6.3.1 節因碰墊會受潮汐漲退遮蔽，故未來透過 Pixel 判斷物件是否毀損外建議考量潮汐因素。	感謝委員建議，未來可針對特定設施設置適當模組，以增強平台功能及服務品質。	依處理情形辦理。
在 6.5 節建議增加 0m 高程線，由該線來判斷海岸線變化，另外可計算整體（含高灘區）土方，有利後續應用。	感謝委員建議，已於報告書內進行修正。然而因所拍攝的 3 期影像在潮汐的條件皆不同，無法進行較精確的定量比較，這點在未來的資料收集時會納入考量。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
在多期影像比對建議未來可考量不同時期比對。	感謝委員建議，此功能涉及使用者操作介面的調整，團隊會將多與單位討論，以設計最佳化的影像比對操作方式。	依處理情形辦理。
五、林達遠委員		
本案建立臺中港全港區高精度與高解析度之三維數值地形模型，並著手進行碼頭特定物件	感謝委員肯定。	符合。

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
辨識及港區構造物位移監測等測試，成果豐碩且具體，值得肯定。		
報告 6.5 節，進行臺中港北防砂堤淤沙範圍全區影像拍攝，惟該 2 次拍攝未考量潮位差異致無法有進行分析，實為可惜，建議利用顯著地標進行水準校正，以獲得較完整資料比較差異。	感謝委員建議，這點在未來的資料收集時會納入考量。	依處理情形辦理。
六、港研中心蔡立宏主任		
報告格式請參考本所制訂格式調整，另中英文摘要及成果效益與後續應用情形需納入修正定稿。	感謝委員建議，已依照貴所制訂格式進行修正。	所提意見及執行內容調整,列入修正定稿辦理。
無人機依規畫路徑飛行，途中若遇動態船舶是否仍能自動避障？	本年度計畫以堤岸設施進行航線規劃，未來相關單位若有明確地海上巡檢標的，則可將動態避障納入航線規劃考量內。	依處理情形辦理。
未來北淤沙區於低潮位時進行拍攝，則可增加沙洲拍攝面積及進一步比較侵淤土方量。	感謝委員建議，團隊將遵照辦理。	依處理情形辦理。

附錄七、期末審查簡報資料



交通部運輸研究所港灣技術研究中心

無人機影像監測技術應用於 臺中港區管理之研究

期末審查會議



國立臺灣大學
National Taiwan University



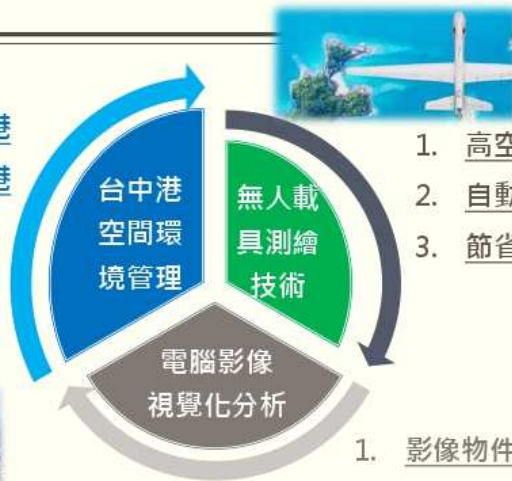
簡報大綱

- 計畫背景
- 計畫目的
- 計畫範圍
- 計畫流程
- 計畫總成果說明
 - 基礎資料蒐集（地控點及影像）
 - 無人機載具及影像感測系統分析
 - 飛行載具控制取向邏輯分析
 - 自動化影像三維建構與空間資訊賦予
 - UAV影像技術之延伸應用
 - 系統平台
 - 品質評估

工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	第11月
1. 無人飛行載具及影像感測器系統分析	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2. 文獻資料蒐集建構分析方法	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3. 飛行載具控制取向邏輯分析	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4. 影像資料蒐集	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5. 自動化影像三維建構與空間資訊賦予	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6. 特定物件辨識及變遷偵測分析	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7. 品質評估與行動依據	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8. 期中報告(6/29)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9. 期末報告(10/26)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10. 教育訓練	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
工作進度累進百分比(%)	■	■	■	■	■	50	■	■	■	■	100

計畫背景

1. 台中港為國際重要商港
2. 中部區域加值型物流港
3. 幅員廣大，管理不易



1. 高空俯視及遠距遙控功能
2. 自動化快速收集現地資訊
3. 節省現場人力觀測成本

1. 影像物件辨識與追蹤
2. 影像三維空間坐標化分析
3. 供地貌位置資訊及空間幾何變化

3

計畫目的及效益

(一)計畫目的

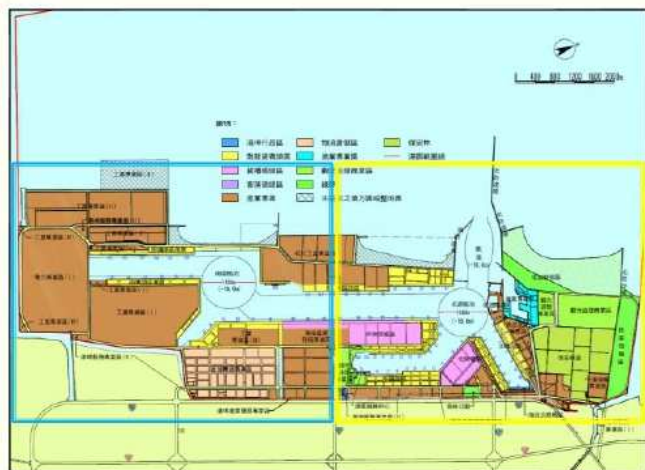
建立一套基於無人飛行載具以及影像分析技術之港區監測管理方案，以自動化方式收集港區空間資訊，並運用於港區營運與安全管理。

(二)預期效益

1. 港區幅員廣大，有限人力條件下，快速掌握各區域之使用狀況。
2. 針對港區重要設施或特定目標提供有效且精準的監測。
3. 建立港區空間資訊整合平台，作為後續科學化營運管理之基礎。

4

研究範圍



黃框範圍(核心區):

散雜貨碼頭區

貨櫃碼頭區

客運碼頭區

產業專區

綠帶

港埠行政區

漁業專業區

觀光遊憩商業區

保安林區

低度發展區

未完成之填方區或整地區

藍框範圍:

產業專區

散雜貨碼頭區

物流倉儲

貨櫃碼頭區

未完成填方區或整地

區

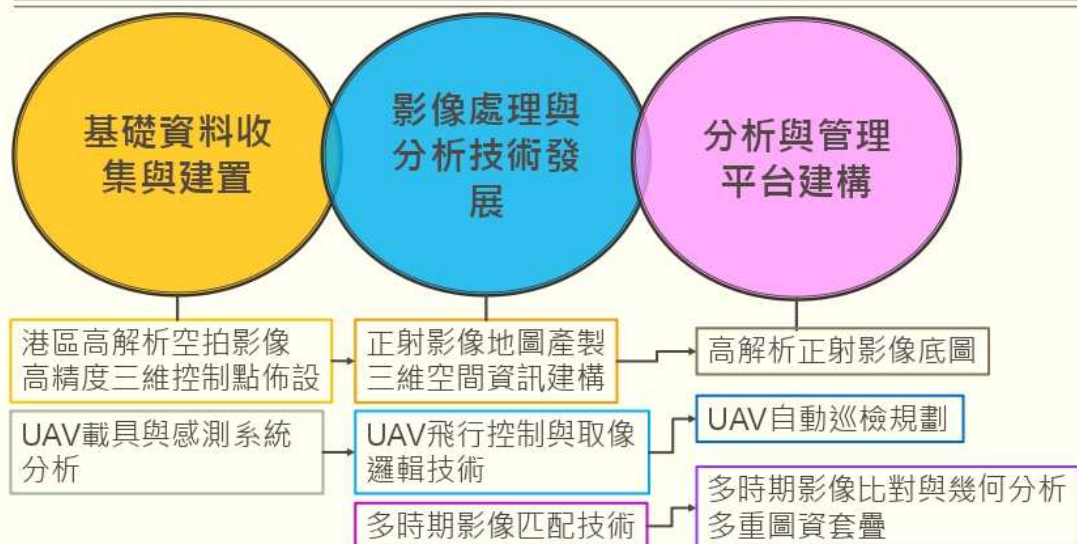
港區長度約為: 10km

佔地面積約為: 4,700公頃

本計畫研究區域範圍圖

5

研究流程



6

基礎資料收集

目的：
收集地控點及空拍影像，以產製高精度三維空間資訊

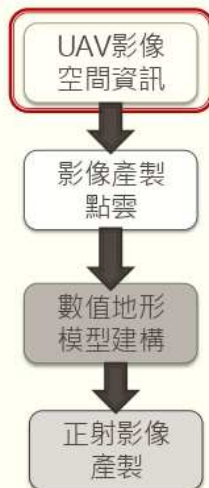
內容：
1. 控制點分布圖
2. 控制測量成果
3. 航拍影像收集
4. 正射底圖與DSM產製

7

UAV影像空間資訊建構流程



建構流程 - UAV影像空間資訊



UAV高解析影像蒐集

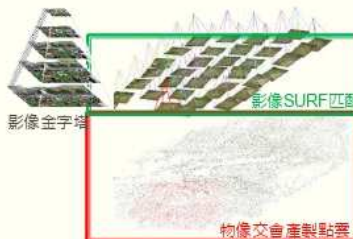
- 本案條件：
全區4700公頃，預計蒐集8885張影像
- 影像地面解析度5cm
- 航高120m，影像重疊率縱向80%、橫向60%



台中港第12號碼頭



建構流程 - 影像產製點雲



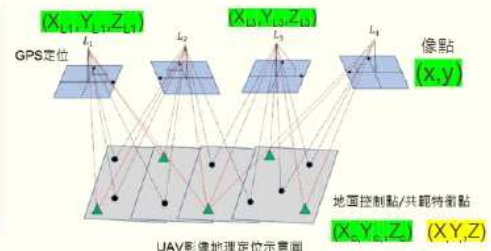
1. 連續UAV影像進行SURF匹配偵測地面特徵點。
2. 影像共軛特徵，以空間後方交會計算該點物空間坐標。
3. 利用已知UAV拍攝概略位置相機參數，基於共線式以，空間前方交會計算影像對應物空間之坐標。

共線方程式(Collinear equation)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m_3 \\ m_4 \end{bmatrix}$$

(x, y) 為像點坐標， $\Delta x, \Delta y$ 為內方位改正項，包含像主點偏移量，過程時常並。
 f 為像主距， $m_1 \sim m_4$ 為攝相機矩陣之各元素， (X, Y, Z) 為過投影中心的坐標，
 (X, Y, Z) 為物點坐標。

已知參數(相機焦距、姿態、畸變差)
 已知觀測
 待解資訊



建構流程- DEM、正射影像



控制測量

- 控制測量作業採用GNSS靜態量測方式獲取三維空間資訊。
- 共施測**16**個地面控制點，並採用**臺中港一等衛星連續追蹤站TACH**作為約制基準，共同聯測達40分鐘以上。

	站名	臺中港
	點號	TACH
	所在地點	臺中市臺中港防風林納防線
	建置機構	內政部國土測繪中心
	接收器廠牌型號	Trimble NetR9
	天線廠牌型號	TPSCR-G3 SCIT
	X坐標	-2955322.46300
	Y坐標	5010113.99500
	Z坐標	2607692.62300

地控點分布圖 2021/03/24完成控制點測量



測量成果 符合平面控制精度達±2公分、高程精度達±5公分之規範需求

點號	縱坐標N (m)	橫坐標E (m)	橢球高h (m)	大地起伏N (m)	正高H (m)	Std Dev N (m)	Std Dev E (m)	Std Dev h (m)	Std Dev Horizontal (m)
TACH	2687312.341	202810.393	33.797	18.752	15.041	0	0	0	0
TP01	2689675.936	202050.461	23.833	18.665	5.168	0.003	0.003	0.006	0.004
TP02	2688907.745	203647.365	23.553	18.750	4.803	0.002	0.002	0.004	0.003
TP03	2687519.271	204220.425	23.915	18.805	5.110	0.002	0.002	0.003	0.002
TP04	2687220.205	200934.179	22.187	18.664	3.523	0.001	0.001	0.002	0.002
TP05	2686004.890	202771.840	23.068	18.776	4.292	0.002	0.003	0.005	0.003
TP06	2683517.898	201749.554	23.224	18.743	4.481	0.004	0.005	0.009	0.006
TP07	2682534.998	200242.791	23.798	18.703	5.095	0.002	0.002	0.005	0.003
TP08	2680734.777	200537.737	24.010	18.728	5.282	0.003	0.003	0.006	0.004
TP09	2680209.645	199282.820	23.880	18.677	5.203	0.003	0.004	0.006	0.005
TP10	2678145.180	197359.079	24.437	18.627	5.810	0.004	0.004	0.008	0.006
TP11	2679032.260	195521.508	23.936	18.555	5.381	0.007	0.007	0.017	0.010
TP12	2681723.669	196561.176	29.504	18.557	10.947	0.004	0.005	0.015	0.007
TP13	2683454.587	198557.142	23.171	18.614	4.557	0.004	0.005	0.014	0.007
TP14	2684714.097	199262.747	22.903	18.628	4.275	0.001	0.001	0.003	0.002
TP15	2686807.170	199524.383	24.046	18.610	5.436	0.001	0.001	0.002	0.002
TP16	2687767.298	201070.170	23.455	18.660	4.795	0.001	0.001	0.002	0.002
RMSE(m)						0.004	0.004	0.010	0.006

控制點成果已納入管理系統之圖層

影像資料蒐集

• 全港區資料蒐集

影像拍攝位置



項目	內容
無人機	VTOL定翼機
鏡頭	PhaseONE iXU RS-1000
航高	120m
航帶數量	25條
影像數量	8885
重疊率	前後80% 左右60%
單張影像大小	寬11608x高8708



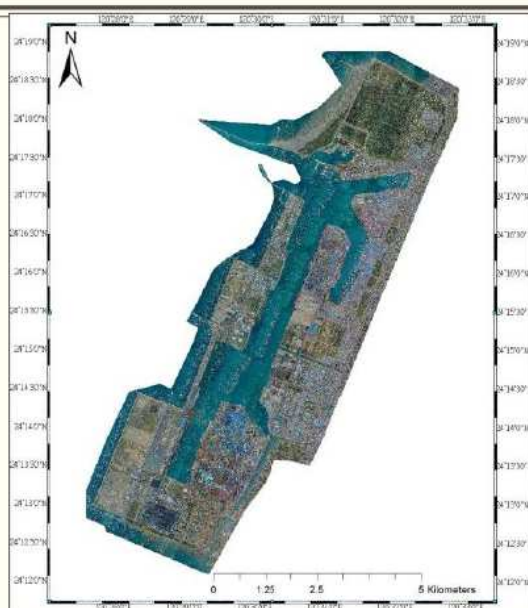
前後重疊
80%



左右重疊
60%

15

正射影像產製



已匯入平台做為基礎底圖

16

正射影像產製

- 正射影像解析度



17

數值地形模型產製

- 數值地形模型水體高程合理化處理



圖 18 基隆港中港每月潮位統計表(2001-2020)

單位: 潮位(公尺) - 基隆港海平面 - 基隆 - 125.0000 - 基隆 - 125.0000

基隆港 - 基隆港海平面 - 基隆 - 125.0000 - 基隆 - 125.0000

月別	最高潮位 (公尺)	最低潮位 (公尺)	平均潮位 (公尺)	平均潮位 (公尺)	平均潮位 (公尺)	最高潮位 (公尺)	最低潮位 (公尺)
1	2.00	1.814	1.905	1.894	1.922	1.894	1.922
2	2.021	1.815	1.908	1.895	1.919	1.895	1.919
3	2.038	1.803	1.940	1.902	1.909	1.891	1.909
4	2.059	1.795	1.952	1.912	1.918	1.891	1.918
5	2.076	1.783	1.953	1.912	1.915	1.891	1.915
6	2.075	1.768	1.955	1.912	1.915	1.891	1.915
7	2.059	1.751	1.949	1.91	1.914	1.891	1.914
8	2.026	1.816	1.946	1.909	1.905	1.891	1.905
9	2.008	1.815	1.925	1.894	1.901	1.891	1.901
10	2.014	1.816	1.944	1.91	1.914	1.891	1.914
11	2.001	1.81	1.91	1.90	1.911	1.891	1.911
12	2.024	1.808	1.955	1.911	1.914	1.891	1.914
全年	2.055	1.815	1.952	1.911	1.914	1.891	1.914

基隆局中港每月潮位統計表(2001-2020)

潮位相對臺灣高程基準
TWVD2001基隆海平面: 0.096公尺

18

無人載具分析

目的：
列出各類別載具並評估飛行能力及可應用範圍

內容：
1. 載具分析：多旋翼無人機 & 定翼機
2. 飛行里程計算：多旋翼無人機 & 定翼機

19

無人機等級分類說明

旋翼無人機	定翼無人機	重量	個人休閒娛樂用、無涉例外限制排除	執行政府機關(構)、學校或法人業務 (得執行例外限制排除項目)
本案代稱				
Type1	-	未達 2kg (250g 以下)	免操作證	1a(未逾 2 公斤註記) (高級專業操作證)
Type2	Type1	未達 2kg (250g-2kg)	免操作證	
Type3	Type2	2 公斤以上、未達 15 公斤 (裝置導航設備)	普通操作證 (學科測驗)	
Type4	Type3	15 公斤以上、未達 25 公斤	同基本級操作證	1b (高級專業操作證)
-	Type4	25 公斤以上、未達 150 公斤	(學、術科測驗)	11c (高級專業操作證)

民航局無人機重量與證照分級規範標準

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

載具分析：定翼機



項目	Type1	Type2	Type3	Type4
重量	250克-2公斤	2公斤-15公斤	15公斤-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 (測繪模式)	200公頃	700公頃	700公頃	1100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	1.地形測繪 2.巡檢飛行	1.地形測繪 2.巡檢飛行	1.地形測繪 2.大範圍巡檢飛行	1.地形測繪 2.大範圍巡檢飛行

飛行里程計算：多旋翼無人機 (以本案使用無人機Type2為例)

• 最大飛行時間

計算方法=25分鐘(理想情況)×0.7(安全係數)=17.5分鐘

※ 1. 考量風阻、航向變化、預留電量

2. 安全係數為電池充滿電後，轉換為電池續航力時間

3. 常見安全係數×0.7 嚴格安全係數×0.5



多旋翼無人機Type2: 250克-2公斤

• 飛行參數設定

1. 飛行航高=120m (本案最大航高)

2. 飛行速度= 5m/s (官方預設速度)

3. 起飛速度= 3m/s (官方預設速度) ※起飛時間= 40秒

4. 降落速度= 3m/s (官方預設速度) ※降落時間= 40秒

• 飛行里程計算

總飛行時間: 17.5分鐘(最大飛行時間) - 1.33分鐘(起降時間)≈ 16.2分鐘(970s)

總飛行距離: 970s × 5m/s = 4850m

• 最遠訊號接收與傳送距離

1. Type1: 2km

2. Type2: 4km

3. Type3: 4km

4. Type4: 5km

飛行里程計算：多旋翼無人機

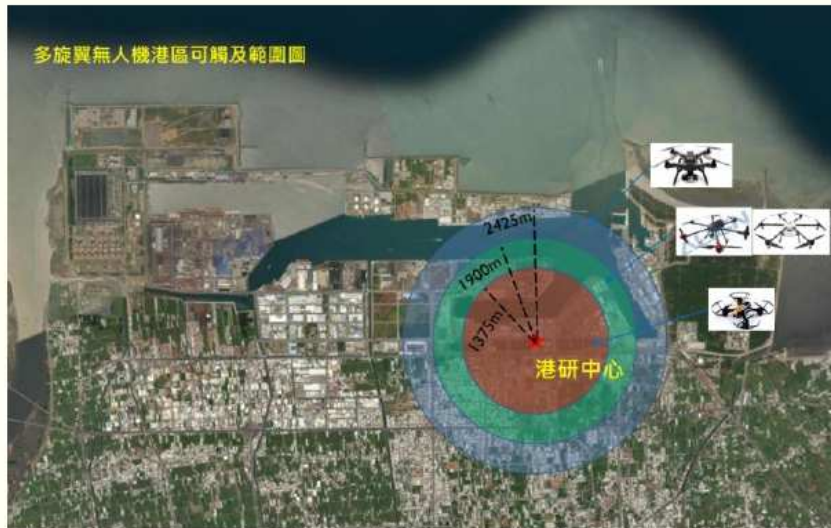
不同安全係數與最遠距離統整

安全係數	Type1	Type2	Type3	Type4
×0.5	925m	1675m	1300m	1300m
×0.7	1375m	2425m	1900m	1900m
訊號傳輸距離	2000m	4000m	4000m	5000m

*最遠距離，非總飛行距離

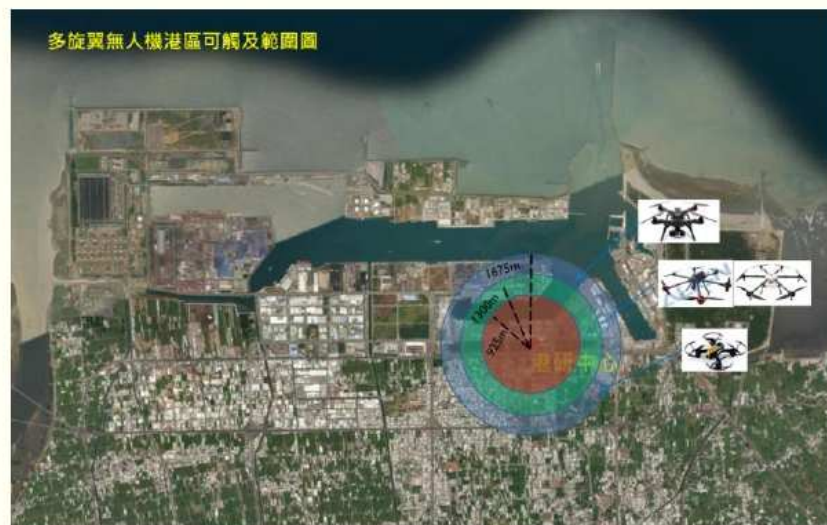
飛行里程計算：多旋翼無人機 (巡檢模式可觸及範圍; 安全係數 $\times 0.7$)

- Type1: 總飛行距離 2750m (最遠距離1375m)
- Type2: 總飛行距離 4850m (最遠距離2425m)
- Type3: 總飛行距離 3800m (最遠距離1900m)
- Type4: 總飛行距離 3800m (最遠距離1900m)



飛行里程計算：多旋翼無人機 (巡檢模式可觸及範圍; 安全係數 $\times 0.5$)

- Type1: 總飛行距離 1850m (最遠距離925m)
- Type2: 總飛行距離 3350m (最遠距離 1675m)
- Type3: 總飛行距離 2600m (最遠距離 1300m)
- Type4: 總飛行距離 2600m (最遠距離 1300m)



飛行里程計算：定翼機 (以本案使用無人機Type2為例)

- 最大飛行時間

計算方法=90分鐘(理想情況)×0.7(安全係數)=63分鐘

※ 1.考量風阻、航向變化、預留電量

2. 安全係數為電池充滿電後，電力完全轉換值

3. 常見安全係數×0.7;嚴格安全係數×0.5

- 飛行參數設定

1.飛行航高=120m (本案最大航高)

2.飛行速度= 30m/s (官方預設巡航速度)

- 飛行里程計算

總飛行時間: 63分鐘=3780s

總飛行距離: 3780s × 30m/s = 113400m=113.4km



定翼無人機Type2: 2-15公斤

- 最遠訊號接收與傳送距離

1. Type1 : 3km-5km

2. Type2 : 5km-8km

3. Type3 : 5km-8km

4. Type4 : 5km-8km

飛行里程計算：定翼機

不同安全係數與總飛行距離統整

安全係數	Type1	Type2	Type3	Type4
×0.5	27 km	81 km	81 km	108km
×0.7	38 km	113 km	113 km	151 km
訊號傳輸距離	3km-5km	5km-8km	5km-8km	5km-8km

飛行里程計算：定翼機 (官方公告數據最大飛行範圍)

- Type1 :可飛行範圍 500公頃以下
- Type2 :可飛行範圍 1500-3000公頃以下
- Type3 :可飛行範圍 1500-3000公頃以下
- Type4 :可飛行範圍 3000公頃以下



飛行里程計算：定翼機 (測繪模式最大飛行範圍; 安全係數×0.7)

- Type1 :可飛行範圍 200公頃以下
- Type2 :可飛行範圍 700公頃以下
- Type3 :可飛行範圍 700公頃以下
- Type4 :可飛行範圍 1100公頃以下



感測系統分析

目的：
列出各類別載具可搭載之感測器，得出此計畫最適用載具之感測器

內容：
1. 感測系統分析：多旋翼無人機 & 定翼機

31

感測系統分析：多旋翼無人機

光學相機

Type 1適用



Type 2適用



Type 3適用
5~10萬



Type 4適用
10~20萬



種類	模組鏡頭	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	2100萬	4240萬	6100萬
影像大小(pixel)	3840*2160	5344x4016	7952 x 5304	9504 x 5344
感光原件('')	1/2.3	1/2.4	1	1
重量g(含雲台)	100	200	5000	5000~10000
解析度(cm/pix)	4.7	3.8	3.0	2.3

航高120m地面解析度

感測系統分析：多旋翼無人機

熱感應相機



種類	模組鏡頭&可替換式鏡頭	可替換模組鏡頭
影像大小(pixel)	320*256	640x4016
重量g(含雲台)	200	500
解析度(cm/pixel)	56.3	28.1

航高120m地面解析度

光學雷達



種類:可替換式
FoV : 360°
重量(含雲台):1.5Kg以下
85pts/m²

航高80m點密度

33

感測系統分析：定翼機

光學相機



種類	模組鏡頭&可替換式鏡頭	模組鏡頭&可替換式鏡頭
像素	1600萬	6100萬
影像大小(pixel)	5472*3648	9504x6336
感光原件(μ)	1	1
重量g(含雲台)	500	5000
解析度(cm/pixel)	3.3	2.3

航高120m地面解析度

熱感應相機



種類	模組鏡頭	模組鏡頭&可替換式鏡頭
影像大小(pixel)	640*512	640x512
重量g(含雲台)	500	500
解析度(cm/pixel)	28.1	28.1

航高120m地面解析度

34

感測系統分析：定翼機

光達

180~300萬

Type 2適用



- 雷射脈衝頻率: 100 kHz
- 測量頻率: 200,000次/秒
- 掃描速度: 100次掃描/秒
- 精度: $\pm 2\text{cm}$
- FoV: 360°
- 重量: 1.55公斤

150pts/m²

Type 2 or Type 3適用



- 雷射脈衝頻率: 1.8 MHz
- 測量頻率: 1,00,000次/秒
- 掃描速度: 150次掃描/秒
- 精度: $\pm 2\text{cm}$
- FoV: 46°
- 重量: 2.4公斤

300pts/m²

Type 2 or Type 3適用



- 雷射脈衝頻率: 1.8 MHz
- 測量頻率: 1,500,000次/秒
- 掃描速度: 400次掃描/秒
- 精度: $\pm 2\text{cm}$
- FoV: 100°
- 重量: 2公斤

680pts/m²

航高120m點密度

感測系統分析：統整

多旋翼無人機

* 航高以120m計算

類型	光學相機	熱感應相機	光學雷達
Type1	可掛載; GSD: 4.7cm/pixel	無法掛載	無法掛載
Type2	可掛載 GSD: 3.8cm/pixel	可掛載 56.3cm/pixel	無法掛載
Type3	可掛載、可替換 GSD: 3.0cm/pixel	可掛載、可替換 GSD: 28.1cm/pixel	可掛載、可替換 點密度: 85pts/m ²
Type4	可掛載、可替換 GSD: 2.3cm/pixel	可掛載、可替換 GSD: 28.1cm/pixel	可掛載、可替換 點密度: 85pts/m ²

定翼機

類型	光學相機	熱感應相機	光學雷達
Type1& Type2	可掛載、可替換 GSD: 3.3cm/pixel	可掛載、可替換 GSD: 28.1cm/pixel	可掛載、可替換 點密度: 150pts/m ²
Type3	可掛載、可替換 GSD: 2.3cm/pixel	可掛載、可替換 GSD: 28.1cm/pixel	可掛載、可替換 點密度: 300pts/m ²
Type4	可掛載、可替換 GSD: 2.3cm/pixel	可掛載、可替換 GSD: 28.1cm/pixel	可掛載、可替換 點密度: 300pts/m ² & 680pts/m ²

無人機適宜性評估分析

目的：
評估各類型無人機在台中港區適用狀況

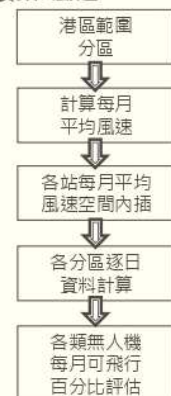
內容：
1. 港區氣候條件蒐集（平均風速、風向、降水量）
2. 無人機可飛行天數百分比
3. 無人機適宜性評估

37

港區氣候條件蒐集



- 北堤綠燈塔T2：風速
- 北防沙堤T8：風速
- 31號碼頭T5：風速
- 港研中心頂樓T6：風速
- 梧棲站：風速



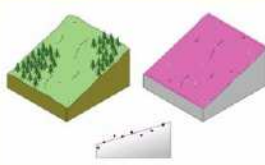
風速評估-風速資料內插方法

Trend interpolation(趨勢內插法)

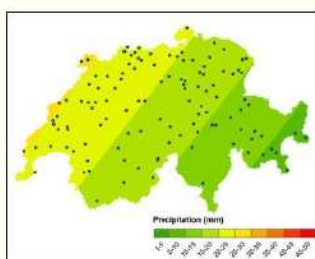
趨勢內插以低階多項式建構逐漸變化的表面，例如風速和風向和雨量(Childs 2004).

$$W_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i \quad i = 1, 2 \dots n$$

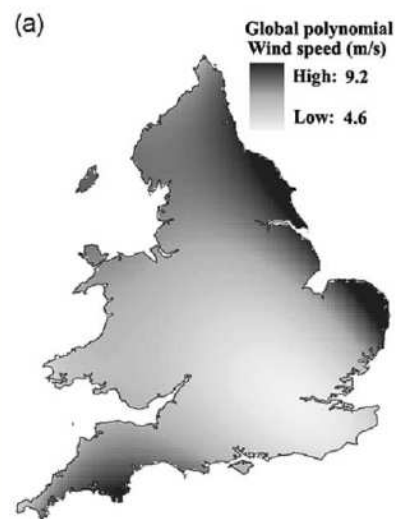
(x_i, y_i) 為測站位置; a_0, a_1, a_2 為擬合參數; W_i 為擬合風速成果



Linear trend



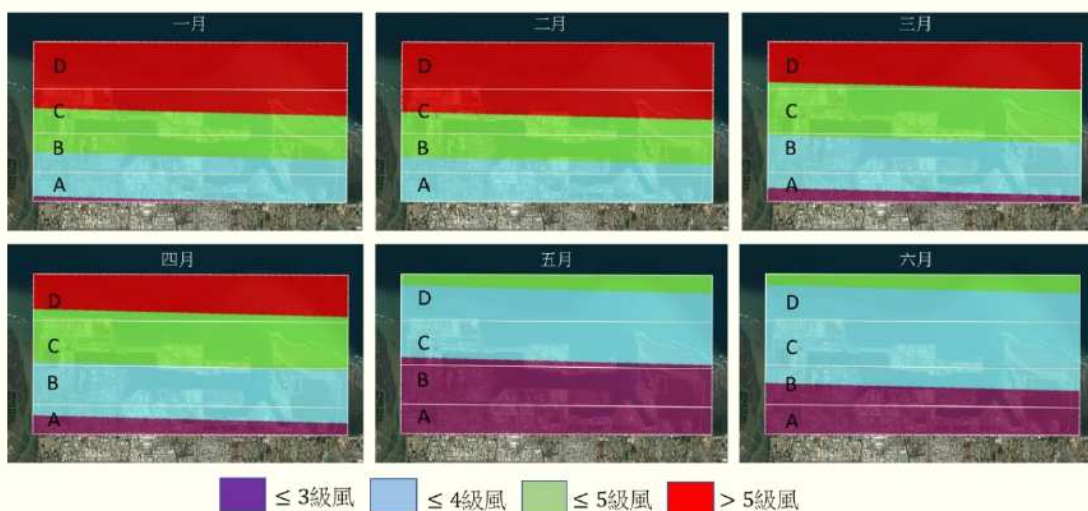
linear trend surface
for Swiss rainfall data(Purves 2016)



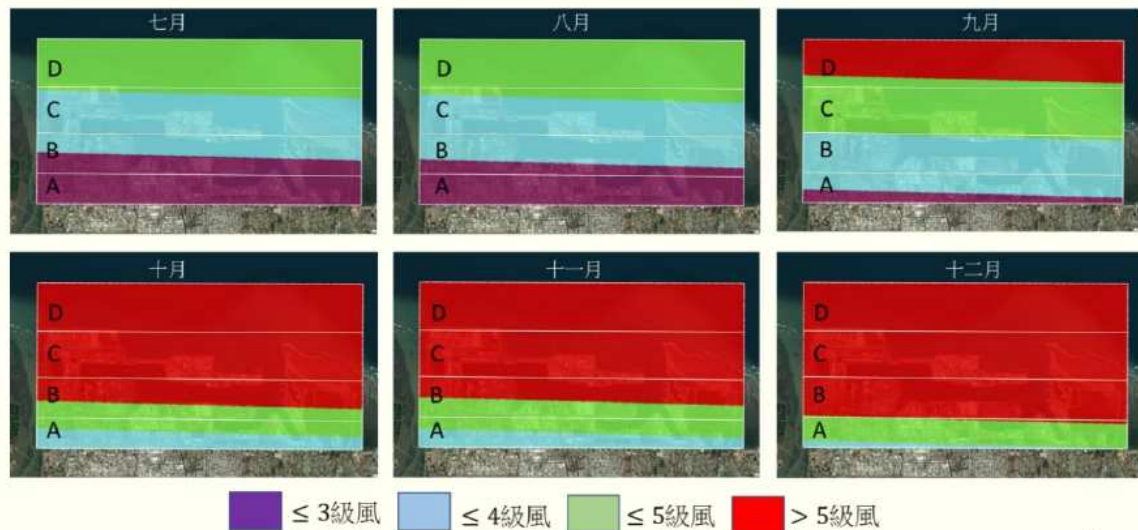
(Luo 2008) 39

風速評估-每月風速變遷範圍

• 每月逐時平均風速資料計算



風速評估-每月風速變遷範圍 • 每月逐時平均風速資料計算



41

無人機抗風能力分析

蒲氏風力級數表:

風級	名稱	平均風速	平均風速	風壓
		(公尺 / 秒)	(公里 / 秒)	(公斤 / 平方公尺)
0	無風	0-0.2	<1	0
1	軟風	0.3-1.5	1-5	<1
2	輕風	1.6-3.3	6-11	1
3	微風	3.4-5.4	12-19	1-3
4	和風	5.5-7.9	20-28	3-7
5	清風	8.0-10.7	29-38	7-14
6	強風	10.8-13.8	39-49	14-23
7	疾風	13.9-17.1	50-61	23-35
8	大風	17.2-20.7	62-74	35-52
9	烈風	20.8-24.4	75-88	52-72
10	狂風	24.5-28.4	89-102	72-97

• 依據原廠最大抗風下一級計算

各類型最大抗風:

- ← 多旋翼無人機Type1
- ← 多旋翼無人機Type2, Type3, Type4
- ← 定翼無人機Type1, Type2
- ← 定翼無人機Type3, Type4

無人機可飛行天數百分比

藍色為可飛天數大於60%

無人機類型	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
A區 多旋翼機Type1					83.90%		71.00%	74.20%				
A區 多旋翼機Type2,3,4	71.00%	64.50%	100.00%	96.80%	93.50%	87.10%	96.80%	87.40%	80.60%	64.50%	61.30%	
A區 定翼機Type1,2	96.80%	90.30%	100.00%	96.80%	93.50%	90.30%	96.80%	87.40%	96.80%	100.00%	96.80%	90.30%
A區 定翼機Type3,4	100.00%	90.30%	100.00%	96.80%	93.50%	90.30%	96.80%	87.40%	96.80%	100.00%	96.80%	100.00%

無人機類型	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
B區 多旋翼機Type1												
B區 多旋翼機Type2,3,4			65.94%	62.39%	63.41%	62.99%	74.42%	66.81%				
B區 定翼機Type1,2	68.62%	64.01%	74.18%	70.19%	70.10%	73.47%	83.72%	75.16%	72.21%	73.26%	67.15%	66.44%
B區 定翼機Type3,4	74.82%	67.57%	78.31%	74.09%	75.30%	77.55%	88.37%	79.34%	76.22%	73.47%	70.88%	71.47%

無人機類型	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
C區 多旋翼機Type1												
C區 多旋翼機Type2,3,4					63.57%	60.79%	70.63%					
C區 定翼機Type1,2			64.44%	61.75%	70.20%	70.90%	79.46%			69.61%		61.14%
C區 定翼機Type3,4	65.38%		68.02%	72.87%	75.49%	74.84%	83.87%	63.09%		72.34%		72.67%

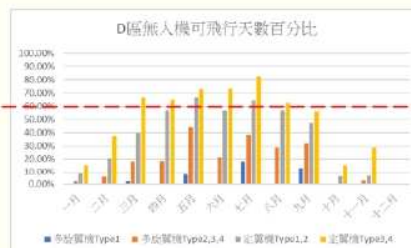
無人機類型	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
D區 多旋翼機Type1												
D區 多旋翼機Type2,3,4												
D區 定翼機Type1,2					66.50%		64.32%					
D區 定翼機Type3,4			66.50%	65.18%	73.15%	73.63%	82.65%	62.70%				

43

無人機可飛行天數百分比



可飛天數大於60%



可飛天數大於60%

44

無人機適宜性評估

D		3~8月	Type3, 4 : 光學、熱像、光達
C		3~7月, 10月, 12月	Type1, 2 : 光學、熱像、光達
B		3~8月	Type2 : 光學、熱像 Type3, 4 : 光學、熱像、光達
A		5月, 7月, 8月	Type1 : 光學

*可飛行天數大於60%計算

45

載具控制與取像邏輯方法說明

目的：
提供三種飛行模式，作為無人載具執行任務時的功能選擇並說明邏輯方法

內容：
1. 各項方法流程
2. 飛行模式選擇
3. 飛行路徑計算方法

46

各項方法流程

1. 飛行模式選擇

地形測繪

多點巡航

單點環飛

2. 飛行路徑計算方法

目標選擇

路徑點位計算

A-star 演算法

DSM高程資訊

47

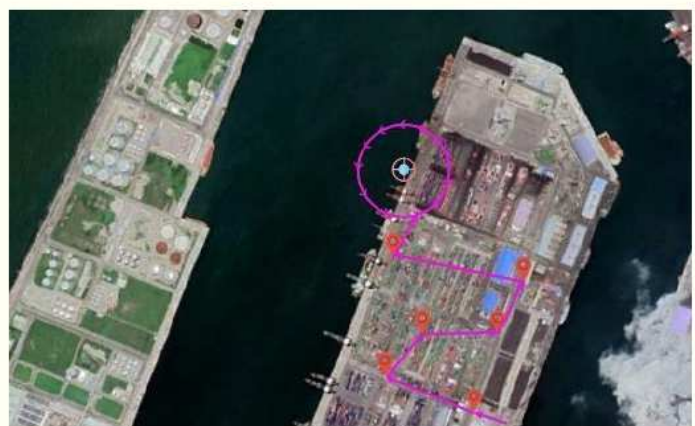
飛行模式 – 多點巡航

Input :

1. 各檢視點位選擇
2. 相對航高設定
3. 影像參數設定 (GSD, 重疊率)
4. 最大航高設定
5. 取像頻率 (Optional)
6. 飛行速度設定 (Optional)

Output :

飛行路線點位、影像拍攝姿態紀錄、
預估總飛行時間、



48

飛行模式 - 地形測繪

Input :

1. 目標範圍劃設
2. 相對航高設定
3. 影像參數設定 (GSD, 重疊率, 拍攝角度)
4. 最大航高設定
5. 取像頻率 (Optional)
6. 飛行速度設定 (Optional)

Output :

飛行路線點位、影像拍攝姿態紀錄、預估總飛行時間



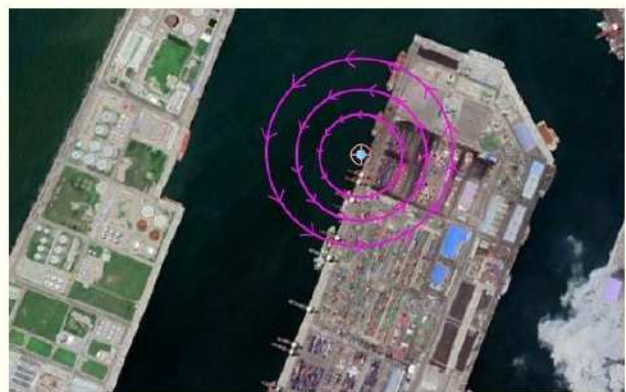
飛行模式 - 單點環飛

Input :

1. 單點目標物
2. 相對航高設定
3. 與目標物距離設定 : 環形範圍
4. 影像參數設定 (GSD, 重疊率)
5. 取像頻率(Optional)
6. 飛行速度設定(Optional)

Output :

飛行路線點位、影像拍攝姿態紀錄、預估總飛行時間



載具控制與取像邏輯方法 – 影像參數設定

地面解析度 GSD :

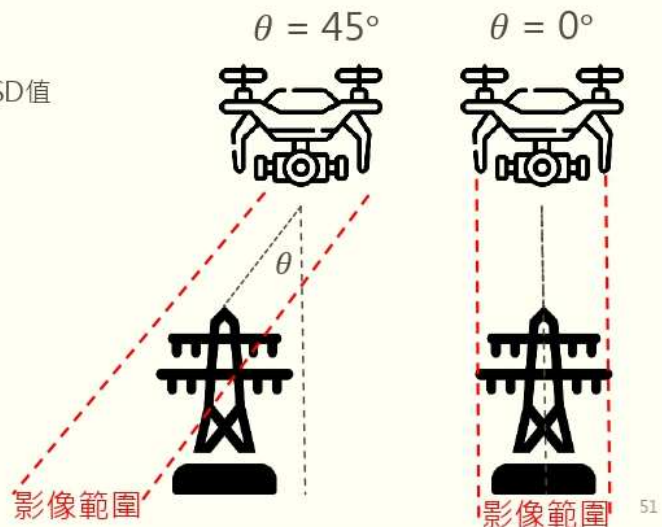
在各點位航高動態計算GSD值

影像拍攝角度 :

影響後續影像比對成功率

重疊率 (地形測繪模式) :

影響建構點雲的品質



51

影像與空間參數

GSD 地面採樣距離

描述空間與影像間的比例參數

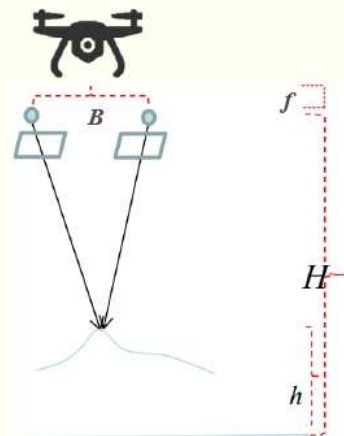
$$GSD = \frac{\text{相對航高}(H-h)}{\text{焦距}(f)} = \frac{\text{實際距離}}{\text{像素}} \text{ (mm/ pixel)}$$

重疊率

像對間的關係程度，用於後續的影響處理分析

基線(B) = (飛行速率 × 取樣頻率)

$$\text{重疊率} = 1 - \frac{(\text{飛行速率} \times \text{取樣頻率}) \text{ 焦距}}{\text{影像大小} \times \text{相對航高}}$$



52

載具控制與取像邏輯方法 – 邏輯判斷

A-star 演算法

已知高程資訊 (DSM)

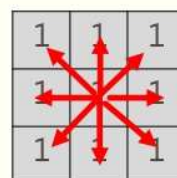
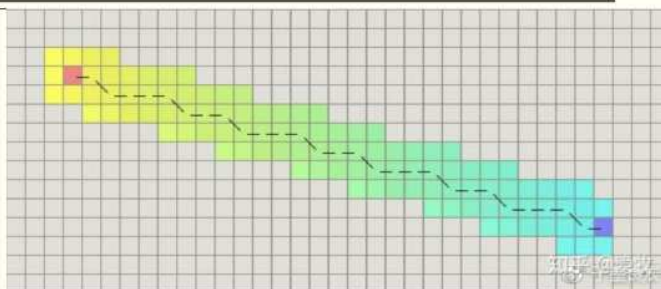
快速、低運算搜尋

對角線距離成本公式 $h(n)$

八方位搜尋運算子

計算與目標的距離成本最為判斷依據

$$h(n) = \text{Max}(\text{abs}(n.x - \text{goal}.x), \text{abs}(n.y - \text{goal}.y))$$



八方位搜尋運算子

53

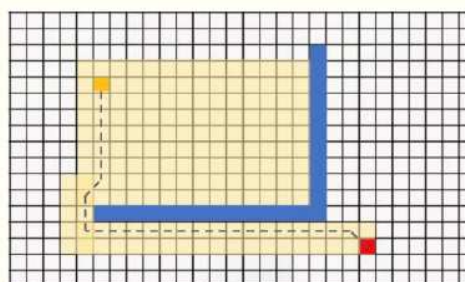
載具控制與取像邏輯方法 – 障礙物迴避

建物+相對航高 > 離地高度 120m

=> 認定為障礙物

屬於障礙物部分將會繞開計算新路徑

超過允許飛行時間將無法起飛



54

參數設定統整

飛行模式 參數設定	地形測繪	多點巡航	單點環飛
空間參數 (使用者輸入)	目標範圍	多目標點	單點目標物
	GSD(空間與影像間的比例參數)		
	緩衝區大小(buffer)		
載具參數 (系統預設或使用者輸入)		取像頻率	
		相對航高	
		飛行速率	
影像參數 (系統計算)		重疊率	

系統顯示參數

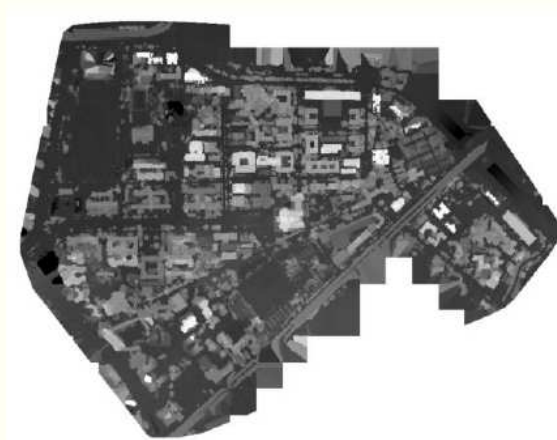
1. 飛行航高
2. Buffer 大小
3. 取像頻率
4. 飛行速率
5. GSD
6. 重疊率
7. 總飛行時間
8. 總飛行距離

飛行載具自動飛行路徑測試---以台灣大學校總區為例

台灣大學校總區

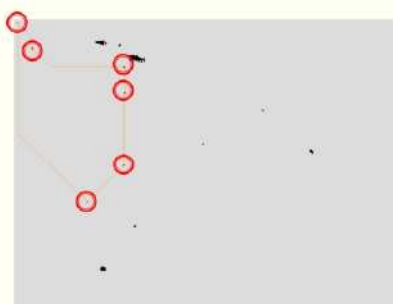


台灣大學校總區 DSM

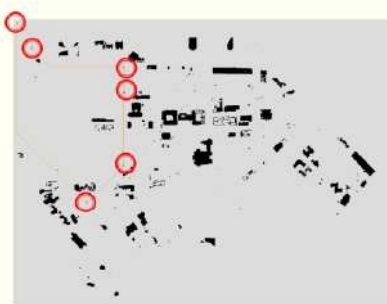


多點巡航模式測試---不同飛行高度(巡航點位數6)

飛行高度 = 相對飛行高度 + 建築物高度



高度限制：100m



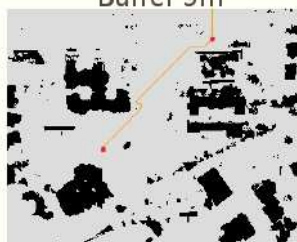
高度限制：80m



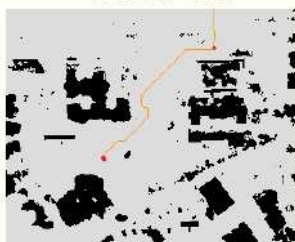
高度限制：75m

多點巡航模式測試---不同buffer大小

Buffer 5m



Buffer 10m



- 飛機離建築物飛行之緩衝區域 (buffer)

可調整buffer之大小

高度限制：75m

飛行距離約：823m (5m buffer)

829m (10m buffer)

巡航點位數：5 (僅紅點)

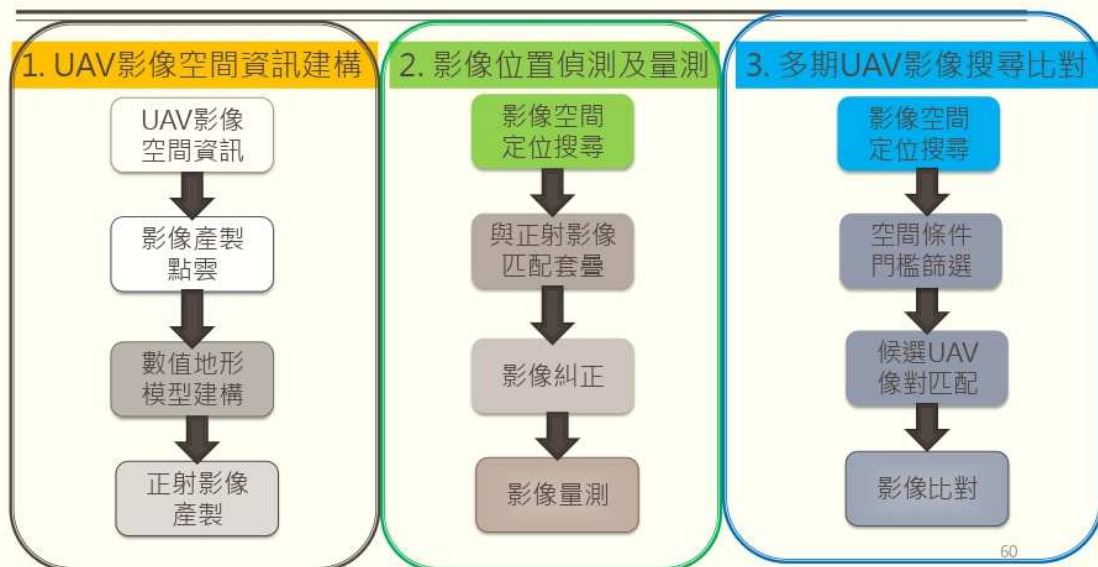
UAV影像分析技術說明

目的：
達成不同時期角度的影像匹配及套疊之方法流程

內容：
1. 分析方法流程
2. UAV影像空間資訊建構
3. 影像位置偵測及量測
4. 多期UAV影像搜尋及比對

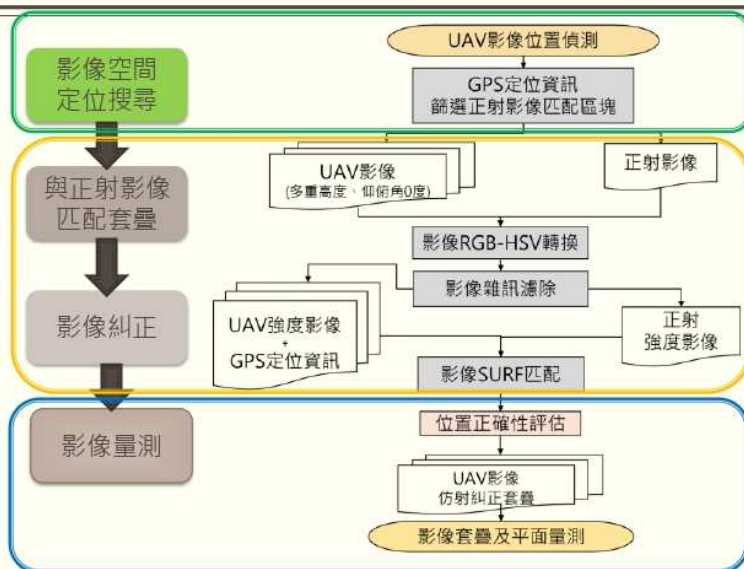
59

分析流程



60

分析流程- 2.影像位置偵測及量測



UAV影像內容



61

分析流程- 2.影像位置偵測及量測



正射影像位置搜尋



UAV影像內容



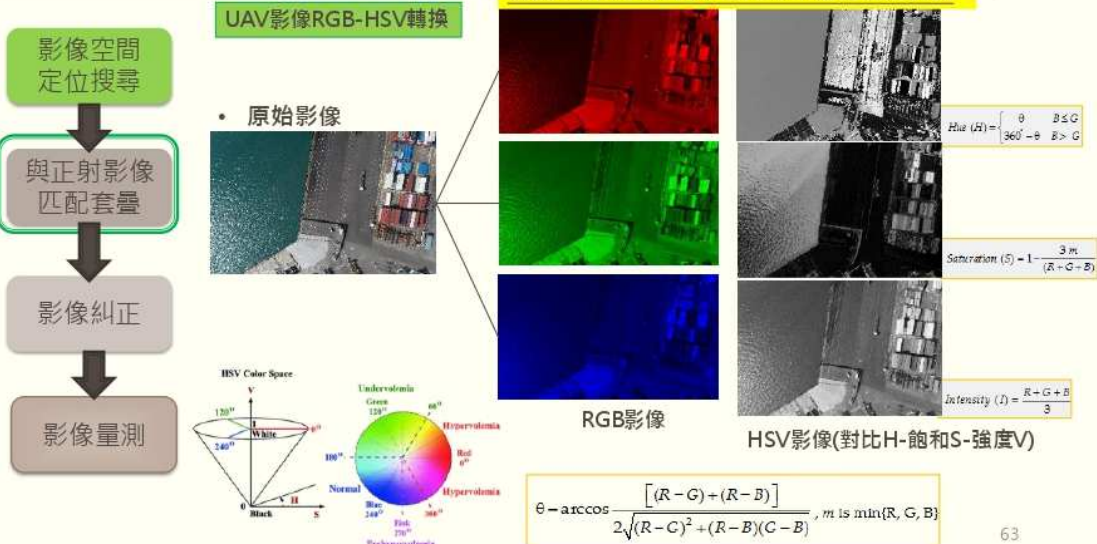
▲ 原點 (x_0, y_0)

候選影像坐標 (x_i, y_i)

62

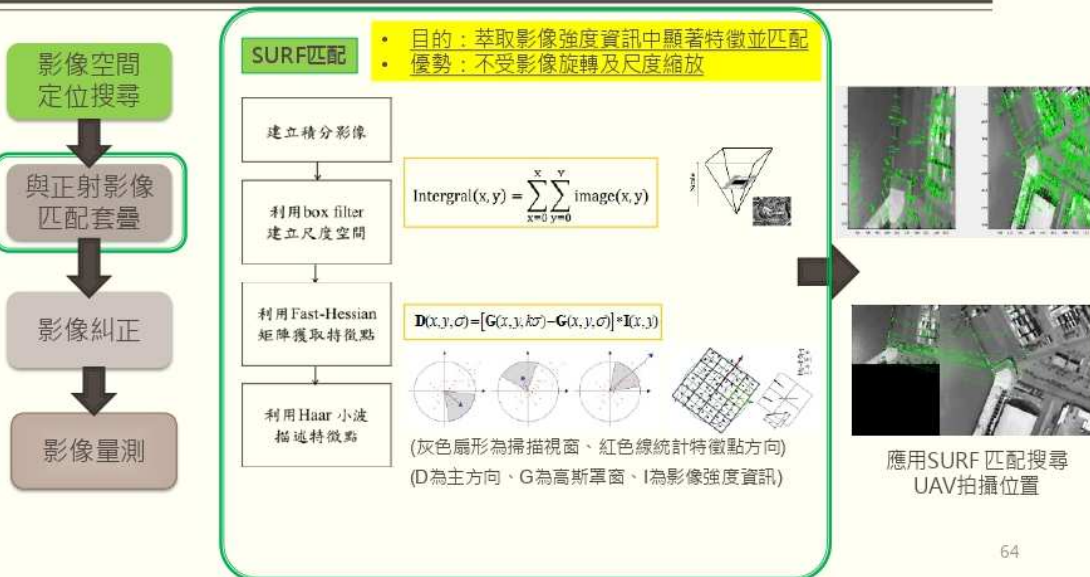
分析流程- 2.影像位置偵測及量測

目的：由RGB資訊萃取HSV中穩健強度資訊



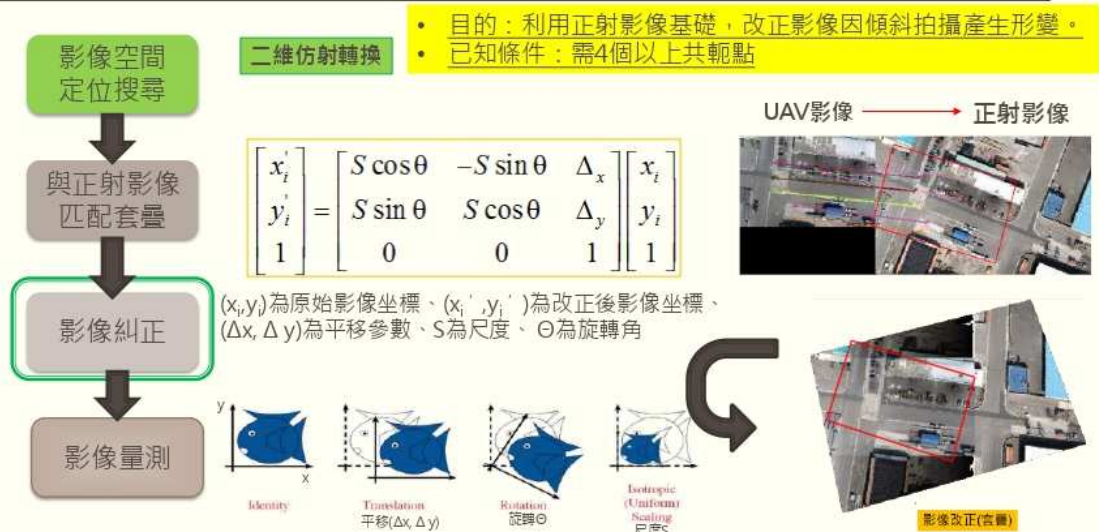
63

分析流程- 2.影像位置偵測及量測



64

分析流程- 2.影像位置偵測及量測



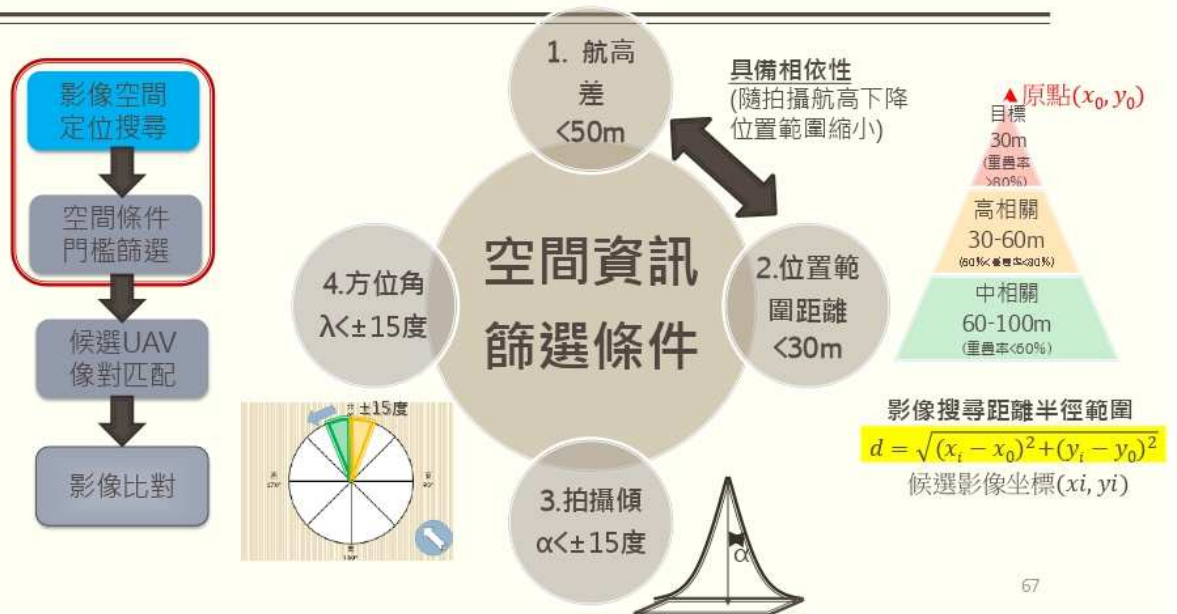
65

分析流程- 2.影像位置偵測及量測



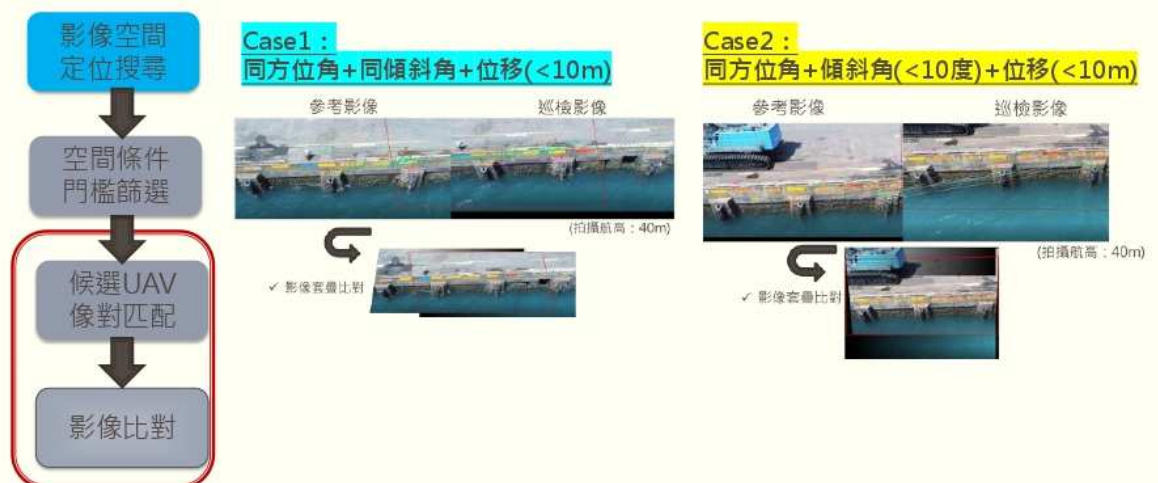
66

分析流程 - 3.多期UAV影像搜尋比對



67

分析流程 - 3.多期UAV影像搜尋比對驗證測試



68

UAV影像技術之延伸應用

目的：
從本案技術延伸的3種不同應用

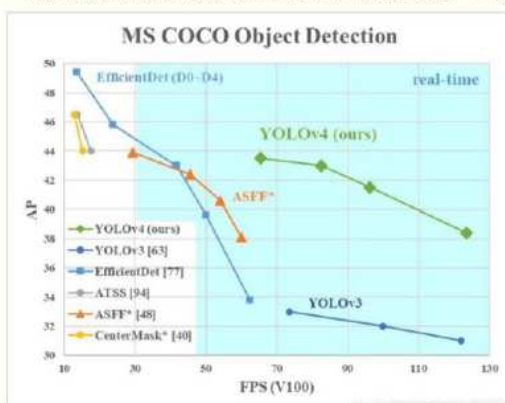
內容：
1. 物件自動化偵測
2. 北防砂堤變遷
3. 南堤監測成果

69

物件自動化偵測-目前物體偵測模型比較

Yolov4模型

Yolo的第四版本，改善數據增量與激活函數相關數學式
可提供更及時以及更準確的物體偵測=>維持高速度與高準度



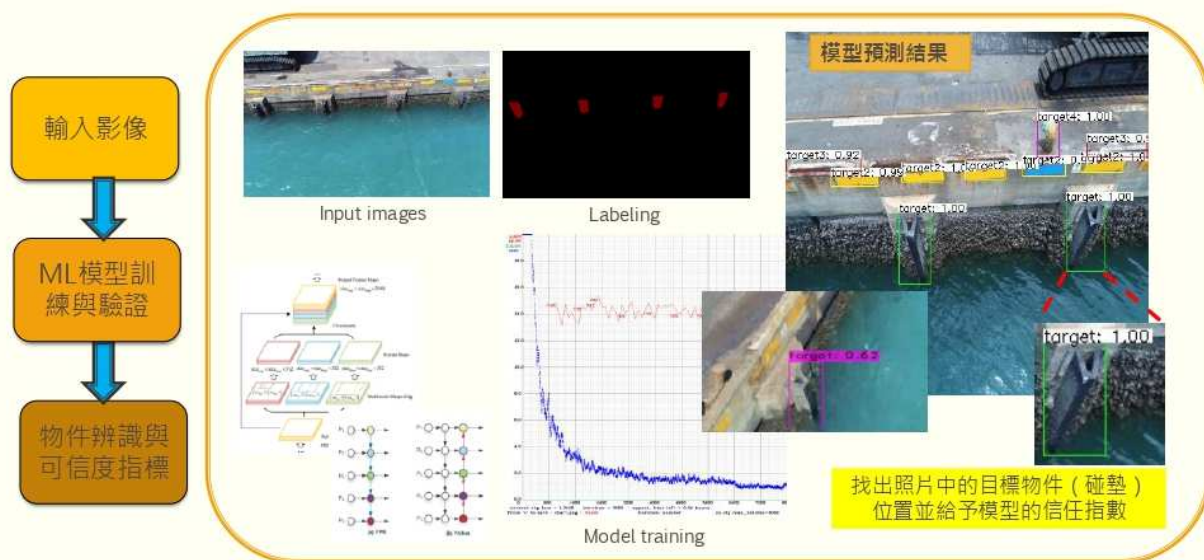
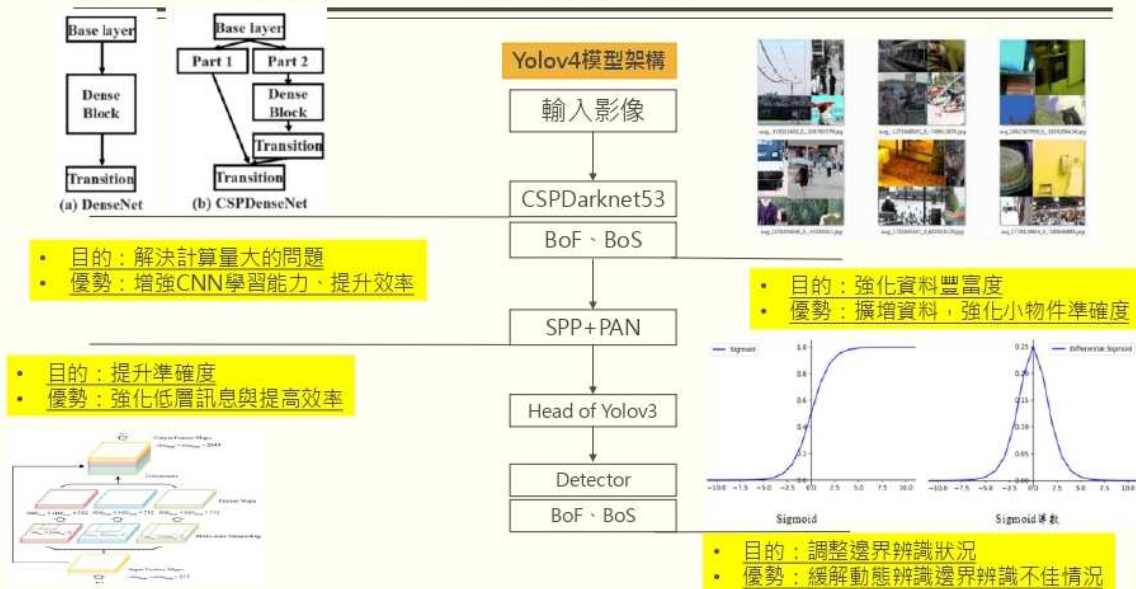
Yolov4架構特性：

1. 高精度快速目標偵測模型。
2. 採用先進的BoF& BoS方法。
3. 對SOTA做改進，更適合單GPU做訓練。



70

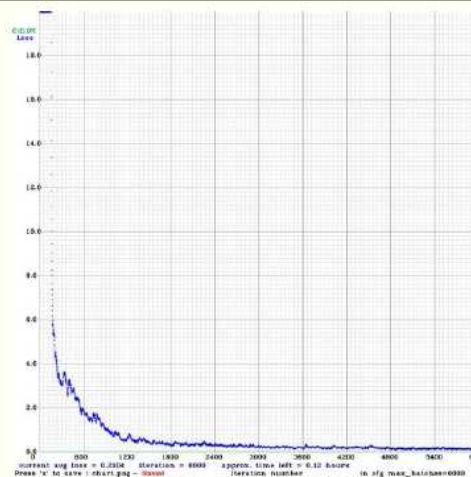
物件自動化偵測-Yolov4模型架構介紹



預設訓練8000次，需耗時約4~6小時最終avg_loss約略在1.3428。

物件辨識模型

單一物件: 碰墊



使用100張相片做訓練，訓練6000次，最終loss值為0.2104%，仍低於1%，故訓練結果成功。

73

物件辨識模型

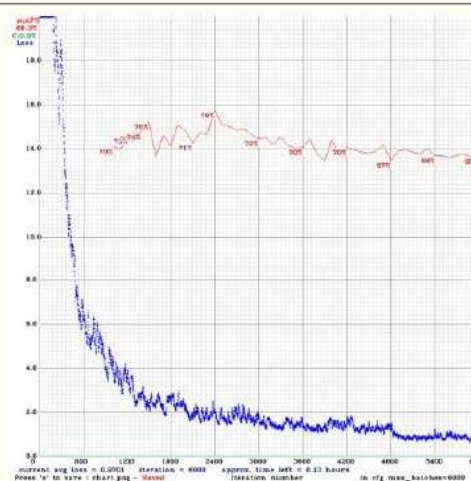
多物件:

碰墊

反光板(黃+藍+紅)

車擋(only白色)

繫船柱



mAP有降低趨勢，而Loss值仍有不錯表現，為0.97%

74

辨識結果

單一物件



多物件



成功



角度過斜，後方不被偵測



過於邊邊的物件不會被偵測到

失敗

75

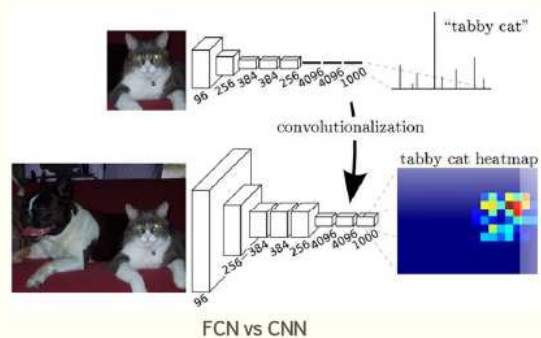
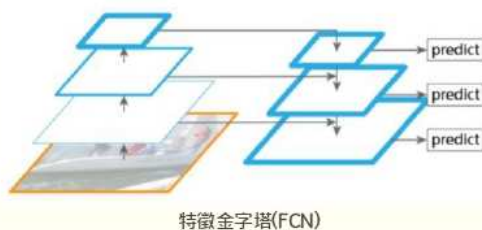
物件變遷模型介紹

Mask Rcn模型

像素級目標分割模型，透過多層次特徵萃取，製作出特徵金字塔(FCN)來強化辨識並達到像素等級物件辨識。

FCN(Fully Convolutional Network)

與一般CNN不同，輸出結果為2維熱像圖，標示出每個pixel出現機率，並且可以不被相片大小所限制，達到整幅相片pixel偵測

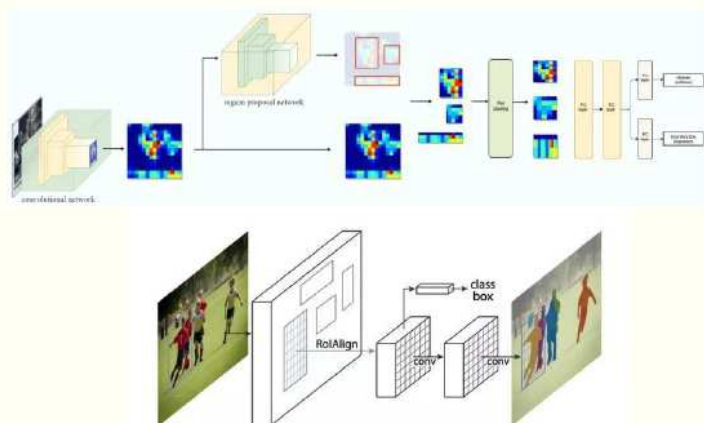


76

物件變遷模型介紹

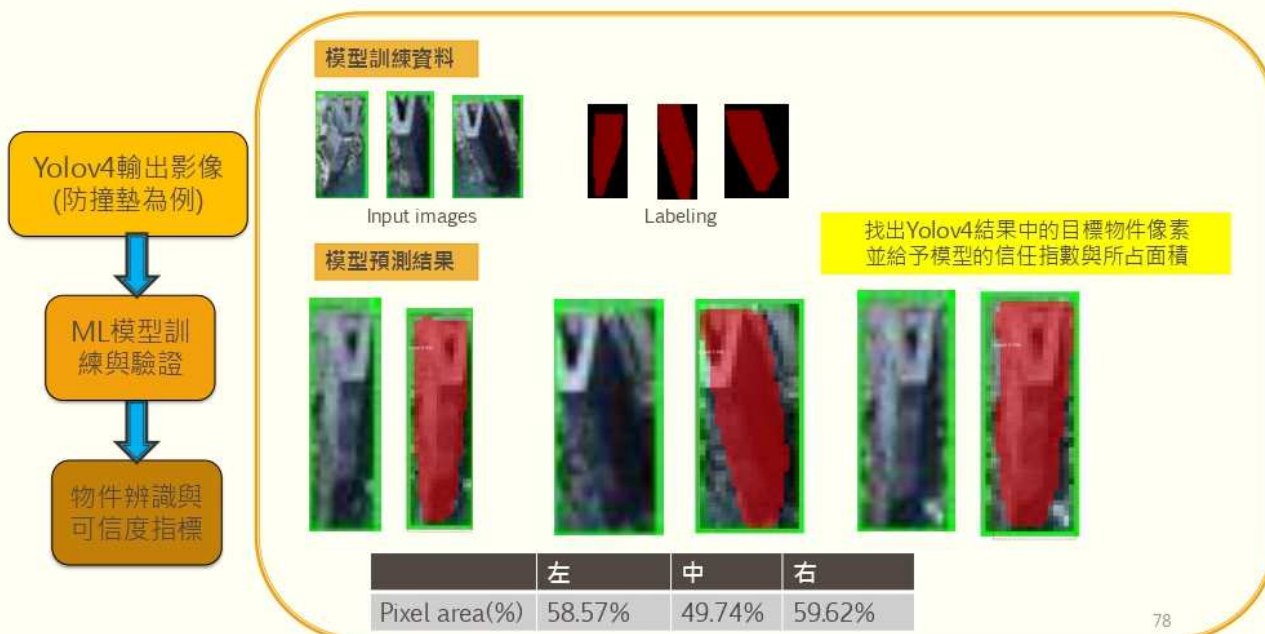
Mask Rcnn 優勢

1. 平行判斷類別與Mask，訓練參數彼此不影響
2. 避開Mask跨類別競爭



Mask Rcnn示例

77



78

北防砂堤變遷情形



第一期 2021/03/28 9:00~12:00
沙洲面積：28.54公頃
水下可視沙洲面積：44.64公頃



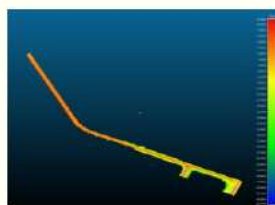
第二期 2021/09/02 12:00~16:00
沙洲面積：163.86公頃



兩期影像套疊

79

南堤構造物監測



第一期
2021/03



第二期
2021/06

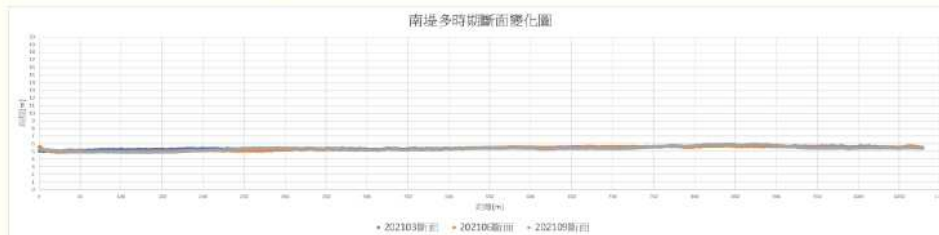


第三期
2021/09

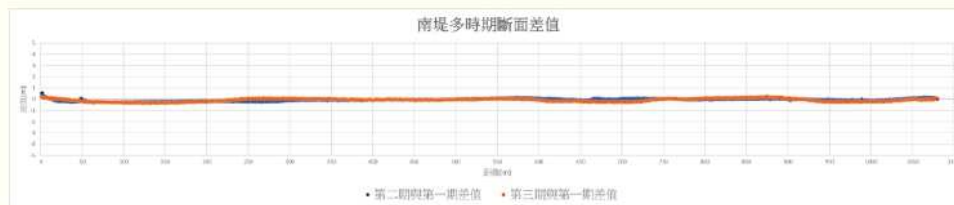
80

多點巡航-南堤構造物監測_垂直位移變化

斷面點位位置: 南堤道路中心線
斷面點位間距: 1m



南堤道路中心線



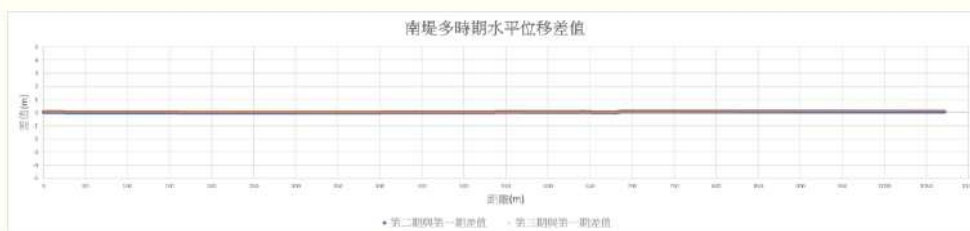
方向: 內陸 ➡ 外海

時期	差值 RMSE
第二期與 第一期垂直差 值	10.6c m
第三期與 第一期垂直差 值	14.2c m

81

多點巡航-南堤構造物監測_水平位移變化

點位位置: 南堤道路中心線
點位間距: 1m



方向: 內陸 ➡ 外海

正射影像GSD: 5cm
南堤水平位移差值約
1~2 pixel



南堤道路中心線

時期	差值 RMSE
第二期與 第一期水平差 值	5.7cm
第三期與 第一期水平差 值	6.7cm

82

系統平台

目的：
將本案發展之各項功能納入整合系統平台

內容：
1. 開發架構
2. 軟硬體環境說明
3. 相關圖資需求
4. 目前開發狀況&DEMO

83

開發架構&功能模組



84

軟硬體環境說明

- 資料內容

- 影像內容為主要資料，需視航拍範圍及精細程度預估

以geotiff檔估計，正射影像+DSM大約178GB
巡檢影像每張大約4~5mb，約可存1,027,080,192張影像

- 軟體環境

- Linux ubuntu 20.04
- MySql

- 硬體環境

處理器 CPU	AMD R5 5600X【6核/12緒】3.7G
主機板 MB	ASUS Pro WS X570-ACE
記憶體 RAM	Crucial Ballistix RGB 64G(32G*2)D4-3200
固態硬碟 M.2 SSD	Samsung 970 EVO Plus 500G/M.2
傳統內接硬碟HDD	Seagate 4TB(256M/5400轉)
顯示卡	EVGA GeForce GTX 1080

85

介面底圖



- 種類：
電子地圖底圖
- 格式：
WMTS
- 來源：
Open Street Map



- 種類：
影像底圖
- 格式：
geotiff
- 來源：
團隊自行產製



- 種類：
附加資訊
- 格式：
shp
- 來源：
內政部



- 種類：
影像底圖
- 格式：
geotiff
- 來源：
團隊自行產製

介面底圖



- 種類：
附加資訊
- 格式：
點坐標
- 來源：
團隊自行產製

87

平台功能

點之記內容



影像上傳



88

巡檢影像匯入



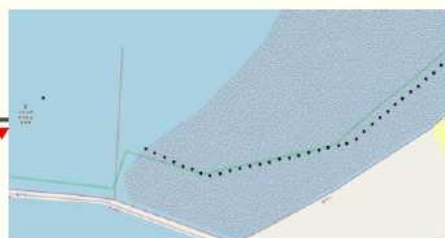
匯入後，具有影像之POI以不同顏色呈現。



89

平台新增項目

影像Poi



POI間距為30m (正射空拍航高100m
地面影像30m距離內都可以匹配搜尋)

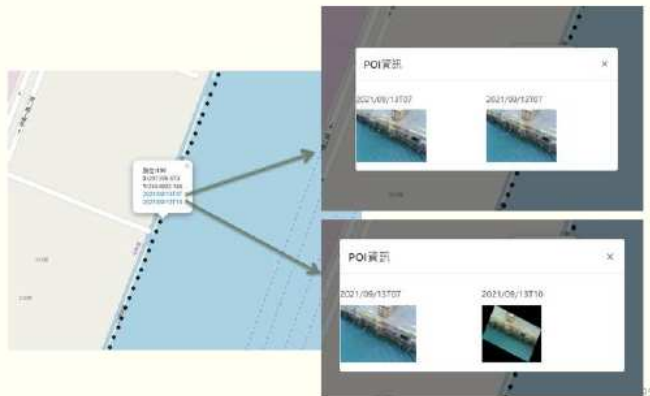


POI間距為10m (以巡檢影像統計影像
間距約10m，加上碰墊間距為6m考量)

90

平台功能

Poi內容



高程讀取顯示



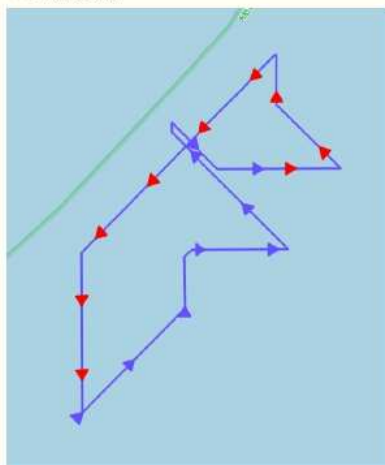
91

平台功能

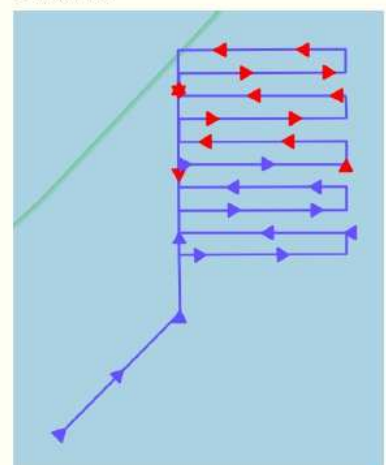
單點環飛



多點巡航



地形測繪



92

無人機規劃路徑飛行測試結果

目的：
實際根據所規畫路線進行試飛，分別使用相對路徑及絕對路徑測試。

內容：
1. 相對路徑測試
2. 絕對路徑測試

93

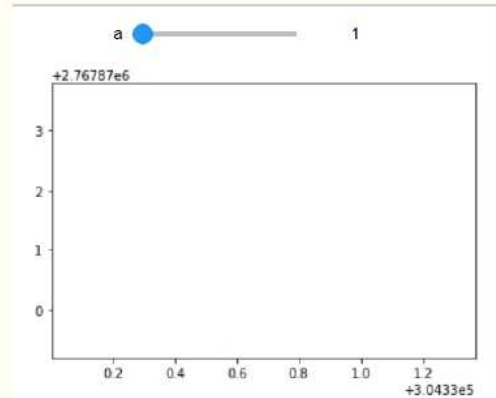
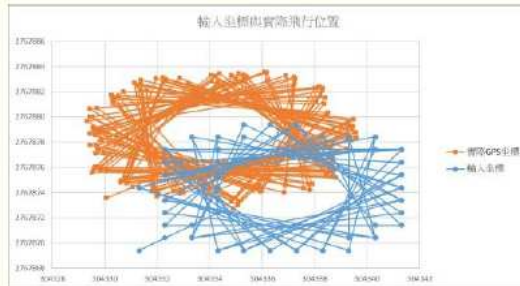
相對路徑測試

- 單點環飛測試－土木系館上
- 參數：半徑5m、往起飛點+X、+Y各5m、飛行高度 10m
- 路徑規劃方式：相對路徑



94

相對路徑測試結果



大致按規劃路徑飛行，但有明顯偏移。

絕對路徑測試

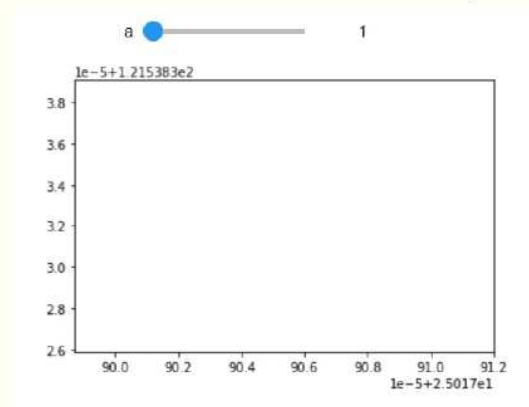
- 單點環飛測試 – 土木系館上
- 參數：半徑10m、飛行高度 10m
- 路徑規劃方式：**絕對路徑**



```
25.01791139738775,121.53832647462623
25.01792038947529,121.53833642186952
25.01792938156213,121.53834636911424
25.017938373648263,121.53835631636039
25.017947365753697,121.53836626360801
25.01795635781843,121.53837621085708
25.017965349902468,121.53838615810758
25.017974341985806,121.53839610535955
25.01798333406843,121.53840605261297
25.01799232615037,121.53841599986784
25.018001354110794,121.53841603924366
25.018010382071218,121.53841607861952
25.01801941003162,121.5384161179954
25.018028437992015,121.53841615737127
```

輸入參數

絕對測試結果



可正確按規劃路徑飛行。

品質驗證與評估

目的：
將本案所用各項成果進行品質驗證，並設立評鑑標準。

內容：

1. 無人機飛行範圍與穩定度驗證
2. 高解析正射影像幾何精度評估
3. 影像匹配精度評估
4. 物件辨識信賴分數

無人機-飛行範圍與作業時間

- 無人載具理論分析

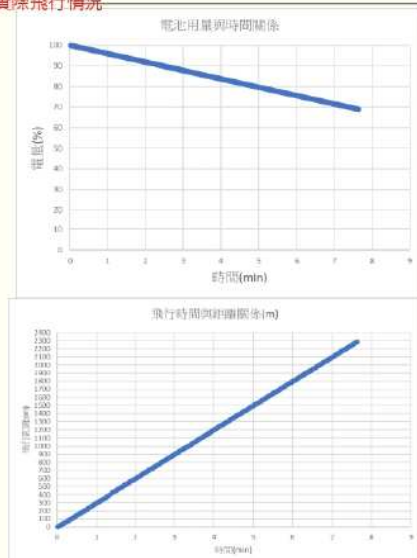
依據最大飛行時間乘上安全係數估算飛行時間與距離

項目	安全係數0.7	安全係數0.5
官方公告最大飛行時間	25分鐘	
飛行速度	5m/s	5m/s
乘上0.7安全係數飛行時間	17.5分鐘-40秒 =16.83分鐘 (扣除起降時間)	12.5分鐘-40秒 =11.83分鐘 (扣除起降時間)
平面飛行總距離	5049m	3549m

99

無人機-飛行範圍與作業時間 Case1-天氣狀況良好實際驗證(2級風)

實際飛行情況



2.推估飛行數據

電量耗盡時間: 24.51分鐘(天氣狀況良好與官方公告一致)
電量耗盡飛行距離: 7350m

1.實際飛行數據

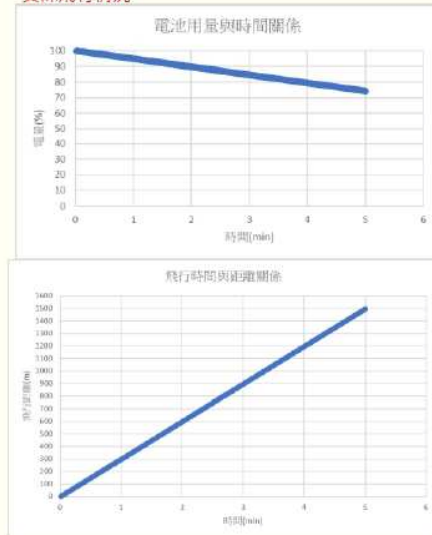
項目	數值
風速	3m/s(2級風)
飛行時間	7.63分鐘
電池使用量	31.04%
每分鐘下降電量	4.11%
飛行距離	2285m
飛行航高	60m

3.建議飛行數據

項目	數值
預留電量	30%
飛行時間	17.01分鐘-40秒 =16.34分鐘 (扣除起降時間)
建議平面飛行距離	4902m
飛行時間安全係數	$\frac{100}{0.7}$

無人機-飛行範圍與作業時間 Case2-天氣狀況不佳實際驗證(5級風)

實際飛行情況



2.推估飛行數據

電量耗盡時間: 19.46分鐘
電量耗盡飛行距離: 5835m

1.實際飛行數據

項目	數值
風速	8m/s(5級風)
飛行時間	5分鐘
電池使用量	26.00%
每分鐘下降電量	5.20%
飛行距離	1495m
飛行航高	60m

3.建議飛行數據

項目	數值
預留電量	30%
飛行時間	13.63分鐘-40秒 =12.96分鐘 (扣除起降時間)
建議平面飛行距離	3888m
飛行時間安全係數	¹⁰¹ _{0.5}

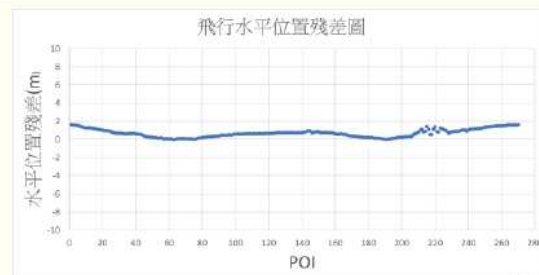
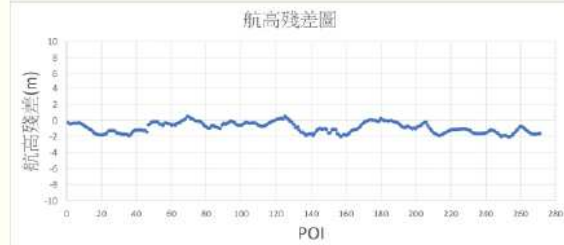
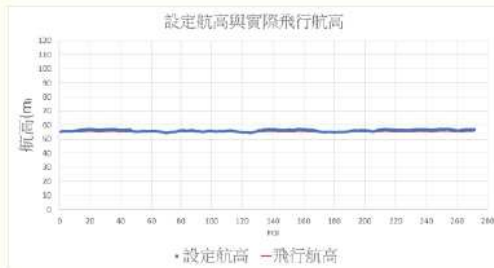
無人機-飛行範圍與作業時間

以本研究案Type2無人機，應用於港區實際飛行之建議設定參數

天氣狀況	良好	差
風速	2級風(3m/s)	5級風(8m/s)
安全係數	0.7	0.5
警戒剩餘電量	30%	30%
建議飛行時間	16.34分鐘(扣除起降時間)	12.96分鐘(扣除起降時間)
建議平面飛行距離	4902m (原廠取0.7安全係數5049m)	3888m (原廠取0.5安全係數3549m) ₁₀₂

飛行範圍與作業時間驗證

Case1-中突堤巡檢無人機位置精度分析

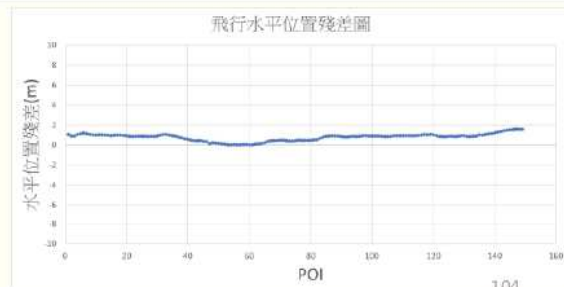
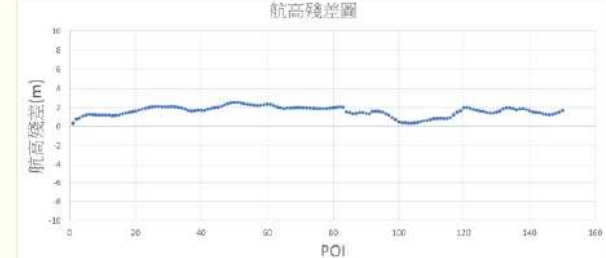
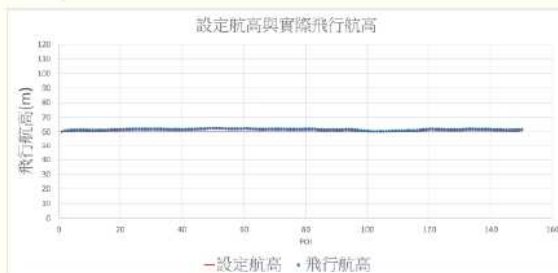


項目	航高誤差	水平位置誤差
最大誤差	0.566m	1.650m
最小誤差	-2.015m	0.009m
均方根誤差(RMSE)	$\pm 1.084m$	$\pm 0.817m$

103

飛行範圍與作業時間驗證

Case2-北防砂堤巡檢無人機位置精度分析



項目	航高誤差	水平位置誤差
最大誤差	2.549m	1.601m
最小誤差	0.307m	0.008m
均方根誤差(RMSE)	$\pm 1.675m$	$\pm 0.870m$

UAV搭載之晶片型GPS可提供公尺級飛航路徑控制。

104

影像-正射影像幾何精度

平面精度及高程精度
驗證

二十呎標準乾貨貨櫃

外部尺寸			高程精度 驗證	
長	寬	高	長	高
20'-0"	8'-0"	8'-6"	2.551 m	
6.058 m	2.438 m			
內部尺寸				
長	寬	高		
19'-4 13/16"	7'-8 19/32"	7'-9 57/64"		
5.898 m	2.352 m	2.385 m		
重量限制			櫃門內徑	
總重	空櫃重	貨物淨重	寬	高
67,200 lb	5,290 lb	61,910 lb	7'-8 1/8"	7'-5 3/4"
30,480 kg	2,400 kg	28,080 kg	2.343 m	2.280 m
			內容積 (立方米)	內容積 (立方呎)
			33.2	1,172
附註				



平面精度
驗證

四十呎標準乾貨貨櫃

外部尺寸			高程精度 驗證	
長	寬	高	長	高
40'-0"	8'-0"	8'-6"	2.591 m	
12.192 m	2.438 m			
內部尺寸				
長	寬	高		
39'-5 45/64"	7'-8 19/32"	7'-9 57/64"		
12.032 m	2.352 m	2.385 m		
重量限制			櫃門內徑	
總重	空櫃重	貨物淨重	寬	高
67,200 lb	8,820 lb	58,380 lb	7'-8 1/8"	7'-5 3/4"
30,480 kg	4,000 kg	26,480 kg	2.343 m	2.280 m
			內容積 (立方米)	內容積 (立方呎)
			67.5	2,355
附註				

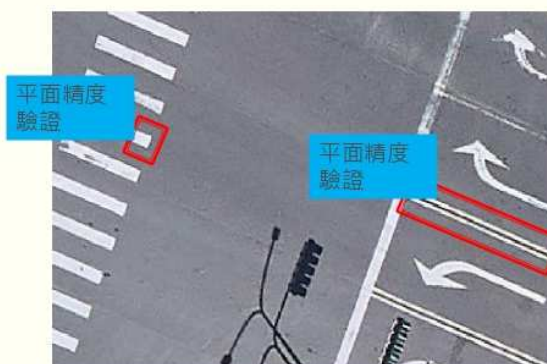


上述資料僅供參考，實際尺寸及重量應以各櫃體標牌所示為準。

105

影像-正射影像幾何精度

平面精度驗證



實際尺寸依據:

- 道路交通標誌標線號誌設置規則第 158 條:本標線為雙白虛線，線段長四公尺，間距六公尺，**線寬十公分，間隔十公分(總寬度三十公分)**。
- 道路交通標誌標線號誌設置規則第 185 條：枕木紋行人穿越道線（斑馬線），設於交岔路口；其線型為枕木紋白色實線，線段長度以三公呎至八公呎為度，寬度為**四十公分**。

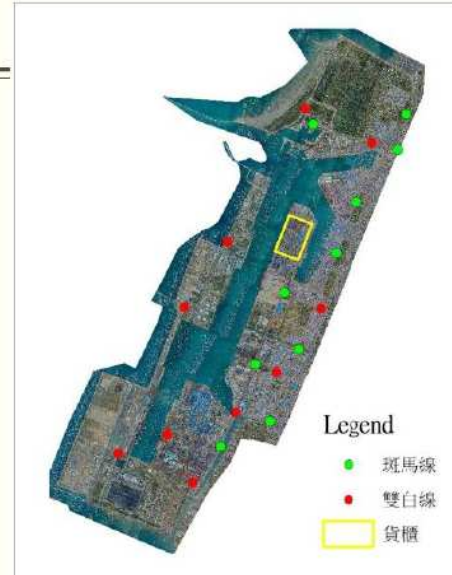
106

影像-正射影像幾何精度

幾何精度驗證檢核

項目	貨櫃長	斑馬線寬	雙白線寬
樣本數	30	10	10
最大誤差	0.157m	0.045m	0.070m
最小誤差	-0.145m	-0.011m	-0.011m
平均精度 RMSE(m)	$\pm 0.074m$	$\pm 0.028m$	$\pm 0.044m$

平面精度約為1-2 pixels。



檢核位置分布圖

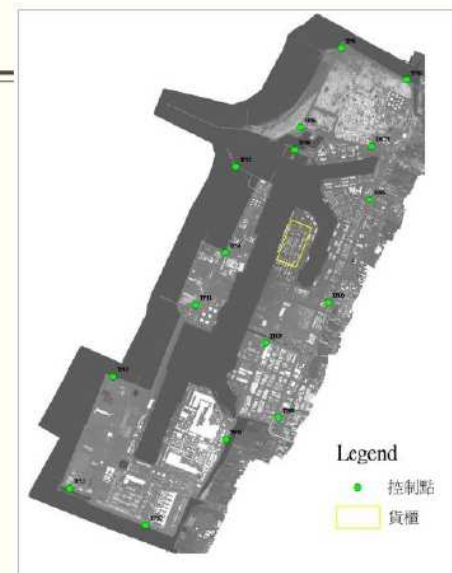
107

數值高程模型精度

高程精度驗證檢核

項目	貨櫃高	控制點高程
樣本數	30	16
最大誤差	0.319m	0.059
最小誤差	-0.281m	-0.129
平面精度 RMSE(m)	$\pm 0.145m$	$\pm 0.050m$

高程精度約為1-3 pixels。



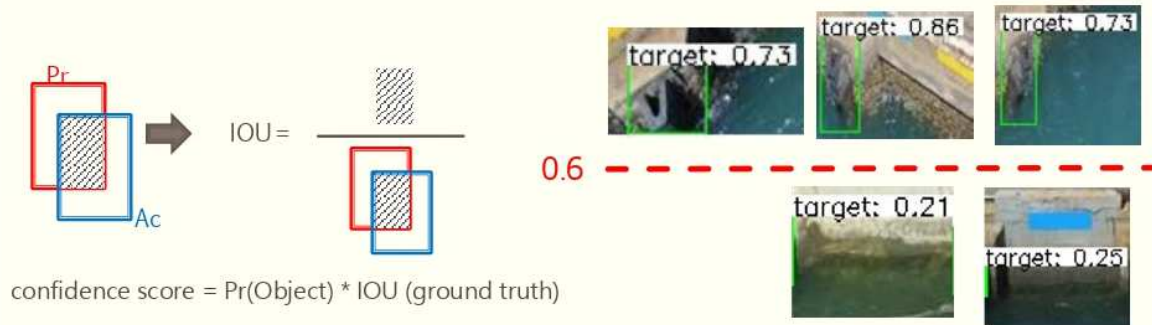
檢核位置分布圖

108

影像匹配品質評估



物件辨識-Yolov4 信賴分數Confidence Score



信賴分數應用

- 辨識信賴分數達0.5為一基本門檻，以上可視為存在，以下則代表未完整辨識物件。
- 建議訂0.7以上為完整、0.5-0.7為注意、0.3-0.5為警戒、0.3以下為缺損。

教育訓練

時 間：110 年 11 月 10 日(星期三) 10:00-16:00

地 點：國家地震中心13樓(台北市大安區辛亥路三段200號)

參與對象：交通部運輸研究所港灣技術研究中心及臺中港務分公司同仁

當日參加人數超過25人

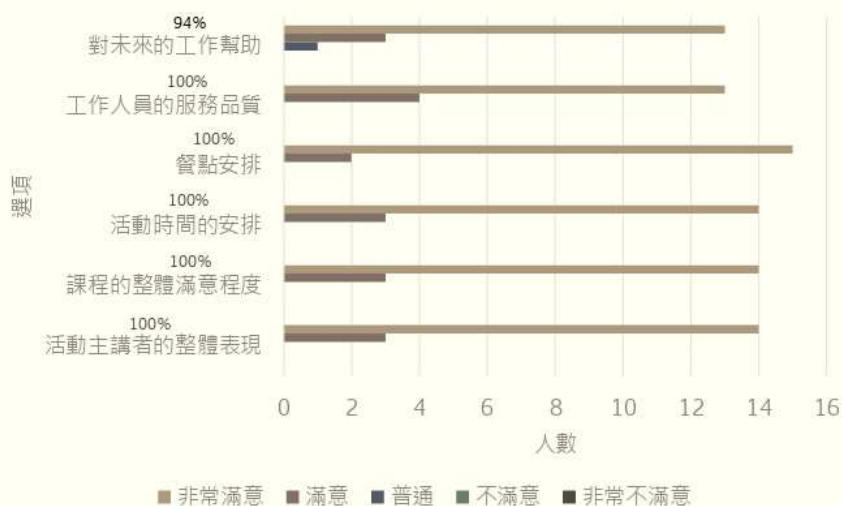


時間	活動內容	講者
09:00-10:00	人員報到	
10:00 - 10:15	開場與計畫背景說明	蔡立宏 主任 港灣技術研究中心 韓仁毓 教授 國立臺灣大學
10:15 - 12:00	無人機載具與感測器系統	林彥廷 博士 國立臺灣大學
	影像技術之三維空間資訊建構	
	多時期影像匹配與比對技術	陳俊廷 先生 國立臺灣大學
12:00 - 13:00	物件自動化偵測技術	
12:00 - 13:00	休息(午餐)	
13:00 - 13:40	UAV影像管理與分析平台操作教學	賴建邑 先生
13:40 - 14:20	UAV影像技術與創新工程應用	韓仁毓教授 國立臺灣大學
14:20 - 15:00	人工智慧技術與應用	陳俊杉主任、韓仁毓教授、張家銘教授、吳日騰教授 國立臺灣大學
15:00 - 16:00	綜合討論與交流	

112

意見回饋

滿意度問卷統計



113

文字意見

很棒的教育訓練，獲益良多

開放式的空間第一次見識到，較無拘束

時間戳記	活動主講者的服務態度	課程的服務滿意程度	活動時間的安排	活動場地（地點）的安排	餐點安排	工作人員的服務態度	對未來工作的幫助	其他建議
2021/11/10 上午 10:17:46	5	5	5	5	5	5	5	
2021/11/10 上午 10:19:21	5	5	5	5	5	5	5	
2021/11/10 上午 10:19:51	5	5	5	5	5	5	5	
2021/11/10 上午 11:56:34	5	5	5	5	5	5	5	
2021/11/10 下午 12:56:11	5	5	5	5	5	4	5	
2021/11/10 下午 1:07:04	5	5	5	5	5	5	5	
2021/11/10 下午 2:02:27	5	5	5	5	5	5	5	
2021/11/10 下午 2:18:47	5	5	5	5	5	5	5	講者都很用心，仔細的介紹各種應用
2021/11/10 下午 2:30:10	5	5	5	5	5	5	5	AI 酷
2021/11/10 下午 2:30:10	5	5	5	5	5	5	5	建議於交通樞紐辦理會議
2021/11/10 下午 2:30:10	5	5	5	5	5	5	5	
2021/11/10 下午 3:47:55	4	4	4	4	4	5	5	
2021/11/10 下午 3:47:20	4	4	4	4	4	5	5	
2021/11/10 下午 3:48:48	5	5	5	5	5	5	5	
2021/11/10 下午 3:54:59	5	5	5	5	5	5	5	
2021/11/10 下午 8:22:32	4	5	5	5	5	5	5	講者都很用心，仔細的介紹各種原理及應用，搭配著較易懂的舉例，獲益良多。

希望下次還有機會上這樣的課，獲益良多

活動剪影



115

總結

結論

本年度依契約內容完成以下工作：

- ✓無人機載具及影像感測系統分析。
- ✓飛行載具控制取向邏輯分析。
- ✓影像資料蒐集。
- ✓自動化影像三維建構與空間資訊賦予。
- ✓系統平台建構
- ✓物件自動化偵測
- ✓教育訓練

未來建議持續進行影像蒐集以擴大樣本數，可增加影像匹配及辨識模型訓練成功率，達到自動化管理之效益。

117

感謝聆聽
敬請指教



118