

無人機應用於臺中港區整合型巡檢之研究

洪維屏¹ 李俊穎¹ 甘翊萱² 黃春嘉³ 林育銓⁴ 韓仁毓⁵

¹ 交通部運輸研究所運輸技術研究中心 副研究員

² 國立台灣大學土木工程學系 博士生

³ 國立台灣大學土木工程學系 碩士生

⁴ 國立台灣大學土木工程學系 博士後研究員

⁵ 國立台灣大學土木工程學系 教授

摘要

隨著數值影像與電腦視覺的發展，影像不再只是用來記錄與提供視覺檢視，而是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，甚至自動化辨識與追蹤特定物件，此外，透過電腦視覺技術，可將二維平面影像轉換為具有空間座標的三維資訊，若再輔以無人機導航定位或地表控制資料，更可提供地表物體精確的空間位置以及幾何資訊。本研究結合上述無人機影像技術之優勢，建立一套便利且能快速涵蓋大範圍港區地表資訊的蒐集技術，藉由開發合適的影像處理技術，自動化分析辨識蒐集到的影像並建立精確空間幾何資訊，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之目的。

一、前言

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護保養工作，進而維繫應有效能並提升安全性，以本研究臺中港為例，臺中港不僅提供港區物流業者腹地，供其興建倉儲設施，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。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記錄及判斷錯誤，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。

無人機(Unmanned aerid vehicle，簡稱 UAV)是一種無人駕駛飛行器，且不需要駕駛員的飛行控制器。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，且其具有不同程度的自主權，例如，自動航線飛行，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。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（Greenwood et al., 2019）。

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。

二、研究方法

本研究致力於提供一套完善自動化巡檢方案，因此，將從基礎資料蒐集至載具控制方法，最終研發至巡檢影像蒐集及自動物件辨識分析。

2.1 基礎資料蒐集

2.1.1 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，本研究於臺中港區共施測 16 個地面控制點，並採用臺中港一等衛星連續追蹤站 TACH 做為約制基準，共同聯測達 40 分鐘以上。控制點與基線分布如圖 1 所示。

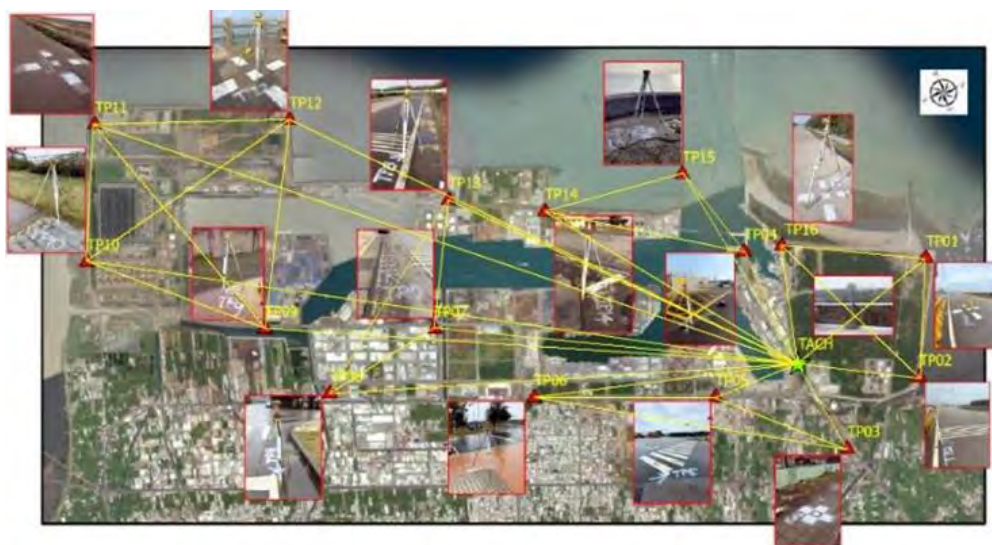


圖 1 臺中港區地面控制點與基線分布圖

2.1.2 影像資料蒐集

臺中港區幅員廣大，本研究施測面積包含臺中港陸域及部分水域，面積共約為 5,000 公頃，全案以多個視角蒐集全臺中港測區影像，飛行航高為 120m，共計飛行 25 條航帶，涵蓋所有地面控制點(如圖 2)，每個控制點至少涵蓋兩條航帶，每一位置同時拍攝 5 張影像，總計拍攝 8,885 張影像，單張影像原始解析度寬 11,608x高 8,708。

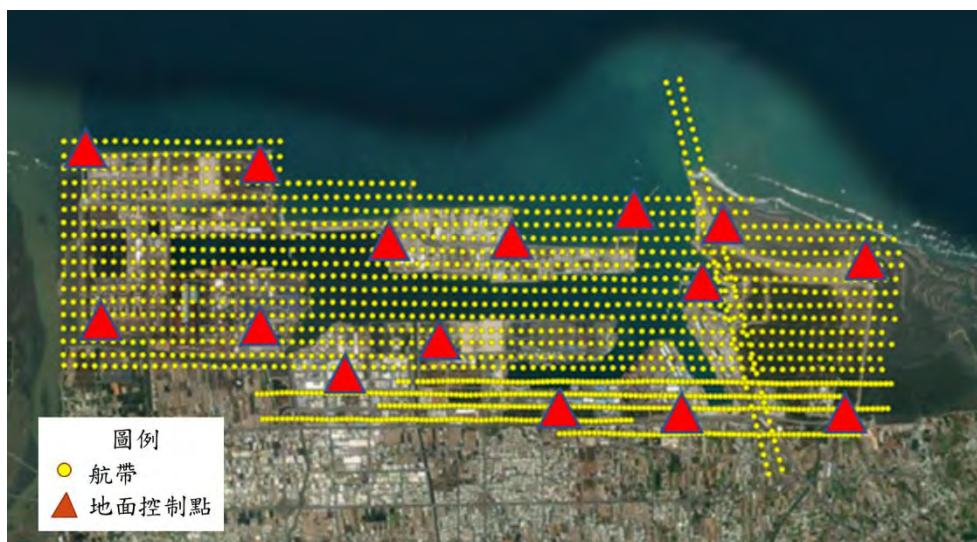


圖 2 航帶範圍與地面控制點分布圖

2.1.3 數值地形模型

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，每一個影像網格皆具有高程資訊，能確實反應實際地形面起伏情形。

2.2 載具控制與取像邏輯方法

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)，做為無人載具飛行時之地圖資訊使用。本研究提供三種飛行模式：(1)地形測繪模式；(2)多點巡航模式；(3)單點環飛模式，做為無人載具執行任務時的功能選擇。

2.2.1 地形測繪模式

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，而相對航高將會決定在連續飛行中每個時刻下的離地高度。

2.2.2 多點巡航模式

多點巡航方法係為連續對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。

2.2.3 單點環飛模式

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，自動調整拍攝角度與方向，對相同特定物件進行連續拍攝，並可針對特定事件之物體執行監測工作，蒐集更細部且完整的資訊，滿足作業需求。

2.3 UAV 巡檢影像蒐集

中突堤為本研究之固定巡檢路線，執行任務時設定每間格 5 公尺(座標水平位置)，拍攝一張影像；鏡頭角度 45 度為最佳取像角度，能完整拍攝碼頭設施；航高以及離岸距離部分，由於停靠船舶最高高度可達 30~40 公尺，寬度可達 20~30 公尺，為避免發生無人機擦撞事故，將離岸航線為 40 公尺遠，離岸航高為 40 公尺高。

2.4 岸邊設施自動化辨識分析

本研究選用碰墊、車擋及反光板為岸邊設施標的物，為解決標的物於影像中過小的問題，本研究先以特徵金字塔網路(**Feature Pyramid Networks**，簡稱 **FPN**)進行語意分割，找出影像中海與岸邊的交界處，岸邊設施都必定出現於交界處上下一定範圍內，以此方法可濾除不必要的資訊，譬如天空、建物與部分海洋，僅留下交界處上下一定範圍內的感興趣區域，增加標的物於影像中的佔比含量，而後再針對感興趣區域以遮罩區域卷積神經網路(**Mask Region-based Convolutional Neural Network**，簡稱 **Mask R-CNN**)做實例分割，偵測出目標物的位置、輪廓與像素面積。

三、實驗結果與分析

3.1 控制點測量

本研究使用 **MAGNET Tools** 衛星定位基線解算軟體，並加入衛星精密星曆，透過該軟體平差解算後，獲得測站之高精度三維座標成果，同時提供三維座標後驗精度，表 1 為測量成果與精度，此精度為衛星網型解算後，透過軟體內建平差方法估計各個點位之精度。其高程精度達 ± 1 公分，平面精度達 ± 0.6 公分。

表 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

3.2 數值地形模型

數值地形模型水位資料，本研究依據海軍大氣海洋局公告之 105 年至 110 年潮汐表，計算潮位資料，使用海軍潮位資料是為了計算平均潮位，再將平均潮位轉換至正高系統。如此才能整合水域與陸域為相同 TWVD2001 系統。本研究計算近 6 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，此平均潮位高程將用於修正 DSM 水域高程資料，數值地形模型成果如圖 3 所示，空間解析度達 10cm。

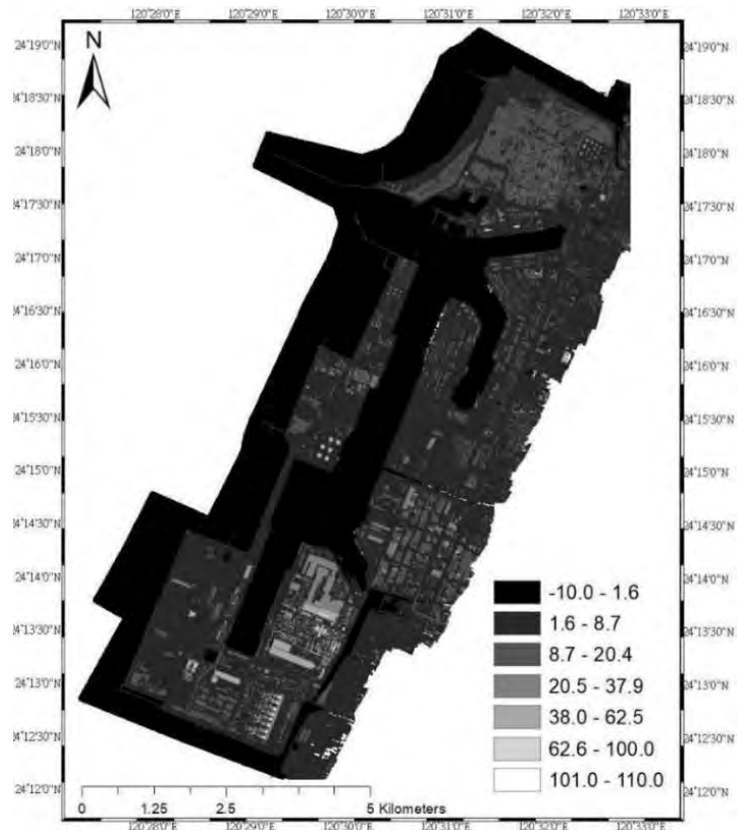


圖 3 臺中港數值地形模型圖

3.3 語意分割

本研究共標註 270 張岸邊 UAV 影像做為資料集，並將資料集切分為 210 張訓練影像、60 張驗證影像。使用 FPN 模型進行模型訓練，骨幹(backbone)為 ResNet-101，使用交叉熵(cross entropy)做為模型的損失函數(Loss function)。訓練共執行 100 次，最終得到的訓練損失(training loss)為 0.4602；訓練資料集的交集除聯集得分(IoU Score, Intersection over Union Score)為 0.8164；驗證資料集的訓練損失(training loss)為 0.5573，IoU Score 為 0.9882。從驗證資料集可以看出語意分割的模型辨識效果優良，岸邊影像(海、陸及物件)之語意分割成果如圖 4 及圖 5 所示。

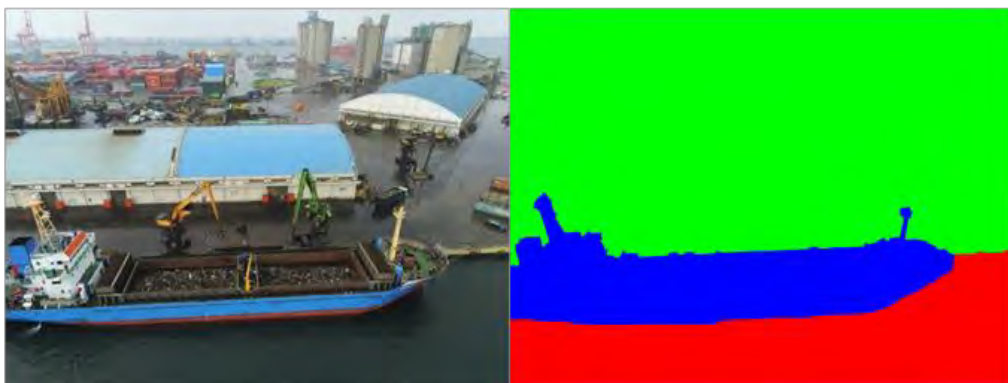


圖 4 岸邊影像語意分割樣本標註案例(綠色為陸地；藍色為船隻；紅色為海)

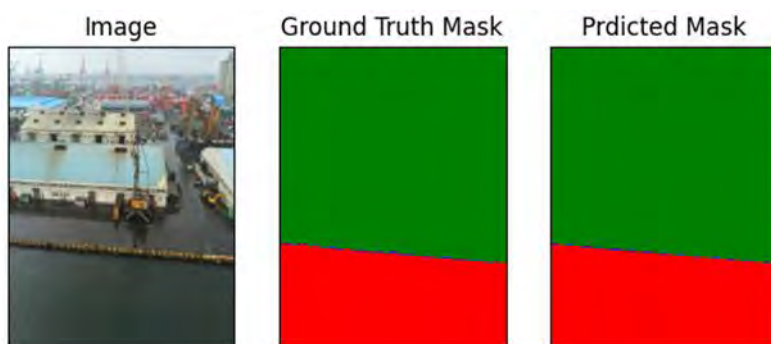


圖 5 岸邊影像語意分割案例。原圖 (左) ; 地真資料 (中) ; 預測結果 (右)

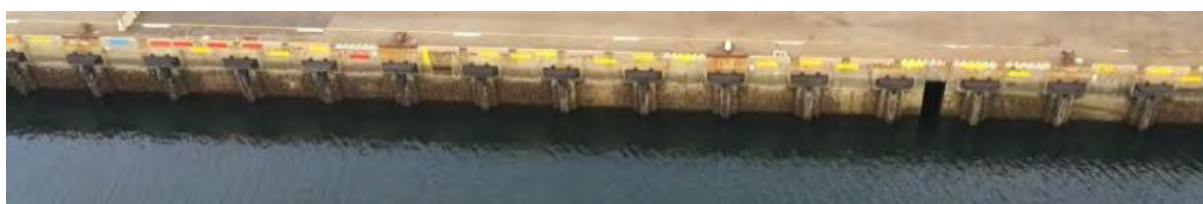


圖 6 UAV 影像裁切後的感興趣區域案例

3.4 實例分割

將 3.4 小節中產製的感興趣區域(如圖 6)再縱向裁切成四份小照片(如圖 7)，用以降低後續進行 Mask R-CNN 訓練時電腦所需的硬體資源。將裁切後的影像中的碰墊、反光板與車擋透過多邊形描邊進行資料標註，由於不同時間拍攝的影像其曝光度、色溫、對比度略有差異，本研究使用不同時期拍攝影像進行資料集建構，共標註 204 張影像做為資料集，並切分為 184 張訓練資料與 20 張驗證資料。表 2 顯示在 IoU 條件 50%以上為正的條件下(mAP@0.5)，效能可達到 95.44%；在物件輪廓分割的部分，同樣情況下，可達到 95.35%；而在 IoU 條件 75%以上為正的條件下(mAP@0.75)，效能可達到 91.95%；在物件輪廓分割的部分，可達到 91.99%。



圖 7 感興趣區域縱切後的四份小照片範例

表 2 岸邊設施 Mask R-CNN 辨識模型統計於驗證資料集之效能

項目	mAP@0.5	mAP@0.75
Bounding Box(定界框)	95.44%	91.95%
Segmentation(分段)	95.35%	91.99%

3.5 設施偵測

將 UAV 影像實際運用模型進行偵測(圖 8)，模型在偵測反光板與車擋時效果良好，影像中 34 個反光板中有 30 個被找到；影像中 30 個車擋中有 25 個被找到。但在偵測碰墊時的準確率不如數據的表現，影像中 38 個碰墊僅有 19 個被找到。追究其原因在於碰墊受海水遮蔽影響，因不同時期拍攝時海水潮位有所差異，即便碰墊僅部分被海水遮蔽，也會導致模型識別不出碰墊。後續可透過增加更多時期的影像進行訓練來克服。



圖 8 岸邊設施 Mask R-CNN 模型辨識結果範例

四、結論

本研究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。在岸邊設施的偵測上，透過語意分割找出感興趣區域，僅將感興趣區域進行實例分割，減少 UAV 影像中不必要的資訊後，能有效提升辨識成果，達到九成多的辨識精確度，惟碰墊受海水遮蔽影響，每次於影像中的成像變化較大，辨識效果僅五成多，辨識後可透過 UAV 影像的座標資訊對位，再透過投影轉換將影像完全對位比對不同時期設施間的異變情況。至於部分物件辨識效果不佳情形(以碰墊為例)，則可透過新增更多受不同潮位線遮蔽的碰墊樣本來克服。

參考文獻

1. Cary, L., and Coyne, J., 2012. ICAO Unmanned Aircraft Systems (UAS). 2011-2012UAS Yearbook - UAS: The Global Perspective, 112–115.
2. 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.
3. Greenwood, W. W., Lynch P, J., and Zekkos, D., 2019. Applications of UAVs in civil infrastructure. J. Infrastruct. Syst, 25 (2).
4. Hu, J.; Lanzon, A., 2018. An innovative tri-rotor drone and associated distributed aerial drone swarm control. Robotics and Autonomous Systems, 103, 162–174.
5. 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.