

三維國土形變及空間智能分析技術

Smart Three-Dimensional Land Deformation Monitoring and Spatial Analyses

主管單位：內政部地政司

蔡富安¹ 張智安² 黃智遠¹ 史天元²
Tsai, Fuan¹ Teo, Tee-Ann² Huang, Chih-Yuan¹ Shih, Tian-Yuan²

¹ 國立中央大學 太空及遙測研究中心

² 國立交通大學 防災與水環境研究中心

摘要

為發展與推廣智慧國土及智慧測繪科技以及相關應用，內政部 109 年度辦理「智能測繪科研發展計畫」，透過發展人工智慧與大量數據分析技術，利用衛星與航遙測影像進行國土地表形變分析、整理國際遙測影像訓練資料集、辦理相關科教活動等，進一步提升國土利用與形變分析技術。隨著人工智慧技術逐漸受到重視，如何將這些技術擴充及應用於國土利用與形變分析技術上，已成為刻不容緩的重要課題。

本計畫目的為發展人工智慧於測繪科技之相關應用，並透過人工智慧技術進行航遙測影像分析、辨識等應用。在技術發展與應用方面，本計畫工作成果包含：(1) 透過雷達衛星影像地表形變智慧分析、機器學習等相關技術，發展衛星影像地表形變分析技術、(2) 建立航遙測影像地表形變智慧分析、影像智慧辨識訓練資料集等相關技術，發展航遙測影像辨識技術與應用、(3) 衛星與航遙測影像智慧分析與辨識，進行製圖防災整合應用案例試辦、(4) 發展智慧物聯網之防災整合應用技術。在推動與評估方面，本計畫工作成果包含：(1) 高程基準潮位站數據分析、(2) 科教活動之推廣、(3) 協助與配合內政部推動國際測繪合作事務、(4) 發展智能實驗室。

本期報告詳述上列工作內容之實施方法以及階段性成果。透過本計畫的執行，達到整合與強化人工智慧應用之發展、落實科技紮根、厚植國家科研人才，以及提昇相關產業與國家整體的競爭力。

關鍵詞：人工智慧、機器學習、數據分析、物聯網

Abstract

In order to develop and promote related technologies and applications for smart land use and deformation monitoring and analyses, the Ministry of Interior (MOI) has initiated the “Technology Development for Smart Surveying and Mapping” project in 2020. The initiative aims to develop and integrate satellite and airborne remote sensing analysis with artificial intelligence (AI) and Big Data Analysis related technologies for land use and deformation monitoring and applications. In addition, the project will also promote the use of these new technologies and increase the public awareness of their applications.

In terms of technology development, the primary contents of this project include: (1) satellite-based optical and SAR data analysis for land change and deformation analysis and machine learning for this type of analysis; (2) airborne image analysis for land use and deformation monitoring and object detection applications; (3) smart analysis of satellite and airborne images for mapping and hazard mitigation applications; and (4) integrated IoT technologies for hazard mitigation applications.

On the other hand, this project also undertakes necessary tasks to promote the related technologies and their applications. These tasks include: (1) analysis of tidal station data; (2) promotion and popular science education of related topics; (3) international promotion and collaboration on surveying and mapping; and (4) establishment of smart mapping laboratories.

This report describes the materials, algorithms, and methodologies used and developed in this project as well as the progress and preliminary results of the tasks listed above. The outcomes of this project not only will integrate AI and remote sensing for smart surveying and mapping but also build and increase the capacity for technology development and applications.

Keywords : artificial intelligence, machine learnin, data analysis, iternet of tings.

一、前言

內政部自100年起藉由「應用先進航遙測技術發展空間資訊計畫」引進國外先進航遙測技術進行測試研究，105年接續推動「空間測繪應用研究發展計畫」進一步扶植自主科研技術，加速基礎圖資之測製效率，作為災害防救、國土規劃及民生經濟等重大事務應用。為進一步提升國土利用與形變分析技術，內政部109年度賡續辦理「智能測繪科研發展計畫」，本計畫為三年期計畫，本(109)年度為第一期之研究。透過發展人工智慧與大量數據分析技術，利用衛星與航遙測影像進行國土地表形變分析、整理國際遙測影像訓練資料集、研發自動化地物辨識技術、評估物聯網防災整合應用、潮位數據檢討分析、辦理相關科教活動、協助內政部推動國際測繪合作事務、成立智能實驗室厚植國家科研人才。

智慧測繪與空間智能發展的背景分析：人工智慧被稱為第四次工業革命的核心，人工智慧為各個領域帶來許多新的發展契機。2019年Nature期刊報導使用深度學習(Deep Learning)可自動化從航遙測影像萃取豐富的語義空間資訊，對地球觀測、測量與繪圖、或空間智能的發展都有顯著正面的助益，因此國內外各單位均極積投入這項發展，也造就了關鍵領域的發展，如GeoAI及AI4EO等。圖資的繪製為維持所需精度與正確性，需投入大量繪點人力。從製圖的角度出發，導入人工智慧可渴望提升效能，測繪領域亦必須掌握此發展脈動及契機進行測繪產業技術升級。綜合以上，本計畫以「三維國土形變」及「空間智能分析」為主軸，進行技術評估、技術發展及應用試辦。

二、研究方法與成果

2.1 應用人工智慧發展衛星影像地表形變分析技術與應用

2.1.1 利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術

本項工作目標為雷達差分干涉與永久散射體之誤差精度評估方法，利用軌道衛星持續拍攝的特性，用長時間獲取之雷達遙測影像進行DInSAR分析，獲取不同時期的地表變形量，便能重建觀測區域的地表變形歷史，本技術已成功應用於火山、斷層等地表形變的監測(Tai et al., 2018; Tsai et al., 2019)。

永久散射體雷達差分干涉技術成功解決多年來傳統DInSAR於雷達影像嚴重失相關的地區無法取得正確地表形變資訊的問題。此技術之核心理念為：選取雷達影像中具有高相關性的像素為永久散射體(概念圖如圖1所示)，此類像素通常具有高訊號強度，因此藉由設定雷達回波訊號的強度門檻，可以篩選出具備PS潛力的像素，這些PS候選點像素能真正反映地表變形的情況，而後再利用DEM與大氣模型來對這些PS候選點進行地形效應及大氣效應的修正，進而得到正確的干涉結果。因此發展出另一種永久散射體雷達差分干涉技術(PSInSAR)，此方法基於雷達反射波強度分析，選出可能具備PS性質的像素後，在對其進行相位穩定性分析，篩選相位表現相對穩定的PSC作為後續干涉運算與誤差估計的PS像素，經篩選過之永久散射體像素其相位資訊能真正反映該地區之地表變形，概念圖如圖2所示。

影像處理參數之建立需要依據影像處理經驗來決定起始的參數設定，對於無經驗的

使用者而言，一般會使用影像處理方法作者或程式設計者所設定的預設值作為初始參數設定，此類預設值大多能正常完成影像處理流程並獲得成果，僅有少部分影像可能會處理失敗。然而即使成功完成影像處理，成果仍須經過進一步驗證，方能確保變形數據符合實際情況，若該成果呈現的地表變形不合理，通常需要更動影像處理參數並重新進行處理。本項工作以雲林地區Sentinel-1影像PSInSAR處理成果為示範，建立各項影像處理關鍵參數使用的值。

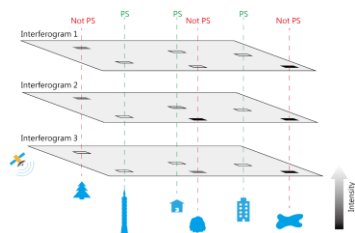


圖1、PSInSARTM之PS篩選概念示意圖

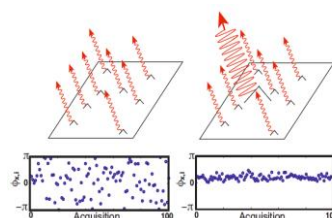


圖2、永久散射體像素示意圖

2.1.2 建立機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術

本項工作目標為透過機器學習偵測地表崩坍，使用多項機器學習之演算法模型與概念，並透過全色態及多光譜影像產生訓練模型資料，解析訓練模型資料，以利推廣與使用。處理程序分為三部分，第一部分為資料前處理，目的在產生訓練所需之特徵資料，前處理資料範例如圖4。第二部分為模型訓練，利用前後期多光譜影像、地真資料與萃取之模型特徵，特別加入具備空間(CNN)與時間(LSTM)架構關連性的ConvLSTM演算法進行訓練產生預先訓練模型，並以隨機森林進行訓練產生模型權重。最後再利用所偵測到之地表崩坍位置，分析地表變形量。第三部分為解析訓練模型之影像，解析上一步驟產製之訓練模型內容，並轉換成常見之影像格式，圖3為918組解析影像中第368組解析成果。

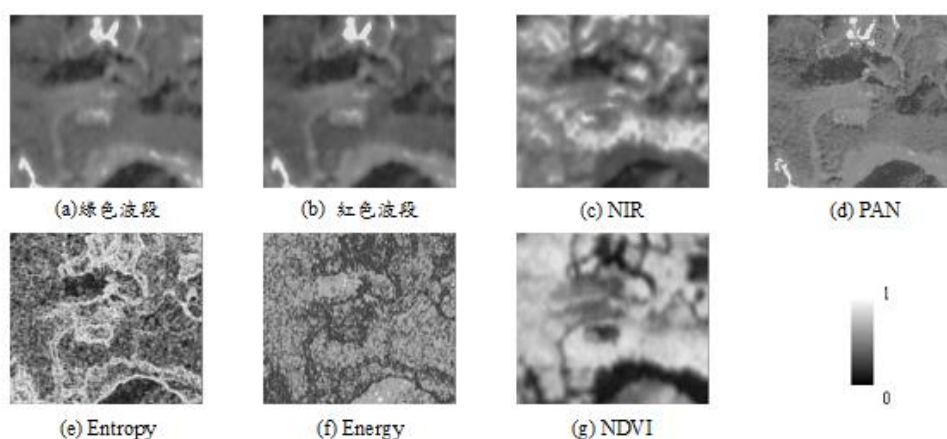


圖3. 訓練模型資料-解析後影像(編號368)

2.1.3 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術

本項工作目標為完成不同影像張數重建數值地表模型測試，以下說明工作成果與其精度評估。未來規劃將針對所產製之數值地表模型，進行特徵目標物之萃取，如建物或

道路等目標物。考量影像成像與定位精度品質之一致性，選擇同感測器之衛星影像並拉長蒐集影像之拍攝時間。蒐集長時間之影像可能因地物變遷的現象造成匹配錯誤的發生，故依拍攝日期排序影像，依序增加匹配影像以測試不同影像張數重建數值地表模型。測試資料為SPOT-6/7多重疊影像，共計30張。影像為1.5公尺解析力之全色態影像，測試區位於新竹。

圖4顯示測試區與人工量測之檢核點位，檢核點數共39點。蒐集之測試影像日期由2018/01/10至2020/03/26，如**錯誤! 找不到參照來源。**所示。第一組為2020年之影像，共4張；第二組為2019年七月後之影像，共10張；第三組為2019至2020年之影像，共17張；第四組為2018年至2020年之影像，共30張。圖5為測試區數值地表模型重建成果圖，亦可看出在操場中央平坦的區域第三組與第四組之成果可得到較合理之地形。

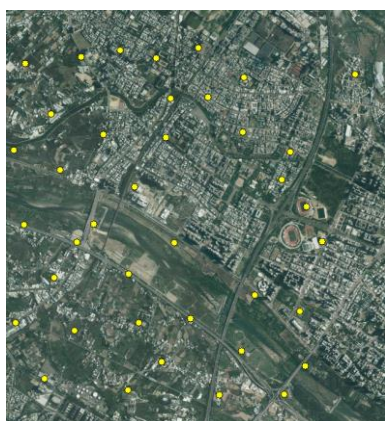


圖4、測試區與檢核點位置

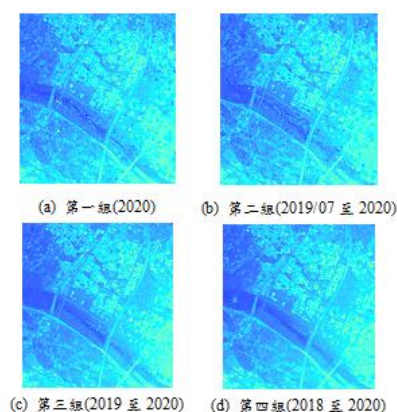


圖5、測試區數值地表模型重建成果

重建之數值地表模型檢核點精度評估結果列於表1。第二組之影像該點檢核點處於田埂間，而不同季節在影像中該區域稻田之紋理有明顯之變化，若排除該檢核點，第二組成果之誤差平均值與均方根誤差可降至0.65公尺與2.41公尺，由誤差平均值來看，越多張影像之成果誤差越低，使用30張影像之成果(第四組)則可達到1.94公尺之精度。

表 1、數值地表模型精度評估

| | 第一組 (2020) | 第二組 (2019/07至2020) | 第三組 (2019至2020) | 第四組 (2018至2020) |
|----------|---------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 誤差平均值(m) | 1.14 | 1.00 | -0.00 | -0.00 |
| 均方根誤差(m) | 2.75 | 3.28 | 2.01 | 1.94 |

2.1.4 擴充衛星影像智慧加值應用與後續推動可行性評估

本項工作以圖資之搜集與建立工作為主，衛星影像智慧加值應用產品後續可作為相關平台的圖資，提供決策單位充足的資訊對應未來的挑戰與難題。具體作法為將衛星影像智慧加值應用成果產製成地理資訊系統等平台之空間資訊圖層資料，建議可以引入目前趨勢的即可分析資料ARD (Analysis Ready Data)的Open Data Cube系統，Data Cube在國際間已開始推動，已有地球觀測衛星委員會(CEOS)及美國太空總署與澳洲團隊(AGDC)所開發之Data Cube技術，建置即可分析並同時可提供服務之衛星影像資料倉儲模型。國內目前有中央大學太遙中心以及國家太空中心在Data Cube領域進行相關的研究應用與開發。圖6與圖7分別為Data Cube線上NDVI與淹水判識應用之影像運算。

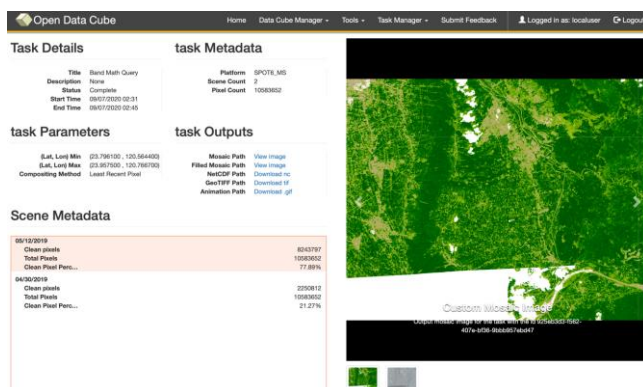


圖6、Data Cube圖資NDVI加值應用範例



圖7、Sentinel-1淹水區域判識成果

2.2 應用人工智慧發展航遙測影像辨識技術與應用

2.2.1 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術

本項工作目標為發展以前後期數值地表模型進行地表位移偵測之技術，利用DSM建立二維地表位移場(2D Displacement Field)(Wu et al., 2016)。並驗證技術之可行性。以自動化萃取DSM之地表位移場，比較人工量測與自動化萃取地表形變量外，亦分析使用前後期DSM之高度(Shape Information)及前後期正射影像之光譜(Spectral Information)進行地表位移分析之效益，以驗證使用DSM萃取地表位移向量場之可行性。實驗區域位於花蓮縣瑞穗鄉林區，實驗材料為2019/5/30與2020/3/24的數值地表模型，空間解析度均為0.2公尺。為確保PIV匹配成果為地表形變造成，本研究利用多重疊航空影像進行空中三角測量平差，以人工量測明確的道路標記位置作為控制點，此道路標記位於滑坡區域外，道路位移量遠小於山區地表形變，因此前後期航測影像均採用相同的控制，經多視角航測影像密匹配作業程序產生DSM。使用前後期DSM進行林區滑坡位移場偵測之實驗成果如圖8所示，PIV參數設定的最終子分析區域範圍越小，獲得的向量場越密集。

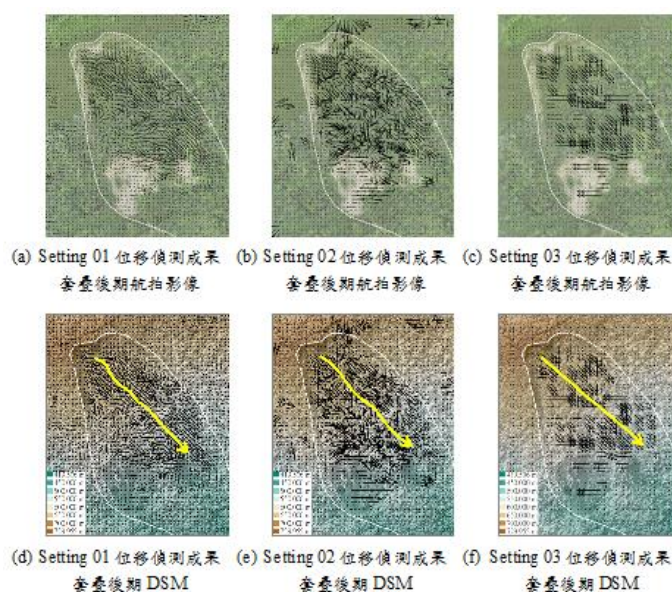


圖8、使用DSM偵測林區滑坡地表位移場之成果

2.2.2 建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集，須對不同類型之資料集進行整理並分析其適

用性

本項工作為蒐集及分析針對航遙測影像語意分割(Semantic Segmentation)之國際標竿資料集(Benchmarking Data)。蒐集已標註建築物類別之國際標竿資料集，並整理標竿資料集之建置方式，橫向比較與分析各資料集，如資料集影像來源、區域、範圍、解析度等，探討各資料集用於臺灣之適用性。使用國際標竿資料集建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集，以利後續發展航遙測自動化房屋智慧辨識與分類技術。

本項工作蒐集十個國際標竿資料集(如表2)，比較不同國際資料集的內容與建置方式，並以可能影響自動化房屋辨識成果的要素為主要分析項目，例如資料集影像內建物屋頂的樣式與複雜程度、建物的分布型態，及影像內房屋是否受高差移位(Relief Displacement)影響等。

表2、國際標竿資料集基本資料

| 資料集名稱 | 影像類型 | 解析度 (m2/pixel) | 涵蓋區域 | 面積 (km2) | 類別數 |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------|----------------------------|
| Aerial Image Segmentation | Aerial imagery | 0.091 ~ 0.111 | Berlin、Chicago、Paris、Zurich、Potsdam | 162.02 | 3 (建物、道路、背景) |
| Aerial Imagery for Roof Segmentation | Aerial imagery | 0.075 | Christchurch | 457 | 2 (屋頂、非屋頂) |
| DroneDeploy | Aerial imagery | 0.1 | - | - | 7 (建築、雜物、植被、水、地面、汽車、忽略) |
| Inria Aerial Image Labeling | Aerial imagery | 0.3 | Vienna、Tyrol、Kitsap、Chicago、Austin | 810 | 2 (建物、非建物) |
| Massachusetts Buildings | Aerial imagery | 1 | Boston | 340 | 2 (建物、非建物) |
| NZ32km2 | Aerial imagery | 0.075 | Christchurch | 32 | 1 (建物) |
| Tanzania Building Footprint | Aerial imagery | 0.059~0.079 | Unguja (Zanzibar Island) | - | 3 (已完工建物、未完工建、地基) |
| LVIER-CD | Satellite imagery | 0.5 | cities in Texas of the United States | 168.6 | 2 (改變、未改變) |
| SpaceNet | Building Detection v1 | Satellite imagery | 0.5 | Rio | 2544 1 (建物) |

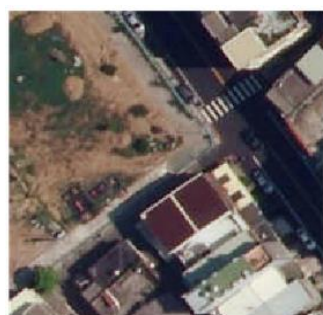
| 資料集名稱 | | 影像類型 | 解析度 (m2/pixel) | 涵蓋區域 | 面積 (km2) | 類別數 |
|-----------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------|-----------|
| | Building Detection v2 | | 0.3 | Vegas、Paris、 Shanghai、 Khartoum | 3011 | |
| WHU Building | Satellite dataset I | Satellite imagery | 0.3 ~ 2.5 | cities over the world (內含臺灣的城市) | - | 1 (建物) |
| | Satellite dataset II | | 2.7 | East Asia (North Korea) | 550 | |

2.2.3 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術，並評估其精度與成效

本項工作為建立航遙測自動化房屋智慧辨識與分類技術，使用現有房屋公開資料集完成遷移式學習。使用NZ32km2訓練資料集建置四種預訓練模型(BR-Net, SegNet, UNet, FCN)外，並使用106年臺灣地區正射影像及臺灣通用電子地圖對BR-Net進行遷移式學習產生BR-Net(106 e-Map)模型。研究中以108年臺灣通用電子地圖(圖幅號:9522I089)及其對應航空正射影像，對上述五種深度學習模型進行驗證分析(表3)，經過遷移式學習的BR-Net模型有較佳的判識精度，由此驗證利用BR-Net進行房屋偵測及遷移學習之可行性。考量BR-Net是針對房屋偵測而設計(圖9)，且應用於航空影像的深度學習模型，與本計畫應用的正射影像屬同一類影像，因此選擇使用BR-Net作為深度學習骨幹模型。

表3、五種深度學習模型之比較(預測108年9522I089)

| | Overall Accuracy = $(TP+TN)/(TP+FN+TN+FP)$ | Precision = $TP/(TP+FP)$ | Recall = $TP/(TP+FN)$ | F1_Score = $2/(1/Precision + 1/Recall)$ |
|--------------------|---|-----------------------------|--------------------------|--|
| BR-Net (NZ32km2) | 61.20% | 60.10% | 48.20% | 52.00% |
| SegNet (NZ32km2) | 62.20% | 62.30% | 48.80% | 53.00% |
| UNet (NZ32km2) | 51.00% | 49.60% | 24.70% | 26.00% |
| FCN (NZ32km2) | 61.20% | 61.40% | 44.90% | 50.30% |
| BR-Net (106 e-Map) | 76.30% | 74.20% | 75.70% | 73.40% |



(a)輸入航照影像



(b)預測房屋區域



(c)人工數化房屋區域

圖9、進行房屋偵測之辨識結果

2.2.4 評估航遙測影像結合測量實施工作之智慧整合應用

本項工作為透過無人機影像人孔資料集進行Mask-RCNN深度學習模型之訓練和預測，並完成可行性評估及精度評估。本次工作以Mask-RCNN深度學習模型進行人孔物件偵測，藉由資料擴增技術增加訓練資料，並利用遷移式學習進行深度學習模型的訓練，完成影像語意分割的任務。表4為深度學習模型之預測成果，此次預測成果中所有人孔類別之漏授和誤授皆小於10%，在人孔類別中水溝蓋(drainCover)之辨識成果最佳，道路之孔蓋(holeCover)成果則較為差。表5以人工數化之人孔形心作為參考依據，統計利用深度學習模型自動萃取及人工數化之人孔形心間之距離差異量，由統計成果可知，自動化偵測與人工數化成果的均方根誤差小於5公分。綜整實驗成果與分析，無人機影像與人工智慧技術之智慧整合可輔助「人孔調查」測量施測作業，其預測成果亦可從網格式資料模式轉換成向量式資料模式，供給後續測量製圖運用。

表 4、人孔偵測之成果(獨立驗證)

| | 人孔是否被成功偵測 | | | 自動萃取人孔是否正確 | | |
|------------|-----------|--------|--------|------------|--------|--------|
| | 成功 | 失敗 | 漏授 | 成功 | 錯誤 | 誤授 |
| 所有類別 | 196/217 | 21/217 | 9.68% | 196/209 | 13/209 | 6.22% |
| drainCover | 67/69 | 2/69 | 2.90% | 67/69 | 2/69 | 2.90% |
| holeCover | 9/14 | 5/14 | 35.71% | 9/16 | 7/16 | 43.75% |
| holeCover2 | 118/134 | 16/134 | 11.94% | 118/124 | 6/124 | 4.84% |

表 5、智慧辨識與人工數化資料之人孔形心的距離差異量

| | Mean | | RMSE | |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| | dE(cm) | dN(cm) | dE(cm) | dN(cm) |
| 所有類別之人孔 | 1.00 | -1.22 | 3.57 | 3.62 |
| drainCover | -0.46 | -1.35 | 3.30 | 3.64 |
| holeCover | 1.26 | -1.15 | 2.94 | 2.14 |
| holeCover2 | 1.65 | -1.05 | 4.45 | 3.57 |

2.3 衛星與航遙測影像智慧分析、辨識與製圖防災整合應用案例試辦

2.3.1 雷達衛星影像地表形變分析之試辦，至少包含全臺灣 C-波段多時期雷達影像，及選定之災害潛勢區域 L-波段與 X-波段雷達影像；前述潛勢區域之試辦須選定至少 2 處，並與內政部討論定案，任 1 處之試辦面積須達 100 平方公里以上，且運用包含(或優於) 3 公尺解析度之影像在內進行分析

本項工作以影像分析與處理為主。(1) C波段：全臺灣PSInSAR相對形變速率觀測，蒐集自2016年至2020年全臺灣共121張之Sentinel-1影像，採用雷達差分干涉技術來產生多時序的地表變形成果(如圖10)。(2) X波段：麥寮六輕工業區，採用TerraSAR-X影像(3公尺之地面解析度)進行形變監測(成果如圖11)。(3) L波段：高雄中寮山區，採用ALOS-2影像(最高1公尺的地面解析度)進行形變監測(成果如圖12)。

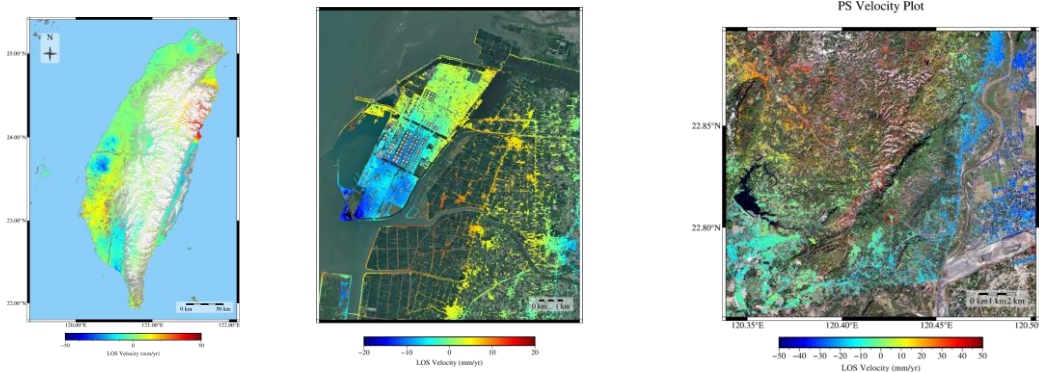


圖10、全臺灣多時期形變監測試辦成果 圖11、麥寮六輕工業區形變監測試辦成果 圖12、ALOS-2高雄中寮山區域PS-InSAR分析成果

2.3.2 以兩年內高解析(2公尺或更優)光學衛星影像試辦數值地表模型(DSM)變異分析，試辦區選定須內政部討論且總面積須達3,600平方公里以上

本項工作主要將利用 SPOT-6/7 立體像對產製數值地表模型，利用兩年內之光學衛星影像立體像對產製數值地表模型，與舊有 5 公尺數值地表模型進行變異分析。試辦區域選擇中部及南部山區各一處。中部試辦區(大甲溪北港溪)位於 108 年空載光達更新範圍，使用 2021/08/27 拍攝之 SPOT-7 立體像對，南部試辦區(荖濃溪)位於 105-107 年空載光達更新範圍，使用 2020/07/20 拍攝之 SPOT-6 立體像對，兩處試辦區面積合計為 4,427 平方公里。最後以 1/5000 圖幅為單元評估圖幅內之地表高程變異程度，可用於未來空載光達測製工作之規劃，其中南部試辦區地表形變分析成果如圖 13 所示。

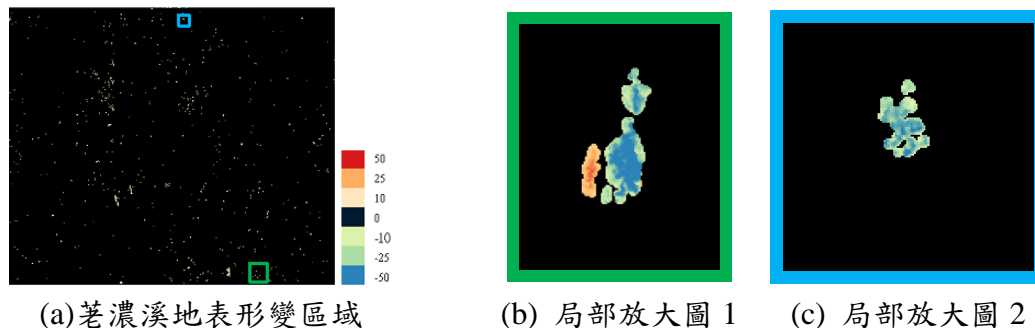
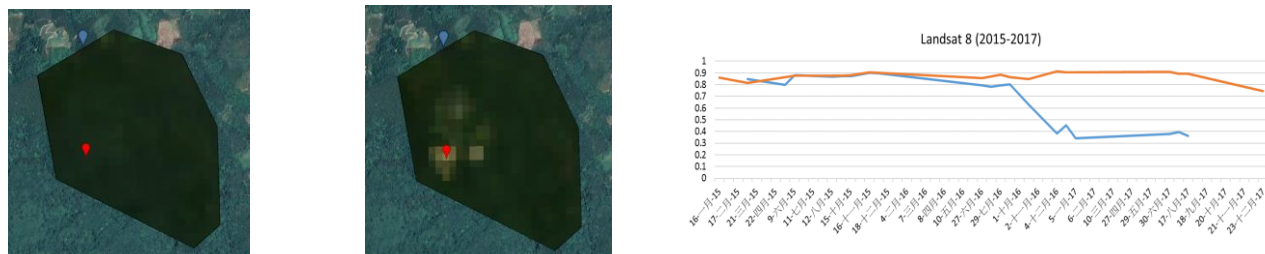


圖 13、中部試辦區域(大甲溪北港溪)地表形變

2.3.3 航遙測影像分析與辨識之結果，須與相關應用平台進行整合試辦，其試辦方案須與內政部討論後辦理

本項工作為透過時間序列資料前處理與樣本篩選程序建立時序多光譜崩塌變異點資料集，再利用機器學習分類方式進行大規模邊坡變異地之分類判釋與精度評估。邊坡變異多發生在山區與地形變化快速之區域，最常見的現象即為由植被覆蓋轉變為裸露地 (Deijns et al., 2020)，故以常態化差值植生指標(NDVI)作為時間序列之計算單元，可有效辨別變異與非變異點，圖14為邊坡變異點判釋示意圖。本項工作利用GEE平台發展坡地防災應用，發展以時序多光譜衛星影像及機器學習演算法坡地變異點偵測技術，研究透過GEE雲端平台存取大量之時序衛星資料，建立時序資料集以供機器學習演算法訓練。研究以AOI為單元自動判識崩塌變異區的整體精度接近100%，證明時序NDVI是可有效

的特徵，可應用於判識崩塌變異區。提出之TSF時間序列分類以GEE Python API於Google Colab應用平台實作，圖15為各時間篩選組合獨立驗證區域之逐像元分類成果，利用時序衛星影光譜資訊提供以年為單位之全島大範圍變異區域(.shp) (圖16)，具有可提供大範圍判識、減少人工判識時間成本等優勢。



(a)2015年Landsat-8影像 (b)2017年Landsat-8影像 (c)有變異及無變異點時序植生指標
圖14、邊坡變異點判釋示意圖

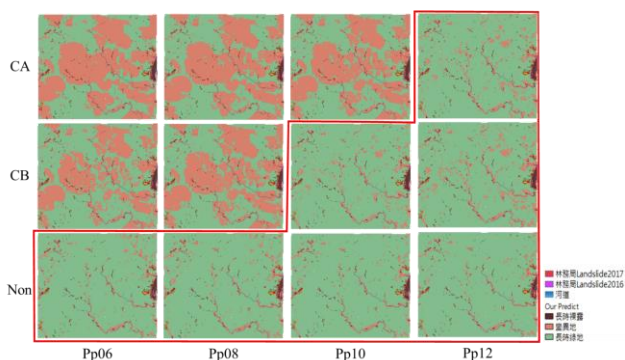


圖15、TSF各篩選組合逐像元分類成果

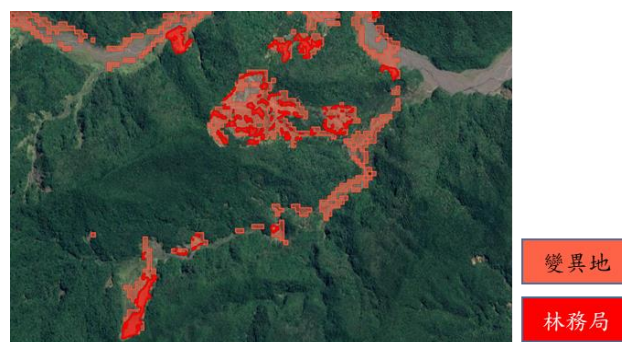


圖16、TSF分類成果於GEE呈現

2.3.4 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦，試辦區範圍至少為五千分之一圖幅 10 幅(含)以上，試辦區需與內政部討論選定且得洽內政部協助提供必要之既有測繪圖資

本項工作完成試辦資料蒐集，並建立以人工智慧(Artificial Intelligence, AI)偵測房屋區域及分析房屋變遷的程序，於試辦區執行房屋變遷偵測之試辦。使用完成訓練的深度學習模型預測圖幅號 95221070 範圍內之房屋，比較 AI 自動判識房屋區域及臺灣通用電子地圖(圖 17 錯誤! 找不到參照來源。)，兩者具高相似性，代表智慧判識成果有一定可信度。



(a)108 年正射影像 (b)AI 預測 108 房屋區域 (c)108 臺灣通用電子地圖

圖 17、108 年影像 AI 自動判識房屋成果

2.4 評估智慧物聯網之防災整合應用技術

2.4.1 模擬基於感測器與模型資料，發展智慧建築等適地性應用；前述模擬須運用三維圖資在內之整合技術

本工作項目完成物聯網之物件多種類別定義與三種標準資料模型之整合本體論說明，亦根據本節提出之設計將模擬資料描述為語意網標準之RDF格式，未來工作為本節提出之設計配合模擬資料，描述為語意網標準之RDF格式。

2.4.2 模擬基於三維圖資與路網資訊整合路側影像感測器，發展具跨影像區域分析及物件追蹤之智慧防救災整合技術

本項工作納入時間與空間資訊進行追蹤技術優化，採用背景建模法中的高斯混合模型(Mixture of Gaussians, MOG)(Zivkovic, 2004)，MOG所萃取之前景物件範例為圖18，並改進為物件身份辨識程序加入多項時間與空間資訊輔助身份辨識，可避免誤判且提升處理效率。

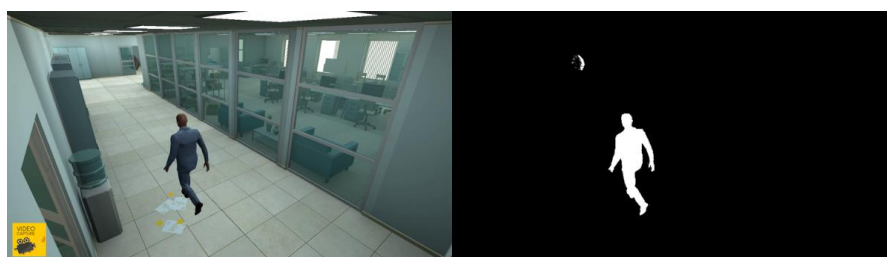


圖 18、MOG 萃取前景物件之範例

2.4.3 以實際場域進行適地性服務應用試辦，其試辦方式與場域選擇需與內政部討論定案；前述試辦本團隊需自行取得相關資料或建置物聯網相關所需裝置

本項工作以桃園高鐵站旁之桃園捷運A18站作為試辦地點，以廁所使用情形與排隊人潮監測為首要試辦應用，系統架構分為四層進行，包含(1)物聯網裝置、(2)閘道器、(3)網路服務、(4)應用。配合排隊人潮數量之監測，並推估當下等候時間。在廁所外提供各間廁所使用情形之面板，顯示預估等候時間。以Line機器人推播相關訊息予管理人員及清掃人員，包含垃圾桶狀態、廁間使用過久等，已達更高效率的管理及安全防護，如圖19所示。



(a)攝影機等候人數偵測 (b)等候時間測試成果(等候 2 分鐘)

圖19、偵測與等候時間測試成果

2.5 數據分析與科教活動

2.5.1 辦理高程基準潮位站數據分析工作，其至少須包含基隆與東沙潮位站數據

本項工作為進行基隆潮位站音波式、壓力式及雷達式潮位計之數據分析與比較，並分析東沙潮位站壓力式潮位計之數據。本年度具體完成基隆潮位站音波式、壓力式及雷達式潮位計至2021/10/31 23:24及東沙潮位站壓力式潮位計至2021/7/25 7:54的潮位數據蒐集及分析，並比較基隆潮位站共站不同潮位計觀測值之差異，於9月10日至13日期間，壓力式水位計有明顯水位抬升之現象，而音波式及雷達式則無此現象，應為颱風期間帶入大量汙泥至靜水井，影響壓力值導致換算之水位高度變高。東沙潮位站因網路傳輸問題，自2021/4/16 13:00後無法即時回傳至中央氣象局，本年度於7月26日登島下載潮位數據進行後續分析，大部分年份於1月至3月有殘差值先上升再下降的現象，每次影響約30至40天，2021年發生於2至4月，較往年晚約1個月，由於本潮位站為淺水站易受表層海水變化影響，可能受氣象因子(如：冬北季風)或聖嬰現象所影響。

2.5.2 配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動

本項工作於海洋科技博物館辦理，以「建置於海科館之潮位站及鄰近之臺灣水準原點」為主題，內容包含水準原點、潮汐及高程測量，對象為高工學生，活動安排三場科普演講及海洋科技博物館二個展廳導覽介紹，科普演講由陽明交大土木系史天元教授、氣象局海象測報中心滕春慈主任與陽明交大土木系張智安教授分享高程與潮位測量、潮位與波浪觀測以及由太空看海洋議題。

2.5.3 蒐集本案相關之航遙測技術與應用文件，製作科學教育數位課程教材 1 式，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動；受邀參加活動對象需經內政部同意

本團隊與國立中央大學太空及遙測研究中心-資源衛星接收站合辦，辦理「衛星遙測基礎應用教育推廣工作坊」，航遙測技術與應用相關成果，以衛星遙測科技分析應用與實作進行說明，以推廣衛星遙測科學教育。透過案例探討、人員互訪等資訊交流活動，達到研究成果分享、提升遙測及空間資訊科技研究及應用紮根之目標。

2.6 成果發表及技術交流

2.6.1 本團隊應配合內政部需求，參加至少 1 場次國際測繪相關研討會，蒐集會議資料製作研討報告

本團隊共投稿4篇期刊、論文，分別為(1) IEEE Internet of Things，題目為An Ontology Integrating the Open Standards of City Models and Internet of Things for Smart-city Applications。(2)2021 國際遙感探測會議(International Symposium on Remote Sensing,ISRS)，題目為3D BUILDING MODELS RECONSTRUCTION USING HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGERY WITH DEEP LEARNING NEURAL

NETWORK。(3)航測及遙測學刊，題目：應用深度學習於航照正射影像之房屋偵測。(4) Asian Journal of Geoinformatics，題目：3D Localization of SAR Imagery with Digital Surface Model。

本團隊並參加ISRS2021線上研討會，日期為5月26日至28日，且於工作會議中進行分享、討論與本計劃主題相關之內容。成立GeoAI實驗室，成立目的為：(1)研發三維國土形變與空間智能分析之相關智慧製圖技術，(2)推動智慧製圖與空間資訊領域產業之聯結。GeoAI實驗室團隊專注於智慧製圖技術之發展，並推動與空間資訊領域之聯結。

四、結論與建議

1. 應用人工智慧發展衛星影像地表形變分析技術與應用

(1) 完成雷達差分干涉成果之誤差精度評估方法與永久散射體誤差評估流程圖規劃。建議未來以影像處理參數調整與對應精度評估結果來進行影像處理參數的學習。(2) 完成資料前處理作業，分析紋理特徵資訊與規劃模型訓練流程，並解析918組訓練模型影像。建議未來透過機器學習偵測多種特徵類別分析。(3) 完成應用SPOT-6/7多重疊衛星像對重建數值地表模型之測試。建議未來以更多重疊之衛星影像，進行重建數值地表模型。(4) 完成影像智慧加值應用相關資訊的搜集，建議未來朝向國際正在推動的即可分析ARD衛星影像資料倉儲模式來發展後續應用。

2. 應用人工智慧發展航遙測影像辨識技術與應用

(1) 完成數值地表模型進行PIV地表位移偵測技術，以人工量測地表位移量進行驗證；並比較數值地表模型與多光譜影像地表位移偵測成果。建議未來從正射影像及數值地形模型獲取平面及高程位移，探討取得三維地表位移之可行性。(2) 完成蒐集與分析針對航遙測影像語意分割之建築物標竿資料集，共分析十個國際公開資料集，航測影像建議可選擇NZ32km²資料集，而衛星影像建議可選擇SpaceNet資料集。建議未來獲取最新的標竿資料集，並償試使用開放資料建置臺灣地區的分類資料集。(3) 完成深度學習模型於房屋偵測，並比較直接學習及遷移式學習，遷移式學習有較佳的精度表現，驗證應用深度學習於房屋偵測的可行性。建議未來針對遙測影像進行道路區域偵測，以獲取影像中的道路區域。(4) 完成評估無人機測繪技術於「人孔調查」的可行性，並以無人機影像進行人孔智慧辨識試辦。建議未來導入無人機測繪技術於「道路普查」測量實施作業，探討無人機影像應用於道路設施測量應用。

3. 衛星與航遙測影像智慧分析、辨識與製圖防災整合應用案例試辦

(1) 完成五年期間之全臺灣PSInSAR相對形變速率觀測成果(C波段)、雲林麥寮工業區(X波段)與高雄中寮山(L波段)形變監測試辦。建議未來引入前期成果作為人工智慧參數學習之基礎，同時亦逐步建立臺灣各地的初步形變分析圖資。(2) 完成南部及中部試辦區地形變異分析，比對立體像對產製之數值地表模型與前期之空載光達所產製數值地表模型，以1/5000圖幅為單元進行評估。建議未來規劃更多種類型(或精進)之多時期地表形變分析。(3) 完成以Google Earth Engine應用平台衛星進行時序多光譜崩塌變異分析，使用3年的Landsat-8衛星影像進行訓練及預測，可達成快篩崩塌變異區域之應用目的。建議未來融合光學衛星影像及雷達回波影像，坡地防災應用平台試辦。(4) 完成臺灣通用

電子地圖房屋偵測試辦，經由「跨圖幅預測」及「跨年度預測」試辦分析，影像中房屋高差移位現象會增加誤授的比例，智慧辨識的房屋面積會大於臺灣通用電子地圖的建物範圍，22幅圖房屋偵測成果之F1-Score達74%，召回率可達到90%。建議未來精進地物辨識與變遷試辦。

4. 評估智慧物聯網之防災整合應用技術

(1) 完成物聯網之物件多種定義說明與三種標準資料模型之整合本體論，亦以Unity模擬即時火災逃生導引應用展現此技術之優勢。(2) 完成跨CCTV影像移動物件追蹤處理程序設計，加入時間與空間資訊，提升物件身份辨識與位置追蹤之精度。建議未來針對偵測、追蹤物件等進行優化處理。(3) 以桃園捷運A18站作為試辦地點，選定以智慧廁所為主題進行建置，進行物聯網布設監測廁間使用情形、垃圾桶狀態等，並以攝影機監測排隊人數，建立資訊面板顯示預估等候時間及Line機器人推播相關訊息。

5. 數據分析與科教活動

(1) 完成分析基隆新設潮位站六分鐘潮位數據，完成基隆潮位站音波式、壓力式及雷達式潮位及東沙潮位站壓力式潮位的潮位數據蒐集及分析，並完成基隆潮位站共站不同潮位計觀測值之差異分析。(2) 配合內政部及國立海洋科技博物館完成建置於海科館之潮位站及鄰近之臺灣水準原點為主題的科學教育活動。(3) 與國立中央大學太空及遙測研究中心-資源衛星接收站合作，辦理「衛星遙測基礎應用教育推廣工作坊」。

6. 成果發表及技術交流

(1) 本團隊共投稿4篇期刊、論文(含SCI等級)。(2) 參加ISRS2021線上研討會，並於工作會議中分享與計畫相關之主題內容。(3) 成立GeoAI實驗室，專注於智慧製圖技術之發展，並推動與空間資訊領域之聯結。

參考文獻

1. Deijns, A. A., Bevington, A. R., van Zadelhoff, F., de Jong, S. M., Geertsema, M., & McDougall, S. (2020). Semi-automated detection of landslide timing using harmonic modelling of satellite imagery, Buckingham River, Canada. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 84, 101943.
2. Tai, Yu-Heng; Chang, Li-Yuan; Tsai, Fuan. 2018. Multi-Temporal Ground Deformation Monitoring for Mt. Agung, Indonesia Using Persistent Scatterer Interferometry. In: EGU General Assembly Conference Abstracts. 2018. p. 3830
3. Wu, J. Y., Teo, T. A., & Shih, P. T. Y. (2016). Geomorphological change detection using an integrated method: A case study on the Taan River watershed, Taiwan. *TAO: Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 27(4), 521.
4. Zivkovic, Z. (2004, August). Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction. In *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, 2004. ICPR 2004. (Vol. 2, pp. 28-31). IEEE.