

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

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) 協助內政部推動國際測繪合作事務、(4) 成立智能實驗室。

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

本項工作主要聚焦於智慧影像處理參數抉擇使得變形分析成果最佳化，以建立自動化的影像處理系統為主要工作，未來規劃完成參數資料建立與成果精度分析與啟動智慧參數學習的工作。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)。

Ferretti等人提出的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Hooper等人發展出另一種永久散射體雷達差分干涉技術(Persistent Scatterers InSAR, 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。

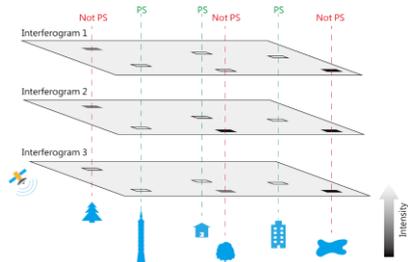


圖1、PSInSAR之PS篩選概念示意圖

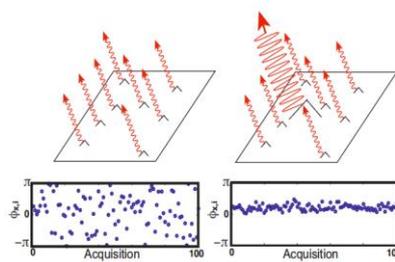


圖2、永久散射體像素示意圖

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

本項工作應用不同時期之高解析光學影像以機器學習偵測地表崩坍，使用之機器學習模式包括卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)及隨機森林(Random Forest)，並使用全色態及多光譜影像產生所需之訓練資料，測試之崩塌事件為2009年八八風災，而研究區域位於受災最嚴重的荖濃河流域如圖3所示，將資料分為訓練資料(綠色區域)以及測試資料(紅色區域)。

處理程序分為三部分，第一部分為前處理階段，目的在產生訓練所需之特徵資料。第二部分為主要訓練階段，利用前後期多光譜影像、前處理階段所產製之特徵資料及地真資料(2009年莫拉克風災造成之崩塌區域)等，以卷積神經網路及隨機森林進行訓練產生模型權重。第三階段為地表崩塌偵測階段，對待分析區域進行前處理階段之計算，再利用訓練階段得到之隨機森林模型權重分類崩塌及非崩塌區域。利用前述方法針對目標區完成初步地表崩塌偵測測試，偵測成果如圖4所示，圖中綠色區塊為所偵測出之崩塌區域，紅色多邊形則為實際崩塌區域。

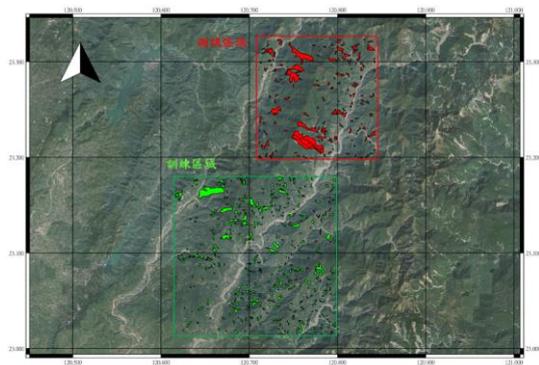


圖3、測試區域-荖濃河流域

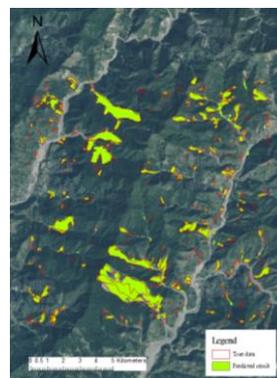


圖4、地表崩塌偵測階段

2.1.3 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術

本項工作目標為建立多元衛星影像立體重建技術，為建立影像之物像空間關係與進行影像密匹配產生深度影像，並產生點雲資料。運用電腦視覺相關演算法，使用多重衛星影像重建數值地表模型。大量相同拍攝區域之衛星影像其拍攝角度均不相同，可建立良好之幾何交會條件，提升三維定位精度。另外，透過近似拍攝角度之影像，則因高差移位近似則可提升匹配成功率。

本項工作以同天拍攝之三重疊立體像對重建數值地表模型，測試區位於新竹，測試影像如圖5所示，使用法國國家地理院所發展之開源軟體MicMac進行處理。處理程序分

為兩部分，第一部分為利用衛星之有理多項式係數，建立影像之物像空間關係，並透過共軌像點進行方位校正。第二部分進行影像密匹配產生深度影像，將各組產生之深度影像合併並進行錯誤移除，最終產生點雲資料。

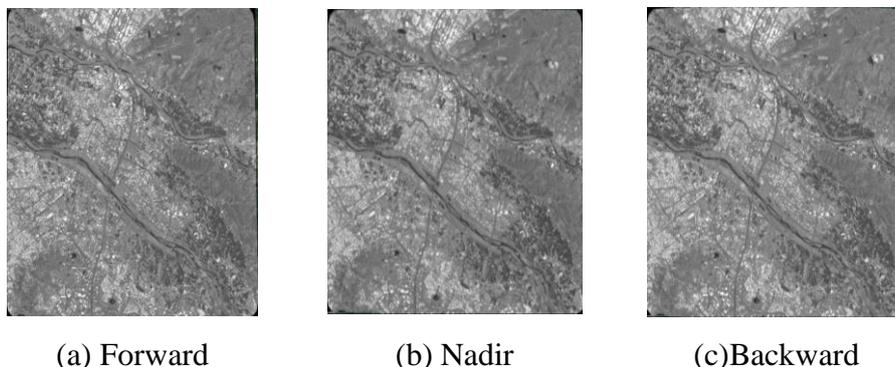


圖 5、Pleiades 三重疊立體像對

圖6為衛星影像及各組數值地表模型之局部放大，圖中可發現Nadir Backward之成果雖然匹配失敗區域較少，但平坦區出現異常雜訊，主要是因為其基線航高比小故匹配容易成功，但是過小之基線航高比導致匹配微量之差異，在經前方交會計算高程時會被放大。而三重疊立體對之成果與其他兩組成果比較，其匹配失敗區域範圍與Nadir Backward成果相似，而平坦區之雜訊則可與Forward Backward接近，三重疊立體對成果綜合其餘兩組成果之優點。

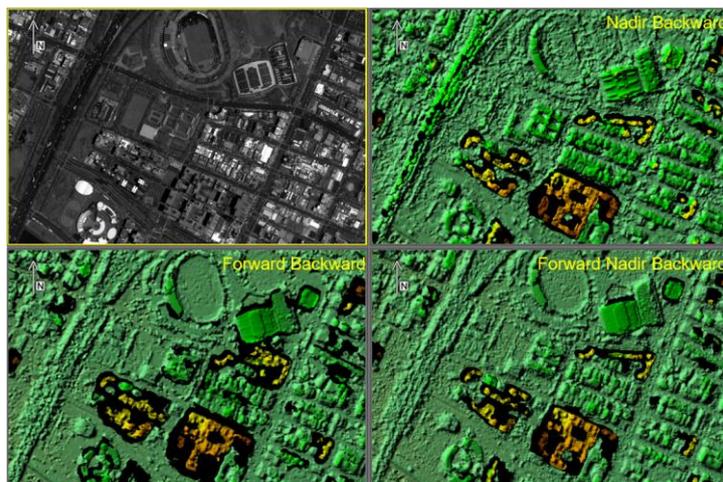
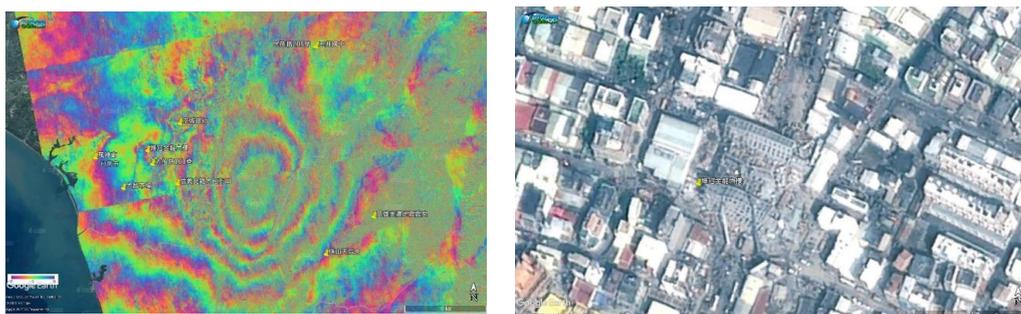


圖6、數值地表模型成果局部放大比較圖

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，並匯入地理資訊系統，用作如資料展示、災情分析、應對決策等用途。以2016年高雄地震為例，結合雷達差分干涉之地表變形資訊與光學影像可以判斷災害發生地點、房屋災損狀況、是否有堰塞湖形成等等重要資訊，見圖7。



(a) 雷達差分干涉成果

(b) 維冠金龍大樓倒塌情況

圖 7、2016 年高雄美濃地震光學與雷達災害加值圖資應用

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

本項工作為完成技術可行性驗證，比較人工量測及自動化萃取成果，兩組數據之位移向量相關性高，特徵良好點位之位移差異量約1個像元，研究成果主要分成兩個部分，第一部分為影像前處理，依航測影像作業程序產生前後期正射影像，使用相同地面控制點進行空三平差，降低套合誤差，再產製數值地表模型，以DSM進行影像正射化，使正射影像匹配成果可以反映地表位移；第二部分為前後期影像匹配，將影像依固定間距設定規則網格點，再利用頻率域匹配法獲取網格點對應的同名點，以獲取網格點的地表位移量。圖8為本案使用PIV技術進行林區崩塌地位移場偵測示意圖。



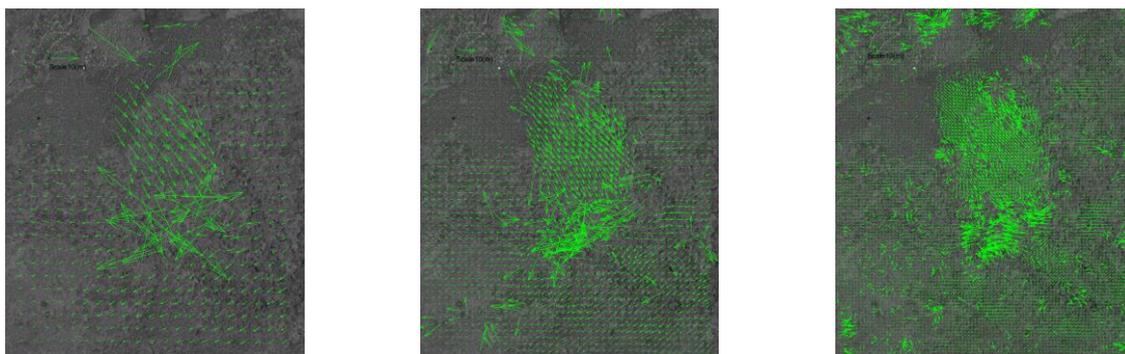
(a)前期正射影像

(b)後期正射影像

(c)位移向量套疊影像

圖 8、PIV 地表位移量示意圖

本研究PIV採用頻率域匹配，以快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform)視窗變形(window deformation)方法在頻域中計算相關矩陣(Thielicke & Stamhuis, 2014)，目的為獲得前後期影像對上均勻分布的位移場。為找到執行PIV時合適的參數設定，本團隊實際使用PIV技術進行林區崩塌地位移場偵測。實驗區域位於花蓮縣瑞穗鄉林區；實驗材料採用經正射化處理的2015/7/31與2017/8/12航照影像，影像解析度均為0.5公尺，影像大小為1461x1723 pixels。實驗成果如圖9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。



(a)Setting 01 成果

(b)Setting 02 成果

(c)Setting 03 成果

圖 9、PIV 成果比較

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

本項工作內容主要分成三個部分，第一部分為蒐集國際標竿測試集，申請國際間各單位針對航遙測影像建立的土地覆蓋分類訓練資料集，並閱讀此訓練資料集的相關論文及介紹，目的為整理訓練資料集建置的方式或程序；第二部分為橫向比較各訓練資料集，例如影像區域、解析度、分類類別、數量等；第三部分則是分析使用國際開放訓練資料集於臺灣地區的適用性。

本研究使用國際開放標竿測試集產生深度學習模型，建立訓練的參數值，以萃取影像的深度特徵(deep feature)，並利用訓練好的深度學習模型執行遷移學習(Transfer learning)，改變模型在分類(classification)階段的參數，使模型可應用於臺灣地區。臺灣通用電子地圖(Taiwan e-Map)及國土利用分級分類為範例，透過找出與臺灣通用電子地圖及國土利用分級分類項目較相近之標竿測試集，探討國際資料集於臺灣地區之適用性。從十四個國際開放標竿測試集中挑選七個資料量較大或是較具代表性之訓練資料集(BigEarthNet、EuroSat、PatternNet、RSI-CB128、UC-Merced、DroneDeploy、SEN12MS)，

若後續欲建立專屬臺灣的標竿測試集並以此資料集執行臺灣通用電子地圖或是國土利用調查之分類，此資料集應選用航照影像。考量到將近一半的資料集的圖資來源為衛星影像，再加上臺灣的福衛二號衛星影像之空間解析度為2公尺，比其他以衛星影像為圖資之國際開放資料集的影像空間解析度高。因此，本計畫認為若以FS-2衛星影像建置臺灣訓練資料集也是相當不錯的選擇。由資料集分類類別對應之討論與分析，七個標竿測試集中，建議可參考BigEarthNet及RSI-CB128資料集的分類項目，並以臺灣通用電子地圖或國土利用分級分類系統為基礎，增減與修改訓練資料集之分類類別與類別數。

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

本項工作主要目標為建立深度學習多光譜遙測影像自動化地物判識技術，以判識影像場景的地物類別。本年度具體成果是比較使用近景影像預訓練模型(ImageNet)及遙測影像預訓練模型(BigEarthNet)在遷移式學習的分類精度，驗證使用遙測影像預訓練模型有較佳的精度，且展示「遷移式學習技術」比「非遷移式學習」有更好的運算效能。

本項工作利用前項工作之訓練資料集進行地物判識，使用的方法為深度學習的卷積

神經網路(CNN)，並以精度分析展示判識成果。本項工作研究成果分為兩階段：第一階段以UC-Merced及PatternNet資料集分析「三個波段」的遙測影像判識成果；第二階段則是BigEarth及EuroSAT資料集分析「十個波段」的遙測影像判識成果。

第一個階段，本計畫選用以ImageNet為訓練資料集所產生之預訓練模型，包含Alexnet、Googlenet、Inceptionv3、Resnet50、Resnet101等八個廣泛被使用的網路模型。訓練資料選擇UC-Merced及PatternNet航遙測影像訓練集，運用遷移式學習更新前述八個預訓練模型後，再對UC-Merced及PatternNet資料集進行影像區塊(Image Patch)分類，判識每一影像區塊對應的類別。第二個階段，採用專為航遙測影像設計，以BigEarthNet (Sumbul et al., 2019)為訓練資料集所產生的預訓練模型，包含KBranchCNN、Vgg16、Vgg19、Resnet50、Resnet101及Resnet152等六種模型。前述預訓練模型經過設計可以使用多波段的Sentinel-2影像。此階段的遷移式學習需要採用含有多波段的航遙測影像資料集，故選擇與BigEarthNet同樣使用Sentinel-2 影像建置的EuroSAT (Helber et al., 2019)資料集，更新六種預訓練模型後，再對EuroSAT資料集進行影像分類。相較於先前只使用三個波段(RGB)影像進行遷移式學習，獨立檢核的正確率(Accuracy)最高為84.98%，使用十個波段Sentinel-2影像(EuroSAT資料集，每一類別各500張影像)進行遷移式學習後，獨立檢核的正確率最高為Resnet152的97.23%，另外，使用EuroSAT每一類別各100張之資料集顯示就算在遷移式學習階段只使用少部分資料，獨立檢核的正確率也都高於85%。由此實驗成果可知，使用專為航遙測影像設計的類神經網路架構辨識正確率高於傳統網路架構。

2.2.4 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用

本項工作內容主要分成三個部分，第一部分為蒐集、統整與參酌國內外相關組織、單位與研究學者應用UAV影像於地籍測繪作業之案例以及適用性研究之方法和成果；第二部分為訪談國內地籍測量從業人員對於UAV航遙測影像結合地籍測量的看法與建議；第三部分為參考國內外研究案例並將訪談內容納入考量，評估UAV正射影像套繪地籍圖測製作業之可行性，整理應用UAV於地籍測繪之注意事項，如UAV的種類及性能、航拍前置作業、對地飛行高度、搭載相機的率定資料、航拍時前後及側向重疊率、控制點與檢核點數量與佈設、檢核點精度、詳細的作業方法與流程等，以確保UAV影像輔助地籍測量之品質。

本計畫共蒐集九個應用UAV影像於地籍測繪作業及其適用性討論之案例，透過蒐集之案例，UAV航拍影像目前主要用於輔助辦理非都區地籍圖更新與重測、土地複丈等業務。UAV影像經處理後產生正射影像與數值地表模型(DSM)，使測量人員能夠快速掌握實地現況等空間資訊，協助地籍圖套合作業，有益於輔助圖解地籍圖數值化之圖幅接合外，亦可運用正射影像中可靠之經界物取得土地複丈所需的資料，幫助作業人員獲得山地或其他不易到達處之現地資料。本計畫整理應用無人飛行載具於地籍測繪之建議及注意事項，主要分為航空攝影計畫、飛航活動申請、航測控制點佈設、航拍前置作業、精度評估及作業流程。

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

本項工作本(109)年度以影像分析與處理為主。全臺灣多時期變形監測試辦(C波段)，利用雷達衛星Sentinel-1所拍攝之影像進行分析，採用雷達差分干涉技術來產生多時序的地表變形成果(圖10)。X波段多時期雷達影像地表變形試辦，試辦區選定為臺灣中部彰化雲林之地層下陷災害潛勢區，採用TerraSAR-X影像共24張(3公尺之地面解析度)，成果如圖11。L波段多時期雷達影像地表變形試辦，試辦區域為花蓮地區(圖12)。

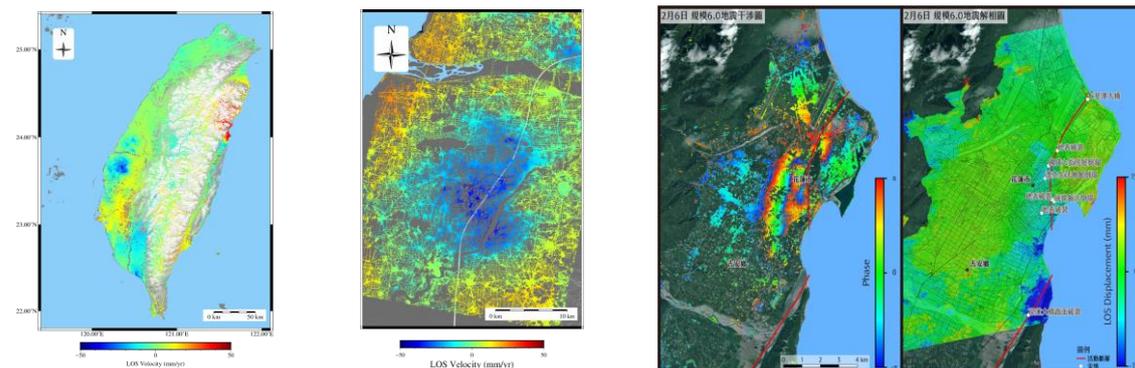


圖10、全臺灣多時期
變形監測試辦成果

圖11、彰化雲林地層下
陷變形監測試辦成果

圖12、L波段ALOS-2花蓮地震觀測
成果

2.3.2 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

本項工作為完成驗證使用時序植生指標進行植被復育分析之應用；驗證以GEE多光譜衛星影像進行地物場景分類之可行性。本項工作包含兩個應用試辦主題：(1)使用Google Earth Engine(GEE)雲端應用平台進行坡地防災監測，使用1.2節發展之人工智慧航遙測影像辨識技術成果及GEE雲端應用平台進行坡地植生復育監測，圖13為在GEE平台上觀測崩塌點之NDVI時序變化。(2)使用GEE雲端應用平台結合2.2.3節發展之人工智慧航遙測影像辨識技術進行地物分類，判識成果如圖14。

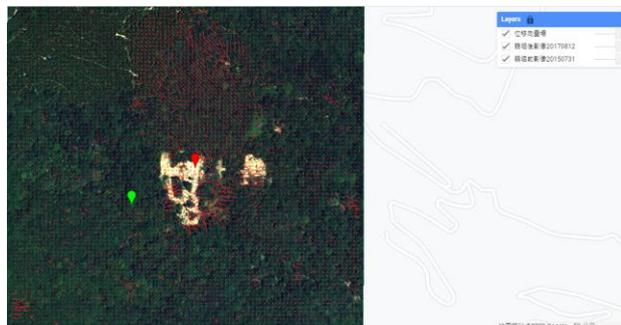


圖13、崩塌點NDVI時序變化

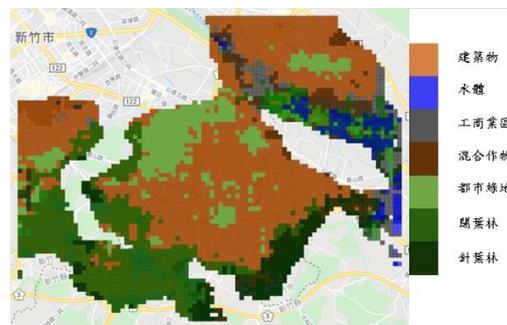
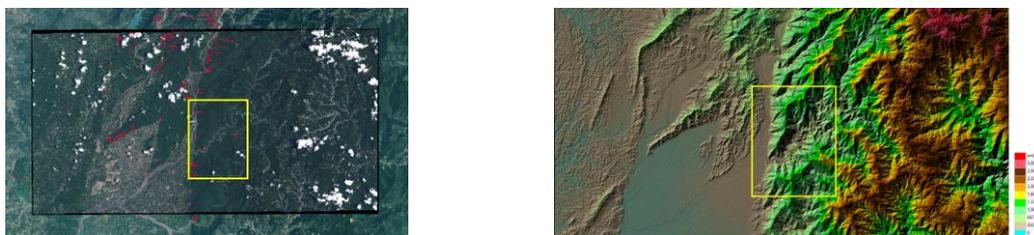


圖14、以BigEarthNet辨識完成全區類別結果與單張影像示意圖

2.3.3 增加以高解析(2公尺或更優)光學衛星影像進行地表形變分析之試辦，試辦區至少

須含 1 處災害潛勢區，總面積須達 100 平方公里以上，且須與機關討論選定

本項工作以分析光學衛星影像，進行數值地表模型的高程差異分析。主要利用 SPOT-6/7 立體像對產製數值地表模型，透過不同時期之數值地表模型分析地表形變，並進行數值地表模型之高程差異分析。試辦區域於高雄荖濃溪區域，面積約 150 平方公里，產製成果如圖 15 所示。



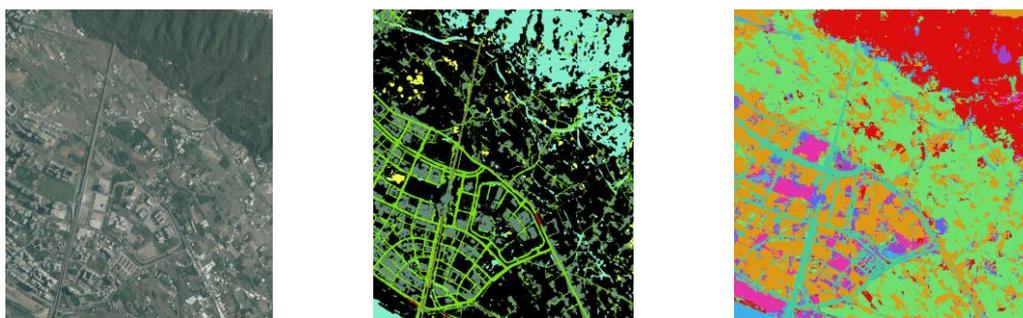
(a) 試辦區域 SPOT-6/7 立體對 (b) 利用 SPOT-6/7 立體對產製之數值地表模型

圖 15、試辦區範圍及產製成果

2.3.4 增加以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦，試辦區至少須達 10 幅五分之一圖幅範圍，且須與機關討論選定

本項工作主要以完成地物辨識及變遷分析試辦為預期成果。本年度具體成果是完成技術可行性驗證，比較「臺灣通用電子地圖地物類別」及「國土利用調查土地利用類別」之分類成果。

本項工作研究成果主要分成兩個部分，第一部分為地物判識，使用深度學習技術進行訓練及地物分類，影像語義分割之訓練資料包含航測影像及對應地物類別；第二部分為變遷偵測，使用前後兩期之地物分類成果進行變遷分析，變遷偵測僅針對臺灣通用電子地圖之房屋及道路類別。試辦區域選定新竹縣市區域，實驗資料包含：(1) 臺灣通用電子地圖向量檔及對應 25cm 空間解析度之彩色正射影像；(2) 國土利用調查向量檔及對應 25cm 空間解析度之彩色正射影像。部分分類成果如圖 16 所示。



(a) 108 年航照影像 (b) 臺灣通用電子地圖類別 (c) 國土利用調查類別

圖 16、試辦航照與分類成果

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(109)年度之目的為針對數項智慧應用進行模擬，包含智慧居家之節能與安全、停車場導引與節能、遠距救護，證明透過模擬可避免花費大量時間與金錢成本實際開發及

佈設物聯網硬體設施，進而快速探討地理圖資與物聯網之整合應用潛力。此工作項目依四階段進行，包含(1)應用案例設計、(2)Unity功能測試及案例行為調整、(3)應用案例開發、及(4)功能擴充。部分模擬成果如圖17所示。

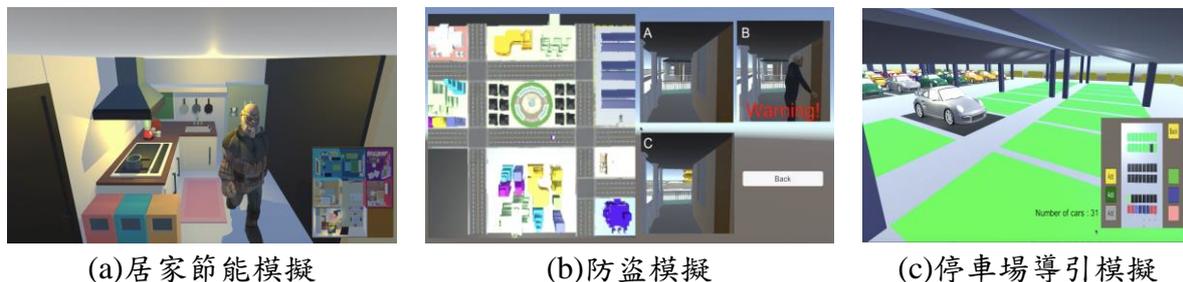


圖17、智慧應用模擬成果

2.4.2 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

為整合異質性的CCTV攝影機，須以開放式標準統一攝影機資源獲取的通訊協定，進而避免異質性物聯網資源整合的客製化開發成本。關於CCTV攝影機資料之標準化，民生公共物聯網之計畫執行已有相關探討，透過制定CCTV攝影機資源的統一描述，以OGC SensorThings API開放式標準提供所拍攝到的影像，異質CCTV攝影機資料之獲取問題可經此解決。本工作項目針對於多個CCTV攝影機影像之物件追蹤進行技術研發，模擬場景成果如圖18。



圖18、物件追蹤模擬成果

2.4.3 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

本項工作以國立中央大學研究中心大樓二期作為試辦地點，主要為考量試辦地點之可用資源，以利進行跨CCTV攝影機影像移動物件追蹤之應用，成果畫面如圖19。

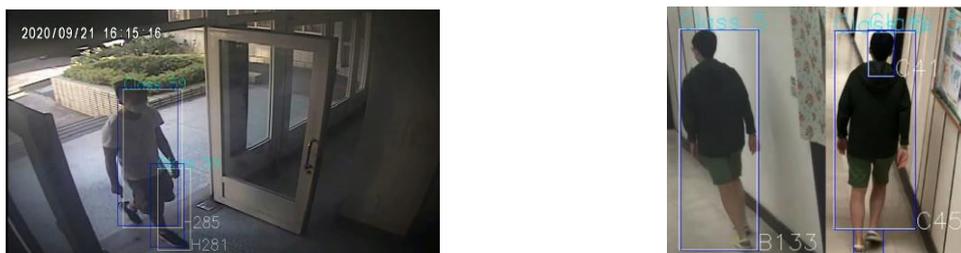


圖19、物件追蹤試辦

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。本年度具體完成至2020/10/20的潮位數據蒐集及分析，未來可應用於建置高程參考基準所需數據。基隆潮位站現況如圖20，其各水位計主要分潮如表2。



圖20、基隆潮位站現況

表2、基隆潮位站各水位計主要分潮比較

分潮	音波式		壓力式		雷達式		
	振幅 (mm)	相位角 (deg)	振幅 (mm)	相位角 (deg)	振幅 (mm)	相位角 (deg)	
全日潮	K1	187±0.6	230±0.2	192±0.4	225±0.1	189±0.3	226±0.1
	O1	153±0.6	197±0.2	157±0.3	193±0.1	155±0.3	194±0.1
	P1	58±0.6	223±0.6	63±0.4	222±0.3	63±0.3	224±0.2
半日潮	M2	189±1.0	263±0.3	208±0.5	256±0.1	204±0.4	257±0.1
	S2	65±0.9	263±0.7	71±0.5	256±0.4	69±0.4	257±0.3
	N2	50±1.0	237±0.9	56±0.5	230±0.5	55±0.4	232±0.4

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「海洋與生活：空間資訊篇」，教材以基隆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、高程測量，對象為高中職學生為主。本活動共有三場科普演講及海洋科技博物館三個展廳導覽介紹，科普演講由交通大學土木系史天元教授、氣象局海象測報中心滕春慈主任、及交通大學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 規劃航遙測技術與應用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，規劃航遙測技術與應用相關成果，並以衛星遙測科技應用案例進行說明，本次活動於8月17日、8月18日辦理，參與之對象為國中、小與高中教師。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 協助推動國際測繪合作事務

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

本計畫已完成參加以下研討會：(1)參加University of Salzburg所舉辦的GI Week 2020 Virtual Conference (<http://gi-forum.org>)，日期為109年7月6日至10日。(2)參加國際航遙測學會ISPRS所舉辦的ISPRS 2020 Virtual Event，日期為109年8月31日至9月2日。(3)參加國際電子與電機學會IEEE舉辦的IGARSS 2020: Virtual Symposium，日期為109年9月26日至10月2日。

2.6.2 本團隊應配合內政部推動臺印尼測繪協定合作事務需求，協助參與測繪技術服務團(GEM)技術交流，並於雙邊諮商會議提供專家諮詢顧問服務

本團隊配合內政部與中華測繪聯合會共同舉辦之「國際測量組織與臺灣參與」論壇，參與國際論壇進行技術交流。

2.7 成果發表及技術交流

2.7.1 提送國內外期刊或研討會論文文稿至少 4 篇，且其中 1 篇需提送國際期刊 (SCI/EI 等級)

本團隊共投稿5篇期刊、論文，分別為(1)投稿Remote Sensing of Environment，題目為A Semi-empirical Scheme for Bathymetric Mapping in Shallow Water by ICESat-2 and Sentinel-2: A Case Study in the South China Sea。(2) 投稿International Journal of Geographical Information Science，題目為An Ontology integrating City Model and Internet of Things Open Standards for Smart City Applications。(3)投稿Advanced Engineering Informatics，題目為Spatial Analysis with Detailed Indoor Building Models for Emergency Evacuation Service。(4) 投稿國土測繪及空間資訊期刊，題目為東沙共站封閉型壓力式潮位計觀測值比對：2020。(5) 投稿國土測繪及空間資訊期刊，題目為運用超高解析衛星進行疏濬高程控制可行性研究。

2.7.2 以航遙測及空間數據為主題發展人工智能實驗室，強化產學合作

本團隊分別成立GeoAI@NCU及GeoAI@NCTU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。具體任務為發展三維國土形變技術，並應用人工智慧技術於航遙測與空間資訊領域。GeoAI實驗室亦扮演人才培育之社會責任，在實驗室技術研發過程培養相關技術人才，未來可投入GeoAI相關產業。

2.7.3 本團隊配合內政部參加智能測繪應用相關之年度計畫成果發表

配合內政部參加於11月17日舉辦之智能測繪應用相關之年度計畫成果發表(含研討會方式)活動。本團隊進行三小時成果發表，共四項主題，分別為(1)雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術、(2)地理圖資與物聯網之整合應用探討、(3)人工智慧於航遙測影像之辨識與應用與(4)高程基準潮位站數據分析。

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) 利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術：完成影像處理流程、初始參數設定與對應成果的產製。建議未來完成參數資料建立與成果精度分析、啟動智慧參數學習的工作。(2) 建立機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術：完成應用多時期之高解析光學影像以機器學習偵測地表崩坍之初步測試。建議未來規劃透過機器學習偵測多時期影像及地表模型之地表形變分析，並完成機器學習進行地表類別分類及形變分析的工作。(3) 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術：完成研究區之三維點雲資料

產製工作。建議未來以更多重疊之衛星影像，進行重建數值地表模型，利用多視角影像相互補償遮蔽區域，並提高匹配及定位品質。(4) 擴充衛星影像智慧增值應用與後續推動可行性評估：完成以圖資之搜集與建立工作，其試辦則於4.3節中完成。建議未來建立與搜集圖資，同時完成增值應用可能需求彙整、評估增值應用可行性。

2. 應用人工智慧發展航遙測影像辨識技術與應用

(1) 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術：完成有效偵測因地表位移而造成之位移。建議未來規劃發展多時期高程模型地表形變智慧分析技術、整合多時期光學影像及高程模型之三維地表形變智慧分析技術。(2) 建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集：完成國際標竿訓練資料集的蒐集及比較，建立訓練資料集類別與臺灣通用電子地圖類別的可對應關係，建立訓練資料集類別與國土利用調查類別的可對應關係。建議未來建立以影像分割為主的國際標竿訓練資料集、持續關注及更新國國際標竿訓練資料集。(3) 建立航遙測影像自動化地物智慧辨識與分類技術：完成驗證使用遙測影像預訓練模型有較佳的精度，且展示「遷移式學習技術」比「非遷移式學習」有更好的運算效能。建議未來發展深度學習於遙測影像之房屋智慧辨識技術、道路智慧辨識技術。(4) 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用：完成建議應用無人機測繪技術於地籍測繪之注意事項。建議未來探討無人機影像應用於公共設施管線資料庫系統之人孔測量智慧整合。

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) 雷達衛星影像地表形變分析之試辦：完成全臺灣多時期(C波段)、彰化雲林(X波段)與花蓮(L波段)變形監測試辦。建議未來規劃引入更多試辦案例，逐步建立影像處理之參數數據庫與經驗、建立臺灣各地的初步變形分析圖資。(2) 航遙測影像分析與辨識之結果與相關應用平台進行整合試辦：完成匯入航遙測影像資料集至Google Earth Engine平台，各項資料均可套疊在單一平台中進行防災分析，並整合前項工作產製變形向量場資料、現有航拍影像以及過濾篩選遙測衛星影像，從所需資料開始建置雲端平台分析功能。建議未來規劃以GEE雲端應用平台發展增值應用。(3) 增加以高解析光學衛星影像進行地表形變分析之試辦：完成分析光學衛星影像，進行數值地表模型的高程差異分析。建議未來規劃以更多種類型之多時期地表形變分析。(4) 增加以臺灣地區航遙測影進行地物辨識與分類試辦：完成不同年度航空正射影像與地表覆蓋分類圖之申請作業。建議未來規劃持續精進分類精度及變遷偵測正確率。

4. 評估智慧物聯網之防災整合應用技術

(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：完成包含智慧居家之節能與安全、停車場導引與節能、及遠距救護，以及多項Unity應用案例設計。(2) 模擬基於三維圖資與路網資訊整合路側影像感測器：完成包含設計整體流程、移動物件之偵測、追蹤等之初步成果。後續為針對偵測、追蹤物件等進行優化處理。(3) 以實際場域進行適地性服務應用試辦：完成跨CCTV攝影機影像移動物件追蹤之應用試辦。建議未來為取得較佳影像品質、移動物件辨識等進行試辦測試。

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，完成分析東沙潮位站六分鐘潮位數據求得平均海水面高。建議未來持續分析基隆新設及東沙潮位站。(2) 完成科學教材配合建

置於海科館之潮位站及鄰近之臺灣水準原點為主題，邀請大安高工、南港高工及海大附中學生於9月30日辦理研習營。(3) 完成規劃航遙測技術與應用相關成果發表之科教活動，規劃航遙測技術與應用相關成果，並以衛星遙測科技應用案例進行說明，邀請高中、國中與國小教師參加，於8月17日、8月18日辦理。

6.協助推動國際測繪合作事務

(1) 完成參加GI Week 2020 Virtual Conference、ISPRS 2020 Virtual Event、IGARSS 2020: Virtual Symposium。(2) 配合內政部與中華測繪聯合會共同舉辦之「國際測量組織與臺灣參與」論壇，參與國際論壇進行技術交流。

7.成果發表及技術交流

(1) 本團隊共投稿5篇期刊、論文(含SCI等級)。(2) 成立GeoAI@NCU及GeoAI@NCTU實驗室，研發三維國土形變與空間智能分析之相關智慧製圖技術，推動智慧製圖與空間資訊領域產業之連結。(3) 配合內政部參加11月17日舉辦之智能測繪應用相關之年度計畫成果發表活動，本團隊進行三小時之成果發表，共四項主題。

參考文獻

1. Helber, P., Bischke, B., Dengel, A., & Borth, D. 2019. Eurosat: A novel dataset and deep learning benchmark for land use and land cover classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(7), 2217-2226.
2. Sumbul, G., Charfuelan, M., Demir, B., & Markl, V. (2019). Bigearthnet: A large-scale benchmark archive for remote sensing image understanding. In *IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 5901-5904). IEEE.
3. 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
4. Thielicke, W., & Stamhuis, E. (2014). PIVlab—towards user-friendly, affordable and accurate digital particle image velocimetry in MATLAB. *Journal of open research software*, 2(1).
5. Tsai, Fuan; Tai, Yu-Heng. 2019. Fast Land Deformation and Damage Assessment After the 2018 Hualien Earthquake in Taiwan Using Multi-Source Remote Sensing Data. *AGUFM*, 2019, 2019: NH31F-0912.