

113-014-7D53
MOTC-IOT-112-H1CA001c

多期多尺度影像結合深度學習 於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)- 影像處理方法及公路邊坡影像類型 適用性探討



交通部運輸研究所

中華民國 113 年 3 月

113-014-7D53
MOTC-IOT-112-H1CA001c

多期多尺度影像結合深度學習 於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)- 影像處理方法及公路邊坡影像類型 適用性探討

著者：黃宇謙、賴俊呈

交通部運輸研究所

中華民國 113 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判
識之初探. (2/2)：影像處理方法及公路邊坡影像
類型適用性探討 / 黃宇謙, 賴俊呈著. -- 初版. -- 臺
北市：交通部運輸研究所, 民 113.03

面； 公分
ISBN 978-986-531-555-9(平裝)

1.CST: 公路管理 2.CST: 道路安全 3.CST: 人工
智慧

557.36

113001261

多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及
公路邊坡影像類型適用性探討

著 者：黃宇謙、賴俊呈

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 113 年 3 月

印 刷 者：綠凌興業社

版(刷)次冊數：初版一刷 48 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 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：1011300164 ISBN：978-986-531-555-9（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分內容者，須徵求交通部運輸研究所
書面授權。

GPN : 1011300164

定價 200 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-555-9(平裝)	政府出版品統一編號 1011300164	運輸研究所出版品編號 113-014-7D53	計畫編號 MOTC-IOT-112-H1CA001c
本所主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：黃宇謙 研究人員：賴俊呈 聯絡電話：(04)2658-7119 傳真號碼：(04)2657-1329			研究期間 自 112 年 01 月 至 112 年 12 月
關鍵詞：公路邊坡、人工智慧、影像辨識、遙測技術、日常巡查、防災應用			
摘要： 交通部施政計畫重點項目之一為「強化智慧應用，提升運輸效率」，提出應加強結合 5G、AI 等新興科技應用，實現智慧交通數位轉型；2020 年版運輸政策白皮書提出「應用 AI、UAV 及遙測技術於鐵公路巡檢或監測」為重點之行動方案，爰此，111 年開始辦理「多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探」計畫，目的在探討多時期之多尺度空拍影像（如衛星、航照、UAV）結合深度學習技術於公路邊坡地貌變異判識之應用性。 本計畫為 2 年期計畫之第 2 年期，主要研究成果計有：(1)蒐集相關文獻並探討深度學習應用於邊坡地貌變異判識之方法與可行性；(2)分析多尺度之衛星、航測、UAV...等遙測載具及空拍影像處理方法；(3)訪談實務應用單位瞭解公路邊坡維管制度及需求性；(4)說明深度學習神經網路模型對於邊坡地貌判識任務之適用性。			
成果效益： 本計畫探討應用 AI 技術結合多時期、多尺度(衛星、航測、UAV...等)之邊坡監測影像進行邊坡地貌變異判識之可行性，並希冀藉由新興科技及技術之探討，於未來能達成地貌判識、裸露塌地範圍自動圈選及土方量體判定等效用，以利公路邊坡管理單位之日常巡查作業及災後復原工作更加便捷快速。			
提供政府單位應用情形： 研究成果提供公路局、高速公路局於公路邊坡管理及災防之應用，以及本所人工智慧技術研發相關研究後續探討與應用。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
113 年 3 月	195	200	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: A Preliminary Study on the Deep Learning Applied to Geomorphological Identification of Slope by Multi-Phase and Multi-Scale Images (2/2) - Probe on Image Processing and Applicability			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-555-9(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011300164	IOT SERIAL NUMBER 113-014-7D53	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-112-H1CA001c
DIVISION: Transportation Technology Research Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yu-Cian Huang PROJECT STAFF: Chun-Cheng Lai PHONE: (04)2658-7119 FAX: (04)2657-1329			PROJECT PERIOD FROM Jan. 2023 TO Dec. 2023
KEY WORDS: highway slopes, artificial intelligence, image recognition, remote sensing technology, routine inspection, disaster-preventing application			
Abstract: One of the annual policies focuses of Ministry of Transportation and Communication's administrative plan is to "strengthen intelligent applications and increase transportation efficiencies", which specifies intensified application of new-emerging technologies like 5G and AI to realize transformation of digitized and intelligent traffic. The 2020 Transportation Policy White Paper states the "application of AI, UAV and remote sensing technology in railway/highway inspection or monitoring" as a key action program. Therefore, the project of "A Preliminary Study on the Deep Learning Applied to Geomorphological Identification of Slope by Multi-Phase and Multi-Scale Images" starting from 2022. The purpose of the project is to explore the combination of multi-period and multi-scale aerial images (such as satellites, aerial photos, UAV) and deep learning technology to explore the application to geomorphological identification of highway slopes. The present research being the second year of a project that spans two years, the main research results: (1) the collection of documents on deep learning applied to image recognition technology and the probe in the methods and feasibility of image recognition from geomorphological identification on slopes; (2) the analyzation of multi-scale remote sensing such as satellites, aerial surveys, UAVs, etc. and aerial photograph processing methods; (3) the interview with end-user to understand the maintenance of slope and the demand; and (4) the explanation of the deep learning neural network model that apply to landform identification. Benefits: The present research probe the feasibility of the application of AI technology in combination with multi-phase and multi-scale images of slope monitoring to perform geomorphological identification, hoping that by the exploration of new-emerging technologies and techniques, utilities such as land feature identification, automatic selection of ranges of bare collapsed land and earth volume and range identification can be achieved in the future to facilitate routine inspection by highway slope administrations and to make recovery works from disasters easier and faster. Applications provided to governments: The results can be provided for Directorate General of Highways and National Freeway Bureau to apply in managing highway slopes and disaster prevention, as well as for the Institute in further probe and application in research and development of AI techniques.			
DATE OF PUBLICATION 2024 Mar		NUMBER OF PAGES 195	PRICE 200
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

**多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討**

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
圖目錄	VII
表目錄	XI
第一章 緒論	1-1
1.1 研究動機	1-1
1.2 研究目的	1-1
1.3 研究內容及工作項目	1-2
1.4 研究流程	1-3
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 國外文獻	2-1
2.2 國內文獻	2-10
2.3 小結	2-13
第三章 公路邊坡維管機制及空拍影像適用性說明	3-1
3.1 邊坡定義及破壞類型	3-1
3.2 公路邊坡維護管理制度介紹	3-6
3.3 邊坡災害之空拍地貌特徵說明	3-20
3.4 遙測影像適用性說明	3-25
第四章 遙測載具及空拍影像處理技術探討	4-1

4.1 遙測載具.....	4-1
4.2 影像處理.....	4-8
4.2.1 解析度.....	4-8
4.2.2 色彩.....	4-10
4.2.3 幾何校正.....	4-13
4.2.4 大氣校正.....	4-13
4.2.5 特徵提取.....	4-15
4.3 目標偵測與分類.....	4-23
4.4 邊坡地貌判識影像蒐集與處理流程規劃	4-26
第五章 深度學習影像辨識模型研析.....	5-1
5.1 神經網路(Neural Network).....	5-1
5.2 深度神經網路(Deep Neural Network , DNN).....	5-5
5.3 卷積神經網路(CNN)	5-6
5.4 基於區域的卷積神經網路(Region-based Convolutional Neural Networks , R-CNN)	5-9
5.5 YOLO.....	5-11
5.6 深度學習框架(Deep Learning Framework)	5-12
5.7 小結.....	5-13
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-4
6.3 成果效益與應用.....	6-4
6.4 提供政府單位應用情形.....	6-4
參考文獻.....	參-1
附錄一 專家學者及實務單位訪談紀錄.....	附 1-1
附錄二 專家學者座談會會議紀錄.....	附 2-1

附錄三 第 1 次工作會議紀要.....	附 3-1
附錄四 第 2 次工作會議紀要.....	附 4-1
附錄五 第 3 次工作會議紀要.....	附 5-1
附錄六 期末報告審查委員意見處理情形表.....	附 6-1
附錄七 期末報告簡報資料.....	附 7-1

圖 目 錄

圖 1.1 研究流程圖	1-3
圖 2.1 空拍影像預處理	2-2
圖 2.2 判識結果	2-3
圖 2.3 邊坡影像利用深度學習 DBN 訓練和 LR 分類過程	2-4
圖 2.4 不同資料集和取樣範圍對 CNN 模型之精確度	2-5
圖 2.5 模型學習資料集	2-6
圖 2.6 做為學習資料集的邊坡環境因子	2-7
圖 2.7 LandsNet 進行圈繪之成果	2-8
圖 2.8 U-Net 和 ResU-Net 在不同取樣範圍的比較	2-9
圖 2.9 AutoEncoder 示意圖	2-10
圖 2.10 RNN 模型訓練流程示意圖	2-11
圖 2.11 預測成果分布圖	2-12
圖 3.1 邊坡破壞類型示意圖	3-2
圖 3.2 山崩地滑常見特徵	3-4
圖 3.3 UAV 飛航規劃	3-10
圖 3.4 多期三維影像套疊比對分析邊坡變位	3-10
圖 3.5 公路局邊坡使用 UAV 科技巡檢應用與分析流程	3-11
圖 3.6 公路局使用 UAS 搭載 LiDAR 建立邊坡 DEM	3-12
圖 3.7 公路設施維護管理數位轉型未來圖像	3-12
圖 3.8 以衛星影像進行大規模崩塌前後比對	3-20
圖 3.9 弧形地滑特徵示意圖	3-21
圖 3.10 弧形地滑特徵實際案例(高雄六龜區寶來村)	3-21
圖 3.11 弧形地滑特徵示意圖	3-22

圖 3.12 土石流特徵實際案例(南投縣陳有蘭溪).....	3-23
圖 3.13 落石特徵實際案例(蘇花公路台 9 線 159.3 公里).....	3-24
圖 4.1 被動式成像(上)與主動式成像(下)示意圖	4-1
圖 4.2 SAR 技術原理示意圖	4-2
圖 4.3 不同波段組合所呈現之影像.....	4-4
圖 4.4 Beech 200 King Air	4-6
圖 4.5 King Air 360ER	4-6
圖 4.6 UAV 機型(左：複合式；右：多旋翼式)	4-7
圖 4.7 UAV 智能遙控器	4-7
圖 4.8 不同空間解析度之影像比較.....	4-8
圖 4.9 土壤、植被及水體之光譜反射特徵.....	4-9
圖 4.10 不同位元數輻射解析度之影像呈現.....	4-10
圖 4.11 以 8 位元呈現之 RGB 系統	4-11
圖 4.12 彩色影像以 RGB 三個通道組成	4-11
圖 4.13 RGB 和 HSV 系統轉換.....	4-11
圖 4.14 利用 Landsat-8 第 3、4、5 波段進行地貌色彩顯像	4-13
圖 4.15 大氣中反射及散射效應示意圖.....	4-14
圖 4.16 不同波長電磁波對大氣穿透率.....	4-14
圖 4.17 負片轉換後效果.....	4-15
圖 4.18 拉伸後效果.....	4-16
圖 4.19 直方圖均等化後效果.....	4-17
圖 4.20 函式轉換關係.....	4-17
圖 4.21 兩種灰階分割處理方式.....	4-18
圖 4.22 空間濾波運作原理.....	4-19
圖 4.23 平均濾波(左)和高斯濾波(右)	4-20

圖 4.24 平均濾波運作原理.....	4-20
圖 4.25 低通濾波效果展示.....	4-21
圖 4.26 高通濾波.....	4-21
圖 4.27 高通濾波效果展示.....	4-22
圖 4.28 硬分類和模糊分類區別.....	4-24
圖 4.29 監督式學習流程示意圖.....	4-25
圖 4.30 非監督式學習流程示意圖.....	4-25
圖 4.31 UAV+RTK 技術示意圖.....	4-27
圖 4.32 後續影像取得及處理流程規劃.....	4-28
圖 5.1 生物神經元作動原理.....	5-2
圖 5.2 類神經網路神經元運作模式.....	5-3
圖 5.3 Sigmoid 函數.....	5-3
圖 5.4 Tanh 函數.....	5-4
圖 5.5 ReLU 函數.....	5-5
圖 5.6 深度神經網路示意圖.....	5-6
圖 5.7 卷積運算過程示意圖.....	5-7
圖 5.8 池化運算過程示意圖.....	5-8
圖 5.9 池化結果經全連接層示意圖.....	5-9
圖 5.10 R-CNN 物件偵測流程.....	5-10
圖 5.11 YOLO 物件偵測流程.....	5-12
圖 6.1 進行邊坡空拍影像結合深度學習之工作流程規劃.....	6-3

表 目 錄

表 1-1 工作計畫流程.....	1-3
表 2-1 UAV 規格及採集相關數據.....	2-5
表 2-2 資料集說明.....	2-9
表 2-3 資料庫類型說明.....	2-11
表 3-1 不同材料之邊坡破壞類型	3-2
表 3-2 邊坡破壞型態分類	3-3
表 3-3 臺灣公路邊坡災害及其破壞模式	3-4
表 3-4 公路局邊坡定性分級管理制度	3-6
表 3-5 公路局利用 RHRS 定量評估項目說明.....	3-6
表 3-6 公路局重點關注邊坡(統計區間：2018～2021 年).....	3-9
表 3-7 公路局中區養護工程分局震後邊坡巡查規定	3-11
表 3-8 高速公路局邊坡分級與數量	3-13
表 3-9 高速公路局巡查頻率規定	3-14
表 3-10 高速公路局路塹邊坡定期巡查檢查表	3-14
表 3-11 高速公路局路堤邊坡坡面定期巡查檢查表	3-16
表 3-12 高速公路局監測頻率規定	3-18
表 3-13 高速公路局地錨檢測頻率規定	3-19
表 3-14 高速公路局邊坡災害潛感因子評估參考	3-19
表 3-15 不同尺度空拍技術比較	3-25
表 3-16 邊坡破壞型態適用之遙測方法適用性比較	3-26
表 4-1 常見商用光學衛星	4-5
表 4-2 Landsat-8 波段及分辨率	4-12
表 4-3 不同成像目的之 Landsat-8 波段混用建議	4-12

表 5-1 語意分割和實例分割之比較	5-10
--------------------------	------

第一章 緒論

1.1 研究動機

交通部運輸研究所(以下簡稱本所)108 年利用無人飛行載具快速取得邊坡影像資料，並透過近景攝影測量技術將影像資料轉成邊坡表面三維模型，經由多時序模型套疊，瞭解邊坡表面的變遷趨勢，提供公路邊坡維護管理單位一個簡便、快速、低成本的道路邊坡巡檢技術，並落實科技巡檢，提高邊坡巡檢效能，惟受限影像成像之特性，研究成果目前適用於裸露型(無植生覆蓋)邊坡或護坡設施之巡檢作業，有其拘限性，較無法全面適用所有類型邊坡檢測使用。

本所基於過往研究基礎並配合交通部施政計畫「強化智慧應用，提升運輸效率」，揭櫫應加強結合 5G、AI 等新興科技應用，實現智慧交通數位轉型；2020 年版運輸政策白皮書提出「應用 AI、UAV 及遙測技術於鐵公路巡檢或監測」為重點之行動方案，111 年開始辦理「多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探」自行研究計畫，探討多時期之多尺度空拍影像(如衛星、航照、UAV)結合深度學習技術於公路邊坡地貌變異判識之適用性及應用性，並已針對航拍技術、人工智慧應用於影像辨識技術及多時期多尺度空拍影像取得管道等完成初步探討。今(112)年將藉由實務訪談，深入瞭解現行公路維護管理單位之邊坡維護管理流程，並蒐集各式深度學習模型應用於邊坡之相關案例及文獻，以確立合適之空拍影像類別、處理方法等，達到後續 AI 訓練資料一致性。

1.2 研究目的

本計畫探討應用 AI 技術結合多時期、多尺度之邊坡空拍影像，進行邊坡地貌判識之可行性，並希冀藉由新興科技及技術之探討，於未來後續研究上，能達成地貌判識、裸露塌地範圍自動圈選及土方量體判定等效用，以利公路邊坡管理單位之日常巡查作業及災後復原工作更加便捷快速。

1.3 研究內容及工作項目

本計畫分 2 年期執行，今(112)年為第 2 年期，去年期完成之工作項目及今年期辦理之研究內容說明如下：

1. 第 1 年期(111 年)完成工作項目

(1) 文獻回顧

蒐集相關深度學習應用影像辨識技術之文獻並探討影像辨識應用於邊坡地貌變異判識之方法與可行性。

(2) 專家學者及實務單位探訪

訪談公路邊坡管理單位、專家學者並視需要實地探勘，除了解應用單位需求，亦可規劃欲進行影像蒐集之場址。

(3) 航拍技術探討及坡地之應用案例蒐集

進行各尺度航拍技術探討，並針對不同尺度影像進行可辨識性、取得難易、所需成本等探討比較。

(4) 人工智慧應用於影像辨識技術探討

說明人工智慧、機器學習和深度學習初步概念，並探討神經網路模型組成。

2. 第 2 年期(112 年)執行內容

(1) 文獻回顧

重點蒐集 CNN 等各式深度學習模型應用於坡地之相關國內外文獻。

(2) 多尺度空拍影像適用性研究

因應邊坡地貌變異判識應用目的以及配合現行公路邊坡維護管理與防災機制，自各類尺度空拍影像中找出相對適用後續訓練之類型。

(3) 空拍影像處理方法探討

探討空拍影像原始資料預處理方法(例如：除錯、去雜訊、正規化、資料擴充等)。

(4) 深度學習模型研析

依照本計畫目的，研析深度學習類神經網路模型分層之架構、建置方法及適用性。

1.4 研究流程

本期計畫期程自 112 年 1 月 1 日至 112 年 12 月 31 日止，共計 12 個月，研究流程如圖 1.1 所示。

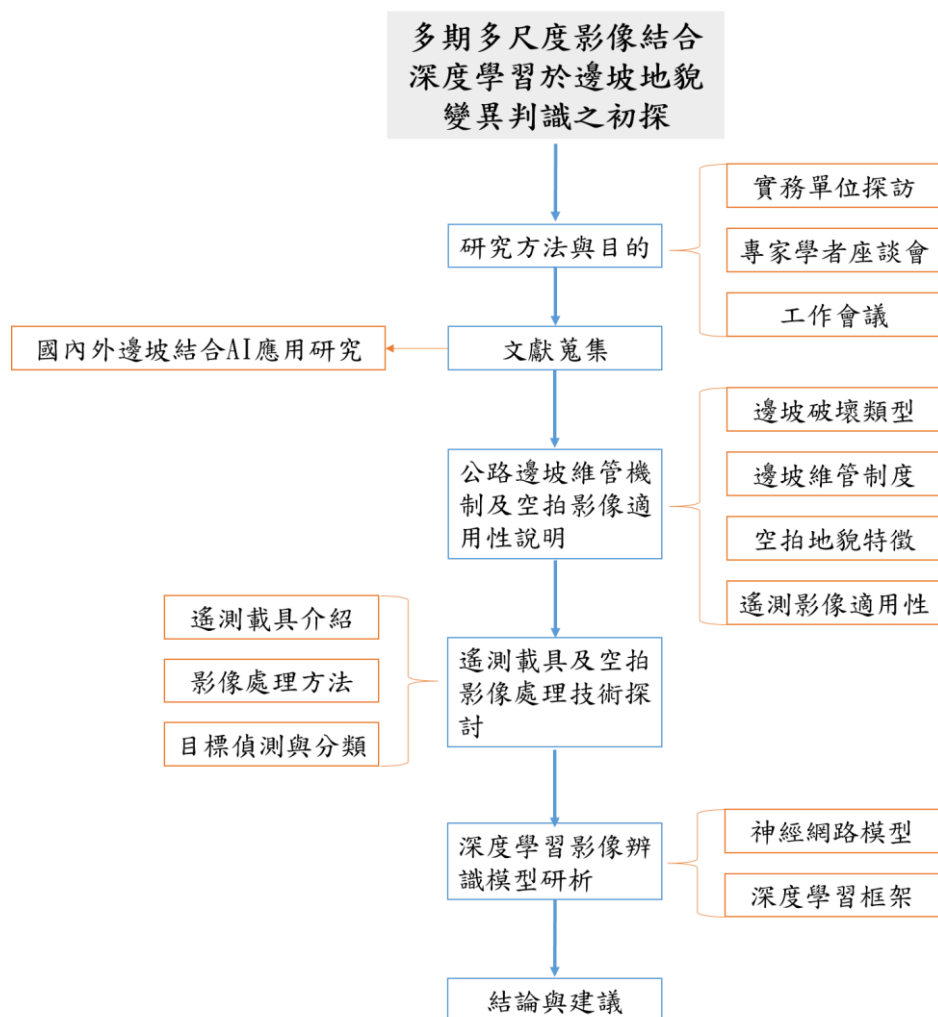


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

目前各式空拍載具如：無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)、光學雷達(Light Detection And Ranging, LiDAR)、合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar, SAR)、光學遙測衛星等等，已經廣泛使用於邊坡調查及檢監測，因其能在人力難以抵達的地區進行作業，再搭配即時動態定位(Real Time Kinematic, RTK)和視覺攝影測量(Visual Photogrammetry)等技術，可產製高精度之邊坡空拍圖、正射影像或完成三維建模，取得數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)，以對後續邊坡管理等工作做加值應用。

伴隨雲端儲存、邊緣運算(Edge Computing)、5G 傳輸的興起，資料之傳輸及蒐集相較於過往變得快速且容易，資料量的快速累積，使邊坡維管單位需要建置系統及伺服器來儲存和管理，促使資料庫和資料中心的建立。若該資料能藉由專家處理、解析，變成有用的資訊，並使用其來進行統計、分析及決策支援，或利用人工智慧(Artificial Intelligence, AI)來加以訓練學習，辨識影像、找出相關性或隱而未現的模式和趨勢，即能輔助達成邊坡維護管理，提升效能、節約人力。以下主要蒐整國內外 AI 應用於邊坡相關文獻，引以為鏡。

2.1 國外文獻

Anzi Ding 等 4 人(2016)^[1]提出一種基於紋理變化和卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)提取邊坡滑動區域特徵的方法。

該研究利用 GF-1 衛星所拍攝的多時期多光譜(包含藍色、綠色、紅色和近紅外光(Near-Infra Red, NIR)波段，分辨率為 8 m)邊坡影像為原始資料進行預處理。首先進行地物分割，利用可見光不同波段特性，濾除影像中植被、水體、建築物，得到山體滑坡的灰階影像，雲層部分則利用前後期影像的差異運算進行去除並填補，接著利用以下統計指標及各像素紋理特徵比較多時期影像紋理變化：

1. 平均值(Average)：測量影像的灰度值(Grey Value)。

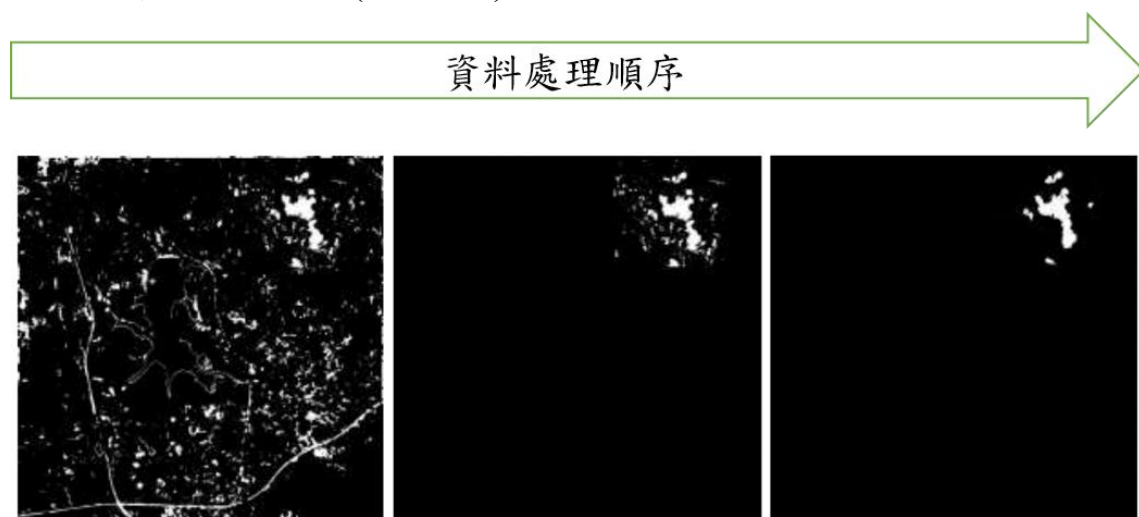
2. 標準差(Standard deviation)：衡量影像中像素灰度值的分佈情況。
3. 平滑度(Smoothness)：衡量影像中像素灰度值偏移程度。
4. 三階矩(Third-order moment)：用於衡量直方圖偏移程度。

經過預處理後之影像再經由 CNN 進行特徵提取。

Zhong Chen 等 5 人(2018)^[2]利用衛星(包含 GF-1、Landsat-8 及福衛 2 號)多時期邊坡空拍影像及數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)，搭配 CNN 進行邊坡滑動區域判識。

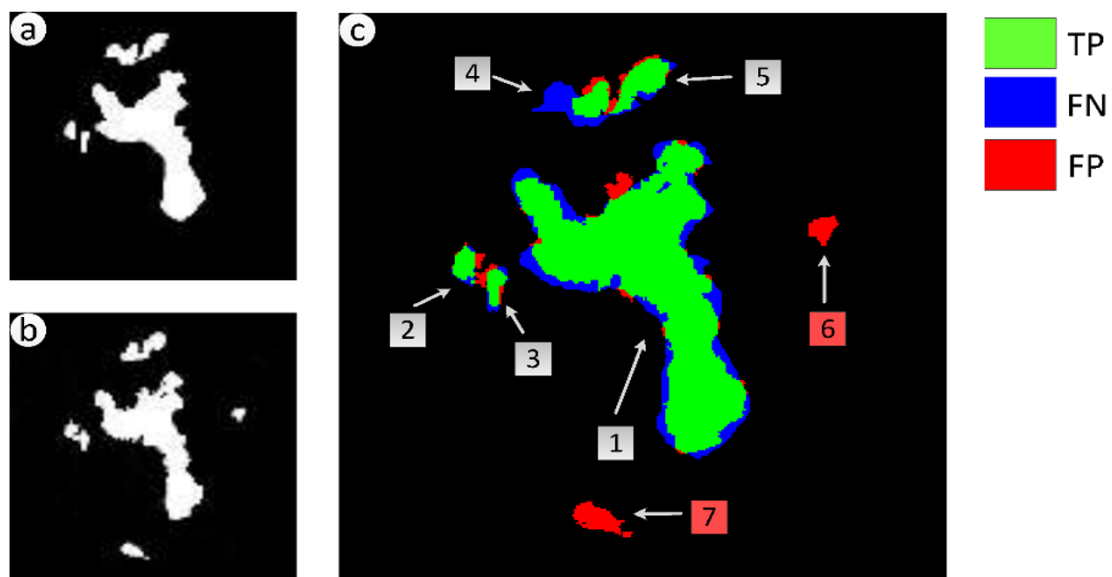
該研究先透過衛星影像之紅外波段和可見光波段對地面反射率之間的差異評估指標，例如：常態化差異植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)來濾除植被；常態化差異水指標(Normalized Difference Water Index, NDWI)來濾除水體，並利用 PANTEX 指數濾除建築區域，突顯可能滑動的邊坡範圍(如圖 2.1)。

深度學習(Deep Learning)部分則使用深度 CNN 搭配可考慮空拍影像空間時序之空間—時間上下文學習(Spatial Temporal Context Learning, STCL)技術，來進行特徵擷取及識別，研究結果表明其所提出的方法可使判識率達 70%以上(如圖 2.2)。



資料來源：Automated Landslides Detection for Mountain Cities Using Multi-Temporal Remote Sensing Imagery.^[2]

圖 2.1 空拍影像預處理



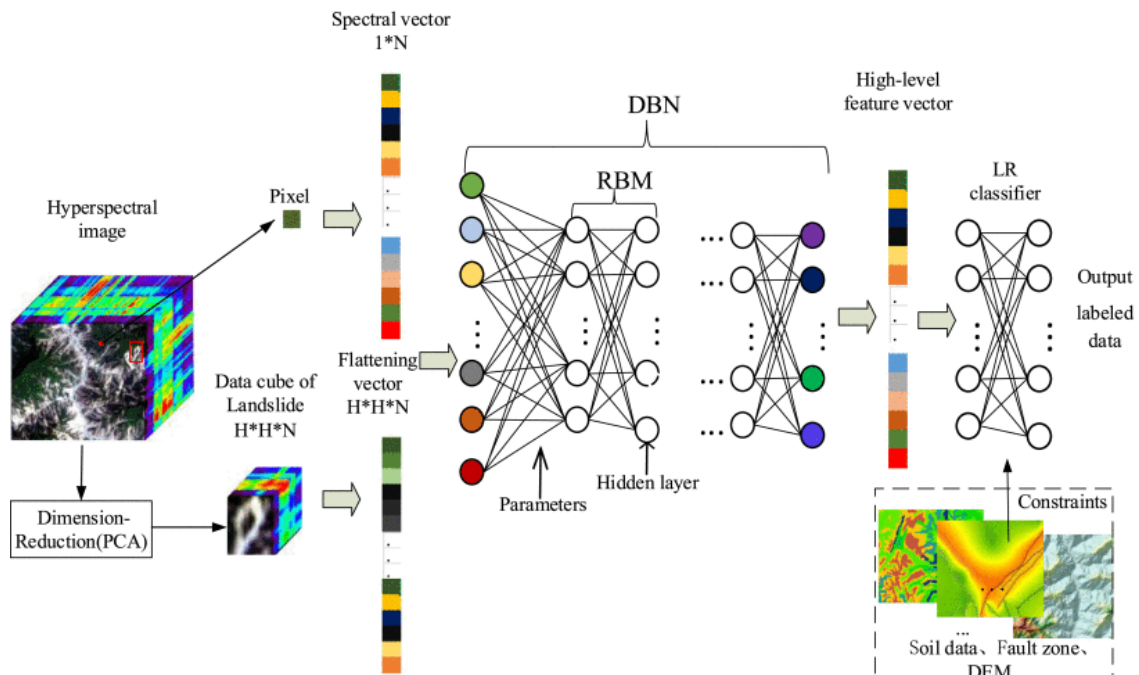
(a)真實邊坡區域；(b)模型判識邊坡區域；(c)真實和判識區域相互套疊
(綠色=重合、藍色=真實有但無判識出來的區域、紅色=真實沒有的誤判區域)

資料來源：Automated Landslides Detection for Mountain Cities Using Multi-Temporal Remote Sensing Imagery.^[2]

圖 2.2 判識結果

Chengming Ye 等 8 人(2019)^[3]提出一利用深度學習從邊坡高光譜圖(Hyperspectral Images)提取特徵的方法，比起傳統利用光學影像分析之方式，更能有效提升模型訓練成效。

該研究蒐集 Hyperion 衛星所拍攝 2008 年 7 月 7 日中國汶川地震後之邊坡崩落高光譜空拍影像(分辨率為 30 公尺)，並將影像中之邊坡、植被、河流及裸露地進行人為標記，再利用深度信念網路(Deep Belief Network, DBN)來強化提取邊坡光譜圖的空間特徵，獲取特徵後加入邊坡條件(土壤性質、植被覆蓋度、坡度等)，再使用邏輯回歸(Logistic Regression, LR)進行分類後做邊坡的識別(如圖 2.3)。



資料來源：Landslide Detection of Hyperspectral Remote Sensing Data Based on Deep Learning With Constrains.^[3]

圖 2.3 邊坡影像利用深度學習 DBN 訓練和 LR 分類過程

Omid Ghorbanzadeh 等 4 人(2019)^[4]利用 UAV 蒐集邊坡空拍影像並搭配 CNN 來進行邊坡穩定性檢測。

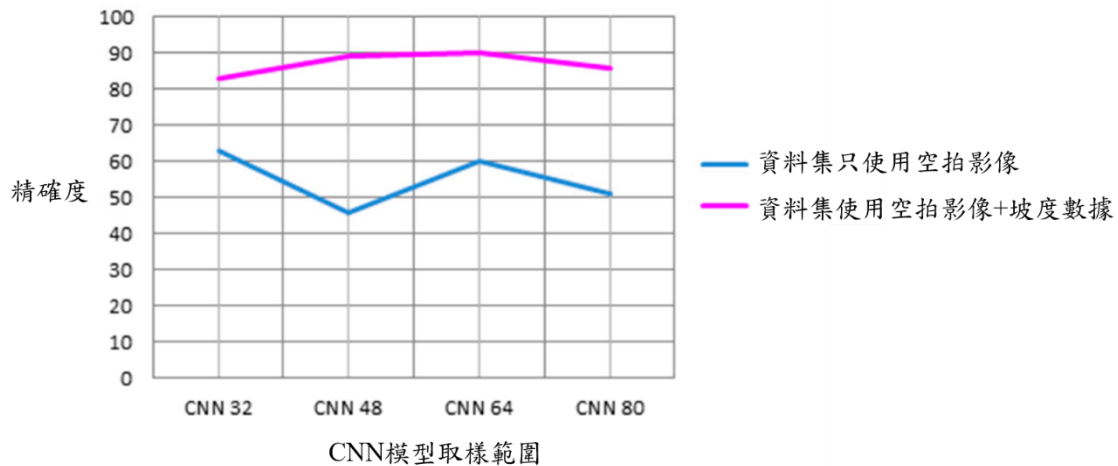
該研究以 UAV 搭配全球導航系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)拍攝印度北部喜馬拉雅山靠近恆河地區之高度破碎和風化的岩層邊坡之影像，並擇定一範圍 3.7 平方公里之邊坡為訓練影像(共拍攝 338 張影像)，另一範圍 2.45 平方公里之邊坡為測試影像(共拍攝 169 張影像)(使用 UAV 規格及採集相關數據如表 2-1)，並利用空拍影像拼接成正射鑲嵌影像(Ortho-mosaic Image)及生成 DEM，再從取得坡度數據。

再利用 CNN 模型進行學習，其比較 CNN 在不同取樣範圍、模型深度、資料集僅皆為空拍影像或納入坡度數據等情況，結論為使用空拍影像結合坡度數據之資料集，可大幅提高精度約 20~40%，取樣範圍則無太明顯優劣(如圖 2.4)。

表 2-1 UAV 規格及採集相關數據

無人機型號	DJI Mavic2 Pro
飛行高度	300 m
飛行速率	15 m/s
搭載相機	L1D-20c
相機解析度	5,472 x 3,648 像素
相機使用焦距	10.26 mm
相片重疊率	75%軌跡重疊；65%側面重疊
相片拍攝數量	訓練場址 338 張；測試場址 169 張
分辨率	約 11 cm
拍攝面積	訓練場址 3.7 km ² ；測試場址 2.45 km ²

資料來源：UAV-Based Slope Failure Detection Using Deep-Learning Convolutional Neural Networks.^[4]



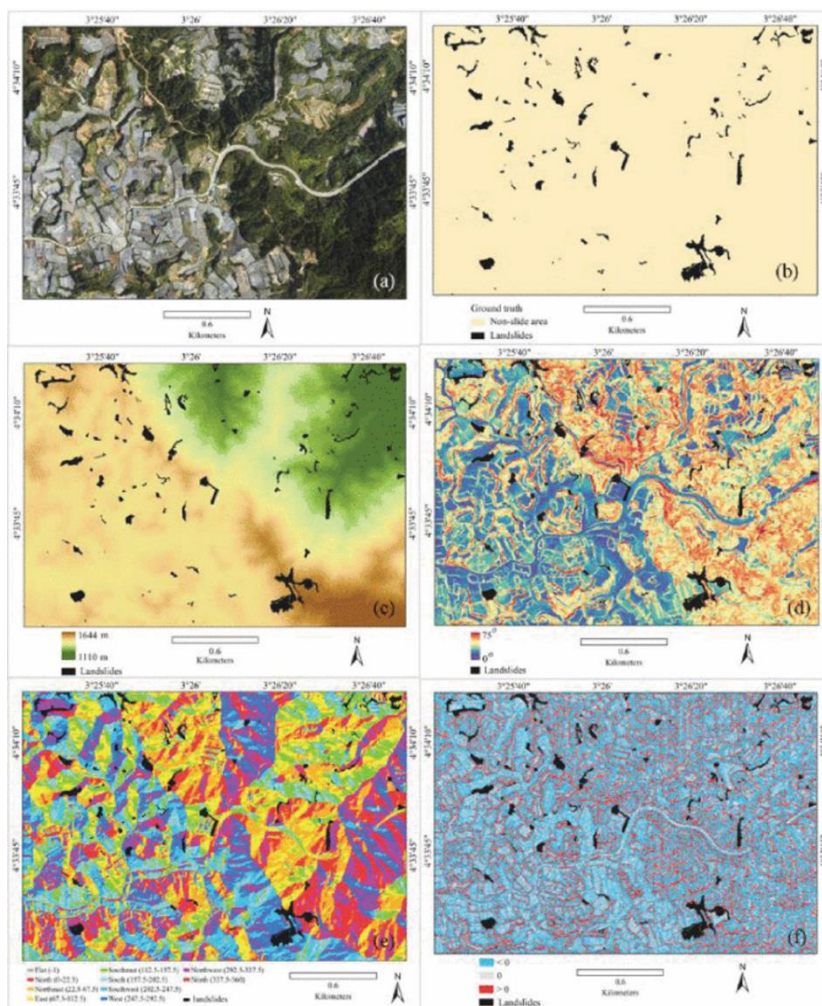
資料來源：UAV-Based Slope Failure Detection Using Deep-Learning Convolutional Neural Networks.^[4]

圖 2.4 不同資料集和取樣範圍對 CNN 模型之精確度

Maher Ibrahim Sameen 及 Biswajeet Pradhan(2019)^[5]提出一使用殘差網絡(Residual Net)和光譜地形信息融合來進行邊坡檢測的方法。

該研究提到過往利用基於圖片像素之辨別方法(Pixel-Based Methods)，準確率受原始影像之分辨率、傳感設備類型、正射校準誤差以及空拍之陰影、植被和雲層覆蓋面積等等影響，並總結該方法需要大量的參數調整和精確的幾何校正，並僅適用較為簡單且大面積之邊坡檢測。若需交付深度學習並強化邊坡特徵擷取，除了有優良品質的原始空拍影像外，仍建議加入地形因素(例如：坡度、曲率等)。

爰此，其使用航空正射影像(分辨率 10 m)及 LiDAR 創建了目標邊坡的 DEM(分辨率 1 m)，並導出高度、坡度、坡向、曲率等地形參數(如圖 2.5)，再設計了一殘差卷積神經網路進行訓練和測試，依其評估指標訓練及驗證精度可達 8 成以上。



(a)原始正射影像；(b)真實邊坡範圍；(c)高度；(d)坡度；
(e)坡向；(f)曲率

資料來源：Landslide Detection Using Residual Networks and the Fusion of Spectral and Topographic Information.^[5]

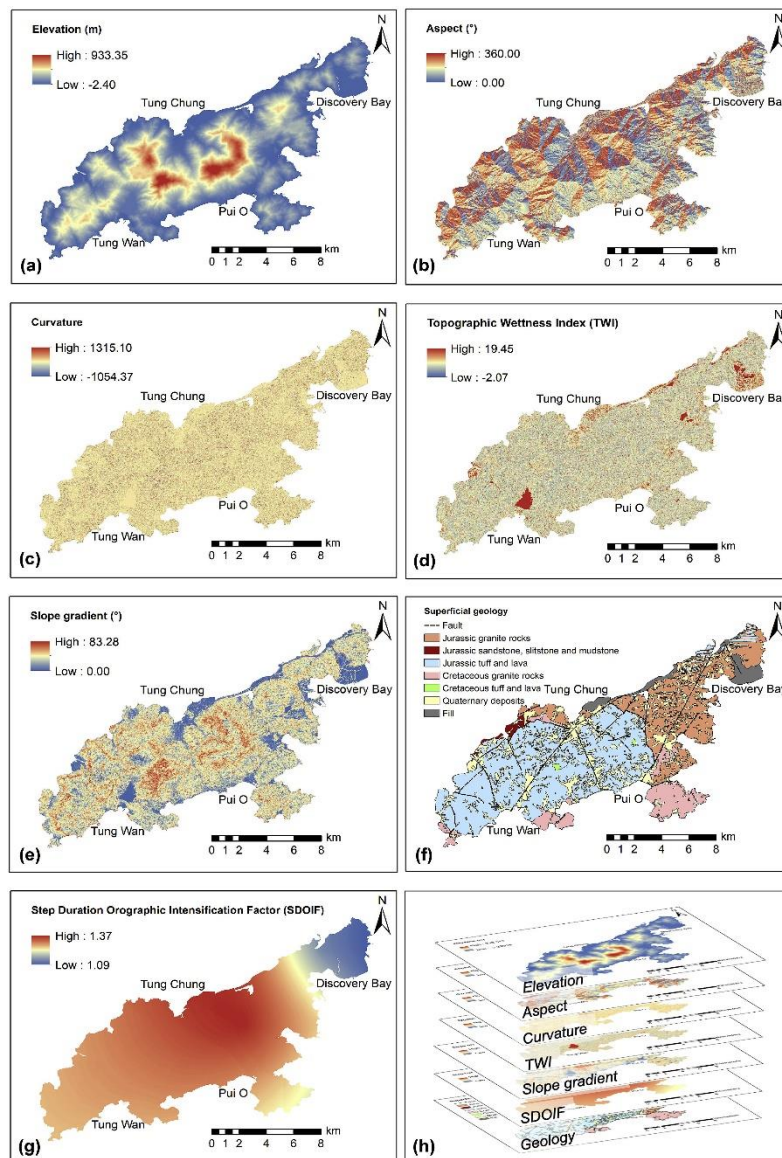
圖 2.5 模型學習資料集

Haojie Wang 等 5 人(2020)^[6]利用機器學習(Machine Learning)和深度學習方法來識別邊坡。

該研究以香港大嶼山為標的(分析總面積約為 147km²，共利用航照圖標記 5,810 處滑坡)，利用 2 m x 2 m 大小的高分辨率 DTM 來進行地

形特徵識別，並從中蒐集邊坡的環境因子，包含：地形數據(邊坡高程、坡向、曲率、坡降梯度及地形濕度指數(Topographic Wetness Index, TWI)等)、地質資料及降雨數據(如圖 2.6)，再經除錯、補遺的預處理後做為模型學習的資料庫使用。

其比較機器學習的邏輯回歸、支持向量機(Support Vector Machine, SVM)、隨機森林(Random Forest, RF)等和深度學習的 CNN，結果顯明 CNN 有最佳的識別準確度。

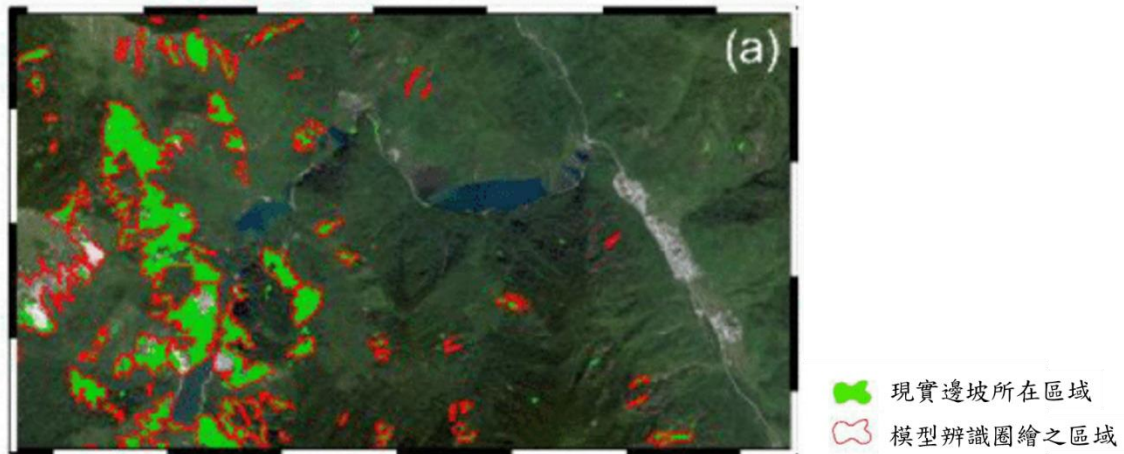


資料來源：Landslide identification using machine learning.^[6]

圖 2.6 做為學習資料集的邊坡環境因子

Yaning Yi 和 Wanchang Zhang(2020)^[7]利用衛星空拍影像結合深度學習來進行震後邊坡範圍自動判識及圈繪。

該研究不同於其他研究使用邊坡的 DEM、環境因子或其他影像分析方法來輔助特徵擷取及提升後續深度學習檢測效能，而是嘗試僅利用原始 RapidEye 衛星空拍影像(分辨率 5 m)並搭配資料增強(Data Augmentation)策略如：旋轉、裁切、翻轉影像增加學習資料集數量後，直接輸入他們建構的 LandsNet 模型，一種可用於特徵提取和分類的卷積神經網絡來進行學習，以達到範圍檢測和山崩區域分類(如圖 2.7)。其結果表明在表現較好的邊坡場域間可達到 85%以上的精確度。



資料來源：A New Deep-Learning-Based Approach for Earthquake-Triggered Landslide Detection From Single-Temporal RapidEye Satellite Imagery.^[7]

圖 2.7 LandsNet 進行圈繪之成果

Omid Ghorbanzadeh 等 5 人(2021)^[8]利用衛星空拍影像搭配深度學習檢測邊坡滑動之範圍。

該研究使用 Google Earth Engine(GEE)平台，並挑選臺灣(臺東)、中國(四川)、日本(北海道)三個不同區域的 Sentinel-2 光學衛星邊坡空拍影像(選用藍光、綠光、紅光及近紅外光波段，影像分辨率約 10 m)做為深度學習訓練及測試資料集(如表 2-2)。

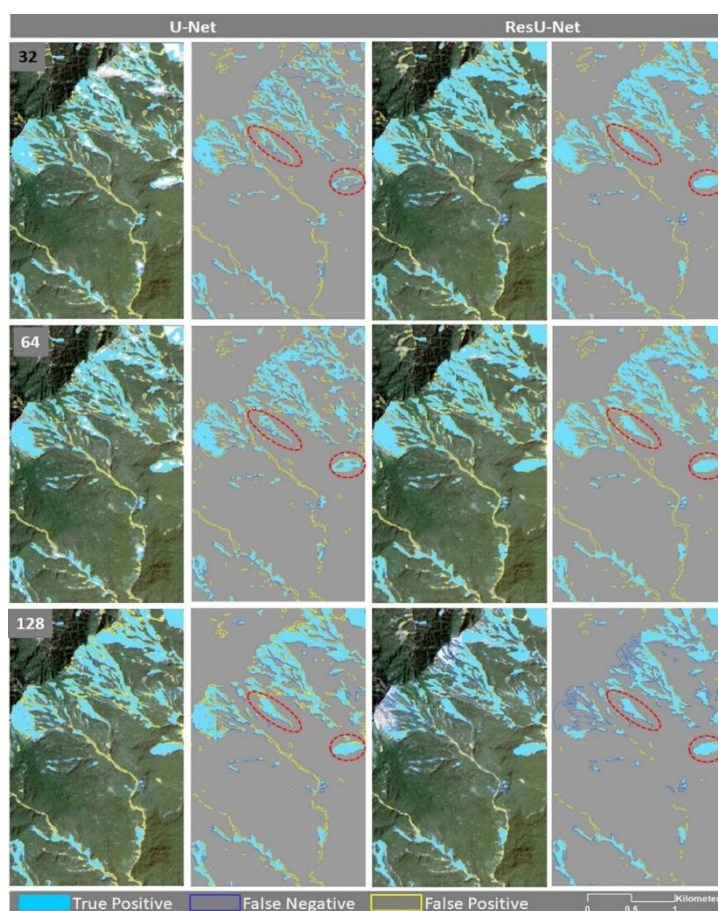
並使用兩種常見的卷積神經網路 U-Net 模型及加入殘差之 ResU-Net 模型進行學習，並比較不同取樣範圍(32 x 32 像素、64 x 64 像素、128 x 128 像素)的差異，結果顯明在 ResU-Net 模型平均能取得準確的

滑坡檢測結果，而 128 x 128 像素的取樣範圍下相對可有較好的表現(如圖 2.8)。

表 2-2 資料集說明

地區	影像時間	災害	實地範圍(公頃)	標記邊坡數量	雲覆率
臺灣	2009.08	颱風(莫拉克)	467.91	895	4%
中國	2017.08.08	地震	64.4	212	4%
日本	2018.09.06	地震	345.64	5625	2%

資料來源：A comprehensive transferability evaluation of U-Net and ResU-Net for landslide detection from Sentinel-2 data (case study areas from Taiwan, China, and Japan).^[8]



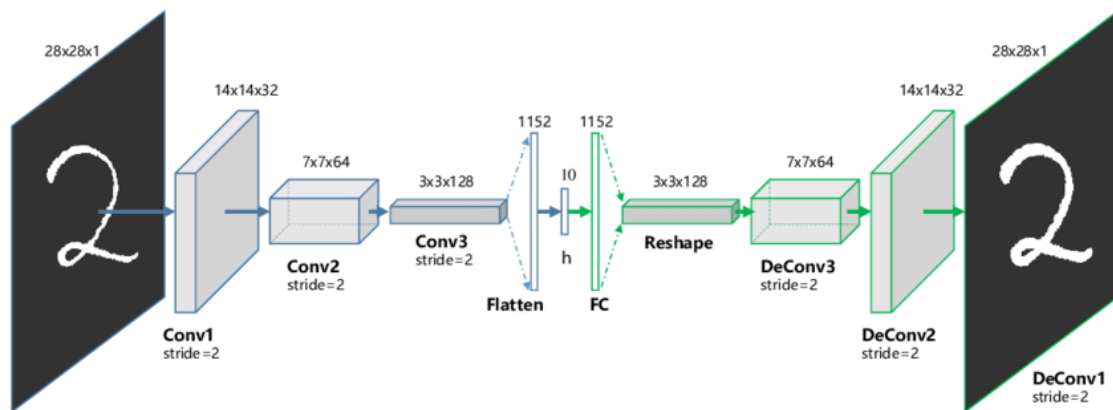
資料來源：A comprehensive transferability evaluation of U-Net and ResU-Net for landslide detection from Sentinel-2 data (case study areas from Taiwan, China, and Japan).^[8]

圖 2.8 U-Net 和 ResU-Net 在不同取樣範圍的比較

Wenzhong Shi 等 6 人(2021)^[9]有鑑於過往邊坡辨識之研究需要較多的資料預處理作業，致使自動化之程度略嫌不足，故提出一種使用最新

的深度學習技術和基於高分辨率空拍影像的進行邊坡識別的新方法。

該研究使用分辨率為 0.5 m 並經校正後之機載航拍影像為訓練集，並利用一基於 CNN 之非監督式學習演算法 AutoEncoder(如圖 2.9)實現邊坡特徵自動學習，再設計一用於前後期邊坡空拍影像變化檢測的 CNN 模型(Change Detection CNN，CDCNN)，使其可以共享前面 AutoEncoder 所提取之重要特徵權重後進行範圍識別預測，如此不僅能提升整體邊坡辨識自動化程度，亦降低模型識別之速度，更好的利用計算效能，除此之外，該方法的辨識準確率超過 80%，證明有其實用性。



資料來源：Deep Clustering with Convolutional Autoencoders.^[10]

圖 2.9 AutoEncoder 示意圖

2.2 國內文獻

溫振宇(2005)^[11]利用集集地震、桃芝颱風等災害所引致之山崩航照圖產製 DTM，並探討可能引致山崩因子的各項權重。研究指出山崩引致因子大小依序為：坡度、累積雨量、土地利用、岩性、高程、土壤種類、與構造物距離、最大地表加速度(Peak Ground Velocity，PGA)、與溪溝距離、坡向。

李秉乾等 6 人(2019)^[12]盤點全臺 2008 年至 2018 年重大颱風豪雨災害事件並彙整崩塌邊坡的衛星影像後，利用深度學習之遞迴神經網路(Recurrent Neural Network，RNN)建立邊坡崩塌風險評估模型。

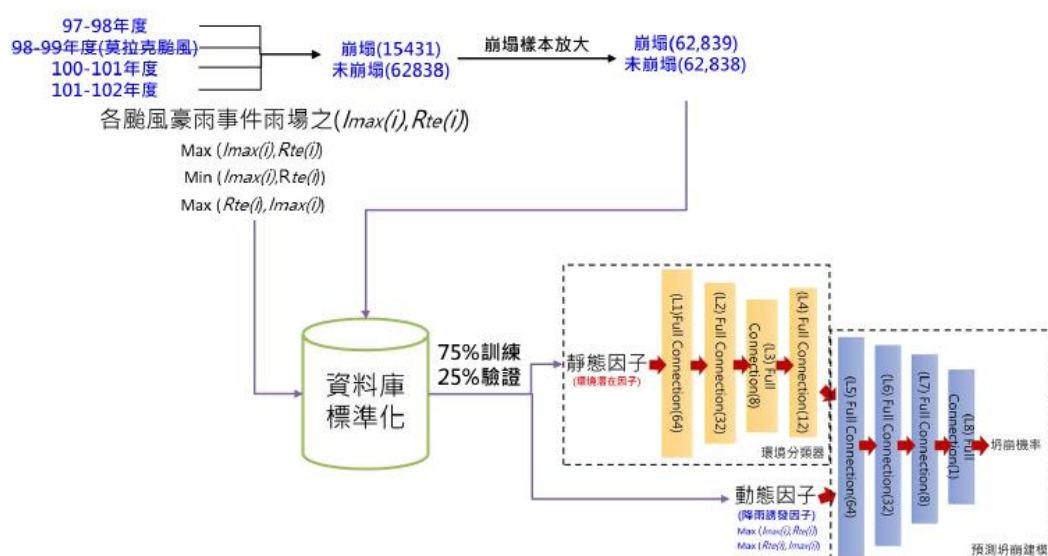
該研究首先建立邊坡資料庫，該資料庫分為四大部分，包含：(1)環境因子；(2)篩選因子；(3)驅動因子；(4)崩塌資訊。(如表 2-3)，再從

資料庫中挑選三項其認為至關邊坡崩塌重要的環境因子：地質、坡度、距河道遠近，利用 RNN 模型將邊坡進行分類，再利用驅動因子(降雨)以另一 RNN 模型進行某雨量下之邊坡崩塌預測，後將兩個模型進行串接做為其模型訓練架構(如圖 2.10)。

表 2-3 資料庫類型說明

類型	資料名稱	檔案形式
環境因子	地質	向量檔(多邊形)
	坡度	影像檔(解析度 5 m)
	坡向	影像檔(解析度 5 m)
	距河道遠近	向量檔(多邊形)
	差異化植生指標	影像檔(解析度 20 m)
篩選因子	高程	影像檔(解析度 5 m)
	河系圖	向量檔(多邊形)
	土地利用	向量檔(多邊形)
	海棠颱風後期陰影	向量檔(解析度 20 m)
	辛樂克颱風後期陰影	向量檔(解析度 20 m)
	莫拉克颱風後期陰影	向量檔(解析度 20 m)
驅動因子	降雨強度	影像檔(解析度 20 m)
	總有效累積降雨	影像檔(解析度 20 m)
崩塌資訊	海棠颱風前後期崩塌地影像	影像檔(解析度 20 m)
	辛樂克颱風前後期崩塌地影像	影像檔(解析度 20 m)
	莫拉克颱風前後期崩塌地影像	影像檔(解析度 20 m)

資料來源：應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式^[12]



資料來源：應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式^[12]

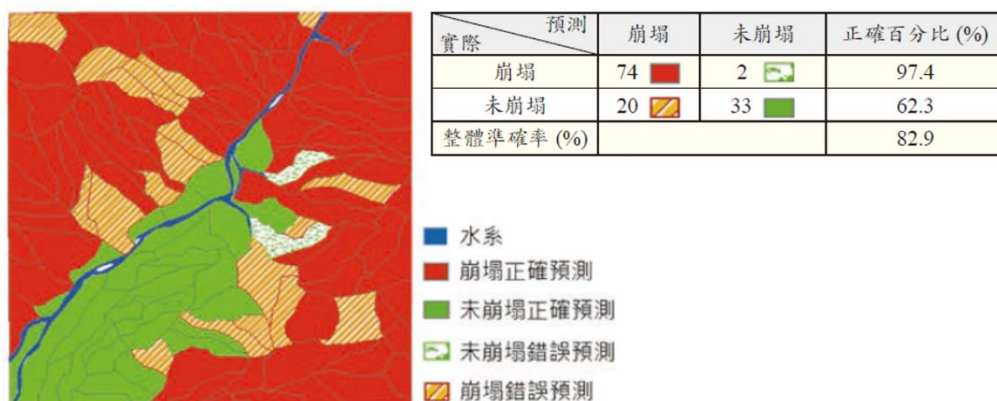
圖 2.10 RNN 模型訓練流程示意圖

詹繡襄(2021)^[13]利用衛星影像及基因演算自動演化類神經網路(Genetic Algorithm Neural Network, GANN)進行降雨引致之坡地崩塌災損評估。

該研究以嘉義縣觸口村土石流潛勢溪流區域之邊坡為對象，利用2011年南瑪都颱風侵襲前後之多時期福衛2號多光譜影像，搭配高程、坡向、坡度粗糙度、距水系距離、有效累積雨量及坡地利用等7項山崩災害潛勢因子為訓練資料，再以人工方式對欲判識區進行圈繪，做為標籤資料，之後以GANN模型進行地貌判識訓練和測試。後續則利用災前災後判識結果搭配相關價值計算後，推估災害所帶來的經濟損失。

林彥廷等9人(2021)^[14]利用干涉合成孔徑雷達(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)地表變位資料搭配AI來進行坡地崩塌預測。

該研究將邊坡崩塌原因分為本身環境條件(潛因)及促發因子(誘因)，並以2007年至2009年莫拉克風災後之高雄市小林村為例，將15.8平方公里範圍用做測區並劃分出129個斜坡單元，並選用了InSAR變位資料、平均降雨量、坡度、坡向等14個因子為分析基礎，經過相關性分析後發現坡度、坡向、高程、地形粗糙度、岩體強度、順向坡指標及平均降雨量為較顯著之崩塌因子。隨後利用2010年之各項時空條件，以AI預測前述斜坡單元是否發生崩塌，並比對2010年中央地調所公告之崩塌場址所在，藉以驗證模型學習後之預測成果。結果顯示其表現最佳模型之預測平均正確率可達82.95%(如圖2.11)。



資料來源：應用AI學習技術於坡地崩塌預測分析—以高雄市小林村為例^[14]

圖 2.11 預測成果分布圖

2.3 小結

由前揭相關文獻回顧可瞭解依適用範圍及目的性，國內外研究皆有使用如衛星、飛機及 UAV 等不同尺度之遙測載具取得邊坡空拍影像，經整理歸納後，得知欲進行影像辨識或目標偵測及分類任務，可利用空拍影像像素紋理特徵、可見光等不同波段光譜特性進行特徵萃取和處理，為提高辨識精度，亦可加入邊坡空間特徵資料(例如：DEM)、環境因子(例如：邊坡坡度、坡向、地質、高程、曲率等)共同分析，更甚者，可加入驅動因子(降雨強度、最大地表加速度等)進行邊坡災害預測。

第三章 公路邊坡維管機制及空拍影像適用性說明

3.1 邊坡定義及破壞類型

邊坡型式可能會誘發不同破壞類型，而為因應各項災後處置措施並達到整治成效，界定邊坡破壞類型為重要工作。依交通部公路邊坡工程設計規範^[15]定義邊坡為土壤或岩石等坡體材料構成之坡面，包含自然邊坡及經由人工挖填形成的坡面。其破壞類型可概分為以下三類：

1. 落石

陡峭邊坡因弱面發達裂痕加大，致使坡體之岩塊、石礫剝離或固結度低的土砂礫等，由坡面上崩落、掉落或翻倒。

2. 邊坡滑動

主要為坡體之破壞土石產生移動，依坡壞面的型態一般可分旋滑和平滑兩種。

3. 土石流

泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，以重力作用為主，水流作用為輔之高濃度流動體。

Varnes, D J(1978)^[16]將山崩之運動型態分類：墜落(Falls)、傾覆(Topples)、滑動(Slides)、側潰(Spreads)、流動(Flows)及複合式運動(Complex)，其定義分別為：

1. 墜落：指從陡峭的斜坡或懸崖上突然脫落，通過自由落體、彈跳及滾動向下運動的任何大小物質，可能為岩石或碎屑，運動速度快速。
2. 傾覆：指岩石或土壤塊體在失去平衡的情況下，沿著一個或多個軸向旋轉或傾斜，但沒有完全崩塌。
3. 滑動：指岩石或土壤塊體沿著一個或多個滑動面以剪切方式向下移動的過程，並可再細分為圓弧形(Rotational)滑動及平面型(Translational)滑動。

4. 側滑：指主要運動模式為側向擴展的滑動，通常發生在軟弱的土壤和岩石中，並且可能會導致地面的裂開、變形和沉降。

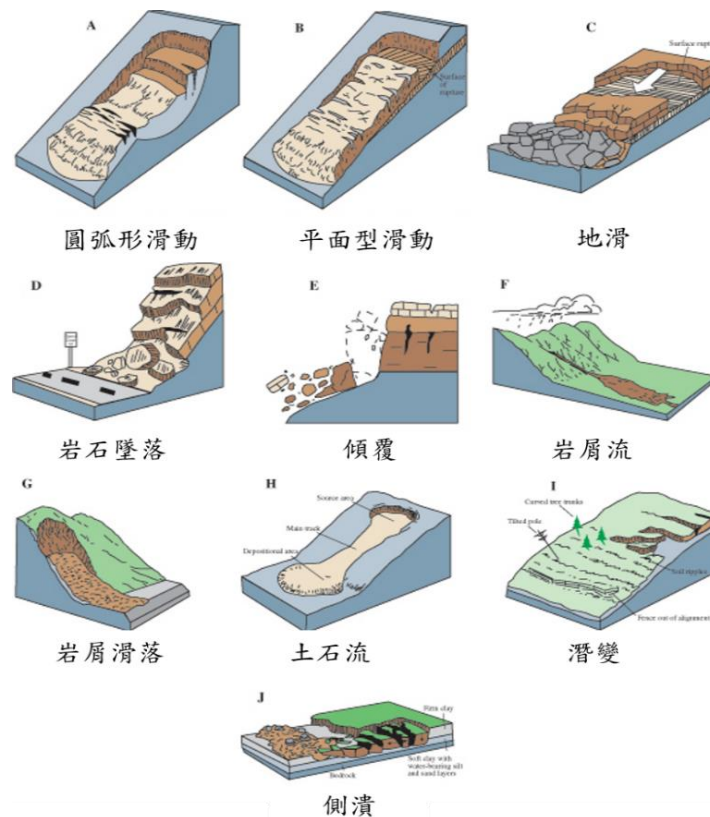
5. 流動：指岩石或土壤塊體等混合如可塑性流體

若加上材料的性質，可整理如表 3-1，相關破壞型態示意圖如圖 3.1。

表 3-1 不同材料之邊坡破壞類型

破壞類型		材料類型	
		岩體	土砂
			粗粒料為主 細粒料為主
墜落		岩石墜落	岩屑墜落 土墜落
傾覆		岩石傾覆	岩屑傾覆 土傾覆
滑動	圓弧形	岩石滑動	岩屑滑動 土滑動
	平面型		
側潰		岩石側潰	岩屑側潰 土側潰
流動		深層潛移	岩屑流 土流動
複合性破壞		複合兩種或兩種以上之類型	

資料來源：Slope Movement Types and Processes.^[16]



資料來源：Landslide Types and Processes.^[17]

圖 3.1 邊坡破壞類型示意圖

交通部公路邊坡工程設計規範翻譯 Hungr(2013)^[18]的邊坡破壞型態並將其提供公路邊坡工程參採，如表 3-2。

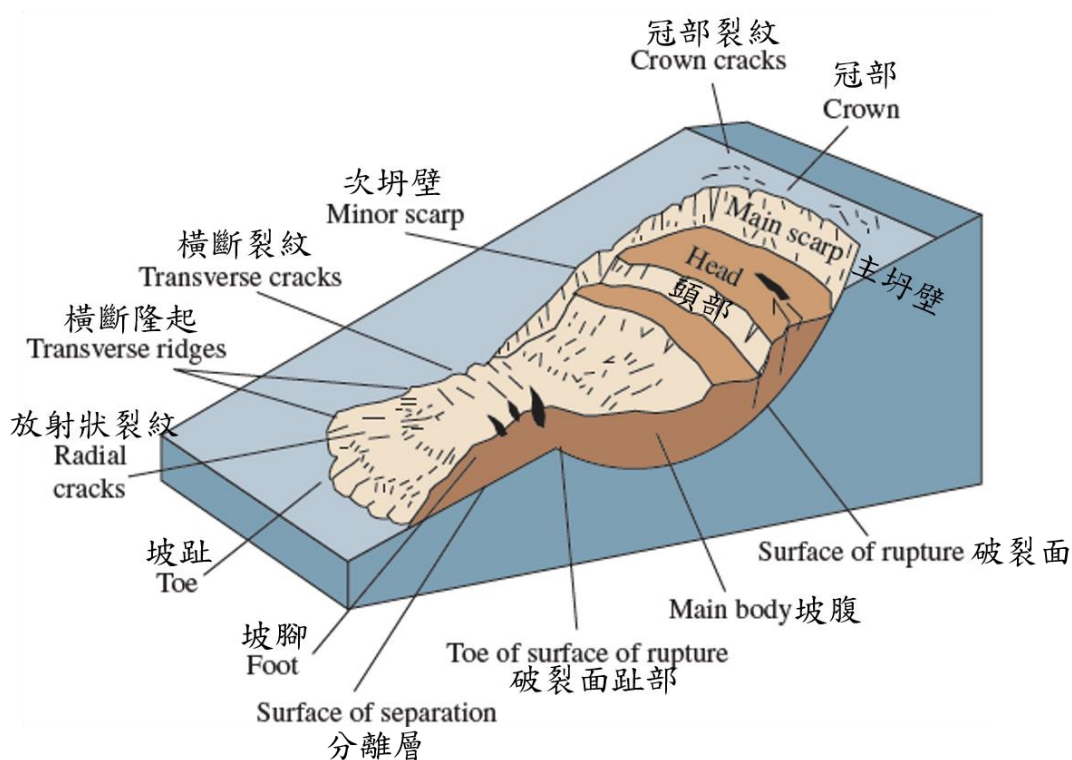
表 3-2 邊坡破壞型態分類

運動型態	材料種類	
	岩體	土壤
墜落	岩石墜落	巨礫/岩屑/粉砂墜落
翻覆、傾覆	岩石塊體傾覆 岩石撓曲傾覆	礫石/砂/粉砂傾覆
滑動	岩石弧形地滑 岩石平面型滑動 岩楔滑動 岩石複合滑動 岩石不規則滑動	黏土/粉砂弧形地滑 黏土/粉砂平面型地滑 礫石/砂/岩屑滑動 黏土/粉砂複合滑動
側潰	岩坡側潰	砂/粉砂液化側潰 靈敏性黏土側潰
流動	岩石崩滑、岩石崩流	砂/粉砂/岩層不飽和流動 砂/粉砂/岩屑流動 靈敏性黏土流動 土石流、岩屑流 泥流 岩屑洪流 土石崩流 土流 泥碳流
坡體變形	山坡變形 岩坡變形	土坡變形 土壤潛移 土石緩滑

資料來源：交通部公路邊坡工程設計規範^[15]

據美國地質調查局(United States Geological Survey, USGS)(2014)^[17]，定義山崩地滑為各種材料(包含岩石、土壤、人造填充料等)組合向下和向外移動的過程，其常見特徵如圖 3.2。

有關發生山崩地滑的原因，其歸類為(1)地質因素(軟弱材料、逆向不連續面)、(2)型態因素(植被覆蓋、風化)、(3)人為因素(濫墾)，並加上後天的因素驅使，例如：強降雨、地震等等。



資料來源：Landslide Types and Processes.^[17]

圖 3.2 山崩地滑常見特徵

台灣世曦工程顧問股份有限公司(2015)^[19]彙整較具代表性且規模較大之公路邊坡災害及其破壞模式，如表 3-3，發現墜落及滑動之邊坡災害較為常見，並且常有複合性的破壞模式。

表 3-3 臺灣公路邊坡災害及其破壞模式

公路邊坡 災害地點	行政區	地層	主要破壞模式					道路災害類型			
			墜落	傾覆	滑動	流動	複合	上邊坡	下邊坡	整體邊坡	河岸侵蝕
汐萬路彩虹橋	新北市汐止區	五指山層			V		V			V	
北 31 線汐平路	新北市汐止、平溪區	五指山層	V	V	V		V	V	V	V	V
北 33 線汐碇路	新北市汐止、石碇區	五指山層	V		V		V	V	V	V	V
149 甲線 32K	雲林縣古坑鄉	錦水頁岩、卓蘭層			V	V	V			V	
台 18 線	嘉義縣番	達邦層、南			V		V			V	

37K	路鄉	莊層									
台 18 線 59K	嘉義縣阿 里山鄉	達邦層、南 莊層	V		V		V			V	
台 18 線 71K	嘉義縣阿 里山鄉	達邦層、南 莊層	V		V		V			V	
台 18 線 69.3K- 90.9K	嘉義縣阿 里山鄉	南莊層、桂 竹林層	V	V				V			
149 甲 線 47.1K	嘉義縣梅 山鄉	南莊層			V						V
台 24 線 34K	屏東縣霧 台鄉	潮州層：板 岩、硬頁岩			V		V			V	
高 133 線 6K 不老溫 泉區	高雄市六 龜區	樟山層：台 地堆積層			V				V		V
台 20 線 191K 嘉寶 隧道	台東縣海 瑞鄉	片岩			V			V			
台 9 線 421.7K	台東縣太 麻里鄉	潮州層：硬 頁岩與變 質砂岩互 層	V					V			
台 20 線 182.7K	台東縣海 瑞鄉	畢祿山層： 板岩、千枚 岩、變質砂 岩互層	V					V			
台 20 線 146.8K	台東縣海 瑞鄉	畢祿山層： 板岩、千枚 岩、變質砂 岩互層	V		V					V	
台 20 線 157.6K	台東縣海 瑞鄉	畢祿山層： 板岩、千枚 岩、變質砂 岩互層			V					V	
台 20 線 193.4K	台東縣海 瑞鄉	大南澳片 岩：變質砂 岩	V							V	
台 9 線 439-441K	台東縣大 武鄉	潮州層：變 質砂岩、硬 頁岩	V		V						V

資料來源：極端氣候下公路邊坡災害復建工程設計探討(本報告整理)^[19]

3.2 公路邊坡維護管理制度介紹

我國公路邊坡主要轄管機關為交通部公路局(簡稱公路局)以及交通部高速公路局(簡稱高速公路局)，其依交通部頒訂「公路邊坡大地工程設施維護與管理規範」^[20]要求辦理邊坡巡查、檢測及監測作業。

1. 公路局

公路局主要負責省道管養工作，而其中約 20%的省道位於海拔 500 公尺以上，位於海拔 1,000 公尺以上則約佔 11%，為保障用路人安全，邊坡維護管理相對重要。2018 年公路局始推動「邊坡定性定量分級暨進階檢測圖資建置計畫」，在原本 A、B、C、D 四個等級的邊坡分類(如表 3-4)下，利用「落石災害評分系統(Rock-fall Hazard Rating System，RHRS)」的 10 項評估因子之總分，針對分級 A、B 之不穩定徵兆邊坡再進行 1~5 級距之細部分類，並明訂應用航拍技術輔助邊坡巡查(如表 3-5)。

表 3-4 公路局邊坡定性分級管理制度

邊坡分類	2 年內 災害紀錄	5 年內 災害紀錄	護坡設施	邊坡 不穩定徵兆
A	有		復(興)建中	明顯
B	有		無法設置	疑似
C		有		無
D		未有		無

表 3-5 公路局利用 RHRS 定量評估項目說明

評估因子		評估項目		評分準則			
				3 分	9 分	27 分	81 分
道路 現況	地形特徵 A1 [取平均]	坡高(m)		5-14	15-24	25-34	35 ↑
		坡度(度)		40-49	50-59	60-69	70 ↑
		坡型 [取最大值]				凹直形 凸嘴形	凸直形 凹凓形
	地質狀況 A2 [取最大值]	岩性		結晶質	粗顆粒	泥岩石	斷層帶
		不連續面		塊狀	節理 發達	破碎、 變形	崩積、 開裂
		順向坡	傾角 ≤ 坡度		未見砍腳，無差異侵蝕	未見砍腳，差異侵蝕	砍腳

			傾角>坡度		無差異侵蝕	差異侵蝕、層間無剪裂開裂	差異侵蝕、層間有剪裂開裂
	邊坡植被及水流狀況 A3 [取最大值]	植被面積(%)		80 ↑	79-30	29-10	10 ↓
		排水設施		截排水完整	截排水不完整或損壞	出現溝蝕、明顯沖刷	溝蝕已堆積落石
行車風險評估	近 3 年平均落石坍方歷史 C1 [取最大值]	災害紀錄 (次/年)		1 ↓	2-3	4-6	6 ↑
		落石頻率		每季 1 次以下	高於每季 1 次	高於每月 1 次	高於每週 1 次
	近 3 年落石尺寸及坍方規模大小 C2 [取最大值]	坍方落石量(m³)		200 ↓	200-499	500-999	1000 ↑
		落石尺寸(m)		0.2 ↓	0.2-0.6	0.6-2.0	2.0 ↑
	交通流量狀況 C3	日平均交通量 (PCU)		5000 ↓	5000-9999	10000-19999	20000 ↑
	道路寬度及腹地有無 C4 [取平均]	道路寬度(m)		9 ↑	9 ↑	9 ↓	9 ↓
		腹地有無		有	無	有	無
	區域聯外交通影響 C5	風景遊憩區主要道路		否	是	否	是
替代道路		有	有	無	無		
加權乘子							
氣象加權 B1		前一年度連續降雨月份單日最高降雨量 (mm)	*1.0	*1.1	*1.2	*1.3	
			130 ↓	130-199	200-349	350 ↑	
現有防護設施加權 D1		防護設施成效	*0.7	*0.8	*0.9	*1.0	
			有二項防護設施且施作完成5年以上，成效驗證良好 (含預力地錨者於1年內已檢測過且有監控系統)	有一項防護設施效果佳或施作完成2年以上，成效驗證良好 (含預力地錨者於2年內已檢測過且有	有防護設施但成效不佳或防護設施已施作完成尚未滿2年成效驗證 (含預力地錨者於2年內已檢測	無防護設施或防護措施無法消除致災成因 (含預力地錨者於2年內均未辦理檢測過)	

			監控系 統)	過但無 監控系 統)	
總分 = [(A1+A2+A3)xB1+(C1+C2+C3+C4+C5)]xD1					
總分級距	0~109	110~219	220~329	330~439	440 以上
危險度等級	1	2	3	4	5
危險度說明	低風險	中低風險	中風險	中高風險	高風險
工具	以目力或 輔以簡單 器具	以目力或 輔以簡單 器具	以目力或 輔以簡單 器具	以目力或 輔以簡單 器具	以目力或 輔以簡單 器具
			UAV (工務段 自辦)	UAV (工務段 自辦)	UAV (工務段 自辦)
				UAV 、 LiDAR 或 其他遙測 科技設備 判識技術 (委外辦 理)	UAV 、 LiDAR 或 其他遙測 科技設備 判識技術 (委外辦 理)
項目	邊坡外觀及人工設施檢視				
	—	邊坡外觀空拍巡檢			
		邊坡分級調整建議			
		—	變異性分析(以 3D 數 值模型比對)		
			浮、落石分析(以 3D 點雲圖檢視)		
張力裂縫發現或檢視					
綜合評估建議(含後 續關注異狀項目、後 續維護、補強與整治 工法)					
頻率	以目力或輔以簡單器具：1 次/年				
	—	UAV(工務段自辦)：1 次/季			
		—	UAV、LiDAR 或其他 遙測科技設備判識技 術(委外辦理)： <u>每次汛 期前至少 1 次</u> *若評為危險度 5 之邊 坡需要於 10 月前加辦 1 次		

依公路局自 2018 年統計至 2021 年，分類為 4~5 級的重點關注邊坡有 44 處，統計如表 3-6。

表 3-6 公路局重點關注邊坡(統計區間：2018~2021 年)

工程處	邊坡定性分級				RHRS 定量分級			
	A 級	B 級	C 級	D 級	第 1、2 級	第 3 級	第 4 級	第 5 級
一工處	15	3	174	185	7	8	3	0
	合計：377 處				合計：18 處			
二工處	16	7	79	103	11	2	7	3
	合計：205 處				合計：23 處			
三工處	16	16	135	98	15	4	10	3
	合計：265 處				合計：32 處			
四工處	23	3	410	124	8	7	8	3
	合計：560 處				合計：26 處			
五工處	15	5	45	54	8	5	7	0
	合計：119 處				合計：20 處			
數量 總計	85	34	843	564	49	26	35	9
	1526 處				119 處(優先關注邊坡共 44 處)			

附註：

1.統計資料顯示為公路局轄下各分局組改前舊稱(工程處)

2.RHRS 定量分級為 4、5 級為優先關注邊坡

資料來源：公路局邊坡維護管理制度會議簡報(110 年 1 月 12 日)(本報告整理)^[21]

目前公路局的邊坡養護巡查機制，已經從待通報災害發生後，才派遣人員及機具至現場協處，相對較為被動的作為，轉變為主動利用遙測及相關新興科技，以固定頻率針對重複易致災點位進行多時期觀測和建立基本圖資，並建置系統針對取得圖資予以儲存、分析和比對等加值應用，以為數據統計、決策分析或建置告警系統和防護手段之依據。

以 UAV 科技巡檢為例，平時會依照岩石或土質邊坡進行各項現場調查，包含：植生狀況、浮落石位置、張力裂縫等，並佈設 UAV 控制點，再利用飛航規劃及定時拍照功能，拍攝連續且重疊之影像(如圖 3.3)後使用後製軟體進行三維建模或點雲套疊差異分析(如圖 3.4)，

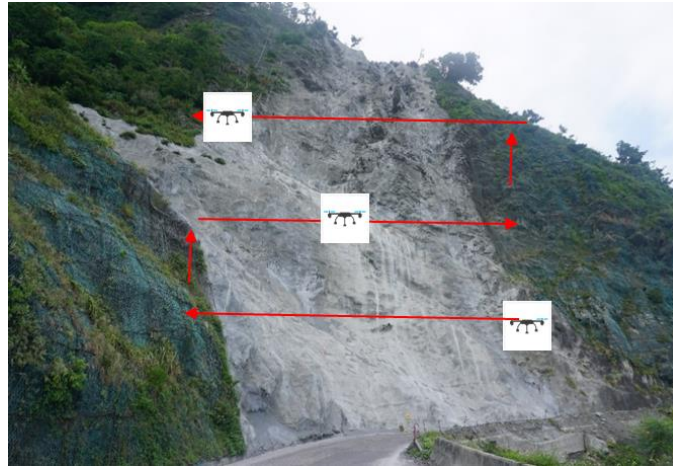


圖 3.3 UAV 飛航規劃

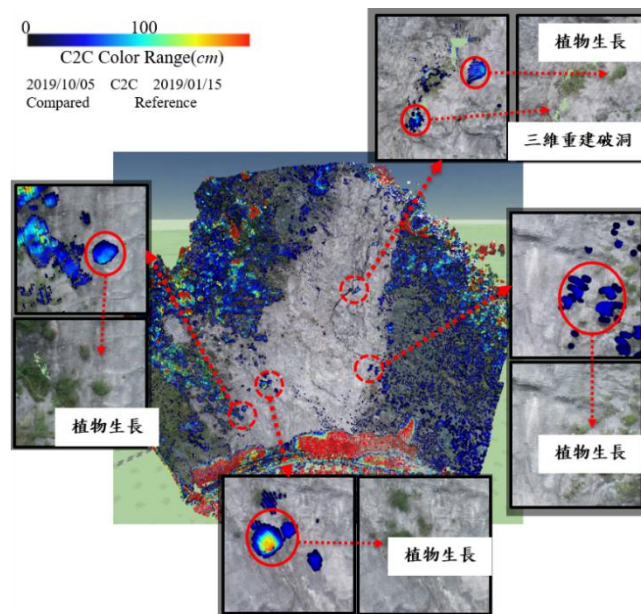
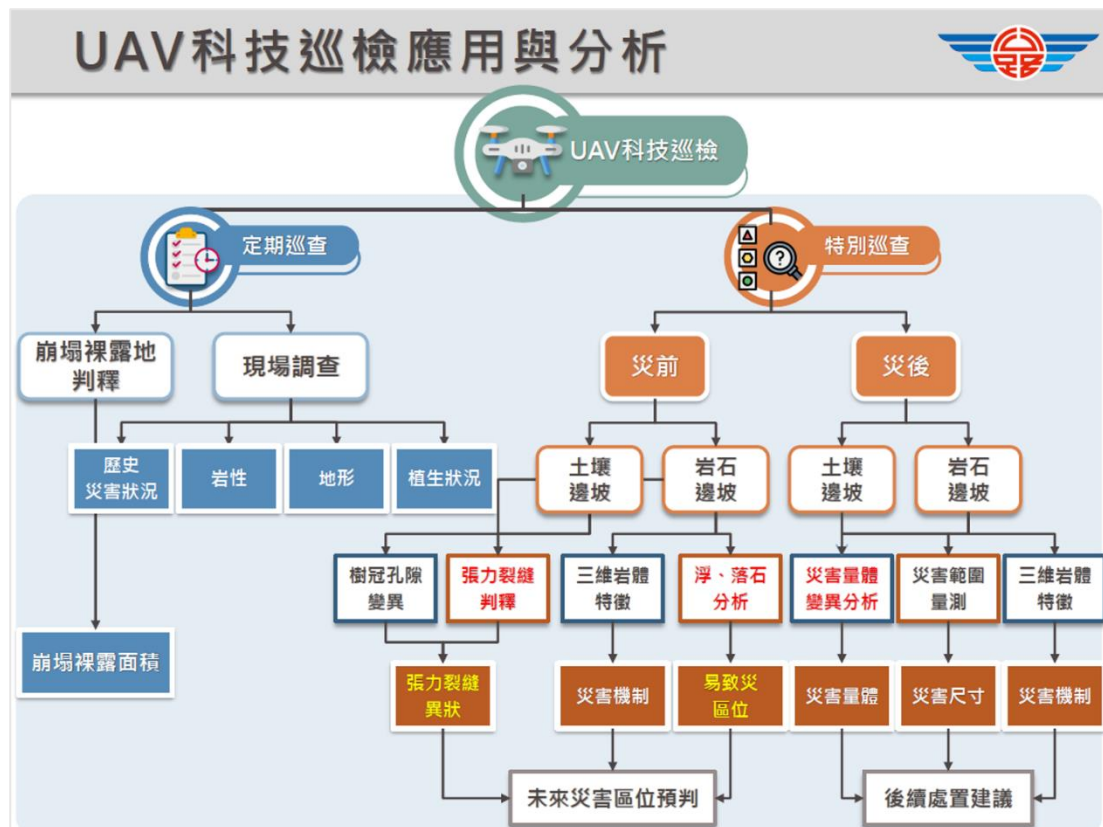


圖 3.4 多期三維影像套疊比對分析邊坡變位

災害過後，以地震為例，會因應不同震度並配合邊坡分級制度啟動相應之維管機制(如表 3-7)。依照不同災害的發生尚會進行量體變異分析、災害範圍量測等工作，以迅速達成處置建議(如圖 3.5)。

表 3-7 公路局中區養護工程分局震後邊坡巡查規定

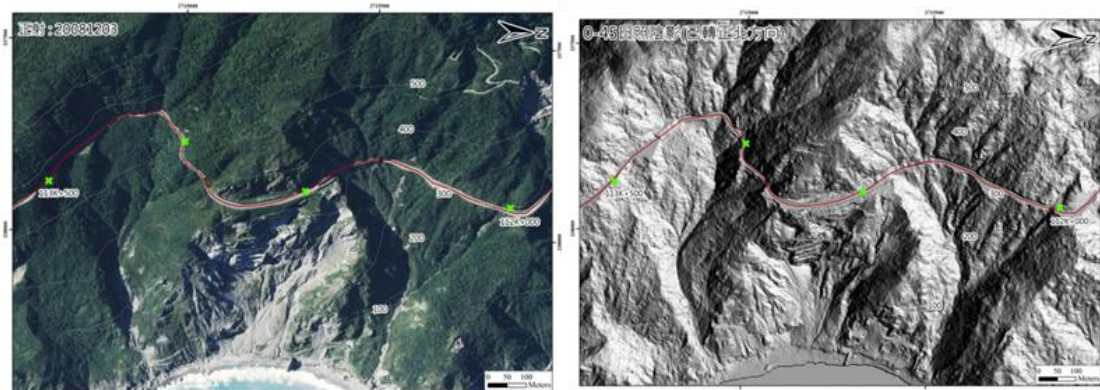
震度分級		最大地動加速度 PGA(gal)	最大地動速度 PGV(cm/s)	邊坡養護管理機制
0-3	無感-弱震	0-25	<5.7	
4	中震	25-80	5.7-15	優先關注邊坡特別巡查
5 弱	強震	80-140	15-30	A~D 級邊坡特別巡查
5 強	強震	140-250	30-50	
6 弱	烈震	250-440	50-80	● ABC 級邊坡 (1)7 日內完成特別巡查 (2)實施朝巡 1 週 (3)取得空中或衛星影像 ● D 級邊坡 2 日內實施特別巡查 ● 大型地滑、順向坡 2 週內完成特別檢測
6 強	烈震	440-800	80-140	
7	劇震	>800	>140	



資料來源：公路局邊坡維護管理制度會議簡報(110 年 1 月 12 日)^[21]

圖 3.5 公路局邊坡使用 UAV 科技巡檢應用與分析流程

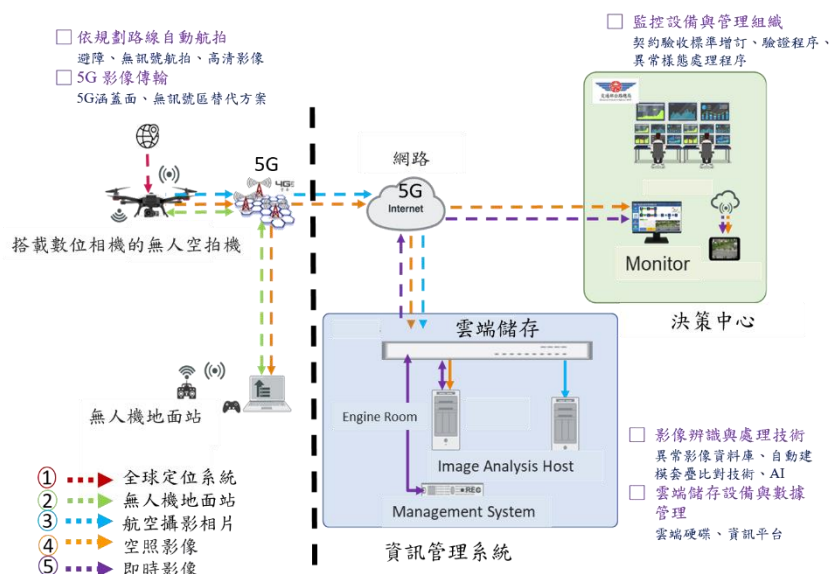
一般 UAV 主要應用於邊坡表面可視之徵象進行調查，例如：張力裂縫、倒懸孤石……等等，較適用於裸露邊坡，而在地表覆蓋植被下的邊坡狀態，則需搭配空載光學雷達(LiDAR)來進行，藉由 LiDAR 產製數值高程模型，以獲取地表高程變化和更細緻的災害特徵。例如：公路局於蘇花公路九宮里路段由 UAS 搭載 LiDAR 建立沿線正射影像及 3D 數值地表模型(如圖 3.6)。



資料來源：公路局推動科技應用於山區公路養護管理階段成果分享(107 年)^[22]

圖 3.6 公路局使用 UAS 搭載 LiDAR 建立邊坡 DEM

公路局戮力朝科技應用於邊坡養護管理及數位轉型目標前進，除持續蒐整邊坡空拍影像及產製相關數位模型，亦訂立相關資料儲存格式及標準，並利用雲、地端資料庫結合 AI 來進行加值分析和應用，以強化科技防災及邊坡治理(如圖 3.7)。



資料來源：地工數據分析應用於道路智慧化簡報(112 年)^[23]

圖 3.7 公路設施維護管理數位轉型未來圖像

2. 高速公路局

高速公路局主要負責國道路權內邊坡全生命週期之維護管理，相關規定依「高速公路養護手冊」^[24]要求辦理。高速公路局邊坡形式主要可分成路堤邊坡及路塹邊坡，路堤邊坡定義為因道路開闢而填方邊坡，路塹邊坡則為挖方邊坡，並且依 A～D 級進行邊坡的分級，依照其官網統計至 111 年 6 月 20 日之邊坡數量約有 2,567 處(如表 3-8)。

表 3-8 高速公路局邊坡分級與數量

管理 局處	A 級 邊坡有明顯 不穩定徵兆		B 級 邊坡發現有 些許疑似不 穩定徵兆		C 級 邊坡無明顯 不穩定徵兆		D 級 邊坡處於穩 定狀態		合計 (處)	
	路塹	路堤	路塹	路堤	路塹	路堤	路塹	路堤	路塹	路堤
北分局	0	0	3	0	361	21	165	182	529	203
中分局	0	0	1	0	46	55	135	677	182	732
南分局	0	0	3	0	62	42	151	663	216	705
小計	0	0	7	0	469	118	451	1522	927	1640
總計	0		7		587		1973		2567	

高速公路局的邊坡巡查機制包含：經常巡查、定期巡查及特別巡查，依照不同邊坡分類，訂立不同的巡查頻率(如表 3-9)。經常巡查重點在於對用路人是否造成影響，實施方法為以 2 人為 1 組乘坐汽車並於車上進行邊坡目視，若發現有可疑處應下車靠近檢查；定期巡查為定時對邊坡進行全面性且詳細的巡查並記錄追蹤狀況，實施方法為利用徒步、攀登或特殊機械車輛儘可能靠近邊坡坡面、穩定設施及排水設施，以判定邊坡之安全情形；特別巡查係針對天然災害、事故或其他目的評估對邊坡的損害，以利適時進行維護、補強與整治。後續依巡查結果再重新評估邊坡分級是否合理，並進行相應之後續維護工作。

表 3-9 高速公路局巡查頻率規定

類別	經常巡查	定期巡查	特別巡查
頻率	路塹邊坡： 每天至少 1 次 路堤邊坡： 每月至少 1 次，以日間巡查為主	A 級： 每月 1 次 B 級： 每季 1 次 C 級： 每年 1 次 D 級： 每 3 年 1 次	於颱風(7 級風暴半徑內之警戒範圍)、豪雨(24 小時累積雨量達 200 毫米以上或 3 小時累積雨量達 100 毫米以上)、地震(地區震度 4 級以上)或人為破壞因素(如火災或車輛撞損等)後，經啟動特別巡查後 3 個日曆天辦理完畢，若數量眾多可針對優先關注對象先行。
巡查重點	對用路人造成影響，需緊急維護之崩塌異狀或損壞	定期實施邊坡全面巡查，早期發現劣化狀況並評估安全	評估天災及事故後是否造成邊坡損害，以利適時進行維護、補強與整治

高速公路局邊坡經常巡查以日間為主，檢查項目包含是否有以下狀況：(1)路基損毀滑落、(2)邊坡沖蝕塌落、滲湧水、(3)其他。並留存相關紀錄。邊坡定期巡查項目則依路堤邊坡及路塹邊坡，涵蓋坡面、穩定設施及排水系統(如表 3-10、表 3-11)，該兩表中檢查項目有註記*字者，為後續邊坡分級參考項目。

表 3-10 高速公路局路塹邊坡定期巡查檢查表

項次		檢查項目	影響程度		
			低 (功能性仍良好，不需採取維護作業)	中 (不影響邊坡安全，維護作業不具急迫性)	高 (對邊坡安全性可能影響，維修作業具有急迫性)
坡面	1*	邊坡坡頂裂縫或陷落	無明顯異常裂縫	有差異沉陷產生	明顯裂縫或凹陷
	2*	路面龜裂或局部陷落、隆起	路面無明顯異常現象	路面張力裂縫不大，無陷落	路面出現陷落或隆起
	3*	坡面鼓出、滑移、坍塌或崩落	無明顯異常裂縫或坍塌	裂縫或僅有小坍塌發生	明顯裂縫或有大坍塌
	4*	坡面侵蝕、冲刷、回填材料流失	植被良好	坡面有裸露	有沖蝕、雨蝕溝之現象
	5*	坡面異常滲水	無異常滲水	有異常滲水但影響輕微	有異常滲水

	6*	落石	無落石發生徵兆	有潛在落石發生徵兆，但不影響行車安全	有潛在落石發生徵兆或有落石，且會影響行車安全
	7	超載堆積物(含垃圾)	無堆積現象	僅少數堆積，且未位於坡頂	堆積量大，且位於坡頂
	8	樹木傾倒、植生枯損、雜草異常茂盛	無傾倒或目視不明顯	現象輕微	多處有傾斜或明顯異於周邊
	9	路權內耕作或佔有	無耕作或佔有現象	疑似有耕作或佔有現象	確認有耕作或佔有現象
	10	監測設施外觀損傷	無損傷	損傷尚不影響監測設備之運作	損傷已可能影響監測設施之運作
	11*	路權外土地利用改變或加載	無土地利用改變或加載	疑似有土地利用改變或加載	確認有土地利用改變或加載
穩定設施	1*	混凝土(噴凝土)裂縫、龜裂	無明顯異常裂縫、龜裂現象	有明顯裂縫或龜裂	多處發生且位於下部位置
	2*	擋土設施沉陷、傾斜，移位或基礎淘空	無明顯異常整體沉陷移動	輕微整體沉陷移動	明顯整體沉陷移動
	3*	護坡設施變形、鼓出或凹陷	無明顯龜裂變形或僅表層龜裂	有明顯裂縫但無傾斜外凸	明顯傾斜或外凸
	4*	設施接縫異樣、開裂分離或劣化	不明顯	有少數裂縫但無傾斜或位移	多處發生，且有明顯異於周邊之傾倒或位移情形
	5*	箱籠、加勁擋土牆牆面破損、土石外露	無破損	牆面破損，土石外露但未流失	牆面破損且土石嚴重流失
	6*	混凝土材料劣化、剝落或其他異常	無或少數僅發生於上部位置	發生於中間位置	多處有損壞或發生於下部位置
	7*	鋼筋外露侵蝕	無或少數僅發生於上部位置	發生於中間位置	多處有損壞或發生於下部位置
	8*	框梁、格梁周圍沖刷及淘空	無明顯沖刷及淘空	輕微沖刷及淘空	明顯沖刷及淘空
	9*	設施表面異常滲水	無異常滲水	有異常滲水但影響輕微	有異常滲水
	10*	錨頭保護蓋破損、掉落、鋼腱外露或防鏽脂外洩	無破損、掉落、鋼腱外露或防鏽脂外洩	少數破損、掉落、鋼腱外露或防鏽脂外洩	錨頭破損、掉落、鋼腱外露或防鏽脂外洩情形普遍
	11*	地錨錨頭周圍沖蝕及淘空	無明顯沖刷及淘空	輕微沖刷及淘空	明顯沖刷及淘空
	12*	地錨承壓結構	無承壓結構體損	少數承壓結構體	承壓結構體嚴重

		體破損掉落	壞現象	損壞現象	損壞
排水設施	1*	排水溝(井)銜接不良、中斷、斷裂、破損、變形	無異常	僅有少部分斷裂、破損，不影響排水功能	排水溝斷裂、破損、變形導致排水流失或水溢流至排水溝外
	2	排水溝(井)堵塞、淤積	僅局部淤積	排水不良且有積水現象	堵塞、淤積情形嚴重，導致水流溢流至排水溝外
	3*	水平排水管、洩水孔堵塞或細粒料流失	排水功能良好	細粒料伴隨排水流失	排水功能喪失，由坡面或其他設施表面滲水
	4*	排水溝(井)外側或底部沖刷、下陷	無明顯沖刷及下陷	輕微沖刷及下陷	明顯沖刷及下陷
	5*	排水溝(井)混凝土裂縫、剝落、鋼筋外露銹蝕	無異常裂縫、剝落	僅有少部分裂縫，不影響排水功能	混凝土多處裂縫及剝落，造成鋼筋外露銹蝕

資料來源：高速公路養護手冊^[24]

表 3-11 高速公路局路堤邊坡坡面定期巡查檢查表

項次		項目	影響程度		
			低 (功能性仍良好，不需採取維護作業)	中 (不影響邊坡安全，維護作業不急迫性)	高 (對邊坡安全性可能影響，維修作業具有急迫性)
坡面	1*	邊坡坡頂裂縫或陷落	無明顯異常裂縫	有差異沉陷產生	明顯裂縫或凹陷
	2*	路堤坡趾路面龜裂或局部陷落、隆起	路面無明顯異常現象	路面張力裂縫不大，無陷落	路面出現陷落或隆起
	3*	坡面鼓出、滑移、坍塌或崩落	無明顯異常裂縫或坍塌	裂縫或僅有小坍塌發生	明顯裂縫或有大型坍塌
	4*	坡面侵蝕、沖刷、回填材料流失	植被良好	坡面有裸露	有沖蝕、雨蝕溝之現象
	5*	坡面異常滲水	無異常滲水	有異常滲水但影響輕微	有異常滲水
	7	超載堆積物(含垃圾)	無堆積現象	僅少數堆積，且未位於坡頂	堆積量大，且位於坡頂
	8	樹木傾倒、植生枯損、雜草異常茂盛	無傾倒或目視不明顯	現象輕微	多處有傾斜或明顯異於周邊

	9	路權內耕作或佔有	無耕作或佔有現象	疑似有耕作或佔有現象	確認有耕作或佔有現象
	10	監測設施外觀損傷	無損傷	損傷尚不影響監測設備之運作	損傷已可能影響監測設施之運作
穩定設施	1*	混凝土(噴凝土)裂縫、龜裂	無明顯異常裂縫、龜裂現象	有明顯裂縫或龜裂	多處發生且位於下部位置
	2*	擋土設施沉陷、傾斜，移位或基礎淘空	無明顯異常整體沉陷移動	輕微整體沉陷移動	明顯整體沉陷移動
	3*	護坡設施變形、鼓出或凹陷	無明顯龜裂變形或僅表層龜裂	有明顯裂縫但無傾斜外凸	明顯傾斜或外凸
	4*	設施接縫異樣、開裂分離或劣化	不明顯	有少數裂縫但無傾斜或位移	多處發生，且有明顯異於周邊之傾倒或位移情形
	5*	箱籠、加勁擋土牆牆面破損、土石外露	無破損	牆面破損，土石外露但未流失	牆面破損且土石嚴重流失
	6*	混凝土材料劣化、剝落或其他異常	無或少數僅發生於上部位置	發生於中間位置	多處有損壞或發生於下部位置
	7*	鋼筋外露侵蝕	無或少數僅發生於上部位置	發生於中間位置	多處有損壞或發生於下部位置
	8*	框梁、格梁周圍沖刷及淘空	無明顯沖刷及淘空	輕微沖刷及淘空	明顯沖刷及淘空
	9*	設施表面異常滲水	無異常滲水	有異常滲水但影響輕微	有異常滲水
	10*	錨頭保護蓋破損、掉落、鋼腱外露或防鏽脂外洩	無破損、掉落、鋼腱外露或防鏽脂外洩	少數破損、掉落、鋼腱外露或防鏽脂外洩	錨頭破損、掉落、鋼腱外露或防鏽脂外洩情形普遍
	11*	翼牆裂縫、鼓出	翼牆無裂縫及鼓出	翼牆有少數裂縫但無鼓出	翼牆有明顯裂縫及鼓出
排水設施	1*	排水溝(井)銜接不良、中斷、斷裂、破損、變形	無異常	僅有少部分斷裂、破損，不影響排水功能	排水溝斷裂、破損、變形導致排水流失或水溢流至排水溝外
	2	排水溝(井)堵塞、淤積	僅局部淤積	排水不良且有積水現象	堵塞、淤積情形嚴重，導致水流溢流至排水溝外
	3*	水平排水管、洩水孔堵塞或細粒料流失	排水功能良好	細粒料伴隨排水流失	排水功能喪失，由坡面或其他設施表面滲水

4*	排水溝(井)外側或底部沖刷、下陷	無明顯沖刷及下陷	輕微沖刷及下陷	明顯沖刷及下陷
5*	排水溝(井)混凝土裂縫、剝落、鋼筋外露銹蝕	無異常裂縫、剝落	僅有少部分裂縫，不影響排水功能	混凝土多處裂縫及剝落，造成鋼筋外露銹蝕

資料來源：高速公路養護手冊^[24]

高速公路局規定現場人員需針對各檢查項目進行拍照和建檔記錄，並將其上傳至「國道邊坡全生命週期維護管理系統」儲存相關資料，以提升資料詳實性和檢核邊坡巡查落實程度，而依照巡查結果可針對邊坡進行初步分級，另外，除上述各類巡查，養護單位視轄區邊坡穩定狀況，每4~5年委託專業廠商辦理邊坡安全總體檢。

國道邊坡監測作業部分則主要區分人工量測與自動量測兩大類，相關監測儀器包含水位觀測井、水壓計、傾度管、傾斜計、地錨荷重計、雨量計、裂縫計等等，監測頻率則依照邊坡分級予以訂立(如表 3-12)

表 3-12 高速公路局監測頻率規定

邊坡分級	A	B	C	D
頻率	每週至少 1 次 持續至補強工程完成後，再視其邊坡分級進行調整	每月至少 1 次 持續至補強工程完成後，再視其邊坡分級進行調整	每季至少 1 次 若資料趨於穩定至少 3 年後，由專業廠商判讀與建議，經工務段審核完成後調整為每半年至每一年 1 次	原則上無須設置監測儀器，惟考量鄰近邊坡處有其他重要保全對象而設置時，其監測頻率依 C 及邊坡規定

檢測規定則以地錨為主，依頻率不同區分為定期檢測和特別檢測，定期檢測執行方式為利用徒步、攀登方式或特殊檢測儀器靠近地錨設施予以實施檢查，頻率亦依邊坡分級有所差異(如表 3-13)，並可分年分段完成，而特別檢測則係於邊坡巡查、監測後評估地錨設施功能降低或喪失，導致邊坡穩定性降低時為之。

表 3-13 高速公路局地錨檢測頻率規定

邊坡分級	A	B	C	D
頻率	每半年至少 1 次	每兩年至少 1 次	每四年至少 1 次	

國道邊坡在經由巡查、監測及地錨檢測作業後，得依據相關資料委由專業廠商協助工務段進行邊坡安全評估作業，穩定分析包含常時安全係數分析、地震時安全係數分析與高水位時安全係數分析，其針對邊坡災害重要潛感因子則如表 3-14。

表 3-14 高速公路局邊坡災害潛感因子評估參考

項次		評估項目	評估標準		
			低	中	高
邊坡災害潛感因子	1	邊坡地層位態	斜交、逆向坡或順向坡但滑動面未出露	順向坡且滑動面出露，傾角小於 20 度	順向坡且滑動面出露，傾角大於 20 度
	2	災害歷史	無災害歷史或補強	有災害歷史並辦理補強工程，但已完工超過 5 年以上	有災害歷史並辦理補強工程，補強完工時間近 5 年內
	3	活動斷層	無鄰近活動斷層	鄰近活動斷層 200m 內	鄰近活動斷層 100m 內

本節針對公路局和高速公路局現行公路邊坡維護管理制度進行探討，可知兩單位對於遙測及航拍技術應用邊坡巡查、檢測及監測等工作有所區別，判斷應為兩單位所轄管邊坡之型態有所差異(如公路局有高聳及落石型邊坡，人力難以企及，高速公路局則較無此類型邊坡)。若以本計畫探討 AI 結合空拍影像輔助公路邊坡進行相關應用，在考量結合現有公路邊坡維管制度取得空拍影像之便利性及資料豐富性為前提，公路局所轄邊坡場址似較為適當，而且可藉由納入其 RHRS 評估因子獲得之定量評分，提升 AI 精確度。

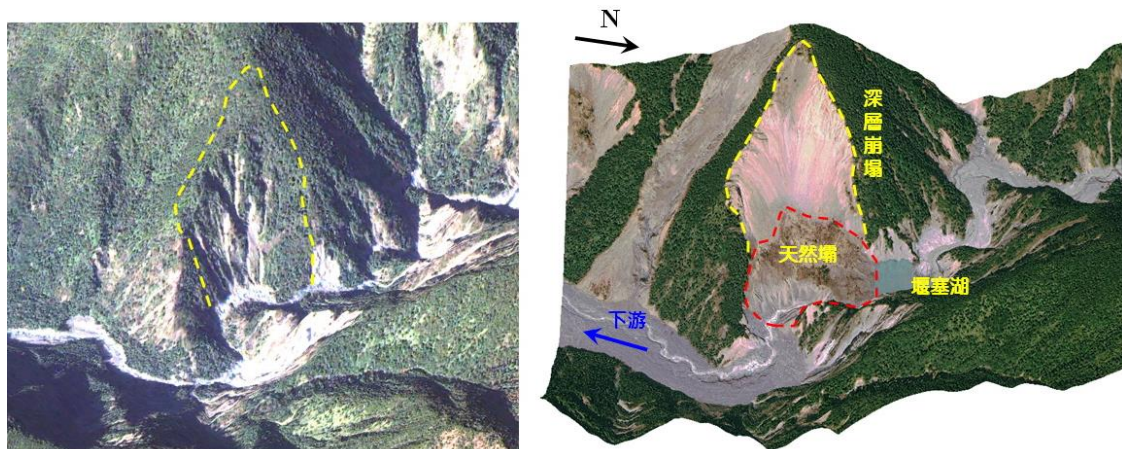
而高速公路局針對其所轄管邊坡佈設多類型監測儀器，並包含自動量測、儲存及回傳功能的設備，若考量以邊坡相關地表及地底監測數據做為 AI 訓練樣本，用以探討其數據變化對於邊坡異變之關聯程度，以達預測後預警之可能，亦是後續可考量切入公路邊坡 AI 應用方向。

3.3 邊坡災害之空拍地貌特徵說明

1. 大規模崩塌

依據國家災害防救科技中心「大規模崩塌災害防治行動綱領」^[25]定義大規模崩塌指崩塌面積超過 10 公頃或土方量達 10 萬立方公尺或崩塌深度在 10 公尺以上的崩塌地。臺灣大規模崩塌的事件如：民國 98 年 8 月 9 日莫拉克風災豪雨引致小林村獻肚山崩塌、民國 99 年 4 月 25 日國道三號 3.1 公里崩塌等。

行政院農業部農村發展及水土保持署(簡稱水保署)之土石流及大規模崩塌防災資訊網說明大規模崩塌非突然形成，而是長時間孕育而生，並針對大規模崩塌前兆進行特徵分類，其中在利用空拍或遙測技術可發現之特徵包含：(1)樹木歪斜、(2)地表出現系統性裂縫、(3)坡腹隆起、(4)道路及擋土牆或結構物出現方向一致、具連貫性的新生裂縫等。而水保署「大範圍崩塌調查與監測作業指引」^[26]若欲進行邊坡廣域監測，可利用光學衛星影像進行地物地貌判識，並以多時期影像特徵變化來推估地表變形(如圖 3.8)，而若要獲取更高解析度的地表微變位資料和 DEM 則可利用 LiDAR 或 SAR 回波回傳之相位差來獲取。影像空間解析度則依辨識標的範圍選擇適當的遙測工具選用，惟光學成像需注意日照、陰影、雲層覆蓋等天候因素，若單一尺度的遙測工具無法得到品質好的影像時，則可考量以不同遙測技術相輔相成，建議以每季為頻率進行調查(遇災害事件需補充判識)。

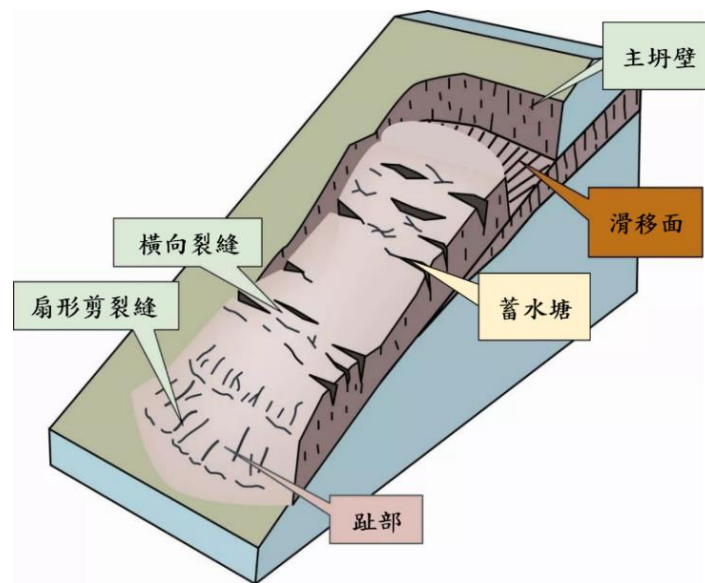


資料來源：<https://reurl.cc/m09ooY>(財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心)

圖 3.8 以衛星影像進行大規模崩塌前後比對

2. 地滑

鄭錦桐等 4 人(2012)^[27]提到地滑為滑動體於面上發生之剪切式滑動，若是圓弧形滑動，其在滑移過程空拍影像上可能具備以下常見特徵：(1)滑體頂端(主坍壁)呈新月形且植生稀疏，(2)滑體上半部有下陷跡象，甚至出現蓄水塘，(3)滑體下半部有隆起跡象並出現扇形剪裂縫，(4)滑體底端(趾部)出現地滑舌並呈捲筒狀，(5)滑體前端道路或河道可能受逼往外推移，因而形成彎曲狀(示意如圖 3.9，實際案例如圖 3.10);平面型地滑在冠部則呈現 U 形且長距離滑動可見清晰擦痕。



資料來源：https://www.sohu.com/a/251955165_99893772(搜狐)

圖 3.9 弧形地滑特徵示意圖



資料來源：山崩與地滑地質敏感區基地地質調查及地質安全評估簡報^[28]

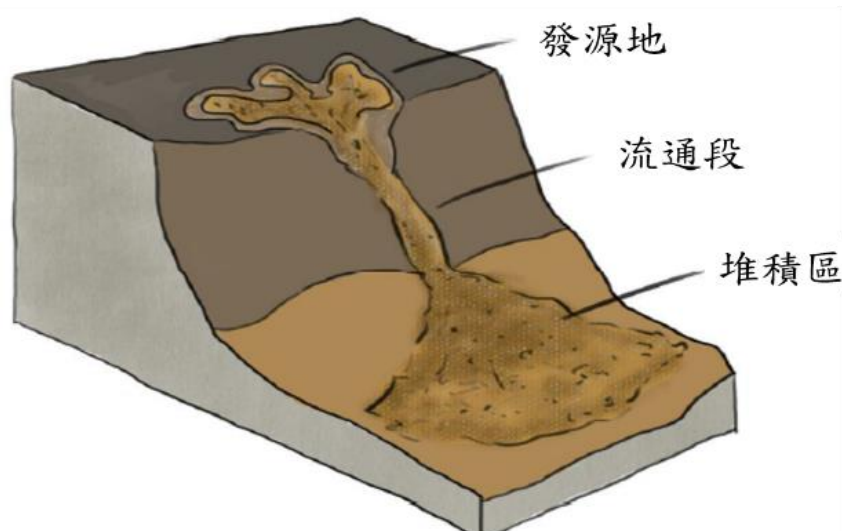
圖 3.10 弧形地滑特徵實際案例(高雄六龜區寶來村)

地滑依規模大小可利用不同尺度的遙測工具來進行監測，並利用多時期影像進行滑動特徵比對，也因為其破壞特徵相對明顯，較容易由具經驗之專家學者協助圈繪判識，故若未來以 AI 介入判識之可行性亦相對較高。

3. 土石流

鄭錦桐等 4 人(2012)^[27]說明當水量達到土石飽和含水量的 1.167 倍時，即可啟動土石流，此外土石流發生坡度約在 15~30 度角間為多，而若需以空拍影像進行土石流特徵辨認，其有一套完整的系統包含發源地、流通段及堆積區(如圖 3.11)，三者缺一不可。在土石流發源地常見碗狀或魚骨狀匯水窪地且常無植被倖存；流通段因槽溝被土石流刷深、變陡、佈滿巨石，其有顯著陰影可供空拍影像進行辨認；堆積段則形成堆積扇，有時亦可見樹枝及樹幹殘骸(如圖 3.12)。

然而，雖有部分災害表徵可供空拍影像辨識，惟發生速度快，思量土石流發生因素及特性，以地表及地底監測儀器數據資料結合 AI 進行預測等加值應用，似較為可行。



資料來源：遙測影像於地滑及土石流的辨識^[27]

圖 3.11 弧形地滑特徵示意圖



資料來源：<https://web.fg.tp.edu.tw/~earth/learn/esf/magazine/980602.htm>(地球科學文教基金會)

圖 3.12 土石流特徵實際案例(南投縣陳有蘭溪)

4. 落石

落石災害發生速度為各類邊坡破壞之最，一般而言常在超過 45 度的陡峭且植生密度低之裸露岩壁產生，其下方常出現崖錐堆積(如圖 3.13)，另外，吳淵洵、周南山(2006)^[29]說明易產生落石的岩層必然具有不良地質材料及地質構造，例如：膠結不良、節理發達，造成弱面發育進而切割岩體，導致落石之發生。

此類邊坡具有高聳特徵，人車不易抵達且目視效果有限，故相對合適利用空拍影像協助判識，且災害範圍相對於前列各項邊坡破壞類型小，故較適合以 UAV 取得多時期影像或搭載 LiDAR 取得 DEM 資料，以進行建模及套疊比對或災害調查等加值應用。



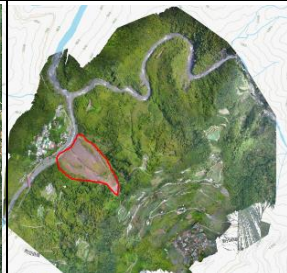
資料來源：<https://www.cna.com.tw/news/ahel/202301120109.aspx>(中央社)

圖 3.13 落石特徵實際案例(蘇花公路台 9 線 159.3 公里)

3.4 遙測影像適用性說明

目前空拍技術使用廣泛且影像取得管道十分多元，包含：UAV、LiDAR、InSAR 和光學衛星影像等，然而邊坡的監測會依不同類型、目的和範圍，選用相對適用的空拍設備進行，不同尺度空拍技術優劣比較整理如表 3-15。

表 3-15 不同尺度空拍技術比較

	光學衛星影像	機載航拍	UAV
地面解析度 GSD	公尺級 (約 10-2 公尺)	公尺-公分級 (約 1-0.5 公尺)	公分級 (約 0.5 公尺以下)
拍攝範圍	大(約 15~50 公里)	中(約 1~15 公里)	小(約數公里)
取得管道	國立中央大學太空及遙測研究中心、國家太空中心、水土保持署、農航所、Google Earth	國立中央大學太空及遙測研究中心、水土保持署、農航所	國土測繪中心、水土保持署、公路邊坡管理單位、自行發包請外部廠商協助航拍
單幅取得成本	高	中	低
優勢	● 衛星有固定運行週期，取得影像快速 ● 光學衛星搭載多波段光學感測及熱紅外光顯像設備，方便後續影像特徵擷取	● 高解析度影像 ● 拍攝範圍明確 ● 可依任務性質替換不同酬載，有利蒐集光學影像以外之邊坡資訊	● 高解析度影像 ● 可依任務性質替換不同酬載，有利蒐集光學影像以外之邊坡資訊 ● 拍攝範圍明確 ● 可多時期拍攝 ● 取得成本低廉
劣勢	✕ 欲監測邊坡不一定恰好位在拍攝軌道範圍之內 ✕ 容易受雲層及天氣干擾成像	✕ 航拍影像通常為配合任務目的所取得，蒐集選擇較少	✕ 續航力差 ✕ 容易受風影響
影像範例 (以新竹尖石鄉秀巒村崩塌地為例，來源：水保署 BigGIS)			

綜上，本研究依各邊坡破壞類型，比較相關遙測技術所取得之空拍影像於公路邊坡的適用性，整理如表 3-16。

表 3-16 邊坡破壞型態適用之遙測方法適用性比較

破壞類型	大規模崩塌	地滑	土石流	落石
相對適用取得空拍影像之遙測技術	● LiDAR ● UAV ● InSAR	● LiDAR ● UAV ● InSAR ● 衛星	● LiDAR ● UAV	● LiDAR ● UAV
運動速率	慢	最緩慢	中	快
空拍影像所見特徵	● 樹木歪斜 ● 地表出現系統性裂縫 ● 坡腹隆起 ● 道路及擋土牆或結構物出現方向一致具連貫性新生裂縫	※弧形 ● 滑體頂端(主坍壁)呈新月形且植生稀疏 ● 滑體上半部有下陷跡象，甚至出現蓄水塘 ● 滑體下半部有隆起跡象並出現扇形剪裂縫 ● 滑體底端(趾部)出現地滑舌並呈捲筒狀 ● 滑體前端道路或河道可能受逼往外推移，因而形成彎曲狀 ※平面型 在冠部呈現 U 形且長距離滑動可見清晰擦痕	● 發源地常見碗狀或魚骨狀匯水窪地且常無植被倖存 ● 流通段因槽溝被土石流刷深、變陡、佈滿巨石，其有顯著陰影可供空拍影像進行辨認 ● 堆積段則形成堆積扇，有時亦可見樹枝及樹幹殘骸	● 植生密度低 ● 下方常出現崖錐堆積

關鍵環境因子	● 不連續面 ● 坡高 ● 坡度 ● 地形 ● 水系 ● 植被 ● 地下水	● 不連續面 ● 坡高 ● 坡度 ● 地形 ● 水系 ● 植被 ● 地下水	● 材料組成 ● 坡度 ● 地形	● 坡度 ● 坡高 ● 岩性 ● 不連續面
關鍵誘發因子	● 降雨量 ● 地震	● 降雨量 ● 地震	● 時雨量 ● 地震	● 時雨量 ● 地震

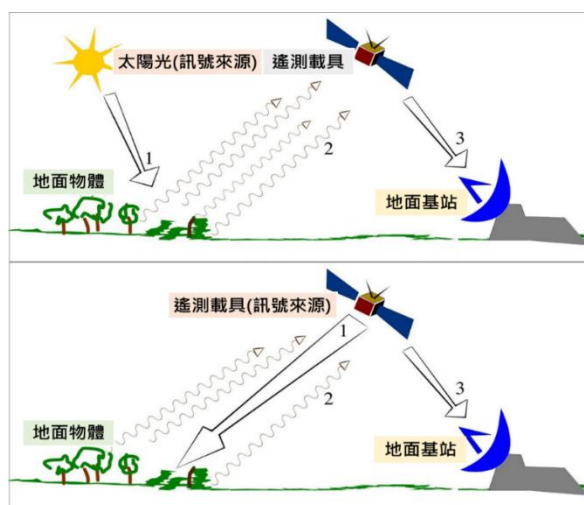
第四章 遙測載具及空拍影像處理技術探討

因應不同任務目的，過往人類從利用風箏、降落傘、熱氣球，一直到現在以 UAV、飛機及人造衛星搭載各式設備，例如：光學感測儀、熱紅外線感測器、LiDAR 及高畫素航空攝影機等，廣泛記錄空拍影像，然而，從影像記錄後被加以分析然後使用，此須經過一連串複雜及精密的影像處理過程，從載具本身的幾何穩定、大氣環境的干擾、波頻選擇、套色處理...等皆需要仔細思量方能得到清晰的成像結果。以下介紹現代取得空拍影像常使用之遙測載具，並針對取得影像常見的處理方法以及對地面目標偵測及分類等進行簡介。

4.1 遙測載具

一、人造衛星

人造衛星循特定軌道環繞地球運行，最大優勢在於觀測範圍大且續航時間長，故廣泛用於較大尺度之觀測任務，例如：氣象、航海、農業、資源及環境等，而依照其酬載運作原理不同有分成主動式及被動式的成像方式，主動式成像為主動發射電磁波，並接收反射回波進行成像，以微波、光達(雷射)為代表；被動式成像則係被動接收地物反射後成像，以相機、可見光為代表(如圖 4.1)。



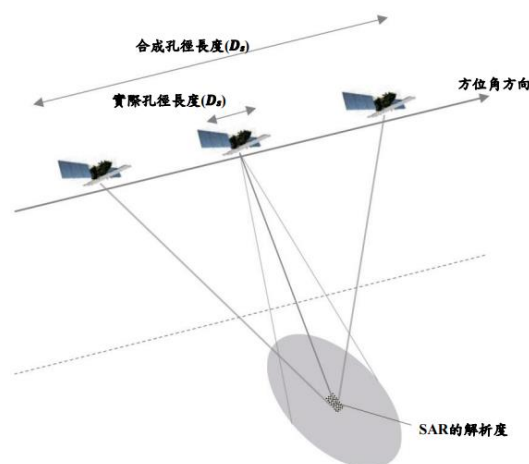
資料來源：AAPG Wiki-Remote sensing

圖 4.1 被動式成像(上)與主動式成像(下)示意圖

1. 主動式成像

(1) 合成孔徑雷達(SAR)

SAR 使用波長 $1\text{m}\sim 1\text{mm}$ 微波做為探測電磁波，依國立中央大學太空及遙測研究中心網頁介紹：「SAR 為不受日夜天候影響的主動式遙測系統，需以複雜的雷達數據合成及後處理過程，以獲得極高的空間解析度雷達影像，已被廣泛應用於環境與災害觀測上。」。依美國太空總署 NASA 出版之 SAR 手冊^[30]表示，雷達數據的空間分辨率與傳感器波長與傳感器天線長度之比直接相關，惟長尺寸的天線對於衛星搭載是不切實際的，故工程師及科學家利用衛星穩定且高速飛行過程，持續以電磁波進行信號發送，以天線(實際孔徑長度 D_r)接收地面反射回波，一來一往採集連續資料，疊加後予以解算，進而獲得高解析度之數據，其等效為更長的天線(合成孔徑長度 D_s)，SAR 工作原理之示意如圖 4.2。現常見的 SAR 衛星有德國的 TerraSAR-X，其在距地表約 515 公里處運行，週期為 11 天，並依照不同成像模式，可達 1 公尺的分辨率；加拿大的 RadarSat-2，其在距地表約 798 公里處運行，週期為 24 天，並以水平及垂直的偏振(Polarizations)方向組合的不同，使分辨率可至 1 公尺，監測條帶寬度為 18~500 公里。



資料來源：110 年度日本土砂災害防治序號 9：遙測－依合成孔徑雷達(SAR)圖像判讀土砂災害指引^[31]

圖 4.2 SAR 技術原理示意圖

(2) 光學雷達(LiDAR)

LiDAR 主要以高頻雷射光束來進行探測，依照使用目的不同亦可選擇如：紅外線、可見光、紫外線等不同波長來進行量測工作，具有大面積探索、高精度、高密度及快速產製之優勢，其中掃描寬度(掃描角)、掃描頻率等，皆直接影響測距精度。LiDAR 工作原理，依照經濟部中央地質調查所網站介紹：

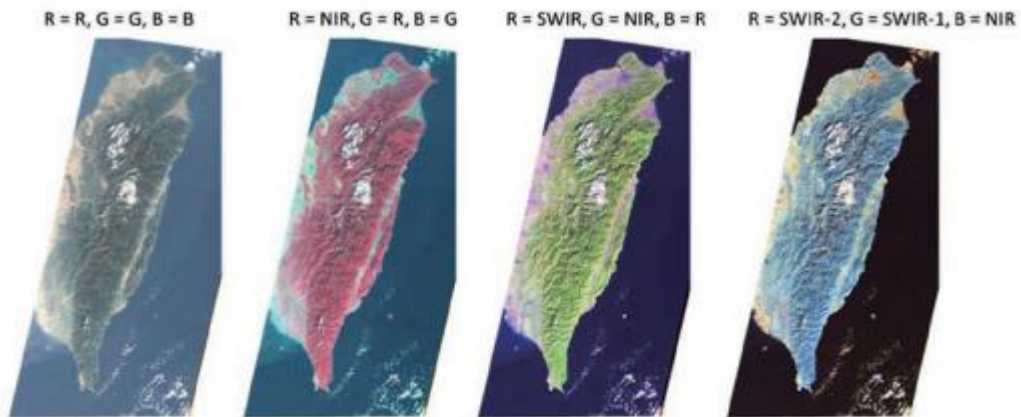
「藉由雷射發射器所發出的脈衝雷射光，由載具射出至地面上，打到植生或建物後引起散射和反射，一部分光波會經由反向散射返回到載具上的接收器中，將光信號轉變為電信號記錄下來，同時由搭配的計時器，記錄同一個脈衝光信號由發射到被接收的時間 T ，這樣就能夠得到載具到目標物的距離 R ， $R=C*T/2$ ，其中 C 表示光速。」。搭載 LiDAR 之衛星以美國和法國聯合建造的 CALIPSO 衛星為代表，其運行高度距地面約 685 公里，約 16 天經過同一區域，觀測目的為觀測雲和氣懸膠體等大氣狀態。

2. 被動式成像

現人造衛星多是以所搭載的光學系統被動接收物體反射回波，藉以收集各種資訊，因此，受限於天氣及環境因素，無法達到穿透雲層、煙霧以及全天候觀測之作業。以下介紹目前常見之光學衛星代表。

Landsat 衛星為美國國家航空暨太空總署及美國地質調查局 (United States Geological Survey, USGS) 聯合計畫所發射，總共已發射 8 顆，Landsat1~5 及 7 號衛星已除役(第 6 號發射失敗)，現為 Landsat-8、Landsat-9 對地球進行持續觀測，兩顆衛星運行週期約為每 16 天一次，並分別存在約 8 天的偏移，其皆搭載陸地成像儀 (Operational Land Imager, OLI) 及熱紅外線感測器 (Thermal Infrared Sensor, TIRS)，成像資料可包含原始地表影像、可見光、近紅外光(NIR)、短波紅外光(SWIR)、熱紅外光(TIR) 等，利用不同表面物體對於不同波段光的反射特性，呈現出不同

地貌(如圖 4.3)，以便針對各式觀測目的進行應用。



資料來源：以傳奇衛星探索大地的歷史傷痕—山坡地長期裸露地監測^[6]

圖 4.3 不同波段組合所呈現之影像

Sentinel 衛星為歐盟委員會(European Commission)與歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)共同合作執行之哥白尼計畫(Copernicus Programme)所開發，目前有用於高分辨率光學圖像之 Sentinel-2 衛星，可提供 13 個波段的多光譜影像拍攝，光譜範圍涵蓋可見光、近紅外光與短波紅外光。

法國國家太空研究中心 SPOT 系列衛星中的 SPOT-1～SPOT-3 主要由兩個搭載的 HRV 光學感測器來獲取地面目標影像，其多光譜模式分辨率可達 20 公尺，全色波段則具有 10 公尺分辨率；SPOT-4 則多添加了 HRVIR 感測器和一台植被儀，目的為監測地球植被覆改情形及環境變化，所搭載的 HRVIR 感測器亦使 SPOT-4 可觀測短波紅外線；SPOT-5 則是設備升級，除了具備前 4 代衛星所能觀察的波段以外，其分辨率提升以至於能在全色態波段產生分辨率為 2.5 公尺的圖像；SPOT-6 和 SPOT-7(Azersky)亦不停於精進傳感及光學設備，使其多光譜和全色態模式分辨率再次升級，目前 SPOT-6 和 SPOT-7(Azersky)衛星每天可提供 60 x 60 公里幅寬的衛星影像。

福爾摩沙衛星二號(FORMOSAT-2，縮寫為 FS-2，簡稱福衛二號) 則是我國自主擁有的第一枚遙測衛星，自 2014 年發射升空，高度約為 891 公里，繞行地球週期約 103 分鐘，每日兩次

通過臺灣上空，其頻率與適時性優於其他國際商業遙測衛星，任務目的為對臺灣及全球陸地及海域進行近實時之遙測作業，其酬載儀器為遙測照相儀(Remote Sensing Instrument, RSI)，可拍攝全色態、多光譜(紅光、綠光、藍光、近紅外光)影像波段，對地面分辨率：黑白影像 2 公尺，彩色影像 8 公尺，影像拍攝圖幅最小可達 24 x 24 公里。

福爾摩沙衛星五號(FORMOSAT-5，縮寫為 FS-5，簡稱福衛五號)是我國第一顆自製高解析度的光學遙測衛星，自 2017 年發射升空，繞行軌道高度約為 720 公里，繞行地球週期約 99 分鐘，每 2 天通過臺灣上空 1 次，其主要光學遙測酬載包含光學取像儀(Telescope)、CMOS 影像感測器及相關電子元件，可提供 2 公尺分辨率的全色態和 4 公尺分辨率的多波譜彩色影像，影像拍攝圖幅為 24 x 24 公里。綜上，整理以上常見商用光學衛星如表 4-1。

表 4-1 常見商用光學衛星

名稱	運營方	高度 (公里)	週期 (天)	酬載	分辨率 (公尺)
Landsat-9 (2021-)	美國 NASA 和 地質調查局聯合計畫	705	16	✓ 陸地成像儀 ✓ 熱紅外線感測器 (可蒐集 11 個波段)	全色態 15 m 多光譜 30 m
Sentinel-2 (2015-)	歐盟委員會和 歐洲太空總署 哥白尼計畫	786	10	多光譜影像儀 (可蒐集 13 個波段)	可見光 10 m 紅外光 20 m
SPOT-6 (2012-)	法國國家太空 研究中心	694	1	高解析度光學成像儀 (可蒐集 5 個波段)	全色態 1.5m 多光譜 6 m
福爾摩沙衛星 二號(已除役)	我國國家太空 中心	891	1	遙測照相儀 (可蒐集 5 個波段)	全色態 2 m 多光譜 8 m
福爾摩沙衛星 五號(2017-)	我國國家太空 中心	720	2	✓ 光學取像儀 ✓ 先進電離層探測儀 (可蒐集 5 個波段)	全色態 2 m 多光譜 4 m

二、航測飛機

航測飛機搭載精密的空中照相機或 LiDAR 設備為一常見取得影像之手段，而透過地面控制點、三角平差解算或是搭配差分全球定位系統(Differential GPS)及慣性導航系統(INS)則可精準記錄載

具及地面物之座標位置及空間資料，另外經過不同拍攝角度、重疊率、快門時間等設定，再經由相關軟體處理後可產製數值地形模型、數值表面模型(Digital Surface Model，DSM)或完成三維建模等加值應用。

我國內政部空中勤務總隊目前擁有一架中小型螺旋槳客機 Beech 200 King Air(如圖 4.4)專門進行航空攝影、農災調查及臺灣基本圖修測等勤務，惟該機機齡已逾 40 年，考量飛安及航拍任務銜接，農業部林業及自然保育署航測及遙測分署自今(2023)年引進新型 King Air 360ER 航遙測飛機(如圖 4.5)，並搭載高解析航攝數位相機、高光譜掃描儀、光達掃描儀等裝備，其相機系統包含全色域和多光譜鏡頭，可記錄紅色、綠色、藍色和近紅外線波段，空間解析度可達 20 公分以內，飛航高度可達 35,000 英呎。



資料來源：內政部空中勤務總隊全球資訊網

圖 4.4 Beech 200 King Air



資料來源：中時新聞網(鄭任南攝)

圖 4.5 King Air 360ER

三、UAV

無人飛行載具，簡稱 UAV，具有移動便捷性，可達人力難以抵達的地區進行作業，且可擇定機型(如圖 4.6)、客製酬載等，以達到所需之精度及作業需求，目前已被廣泛運用於記錄、探查、搜救、載運等各面向，且相較於傳統載具，其具有運用彈性大、可及性高、遠距操作等優勢，雖飛手仍須具備相關操作證照，以及需要於飛行前需配合當地飛行法規進行工作前置準備及範圍申請，但相比其他遙測載具，其取得及操作成本和門檻相對較低，故目前大量被政府單位及個人業餘玩家進行空拍活動之使用。

隨著科技演進，UAV 亦從早期由飛手目視，並利用遙控器於地面進行手動操駕，演進到現今，能於遙控器連接手機、平板螢幕或直接內嵌螢幕於遙控器中(如圖 4.7)，更甚者，穿戴 VR 設備，利用控制器與飛行器之圖傳系統，將 UAV 俯瞰之畫面即時回傳供飛手瀏覽，此外，目前商用 UAV 尚有航線規劃、智能飛行、避障功能並具備慣性測量單元(IMU)來自動穩定機身，或是搭載熱顯像、紅外線、RTK 模組等進行特定任務應用。



圖 4.6 UAV 機型(左：複合式；右：多旋翼式)



資料來源：DJI 大疆官網

圖 4.7 UAV 智能遙控器

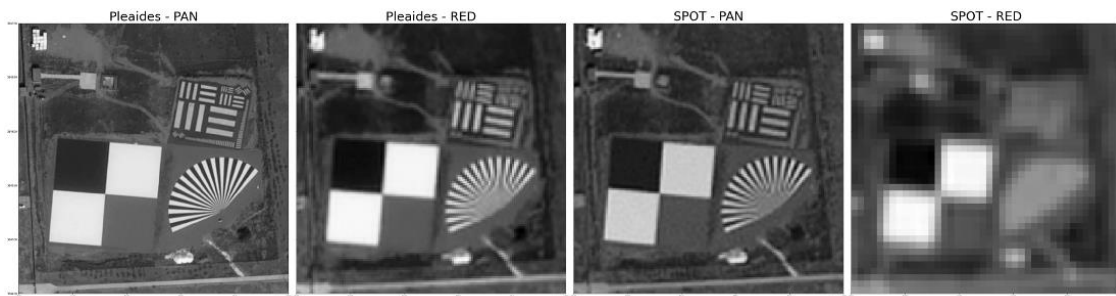
4.2 影像處理

各式航拍載具搭配不同感應器對地面獲取影像，目前來說幾乎皆是以數位化進行記錄，除了載具本身穩定與否以及感應器設備的運作原理和儲存方式外，為利後續電腦處理，航拍過程尚有許多因素需考量，例如：地球本身自轉及曲率(Curvature)、大氣效應(Atmospheric Effect)，而在成像階段之波頻光譜融合、色彩調整、雜訊過濾，一直到後續因應與地圖或 GIS 套疊或物件偵測及多時期比對目的，亦需對影像進行正射糾正、拼接、特徵萃取、3D 化等工作，最終將原始取得的影像資料轉變成對我們有用的資訊，皆屬影像處理的範疇。

4.2.1 解析度

一、空間解析度(Spatial Resolution)

空間解析度代表影像中一個像素(Pixel)尺寸對應真實環境中地面的大小，而感應設備的分辨率即是指所記錄影像之空間解析度，例如：福衛五號的全色域影像分辨率可達 2 公尺，代表其成像之一個像素相當於 2 公尺 × 2 公尺的實際地表面積。其值越小即表示圖像越清晰(如圖 4.8)，一般而言分辨率小於 1 公尺即可稱超高解析度。



資料來源：農村發展及水土保持署電子報第 57 期^[32]

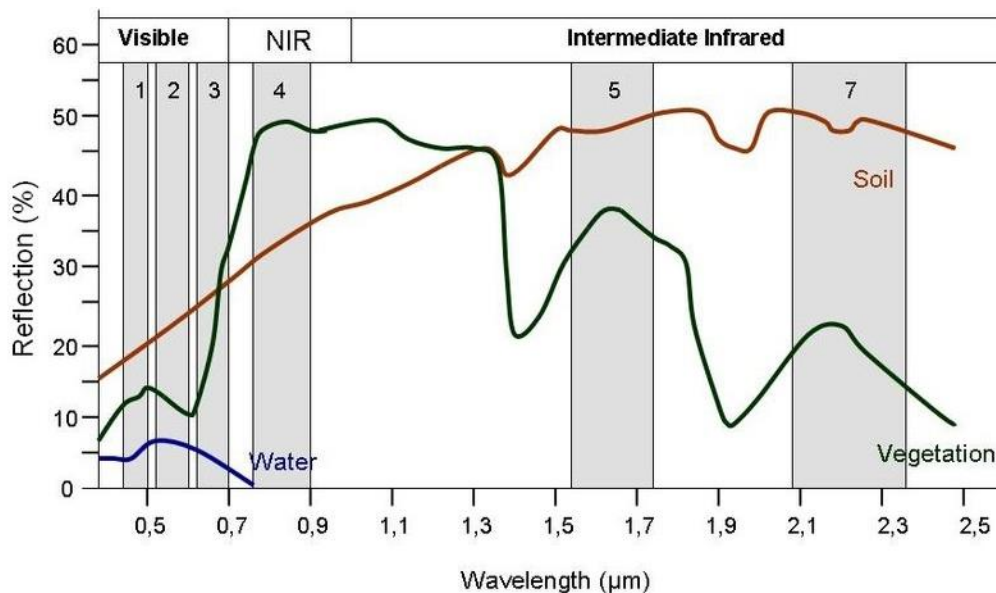
圖 4.8 不同空間解析度之影像比較

二、時間解析度(Temporal Resolution)

時間解析度指的是對同一區域進行相鄰兩次遙測之最小時間間隔，亦可稱為周期，若時間解析度小，則對該區域有較短時之監測頻率，較易發現其變動的資訊。

三、光譜解析度(Spectral Resolution)

地表物體具有獨特光譜的反射特性，若能事先知道目標光譜反射特徵(Spectral Signature)，即可進行物體偵測、過濾及分類，例如：綠色植被對於可見光的綠光波段和近紅外光波段之反射特別強烈(如圖 4.9)，而光譜解析度代表感測儀器分辨電磁波波長的能力，越好的光譜解析度能較好的偵測各電磁波波段數量與頻寬，目前常見遙測衛星約可記錄 3 到 10 個頻譜數，並取得多光譜影像，而 NASA 的噴氣動力實驗室所開發及維護的機載可見光進紅外光成像設備(Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer, AVIRIS)，則可獲取 200 個以上的光譜波段，稱做高光譜影像。



資料來源：Classifying Mangroves in Vietnam using Radar and Optical Satellite Remote Sensing: Processing Sentinel-1 and Sentinel-2 Imagery in Google Earth Engine.^[33]

圖 4.9 土壤、植被及水體之光譜反射特徵

四、輻射解析度(Radiometric Resolution)

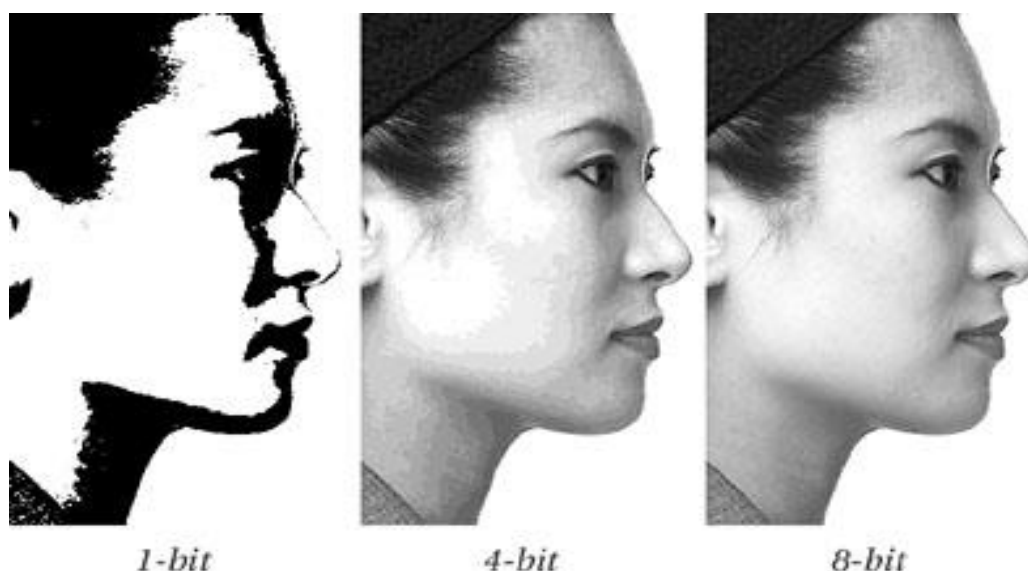
輻射解析度指感測器接收地表反射的輻射量後，經過量化所使用的灰階範圍，若是 8 位元輻射解析度的影像資料，則有 2 的 8 次方總共 256 個灰度值，一個像素若能有更多範圍的灰度值，對地表資訊更能豐富的描述及呈現，在物件偵測及判別上更加重要。

4.2.2 色彩

在 17 世紀，牛頓的色散實驗利用三稜鏡將白光分離成不同顏色的光，使人們對於彩色光譜有了初步認識，一般而言，人類眼睛中的錐狀細胞可接收的波長範圍約為 400nm~800nm 之間，故該範圍亦稱可見光波段，而遙測常使用的感測器大致可分為照相機系統、光電接收器、雷達或微波接收器等，依照用途可記錄人肉眼所不得見的電磁波，更好的去獲取目標光譜反射特徵，以擴展探測能力達到更多用途。

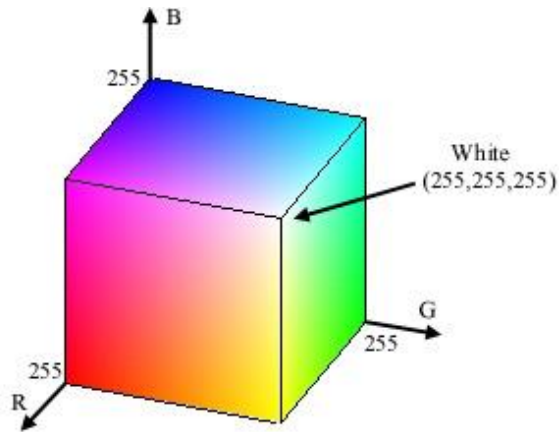
空拍影像目前多以數位方式進行記錄，其由感測器所接收到的電磁波能量多寡轉換成每一像素內特定之值(Digital Number)，該值的位元數多寡跟前述之輻射解析度有關(如圖 4.10)，所以若某張數位影像以 8 位元來儲存，則代表一個像素即含有 2 的 8 次方共 256 個可能的值(0~255)，該值亦稱為像素的亮度，而成色通常所使用的色彩標準為紅綠藍三主色或簡稱 RGB 系統(如圖 4.11)，故一張彩色影像包含 RGB 三個通道，即表示該張圖像可擁有 $256 \times 256 \times 256$ 種色彩變化(如圖 4.12)。

除了 RGB 系統外，另有所謂的以色調(Hue)、飽和度(Saturation)、亮度(Value)系統，簡稱 HSV 系統，用以更好的描述色彩，兩者之間可互相轉換(如圖 4.13)，其他還有印刷用的 CMYK 系統、高階調色與設計用的 LAB 系統等等，其多可利用函數關係相互轉換。



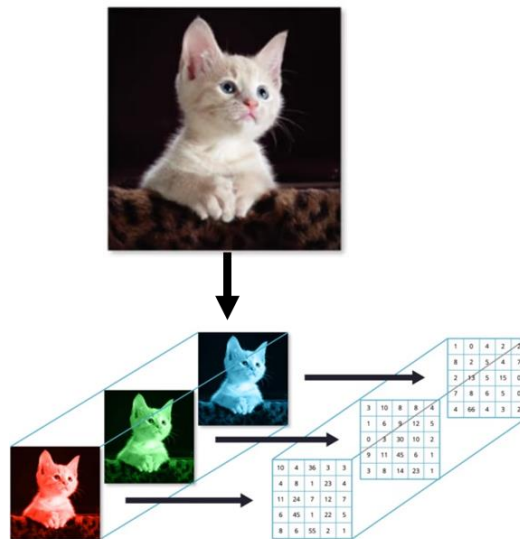
資料來源：Image Essentials: It's All Zeros and Ones

圖 4.10 不同位元數輻射解析度之影像呈現



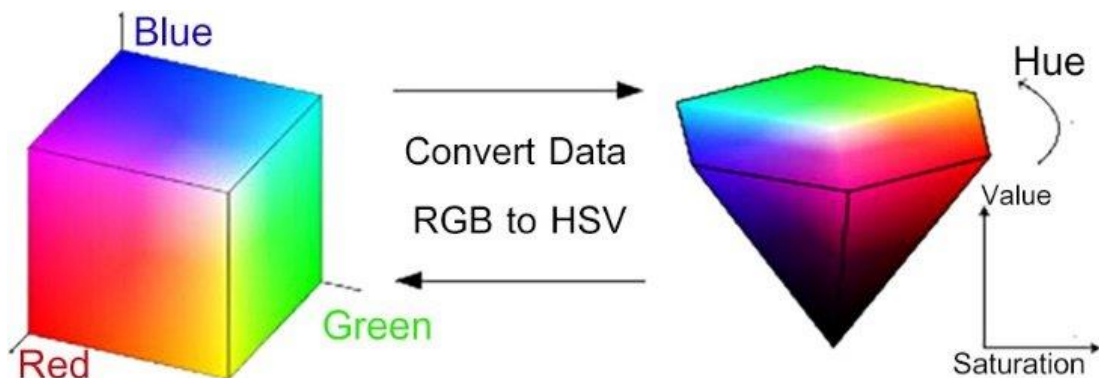
資料來源：<http://matlab.izmiran.ru/help/toolbox/images/color4.html>(下載日期 112.10.26)

圖 4.11 以 8 位元呈現之 RGB 系統



資料來源：<https://medium.com/@gulumsereskiturk13>(下載日期 112.10.26)

圖 4.12 彩色影像以 RGB 三個通道組成



資料來源：Integer-based accurate conversion between RGB and HSV color spaces

圖 4.13 RGB 和 HSV 系統轉換

一、假色(False Color)

若是載具搭載可記錄多光譜的感測器，其可利用不同波段的電磁波組成彩色影像，以達到不同顯色效果(如圖 4.14)，有利辨別出真彩色影像中不易辨識的特徵，以 Landsat-8 衛星來說，其感測器共可記錄 11 個波段(如表 4-2)，依照成像目的不同，可由 11 個波段中取 3 個當作影像的紅色、綠色及藍色(如表 4-3)。例如圖 4.14 即是利用綠色植被對近紅外光的反射最為強烈的特性，以波段 5 的近紅外光做為紅色來顯像。

表 4-2 Landsat-8 波段及分辨率

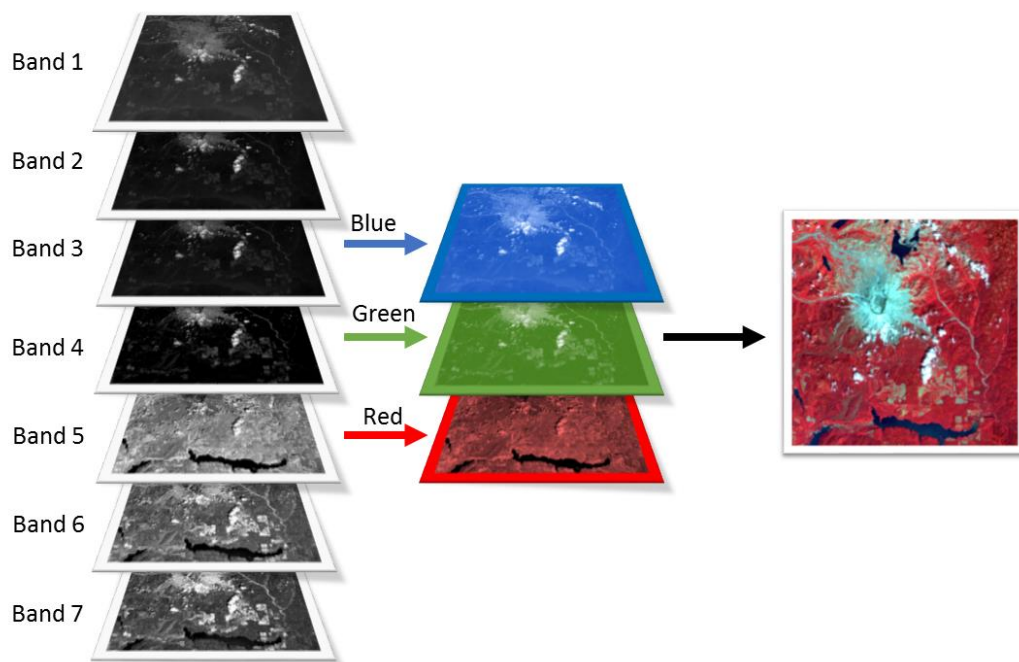
成像儀器	波段	波長(μm)	分辨率(m)
陸地成像儀 OLI	1-沿海懸浮微粒	0.43~0.45	30
	2-藍光	0.45~0.51	30
	3-綠光	0.53~0.59	30
	4-紅光	0.64~0.67	30
	5-近紅外光(NIR)	0.85~0.88	30
	6-短波紅外光 1 (SWIR1)	1.57~1.65	30
	7-短波紅外線 2 (SWIR2)	2.11~2.29	30
	8-全色態(panchromatic)	0.50~0.68	15
	9-卷雲(cirrus)	1.36~1.38	30
熱紅外線感測器 TIRS	10-熱紅外光 1(TIRS1)	10.6~11.19	100
	11-熱紅外光 2(TIRS2)	11.5~12.51	100

資料來源：USGS 官網

表 4-3 不同成像目的之 Landsat-8 波段混用建議

成像目的	建議混用波段		
	紅色	綠色	藍色
自然(真)色彩	4	3	2
城市地貌	7	6	4
農業	6	5	2
植被	5	6	2
陸地/水體	5	6	4

資料來源：Humboldt State University Geospatial Lessons



資料來源：Humboldt State University Geospatial Lessons

圖 4.14 利用 Landsat-8 第 3、4、5 波段進行地貌色彩顯像

二、虛擬色(Pseudo Color)

虛擬色是利用數位影像的處理技術將所記錄的數值，例如：灰階值、高程值、溫度……等等轉變成色彩，進而取得的全彩影像，像是 DEM 即是不同高程間的套色，其用意為讓原始圖像透過顏色區分更易被理解。

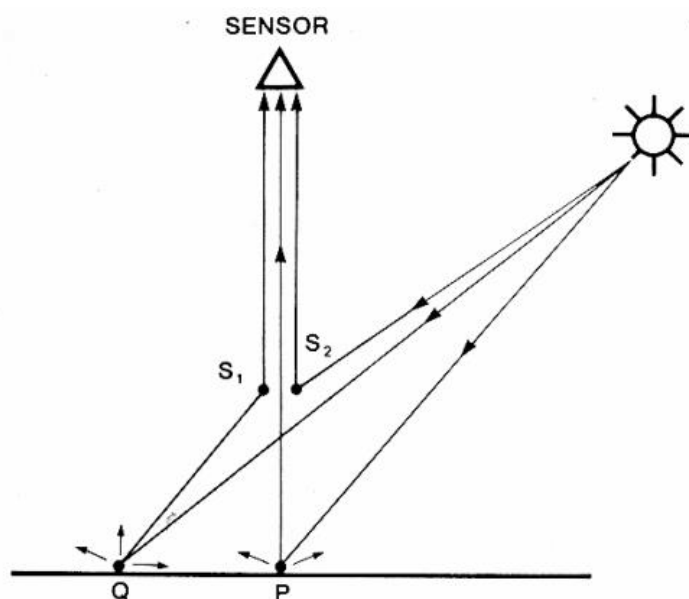
4.2.3 幾何校正

遙測載具在空中航行的過程，尚會受自然環境或人為操作影響，使姿態有傾斜、翻滾、俯仰或速度之變化，進而造成感測器所拍攝的地貌成品產生扭曲，若是離地面高度較高如衛星，則還會受地球自轉及地球曲率所影響，故需進行幾何校正。一般幾何校正流程需先辨別其扭曲來源為何，並針對其進行相對應之系統性處置，接著利用地面控制點或是特徵點自動匹配技術等來完成校正工作。

4.2.4 大氣校正

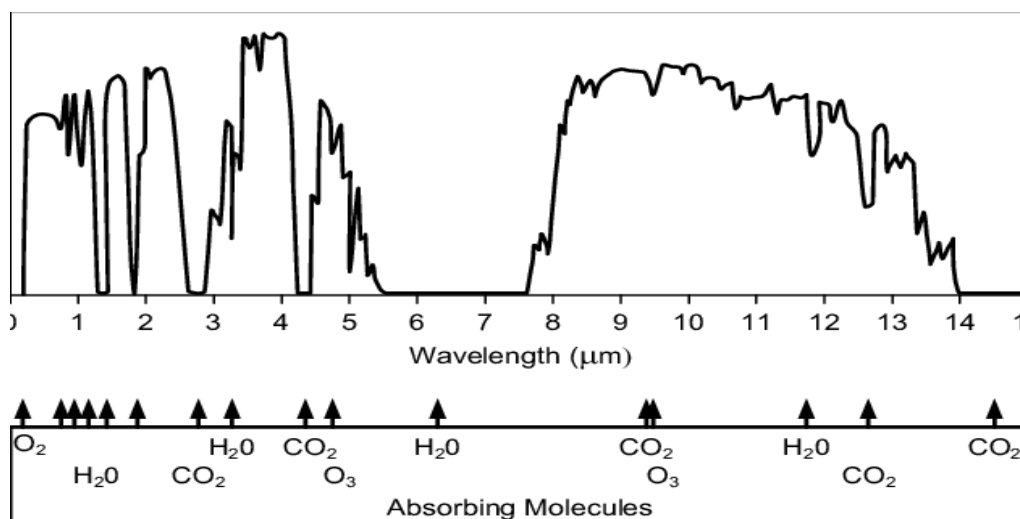
因地球大氣層緣故，來回傳遞至感測器之訊號會因大氣間的水氣、

二氧化碳、臭氧分子和懸浮微粒等而產生吸收和散射，進而使電磁波能量衰退或改變方向(如圖 4.15)，不同波長之電磁波對大氣的穿透率有所差異，例如可見光波段容易受大氣吸收的影響，而微波之類的長波波段則可良好的穿透大氣(如圖 4.16)，故感測器所使用的波頻會配合大氣效應做設計，以便校正後擷取清晰之地表影像。



資料來源：Introduction to Digital Image Processing.^[34]

圖 4.15 大氣中反射及散射效應示意圖



資料來源：Passive infrared localization with a Probability Hypothesis Density filter.^[35]

圖 4.16 不同波長電磁波對大氣穿透率

4.2.5 特徵提取

依照任務目的的不同，需要對所取得的空拍影像進行特徵的萃取，以利更好的由影像中獲取資訊，此過程包含影像的增益(Enhancement)、抑噪(Noise Suppression)、降維及其他如壓縮、格式轉換等處理工作，其可依照以影像中的單一像素點或考量空間大小區塊(Mask)又或者直接轉換整體影像來進行。

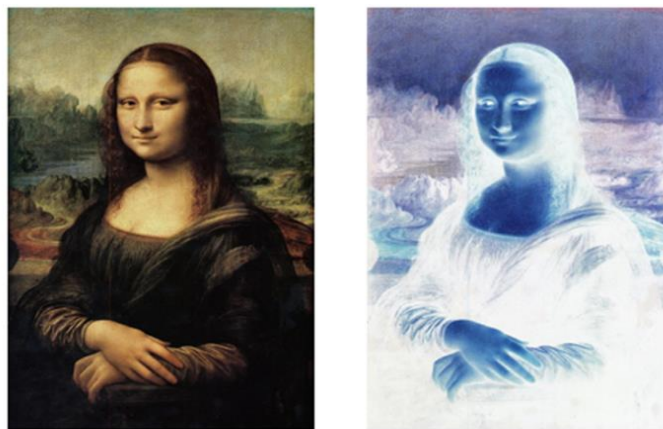
一、單點

每張影像以有限的像素組成，以一般 8 位元的記憶方式，每個影像像素的值範圍介於 0~255 間，以單點為考量即是透過原始影像每個像素值的轉換來進行，常見有線性、對數及幂律(Power-law)轉換，其可達到的效果如下介紹。

1. 負片(Negative)

負片即是利用線性方式反轉影像色彩，如公式(1)， r 為轉換前的灰度值， s 為轉換後的灰度值， L 為像素值的範圍，以 8 位元的記錄方式， L 為 2 的 8 次方(256)，故當該像素輸入值為 0 時，輸出值則為 255，經轉換後原始影像為黑色部分即會變為白色，故適合處理原影像暗色區域較多時，以顯現其中的細節，其呈現效果如圖 4.17。

$$s = L - 1 - r \cdots (1)$$



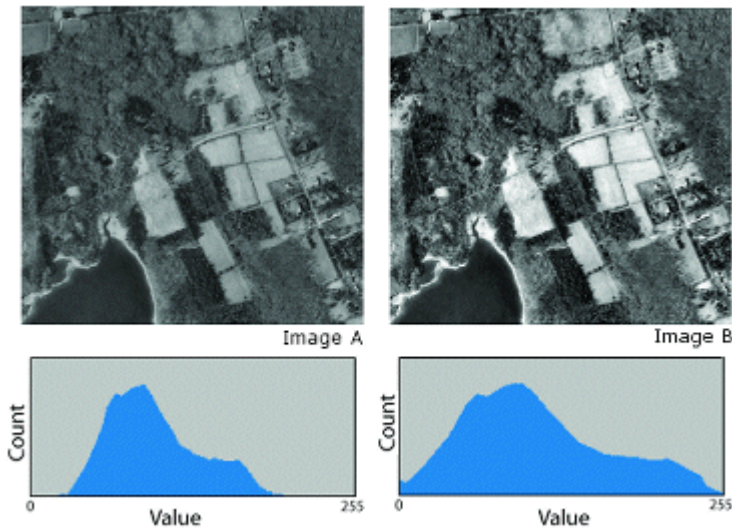
資料來源：<https://www.thesloanstudio.com/blog-1>(下載日期 112.11.1)

圖 4.17 負片轉換後效果

2. 拉伸(Stretch)

拉伸是透過將原影像灰度值的範圍加大(如圖 4.18)，以提高影像對比度，更容易看清物體輪廓，其本質係利用分段的線性函數來進行轉換，在執行拉伸前需指定欲加大範圍的上下限，假設拉伸前的影像像素灰度值 r 介於 $[r_{min}, r_{max}]$ ，欲將範圍擴大至 $[0, L-1]$ 之間，則完成新灰度值 s 的拉伸，如公式(2)。

$$\begin{aligned}(r_1, s_1) &= (r_{min}, 0) \\ (r_2, s_2) &= (r_{max}, L - 1)\end{aligned} \quad \dots(2)$$



資料來源：Esri 官網

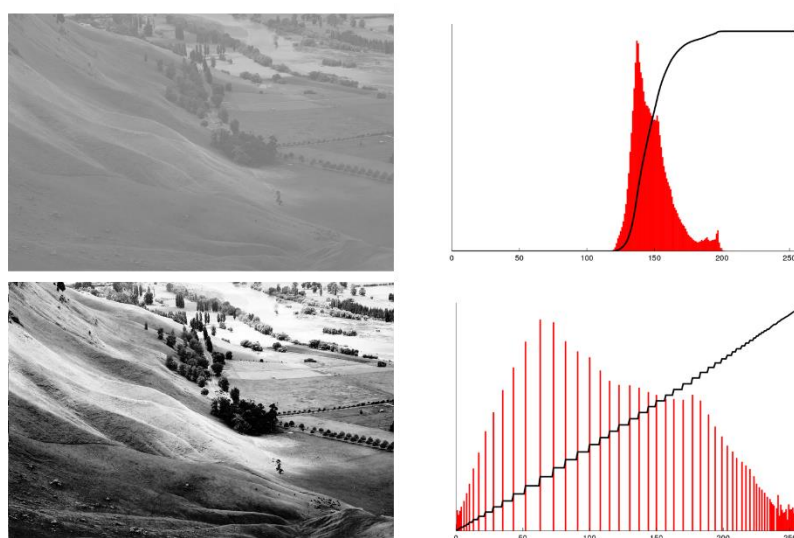
圖 4.18 拉伸後效果

然而，上述線性拉伸的缺點在於若影像中的灰度值分布極端時可能會影響輸出後的成果，為解決此可先對影像進行直方圖均等化(Histogram Equalisation)，讓影像像素的灰度值重新分配以達到均衡的分布(如圖 4.19)，以利增加局部對比度的同時不影響整體度對比度，假設影像灰階數為 L ，該方法係先計算某個灰階值 r 出現的次數 n_k ，並找出於影像中 r 出現的機率，如公式(3)，接著定義一轉換 $s=T(r)$ 和其機率密度函數，關係如公式(4)。

$$p_r(r_k) = \frac{n_i}{n} \quad \& \quad \sum_k p_x(r_k) = 1 \quad ; \quad 0 \leq k < L \dots (3)$$

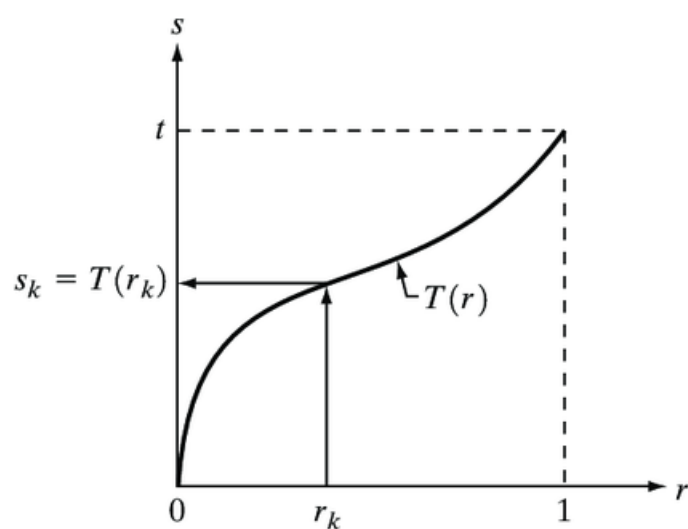
$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w)dw ; p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right| = 1 \cdots (4)$$

如此， $p_s(s)$ 即為新灰階值 s 之均勻密度函數， s 範圍在 $0 \sim 1$ 之間，其 r - s 對應關係如圖 4.20，若便於電腦解算可再將前式轉換為離散型式。另外直方圖均等化亦有改良以針對區域性對比做強化或降低噪訊如：自適應直方圖均衡化(Adaptive Histogram Equalization, AHE)、限制對比度自適應直方圖均衡(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, CLAHE)等等。



資料來源：Wikimedia Commons-Histogram equalization

圖 4.19 直方圖均等化後效果



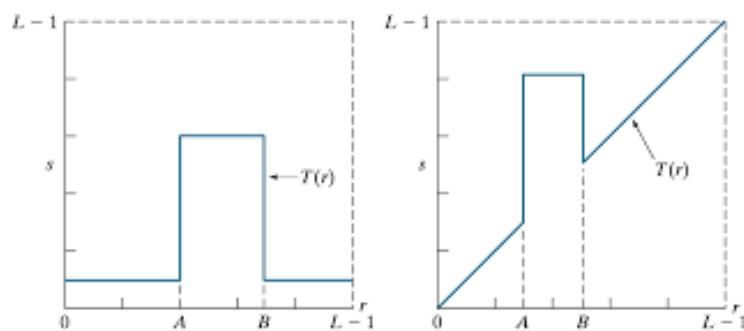
資料來源：Digital Image Processing.^[36]

圖 4.20 函式轉換關係

3. 分割(Slicing)

位元平面分割(Bit Plane Slicing)主要目的為用較少的位元數來表示影像，並將其縮小到較小的尺寸，以利更好的專注於某些特徵。位元平面分割的基本概念是影像可以係由不同位元影像疊合而成，如同一個平面一個平面堆疊上去，故假設一張原始為8位元的影像，其像素灰階值可由0~255轉換成二進位制表達，0的編碼可表示成00000000，255的編碼則為11111111，中間的灰階值也能轉換為特定的二進位表示，如此即能分析影像中的每個像素位元數所發揮的作用及其相對重要性，進而凸顯特定特徵或是去除無用資訊以縮小影像尺寸。

灰階分割(Gray-level Slicing)目的為凸顯影像中的特定灰階範圍，類似於閾值處理(Thresholding)，而此法可以透過多種不同方式實現，以下兩種常見方法為例，第一種為在特定範圍進行灰度值的轉換，而其他部分則轉為定值；第二種則是在特定範圍進行灰度值的轉換，而其他部分則不變(如圖 4.21)。



資料來源：MA3111: Mathematical Image Processing Intensity Transformations & Spatial Filtering(國立中央大學)

圖 4.21 兩種灰階分割處理方式

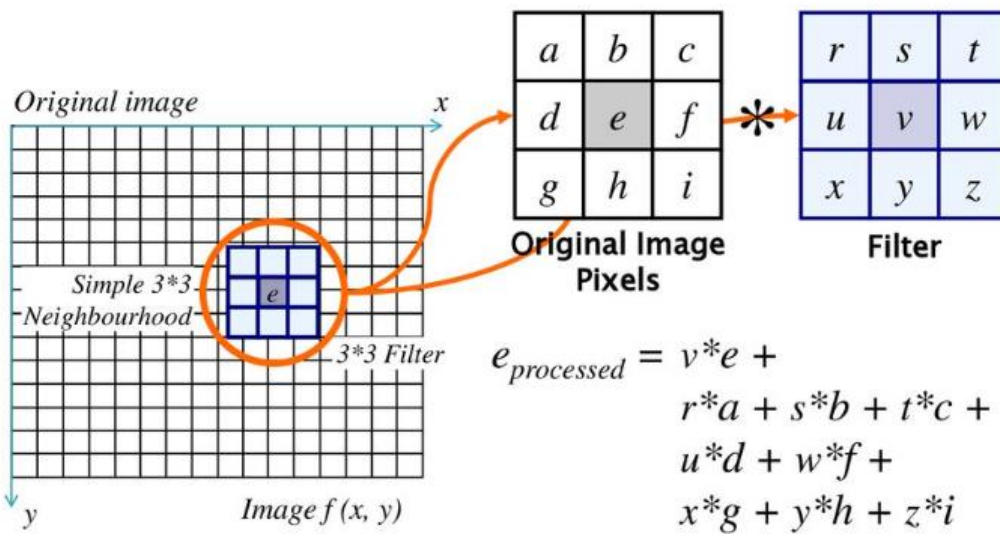
二、空間域

可採用各式大小、具特定值的空間濾波器(Spatial Filtering)對原始影像進行矩陣運算，用分區塊方式將影像進行降噪、平滑化、銳利化等特徵提取工作，其基本原理為公式(5)。式中假設原始影像的尺寸為 $M \times N$ ，而濾波器大小為 $m \times n$ ， $a=(m-1)/2$ 、 $b=(n-1)/2$ ，

注意該公式係假設奇數大小的濾波器(例如 3 x 3)。

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=b}^b \omega(s, t) f(x + s, y + t) \cdots (5)$$

上式若以圖像來表示即是以濾波器逐一掃過圖片，並針對掃過範圍進行各式運算，以達到所需要的處理目的(如圖 4.22)。



資料來源：Ferda Ernawan, Ph.D—Image Enhancement in Spatial Domain II

圖 4.22 空間濾波運作原理

1. 低通(Low-pass)濾波

低通濾波的功能在於平滑化影像以利降噪，故又稱為平滑濾波，常見有平均濾波和高斯(Gaussian)濾波(如圖 4.23)。平均濾波器為一種線性濾波，其原理如公式(6)，可將鄰近的像素點的梯度降低並使影像產生平滑效果，進而消除雜訊(如圖 4.24)，若濾波器的尺寸越大，效果越好，惟須注意可能會讓影像過於模糊，故需要找到適當大小的濾波器。

$$g(x, y) = \frac{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=b}^b \omega(s, t) f(x + s, y + t)}{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=b}^b \omega(s, t)} \cdots (6)$$

$\frac{1}{9} \times$	1	1	1
	1	1	1
	1	1	1

$\frac{1}{16} \times$	1	2	1
	2	4	2
	1	2	1

圖 4.23 平均濾波(左)和高斯濾波(右)

$f(x, y)$	$g(x, y)$	$h(x, y)$					
216	255	255	216	255	102		
102	216	255	102	255	255	195	
102	102	255	102	216	102		
255	216	216	255	255	255		
255	102	255	102	255	216		

資料來源：<https://www.tinytsunami.info/Image-Filter/>(下載日期 112.11.3)

圖 4.24 平均濾波運作原理

高斯濾波也和平均濾波有同樣效果，然而比較同樣尺寸的平均濾波和高斯濾波，後者能提供更溫和的平滑效果並較好的保持影像邊緣，其差別在於其濾波器是利用高斯分布進行值的計算，如公式(7)，式中的 σ 為標準差，高斯濾波對影像的平滑程度由標準差來決定，標準差為1的3x3高斯濾波器值約等於上圖4.23的右邊，其濾波效果如圖4.25。

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \dots (7)$$



(a)原始影像

(b)平均濾波

(c)高斯平滑濾波

資料來源：Secure Compressive Sensing of Images based on Combined Chaotic DWT Sparse Basis and Chaotic DCT Measurement Matrix.

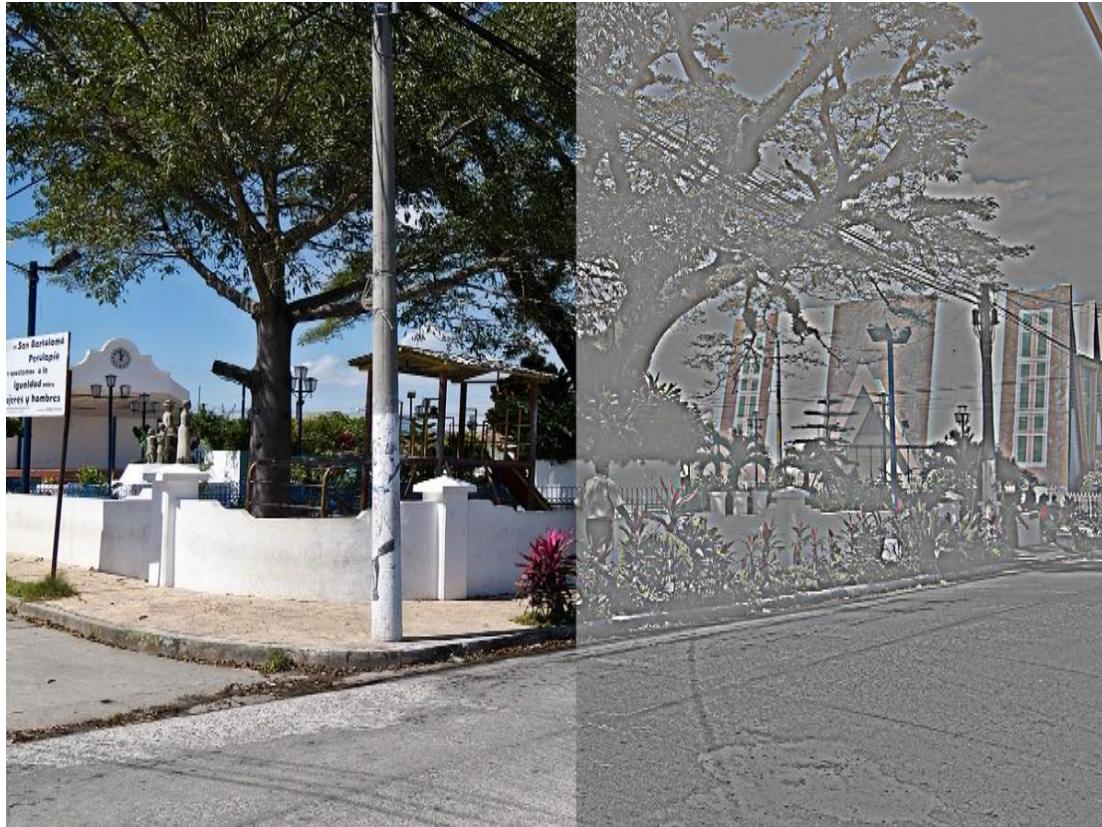
圖 4.25 低通濾波效果展示

2. 高通(High-pass)濾波

高通濾波用以增加影像細節並突顯影像邊緣，讓影像產生銳利化的效果，在影像增益或目標辨識上是十分常用的方法，其工作原理和低通濾波相同，差別即在於濾波器內部的值，通常高通濾波的設計在中心會包含一正值，該正值周遭被負值所包圍(如圖 4.26)，然而不同於低通濾波可達降噪的效果，高通濾波反而會使其被放大，導致處理後的影像品質下降。經高通濾波後之影像成果如圖 4.27。

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

圖 4.26 高通濾波



資料來源：Wikipedia-High Pass Filter Example

圖 4.27 高通濾波效果展示

三、頻率域(Frequency Domain)

對於影像而言，灰階值可比做訊號的振幅，若相鄰像素間的灰階值變動劇烈，就類似短時間產生劇烈的波動，能將其視為高頻的訊號，反之，則為低頻訊號，故可將影像透過傅立葉轉換(Fourier Transform, FT)從空間域(Spatial domain)轉換為頻率域(Frequency domain)並得到頻譜圖，從中觀察像素點和灰階值的關係，以更好的去辨別影像特徵後進行濾波等處理工作，完成後再逆傅立葉轉換回原本影像。

FT 的核心概念是基於：任何複雜的週期函數皆可由正弦及餘弦波之和來表示，而若未特別指明，通常是代表連續函數的轉換，如公式(8)，而為了便於使用電腦進行處理，必須在一有限且離散的時間序列內進行 FT，此稱為離散傅立葉轉換(Discrete Fourier Transform, DFT)，如公式(9)。

$$\hat{f}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-2\pi i t \xi} dt \quad \xi \in R \cdots (8)$$

$$y_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i \frac{2\pi}{N} kn} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \cdots (9)$$

然而，為了減少 DFT 運算複雜度，美國學者 James Cooley 與 John Tukey 於 1965 年提出 Cooley-Tukey 演算法，以優化傳統 DFT 的計算，也是目前常使用的方法之一，亦是快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)的一種，在數位訊號處理領域佔有一席之地。Cooley-Tukey 演算法的基本概念是將序列長為 N 的 DFT 分割成長度為 N/2 之子序列，如公式(9)即可將其分割成公式(10)。

$$y_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \omega_N^{kn} = \sum_{n=2t} \omega_N^{kn} x_n + \sum_{n=2t+1} \omega_N^{kn} x_n \cdots (10)$$

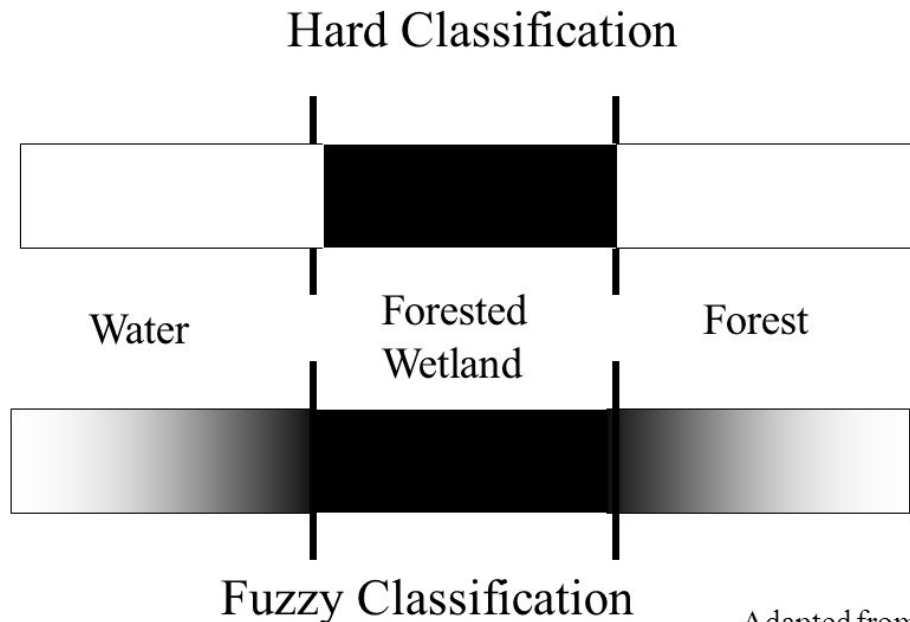
不同於聲波或振波的訊號，影像是二維平面的，故需使用二維的傅立葉轉換，以離散型態表示如公式(11)，其中影像尺寸為 $M \times N$ ， $f(x,y)$ 代表位於 (x,y) 座標的灰度值， u 的範圍為 $0 \sim M-1$ 、 v 的範圍為 $0 \sim N-1$ 。

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp(-i 2\pi (\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})) \cdots (11)$$

4.3 目標偵測與分類

影像分類基本構想是根據影像特徵自動將影像中的像素分門別類，例如地貌判識是針對水體、植被及土砂等類別予以偵測，其即係利用物體針對光譜的反射率所轉換之灰度值進行分析，或可利用高程、土地利用等影像以外的附加資訊加強偵測及分類目的。在基於像素的影像分類，主要可分為硬分類(Hard Classification)及軟分類(Soft Classification)，兩者差異在於硬分類是一個像素僅能有一個類別，而軟分類(或稱模糊分類)則允許單一像素不完全屬於某一類別，而是有機率和程度的區別，其分類界線模糊，適用於不確定性較高的任務(如圖 4.28)。

Hard vs. Fuzzy Classification



Adapted from Jensen,
2nd ed. 1996

資料來源：Amanda Lawrence-Image Classification: Supervised Methods

圖 4.28 硬分類和模糊分類區別

而在分類機制上，則依照是否由人為先給定影像欲分類類別，而且這些類別是人為定義出的有限集合，進一步區分為監督式學習(Supervised Learning)和非監督式學習(Unsupervised Learning)。

1. 監督式學習

如同前段提及，監督式學習就是由人類做為機器(電腦)的老師，把分類標準答案告訴電腦，提供它在訓練及測試時能判斷輸出的值是否正確？或有多少誤差？故若任務目的是可有專業領域知識的專家可先識別影像中各像素或其組成區域的空間特徵及所代表之類別時，即可使用監督式學習方式來進行模型訓練(如圖 4.29)。而告訴電腦正確答案的方法即是經由資料標註來實現，惟標註的過程大多需人工來進行，若資料筆數多時，無疑是一大耗時耗力的工程，但電腦在學習過程因為有正確答案能比較並進一步修正模型參數、減少誤差，故監督式學習有相對較能準確分類的優勢。機器學習的最小距離

法(Minimum-distance)、馬哈拉諾比斯距離法(Mahalanobis distance)、支持向量機(Support Vector Machine)或是深度學習的類神經網路(Artificial Neural Network)皆是常見的監督式學習演算法和模型。

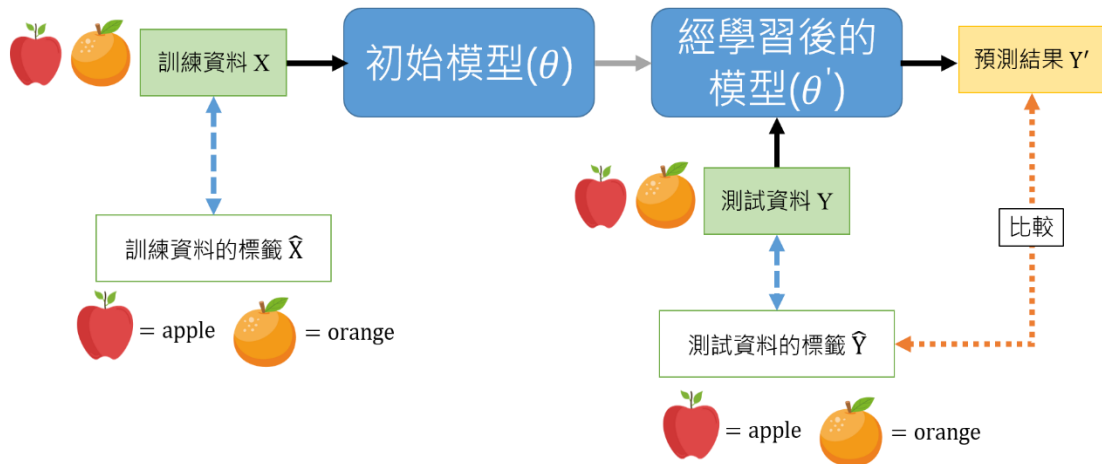


圖 4.29 監督式學習流程示意圖

2. 非監督式學習

非監督式學習照字面意思，即不需要人類在旁監督，不利用標註後的資料(訓練樣本)告訴電腦何為正確答案，而是讓電腦自行利用輸入資料去學習並發現規律後完成分類歸納(如圖 4.30)，其主要步驟為：(1)決定輸入資料中的集群(Clusters)數量、(2)定義類別。常見的非監督式學習演算法和模型為機器學習的 K-means 以及深度學習的自編碼器(AutoEncoder)等。

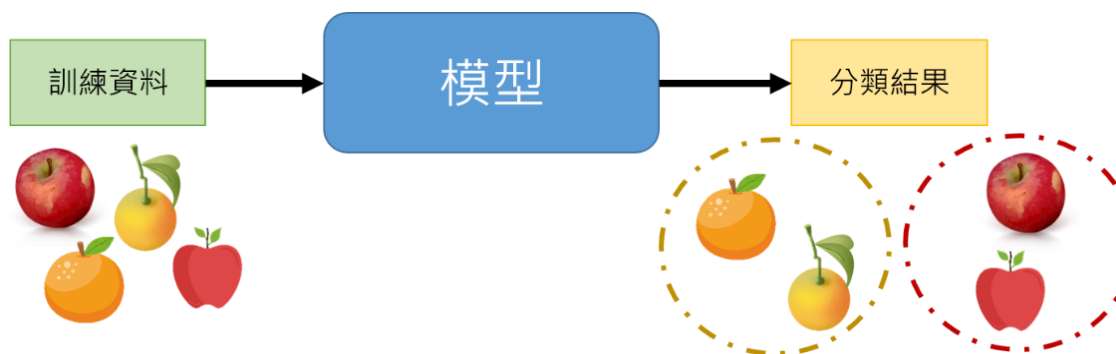


圖 4.30 非監督式學習流程示意圖

雖非監督式學習可節省標註時間、提升效率，然其僅適合在不同類別的數據可明顯被分別的任務，而且在自動分類的過程出現錯誤，

例如陰影被歸納為植被，則亦需要手動去修正及調整參數。目前，也開始出現融合監督式和非監督式學習的方法，稱作半監督式學習(Semi-supervised Learning)或是以物件導向(Object-based)的分類方式。

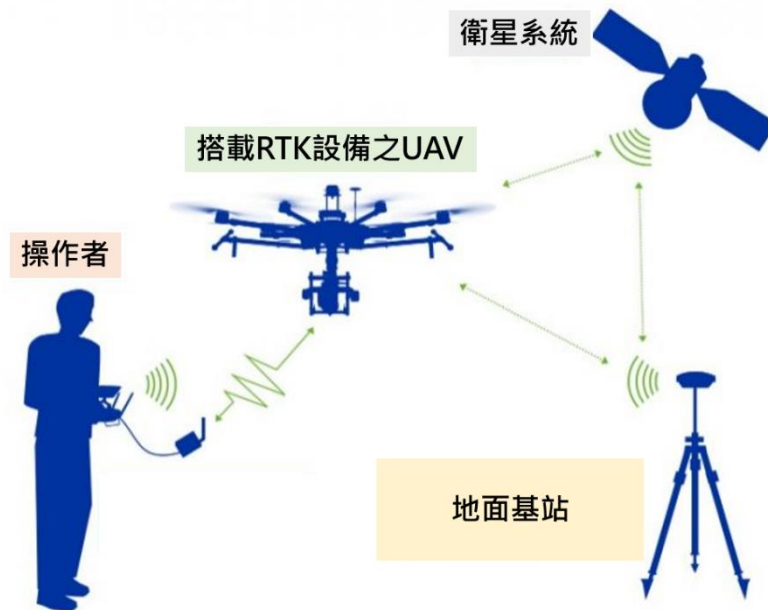
4.4 邊坡地貌判識影像蒐集與處理流程規劃

盤點本研究之公路邊坡影像取得來源大致可分為兩種，一是直接至相關遙測空拍影像提供平台進行購置，例如：內政部國土測繪中心、農業部林業及自然保育署航測及遙測分署等，提供原始航空照片、正射影像、衛星影像等遙測產品；二是逕自向公路邊坡維管機關蒐集其所轄邊坡場址空拍資料，依前章公路邊坡維管機制之探討，以公路局為例，其明定將遙測技術納入邊坡巡檢工作，考量邊坡監測範圍大小，此類空拍影像多以 UAV 拍攝為大宗，部分發生災害或高風險潛勢邊坡則會再利用航拍 LiDAR 取得點雲資料後產製三維模型、DEM 等做為多時期變異監測手段，而相關成果會上傳至所建置之數位圖資管理平台。規劃將先以後者為主要蒐集空拍影像管道，以瞭解公路邊坡維管單位關注之標的、確認分析場域並配合其維管制度進行，俟有不足，再考量購置空拍影像。以下以取得空拍影像來源為 UAV，進行後續之影像處理流程規劃說明。

目前公路邊坡維管單位使用之商業 UAV 基本上皆可達到 4K 以上超高解析度之攝影及 2000 萬畫素靜態相片拍攝，若假設飛行高度為 300 米左右，其可見光的地面採樣距離(Ground Sample Distance, GSD)約可達 10 公分以下，若 UAV 外載多光譜相機取得紅、綠、藍及近紅外光等波段，後續可進行更細緻的邊坡地貌特徵擷取。

另外如需使用高細緻空間基礎影像資料進行多時期邊坡地貌判識工作並提升建模精度，尚須進行控制測量並於邊坡上佈設控制點，現可利用 RTK 技術，一種利用全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)，由具接收器功能之基站(Base)或稱固定站、參考站，持續接收衛星資訊(此過程亦稱載波相位測量(Carrier Phase Measurement))，並利用通訊儀器將載波相位差分資料提供給移動站(Rover)，以獲得較高精度定位座標的方法來進行(如圖 4.31)，但傳統

RTK 技術因受傳輸範圍(約 10km 內)限制及需即時且穩定之訊號(4G/5G),故後續發展出應用虛擬基站(Virtual Base Station, VBS)之 RTK 技術,簡稱 VBS-RTK,其採用多個衛星定位基準站所組成的 GNSS 網絡來評估基準站涵蓋地區之定位誤差,再配合最鄰近的實體基準站觀測資料,產製一個虛擬的基準站做為 RTK 主站,故僅需在所測量點位上擺上移動站,透過標準傳輸格式傳送至控制及計算中心,並據以計算虛擬基準站之模擬觀測量後,即可實現超短基線 RTK 解算。



資料來源：<https://www.droneassemble.com/is-rtk-the-future-of-drone-mapping/>(下載日期 112.11.7)

圖 4.31 UAV+RTK 技術示意圖

接著可利用 UAV 航線設定功能,依所需的相片重疊率,再配合視覺攝影測量技術及影像拼接處理商用軟體,即可取得邊坡正射影像、DSM。若 UAV 額外搭載多光譜攝影機,則可利用植物在紅光波段吸收強、近紅外光反射強的特性,利用標準化植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)協助進行辨識和分類,如公式(12),若 NDVI 結果為-1~1 之間則代表該範圍植被覆蓋,越接近 1 表示越蔥綠茂密,而若 NDVI 為 0 則可能為岩石或裸露地。

$$NDVI = \frac{\text{近紅外光(NIR)} - \text{紅光(RED)}}{\text{近紅外光(NIR)} + \text{紅光(RED)}} \dots (12)$$

最後在目標偵測與分類部分，考量時間及人力，訓練區域的標註可採監督式學習和非監督式學習結合的半監督式學習來處理，先利用肉眼或相關指標進行欲辨識區域的圈繪(標註)，再考量利用實例分割技術或生成式(Generative)AI 模型輔助進行自動生成後再利用深度學習相關模型協助進行後續工作(深度學習相關模型於第五章進行介紹)。以下綜整空拍影像資料取得及預處理過程，如圖 4.32。

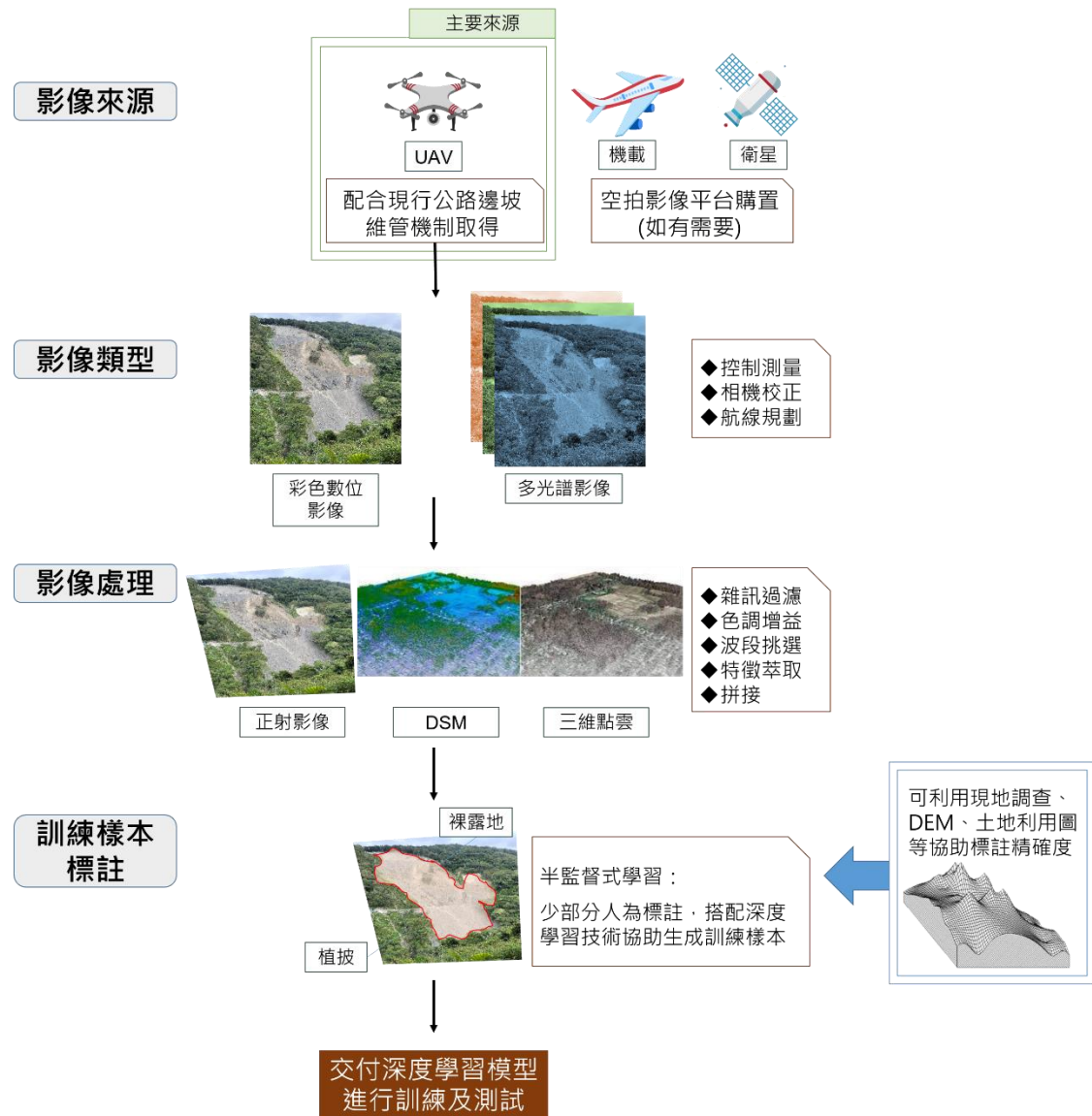


圖 4.32 後續影像取得及處理流程規劃

第五章 深度學習影像辨識模型研析

人工智慧一詞在 1956 年達特茅斯(Dartmouth)會議即被提出，人稱人工智慧之父約翰·麥卡錫(John McCarthy)將其定義為：「The science and engineering of making intelligent machines, especially intelligent computer programs.」。簡而言之，AI 即是利用人為編寫電腦程式，去模擬出人類智慧行為的過程。

目前 AI 應用已相當普遍及廣泛，在日常生活中也時常被使用，例如：藉由網頁瀏覽紀錄，投放感興趣的廣告(例如：Meta Facebook)；預測觀眾喜好推薦影片(例如：YouTube、Netflix)；語音辨識(例如：Apple Siri、Amazon Alexa)；自駕車辨識系統(例如：Tesla)等等，早與我們密不可分。而實現 AI 應用的核心包含：資訊科學、資料科學以及相關領域的專門知識(工程、金融、心理等等)，由多門學科交互相輔而成。

而深度學習為現今實現 AI 的一熱門手段，專指利用神經網路做為核心演算法的一門技術，且不同於過往之機器學習演算法，深度學習係由模型透過大量定型資料自行建立特徵並找出最佳化結果，後人也能因應不同目的開發出各式神經網路，並透過開源程式碼提供使用，使現在深度學習使用變得非常平易近人，惟需要花費時間針對自身目的進行模型參數校調。

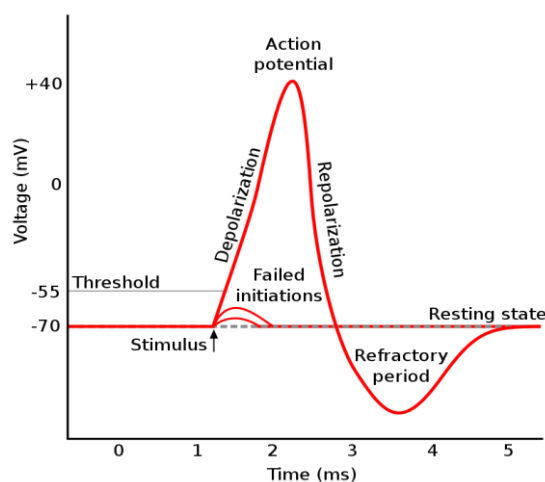
由以上敘述可知要進行深度學習，所關注的重點有二：資料處理及學習演算法，本研究目的在探討空拍影像結合深度學習的可行性應用，針對影像資料的分析、處理過程已於前章進行大略說明，本章將重點關注何種深度學習演算法較適宜處理影像辨識任務。

5.1 神經網路(Neural Network)

Walter Pitts 和 Warren S. McCulloch(1943)^[37]創造一種基於數學和閾值邏輯的演算法，可謂最早的神經網路模型；Frank Rosenblatt(1958)^[38]加以延伸述並引進了加權觀念；Paul Werbos(1974)^[39]為解決原本神經網路會有的互斥或迴路問題，發明了反向傳播(Back Propagation)演算法，

並在其論文中演示如何被應用於神經網路，使多層神經網路訓練更為普遍；Yann LeCun 等 7 人(1989)^[40]則針對美國郵政機構手寫數字辨識，將神經網路投入實際應用。而機器學習演算法如：SVM、線性分類器 (Linear Classifier) 等興起，有效簡化資料分類與回歸，致使神經網路的投入下降，直至 2010 年前後，圖形處理單元(Graphics Processing Unit，GPU)應用成熟，神經網路模型又開始重新回歸人們的視野。

生物的神經元基於所謂的「全有全無定律」，若神經元遭遇刺激但低於作動門檻值或稱閾值(Threshold)，則不會有動作電位激發；若達到閾值，則必激發出一完整動作電位，而每一個動作電位都是一樣大小(如圖 5.1)。神經網路即是模仿前述生物神經系統之網狀結構及傳遞方式，藉由大量人工節點(或稱神經元)進行聯結和計算，故又稱為人工神經網路(Artificial Neural Network，ANN)或類神經網路。



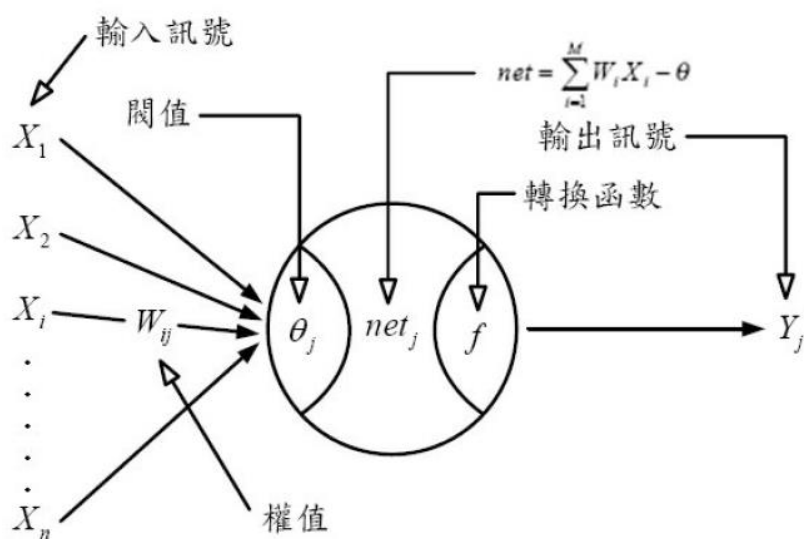
資料來源：Wikimedia Commons

圖 5.1 生物神經元作動原理

在類神經網路中，除輸入訊號外，亦包含各連結間的權重值，權重值可經人為進行校調，兩者會進行乘加後匯集至神經元，乘加後的值再與神經元初始閾值相減，其差值即判定是否進行輸出，若達成條件，則經由激發函數(Activation Function)(或稱轉換函數)進行輸出(如圖 5.2)，輸出結果會再轉變為下一層新的輸入值，層層傳遞至最後的輸出層。

激發函數十分多元，若想讓輸入及輸出脫離線性關係，幫助類神經

網路模型學習處理複雜的問題，則可使用以下常見的非線性激發函數。



資料來源：<https://ah.nccu.edu.tw/bitstream/140.119/35873/6/25700606.pdf>(國立政治大學機構典藏)(下載日期 113.1.2)

圖 5.2 類神經網路神經元運作模式

1. Sigmoid

Sigmoid 為 0~1 區間之平滑 S 曲線(如圖 5.3)，是深度學習常見亦是使用範圍廣泛之非線性激發函數，函式如(13)。

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \cdots (13)$$

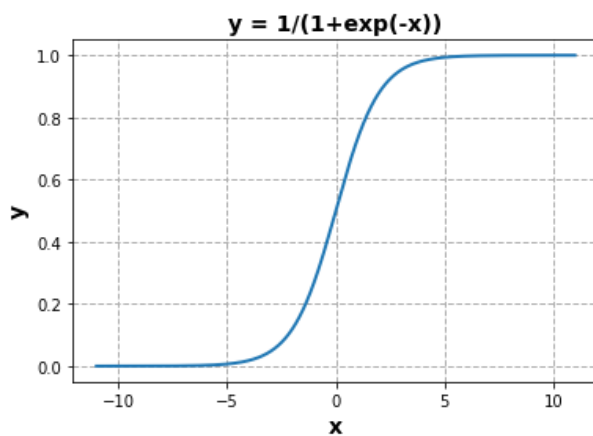


圖 5.3 Sigmoid 函數

2. Hyperbolic Tangent(Tanh)

和 Sigmoid 相似，Tanh 在當 X 值為負數且越值小時，其 Y 值往 -1 接近(如圖 5.4)，函式如(14)。

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \cdots (14)$$

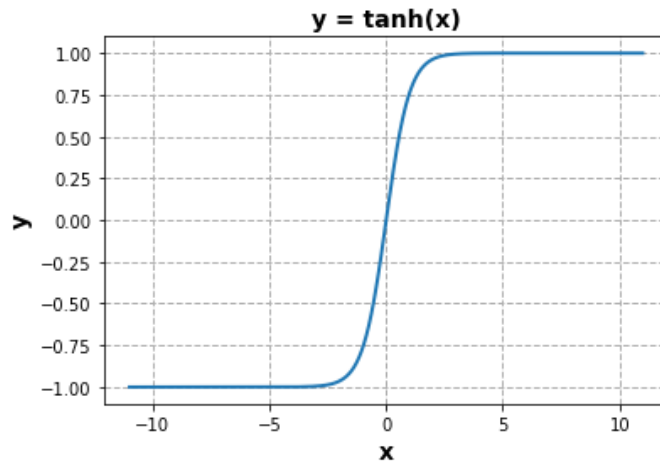


圖 5.4 Tanh 函數

3. Rectified Linear Unit(ReLU)

ReLU 字面翻譯為修正線性單元，又可稱做整流(Rectifier)。ReLU 的好處就 Xavier Glorot 等 3 人(2011)^[41]文章表示可使神經網路結構較為稀疏(Sparse)，且不同於 Sigmoid 和 Tanh，ReLU 非屬指數函數，有相對較容易收斂且計算量小的優勢，使其成為近年深度學習最常用之激發函數之一。ReLU 函數在輸入值 x 小於 0 後皆以 0 表示(如圖 5.5)，函式如(15)。

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < 0 \\ x & \text{for } x \geq 0 \end{cases} \cdots (15)$$

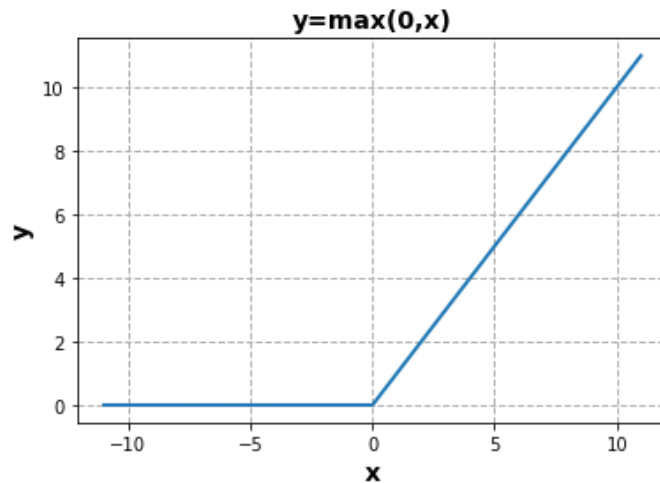
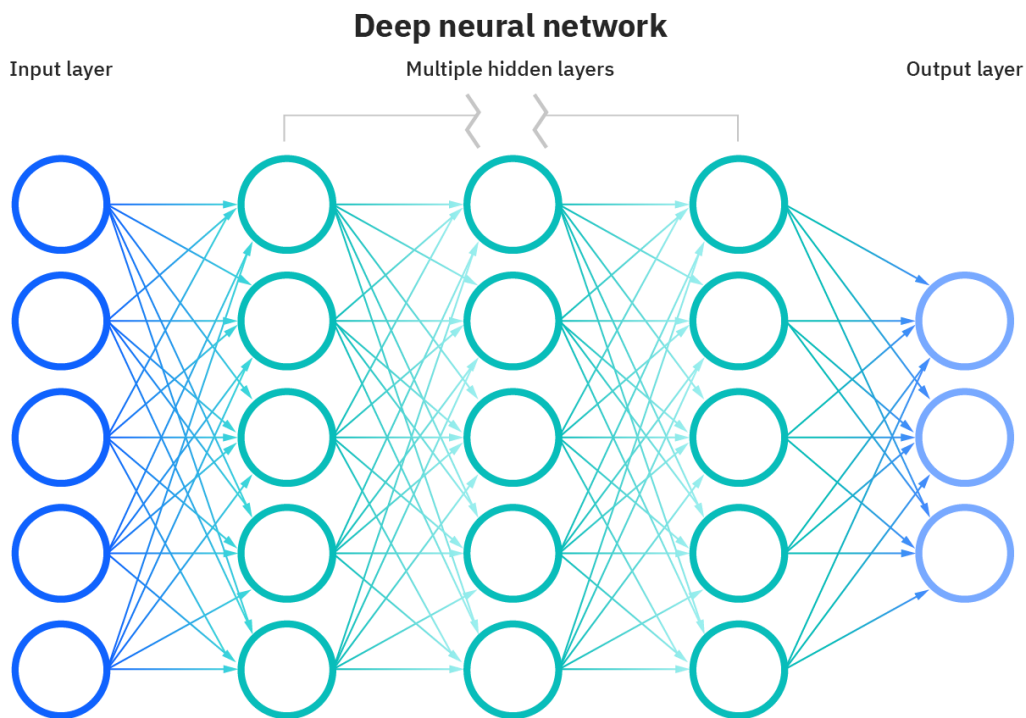


圖 5.5 ReLU 函數

除前述提到常用之激發函數，另外尚有 Leaky ReLU 函數、正弦函數、Maxout 函式、Softmax 函式.....等等。如何依照任務性質、計算量或是考量類神經網路反向傳遞(Back Propagation)時微分運算、誤差縮小及梯度下降相關問題，來選擇相對合適之激發函式，亦是深度學習重要課題之一。

5.2 深度神經網路(Deep Neural Network，DNN)

所謂「深度」神經網路意指由許多層神經網路組成(如圖 5.6)，現行因硬體效能越發強大，深度學習使用之神經網路模型，深度動輒可達數十層或百層，神經網路通常由輸入層、隱藏層、輸出層組成，並藉由往下逐層學習、反向傳播、最佳化參數至終達到想要的訓練結果。



資料來源：IBM Cloud Education

圖 5.6 深度神經網路示意圖

臺灣工研院資訊與通訊研究所所長闕志克表示：「深度神經網路，也就是機器學習中的一種深度學習方法，透過模仿生物神經系統的數學模型，進行不同階層與架構的多次運算和訓練，找出最佳化、最有效的深度學習模型。」。深度神經網路的優勢在於能在層層網路中自動學習，找出最佳化結果，而目前亦已被運用解決各式問題且因應不同任務性質衍生出各式種類之神經網路。

5.3 卷積神經網路(CNN)

卷積神經網路簡稱 CNN，因其在處理影像辨識任務上的高準確性，故目前常應用於影像辨識相關演算法，此外，像是：語言處理、影像分析、分類等等應用，亦可見 CNN 活躍的身影。CNN 結構對比一般神經網路，除了有輸入層及輸出層以外，中間隱藏層主要由卷積層 (Convolution Layer)、池化層 (Pooling Layer) 及全連接層 (Fully Connected Layer) 所組成。以下逐一介紹 CNN 各層的功用。

1. 卷積層

卷積層主要的功能是影像的特徵擷取，其運作方式是以一個方形矩陣—卷積核(Kernel)，對影像逐一掃視並進行卷積運算，並得到影像所謂的特徵地圖(Feature Map)，而特徵地圖輸出後的大小及效果會受卷積核矩陣的大小(Kernel Size)、權重值(Weight)、單次滑動步伐(Stride)、補值(Padding)等所影響。卷積核邊長通常為奇數(常見為 3×3)，以利尋找中心點，Seb(2021)將卷積核定義為二維矩陣，多個卷積核堆疊而成的三維結構，則稱為濾波器(Filter)，兩者在諸多文章中亦常常互換使用。實務上，會利用多個卷積核對影像進行卷積運算，多面向的擷取影像特徵，並利用 ReLU 等激發函數來強化特徵地圖之擷取，最後再將全部的特徵地圖疊合一塊後輸出至下一層。

以下用英文手寫字影像辨識為例子，簡要說明卷積運算的過程(如圖 5.7)。假設欲辨識英文手寫字之影像的大小為 8×8 ，其每一個畫素上都有該影像的特徵，並設定卷積核大小為 3×3 ，單次移動步伐為 1 步，經過卷積運算從左上方滑動至右下方後，逐一掃過，即可得 6×6 的特徵地圖。

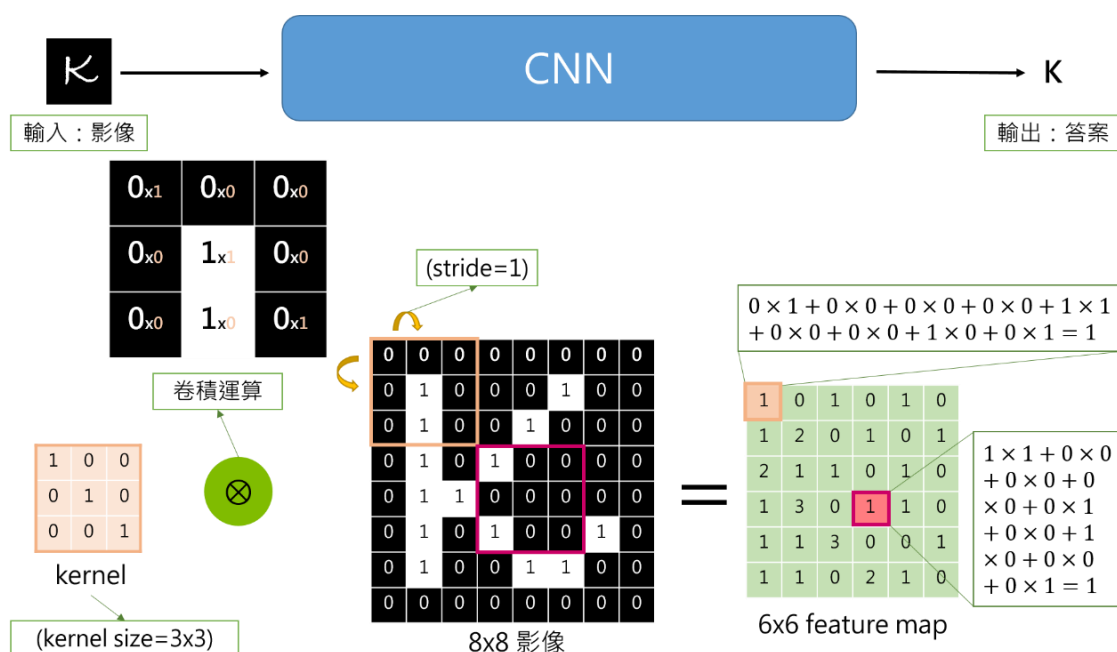


圖 5.7 卷積運算過程示意圖

2. 池化層

池化層主要的功能是壓縮影像以減少資料量，同時能保有該影像重要資訊，使 CNN 能專注判斷影像特徵而不受特徵位置所干擾，此過程亦稱次取樣(Subsampling)，常見方法有最大池化(Max Pooling)或平均池化(Average Pooling)。

假設卷積層輸出之特徵地圖大小為 6×6 ，以最大池化方式取 2×2 範圍進行池化運算，可有效將影像再縮小成 3×3 (如圖 5.8)，有效減少運算量並一定程度保留了選取範圍的特徵，此外池化後會降低參數量，較不易造成過擬合(Overfitting)。池化運算完成後，會再進行整平(Flatten)，把二維影像轉成一維陣列後，成為全連接層的輸入。

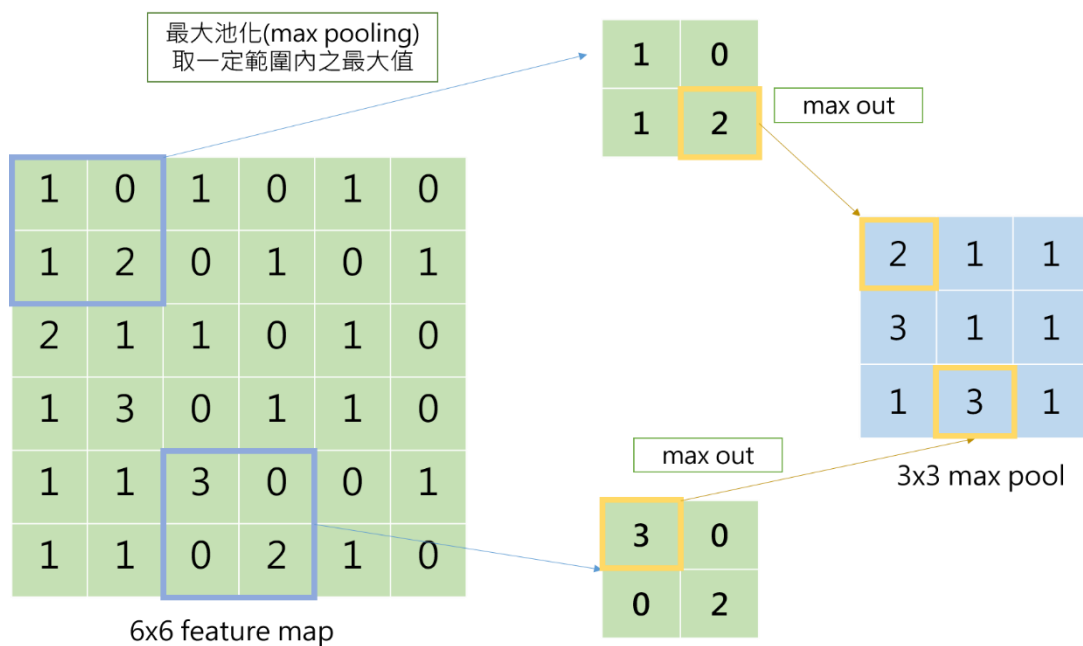


圖 5.8 池化運算過程示意圖

3. 全連接層

全連接層即是一般深度神經網路，主要的功能是輸入影像，藉由隱藏層中大量神經元進行聯結及計算，最後輸出分類、預測結果(如圖 5.9)。

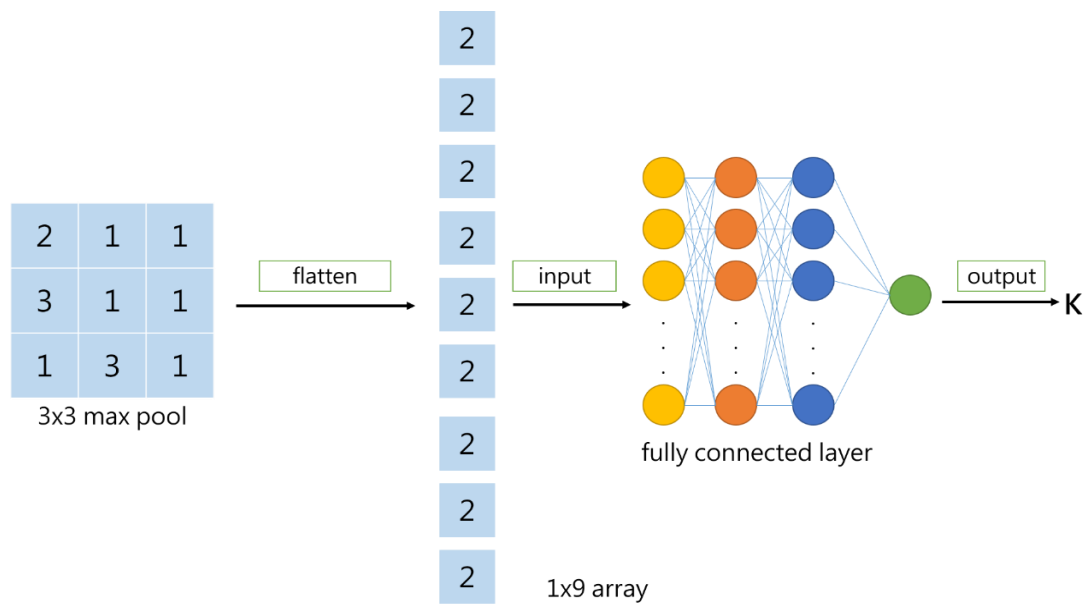
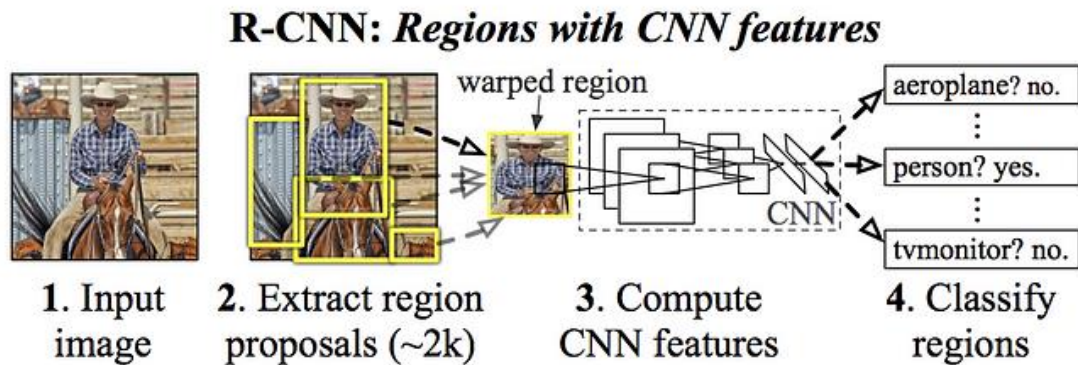


圖 5.9 池化結果經全連接層示意圖

另外，於實務上在 CNN 層與層之間，還會進行 Dropout 技術，來隨機切斷某些比例(通常為 25%或 50%)的神經元連接，使神經網路模型平均化，以減少過擬合的問題(Nitish Srivastava et al., 2014)。

5.4 基於區域的卷積神經網路(Region-based Convolutional Neural Networks, R-CNN)

利用電腦進行影像辨識相關任務主要包含兩大重點—物件偵測及分類，在物件偵測中為了能在影像中快速找出標的，Ross Girshick 等 4 人(2014)^[42]發表一應用候選區域(Region Proposal)的方法，首先，利用選擇性搜索(Selective Search)演算法生成約 2000 個大小矩形找出影像中可能包含關鍵物件的候選區域，接著再對前揭候選區域進行正規化(原論文將每一候選區域歸一為 227 x 227 大小)後輸出至 CNN 後取得特徵，並藉此評估該影像代表某分類的可能性(機率)，以實現快速偵測影像中的物體(如圖 5.10)。



資料來源：Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation Tech report.^[42]

圖 5.10 R-CNN 物件偵測流程

後來，為改善 R-CNN 的效率，其他變形如：Fast R-CNN、Faster R-CNN、Mask R-CNN 等被提出，尤其由 Kaiming He 等 4 人(2017)^[43]所提出的 Mask R-CNN，已不僅只是框選影像中欲辨識物件所在，更可定位出影像中該物件的精確像素所在，並從原本的語意分割(Semantic Segmentation)更進一步實現所謂的實例分割(Instance Segmentation)(如表 5-1)，然而 Mask R-CNN 屬於龐大的深度學習模型，對於硬體運算需求較高，若需辨識高解析度影像且場景複雜、類別眾多時都會導致運算不夠迅速，較不利於實務上的應用。

表 5-1 語意分割和實例分割之比較

	物件偵測	語意分割	實例分割
說明	將影像中經過模型學習過的所有物件類別加以偵測	可偵測影像中的每個像素其所屬的類別屬性	融合物件偵測及語意分割，可針對影像中同一種類但不同的實例再予以區別
舉例			

資料來源：Mrinal Walia-Semantic Segmentation vs. Instance Segmentation: Explained

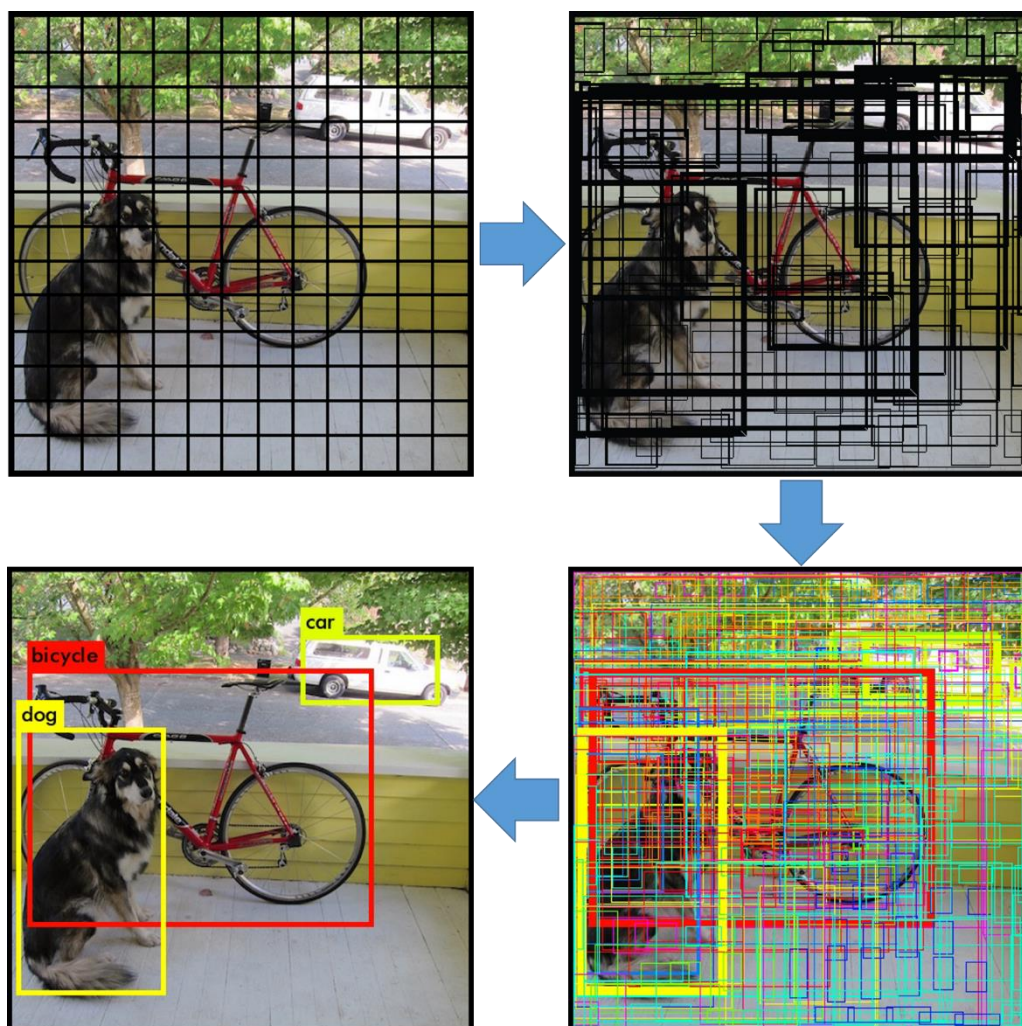
5.5 YOLO

YOLO 為 You Only Look Once 的縮寫，最初版本由 Joseph Redmon 等 4 人(2015)^[44]提出，其與 R-CNN 一樣皆是常見用於物件偵測的深度學習神經網路模型，然而與 R-CNN 系列模型不同的是它運行原理並非基於區域，而是先使用一個含有 24 個卷積層外加 2 個全連接層的 CNN 模型來預測物件邊界框的所在區域及機率，如此使它擁有整體模型架構輕巧、計算速度快的優勢，此外，YOLO 開放的程式碼使產學業界等社群間都能依照自己任務目的來調整、改善並提出更加精進後的版本，在 2023 年 1 月已釋出 YOLO 第 8 代。

YOLO 首先將原始影像劃分成均等大小的網格單元(Grid Cell)，每個網格單元利用預設參數來預測邊界框(Bounding Boxes)位置，包含描述邊界框中心點位置(x,y)及邊界框寬高大小(w,h)，並利用信心分數(Confidence Score)來說明其屬於哪個類別的機率高低，若信心分數為 0 則表示這個邊界框對於物件偵測幫助微不足道，最後提出一公式(如式(16))來計算該組合後的信心分數以及類別預測是否有超過設定的閾值(閾值可依任務需求調整)，有通過的話代表該邊界框含欲偵測物件種類的機率高並予以保留，最後得到物件偵測的預測結果。

$$IOU = \frac{A \cap B}{A \cup B} \cdots (16)$$

若以實例講解，假設 YOLO 將圖像分成 $13 \times 13 = 169$ 個網格單元，每個網格單元負責預測 5 個邊界框，故總共有 $169 \times 5 = 845$ 個邊界框，所預測的邊界框若信心分數越高則邊界被繪製的越粗，接著利用 IOU 公式進行各個邊界框計算後得到信心分數最高的物件偵測類別(如圖 5.11)。



資料來源：You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection[44]

圖 5.11 YOLO 物件偵測流程

5.6 深度學習框架(Deep Learning Framework)

前揭神經網路模型都是由具備數學或資工專長和專業的工程師，以程式語言例如：Python、C++、Matlab 等所建構而成，然而，考量並非所有需利用 AI 解決問題之使用者都具備建模能力，Google、Microsoft、Meta 等公司企業都嘗試建構深度學習框架，並將程式碼邏輯及運算皆完成最佳化並提供開源管道，一般使用者僅需使用應用程式介面(Application Programming Interface，API)即可。

API，即是扮演程式之間的橋梁角色，以下用餐廳點菜的例子簡要說明 API 的運作。顧客進到餐廳後，利用其提供的菜單向服務生點菜，

服務生在接收到顧客需求後就協助告知餐廳主廚，並等主廚完成料理後，再由服務生將餐點送至顧客面前，API 就是扮演服務生這個溝通的角色。一般使用者僅需會利用前揭公司創建之深度學習框架，利用輸入程式指令方式呼叫模組或函式，即能快速且有效率的佈署神經網路相關模型，並利用蒐集的資料開始投入訓練。以下介紹較為常見且主流之深度學習框架。

1. Tensorflow

Tensorflow 初始版本由 Google 於 2015 年提出，並在 2019 年整合另一框架 Keras 後改版成 Tensorflow2.0。Tensorflow 為開源且完全免費，因可用於多種不同系統平台和程式語言，致使許多業界在開發相關任務專案都是以此框架進行，加上 Google 本身廣大的社群和資料庫為後盾，Tensorflow 為當今最主流的深度學習和機器學習框架之一。

2. PyTorch

PyTorch 於 2017 年由 Meta(當時為 Facebook)開發後釋出，和 Tensorflow 同樣為免費且開源，其優勢在於使用的語法相較 Tensorflow 更為簡潔易懂並且採用張量(Tensor)運算，支持 GPU 加速達到快速部屬模型目的。另外，PyTorch 應用動態計算圖(Dynamic Computation Graph)，使其具備高效建立、調整靈活的優勢，在學術界普遍被使用，而現在亦有許多業界(例如：特斯拉的自動駕駛)以此深度學習框架來開發。

5.7 小結

本計畫研究目的在於利用空拍影像結合深度學習進行邊坡地貌辨識，若需達到 AI 自動化物件辨識，前揭介紹的 Mask R-CNN 和 YOLO 神經網路模型皆可適用，惟考量 Mask R-CNN 所需的硬體資源較大且其為 2017 年所發布，相較持續更新的 YOLO 系列模型，後者應較便於實務上的應用。

第六章 結論與建議

有鑑於過往邊坡各項巡檢作業以人力目視為主，近年相關單位持續引進 UAV、LiDAR 等遙測技術提升巡檢及管理效能，本所規劃 2 年期計畫進行空拍影像結合 AI 於公路邊坡地貌變異判識之研究，藉由實際訪談深入瞭解現行公路邊坡維管流程及防災機制，扣合實務單位應用需求，並探討合適 AI 輔助巡檢之空拍影像類別、處理方法及類神經網路等等，最後針對後續應用公路邊坡空拍影像結合深度學習於公路邊坡地貌變異判識得出以下結論與建議，未來將規劃合適之公路邊坡場址並利用所蒐集之空拍影像進行 AI 訓練及測試，若具成效，將逐步推廣 AI 辨識邊坡變異相關研究成果，供山區公路管理單位防災之應用，協助提升邊坡維護管理之品質及效率。

6.1 結論

1. 由第二章文獻回顧可瞭解依適用範圍及目的性，國內外皆有使用如衛星、飛機及 UAV 不同尺度遙測載具取得邊坡空拍影像之研究，歸納相關文獻可知欲進行影像辨識或目標偵測及分類任務，可利用空拍影像像素紋理特徵、可見光等不同波段光譜特性進行特徵萃取和處理，為提高辨識精度，亦可加入邊坡空間特徵資料(例如：DEM)、環境因子(例如：邊坡坡度、坡向、地質、高程、曲率等)共同分析，更甚者，可加入驅動因子(降雨強度、最大地表加速度等)進行邊坡災害預測。
2. 由第三章針對公路局和高速公路局現行公路邊坡維護管理制度進行探討，可知因兩單位所轄管邊坡之型態有所差異(如公路局有高聳及落石型邊坡，人力難以企及，高速公路局則較無此類型邊坡)，故針對遙測及航拍技術之使用亦有所區別。本計畫探討以 AI 結合空拍影像輔助公路邊坡進行相關應用，在考量結合現有公路邊坡維管制度取得空拍影像之便利性及資料豐富性為前提，後續以公路局過往取得之邊坡空拍影像資料及所轄邊坡場址來做未來之訓練標的似較為適當，而且可藉由納入其 RHRS 評估因子獲得之定量評分，提升 AI

精確度。

3. 高速公路局針對其所轄管邊坡佈設多類型監測儀器，並包含自動量測、儲存及回傳功能的設備，若考量以邊坡相關地表及地底監測數據做為 AI 訓練樣本，用以探討其數據變化對於邊坡異變之關聯程度，以達預測後預警之可能，亦是後續可考量切入公路邊坡 AI 應用方向。
4. 由第四章針對邊坡地貌判識影像蒐集與處理流程規劃，原始空拍影像資料集預計以公路邊坡維管機關逕自蒐集之邊坡影像為主要來源。此類空拍影像多以 UAV 拍攝為大宗，利用其航線設定功能，依所需的相片重疊率，再配合視覺攝影測量技術及影像拼接處理商用軟體，即可取得邊坡正射影像、DSM，而部分發生災害或高風險潛勢邊坡則會再利用 UAV 搭載多光譜相機或利用航拍 LiDAR 等其他手段取得其他附加資料做為邊坡多時期變異監測手段。
5. 考量時間及人力，訓練區域的標註可採監督式學習和非監督式學習結合的半監督式學習來處理，先利用人眼或相關指標進行欲判識區域的圈繪(標註)，再考量利用 YOLO 等模型的實例分割技術或生成式 AI 模型輔助進行自動生成。原始訓練資料方面，若後續蒐集之 UAV 空拍影像訓練樣本不足時亦可考量以生成式 AI 模型協助進行資料擴增(Data Augmentation)，藉此完成足夠的訓練樣本數量及標籤工作。
6. 由第五章深度學習影像辨識模型研析，配合本計畫欲以空拍影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之目的，並考量適用性、時間人力、訓練效率、硬體效能、建構難易等因素，YOLO 系列模型相對符合。
7. 綜上，完成相關工作流程的規劃(如圖 6.1)。

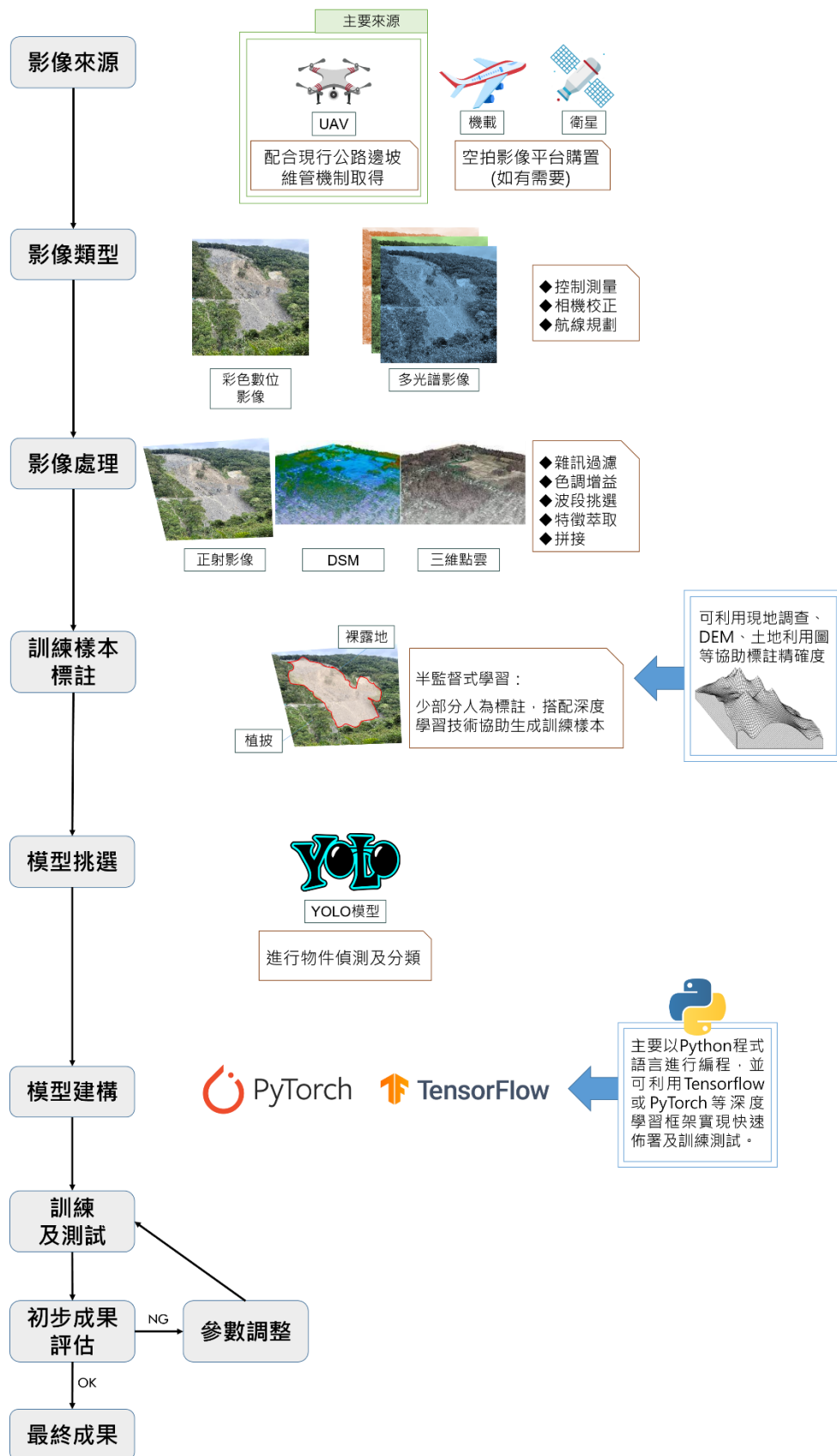


圖 6.1 進行邊坡空拍影像結合深度學習之工作流程規劃

6.2 建議

1. 公路局及高速公路局現已在既有之邊坡維護管理制度上導入新興科技應用，蒐集並產製各類公路邊坡數值影像及模型資料，並建置相關邊坡資訊系統予以儲存，建議未來相關資訊可進行大數據決策輔助資料庫、AI 訓練及災害預測等後續智慧化加值應用。
2. 邊坡災害類型眾多，若要深入探討 AI 於邊坡防災上的應用，建議可先依照不同特性邊坡及破壞類型，例如：落石、地滑、土石流等，進行剖析後先選擇其一進行，以利聚焦。

6.3 成果效益與應用

1. 本計畫可提供公路局、高速公路局於其轄管邊坡結合 AI 應用之參採。
2. 本計畫可做為本所人工智慧技術研發後續相關研究探討與應用。

6.4 提供政府單位應用情形

本計畫屬初步探討性質，尚無提供予政府單位應用情形。

參考文獻

1. Ding, A., Zhang, Q., Zhou, X., & Dai, B. (2016). Automatic Recognition of Landslide Based on CNN and Texture Change Detection. *2016 31st Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*.
2. Chen, Z., Zhang, Y., Ouyang, C., Zhang, F., & Ma, J. (2018). Automated Landslides Detection for Mountain Cities Using Multi-Temporal Remote Sensing Imagery. *Sensors*, 18(3).
3. Ye, C., Li, Yao, Cui, Peng, Liang, L., Pirasteh, S., Marcato, José, Gonçalves, Wesley Nunes, & Li, Jonathan. (2019). Landslide Detection of Hyperspectral Remote Sensing Data Based on Deep Learning With Constrains. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(12), 5047–5060.
4. Ghorbanzadeh, O., Meena, S. R., Blaschke, T., & Aryal, J. (2019). UAV-Based Slope Failure Detection Using Deep-Learning Convolutional Neural Networks. *Remote Sensing*, 11(17).
5. Sameen, M. I., & Pradhan, B. (2019). Landslide Detection Using Residual Networks and the Fusion of Spectral and Topographic Information. *IEEE Access*, 7, 114363–114373.
6. Wang, H., Zhang, L., Yin, K., Luo, H., & Li, jinhui. (2021). Landslide Identification Using Machine Learning. *Geoscience Frontiers*, 12(1), 351–364.
7. Yi, Yaning, & Zhang, Wanchang. (2020). A New Deep-Learning-Based Approach for Earthquake-Triggered Landslide Detection From Single-Temporal RapidEye Satellite Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 6166–6176.
8. Ghorbanzadeh, O., Crivellari, alessandro, Ghamisi, pedram, Shahabi, H., & Blaschke, T. (2021). A Comprehensive Transferability Evaluation of U-Net and ResU-Net for Landslide Detection from Sentinel-2 Data (Case Study Areas from Taiwan, China, and Japan). *Scientific*

Reports, 11.

9. Shi, W., Zhang, M., Ke, H., Fang, X., Zhan, zhao, & Chen, shanxiong. (2021). Landslide Recognition by Deep Convolutional Neural Network and Change Detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(6), 4654–4672.
10. Guo, X., Liu, X., Zhu, E., & Yin, J. (2017). Deep Clustering with Convolutional Autoencoders. *ICONIP 2017: Neural Information Processing*, 10635, 373–382.
11. 溫振宇. (2005). 結合地震與颱風因子之山崩模式分析. 國立成功大學.
12. 李秉乾, 雷祖強, 謝孟勳, 黃亦敏, 方耀民, & 周天穎. (2019). 應用人工智慧技術發展坡地崩塌風險評估模式. 行政院農業委員會水土保持局.
13. 詹繡襄. (2021). 降雨引致之坡地崩塌災害損失評估. 新北市政府新店地政事務所.
14. 林彥廷, 顏筱穎, 張乃軒, 林宏明, 韓仁毓, 楊國鑫, 陳俊杉, 鄭洪達, & 徐若堯. (2021). 應用AI學習技術於坡地崩塌預測分析—以高雄市小林村為例. *土木水利*, 48(2), 48–55.
15. 交通技術標準規範公路類公路工程部. (2015). 公路邊坡工程設計規範. 交通部.
16. Varnes, D. J. (1978). *Slope Movement Types and Processes*. TRB Special Report 176, Landslides: Analysis and Control.
17. United States Geological Survey. (2016). *Landslide Types and Processes*.
18. Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2013). The Varnes Classification of Landslide Types, an Update. *Landslides*, 11, 167–194.
19. 吳進興, 吳文隆, 蕭秋安, & 周坤賢. (2015). 極端氣候下公路邊坡災害復建工程設計探討. *中華技術*, 105, 160–173.
20. 交通技術標準規範公路類公路工程部. (2015). 公路邊坡大地工程

設施維護與管理規範. 交通部.

21. 交通部公路局. (2021). 公路總局邊坡維護管理制度簡報.
22. 陳進發. (2018). 公路總局推動科技應用於山區公路養護管理階段成果分享. 臺灣公路工程, 44(5), 26–39.
23. 陳進發. (2023). 地工數據分析應用於道路智慧化簡報. 交通部公路局.
24. 交通部高速公路局技術規範. (2017). 高速公路養護手冊.
25. 行政法人國家災害防救科技中心. (2015). 大規模崩塌災害防治行動綱領.
26. 行政院農業委員會水土保持局. (2021). 大規模崩塌調查與監測作業指引.
27. 鄭錦桐, 潘國樑, 王順民, & 邵國士. (2012). 遙測影像於地滑及土石流的辨識. 災害防救電子報, 84, 1–17.
28. 陳勉銘. (2016). 山崩與地滑地質敏感區基地地質調查及地質安全評估簡報. 經濟部中央地質調查所.
29. 吳淵洵, & 周南山. (2006). 台灣山區道路邊坡災害及搶修處理工法之探討. 臺灣公路工程, 32(12), 2–32.
30. Flores-anderson, A. I., Herndon, K. E., Thapa, R. B., & Cherrington, E. (2019). *The SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*. The National Aeronautics and Space Administration.
31. 行政院農業委員會水土保持局. (2021). 110 年度日本土砂災害防治序號 9：遙測-依合成孔徑雷達(SAR)圖像判讀土砂災害指引.
32. 莊承穎. (2022). 應用衛星影像最容易被誤解的事-空間解析度. 農村發展及水土保持署電子報：新興科技應用, 57.
33. Portengen, L. (2017). *Classifying Mangroves in Vietnam Using Radar and Optical Satellite Remote Sensing: Processing Sentinel-1 and Sentinel-2 Imagery in Google Earth Engine*. Delft University of

Technology.

34. EDUSAT training programme. (2007). *Introduction to Digital Image Processing*. Lucknow University.
35. Kemper, J., & Hauschildt, D. (2010). Passive Infrared Localization with a Probability Hypothesis Density Filter. *7th Workshop on Positioning Navigation and Communication*.
36. Gonzalez, R. C., & Falsal, Z. (2019). *Digital Image Processing Second Edition*. Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey 07458.
37. Mcculloch, W. S., & Pitts , W. (1943). A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115–133.
38. Rosenblatt, F. (1958). The Perceptron a Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. *Psychological Review*, 65(6), 386–408.
39. Werbos, P. (1974). Beyond Regression New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Science. Thesis(Ph. D.)--Harvard University.
40. Y. lecun, B. boser, J. s. denker, D. henderson, R. e. howard, W. hubbard, & L. d. jackel. (1989). Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition. *Neural Computation*, 1(4), 541–551.
41. Glorot, X., Bordes, A., & Y. bengio. (2011). Deep Sparse Rectifier Neural Networks. *Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*, 15, 315–323.
42. Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation. *ArXiv*.
43. He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. *ArXiv*.
44. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2015). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *ArXiv*.

附錄一

專家學者及實務單位訪談紀錄

1. 公路局 陳總工程司進發

時間：112 年 3 月 31 日(星期五)下午 16 時～18 時

地點：運輸技術研究中心

紀錄：黃宇謙 副研究員

壹、計畫緣由說明：(略)

貳、重點紀要

一、能否針對貴局現行邊坡維護管理制度結合空拍流程進行說明？

公路局轄管邊坡依「需處理程度」分成 A、B、C、D 四個等級，其中具不穩定徵兆之 A、B 級邊坡經由 RHRS(落石災害評分系統)的 10 項評估因子，再進行細部定量評估後分 1~5 等級，若列於 3 級以上則屬相對高風險邊坡，將由工務段或委外廠商固定(1 次/季或更短)以 UAV/S、LiDAR 進行空拍，以取得邊坡正射影像、點雲圖、3D 建模及 DEM 等，並建立資料庫。

二、貴局取得之空拍影像是否有後續應用之規劃？

人員目視邊坡巡檢之難處在於無法全方位去進行調查，而遙測設備之空拍影像即可補足平時人力視線及徒步無法觸及區域，對邊坡整體細節做更詳盡的記錄及分析。首先依現地狀況選用 UAV/S 或 LiDAR 拍攝正射影像並建立 3D 數值模型，再經人工判識出山崩、地滑、岩落等災害特徵或不利條件後，以 RHRS 進行定量危害度分級，找出易致災路段，並據以選用後續適當之防護工法，確保用路人安全，以上為公路局科技應用於日常養護階段之作業流程。

此外，公路局尚利用前後期空拍成果進行套疊以進行地表微變量測、開裂岩體節理面組數與位態紀錄、浮石巡檢、落石防治、變異性評估等等應用。

三、貴局對於 AI 等新興科技應用於邊坡養護管理之擘劃為何？

公路局現已在既有之邊坡維護管理制度上導入科技設備應用，產製各類數值模型資料，並建置資訊管理系統匯集成龐大的資料庫，隨物聯網、5G 傳輸、雲端儲存和運算、AI 影像辨識與處理技術等新科應用興起，公路局亦正逐步進行數位轉型，以提升效能並支援決策。

2. 公路局 陳分局長俊堯

時間：112 年 5 月 24 日(星期三)下午 2 時～5 時

地點：公路局北區養護工程分局

紀錄：黃宇謙 副研究員

壹、計畫緣由說明：(略)

貳、重點紀要

一、貴分局所轄邊坡中，何種場址會定時進行空拍？空拍流程(含後續影像處理、儲存等)大致為何？

本分局依局內規定，將 2 年內有災害紀錄及疑似致災潛勢或破壞徵兆之邊坡，列為重點關注邊坡，並由工務段飛手或委外廠商固定(1 次/季或更短)以 UAV、LiDAR 進行空拍，進行持續監測。此外，於災前災後也會由工務段飛手進行 UAV 空拍任務。

空拍影像蒐集回來後，會利用相關軟體進行建模，本分局要求產製 las(點雲)檔、obj(三維模型)檔、shp(向量圖形及屬性)檔，並將相關成果上傳至本分局建置之數位圖資管理平台。

而為了維持邊坡建模品質及後續套疊比對等加值應用，本分局近 2 年固定舉辦教育訓練及競賽評比，從航線規劃、飛航高度及相片重疊率等設定到建模精度皆納入評分項目，藉此提升同仁專業底蘊。

二、貴分局是否有規定各工程處需採購固定型號或規格之 UAV，以維取得資料一致性？

UAV 空拍關鍵所在是定位定向之飛航參考座標點，有良好的參考點才能在後續影像建模套疊比對時有好的精度及成果。基此，UAV 型號和相機規格僅需符合相關影像處理步驟所要之影像解析度及功能即可。

目前本分局考照以 15 公斤級以下 UAV 為主，然而，為因應未來勘災需要抗風能力較強及續航力較持久的 UAV，會逐步將重心移往 15 公斤級以上的 UAV。本分局 UAV 統一由防災中心進行採購。

三、依貴分局現行邊坡空拍及資料庫建立流程，有何適合 AI 切入應用實務發揮空間？

依目前公路局蒐集並使用之空拍影像，主要來源可分為 UAV、LiDAR 及衛星影像，後續產製的資料以 DSM 和 DEM 為大宗。若以 DSM 為 AI 學習資料庫，除需考量資料量是否足夠以外，還有其先天受地表植被、光線陰影等影響，在資料的處理上需更為費心，此外 AI 尚需考慮標籤的問題，需要依照不同邊坡類型，由專家先行判斷侵蝕溝、浮石、倒懸孤石、不連續面或是順向坡等等致災潛勢。

故建議可從 LiDAR 和 DEM 為原始資料切入，並經由 AI 大量學習專家學者依專業和經驗所標記之致災潛勢，在完成模型訓練後，第一線人員可藉由取得之圖資交付模型協助判識致災潛勢處，相信如此對公路局在邊坡巡檢實務應用上定能有相當大的助益。

四、貴分局過往邊坡有何處蒐集較多的 LiDAR 和 DEM 資料？

本分局於 109 年針對台 2 線地質敏感路段(67K~89K)易致災邊坡有辦理委外測繪、調查及評估工作，內容即使用空載和地面 LiDAR 進行掃描後測繪，製作 DEM 和 DSM，後請專家協助進行潛在失穩邊坡研判及風險分級，相關資料可於會後提供參閱。

五、以實務經驗而言，針對邊坡是否發生災害，貴分局所看重之環境因子(地質、坡度、植被、距河道遠近...)和誘發因子(時雨量、最大地表加速度 PGA...)大致有哪些？

本分局皆依照公路局規定，將轄管邊坡依「需處理程度」分成 A、B、C、D 四個等級，A、B 級邊坡再經由 RHRS(落

石災害評分系統)，對其進行細部定量評估後分 1~5 等級，而 RHRS 檢核表內部各項評估因子，包括：地形特徵、地質狀況、植被面積及降雨量等，都有律定其評分原則。

六、針對所轄管邊坡，貴分局是否會定時召開相關盤點會議或評鑑機制以彙整最新資訊？

本分局原則每年會召開專家學者會議，針對新的重點關注邊坡及 RHRS 相關評分進行審查，另外，各邊坡在汛期期間會每個月進行檢視其分級盤點會議，若有調整會簽報總局核定，汛期後至明年度汛期前，亦會通盤檢討邊坡是否有需調整分級和巡查頻率。

七、貴分局於 2022 領航盃—無人機創意競賽，提出利用無人機檢測台 2 線省道易落石邊坡危害度之應用並榮獲卓越獎，可否分享該案相關內容及成果供參？

本案係以 UAV 空拍、建模並進行前後期比對和切剖面線後，計算落石彈跳軌跡和高度，在致災風險的評估上，除了危害度及脆弱度之外，利用落石軌跡導入曝露度的因子，篩選易致災潛勢的位置，再依致災因子研議於現地設置相關防護設施。

八、針對本所提出應用 AI 及空拍影像於邊坡巡檢，貴分局有何建議或方向可提供分享？

使用 AI 於邊坡巡檢是前瞻性的發想，可以大幅提升效率及品質，本分局持續依總局規定進行重點關注邊坡的空拍監測作業且賡續利用教育訓練及競賽，增進同仁本質學能，亦建置系統資料庫，為將來 AI 應用做準備。

建議可依照現有人力及資源配置，尋找合適的場域來進行資料的蒐集及後續工作，並依照不同特性邊坡和不同破壞類型，例如：落石、地滑、土石流等，進行剖析後先選擇其一進行深入探討。

3. 公路局 陳禎康段長

時間：112 年 7 月 6 日(星期四)上午 10 時～12 時

地點：公路局中區養護工程分局彰化工務段

紀錄：黃宇謙 副研究員

壹、計畫緣由說明：(略)

貳、重點紀要

一、能否說明貴段轄管邊坡類型及破壞模式？

本段轄管的邊坡數量不多且僅一處高風險邊坡，建議可再安排山地段，例如：信義段、谷關段進行訪談較適合。

二、貴段取得空拍影像之流程為何？

本段除依照公路局相關規定外，段內亦有飛手和 UAV 可於災前、後針對邊坡進行空拍並取得相關影像，日常主要會利用 UAV 針對邊坡上植被的覆蓋變化做監看。

而上述日常取得之空拍影像主要都存於段內，除非是依 RHRS 規定協請顧問公司進行的飛行任務才需要交付工程處進行完整資料的儲存。

三、貴段對於 AI 實務可應用於邊坡養護管理之建議為何？

工務段是轄管邊坡的最前線，實務上會需要了解高風險邊坡，例如：裸露的落石邊坡，是否穩定？或可能在何時何條件下會有危害公路的風險？以利段內採取預防性的封閉道路、設置攔石柵等等措施。另外，在目前邊坡分級規定，若需調整等級則須交付專家學者開會共同商討，故 AI 若能輔助有效評判邊坡分級及邊坡分類是實務可努力的方向。

4. 公路局 饒哲銘副段長

時間：112 年 8 月 18 日(星期五)上午 10 時～12 時

地點：公路局中區養護工程分局谷關工務段

紀錄：黃宇謙 副研究員

壹、計畫緣由說明：(略)

貳、重點紀要

- 一、貴段依邊坡定性分級列為 A、B 級之不穩定徵兆邊坡共計有幾處？依 RHRS 定量分級列為 3 級以上之邊坡共計有幾處？破壞類型大致為何？

本段轄管的邊坡屬 A 級有 11 處、B 級有 10 處，其中 RHRS 列為 4、5 級的有 8 處，破壞類型則涵蓋落石、土石流、山崩地滑等。

- 二、針對邊坡分級制度的進行，包含 A～D 定性分級和 RHRS 的 1～5 定量分級，其實際操作流程大致如何？

邊坡分級會依照公路局相關規定進行滾動檢討，例如 A～D 定性分級內有規定 2 年內有災害紀錄的邊坡即列為 A 或 B，若高風險邊坡經工程手段整治後，經長期監測判斷恢復穩定，則會降為 C 或 D 級邊坡。

而 RHRS 目前僅評定 A、B 級邊坡的上邊坡可能有落石災害的部分，在第一次災害發生時，會先依 RHRS 評估項目進行邊坡初步評分，後續會有段內飛手以 UAV 於災前災後針對邊坡進行空拍並取得相關影像，亦會有相關計畫委外顧問公司協助進行邊坡空拍影像蒐集、數模建置及協助辦理 RHRS 評分並提供成果報告，之後會再召開專家學者會議評議評分是否合理並報請上級核定。

三、段內所蒐集之空拍影像原始資料如何做保存？局內是否有建置相關系統協助邊坡資料儲存？

相關邊坡資訊皆會上傳至局內邊坡全生命週期管理系統，而經段內飛手或顧問公司拍攝的邊坡空拍影像或建置之相關數位模型等原始資料，亦會以外接式硬碟或採購伺服器方式儲存在段內。

四、本研究欲探討公路邊坡空拍影像結合 AI 支援的可行性，依貴段實務經驗，AI 從何處切入較具應用效益？

針對疑似有不穩定徵兆的邊坡，若在日常肉眼可見的範圍還能有所覺察，然而若是大範圍或是高聳型式的邊坡，就有可能在視距外上邊坡處發生災害導致後續連鎖效應，然而因公路邊坡維管單位多關注路權範圍內的邊坡，且不一定有人力和時間額外去利用遙測技術查找諸類不穩定的邊坡狀況，故如果能先利用大尺度影像比如：衛星或 InSAR，結合 AI 判識快篩邊坡變異等災害前兆後提供予工務段，後續則可再針對該邊坡利用 UAV 進行細部及長時間的監測，以達到事先預防災害的功效。

5. 高速公路局 吳松旺段長

時間：112 年 9 月 15 日(星期五)下午 2 時～4 時

地點：交通部高速公路局中區養護工程分局大甲工務段

紀錄：黃宇謙 副研究員

壹、計畫緣由說明：(略)

貳、重點紀要

- 一、高速公路局現依邊坡定性分級制度將邊坡分為 A～D 級，依照官網 111 年 6 月統計數字，列為 A 級邊坡為 0 處，B 級邊坡為 7 處，請問貴段是否有 B 級邊坡？相關巡查及檢監測機制和防護作為大致如何？

本段轄管的邊坡原有 B 級邊坡計 1 處，其係因邊坡錨定地錨折角導致無法發揮良好防護作用，經持續觀察亦發現有安全係數不足現象，後續經排樁等補強工作處理後已下修邊坡分級為 C 級。

高速公路局的邊坡巡查機制包含：經常巡查、定期巡查及特別巡查，以人員目視檢查為主，各邊坡依照分級有律定巡查頻率。而監測主要區分人工量測與自動量測兩大類，相關監測儀器包含水位觀測井、水壓計、傾度管、傾斜計、地錨荷重計、雨量計、裂縫計等等，監測頻率同樣依照邊坡分級有不同規定，檢測部分則以地錨檢測為重，其相關規定本段皆依「高速公路養護手冊」辦理。

- 二、貴段進行邊坡分級實際操作流程大致如何？

首先工務段會針對邊坡巡查結果，依照是否有不穩定樣態等相關規定項目進行初步分級，後續再委由專業廠商進行監測及地錨檢測及功能評分作業，並依據相關資料協助工務段進行邊坡安全評估作業，相關穩定分析包含常時安全係數

分析、地震時安全係數分析與高水位時安全係數分析等，後續則依照安全係數之規範值來決定最終邊坡分級，若需調整既有分級則會於年中或年底一併進行相關檢討。

三、本研究欲探討公路邊坡空拍影像結合 AI 支援的可行性，依貴段實務經驗，從何處切入較具應用效益(解決問題、減輕人力、提升效率...等等)？

若以 AI 所重視之資料量角度切入，因高速公路局轄管邊坡性質和場域和公路局有所差異，關注重點亦有別，故空拍影像目前較多是直接使用地調所或航測署現成資料進行邊坡分析及加值應用，或是依照特殊需求委由專業廠商拍攝，樣本數相對公路局而言較少，此外，要取得空拍影像的成本亦是考量點，希望是能以資料多、成本負擔小的角度去思考 AI 未來的應用。

倘若單純考慮以影像進行判識，建議可由目前邊坡定期巡查或特別巡查項目去探討和篩選，因人員皆依規定拍攝影像進行留存，相關訓練樣本數較多，或是利用高速公路局於國道上設置用以監看國道各項狀況之高解析度 CCTV，若是能由此影像結合 AI 來做加值應用，以提供更迅速即時的應變手段，亦可能為後續考量切入之方向。

6. 高速公路局 黃俊豪副分局長

時間：112 年 9 月 27 日(星期三)下午 1 時 30 分～4 時

地點：交通部高速公路局中區養護工程分局

紀錄：黃宇謙 副研究員

壹、計畫緣由說明：(略)

貳、重點紀要

- 一、高速公路局依邊坡定性分級列為 A、B 級之不穩定徵兆邊坡數量較少，而針對貴分局所轄邊坡僅 1 處 B 級邊坡(依官網至 111 年 6 月之統計數字)，請問該處邊坡的場址及破壞型態為何？

國道邊坡主要依據總體檢、安全評估、巡檢結果進行分級，近期經總體檢計畫藉高精地形圖進行初步判釋並搭配較為保守之參數及情境進行穩定分析後，目前暫以 B 級規格看待之邊坡計 4 處，其中 3 處位於南投，另 1 處位於苗栗，其潛在破壞型態以圓弧形滑動為主，平面滑動次之。

- 二、據了解，貴局邊坡分為巡查、檢測(地錨)及監測，並依據相關結果進行邊坡安全評估作業後，依安全係數據以進行邊坡分級。貴局巡查規定以人力目視為主，並以車輛或徒步靠近檢查。

- (一) 請問針對貴局公路路堤及路塹定期巡查項目有何可利用空拍及遙測技術如 UAV、LiDAR、衛星等技術，協助輔助檢查工作？並利用 AI 技術進行介入判識？

本分局邊坡經常巡查以日間為主，檢查項目包含是否有路基損毀滑落、邊坡沖蝕塌落、滲水，定期巡查項目依路堤或路塹邊坡區分，主要涵蓋坡面、穩定設施及排水系統。

本分局所轄邊坡多為人力可抵達，巡查方式以人力目視為主，倘透由空拍或遙測技術進行巡查，則較具效益者應為人力較難快速趨近確認之項目(例如坡頂張力裂縫)，惟受到植被覆蓋影響，能見度是否足夠有待實證。

若以現行巡查人員拍攝之地面影像資料進行 AI 判識，則雖有大量影像資料可供蒐集，惟因其影像格式或拍攝標的較為龐雜，因此具代表性且可供 AI 學習之照片數量可能會非常有限，將使得 AI 訓練難度提升。

(二) 貴局監測作業部分則主要區分人工量測與自動量測兩大類，以地表和地底監測儀器為主。貴局是否有利用空拍及遙測技術如 UAV、LiDAR、衛星等，於邊坡監測等相關案例可分享？以及是否有 AI 介入判識之可行性？

本分局邊坡監測主要分為人工量測及自動量測兩大類，地表及地面之監測儀器包含水位觀測井、水壓計、傾度管、傾斜計、地錨荷重計、雨量計、裂縫計，相關監測頻率則依邊坡分級訂立。另空拍及遙測技術主要於災害發生、斷層帶或重要保全對象等特殊場域搭配使用。

本分局設置之地表及地面監測儀器眾多，蒐集相關監測數據(如地錨荷重計、傾度管)並分析其規律性，再搭配天氣等外部資料做為 AI 訓練素材，應為後續可研究之方向。

(三) 有關邊坡地錨檢測、安全評估及分級制度是否有 AI 介入應用之可行性？

地錨為邊坡穩定設施中之重要關鍵，為利了解該設施之殘餘效率，本分局定期針對地錨設施進行揚起試驗，倘能從揚起試驗數據了解其與邊坡滑動間之關聯，並藉由 AI 辨識技術從大量試驗數據中篩選出需特別留意之部位或現象供第一線單位參考，則應可協助養護單位提升邊坡維護管理之品質及效率。

附錄二

專家學者座談會會議紀錄

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：本所臺灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：112 年 4 月 24 日(星期一) 下午 2 時

參、地點：本所臺灣技術研究中心 2 樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：賴俊呈

伍、出單位及人員：如簽到表

陸、與會委員意見：

一、林委員鎮華

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 鼎型塊排列方式亦會影響沖刷深度，建議可探討。
2. 是否有設置現場水位及流速監測設備？
3. 本工法設置於橋墩 P24L 有淤積之效果，保護成效如何量化？

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

1. 透地雷達 AI 辨識，需要大量資料進行訓練、測試。
2. 目前深度學習以 CNN 為主，故可做圖像識別。
3. 若要即時識別，建議需建置雲端運算。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異辨識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 邊坡多尺度主要針對那些圖像？將會影響其適用性、實務應用。
2. 邊坡影像是以處理前/後為基準資料進行學習？

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 本計畫以碳鋼金屬於大氣曝露下做腐蝕關聯性探討，如何應用於鋼筋混凝土及鋼構。
 2. 腐蝕劣化因子如何回饋至實務構件？
- (五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業
- 港區為地上物、水中物如何即時回饋、即時影像？
- (六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進
- 港區大多為回填土層，是否有相關監測如水位計、地下土壤含水量及土壤層次監測。

二、謝委員明志

港研中心一科 112 年 6 項自辦計畫，在計畫書裡每個計畫的緣起、目的、研究範圍、利害關係人、工作內容及作業時程，都有詳實的描述，是一份架構完整，描述清晰的計畫書。

- (一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析
- 本計畫是橋梁沖刷數值模型建置分析，分 4 年執行，是個循序漸進的計畫，規劃完整，且計畫完成後產出之三維水理分析模型具有實用性。
- (二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討
- 本計畫是透地雷達應用於省道巡查及 AI 辨識應用，為未來合作計畫的先期研究，藉此可先打下後續研究需求，更能明確知道目的及預期成效。
- (三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討
- 本計畫是空拍影像、深度學習在邊坡地貌變異判識之應用，符合交通部年度施政重點，引進新興科技，值得鼓勵。
- (四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究
- 腐蝕環境與碳鋼金屬關聯性，為本土環境資料的調查，全臺

灣只有港研中心有這類資料庫的建置，應持續推動。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

本計畫是港灣構造物巡查檢測作業精進，也引入新興科技，應用於巡檢及風險判識，是個值得鼓勵的研究業務。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

本計畫是港區地震液化風險評估模式精進，針對臺北港進行評估，除了進行地工資料庫更新，也新增了這幾年國內外的液化分析方法，應會更加精確的推估，值得持續推動。

三、 何委員鴻文

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估 (2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

本計畫成果產出之技術指引具有實用性，另地工織布之耐久性為何？

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

本計畫期待可擴及使用範圍至省道以外道路。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

本計畫之利害關係人建議增列各縣市政府。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

本計畫建議其成果提供交通部技監室辦理橋梁相關設計規範訂定之參考。

四、 吳委員松旺

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估 (2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 本計畫是多年期的計畫，在第 1 年的計畫即與高公局中區分局大甲工務段密切的配合，在國道 3 號大甲溪橋現場設置鼎型塊織布橋基保護工法，目前已初步驗證有效

減緩向下沖刷作用，尚待長期性觀測及超大豪雨事件來驗證，大甲工務段會持續配合本計畫。

2. 建議本計畫能擬訂鼎型塊織布橋基保護工法現場佈設的標準作業程序，讓現場佈設時有所依循。

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

無論省道或者是國道都是線型的，都有一定的長度，標的物很大，所以建議目標要收斂，比如說在行車舒適度不佳的路段做試驗，要收斂調查，這樣對道路主管機關來說會更有幫助。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 無論是省道或是國道尚需注意路權以外的邊坡，路權外的邊坡產生變異(開發行為)間接影響到省道或國道的邊坡，因為邊坡是一體的，不會說崩塌到國道的路權內就不崩塌，所以建議本計畫需把路權外的邊坡狀況納入探討。
2. 另大甲工務段轄區亦有邊坡場址，例如：後龍至苑裡路段，可提供本計畫做為探討的標的，或是若需要相關空拍圖資進行分析和訓練，也可洽詢大甲工務段提供、合作。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

大甲工務段所轄管國道是最靠近海邊，若是本計畫有需要到大甲工務段的轄區來設置觀測站(點)，大甲工務段樂意配合。

柒、 結論：

感謝各位委員提供本所相當寶貴之專業建議，請案關業務同仁將委員意見納入參採，以符合實際應用面，並提升研究成果之廣度及實用性。

捌、散會：下午 4 時 10 分

會議簽到表

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：112 年 4 月 24 日(星期一)下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 2樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

伍、出席單位及人員：

出席單位及人員	簽名
王委員錦榮	請 假
林委員鎮華	林鎮華
吳委員松旺	吳松旺
何委員鴻文	何鴻文
謝委員明志	謝明志

出席單位及人員	簽名
本所港灣技術研究中心 柯正龍副主任	柯正龍
本所港灣技術研究中心 第一科	賴瑞集 胡振文 張道光 謝少輝 鄭重錦 曾文傑 黃子強 賴俊呈
本所港灣技術研究中心 第二科	李俊穎
本所港灣技術研究中心 第三科	林雅雯

附錄三

第 1 次工作會議紀要

111 年 6 月工作會議紀要

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：112 年 6 月 28 日(星期三)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基冲刷數值模型建置與分析

1. 三維數值水理分析及文獻蒐集情形說明。
2. 本年度試驗區 UAV 第 1 次地形觀測辦理情形說明。
3. FLOW 3D 教育訓練辦理情形，及三維數值模型初步建置情形說明。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化辨識可行性之初步探討

1. 蒐集並研析交通部公路總局(研究對象)省道養護巡查作業相關規定、柔性路面鋪面損壞分類、現象及原因。
2. 透地雷達應用於「地下埋設物及不明物體調查」、「地下水位深度及含水量變化探測」及「人工智慧辨識透地雷達訊號圖像」相關研究之文獻回顧。
3. 112 年 3 月 21 日訪談交通部公路總局陳進發總工程司，瞭解研究對象在政策面上對本計畫的看法及提供相關意見。
4. 112 年 5 月 24 日訪談交通部公路總局第一區養護工程處陳俊

堯處長，瞭解研究對象在管理面上對本計畫的看法及提供相關意見。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 蒐集彙整國內外 AI 應用於邊坡之相關文獻。
2. 辦理本案專家學者訪談。

(四)112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，完成第 1、2 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗取樣維護作業，完成 111 年第 4 季、全年與 112 年第 1 季大氣腐蝕劣化因子化學分析及金屬試樣酸洗工作。
2. 精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫，完成 111 年度大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗資料綜整分析並繪製等位圖，並將相關資料擴增於「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」資料庫，並公開於本中心網站供外界查詢。
3. 完成撰寫及出版「2022 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報」工作，提供相關單位選用金屬材料與防蝕工法應用。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

1. 彙整港區各型式碼頭的巡檢項目。
2. 彙整與探討碼頭常見的劣化項目。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 彙整液化評估法相關文獻。
2. 蒐集臺灣港務股份有限公司於臺北港近 10 年新建工程所增加之地質鑽探資料。
3. 蒐集經濟部中央地質調查所於臺北港之地質鑽探資料。
4. 初步完成臺北港地質鑽探資料盤點。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基冲刷數值模型建置與分析

1. 討論文獻所提數模參數敏感性分析，其背景條件與本計畫之差異及適用性。
2. 討論渠槽試驗除規劃使用 GoPro 縮時攝影外，可增加其它監測設備，如流速計。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探

1. 討論訪談透地雷達領域之業界專家，蒐集業界對於本計畫執行及 AI 智慧化判識應用之看法。
2. 討論後續於「AI 智慧化辨識透地雷達訊號圖像可行性探討」章節中，如何蒐集 AI 訓練之相關資料及建立 AI 訓練資料庫。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 討論邊坡原始資料取得、資料處理方法及 AI 模型建置於後續的實務應用。
2. 討論 AI 監督式學習、非監督式學習及半監督式學習優缺點。

(四)112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 討論工業區碳鋼金屬腐蝕與二氧化硫關聯性。
2. 討論金屬腐蝕與腐蝕因子關聯性相關文獻。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

1. 討論碼頭維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準。
2. 討論各港之碼頭構件劣化項目。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 討論土壤液化評估相關方法。
2. 討論地質鑽探資料盤點、篩選。
3. 討論後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

(一)試驗區 UAV 觀測航拍活動於今年度 4 月初獲民航局申請許可，申請期間一次為 3 個月，迄今即將到期，請提醒委外廠商儘早再提出下一段申請，以避免下次豪大雨事件後，無法進場航拍觀測，影響計畫執行。

(二)請依所規劃之後續研究事項積極辦理。

二、透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

本計畫係為後續合作研究計畫的先期研究，需確認應用單位的需求、想法且要能落地應用。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

(一)建議依專家訪談提供之意見，於本計畫探討未來何種邊坡型式或破壞類型應用 AI 介入判識較具可行性和實務應用性，以利後續再以此為基礎進行深入探究。

(二)若時間允許建議可針對公路總局及轄下工程處、工務段、高速公路局和相關利害關係人等皆安排進行訪談，藉以瞭解實務需求和後續研究著力點，達以終為始之目的。

四、112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

(一)建議找出金屬腐蝕與大氣腐蝕因子氯鹽、二氧化硫間的關聯性。

(二)後續建立碳鋼金屬與環境因子迴歸模式時，建議說明模式中各環境因子對金屬腐蝕的影響是否符合腐蝕理論。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

(一)建議統計並分類各型式碼頭構件的劣化項目，瞭解碼頭常見的損壞構件，提供後續碼頭維護的參考數據。

(二)建議彙整各港區特別巡查的構造物遭撞損的意外事故資料與劣化項目。

六、港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

- (一)今年針對臺北港進行液化評估，除進行地工資料庫更新，也建議運用近年來國內、外的液化分析方法，推估臺北港液化範圍及深度，提供地震速報之應用。
- (二)請於第 2 次工作報告時，呈現今年新增臺北港區的地質鑽探資料，其新、舊資料之分佈區域，以利瞭解其分佈是否能滿足臺北港區液化評估之需求。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

貳、時間：112 年 6 月 28 日(星期三) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 研究員 副研究員 研究員 研究員 副研究員 助理研究員	謝幼屏 胡哲了 黃子漢 曾文傑 張道光 鄭登鍵 賴俊星 王浩翔 顏碩香
本所港灣技術研究中心第二科	科長	李信賴
本所港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄四

第 2 次工作會議紀要

111 年 8 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：112 年 8 月 28 日(星期一)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所港灣技術研究中心 2 樓簡報室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基冲刷數值模型建置與分析

1. 112 年度前 3 季現場試驗觀測結果說明。

2. 三維數值模型建置情形。

3. 後續工作項目說明。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

1. 探討透地雷達如何應用於省道一般道路柔性鋪面養護巡查及其可行性。

2. 訪談交通部公路總局(以下簡稱公路總局)第二區養護工程處彰化工務段陳禎康段長及中華大學土木工程系林鎮華助理教授之摘要說明。

3. 後續工作項目說明。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 探討邊坡破壞類型及遙測技術適用性。
2. 彙整公路邊坡維管機制與訪談公路邊坡維管單位。
3. 後續工作項目說明。

(四)112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 完成第 1、2 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗的取樣維護、化學分析及金屬試樣酸洗工作。
2. 進行碳鋼金屬腐蝕關聯性統計分析。
3. 後續工作項目說明。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

1. 檢討碼頭設施維護管理制度與構件劣化標準。
2. 新興科技行動應用程式應用於碼頭巡檢作業。
3. 後續工作項目說明。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 建置臺北港地質鑽探資料，並盤點、篩選可用資料共 148 筆地質鑽探資料。
2. 完成不同地震情境下液化潛勢比較。
3. 後續工作項目說明。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 討論三維數值分析結果，提供橋梁維管單位應用之方式。
2. 補充三維數值模型建置之模型尺寸及穩定沖刷時間說明。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探

1. 討論透地雷達可以檢測探查之道路下潛在損壞因素，除了孔洞外，尚可檢測探查路基問題、回填材料問題、地下水及滲漏水等問題。

2. 討論不同廠牌透地雷達檢測後所輸出的訊號圖像，對於後續 AI 智慧化辨識的影響。
- (三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討
1. 討論訪談公路邊坡之實務單位看法及需求。
 2. 討論後續 AI 切入實務應用之方向及目標。
- (四)112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究
1. 討論以迴歸分析法進行碳鋼金屬腐蝕與環境因子關聯性分析過程中的相關考量。
 2. 討論教育訓練辦理方式，以及在網站上展示的腐蝕成果。
- (五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業
1. 有關維護管理制度定期檢測與詳細檢測的探討。
 2. 討論行動應用程式應用在碼頭巡檢作業。
- (六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進
1. 討論土壤液化評估相關方法。
 2. 討論後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

- 一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析
- (一)請儘速辦理部務會報相關資料簽報作業，另創新提案請妥為準備以爭取佳績。
 - (二)請依所規劃之後續研究事項積極辦理。
- 二、透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討
- (一)透地雷達可以檢測探查道路下潛在損壞因素不只有孔洞，建議可以針對公路養護手冊所列的柔性鋪面損壞樣態進行探討，探討透地雷達檢測切入的可行性。
 - (二)本計畫研究對象是公路總局，主要應用對象是道路主管機關，

建議可以將研究成果投稿至公路相關的期刊。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)- 影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

(一)過去訪談多針對公路總局，亦可針對交通部高速公路局進行訪談，藉以瞭解實務需求和應用遙測技術於邊坡巡查之機制。

(二)本研究可針對不同尺度空拍影像後續如何結合 AI 應用之方向進行整理探討和適用性分類。

四、112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

(一)在建立碳鋼金屬與環境因子迴歸模式的分析過程中，若模式配適度不佳，可考慮同時納入氯鹽、二氧化硫，或採用分季資料分析等不同方法來改善模式。

(二)進行迴歸模式校正時，可補充說明變數轉換、模式轉換的理由依據。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

後續請再探討新興科技應用於碼頭巡檢作業之設施構件劣化度判定標準之適用性，並增加與比較新興科技之應用案例。

六、港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

(一)請使用最新的臺北港配置現況圖資，以利後續臺北港液化風險評估分析。

(二)下次工作會議請補充液化風險評估 Cetin 機率法，以利瞭解機率分析與定值分析之差異處。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

貳、時間：112 年 8 月 28 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心2樓簡報室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心	副主任	柯正光
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 研究員 助理研究員 副研究員 副研究員 研究員 研究員	曾文輝 胡啟文 賴俊生 鄭堂健 黃宇謙 張道光 謝必昇
本所港灣技術研究中心第二科	科長	李俊穎
本所港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄五

第 3 次工作會議紀要

111 年 10 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：112 年 10 月 27 日(星期五)下午 2 時至 5 時

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

1. 112 年度前 3 季現場試驗觀測結果。

2. 三維數值模型建置情形-矩形樁基礎+鼎型塊，矩形樁基礎+鼎型塊+織布。

3. 階段性成果應用。

(二)透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

1. 透地雷達應用於省道一般道路柔性鋪面養護巡查可行性及落地應用對策。

2. 應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像的可行性。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 公路邊坡維管機制與流程彙整。

2. 公路邊坡結合 AI 之加值應用。

3. 空拍影像處理技術。

(四) 112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 112 年第 1~3 季大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗工作。

2. 碳鋼金屬腐蝕關聯性統計分析。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

1. 依維護管理制度執行碼頭巡檢作業時所遭遇之問題。

2. 新興科技行動應用程式與水下無人載具應用於碼頭巡檢作業。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 臺北港不同地震情境下液化潛勢分析。

2. 臺北港不同地震情境下地震沉陷潛勢分布。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基冲刷數值模型建置與分析

1. 織布具透水性，建議可將織布分離成幾小塊來模擬透水性。

2. 數值軟體雖無對應之保護工模組可應用，但利用土中應力增加方式來近似模擬，其模擬結果與試驗結果接近，說明具有其可行性，後續可再諮詢相關專家。

(二) 透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探

1. 透地雷達檢測省道柔性鋪面於經常性或重複性損壞路段之成因，相較採用現場直接開挖方式有其優勢。

2. 應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像，在市售商業軟體及客製化專案研發方式之區別。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

1. 訪談公路邊坡之實務單位看法及後續切入方向。

2. 後續年度工作內容及目標。

(四)112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

1. 碳鋼金屬腐蝕與腐蝕因子關聯模式建立後的模式說明、應用與推廣。

2. 探討臺灣不同環境下金屬腐蝕差異性的方法。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

1. 碼頭巡檢作業時所遭遇問題。

2. 應用新興科技強化港灣構造物之巡查與檢測作業。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

1. 臺北港不同地震情境下地震沉陷潛勢。

2. 後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(2/4)-橋基沖刷數值模型建置與分析

(一)國道 3 號大甲溪橋橋墩 UAV 航拍勞務案，若 11 月中旬時無預期之颱風消息，可於 11 月下旬著手辦理相關結案驗收事宜，以利主計年度結算作業執行。

(二)請依所規劃之後續研究事項積極辦理，並如期完成提交期末報告初稿。

二、透地雷達應用於省道養護巡查及 AI 智慧化判識可行性之初步探討

(一)透地雷達檢測省道柔性鋪面經常性或重複性損壞的成因具有一定的成效及優點，因此應用於省道養護巡查的「特別檢查」是具可行的且符合交通部公路局之需求。

(二)應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像，目前在臺灣市面上有相關的商業軟體可使用，但選擇性不多，也有依使用者需求進行客製化專案研發的方式，若要應用 AI 辨識道路下潛在損壞因素，則使用客製化專案研發的方式較為合適。

(三)本計畫為後續合作計畫的先期計畫，故對於後續合作計畫時程、內容等需詳加規劃考量，俾利能落地應用。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

(一)針對空拍影像之處理方法應考量不同尺度載具及其搭載儀器間的區別，並對本案欲蒐集之公路邊坡影像進行適用性探討。

(二)經處理之邊坡空拍影像如何挑選適當之 AI 深度學習模型進行訓練，以獲得較佳的結果，係本研究之精隨所在，建議於期末報告中強化敘述。

(三)今年度已針對交通部公路局和交通部高速公路局進行實務單位訪談，建議後續可依實務單位意見延續相關研究課題，以配合實務需求並結合現行邊坡巡檢之機制。

四、112 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與碳鋼金屬關聯性研究

後續研究可分區進行關聯性統計分析，探討臺灣各地區不同大氣環境、不同污染特性區域間的腐蝕差異性。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(2/4)-新興科技應用於碼頭設施巡查檢測作業

請加強新興科技應用於碼頭的檢測與維護管理作業的精進說明，並請掌握時效撰寫研究成果報告。

六、港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進

請依據觸發門檻加速度及高潛勢區面積分析成果，推估臺北港區之分區地震沉陷量，俾提供更新臺北港地震簡訊災況初評內容。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 112 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：112 年 10 月 27 日(星期五) 下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所運輸技術研究中心第一科	副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 助理研究員	黃子謙 謝少屏 張道光 曾文傑 胡哲文 賴俊呈
本所運輸技術研究中心第二科	副研究員	李俊穎
本所運輸技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄六

期末報告審查委員意見處理情形表

期末報告審查委員意見處理情形表

項次	委員意見	處理情形
楊秉順委員		
1	針對多尺度判識，未來可採用實際案例，建立適用條件、解析度與範圍等等	後續年度將針對落石型邊坡進行深入探討，並針對現地場址影像資料蒐集、處理至 AI 模型等適用性進行研討。
2	可進一步研究邊坡單一問題(如：浮落石、張力裂縫等)，以建立完整空拍影像 AI 深度學習模型訓練模式與方法，以獲得較佳的成果。	規劃於後續計畫將聚焦落石型邊坡，並針對其破壞特徵進行 AI 深度學習影像辨識相關探討。
3	後續可依實務單位邊坡巡檢機制，配合研擬相關自動化作為，以提升使用性。	將持續以辦理專家學者諮詢及邊坡維管實務單位訪談方式了解需求所在，並配合現有邊坡巡檢機制探討 AI 等新興科技可輔助和精進之課題。
4	目前諸多公路管理單位採用 UAV 及 UAS 拍攝，相關 GPS 定位與座標控制點如何規劃與佈設應納入後續研究探討。	規劃於後續計畫將以 UAV 及 UAS 為主要資料探討及蒐集來源，並針對定位系統及控制點佈設如何取得精準地面座標，以利套疊比對做深入探討。
5	邊坡上植被狀況影響浮落石或張力裂縫之判斷，未來如何克服，建議納入後續研究。	植被影響及如何濾除等問題將納入後續計畫內容進行研究。
6	深度學習前之影像標註需有專業協助，建議可以藉由歷史資料先進行深度學習，以相互驗證可靠度。	標註過程將會考慮邊坡場址過往資訊，必要時將現地進行考察，以獲得較好成效。
洪士林委員		
1	建議具體說明欲處理的公路邊坡標的為何？係公路局或高速公路局之轄管邊坡？因兩單位在邊坡分類上有所差異，此部分將影響後續資料	本計畫為 2 年期，旨在綜合探討不同尺度之遙測技術、公路邊坡維管機制、影像處理方法及 AI 深度學習技術等，並擘劃後續切入課題，經研

	標註與偵測。	究後知公路局及高速公路局所轄管邊坡之型態有所差異，在考量結合現有公路邊坡維管制度取得空拍影像之便利性及資料豐富性為前提，後續以公路局過往取得之邊坡空拍影像資料及所轄邊坡場址來做未來之訓練標的似較為適當
2	所謂多期係指對相同座標位置之標的物進行長期取樣的時序資料嗎？單一範圍公路邊坡之多尺度影像是由單一 AI 模型處理？抑或利用多個 AI 模型個別處理不同尺度之影像後進行相互驗證？建議敘明清楚。	本計畫之多期影像係指利用遙測技術對單一邊坡場域進行不同時期之觀測，而依本研究結論，原始空拍影像資料集預計以公路邊坡維管機關逕自蒐集之邊坡影像為主要來源，此類空拍影像多以 UAV 拍攝為大宗，故後續會先利用單一邊坡多時期之 UAV 影像做為深度學習資料集，並予以利用單一 AI 模型進行訓練、驗證及測試工作。
3	規劃以非監督式深度學習模型自編碼器(AutoEncoder)來進行資料擴增是否恰當？是否考慮其他資料擴增演算法或模型(如：生成式 AI)？	本報告第 4-28、6-2 頁原提到可利用自編碼器協助進行標註資料的擴增，惟敘述不清可能造成誤解，已於前述頁碼調整敘述，並納入委員建議之生成式 AI 用於資料擴增之描述，以臻完善。
4	考慮到任務目的，未來資料標註係利用邊框圈繪或是實例分割(Instance Segmentation)方式建議再予以思量。	若係以本研究目的欲進行邊坡地貌變異之判識，運用實例分割技術應是相對較為適用。
5	報告第 5 章圖 5.2 類神經元示意圖有誤，請訂正。	已修正圖 5.2 於報告 5-3 頁。
6	若未來考量即時偵測之應用，建議以 UAV 結合 AI 模型如:tiny-YOLO 並使用邊緣運算(Edge Computing)方式進行。	後續計畫會持續與相關邊坡維管單位密切合作交流，了解其欲優先處理之邊坡課題，若涉及即時偵測之應用，會再考量利用委員建議方式進行。
黃俊豪委員(書面意見)		
1	本研究目的符合實務需求，相關蒐	感謝委員肯定。

	集資料及研析內容均完整豐富，值得肯定。	
2	本計畫列舉之坡地災害類型主要包含落石、地滑、土石流，其中地滑之成因除與地形及地貌有關外，亦與地質構造、地下水位、土岩性質等高度相關，爰僅藉地貌判識其穩定性恐有所不足。而土石流方面，由於其成因與土石之性質、含水量有關，因此僅藉由地貌影像判識亦可能面臨同樣困境。至於落石方面，由於其發生前常於地貌顯露表徵，因此建議可將落石類型列為優先研究重點，另因其成因與地形紋理與岩體之節理及位態有關，爰建議可就細部成因與機理進行資料收集及研析，並可擇合適場域(例如中橫公路)與養護機關進行更密切合作。	後續年度將規劃利用 UAV 結合人工智慧(AI)進行落石型邊坡破壞特徵影像辨識之深入研究，藉以協助邊坡管理單位提升巡檢量能及效能，以達到本所支援各運輸系統技術與研發創新之目標。
3	關於地滑，其成因與地表下之變化有關，因此部分公路養護機關持續就特定邊坡進行儀器監測(例如地下水位、傾度管)，並已累積大量數據形成海量資料，其相應之數據解析及判讀，亦為值得研究課題。	經本計畫之公路邊坡維管機制探討，發現高速公路局針對其所轄管邊坡依分級佈設多種監測儀器，其中包含自動量測、儲存及回傳功能的設備，若考量以邊坡相關地表及地底監測數據做為 AI 訓練樣本，用以探討其數據變化對於邊坡異變之關聯程度，以達預測後預警之可能，亦是後續可考量切入公路邊坡 AI 應用方向。
李俊穎科長		
1	建議可將第六章整體規劃調整至前章，以利閱讀較為通順。	已將第六章部分結論內容於前面章結先行敘述(第 2-13、3-19、4-28、5-13 頁)，以利閱讀邏輯通順。
2	建議將所要辨識之地貌為何予以明確說明。	本年度計畫綜整介紹各類邊坡破壞機制，經探討後，規劃後續年度利用 UAV 結合人工智慧(AI)進行落石型邊坡破壞特徵影像辨識之深入研究

3	簡報內容似乎有補敘報告沒有的部分，建議適當調整至內文。	已補敘於報告第 3-22、4-5 頁。
4	影像來源於後續計畫中可再考量如何分類及正規化，以利後續應用。	參照委員意見遵辦。
林雅雯科長		
1	建議未來可找經常性拍攝(同一地點拍攝頻率較高)的邊坡影像來分析。	參照委員意見遵辦。
2	使用 AI 辨識的目的為何？適用之邊坡條件及破壞機制為何？邊坡整治或有植栽等條件又是否適合？	1. 本計畫目的為探討 AI 深度學習技術結合多時期、多尺度之空拍影像進行邊坡地貌判識之可行性，並經由訪談公路邊坡管理實務單位，以了解其邊坡維管制度與防災流程及既有圖資等，俾利發想 AI 於公路邊坡之課題。 2. 在考量 AI 結合現有公路邊坡維管制度取得空拍影像之便利性及資料豐富性為前提，落石型邊坡常具有高聳特徵，且人車不易抵達，對於其上邊坡浮落石或張力裂縫等，相對適合利用空拍影像結合 AI 技術協助判識。 3. 前揭落石型邊坡，通常斜率超過 45 度，不易進行工程整治，而且植生密度低，辨識條件相對單純，故目前規劃後續年度將利用 UAV 空拍資料結合 AI 進行落石型邊坡破壞特徵影像辨識研究，屆時會再針對適用性及有整治、植栽等不同環境下之處理方式進行詳加探討。
3	影像的解析度與判釋的精度有關，也與給實務單位何研究成果應用有關，建議後續研析並釐清研究標的。	後續規劃空拍影像訓練資料集將以邊坡維管機關逕自蒐集之 UAV 影像為主要來源，過程中會再針對影像解析度與判釋精度進行探討、研析。

附錄七

期末報告簡報資料



多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探 (2/2)-影像處理方法及公路邊坡影像類型適用性探討

112年度自辦研究計畫期末審查會議

報告人：黃宇謙 副研究員

日期：112.12.22

運輸技術研究中心



簡報大綱



前言



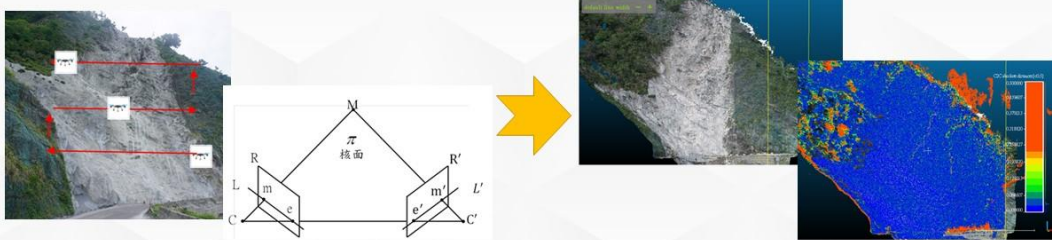
計畫內容說明



結論與建議

(一)目的

- ◆ 交通部運輸研究所(以下簡稱本所)於108年利用**無人飛行載具**快速取得邊坡空拍影像，並透過**近景攝影測量技術**將影像轉換為邊坡表面三維模型，**經由多時期模型套疊瞭解邊坡表面變遷趨勢**，提供公路邊坡維管單位一個簡便、快速、低成本的道路邊坡巡檢技術。



2

(一)目的(續)

- ◆ 交通部112年度施政計畫重點項目之一為「**強化智慧應用**，提升運輸效率」
- ◆ 運輸政策白皮書提出「**應用AI、UAV及遙測技術於鐵路巡檢或監測**」為重點之行動方案。

爰此，本所為配合交通部重大施政方針並達到支援各運輸系統技術與研發創新任務，**提出應用AI深度學習技術結合多時期、多尺度之空拍影像進行邊坡地貌判識之初步探討**，協助公路邊坡管理及災防工作。

3

(二)效益

- ◆ 探討AI結合多時期、多尺度之邊坡空拍影像進行邊坡地貌判識之可行性
- ◆ 提出相對適用影像判識之AI模型、影像預處理方法
- ◆ 現行公路邊坡維管制度結合AI之加值應用
- ◆ 發想AI於公路邊坡之課題
- ◆ 強化本所新興科技智慧應用研究本質學能

4

- ◆ 蒐集相關深度學習應用影像辨識技術之文獻並探討影像辨識應用於邊坡地貌變異判識之方法與可行性
- ◆ 訪談公路邊坡管理單位、專家學者，了解應用單位需求
- ◆ 各尺度航拍技術探討，並針對不同尺度影像進行可辨識性、取得難易、所需成本等比較
- ◆ 說明人工智慧、機器學習和深度學習，並探討神經網路模型初步概念

5

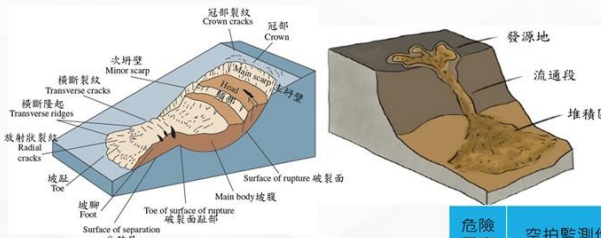
計畫內容說明

今(112)年度工作項目

(一)遙測載具、技術及空拍資料



(二)公路邊坡破壞類型與維管機制



邊坡分類	2年內 災害紀錄	5年內 災害紀錄	護坡設施	邊坡 不穩定徵兆
A	有		復(興)建中	明顯
B	有		無法設置	疑似
C		有		無
D		未有		無

危險 程度	空拍監測作為
3 (中)	UAV
4 (中高)	UAV、LiDAR 或 其他遙測科技設 備判識技術
5 (高)	

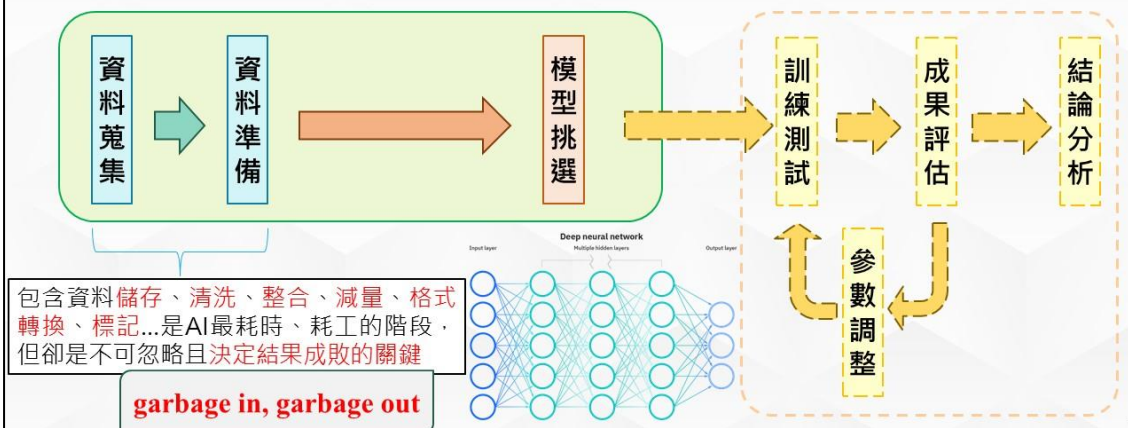
6

計畫內容說明

今(112)年度工作項目

(三)影像處理方法

(四)深度學習影像辨識模型



7

計畫內容說明	執行方法
◆ 蒐集AI應用於邊坡等相關案例及國內外文獻 ◆ 訪談公路邊坡管理實務單位，了解其邊坡維管制度與防災流程及空拍影像既有圖資等 ◆ 召開專家學者座談會並辦理工作會議檢視計畫進度，俾利研究方向對焦	

8

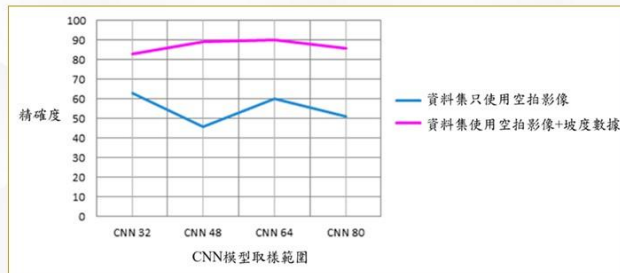
計畫內容說明	文獻回顧
資料蒐集 光譜分析 “ 可見光的不同波段特性及空拍影像像素紋理特徵 ” 空間特徵 “ 高光譜圖、DEM、三維點雲圖等 ” 環境因子 “ 邊坡條件(坡度、坡向、地質、高程、曲率等) ” 驅動因子 “ 降雨強度、最大地表加速度(Peak Ground Velocity, PGA)等 ”	影像辨識及分類 Anzi Ding等4人(2016) Zhong Chen等5人(2018) Chengming Ye等8人(2019) Omid Ghorbanzadeh等4人(2019) 災害預測 Maher Ibrahim Sameen及Biswajeet Pradhan(2019) 李秉乾等6人(2019) Haojie Wang等5人(2020) Yaning Yi和Wanchang Zhang(2020) 林彥廷等9人(2021)

9

計畫內容說明

文獻回顧

- ◆ 空拍影像訓練資料集如果納入坡度數據有助於AI模型辨識精度提升約20%至40%(Omid Ghorbanzadeh等4人，2019)



10

計畫內容說明

文獻回顧

資料處理

除錯、補邊
正規化

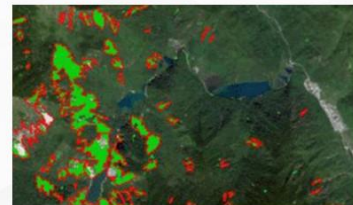
特徵萃取

標籤

“讓訓練資料一致化(格式、解析度、校正、尺寸等)”

“強化可辨識特徵(主成分分析、常態化差異植生指標、深度學習)”

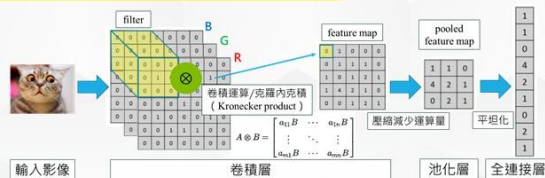
“監督式學習(告知模型正解)、非監督式學習(由模型自行學習)”



綠色區域為現實邊坡所在區域
紅色外框為模型辨識後圈繪結果
(Yaning Yi和Wanchang Zhang, 2020)

模型挑選

卷積神經網路CNN



11

計畫內容說明

邊坡影像適用性說明

(一)邊坡破壞類型

◆ 交通部公路邊坡工程設計規範(民104年)



計畫內容說明

邊坡影像適用性說明

(一)邊坡破壞類型

◆ 美國地質調查局(2014)

破壞類型		材料類型		
		岩體	土砂	
			粗粒料為主	細粒料為主
墜落		岩石墜落	岩屑墜落	土墜落
傾覆		岩石傾覆	岩屑傾覆	土傾覆
滑動	圓弧形	岩石滑動	岩屑滑動	土滑動
	平面型	岩石滑動	岩屑滑動	土滑動
側潰		岩石側潰	岩屑側潰	土側潰
流動		深層潛移	岩屑流	土流動
複合性破壞		複合兩種或兩種以上之類型		



計畫內容說明

邊坡影像適用性說明

(二)邊坡災害特徵

1. 落石

- ◆ 落石災害**發生速度**為各類邊坡破壞之**最**
- ◆ 常在**超過45度**的陡峭且植生**密度低**之裸露岩壁產生
- ◆ 產生落石的**岩層**必然具有**不良地質材料**及**地質構造**
(吳淵洵、周南山，2006)



蘇花公路台9線159.3公里

- ✓ 好發落石邊坡常具有高聳特徵，人車不易抵達且目視效果有限，**相對適合利用空拍影像協助判識**
- ✓ **災害範圍**相對於其他邊坡破壞類型**小**，故較**適合以UAV取得多時期影像**或搭載LIDAR取得DEM資料

14

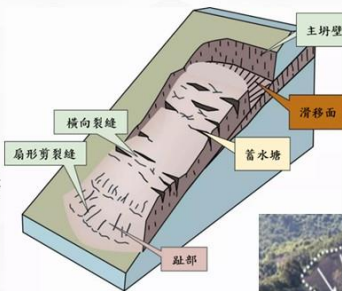
計畫內容說明

邊坡影像適用性說明

(二)邊坡災害特徵(續)

2. 地滑

- ◆ 滑體**頂端**出現**滑移面**(新月形或U形)
- ◆ 滑體**上半部**出現**下陷**甚至出現蓄水塘
- ◆ 滑體**表面**出現**橫向裂縫**
- ◆ 滑體**下半部**呈現**隆起**及**扇形裂縫**
- ◆ 滑體**前端**道路及設施、河道受迫向外推移



高雄六龜區寶來村

破壞特徵相對明顯，適合遙測工具進行監測及利用多時期影像進行滑動特徵比對，或交由具經驗之專家學者協助圈繪判識，未來以AI介入之可行性亦相對較高

15

計畫內容說明

邊坡影像適用性說明

(二) 邊坡災害特徵(續)

3. 土石流

- ◆ 當水量達到土石飽和含水量的1.167倍時，即可啟動土石流(鄭錦桐等4人，2012)
- ◆ 發生坡度約在15~30度角間為多
- ◆ 有一套完整的系統包含發源地、流通段及堆積區



雖有部分災害表徵可供空拍影像辨識，惟發生速度快，思量土石流發生因素及特性，以地表及地底監測儀器數據資料結合AI進行預測等加值應用，似較為可行。



計畫內容說明

邊坡影像適用性說明

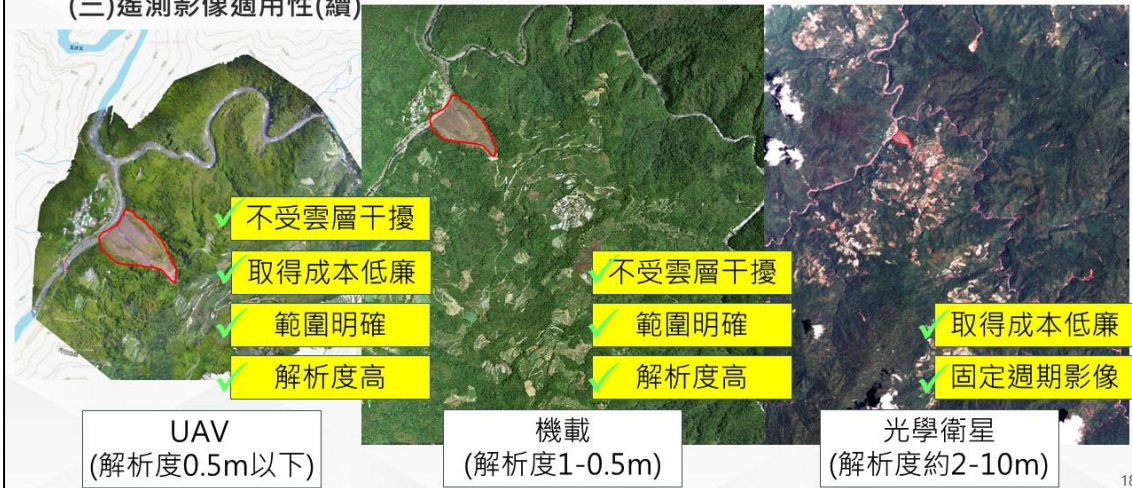
(三) 遙測影像適用性

遙測載具	地面解析度	拍攝範圍	優勢	劣勢
光學衛星	公尺級 (約10-2m)	大 (約15~50公里)	✓ 有固定運行週期，取得影像快速 ✓ 搭載多波段光學感測及熱紅外光顯像設備，方便後續影像特徵擷取	✗ 欲監測邊坡不一定恰好位在拍攝軌道範圍之內 ✗ 容易受雲層及天氣干擾成像
機載	公尺-公分級 (約1-0.5m)	中 (約1~15公里)	✓ 高解析度影像 ✓ 拍攝範圍明確 ✓ 可依任務性質替換不同酬載，有利蒐集光學影像以外之邊坡資訊	✗ 航拍影像通常為配合任務目的所取得，蒐集選擇較少
UAV	公分級 (約50cm以下)	小 (約數公里)	✓ 高解析度影像 ✓ 拍攝範圍明確 ✓ 便於多時期拍攝 ✓ 取得成本較為低廉	✗ 續航力差 ✗ 容易受風影響

計畫內容說明

邊坡影像適用性說明

(三)遙測影像適用性(續)



18

計畫內容說明

邊坡影像適用性說明

(三)遙測影像適用性(續)

破壞類型	空拍所見特徵	關鍵環境因子	關鍵誘發因子	相對適用取得空拍影像之遙測技術
落石	◆ 植生密度低 ◆ 下方常出現崖錐堆積	坡度、坡高、岩性、不連續面	時雨量、地震	UAV、LiDAR
地滑	◆ 滑體頂端呈新月形或U形且植生稀疏 ◆ 滑體上半部有下陷，甚至出現蓄水塘 ◆ 滑體下半部有隆起並出現扇形剪裂縫 ◆ 滑體底端(趾部)出現地滑舌並呈捲筒狀 ◆ 滑體前端道路或河道可能受逼往外推移，因而形成彎曲狀	不連續面、坡高、坡度、地形、水系、植被、地下水	降雨量、地震	UAV、LiDAR、InSAR、衛星
土石流	◆ 發源地常見碗狀或魚骨狀匯水窪地且常無植被倖存 ◆ 流通段因槽溝被土石流刷深、佈滿巨石 ◆ 堆積段則形成堆積扇，有時亦可見樹枝及樹幹殘骸	材料組成、坡度、地形	時雨量、地震	UAV、LiDAR

19

計畫內容說明

公路邊坡維管機制

(一)公路局

- ◆ 約20%的省道位於海拔500公尺以上，位於海拔1,000公尺以上則約佔11%
- ◆ 2018年始推動「邊坡定性定量分級暨進階檢測圖資建置計畫」，在原本A、B、C、D四個等級的邊坡分類，再用「落石災害評分系統(Rock-fall Hazard Rating System, RHRS)」的10項評估因子之總分，針對分級A、B之不穩定徵兆邊坡再進行1~5級距之細部分類，並明訂應用航拍技術輔助邊坡巡查

邊坡分類	2年內災害紀錄	5年內災害紀錄	護坡設施	邊坡不穩定徵兆
A	有		復(興)建中	明顯
B	有		無法設置	疑似
C		有	RHRS	無
D		未有		無

定性評估

10項評估因子：

(1)地形特徵、(2)地質狀況、(3)邊坡植被及水流狀況、(4)氣象加權、(5)近3年平均落石坍方歷史、(6)近3年落石尺寸及坍方規模大小、(7)交通流量狀況、(8)道路寬度及腹地有無、(9)區域聯外交通影響、(10)現有防護設施加權。

定量評估

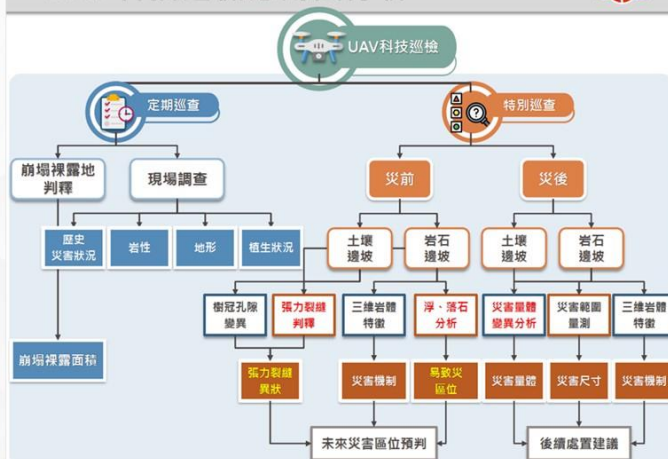
20

總分級距	0~109	110~219	220~329	330~439	440以上
危險度等級	1	2	3	4	5
危險度說明	低風險	中低風險	中風險	中高風險	高風險
工具	以目力或輔以簡單器具	以目力或輔以簡單器具	以目力或輔以簡單器具 UAV (工務段自辦)	以目力或輔以簡單器具 UAV (工務段自辦) UAV、LiDAR或其他遙測科技設備判識 (委外辦理)	以目力或輔以簡單器具 UAV (工務段自辦) UAV、LiDAR或其他遙測科技設備判識 (委外辦理)
項目	邊坡外觀及人工設施檢視 邊坡外觀空拍巡檢 邊坡分級調整建議 變異性分析(以3D數值模型比對) 浮、落石分析(以3D點雲圖檢視) 張力裂縫發現或檢視 綜合評估建議(含後續關注異狀項目、維護、補強與整治工法)				
頻率	以目力或輔以簡單器具：1次/年 UAV(工務段自辦)：1次/季 UAV、LiDAR或其他遙測科技設備判識技術(委外辦理)：每次汛期前至少1次 *若評為危險度5之邊坡需要於10月前加辦1次				

計畫內容說明

公路邊坡維管機制

UAV科技巡檢應用與分析



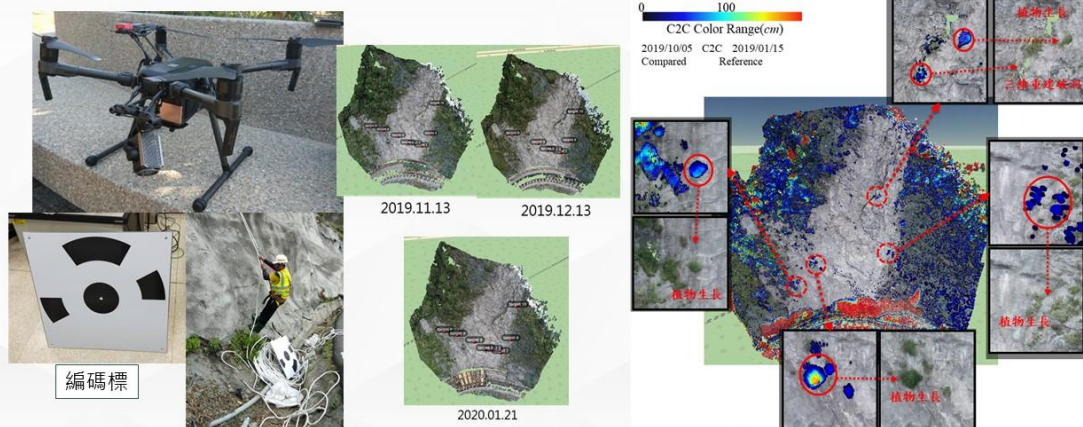
資料來源：公路局邊坡維護管理制度會議簡報(110年1月12日)

22

計畫內容說明

公路邊坡維管機制

◆ 實際應用案例1：本所與公路局東區養護工程分局(原第四區養護工程處)



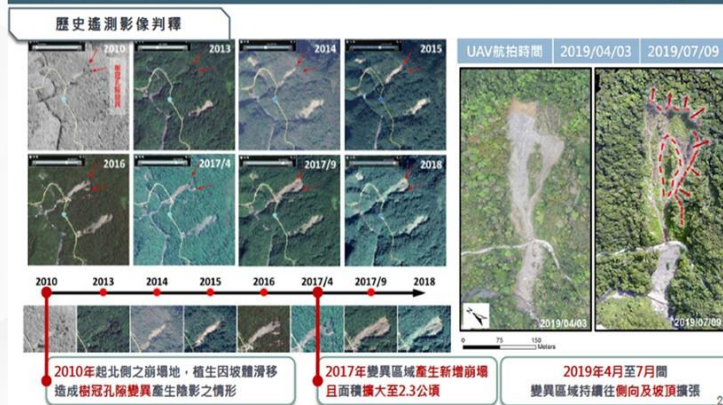
23

計畫內容說明

公路邊坡維管機制

◆ 實際應用案例2：公路局北區養護工程分局

致災成因檢討 - 台7線49.8K由99年至108年歷史災害影像判釋



資料來源：公路局北區養護工程分局-台7線49.7K大曼路段落石微地動監測於公路防災之應用(112年10月12日)

24

計畫內容說明

公路邊坡維管機制

◆ 實際應用案例2(續)

致災成因檢討 - 台7線49.8K高度風險潛在滑動塊體量評估



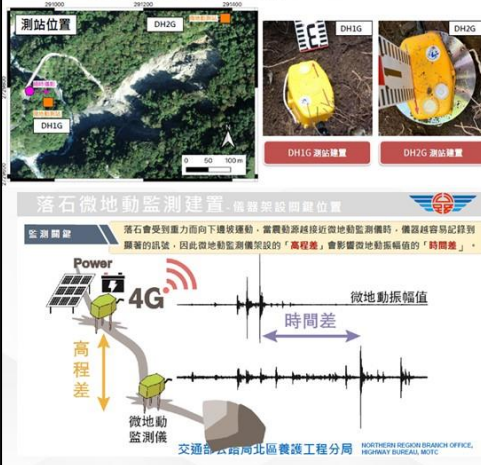
25

26

計畫內容說明

公路邊坡維管機制

實際應用案例2(續)



26

計畫內容說明

公路邊坡維管機制

(二)高速公路局

- ◆ 高速公路局主要負責國道路權內邊坡全生命週期之維護管理，相關規定依「高速公路養護手冊」要求辦理，其邊坡形式主要可分成路堤邊坡及路塹邊坡，並且依A~D級進行邊坡的分級，訂立巡查、監測、(地錨)檢測相關機制
- ◆ 邊坡巡查機制包含：經常巡查、定期巡查及特別巡查，以徒步、攀登等方式靠近邊坡，以目視為主判定邊坡的(1)坡面、(2)穩定設施、(3)排水設施各項目之安全情形

類別	經常巡查	定期巡查	特別巡查
頻率	路塹邊坡： 每天至少1次 路堤邊坡： 每月至少1次	A級： 每月1次 B級： 每季1次 C級： 每年1次 D級： 每3年1次	✓ 颱風(7級風暴半徑內之警戒範圍) ✓ 豪雨(24小時累積雨量達200毫米以上或3小時累積雨量達100毫米以上) ✓ 地震(地區震度4級以上) ✓ 人為破壞因素(如火災或車輛撞損等)
方式	以乘坐汽車於車上進行邊坡目視，若發現有可疑處應下車靠近檢查	利用徒步、攀登或特殊機械車輛儘可能靠近邊坡	同左

27

計畫內容說明

公路邊坡維管機制

- ◆ 邊坡形式主要可分成路堤邊坡及路塹邊坡，並且依A~D級進行邊坡的分級，依照高速公路官網統計，至111年6月之邊坡數量約有2,567處，其中列為A、B級邊坡數量甚少

管理 局處	A級 邊坡有明顯不穩定徵兆		B級 邊坡發現有些許疑似不穩定徵兆		C級 邊坡無明顯不穩定徵兆		D級 邊坡處於穩定狀態		合計 (處)	
	路塹	路堤	路塹	路堤	路塹	路堤	路塹	路堤	路塹	路堤
北分局	0	0	3	0	361	21	165	182	529	203
中分局	0	0	1	0	46	55	135	677	182	732
南分局	0	0	3	0	62	42	151	663	216	705
小計	0	0	7	0	469	118	451	1522	927	1640
總計	0		7		587		1973		2567	

28

計畫內容說明

公路邊坡維管機制

- ◆ 國道邊坡監測作業部分則主要區分人工量測與自動量測兩大類，相關監測儀器包含水位觀測井、水壓計、傾度管、傾斜計、地錨荷重計、雨量計、裂縫計等等，監測頻率依照邊坡分級予以訂立

邊坡分級	A	B	C	D
頻率	每週至少1次 持續至補強工程完成後，再視其邊坡分級進行調整	每月至少1次 持續至補強工程完成後，再視其邊坡分級進行調整	每季至少1次 若資料趨於穩定至少3年後，由專業廠商判讀與建議，經工務段審核完成後調整為每半年至每年1次	原則上無須設置監測儀器，惟考量鄰近邊坡處有其他重要保全對象而設置時，其監測頻率依C及邊坡規定

29

計畫內容說明

公路邊坡維管機制

◆ 實際應用案例：高速公路局中區養護工程分局

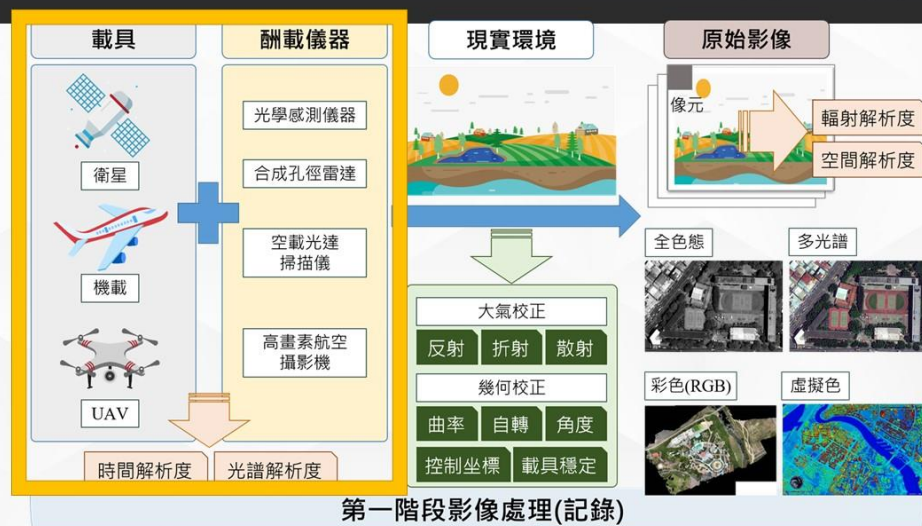


針對國道4號22K處邊坡因應斷層帶通過，高速公路局除利用地表及地底監測儀器外，尚進行地面LiDAR多時期監測變位比對工作

30

計畫內容說明

遙測載具與酬載



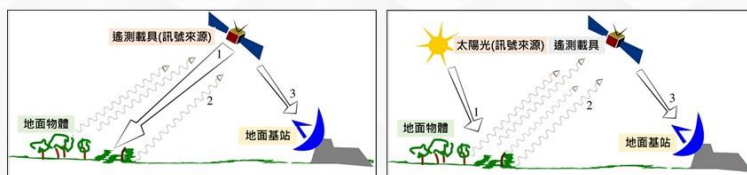
31

計畫內容說明

遙測載具與酬載

(一)衛星

- ◆ 依成像方式區分：主動式成像、被動式成像
- ◆ 主動式成像為主動發射電磁波，並接收反射回波進行成像，以微波(SAR)、雷射(LIDAR)為代表，較不受日夜天候及植被影響
- ◆ 被動式成像以所搭載的光學系統被動接收物體反射回波，藉以收集各種資訊，因此，受限於天氣及環境因素，無法達到穿透雲層、煙霧以及全天候觀測之作業。
- ◆ 較常見商用衛星包含
 1. Landsat(美國)
 2. Sentinel(歐盟)
 3. SPOT(法國)
 4. 福爾摩沙(臺灣)



32

計畫內容說明

遙測載具與酬載

(一)衛星(續)

名稱	運營方	高度	週期	酬載	分辨率
Landsat-9 (2021-)	美國NASA和地質調查局聯合計畫	705公里	16天	✓ 陸地成像儀 ✓ 熱紅外線感測器 (蒐集可見光、近紅外光等11個波段)	全色態15m 多光譜30m
Sentinel-2 (2015-)	歐盟委員會和歐洲太空總署哥白尼計畫	786公里	10天	多光譜影像儀 (蒐集可見光、近紅外光等13個波段)	可見光10m 紅外光20m
SPOT-6 (2012-)	法國國家太空研究中心	694公里	1天	高解析度光學成像儀 (蒐集可見光、近紅外光等5個波段)	全色態1.5m 多光譜6m
福爾摩沙衛星二號(已除役)	我國國家太空中心	891公里	1天	遙測照相儀 (蒐集可見光、近紅外光等5個波段)	全色態2m 多光譜8m
福爾摩沙衛星五號(2017-)	我國國家太空中心	720公里	2天	✓ 光學取像儀 ✓ 先進電離層探測儀 (蒐集可見光、近紅外光等5個波段)	全色態2m 多光譜4m

33

(二)航測飛機

- ◆ 航測飛機搭載精密的空中照相機或LiDAR設備為一常見取得影像之手段，而透過地面控制點、三角平差解算或是**搭配差分全球定位系統(Differential GPS)及慣性導航系統(INS)**則可精準記錄載具及地面物之**座標位置及空間資料**，另外經過不同拍攝角度、重疊率、快門時間等設定，再**經由相關軟體處理後可產製數值地形模型、數值表面模型(DSM)或三維建模**
- ◆ 我國航測飛機主要以內政部空中勤務總隊及農業部林業及自然保育署航測及遙測分署所有，執行航空攝影、農災調查及臺灣基本圖修測等任務，2023年引進新型King Air 360ER飛機，其搭載高解析航攝數位相機、高光譜掃描儀、光達掃描儀等裝備，可記錄紅色、綠色、藍色和近紅外線波段，**空間解析度可達20公分以內**



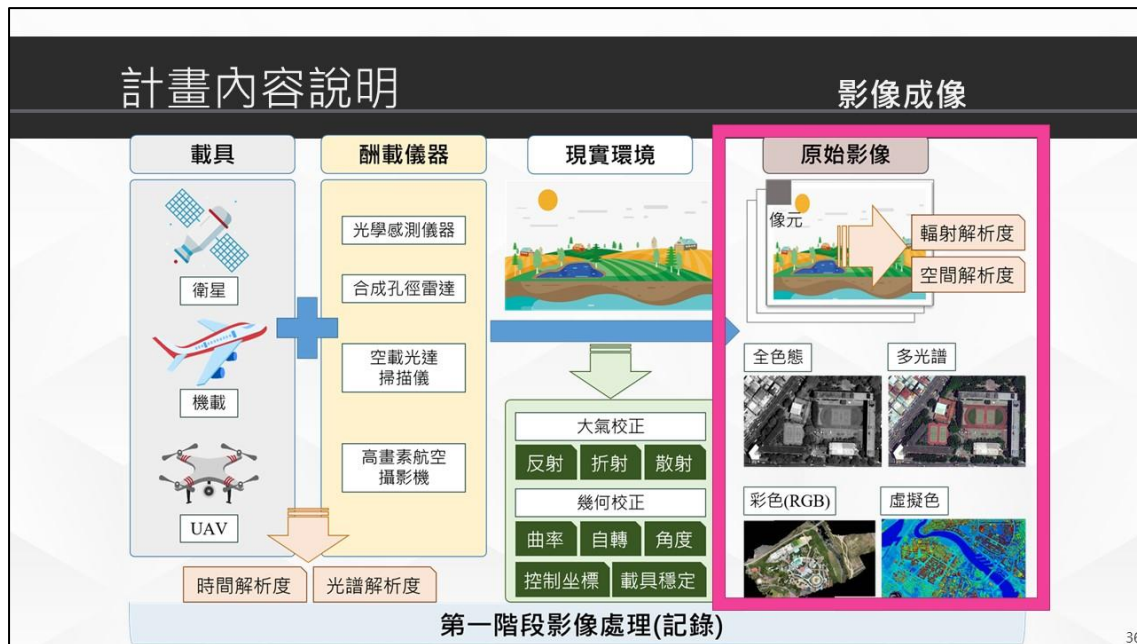
34

(三)UAV

- ◆ UAV具有移動便捷性，可達人力難以抵達或較難進入的空間進行作業，且可擇定機型、客製酬載等，以達到所需之精度及作業需求，目前已廣泛運用於記錄、探查、搜救、載運等各面向
- ◆ 目前**商用UAV基本上皆可達到4K以上超高解析度之攝影及2000萬畫素靜態相片拍攝**，若假設飛行高度為300米左右，其可見光的地面採樣距離約可達**10公分以下**，若UAV外載**多光譜相機**取得紅、綠、藍及近紅外光等波段，**進行更細緻的邊坡地貌特徵擷取**
- ◆ **利用RTK技術**，由具接收器功能之基站(Base)、參考站，持續接收衛星資訊，並利用通訊儀器將載波相位差分資料提供給移動站(Rover)，以**獲得較高精度定位座標**
- ◆ **利用UAV航線設定功能**，依所需的相片重疊率，再配合視覺攝影測量技術及影像拼接處理商用軟體，**即可取得邊坡正射影像、DSM**



35



36

計畫內容說明

影像成像

(一)解析度

- ◆ 空間解析度(Spatial Resolution)：代表影像中一個像素(Pixel)尺寸對應真實環境中地面的大小

- ◆ 光譜解析度(Spectral Resolution)：地表物體具有獨特光譜的反射特性，若感測儀器有越好的光譜解析度，則能較好的偵測各電磁波波段數量與頻寬

37

(一)解析度(續)

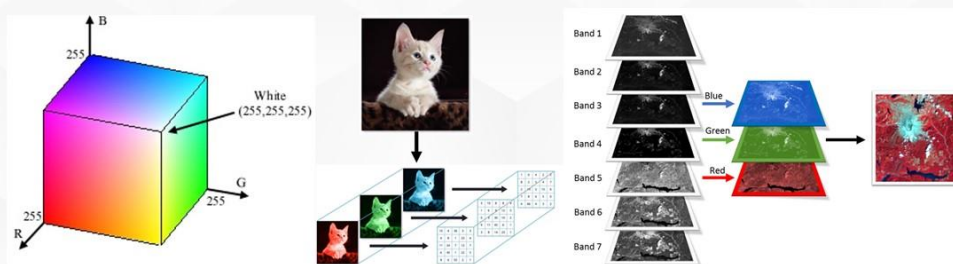
- ◆ 輻射解析度(Radiometric Resolution)：輻射解析度指感測器接收地表反射的輻射量後，經過量化所使用的灰階範圍，若是8位元輻射解析度的影像資料，則有2的8次方總共256個灰度值，一個像素若有更多範圍的灰度值，對地表資訊更能豐富的描述及呈現，在物件偵測及判別上更加重要
- ◆ 空拍影像目前多以數位方式進行記錄，其由感測器所接收到的電磁波能量多寡轉換成每一像素內特定之值(Digital Number)，該值的位元數多寡跟前述之輻射解析度有關



38

(二)色彩

- ◆ 成色通常所使用的色彩標準為紅綠藍三主色或簡稱RGB系統
- ◆ 假色：若是載具搭載可記錄多光譜的感測器，其可利用不同波段的電磁波組成彩色影像，以達到不同顯色效果，有利辨別出真彩色影像中不易辨識的特徵
- ◆ 虛擬色：利用數位影像的處理技術將所記錄的數值，例如：灰階值、高程值、溫度...等轉變成色彩



39



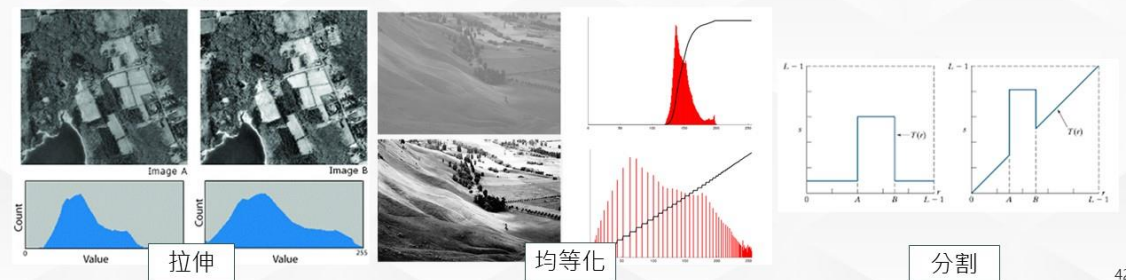
40



41

(三)特徵提取—單點轉換

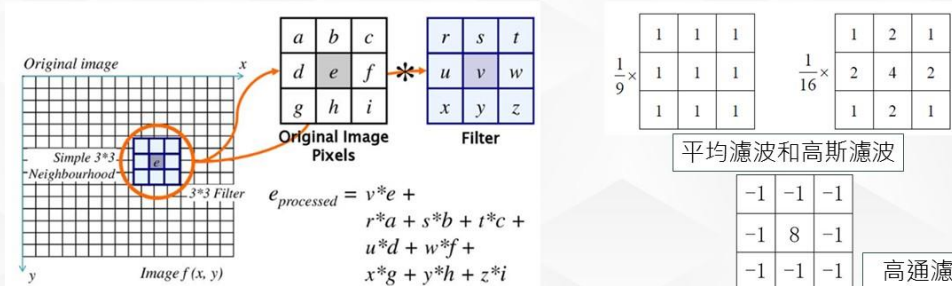
- ◆ 透過原始影像每個像素值的轉換來進行，常見有線性、對數及冪律(Power-law)轉換
- ◆ 拉伸(Stretch)：透過將原影像灰度值的範圍加大，以提高影像對比度，更容易看清物體輪廓
- ◆ 直方圖均等化(Histogram Equalisation)：讓影像像素的灰度值重新分配以達到均衡的分布
- ◆ 分割(Slicing)：用較少的位元數來表示影像，並將其縮小尺寸，以利更好的專注於某些特徵



42

(三)特徵提取—空間域

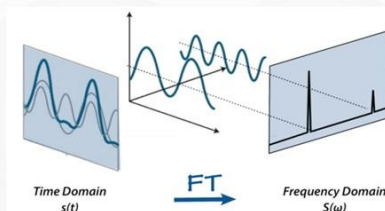
- ◆ 採用各式大小、具特定值的空間濾波器(Spatial Filtering)對原始影像進行矩陣運算
- ◆ 低通濾波(Low-pass)：將鄰近的像素點的梯度降低並使影像產生平滑效果，進而消除雜訊，常見的有平均濾波和高斯(Gaussian)濾波
- ◆ 高通濾波(High-pass)：增加影像細節並突顯邊緣，產生銳利化的效果，在辨識上是十分常用的方法



43

(三)特徵提取—頻率域

- ◆ 對於影像而言，灰階值可比做訊號的振幅，若相鄰像素間的灰階值變動劇烈，就類似短時間產生劇烈的波動，能將其視為高頻的訊號，反之，則為低頻訊號
- ◆ 可將影像透過傅立葉轉換(Fourier Transform, FT)從空間域(Spatial domain)轉換為頻率域(Frequency domain)並得到頻譜圖，從中觀察像素點和灰階值的關係，以更好的去辨別影像特徵後進行濾波等處理工作，完成後再逆傅立葉轉換回原本影像
- ◆ 不同於聲波或振波的訊號，影像是二維平面的，故需使用二維的傅立葉轉換



44

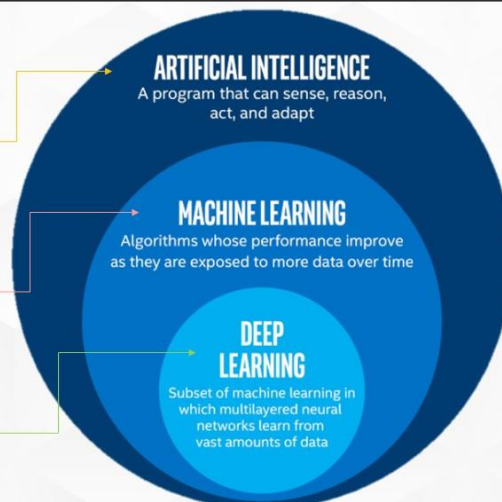
(一)人工智慧、機器學習、深度學習

人工智慧即是利用人為編寫電腦程式去模擬出人類智慧行為的過程。

人工智慧之父約翰·麥卡錫

機器學習屬於實現人工智慧的一個途徑或解決問題的一種手段，利用相關數據或資料，經由合適演算法學習後，給予相應之答案。

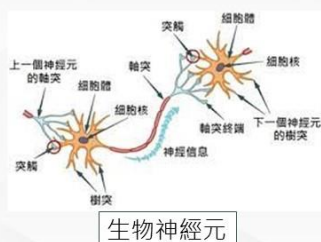
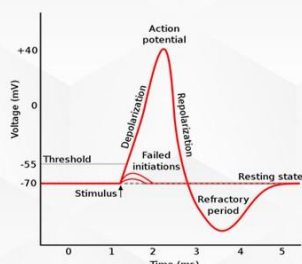
在機器學習中，專門利用神經網路做為學習演算法，即稱做深度學習。



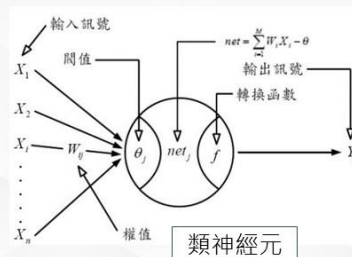
45

(二)類神經網路

- ◆ 生物的神經元基於所謂的「全有全無定律」，若神經元遭遇刺激但低於作動門檻值或稱閾值(Threshold)，則不會有動作電位激發；若達到閾值，則必激發出一完整動作電位
- ◆ Walter Pitts和Warren S. McCulloch(1943)創造一種基於數學和閾值邏輯的演算法，可謂最早的神經網路模型，而在類神經網路中，閾值就是每層神經元中的激發函數(Activation Function)，當一個輸入進來，透過激發函數判定達成條件與否，計算輸出的結果



生物神經元

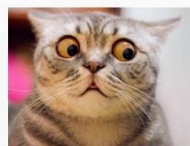
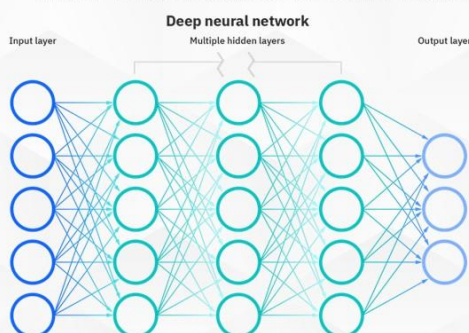


類神經元

46

(二)類神經網路(續)

- ◆ 神經網路通常由輸入層、隱藏層、輸出層組成，其反覆進行不同階層與架構的多次運算和訓練，找出最佳化的解
- ◆ 「深度」神經網路則意指由許多層神經網路組成

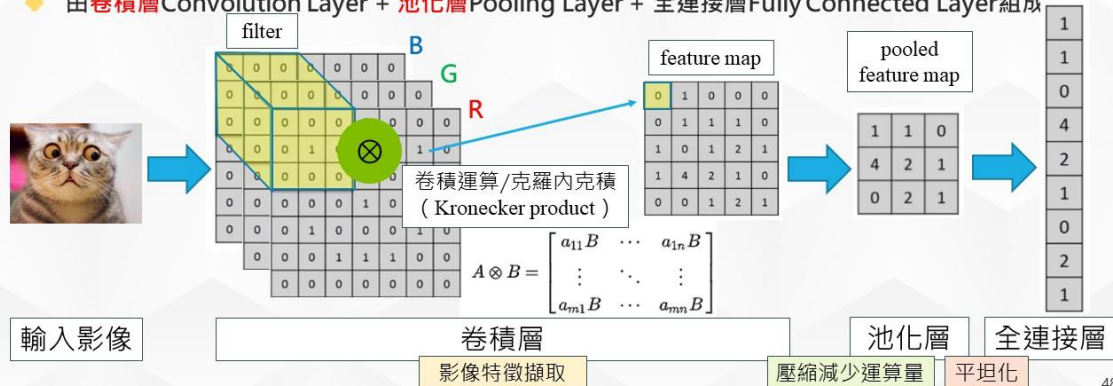


$$F(\theta) = \text{"貓"}$$

47

(三)卷積神經網路(Convolutional Neural Network · CNN)

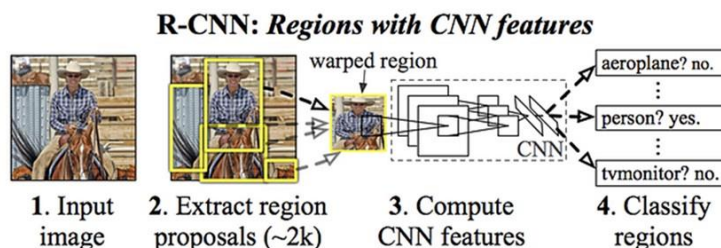
- ◆ 於影像辨識廣泛應用
- ◆ 由卷積層Convolution Layer + 池化層Pooling Layer + 全連接層Fully Connected Layer組成



48

(四)基於區域的卷積神經網路(Region-based Convolutional Neural Networks · R-CNN)

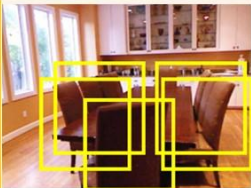
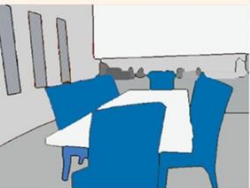
- ◆ 利用電腦進行影像辨識相關任務主要包含兩大重點—物件偵測及分類
- ◆ 為了能在影像中快速找出標的，Ross Girshick等4人(2014)發表一應用候選區域(Region Proposal)的方法，利用選擇性搜索(Selective Search)演算法生成約2000個大小矩形找出影像中可能包含關鍵物件的候選區域，接著再對前揭候選區域進行正規化後輸出至CNN後取得特徵



49

(四)基於區域的卷積神經網路(Region-based Convolutional Neural Networks · R-CNN)(續)

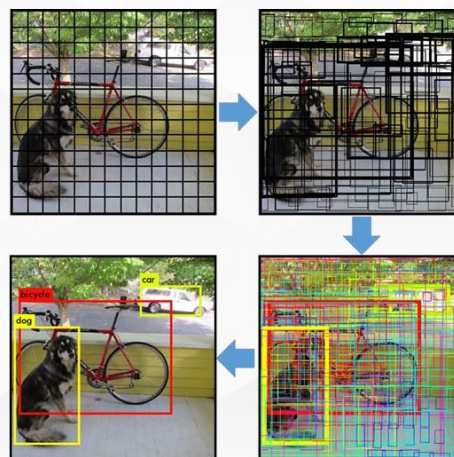
- ◆ 為改善R-CNN的效率，Kaiming He等4人(2017)提出**Mask R-CNN**，可定位出影像中該物件的精確像素所在，實現所謂的**實例分割**(Instance Segmentation)

	物件偵測	語意分割	實例分割
說明	將影像中經過模型學習過的所有物件類別加以偵測	可偵測影像中的每個像素其所屬的類別屬性	融合物件偵測及語意分割可針對影像中同一種類但不同的實例再予以區別
舉例			

50

(五)YOLO(You Only Look Once)

- ◆ YOLO運作原理為將原始影像劃分成均等大小的網格單元(Grid Cell)，每個網格單元利用預設參數來預測邊界框(Bounding Boxes)位置，並利用信心分數(C Confidence Score)來說明其屬於哪個類別的機率高，若信心分數有通過原始設定的閾值代表該邊界框含欲偵測物件種類的機率高並予以保留，最後得到物件偵測的預測結果
- ◆ 與R-CNN一樣皆是常見用於物件偵測的深度學習神經網路模型，擁有整體模型架構輕巧、計算速度快的優勢
- ◆ 最初版本由Joseph Redmon等4人(2015)，至今已釋出YOLO第8代(2023.1)



51

結論與建議

(一)結論

本所規劃2年期計畫進行空拍影像結合AI於公路邊坡地貌變異判識之研究，藉由實際訪談深入瞭解現行公路邊坡維管流程及防災機制，扣合實務單位應用需求，並探討合適AI輔助巡檢之空拍影像類別、處理方法及類神經網路等等，最後針對後續應用公路邊坡空拍影像結合深度學習於公路邊坡地貌變異判識得出以下幾點結論

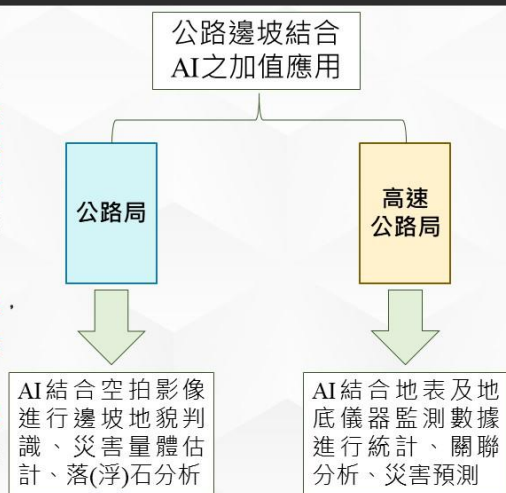
- ◆ 由第二章文獻回顧可知欲進行影像辨識或目標偵測及分類任務，可利用空拍影像像素紋理特徵、可見光等不同波段光譜特性進行特徵萃取和處理，為提高辨識精度，亦可加入邊坡空間特徵資料(例如：DEM)、環境因子(例如：邊坡坡度、坡向、地質、高程、曲率等)共同分析，更甚者，可加入驅動因子(降雨強度、最大地表加速度等)進行邊坡災害預測
- ◆ 由第三章針對公路局和高速公路局現行公路邊坡維護管理制度進行探討，可了解兩單位所轄管邊坡之型態有所差異(如公路局有高聳及落石型邊坡，人力難以企及，高速公路局則較無此類型邊坡)，故針對遙測及航拍技術之使用亦有所區別

52

結論與建議

(一)結論(續)

- ◆ 本計畫探討以AI結合空拍影像輔助公路邊坡進行相關應用，在考量結合現有公路邊坡維管制度取得空拍影像之便利性、及資料豐富性為前提，後續以公路局過往取得之邊坡空拍影像資料及所轄邊坡場址來做為未來之訓練標的似較為適當，而且可藉由納入其RHRS評估因子獲得之定量評分，提升AI精確度
- ◆ 高速公路局針對其所轄管邊坡佈設多類型監測儀器，並包含自動量測、儲存及回傳功能的設備，若考量以邊坡相關地表及地底監測數據做為AI訓練樣本，用以探討其數據變化對於邊坡異變之關聯程度，以達預測後預警之可能，亦是後續可考量切入公路邊坡AI應用方向



53

結論與建議

(一)結論(續)

- ◆ 由第四章針對邊坡地貌判識影像蒐集與處理流程預劃，**原始空拍影像資料集預計以公路邊坡維管機關逕自蒐集之邊坡影像為主要來源**，其中以**UAV拍攝為大宗**
- ◆ 可利用UAV航線設定功能，依所需的相片重疊率，再配合視覺攝影測量技術及影像拼接處理商用軟體，即可取得邊坡正射影像、DSM，而部分發生災害或高風險潛勢邊坡則會利用UAV搭載多光譜相機或利用航拍LiDAR等其他手段取得其他附加資料做為邊坡多時期變異監測手段
- ◆ 考量時間及人力，**訓練區域的標註可採監督式學習和非監督式學習結合的半監督式學習來處理**，先利用人眼或相關指標進行欲判識區域的圈繪，完成少許訓練資料的標記後，再考量利用深度學習的自編碼器進行自動生成，藉此完成足夠的訓練樣本數量
- ◆ 由第五章深度學習影像辨識模型研析，**配合本計畫欲以空拍影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之目的**，並考量適用性、時間人力、訓練效率、硬體效能、建構難易等因素，**YOLO系列模型相對符合需用**

54

結論與建議



55

結論與建議

(二)建議

- ◆ 公路局及高速公路局現已在既有之邊坡維護管理制度上導入新興科技應用，蒐集並產製各類公路邊坡數值影像及模型資料，並建置相關邊坡資訊系統予以儲存，**建議未來相關資訊可進行大數據決策輔助資料庫、AI訓練及災害預測等後續智慧化加值應用**
- ◆ 邊坡災害類型眾多，若要深入探討AI於邊坡防災上的應用，**建議可先依照不同特性邊坡及破壞類型**，例如：落石、地滑、土石流等，**進行剖析後先選擇其一進行**，以利聚焦

56



簡報結束 敬請指教

運輸技術研究中心

