

中華民國地籍測量學會期刊

國土測繪與空間資訊

Taiwan Journal of Geoinformatics

第十一卷 第一期

中華民國一一二年一月



VOLUME 11, NO. 1

January 2023

Published by Chinese Society of Cadastral Survey &
National Land Surveying and Mapping Center



內政部國土測繪中心共同發行

中華民國地籍測量學會第21屆組織表

一、理監事會：

理事長：洪本善

副理事長：江渾欽

常務理事：蕭輔導、高書屏、劉正倫

理事：紀聰吉、王定平、周天穎、楊名、崔國強、王啟鋒、吳宗寶、謝福勝、吳相忠、邱仲銘、張元旭、朱上岸、陳鶴欽、梁崇智、駱旭琛、徐百輝

常務監事：容承明

監事：史天元、白敏思、蕭正宏、陳國華

秘書長：曾耀賢（兼任）

副秘書長：梁旭文（兼任）

秘書：黃華尉（兼任）、何依屏（兼任）、謝博丞（兼任）

幹事：何美娟（兼任）

二、各種委員會：

(一)服務委員會：

主任委員：王啟鋒

委員：王定平、黃仰澤、賴澄標、張瑞隆、朱上岸、黃建華、李文聖、吳智維

幹事：陳俊德

(二)編輯委員會：

主任委員：史天元

委員：楊名、甯方璽、周天穎、蔡慧萍、韓仁毓、曾國欣、張智安、饒瑞鈞

總編輯：周天穎

編輯：葉美伶、陳鶴欽、黃筱晴

(三)研究發展委員會：

主任委員：高書屏

委員：王宏仁、林登建、吳宗寶、吳聲鴻、黃文華、賴偉君、駱旭琛、蕭萬禧、謝福勝

總幹事：謝博丞

幹事：董荔偉、李孟娟

(四)獎章委員會：

主任委員：蕭輔導

委員：張元旭、曾清涼、曾國鈞、謝福來、劉正倫

幹事：由本會秘書處兼任

(五)教育訓練委員會：

主任委員：崔國強

委員：李文聖、朱上岸、陳俊達、黃建華、蕭介峰、林登建、吳宗寶

總幹事：蕭泰中

幹事：林以恆

(六)國際事務委員會：

主任委員：周天穎

委員：盧鄂生、王聖鐸、陳惠玲、朱上岸、黃建華、高書屏

總幹事：葉美伶

幹事：邱明全、湯美華、陳家卉

(七)界址鑑定及諮詢委員會：

主任委員：盧鄂生

委員：邱仲銘、崔國強、謝福勝、駱旭琛、吳宗寶、吳相忠、蕭萬禧、王啟鋒、黃玉鐘

幹事：謝博丞

學會地址：408台中市南屯區黎明路二段335巷28號

網址：<http://www.cadastralsurvey.org.tw>

電子郵件：cscs.editor@gmail.com

資訊萃取於高解析度影像在紋理資訊對海岸漂流木之 辨識差異研究

陳柏安¹ 劉紘瑄^{2*} 萬綯³ 鄭育欣⁴

論文收件日期：111.10.17

論文修改日期：111.11.21

論文接受日期：111.12.01

摘要

漂流木(Driftwood)一直以來算是台灣一項珍貴的資產，然而漂流木的發生是一種自然現象，台灣原本就位在板塊交界處、地震頻繁地層較不穩定，一旦遇到颱風或豪大雨，雨量超過森林植物與土壤的負荷，地表流水流量大增，就可能產生洪水及崩塌，森林裡的樹木也因此被沖下。本研究以遙測技術高解析度影像分類在海岸垃圾的影像識別，以亂度基礎分類法(Entropy-based Classification)在原始波段(B,G, R, IR)和紋理資訊上的篩選，進行平行研究並比較8種紋理資訊的選取之識別差異，並與實際地貌進行差異化分析。本研究以支援向量機(SVM)的分類比較，再與人工檢核地貌的成果進行比較，製作出誤差矩陣表和主題圖，並針對海岸漂流木的特徵波段，並分析有/無紋理資訊與最佳的紋理資訊選取之辨識成效。

關鍵詞：支援向量機、紋理資訊、亂度基礎分析法

¹大學部學生，嶺東科技大學資訊科技系。

²大學部學生，嶺東科技大學資訊科技系。

³教授，嶺東科技大學資訊科技系。

⁴副教授，嶺東科技大學資訊科技系。

*通訊作者，TEL:(04)23892088#3722，E-mail: pjnehc6567@gmail.com。

The Study on the Different Texture Information of Coastal Driftwood Based on Information Extraction through High-Resolution Image Data

Bo-An Chen¹, Yun-Xuan Liu^{2*}, Shiuan Wan³, Yu-Hsin Cheng⁴

Abstract

Driftwoods have always been regarded as a precious asset in Taiwan. However, the driftwood is produced by a natural phenomenon. Taiwan was originally located at the junction of earth-structure plates in which the stratum was unstable with frequent earthquakes. Once encountered a typhoon or heavy rain, the rainfall run over the forest and driftwoods are flush to the coastal. Hence, the load on plants and soil, and the large increase in surface water flow, may cause flooding and collapse, and the trees in the forest will be washed down as a result. This study used high-resolution remote sensing image classification in image recognition of coastal garbage, and used Entropy-based Classification to screen the original bands (B, G, R, IR) and 8 texture information, and conduct parallel analysis. The study compared and identify the differences in the selection of different texture information, and conduct a differentiated analysis with the actual landform. In this study, the classification and comparison of support vector machines (SVM) were used to draw the thematic map of landforms of coastal. An error matrix and a thematic map were produced. The classification performance of the best texture information selection is also discussed.

Keywords: Entropy-based Classification, Support Vector Machines, Texture Information

¹ Undergraduate Student, Department of Information Technology, Ling Tung University

^{2*} Undergraduate Student, Department of Information Technology, Ling Tung University

³ Professor, Department of Information Technology, Ling Tung University

⁴ Associate Professor, Department of Information Technology, Ling Tung University

*Corresponding Author, TEL:(04)23892088#3722 · E-mail: pjnehc6567@gmail.com

一、緒論

現階段影像辨識現在深入融入我們生活當中，比如應用在人臉辨識、車牌辨識、入侵者偵測等相關技術，影像辨識也結合醫學幫助醫生判讀包括診斷糖尿病視網膜病變、乳腺癌腫瘤轉移等，以及工廠中的不良品判斷。近年來關於環境的議題越來越重要，如果將影像辨識運用在環境環保上，可以進一步的發展環保技術，並且同時加強環境保育。然而臺灣四面環海，面積雖只有三萬六千平方公里卻擁有著豐富的生物資源，也因為橫跨了亞熱帶與熱帶、地勢起伏、高山林立而造就了多樣化的生態環境[1]。臺灣全島內的各地沿海地形包含著礁岸、岩岸、沙岸、泥岸等海岸及珊瑚礁地形，含豐富的生物與自然景觀全都容納在範圍內，美不勝收但強大的颱風和地震擾動帶來不穩定邊坡問題。另外海岸的開放以及旅遊風潮的盛行，這些景觀成為名勝的觀光景點，帶來了許多人潮，海岸土地利用多元化雖然帶動了台灣經濟，但保留已久的原始生態樣貌卻也隨之破壞。

在面對海岸維護工程這個議題上，縣市的相關單位也是相當費心，目前全台灣海岸線中平常由臨海縣市政府、鄉鎮市公所、港務及海防單位負責清潔維護的有約1000公里，可供人民親近，由台灣環境資訊中心公佈目前已沉積在海底深處的塑膠垃圾至少1.5億噸，且每年流入大海中的塑膠垃圾至少約為800萬噸，導致海岸管理單位及地方政府清潔人力造成極大的負荷，每年不斷投入上億元及消耗大量時間與人力在海岸，為了減輕壓力如果能有效開發一套監控系統利用空間資訊與資料探勘進行，轉換成長期維護海岸工作。對於遭到破壞的環境往往很難以有效率的進行，因此成果卻往往不達期望值，不管是持續定期的清運海岸垃圾，或者時常由相關團體舉辦的一次性淨灘活動，一旦停下便會使後續的維護工作更加困難，說明必須發展出一個更有計畫性的現代方案，替代目前進行的維護工作，並降低人力成本解決問題。若可以建立高解析度影像紋理資訊來分辨出海岸垃圾與其他物體的方法，並可以集中人力在海岸垃圾的位置處理並減少不必要的人力支出，並且長期定時分析影像可以有效海岸清潔維護工作[1]。

由於海岸多種地表覆蓋物與影像的紋理分析有很大的關係，因此如何在影像紋理分析中掌握有效的影像紋理成為關鍵問題。紋理資訊的理論再像素點之間相互的關係例如：對比性、排列性、形狀、大小等，相對於像素本身的灰階值屬性較高階的定義性質，此像素之間的相互關係性質則稱之為紋理。紋理為影像中灰階值在高低變化上的頻率，可以決定區塊特徵影像在視覺上表示粗疏拙劣或細緻清晰的情形，為影像判釋的重要特徵之一。影像紋理分析的主要目的在於找出符合影像中同質化的特徵值，便可以依據辨識不同之紋理或質地的影像類別。其中可以針對影像的光譜性質提供額外的訊息以利獲得輔助資訊。紋理分析的技巧已廣泛的使用在各大領域上，從遙測影像辨識農作物、作物成長階段、地物判別、瑕疵偵測及分類的判讀及醫學影像判釋等都可見其行蹤，在數位影像上的處理和判釋的地位越來越為重要。

支援向量機(Support Vector Machine; SVM) [2]的來源早在1963年，著名的前蘇聯統計學家弗拉基米爾·瓦普尼克在博士論文中，就提出了支援向量機的概念。但由於當時的國際環境影響，他們用俄文發表的論文，並沒有受到國際學術界的關注。直到20世紀90年代，瓦普尼克隨著移民潮來到美國，而後又發表了SVM理論。此後，SVM演算法才受到應有的重視，如今，SVM演算法被稱為最好的監督學習演算法。他主要的精神給定一組訓練示例，每個訓練示例都標記為屬於兩個類別之一，SVM訓練算法構建一個模型，將新示例分配給一個類別或另一個類別，使其成為非概率二元線性分類器。SVM將訓練樣本映射到空間中的點，從而最大化兩個類別之間的差距寬度。然後將新示例映射到同一空間中，並根據它們落在差距的哪一側來預測屬於一個類別。亂度基礎分類法(Entropy Based Classification; EBC)[3]主要在考慮二分類問題，提出了一種基於熵估計決策規則參數的算法。它詳細描述了基於熵的估計方法和分類算法過程，也同時展示這種方法的優缺點，數值實驗結果以及可比較提供樣本屬性之熵量以代表該屬性之重要性。

本研究主要以選取八個紋理資訊並以支援向量機(Support Vector Machine; SVM)進行分析判釋漂流木的高解析度影像，並以亂度基礎分類法(Entropy Based Classification; EBC)進行屬性萃取並繪製主題圖和誤差矩陣。

二、文獻回顧

近年來，遙測技術已廣泛被應用於土地利用調查上，近年和太空科技的整合，更使我們有能力探測大範圍地區的整體狀況，高解析度譜影像雖具有廣景的特性，所以能被應用於大範圍土地利用偵測問題上。目前高解析度影像之空間解析力已大幅躍升至公分級的精度，賴其高空間解析力，將可突破以往影像空間解析力不足之限制，因此，如何應用高解析度光譜的研究中，諸多學者利用了光譜指標、紋理、多時段影像、雷達影像甚至是結合GIS資料[4]，進行崩塌面積的判釋，也都獲至相當良好的成果，但由於以往研究多是利用SPOT衛星影像，雖能得到良好的分類成果，但由於影像解析度不足，所以無法進行海岸廢棄物種類的判釋。

在影像判釋分類上，可分為兩種方法：(1)若對於研究區有充分調查時，一般建議可採用監督式分類法。(2)若對研究地區不甚瞭解時則可採用非監督式分類法。線性判別分析為數學統計的方法，一般來說將待分析的Raw Data輸入這個方法，可以得到一些線性的判別式，容易了解，且分析快速。然而由於科技的進步，一般光譜或多光譜影像所得到的資訊與先進的輔助資訊，在測量科技上近十年來大幅進步。同時線性判別分析為非常傳統的方法，若將高光譜影像所量測的雜訊代入，並找到替代方案取代輔助資訊，必將判釋的目標類別，可能引起大量的誤判和漏判，若可以在資料的萃取上和屬性刪減上改善，必對利用影像在判釋科學上有很大的助益[5]。

機器學習在字面上的解釋就是讓機器具有學習的能力，通過數據訓練建構模型，讓電腦透過分析數據找出規律並掌握這種規律，然後對真實世界的事件進行預測與決策。機器學習對於不同的目標情景，大致上可以分為監督學習

(Supervised Learning)、無監督學習 (Unsupervised Learning) 與強化學習 (Reinforcement Learning)[5-6]。監督學習: 使用帶有標籤的數據進行訓練，在訓練模型時無論輸入的數據為何，都會有相對應的輸出標籤，讓模型有能夠依據的答案來對模型進行調整與修正。而監督學習可以依照輸出標籤分為兩類，第一類是輸出標籤為連續值的迴歸監督學習，第二類是輸出標籤為離散值的分類監督標籤 [7-8]。常見的監督學習方法有 Logistic 迴歸、線性迴歸、決策樹、支持向量機 (SVM)、神經網路...等等。在無監督學習的觀念中，訓練資料沒有標準答案、不需要事先以人力輸入標籤，因此機器在學習時並不知道其分類結果是否正確，無監督學習的方法是對訓練數據的結構進行分析，挖掘出數據間的規律與關聯，常見的方法有聚類、降維、特徵選取[9]。

三、研究方法與設計

(一) 研究選址

首先為了研究的延展性在抽樣海岸選址上的限制如下:

1. 監測海灘長度至少100公尺且一般民眾開放之海灘方便人員進出。
2. 由沙子或小碎石組成的海灘，並且屬於開闊型海域且避免有大量遊客、定期清掃的觀光型海灘。
3. 因河口、港口、礁石附近常有人為建築與非海岸垃圾，所以盡量避免海灘兩側一公里範圍內有河口、港口、礁石等危險區域。
4. 透過空拍紀錄選址範圍，確保調查範圍統一 海灘坡度建議不超過45°，確保退潮時垃圾也能充分留在海灘上且海水前緣到路岸、植被邊緣，選取三個地點的坡度、計算三者平均值，作為其海灘坡度。以多元尺度高解析影像試辦海岸地區廢棄物數量分析方法。

經過多次勘查，最終將實驗區域選擇在新北市瑞芳區台2線的83.2K處，位於新北市內東北方，北濱東海，東鄰貢寮區，南鄰雙溪區、平溪區，西邊與西北邊分別相鄰基隆市暖暖區與中正區(如圖1)。瑞芳區在地形上屬中央山脈最北端的基隆丘陵及臺灣東北角海岸，除部分濱海地帶及河川沖積地以外，主要為山坡地。

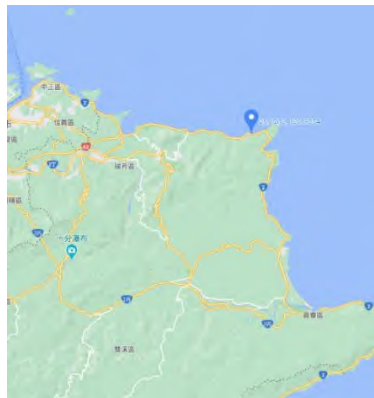


圖 1 實驗區域 (擷取自 Google Map)

(二) 紋理資訊

前人曾對紋理的研究得到一個結論：人類對於紋理識別中最重要三個維度為週期、方向和隨機性。因此將一個紋理資料庫分類為週期性、方向性和隨機性的紋理等三大類，既可降低紋理分類的難度，亦可進一步開發紋理檢索的系統。紋理可概分成三大類：

1. 方向性紋理 (Directional textures)：

方向性紋理即是由很精確的數學式表示出來的紋理，或是一種定義精確的子紋理透過精確的排列規則所定出來的紋理(如圖2)。



圖 2 方向性紋理

2. 週期性紋理 (Periodic textures)：

週期性紋理則是由一種或多種紋理基元〈primitive〉根據某種排列規則而產生的紋理，大部分的人工紋理屬之，如花布(如圖3)。



圖 3 週期性紋理

3. 隨機性紋理 (Random textures)：

隨機性紋理主要是一些自然的紋理，其排列方式與組成基元都是隨機的，但必須是同質的，如樹葉。雖然是同質的，但在結構單元及排列上都無法正確的描述(如圖4)：



圖 4 隨機性紋理

在影像中紋理是一種反映影像中同質現象的視覺特徵，它體現了物體表面具有緩慢變化或週期性變化的表面結構組織排列屬性，其中有許多方法可以詳細的描述該影像的規則、規律、特性，而特性分別為：紋理性（Texture）、線性特徵（Linear Feature）、形狀（Pattern）、大小（Size）等，而紋理特性是一種在影像分類中可以有效及改進精確度的方法。一般而言，遙測影像中的紋理特性，就是影像中相同物體在群集時，以一種規律方式排列而成，這種排列方式可以使它識別為代表地物其中一種的特性，稱之為組織特徵。

本研究是從ENVI內建的12種紋理資訊先透過因素分析選取四種最具影響植物的紋理資訊導入下述公式1-4，擬將選用統計型較為常見的灰階共生矩陣GLCM量化中的紋理因子（Contrast、Energy）進行分析，利用上述四種統計量，可將影像之紋理予以量化，若原始高解析度光譜將原始紋理影像進行紋理量化的動作，即可以得到各種不同紋理影像(Texture Images)。紋理影像與光譜資料結合使用，其不但可以提供分類所需的空間資訊，且相容於傳統多光譜產生分類器更易識別的影像材料 其公式概述如下：

(1) 能量 (Energy, Ene)

$$Ene = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N C_{ij} \quad (1)$$

(2) 差異度 (Dissimilarity, Diss)

$$Diss = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N C_{ij} |i - j| \quad (2)$$

(3) 同質度 (Homogeneity, Homo)

$$Homo = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \frac{1}{1+(i-j)^2} C_{ij} \quad (3)$$

(4) 熵 (Entropy, Ent)

$$Ent = - \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N C_{ij} \log C_{ij} \quad (4)$$

(三) 亂度基礎分類法

亂度基礎分類法(Entropy Based Classification、EBC)簡單來說，EBC係由分類 (Classification) 及亂度 (Entropy) 兩個基本的觀念所構成，分述如下：

1.分類 (Classification)：

決策的形成往往與相關的條件屬性有密切的關係，分類(Classification)之目的即為在屬性資料中尋找適當之分類，以做為決策之參考。Classification已應用在許多的領域中，例如資料處理內容辨識，醫學上磁共振造影影像辨識，天文中依形狀分辨銀河等。迄今，很多發展成熟的分類已被廣泛應用在許多地方，如決策樹 (Decision Tree) 及支援向量機 (Support Vector Machine) 等。

2. 亂度(熵、Entropy)

熵的概念最早起源於熱力學，由德國物理學家克勞休斯(Clausius)於1865年所提出，亦即「一個系統不受外部干擾時，往內部最穩定狀態發展的特性」用於度量一個熱力學系統的無序程度，且認為是在學習可逆及不可逆熱力學轉換時的一個重要元素。在資訊理論裡面，熵是對不確定性的測量[10-11]。1877年，波茲曼(Boltzmann)發現單一系統中的熵跟構成熱力學性質的微觀狀態數量相關，進而發展了其假設而成為統計力學的基礎，此中的entropy係用以描述一個系統混亂程度的度量[3]。

亂度基礎分類法的分析可分為兩大步驟：

(1) 假設一連串不同的分類點(用於切割屬性資料)，透過亂度(Entropy)的運算評估出基於決策目標下最佳的分類點；

(2) 基於所評估最佳的屬性分類點，判斷、選擇符合決策目標的屬性類別[4]

(四) 支援向量機

支援向量機是一種二分類模型，定義為特徵空間上間隔最大的線性分類器，直觀上看就是用一條線將不同特徵的兩類資料分開[12]，如圖5：

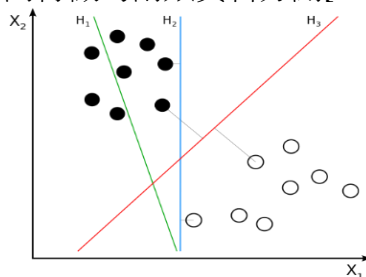


圖 5 SVM [6]

該座標平面上有兩類資料，三條線H1、H2、H3分別代表三個支援向量機，其中可用的支援向量機為H2與H3，H1由於無法確實將訓練資料切割開所以無法使用，H2雖然可切割訓練資料但遠遜於H3，因H3能獲得一個離兩類特徵資料最遠的直線，這樣的直線在之後就算加入其它資料到平面中，也比較不會出現誤判的情形。而支援向量即兩個特徵資料與直線最近的距離，支援向量機的精神就在於將支援向量最大化。

(五) 研究步驟及方法

1. 研究步驟

本研究擬以影像分析分類海岸垃圾，分為H、漂流木、垃圾，計算海岸的垃圾及非垃圾的分佈圖。步驟如下：

(1) 資料收集：

本研究以新北市瑞芳區台2縣8.2K海岸為研究地區(圖1)，作為智慧影像分析海岸垃圾為基礎資料，透過高解析影像資料進行影像處理與分析。

(2) 第一階加入紋理資訊：

將高解析影像資料加入紋理資訊分類。

(3) 第二階加入亂度基礎分析法：

以亂度基礎分析法篩選出最佳的紋理資訊。

(4) 第三階分類建立模型：

將抽樣樣本切割成訓練範例和測試範例，使用支援向量機(SVM)分類。

(5) 第四階建立誤差矩陣與主題圖：

比較所有紋理資訊、經亂度基礎分析法篩選之紋理資訊的誤差矩陣與主題圖，進行顯示差異研究 (如圖6)。

本研究共採點2500樣本點，以700個點進行訓練建立模型，1800個點進行模型的測試，並且加入4種紋理資訊和透過EBC將資料屬性優化選取的平行處理方式，因此有三種不同平行研究

(1) 原始資料+SVM

(2) 原始資料+四種紋理資訊 (公式1~4) +SVM

(3) 原始資料+四種紋理資訊(EBC選取)+SVM

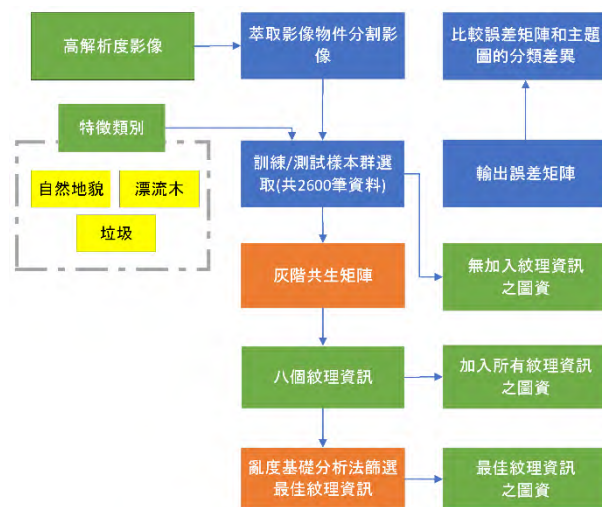


圖 6 研究流程圖

2.影像材料與取材

影像素材為使用高解析度相機於晴朗無雲之日所航拍之高解析度多光譜影像，地面資訊的解析度達到10cm×10cm。由於涵蓋波段較廣，可以有效提供予機器進行影像物件辨識，也有利於後續人工辨識物件進行成效檢核的作業。其拍攝背景為高解析度多光譜影像將以離地高40m，FOV為40°之掃瞄參數進行作業，獲取地面解析度為10cm之影像。本實驗步驟流程:將影像素材當中選為實證區的區塊裁切出來，隨機選取訓練資料群與測試資料群，在訓練資料中標記類別標籤，將標籤資訊導出為CSV檔案以便串接程式資料庫，進行文件標頭資訊切割，資料套用標準化偏差值，建立訓練模型，使用模型對測試資料進行分類。

四、結果與討論

使用影像分類準確度評估過程時，通常以一個像元大小為基礎單位，經由隨機選取方式抽取判斷像元與地真資料後，同時或以實地調查資料或土地覆蓋等相關圖形資料，逐一校對每個檢核點後，即可產生統計表，或稱為誤差矩陣以監督式分類法分類訓練範例，訓練後透過測試範例取得誤差矩陣，並將原始圖像匯入繪製主題圖。圖7(a)為測試資料之差矩陣，正確率為97.06%，圖8影像分析分類為自然地貌(黑色)、漂流木(白色)、垃圾(紅色)。本研究使用了ENVI(Environment for Visualizing Images)匯入圖片，選取訓練樣本計算紋理資訊，並進行資料整合，再以Python撰寫程式分析，繪製出誤差矩陣與主題圖。此次研究分別為：

Case 1 :無加入紋理資訊之誤差矩陣:

將原始資料經過分類器支援向量機(SVM)的分類後，整體正確率為 97%左右(如圖7)然而在主題圖的視覺上非常模糊(圖8)。(其中圖中other 包含了岩石+水域+綠色植被)

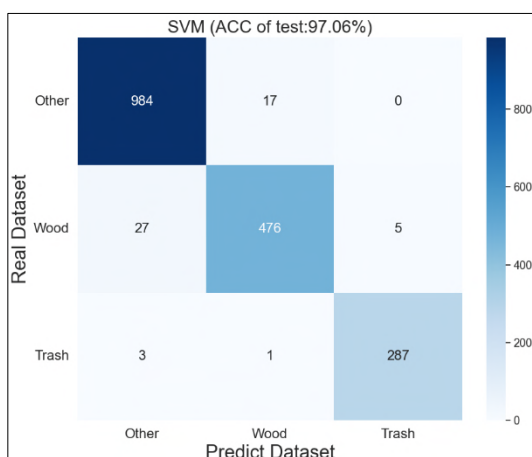


圖 7 測試資料 97.06%

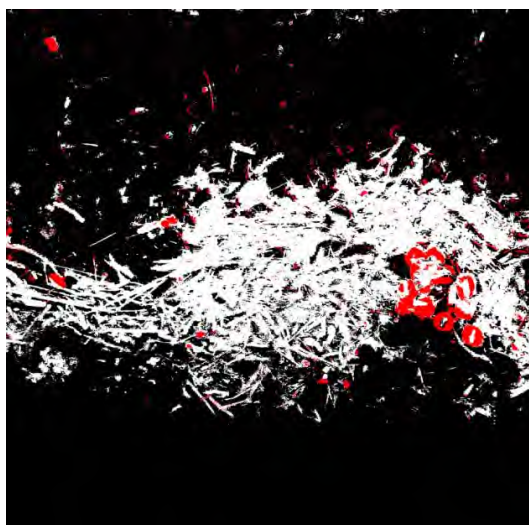


圖 8 原始光譜(B+G+R+IR)主題圖

Case 2 :加入所有紋理資訊

將下列八個紋理資訊為平均值(Variance)、方差(Mean)、均質性(Homogeneity)、對比度(Contrast)、相異性(Dissimilarity)、熵(Entropy)、二階矩陣(Second Moment)、相關性(Correlation)為影像的輔助資訊，經過SVM的分類後得到物差矩陣約正確率為96.5%(如圖9)和主題圖 如圖10 漂流木的部分非常模糊(比圖8還要模糊)。

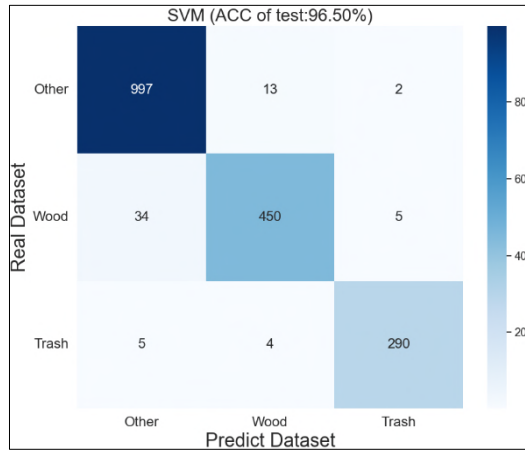


圖 9 測試資料 96.50%

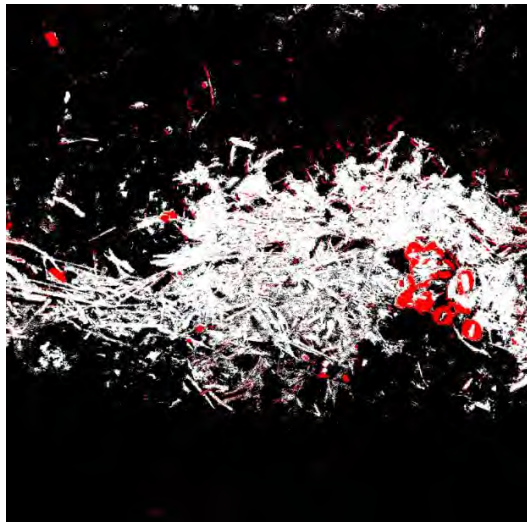


圖 10 所有紋理資訊之主題圖

Case 3 :經亂度基礎分類法(EBC)篩選出最佳之波段

將Case2 所選取的八個紋理資訊+原始波段，經由前述亂度基礎分類法(EBC)選取最重要之4個屬性為紅波段(R)、藍波段(B)、方差(Mean)、相異性(Dissimilarity) 經支援向量機 誤差矩陣的正確率93.22%(圖11) 和主題圖(如圖12)。

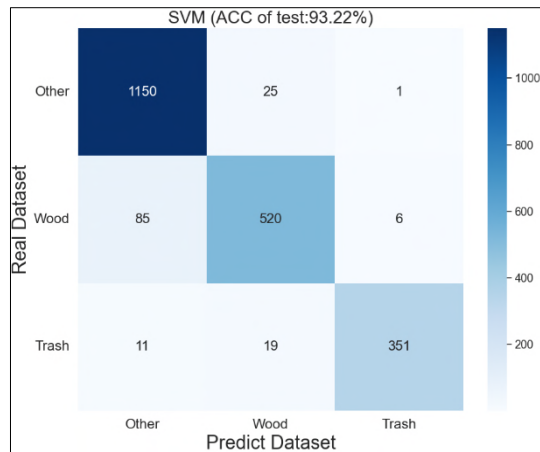


圖 11 測試資料 93.22%

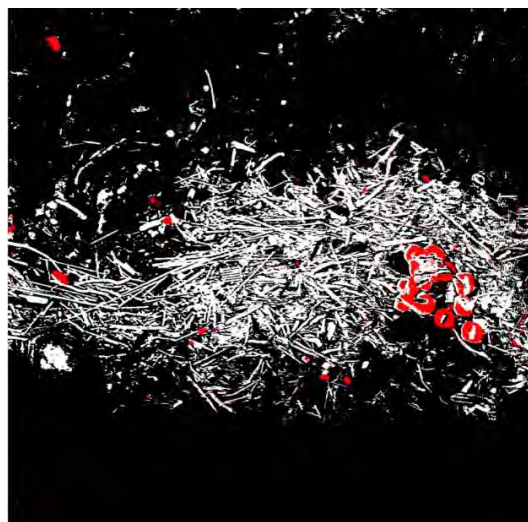


圖 12 經 EBC 主題圖

比較圖11+圖12雖然誤差矩陣的正確率下降，然而主題圖所有漂流木清楚的被識別出來，而且結構完整，對於漂流木的識別很有幫助，另外我們深入觀察主題圖差異，以繪製圖13比較差異，經由EBC屬性選取之波段，藍色區域(誤差矩陣內 other)之雜訊也完全被去除 此處在前述SVM分類所產製的大量椒鹽效應被去除，至於圖11為何下降 可能是紋理資訊對垃圾部分辨識不佳，但所產製的主題圖相當有助益。

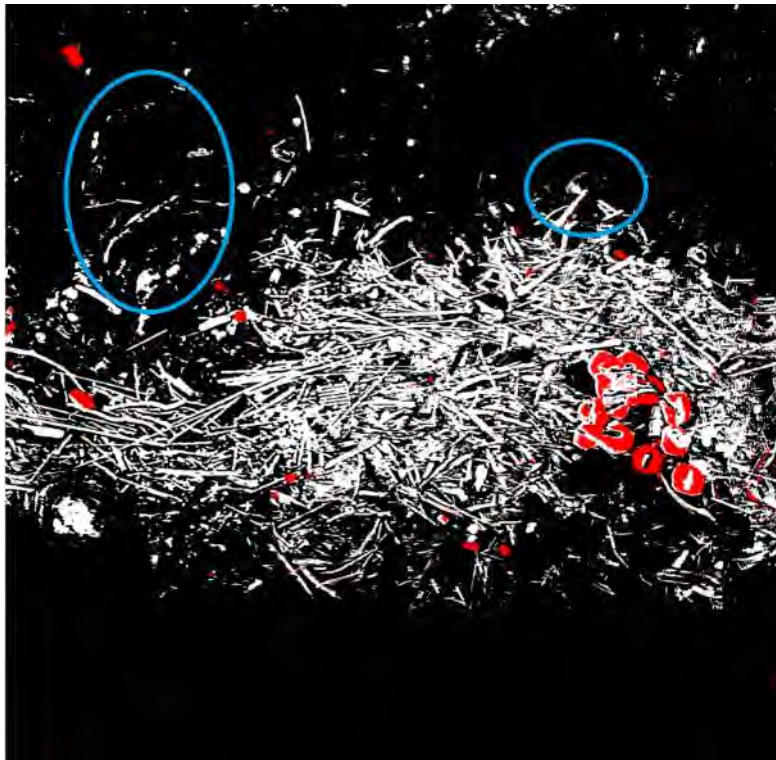


圖 13 辨識錯誤區域

五、結 論

過去海岸以人進行實地探勘來決定海岸是否存有大量人為垃圾，這樣的方法既耗時又費力，若能透過遙測影像獲得圖像資料並以影像辨識技術進行機器學習協助垃圾判釋，即能節省大量時間以及人力資源。本研究將透過一般譜影像對海岸周圍進行影像辨識，以區分海岸邊人為垃圾和非人為垃圾(漂流木)。本研究主要對象為漂流木，整體而言漂流木之篩選成果數據良好，但為何加入紋理資訊後誤差矩陣正確率較採用原始影像為低? 主要數據的採點問題，在主題圖上，加入紋理資訊其效果良好，圖像結構更為清晰但紋理資訊由於海岸地貌複雜，尤其海岸垃圾其複雜度加入會造成其他類別的混淆，研究設計的策略為導入多種紋理資訊以輔助分類成效紋理資訊對於影像辨識有一定程度的影響力和重要性。而在經過亂度基礎分析法後，篩選出最具影響力之紋理資訊，在漂流木的辨識上更為精確且正確率有在93%左右，但還是有些許辨識錯誤的地方，所產製的主題圖 結構完整且清晰 對未來使用圖像辨識如卷積神經網絡 (Convolutional Neural Network, CNN) 和生成對抗網路 (Generative adversarial networks, GAN) 之圖像取樣會有重大助益。

參考文獻

- 傅佳霖、陳聰慶、陳素珠，2004，衛星影像紋理分析再山坡地變異點偵測之應用，
《水土保持學報》，頁 203-204
- 黃凱翔，2008，《利用支持向量機於機載高光譜感測影像之分類》，國立中興大
學土木工程學系碩士論文。
- 萬絢、雷祖強、王文宜，2013，以迭代式像元基礎的亂數基礎分類法在萬大水庫
衛星影像崩塌地的判釋研究，《中華稅水土保持學報》，頁78-86
- Fan-Jun Kuo & Hsiang-Wen Huang, 2014, Strategy for mitigation of marine debris:
Analysis of sources and composition of marine debris in northern Taiwan, *Marine
Pollution Bulletin*, 83(1), pp.70–78,. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.04.019>
- Leo Breiman., 1996, .Bagging predictors, *Machine Learning*, 24, pp.123–140,
<https://doi.org/10.1007/bf00058655>
- Piovan, S. E., 2020, Geographic Information Systems. In Springer Geography,
Springer. ,pp. 119–170,. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42439-86>
- Wan, S., Lei, T. C., & Chou, T. Y., 2010, A novel data mining technique of analysis and
classification for landslide problems. *Natural Hazards*, 52(1), pp.211–230.
- Wan, S.; Lei, T.C.; Chou, T.Y.,2012, A landslide expert system: Image classification
through integration of data mining approaches for multi-category analysis.
International Journal of Geographical Information Science. ,26, pp.747–770.
- Zhang, Rongqun, and Daolin Zhu., 2010, Study of land cover classification based on
knowledge rules using high-resolution remote sensing images. *Expert Systems with
Applications* 38, no. 4: pp.3647-3652.
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%86%B5> 熵
[https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%86%B5_\(%E4%BF%A1%E6%81%AF%E8%AE%BA\)](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%86%B5_(%E4%BF%A1%E6%81%AF%E8%AE%BA)) 熵 (資訊理論)
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%94%AF%E6%8C%81%E5%90%91%E9%87%8F%E6%9C%BA> 支持向量機

應用 UAV 影像及深度學習技術輔助橋梁裂縫量化分析

張永辰^{1*} 高書屏² 王豐良³ 林志憲⁴

論文收件日期：111.05.24

論文修改日期：111.11.22

論文接受日期：111.11.29

摘要

臺灣的橋梁約有兩萬九千座，依據我國公路橋梁檢測之規範，橋梁於完工後每兩年需要進行一次定期檢測，橋梁定期檢測的方式以目視檢查法進行，檢測重點以裂縫為主，但許多裂縫構件位於高空或河面上，故該法需專業橋檢人員藉由操作橋檢工程車等方式，以接近橋梁構件進行檢測，並由人員自行判斷並針對構件劣化的情形予以評分，以最終評估分數判斷是否需要緊急修復。上述之傳統檢查方式之過程不僅成本高、風險高、耗時耗力且受人為主觀限制，容易造成檢測成果不準確。

因此本研究擬採用深度學習物件偵測網路 YOLOv4 模型訓練出一套橋梁裂縫辨識模型，並以 UAV 拍攝橋梁裂縫影像，後將影像進行裁切再以模型進行逐步辨識，最後採用影像處理邊緣檢測技術 Canny 及形態學對裂縫影像進行輪廓萃取，再於影像上進行裂縫寬度量測。研究的最終裂縫量測精度優於 0.22mm，研究顯示可改善傳統方法的限制，並提升檢測效率。

關鍵詞：深度學習、裂縫辨識、無人飛行載具、橋梁檢測。

¹ 碩士生，國立中興大學土木工程學系

² 教授，國立中興大學土木工程學系

³ 博士候選人，國立中興大學土木工程學系

⁴ 博士生，國立中興大學土木工程學系

* 通訊作者，TEL:(04)22840437#306，Email:overtop216041@gmail.com

Application of UAV Image and Deep Learning to Assist Bridge Cracks Quantitative Analysis

Yung-Chen Chang^{1*}, Szu-Pyng Kao², Feng-Liang Wang³, Jhih-Sian Lin⁴

Abstract

There are about 29,000 bridges in Taiwan. According to our country's highway bridge inspection standards, the completed bridges need to be inspected regularly every two years. The method of inspecting bridges is usually carried out by visual inspection, and the inspection is mainly based on cracks. However, many cracks are located at high altitude or on the river surface, so this method requires professional bridge inspectors to take bridge inspection engineering vehicles, equipped with slings and take small boats to approach the bridge components for inspection, and the personnel will use In the way of subjective judgment, the situation of component deterioration is scored, and the final evaluation score is used to judge whether urgent repair is required. The above-mentioned traditional inspection methods are not only low-cost, high-risk, time-consuming and labor-intensive, but also because many bridges need to be inspected every year. Therefore, if the traditional inspection method is adopted, the bridges inspected will be delayed and the safety of passersby will be endangered.

Therefore, this study intends to use deep learning to establish a set of crack identification models, and use UAV to detect bridge crack in image, then cut the images and identify them step by step with the model. The final fracture measurement accuracy of the study is better than 0.22mm, and the study shows that it can improve the limitations of traditional methods and improve the detection efficiency.

Keyword : Bridge Inspection, Crack Identification, Deep Learning, Unmanned Aerial Vehicle,

¹ Master Student, Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University.

² Professor, Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University.

³ PhD Candidate, Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University.

⁴ PhD Student, Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University.

*Corresponding Author, TEL:04-22840437#306, Email:overtop216041@gmail.com

一、前言

混凝土作為土木工程中最常見的材料之一，經常被使用於建築物、隧道、橋梁等結構物上。由於受到外在環境如溫度變化、地基變形及收縮等影響，使得混凝土表面出現裂縫。作為土木工程中最常見的缺陷，裂縫會影響結構穩定性等問題，因此裂縫檢測為結構健康檢測中的重要組成部分(Yao *et al.*,2021)。目前的橋梁檢查方式由專業的橋檢員藉由操作輔助載具接近構件，使用合適的測量工具（裂縫尺、顯微鏡等）量測裂縫尺寸，該方式依賴於檢查員的主觀性，因此很容易降低裂縫記錄的客觀性和可靠性(Kim *et al.*,2020)。

無人飛行載具因高機動性及成本低特性，可方便接近不易到達的裂縫構件，而受到許多專家學者的青睞，並擴展了在土木工程的應用上，如評估道路狀況、交通監控、三維建模等。結合無人飛行載具與數值影像處理可克服目視檢查之缺點(Ellenberg *et al.*,2016)。Kim *et al.*,(2017)為了克服橋檢員主觀的進行裂縫辨識及某些構件無法接近的劣勢，採用 UAV 及影像處理技術進行裂縫評估，以克服人工目視檢查的缺點，於載具上搭載非量測型相機、超聲波位移感測器及 WIFI 設備，用以提供裂縫影像之拍攝及拍攝時的距離，以準確評估裂縫寬度，同時可最大限度的減少裂縫長度訊息的損失。林志憲(2022)採用無人飛行載具搭載雷射測距儀，可近距離拍攝清晰裂縫影像並量測攝影距離，並對影像進行一系列之影像處理(預處理、二值化、邊緣檢測)後，量測得裂縫資訊，可供裂縫危害性判斷的客觀依據。

由於目前計算機技術與影像採集設備的提升，許多深度學習的演算法可以識別許多不同背景下的目標物，為混凝土裂縫的自動檢測提供了強而有力的檢測方式。使用卷積神經網路可以從訓練資料中萃取目標特徵，極大的提高混凝土表面缺陷的檢測效率及準確性。而基於卷積神經網路的演算法通常存在著訓練參數過多、網路結構複雜等問題，為了克服這些問題，可以物件偵測演算法進行處理(Yao *et al.*,2021)。

物件偵測演算法可分為一階式(one-stage)及二階式(two-stage)，二階式是採用區域提議(Region Proposal)的技術(如 Faster R-CNN 模型等)，首先生成大量可能包含檢測目標的先驗框，然後以分類器判斷每個先驗框對應的邊界框是否包含待檢測目標及機率或目標類別的信心值，還需要對邊界框進行一些後處理，最後過濾掉信心值低、重疊度高的邊界框，以得到檢測的結果。如此類似預先選定感興趣區的檢測區域再行辨識的方式擁有較高的檢測精度，但速度較慢。一階式架構(如 YOLO、SSD)直接於卷積神經網路生成之特徵圖進行預測框回歸並分類，有效降低模型推論時間，並將候選階段和檢測階段合二為一。一階式的模型推論時間快，精度也隨著演算法的更新而逐步增加(林冠宏,2021)。Cheng *et al.*,(2021)比較 AlexNet、VGGNet13 及 ResNet18 三種網路模型於裂縫辨識上的準確度，研究表明 ResNet18 模型的表現較好，並以此作為 YOLOv3 的特徵萃取器再進行裂縫偵測。黃琢雅(2020)利用 YOLOv3 模型建置一套混凝土劣化即時辨識模型，並以裂縫、裂縫分支及鋼筋外露作為辨識

目標，該模型的準確度可達 80%，並可在裂縫及鋼筋外露的檢測上取得良效。Yu *et al.*,(2021)研究中為實現無人機對橋梁裂縫的即時檢測，採用 YOLOv4-FPM 模型進行裂縫檢測，使用 focal loss 優化損失函數，提高了準確率，克服了複雜背景的挑戰。研究中應用剪枝算法簡化模型網路的簡化，加快檢測速度，並採用多尺度數據集用於擴展 YOLOv4-FPM 的可預測範圍並增強其尺度的穩定性，實驗結果表明，YOLOv4-FPM 的檢測精度可達為 97%。Kun J.*et al.*,(2022)比較 YOLOv4、FasterR-CNN、SSD 模型於混凝土結構裂縫檢測之研究，結果表明 YOLOv4 精度為 75%，Faster R-CNN 精度為 69%、SSD 精度為 63%，證實 YOLOv4 檢測精度優於 Faster R-CNN。Zou *et al.*,(2022) 建立了一種基於物體檢測和識別的損壞程度評估方法，根據構件損壞的類型和程度，開發了一種定量的結構損壞等級評估方法。研究採用 YOLOv4 網路用於檢測多類別損壞（細裂縫、寬裂縫、混凝土剝落、外露鋼筋和彎曲鋼筋），並引入深度可分離卷積，以降低計算成本而不降低精度。最後，將損傷檢測方法和評估方法集成到用戶圖形介面(GUI)中，以方便地震後結構損傷評估，結果顯示準確度可達 83%。

綜整上述相關研究，應用深度學習技術進行裂縫辨識的方法，可分為三個主要的模型應用方式，分別為影像辨識、物件偵測及語意分割，有其各自之優勢與限制。其中，物件偵測的方法，具有辨識物件快速、準確，影像標註簡單而快速之優勢，而在物件偵測模型中又以 YOLOv4 模型擁有較高的辨識能力與速度，考量在橋梁檢測應用上之效益，故本研究採用 YOLOv4 模型進行橋梁裂縫辨識之研究。

隨著計算機的快速發展，許多研究除了以影像辨識進行裂縫特徵的判定外，並以各種影像處理技術萃取裂縫相關訊息，Abdel *et al.*,(2003)考慮並比較四種邊緣檢測算法(快速 Haar 變換、快速傅立葉轉換、Sobel 及 Canny)於裂縫檢測算法的性能，並表示邊緣檢測不僅可替代人工進行視覺檢查，還可解決目視檢測的許多問題。Kim *et al.*,(2018)研究中使用 UAV 拍攝橋梁側面構件影像，並藉由 Metashape 進行點雲建模後輸出正射影像，再以卷積神經網路 R-CNN 進行裂縫影像辨識，續將檢測之裂縫以邊緣檢測 Sobel 運算子進行量化分析。Tian *et al.*,(2019)的研究中比較比例尺法與測距法兩種方式於裂縫量測的精度比較，並使用 Ostu 大津閾值法將裂縫影像二值化，續以 Canny 邊緣檢測萃取裂縫輪廓，成果顯示裂縫量測準確度可達 92%。

本研究的目的是利用深度學習 YOLOv4 建立一套裂縫辨識模型，去辨識光照不均及背景複雜之裂縫影像，續以像素比例尺法結合 Canny 及形態學影像處理技術進行裂縫的量測，藉此彌補傳統橋檢成果的不足。

二、研究方法與流程

研究流程如圖 1 所示。本研究方法分為兩部分，首先進行文獻回顧找尋有關橋梁檢測規範及裂縫量測等資料，接著進行模型的環境建置，再進行裂縫影像的蒐集共 4469 張，並於標註裂縫後，照 8:2 的比例將資料分為訓練集、驗證集，並於調整超參數後開始模型的訓練。第二部分為裂縫量測，首先於實驗裂縫下方貼附七張尖形標籤，並分別布設一平面標記，及架設全測站量測裂縫附近特徵點，並以 UAV 拍攝實驗裂縫影像後，於室內先進行畸變差校正，再將其進行影像二值化，而後分別進行形態學及 Canny 進行邊緣檢測處理，並以計算像素比例的方式，在邊緣檢測影像上量測裂寬度。

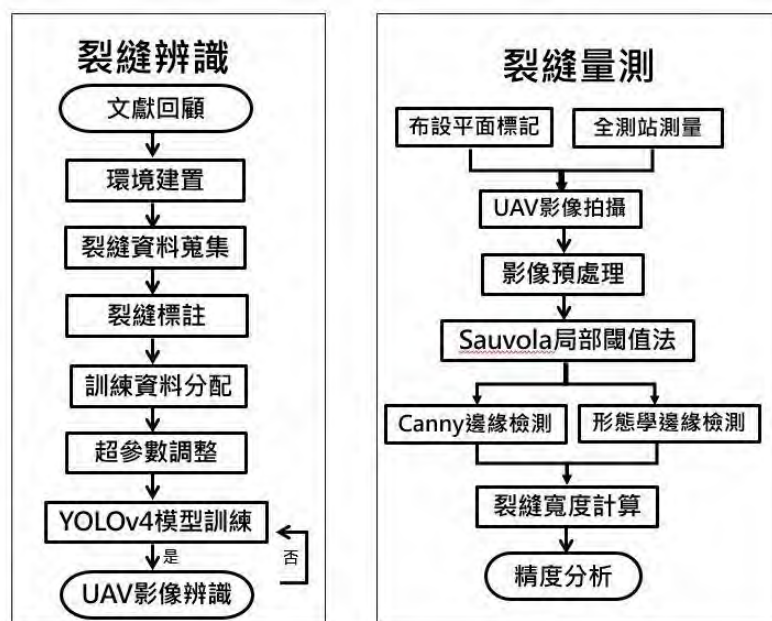


圖 1 研究流程圖

(一) 裂縫辨識模型

本節介紹研究中訓練裂縫模型的流程，包含資料的取得、影像的標註、訓練集的分配及超參數的調整。首先進行訓練時，必須要有適當的資料給予機器進行學習，故研究中除了自行前往野外橋梁拍攝取得裂縫影像外，另加入深度學習開源數據集 SDNET2018 的裂縫影像，並將其中過粗、模糊之影像進行剔除後與自行拍攝影像共同納入訓練資料裡。在整理完所有要訓練的影像後，使用標註軟體進行裂縫標註，並將標註完的檔案作為機器學習裂縫特徵的依據，最後將資料集進行訓練、驗證的配置及參數調整後，一起給予機器進行表徵學習。

1. 裂縫資料收集與標註

本研究以苗栗後龍觀海大橋及西湖溪橋，作為裂縫訓練資料拍攝的實驗區，拍攝 379 張大小為 1108*1478 的裂縫影像，經由影像擴增與裁切後，得到 1463 張 256*256 之影像；並將 SDNET2018 資料集所提供的裂縫影像(包含混凝土橋梁、混凝土人行道及混凝土牆面)，挑選過於模糊及過粗的裂縫後，連同所拍攝之影像進行裂縫之標註。裂縫標註以開源標註軟體 LabelIMG 進行處理，標註情形如圖 2 所示，以方形框框對有裂縫的地方進行框選後，點選左方 YOLO 格式，並儲存成 txt 檔案的格式。



圖 2 裂縫標註圖

2. 訓練資料集分配

本研究資料收集選定台 61 線西湖溪橋、台 61 線後龍觀海大橋及台 13 線頭屋大橋作為裂縫拍攝場所，並以智慧型手機及 UAV 拍攝，智慧型手機拍攝大小 1108*1478 的裂縫影像 379 張，進行影像擴增與裁切後得到 256*256 的影像 1463 張；與加入開源裂縫資料庫 SDNET2018 之裂縫影像 256*256 的裂縫影像 3006 張，作為訓練辨識模型的資料來源。SDNET2018 包含 0.06mm 至 0.25mm 的裂縫，內容有各種障礙物、陰影、表面粗糙及孔洞等影像。於模型訓練時，會要求所有的影像大小須統一，因此將所有影像裁切為 256*256 之大小，並將部分影像進行影像擴增，以增加裂縫樣本的多樣性，於相關研究中證實影像擴增確實可有效提高模型辨識精度。

將所有影像進行標註後，以 8:2 之比例進行拆分，分成訓練集與驗證集，其中訓練集用於建置訓練模型的訓練資料，驗證集用於評估訓練集的訓練成效。

本研究於建立裂縫辨識模型需要的訓練資料有以下幾項：

- 1.train.txt:訓練資料集檔案位置。
- 2.valid.txt:驗證資料集檔案位置。
- 3.obj.name:訓練的物件名稱。
- 4.obj.data: train.txt、valid.txt、obj.name 及權重存放位置。

5.訓練資料集:訓練資料集影像資料。

6.驗證資料集:驗證資料集影像資料。

表 1 訓練資料分配表

	訓練集	驗證集
分配數量張數	3575 張	894 張

3.超參數調整

對模型中的學習率、錨點、批次大小及學習策略進行調整。其中學習率通常預設為 0.01，值越大則更新越多，越容易發散；值越小雖然不會發散，但是會增長訓練時間；YOLO 錨點依據給予的訓練資料，使用 K-means 演算法進行聚類分析而得出 9 組先驗方框以進行預測；批次大小表示的是每次訓練時會丟多少筆資料給機器做訓練，批次越大則訓練時間越短；學習策略採用 steps 進行，設定一定的訓練次數後將自動下降學習率，使模型隨著訓練次數的增長越來越優化。

4.YOLOv4模型訓練

YOLOv4 的辨識流程如圖 3 所示。首先輸入圖片，該圖片為因應 YOLO 處理的格式，必須為 32 的倍數，一般來講預設會是 416*416，但有許多學者使用 YOLO 模型進行裂縫檢測的訓練數據往往為 227*227(Cheng *et al.*,2021)或是 256*256(Gang *et al.*,2021)，且輸入的影像為 RGB 之型式。於輸入影像後會先經過第一個物件，該物件稱為 CBM(CBM 的意思是取卷積層(Convolution Layer)、歸一化(Batch Normalization)及激活函數 Mish 的開頭第一個大寫英文字母)，於 CBM 後會連結數個 CSP Network(以 CSPX 表示包含幾層神經網路)，依序是 CSP1、CSP2、CSP8、CSP8、CSP4，並完成整個特徵資訊萃取的部分。萃取後會經由三層卷積層輸出到下一部分 Neck。Neck 由 SPP 及 PANet 組成，先將萃取的特徵進行 SPP 處理，SPP 採用大小為 13、9 及 5 的池化核進行特徵濃縮後，輸出多尺度的特徵圖，並將該特徵圖進行銜接再進行三次卷積後即完成 SPP 的部分。SPP 後將特徵圖進行複製，並分為兩部分，一部分是先進行上採樣，與 CSPDarknet53 的第二個 CSP8 的輸出進行特徵融合後，於經過五層的卷積在進行上採樣，上採樣與 backbone 的第一個 CSP8 的輸出進行融合，並經由五層卷積後複製特徵並輸出兩份特徵圖，一份即輸出的 Yolo Head，另一部分與第二個 CSP8 經由銜接並複製後的特徵進行下採樣，同時下採樣後再複製兩個特徵，一當作輸出的 YOLO head，另一個與一開始經由 SPP 後複製的另一部分特徵進行銜接，再經由五次卷積後，輸出成為最後一層 YOLO Head，三個 YOLO Head 的大小為 32、16、8，並以 Head 層進行物件的密集預測。

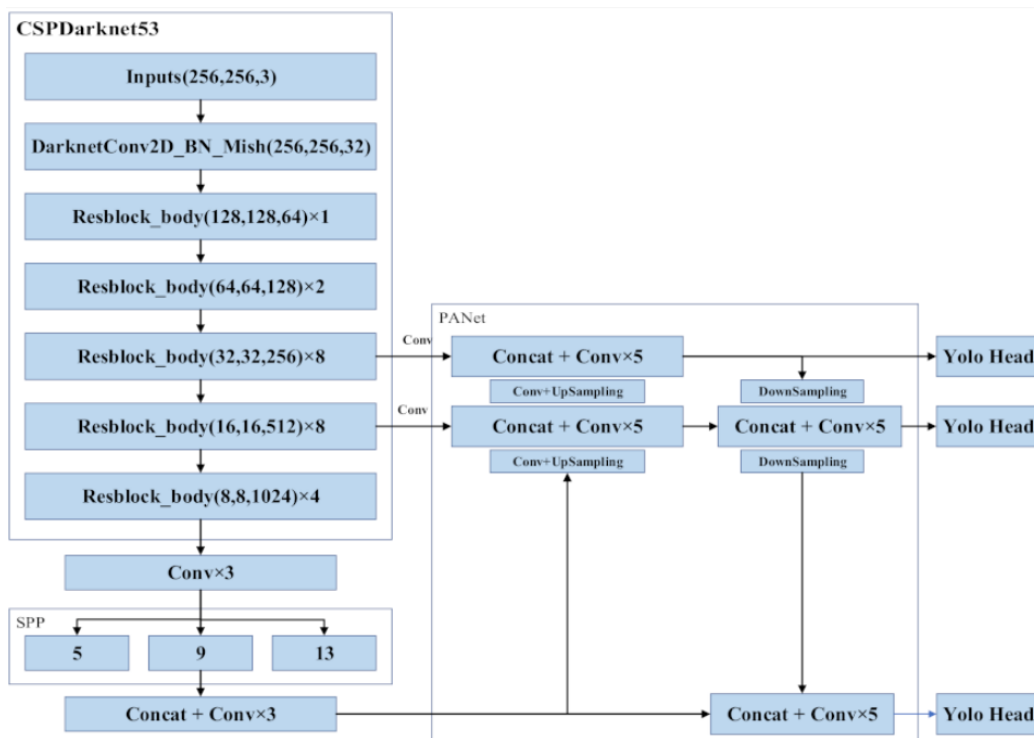


圖 3 YOLOv4 模型架構圖 (Gang et al.,2021)

(二) 裂縫寬度量測

為進行裂縫量測之實驗，首先設置室內量測場，用以模擬野外裂縫的情境，並於室內以 UAV 拍攝不同角度的黑白棋格盤影像，用於校正相機畸變差。接著為了要進行裂縫的量測，會將影像以閾值進行分割成前景與背景像素，續以邊緣檢測之方式在取得裂縫的形狀後，以計算像素比例尺的方式進行裂縫寬度量測。

1. 室內量測場設置

室內實驗場使用奇異筆在白紙上繪製一縱向連續細線，模擬裂縫在牆壁上之情形(見圖 4)，另於裂縫周遭佈設四點黑白相間的率定標作為模擬野外牆壁特徵點之情形，並架設全站儀量測率定標坐標，再反算歐式距離以替代平面標記的實際尺寸，且於裂縫下方貼附平面標記，為實施比例尺法裂縫量測所需。

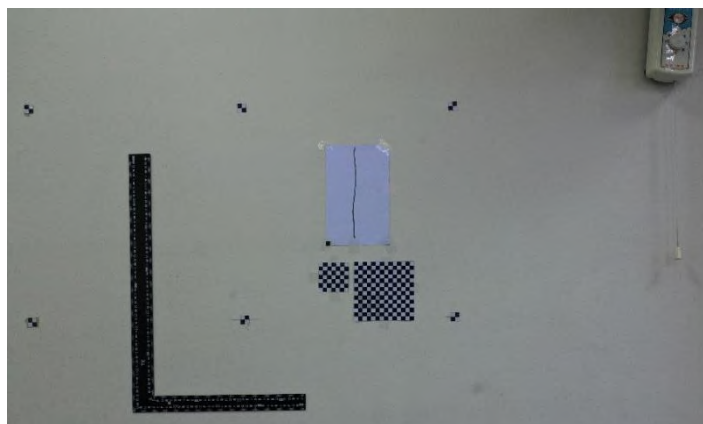


圖 4 室內實驗場配置圖

2. 影像預處理

由於UAV搭載的相機是非量測型，相機本身含有系統誤差(如像主點偏移、透鏡畸變差)，該系統誤差會造成裂縫量測的誤差。為改正此項誤差一般都會使用相機率定方式，求得內方位參數及畸變差參數，對影像作校正。影像校正方式是透過對黑白網格以各種不同角度拍攝影像，並將所拍攝之影像透過軟體計算得出改正參數(如圖5)。

本研究裂縫影像獲取方式是使用無人機搭載非量測型相機，採用視覺定位方式，距離牆面約1m處，並穩定懸停，正向橋梁平面拍攝。而非量測型相機並不如專業航空相機般，擁有穩定的內方位架構與微小的透鏡畸變，因此，必須進行相機率定，以計算相機之內方位及透鏡畸變差等參數，進而校正拍攝影像之幾何變形；後續裂縫量測部分，係採用影像比例尺法進行影像真實比例換算並量測裂縫尺寸，解算過程無須計算複雜之相機外方位參數，提供一個較簡易之裂縫尺寸量測方法。

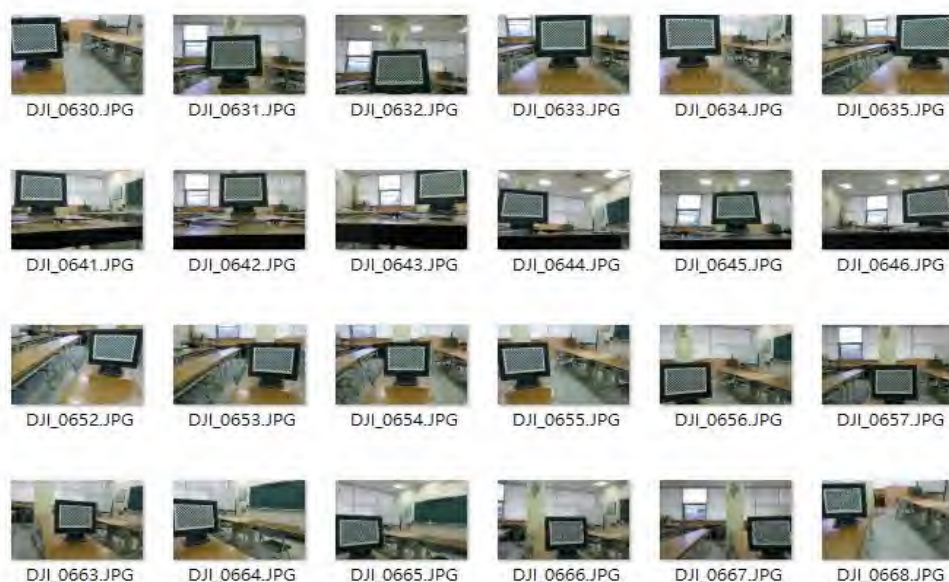


圖 5 相機率定所拍攝之影像圖

3. Sauvola局部閾值法

影像二值化為一種影像分割之方式，可依據給定的閾值不同，而將影像分為想要的前景像素與不想要的背景像素，即像素只會被分為黑色0與白色1，有利於輪廓邊緣的檢測(Kim *et al.*,2017)、(Tian *et al.*,2019)、(林志憲，2020)。

而依據不同的閾值演算法所計算出的閾值也不同，可分為單一閾值的全閾值法及隨像素而改變閾值計算方式的局部閾值法。全閾值法以Ostu大津閾值法最為代表，而局部閾值法則有Bersen、Niblack及Sauvola法。局部閾值法亦即一種區域性的自適應閾值，是依據像素的鄰近區域數值之分布情形去確認像素位置上的二值化閾值，所以閾值會隨著像素的不同而自行改變閾值的計算。Sauvola可克服光線不均之問題，適合用於橋下光線昏暗之環境。

本研究所使用的Sauvola局部閾值法公式如下式(1)。

$$T = m[1 + k((s/R) - 1)] \quad (1)$$

式中，

T:計算得到的閾值

m:自訂尺寸窗口內像素的灰階強度平均值

s:自訂尺寸窗口內的灰階強度標準差

R:標準差的動態範圍

k:靈敏度參數

4. 邊緣檢測及寬度計算

本研究之裂縫量測是以比例尺法進行像素的計算，因此要貼標在裂縫上(見圖 6)，於影像進行二值化後，續以 Canny 及形態學邊緣檢測去萃取裂縫輪廓，並採 Kim *et al.*,(2017)研究中的做法，在垂直裂縫方向上去量測 pixel 數(見圖 7)。

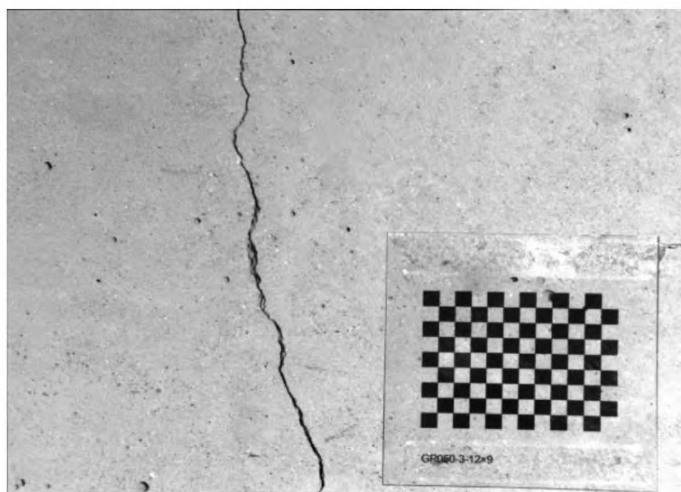


圖 6 比例尺法量測示意圖(Tian *et al.*,2019)

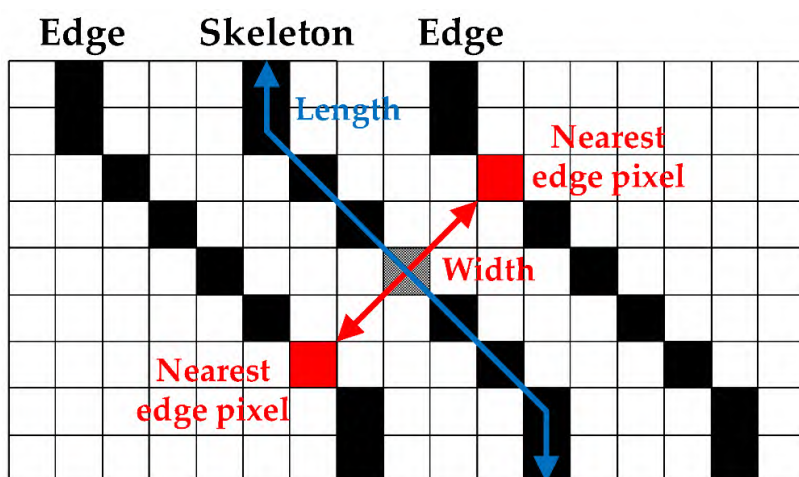


圖 7 裂縫量測示意圖(Kim *et al.*,2017)

寬度的計算方式如下式所述：

$$W_r = W_{pc} * (l/W_{ps}) \quad (2)$$

式中，

W_r 為量測裂縫寬度

W_{pc} 為裂縫在影像上的 pixel 值

W_{ps} 為平面標記在影像上的 pixel 值

l 為平面標記實際尺寸

三、研究成果分析與討論

本研究裂縫量測之方法是採用比例尺法的方式，並搭配一平面標記做為計算的依據，量測方式以裂縫像素寬度、平面標記的影像像素及實際尺寸作為寬度的計算。量測過程中於裂縫下方除貼附平面標記外另貼附幾個尖形標籤，並以標籤銳利處作為裂縫影像及真值量測的基準。

以比例尺法進行裂縫量測要貼附以知尺寸的標記在裂縫上，本研究實驗區的裂縫屬於人力可及的範圍，但實際上許多有裂縫的構件是相當難以接近，如位於高空或河面上，此情形不易貼附標記。因此本研究擬採用全測站，於牆面選定若干個特徵點並以光線法進行量測，續以特徵點空間坐標反算歐式距離作為替代平面標記之尺寸，特徵點選定條件為易於影像上找尋，且二值化後不會消失。最後比較平面標記及全測站的裂縫計算方式之可行性，並以邊緣檢測法進行寬度的量測。

(一) 實驗橋梁選定

圖8為後龍大橋P2橋墩裂縫，並於下方貼附尖形標籤及平面標記。裂縫量測以左二紫色標籤至右二深藍色標籤為主。並於距離P2橋墩適當處地面釘定一控制點，以該點作為測站，以一已知點作為後視，採光線法測算牆面特徵點坐標。

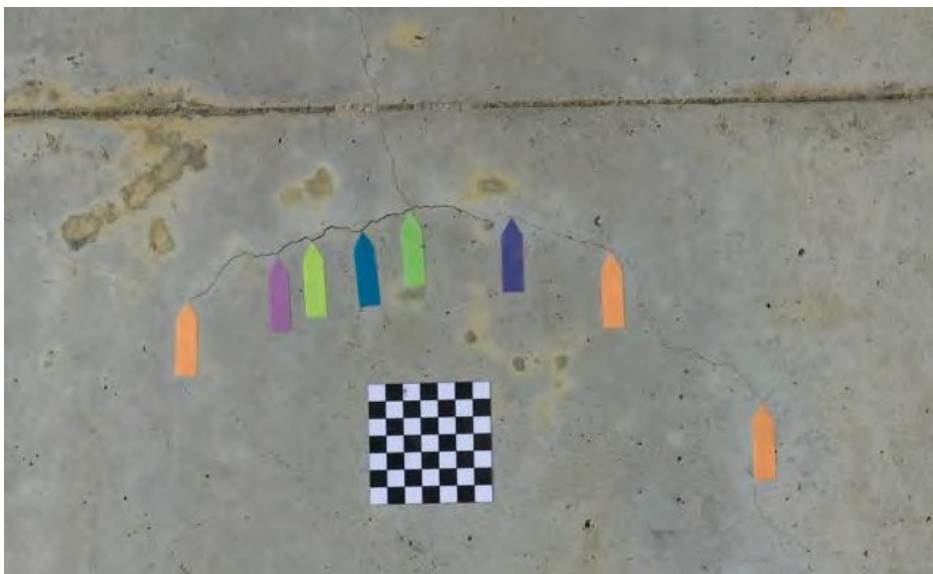


圖 8 後龍大橋 P2 橋墩裂縫及平面標記貼附情形圖

(二) 裂縫影像拍攝

實驗於橋墩牆面貼附平面標記後，以專業無人機飛手操縱 UAV 於距離牆面約 1m 處拍攝牆面裂縫，如圖 9 所示。



圖 9 UAV 拍攝牆面圖

(三) 辨識模型訓練成果

研究所建置的裂縫辨識模型準確度 92%，訓練情形如圖 10 所示；本研究所調整的訓練參數如表 2 所示，其中批次大小為 batch 除以 subdivisions，學習率調整為 0.001，錨點以 k-means 聚類出九組參數，filters 因為只有裂縫一個類別所以為 18，steps 是 YOLO 進行訓練時的一種模型優化策略，該策略分別於總訓練次數的 80%、90% 的值進行學習率值得衰減學習，會藉由降低學習率的設定值進行模型的訓練。

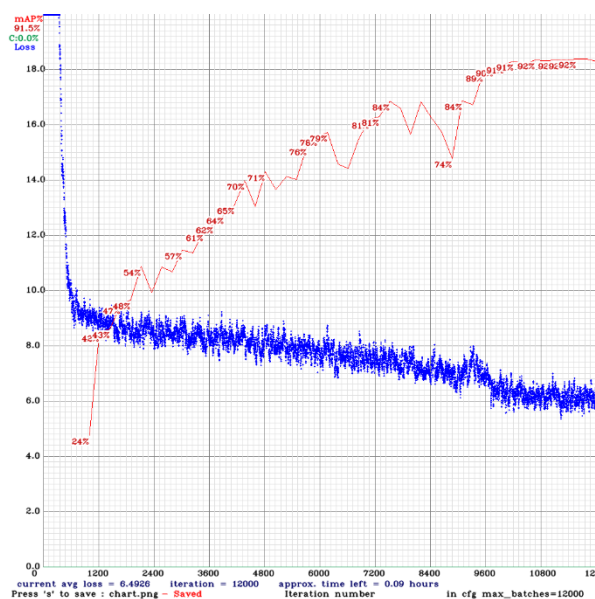


圖 10 裂縫辨識模型訓練成果圖

表 2 調整參數說明

batch	64
subdivisions	16
learning_rare	0.001
Anchors	46, 39, 44, 54, 63, 46, 49, 65, 58, 87, 74, 99, 127, 69, 76, 131, 95, 132
filters	18
steps	9600、10800

(四) 裂縫影像辨識成果

為克服光照及背景等影像所造成裂縫不易判釋之情形，圖 11 展示不同方向裂縫影像辨識成果，經本研究所訓練出的模型可以辨識到縱向、橫向、斜向及背景昏暗情形下的裂縫。

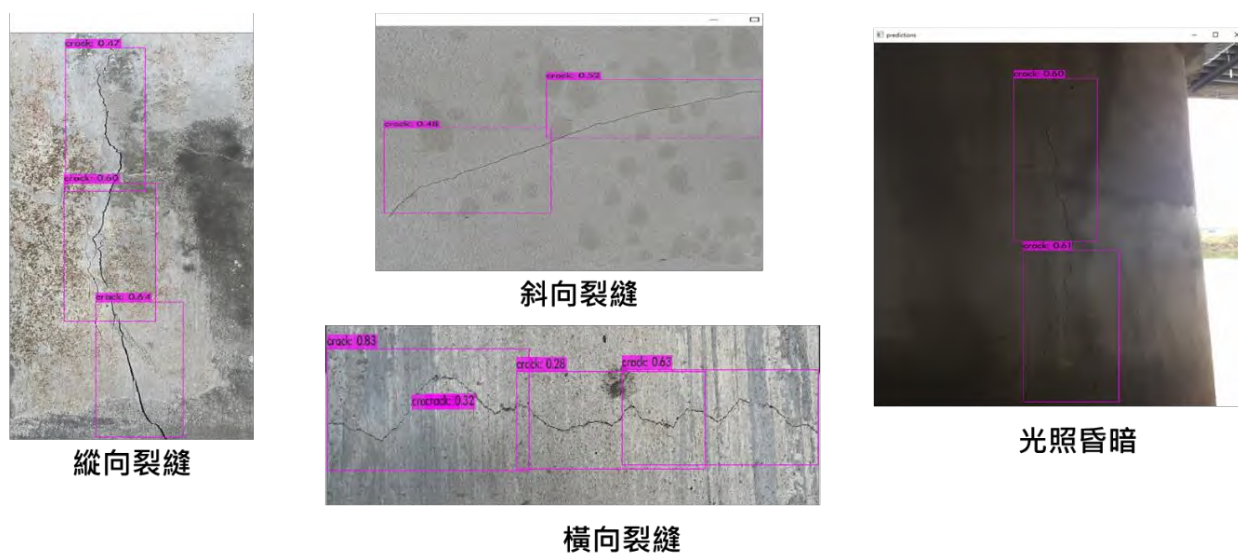


圖 11 不同光照明度及背景複雜裂縫辨識圖

研究中於後龍大橋 P2 橋墩所拍攝之裂縫影像經由影像裁切後，由模型對影像逐步進行辨識，成果如圖 12 所示。

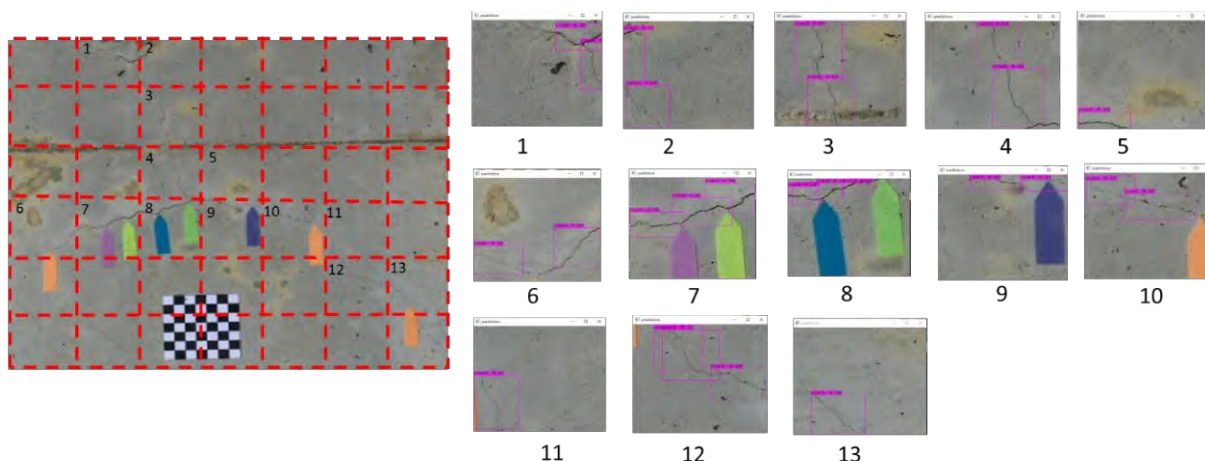


圖 12 P2 橋墩影像辨識成果圖

(五) 影像二值化

將 P2 橋墩影像進行二值化，將影像分為所需要的前景像素及不需要的背景像素，即影像會藉由給定的閾值切割為 0 與 1 兩種結果，二值化的閾值給定將會影響產製的成果，因此可以藉由不段調整參數以決定最佳的二值化成果。圖 13 展示本研究所拍攝之裂縫影像經二質化處理後的成果圖。

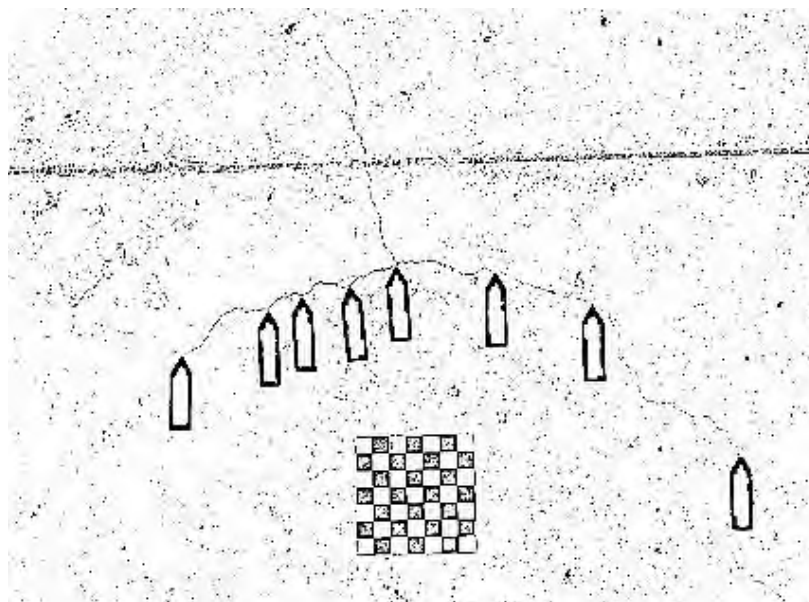


圖 13 P2 橋墩裂縫影像二值化成果圖

(六) 影像邊緣檢測

影像經由二值化後，續以 Canny 及形態學進行裂縫影像之邊緣檢測處理，以提取裂縫形狀。圖 14 中左方為 Canny 成果，右方為形態學成果。

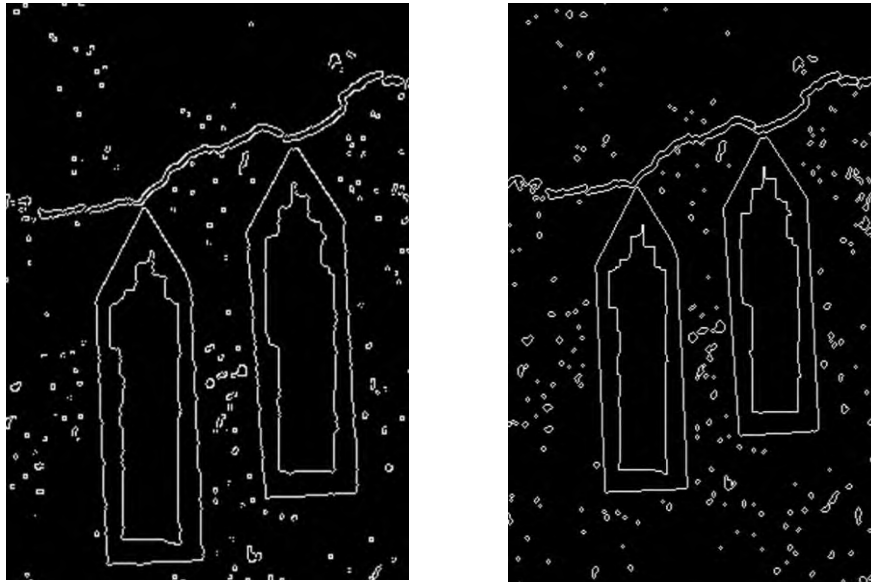


圖 14 邊緣檢測示意圖

(七) 像素比例尺法及寬度量測

為驗證平面標記及全測站法的使用可行性，以下比較兩種方式於比例尺上的計算數值情形。

表 3 為在經由形態學輪廓萃取後的影像上採平面標記比例尺法所量測之寬度，表 4 為在經由形態學輪廓萃取後的影像上採全測站比例尺法的成果，而表 5 則為比較表 3 及表 4 之間的成果，以進行分析。

$$\text{平面標記} = \frac{\text{平面標記實長}}{\text{平面標記影像 pixel 數}} = 0.21645 \text{ mm/pixel}$$

$$\text{全測站牆面特徵點} = \frac{\text{特徵點坐標反算空間實際長度}}{\text{特徵點影像 pixel 數}} = 0.22087 \text{ mm/pixel}$$

表 3 平面標記形態學量測成果表

裂縫編號	一	二	三	四	五
裂縫 pixel 數	2	3	3	3	1
比例尺	0.21645mm	0.21645mm	0.21645mm	0.21645mm	0.21645mm
裂縫寬度	0.43290mm	0.64935mm	0.64935mm	0.64935mm	0.21645mm

表 4 全測站形態學量測成果表

裂縫編號	一	二	三	四	五
裂縫 pixel 數	2	3	3	3	1
比例尺	0.22087mm	0.22087mm	0.22087mm	0.22087mm	0.22087mm
裂縫寬度	0.44175mm	0.66263mm	0.66263mm	0.66263mm	0.22087mm

表 5 綜合表 3、表 4 兩種比例尺法於形態學差異情形比較表

單位:mm	平面標記(形態學)	全測站(形態學)	較差絕對值
裂縫一	0.43290	0.44175	0.009
裂縫二	0.64935	0.66263	0.013
裂縫三	0.64935	0.66263	0.013
裂縫四	0.64935	0.66263	0.013
裂縫五	0.21645	0.22087	0.004

由表 5 可知，在形態學邊緣檢測上不論是貼附平面標記或是以全測站量測特徵點之方式，所計算出的裂縫寬度量測值相互較差最小為 **0.004mm**，最大值為 **0.013mm**，互相差異甚小，故表示全測站測算比例尺的方式可以用於無法貼附平面標記之情形上。

表 6 為在經由 Canny 邊緣檢測影像上採平面標記比例尺法的量測成果表，表 7 為在經由 Canny 邊緣檢測影像上採全測站比例尺法的量測成果表，而表 8 則為比較表 6 及表 7 之間的成果，以進行分析。

表 6 Canny 平面標記量測成果表

裂縫編號	一	二	三	四	五
裂縫 pixel 數	2	3	2	3	1
比例尺	0.21645mm	0.21645 mm	0.21645 mm	0.21645 mm	0.21645 mm
裂縫寬度	0.43290mm	0.64935 mm	0.43290 mm	0.64935 mm	0.21645 mm

表 7 Canny 全測站量測成果表

裂縫編號	一	二	三	四	五
裂縫 pixel 數	2	3	2	3	1
比例尺	0.22087 mm	0.22087 mm	0.22087 mm	0.22087 mm	0.22087 mm
裂縫寬度	0.44175 mm	0.66263 mm	0.44175 mm	0.66263 mm	0.22087 mm

表 8 綜合表 6、表 7 兩種比例尺法於 Canny 差異情形比較表

單位:mm	平面標記(Canny)	全測站(Canny)	較差絕對值
裂縫一	0.43290	0.44175	0.009
裂縫二	0.64935	0.66263	0.013
裂縫三	0.43290	0.44175	0.009
裂縫四	0.64935	0.66263	0.013
裂縫五	0.21645	0.22087	0.004

由表 9 可以了解到，Canny 量測的較差也同樣很小，都是 0.0013，故證實了全測站量測比例尺法的可行性。

由表 9 及表 11 顯示的數據來看，形態學的裂縫量測值皆很靠近真實量測值；但表 10 及表 12 中 Canny 邊緣檢測成果的第三個裂縫之誤差絕對值高達 0.26、0.27mm，原因可能是 Canny 在閾值上的設定所造成的誤差，所以跟形態學差異 1 個裂縫的量測，而本研究距離牆面 1m 處所計算出來的 1 個 pixel 的大小為 0.22mm，然形態學因為只有將前景像素扣去其侵蝕的部分，以最簡單的方式萃取輪廓，故不受到閾值之影響，量測精度較佳。

表 9 形態學平面標記量測成果表

裂縫編號	一	二	三	四	五
裂縫 pixel 數	2	3	3	3	1
比例尺	0.22mm	0.22mm	0.22mm	0.22mm	0.22mm
裂縫寬度	0.43mm	0.65mm	0.65mm	0.65mm	0.22mm
真值	0.35mm	0.65mm	0.70mm	0.65mm	0.35mm
誤差絕對值	0.08mm	0.00mm	0.05mm	0.00mm	0.13mm

表 10 Canny 平面標記量測成果表

裂縫編號	一	二	三	四	五
裂縫 pixel 數	2	3	2	3	1
比例尺	0.22mm	0.22mm	0.22mm	0.22mm	0.22mm
裂縫寬度	0.43mm	0.65mm	0.43mm	0.65mm	0.22mm
真值	0.35mm	0.65mm	0.70mm	0.65mm	0.35mm
誤差絕對值	0.08mm	0.00mm	0.27mm	0.00mm	0.13mm

表 11 形態學全測站量測成果表

裂縫編號	一	二	三	四	五
裂縫 pixel 數	2	3	3	3	1
比例尺	0.22mm	0.22mm	0.22mm	0.22mm	0.22mm
裂縫寬度	0.44mm	0.66mm	0.66mm	0.66mm	0.22mm
真值	0.35mm	0.65mm	0.70mm	0.65mm	0.35mm
誤差絕對值	0.09mm	0.01mm	0.04mm	0.01mm	0.13mm

表 12 Canny 全測站量測成果表

裂縫編號	一	二	三	四	五
裂縫 pixel 數	2	3	2	3	1
比例尺	0.22mm	0.22mm	0.22mm	0.22mm	0.22mm
裂縫寬度	0.44mm	0.66mm	0.44mm	0.66mm	0.22mm
真值	0.35mm	0.65mm	0.70mm	0.65mm	0.35mm
誤差絕對值	0.09mm	0.01mm	0.26mm	0.01mm	0.13mm

(八) UAV結合深度學習演算模組之操作流程

為增加本研究實用性，整理操作流程說明如後：

1. 無人機相機率定
2. 外業橋梁影像拍攝及牆面特徵點地面測量
3. 拍攝影像機變差校正
4. 深度學習裂縫影像偵測
5. 影像二值化
6. 邊緣檢測輪廓萃取
7. 像素比例尺計算

考量後續不同應用目的之需求，使量測精度可適度提升，未來研究如對 1 公尺拍攝距離有安全疑慮，可以使用更高解析度及長焦距的相機，去執行拍攝任務，以避免過於接近牆面而造成碰撞之危害及提升拍攝影像的品質。

四、結 論

- (一) 本研究以深度學習建立橋梁裂縫辨識模型，並以 UAV 拍攝裂縫影像進行測試，測試成果顯示可於不同光照條件及背景不同下辨識到裂縫，故本研究所訓練出模型可協助橋檢員有效進行裂縫特徵辨識。
- (二) 本研究裂縫量測精度優於 0.22mm，可提供橋梁檢測所需之客觀量化數據。
- (三) Canny 演算法受到給定閾值的不同而有不同的裂縫邊緣成果，此會造成兩種情形，即裂縫寬度量測高估或低估的情形，致使量測寬度過大或過小；但經由形態學所萃取之裂縫輪廓則不受到閾值影響，故形態學的量測精度較佳。

(四) 經本研究實際比較兩種比例尺法之量測結果可知平面標記與全測站所量測的最大差異僅有 0.013mm，因差異不大，所以可以證實於不易貼標得情況下可用全測站儀器替代平面標記去量測裂縫。

五、參考文獻

- 林志憲 (2020)。以無人飛行載具進行自動化高架混凝土橋梁裂縫量測。碩士論文，國立中興大學土木工程研究所。
- 林冠宏 (2021)。使用少量標記資料以半監督式學習建立砂輪表面異常檢測模型。國立成功大學工業與資訊管理學系碩士在職專班碩士論文，台南市。
- Abdel-Qader, I.; Abudayyeh, O.; Kelly, M.E. Analysis of edge-detection techniques for crack identification in bridges. *J. Comput. Civ. Eng.* 2003, 17, 255–263.
- Ellenberg, A., Kontsos, A., Moon, F., and Bartoli, I. (2016) Bridge related damage quantification using unmanned aerial vehicle imagery. *Struct. Control Health Monit.*, 23: 1168– 1179.
- Ji, K., Zhang, Z., Yu, J., & Dang, J. (2022). A Deep Learning-Based Method for Pixel-Level Crack Detection on Concrete Bridges. *IET Image Processing*, 16(10), 2609–2622.
- Kim H, Lee J, Ahn E, Cho S, Shin M, Sim S-H. Concrete Crack Identification Using a UAV Incorporating Hybrid Image Processing. *Sensors*. 2017; 17(9):2052.
- Kim JJ, Kim A-R, Lee S-W. Artificial Neural Network-Based Automated Crack Detection and Analysis for the Inspection of Concrete Structures. *Applied Sciences*. 2020; 10(22):8105.
- Kun, J., Zhenhai, Z., Jiale, Y., Jianwu, D.: A deep learning-based method for pixel-level crack detection on concrete bridges. *IET Image Process.* 16, 2609– 2622 (2022).
- Sauvola, J., & Pietika, M. (2000). Adaptive document image binarization. 33, p.225–236.
- Tian F, Zhao Y, Che X, Zhao Y, Xin D. Concrete Crack Identification and Image Mosaic Based on Image Processing. *Applied Sciences*. 2019; 9(22):4826.
- Yang C, Chen J, Li Z, Huang Y. Structural Crack Detection and Recognition Based on Deep Learning. *Applied Sciences*. 2021; 11(6):2868.
- Yao G, Sun Y, Wong M, Lv X. A Real-Time Detection Method for Concrete Surface Cracks Based on Improved YOLOv4. *Symmetry*. 2021; 13(9):1716.
- Yu, Z., Shen, Y., & Shen, chen kai. (2021). A Real-Time Detection Approach for Bridge Cracks Based on YOLOv4-FPM. *Automation in Construction*, 122, 103514.
- Zou, D., Zhang, M., Bai, Z., Liu, T., Zhou, A., Wang, X., Cui, W., & Zhang, S. Multicategory damage detection and safety assessment of post-earthquake reinforced concrete structures using deep learning. *Comput Aided Civ Inf*, 2022; 37, 1188– 1204

各國導航衛星系統測量手冊探討

史天元^{1*} 楊名² 王慧蓉³ 陳鶴欽⁴ 楊枝安⁵

論文收件日期：111.10.12

論文修改日期：111.11.08

論文接受日期：111.11.17

摘要

美國全球定位系統(GPS, Global Positioning System)於 1978 年首次發射、1993 年成功進入全星系的完整運作，為測量技術，尤其是控制測量，帶來整體性的改變。北美大地基準(NAD83, North American Datum, 1983)甚至建立於全星系完成之前。「1997 臺灣大地基準」TWD97，亦為應用 GPS 所完成。由此，以全球衛星導航系統(GNSS, Global Navigation Satellite Systems)方法進行控制測量，成為常態作業。由於測量工作之重要性，傳統以來均針對其作業方式建置規範與標準，以確認測量成果產出之品質。在以 GPS 測量建置 TWD97 之前，內政部便於民國 83 年擬定「內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範」。

二十八年來，GNSS 已有許多逐步但是顯著的進展，不僅僅是衛星星群之增加，訊號與所使用之無線電波頻段亦有增加與調整、精進。本研究蒐集、回顧國際的相關規範、手冊，並嘗試綜整，包含日本國土地交通省國土地理院發布之更新版「多 GNSS 測量手冊（草案）」(國土地理院技術資料 G1-N0.18)，該文件除手冊本體外，並有手冊之解說；中國大陸之 GB/T 18314-2009「全球定位系統 GPS 測量規範」與 GB/T 39616-2020「衛星導航系統基準站網絡實時動態測量(RTK)規範」；澳洲「Guideline for Control Survey by GNSS, Special Publication 1, version 2.2, 2020」；紐西蘭「Guideline for Simplified Geodetic Control Survey, v2.1, 2012」；英國「Guidelines for the Use of GNSS in Land Surveying and Mapping, 2nd edition, 2010」。

經由本研究之探討總結，以控制測量而言，GNSS 測量與數據處理的方法，包含靜態法、快速靜態法、動態法、RTK、網路型 RTK，在 RTK 部分涵括以後處理方式進行之作業。而精密單點定位，尤其是以後處理方式進行者，或許亦可以納入

¹ 教授，土木工程學系、系統工程與科技學士學位學程，國立陽明交通大學與國防大學理工學院合聘教授。

² 教授，測量及空間資訊學系，國立成功大學。

³ 工程師，防災及水環境中心研究，國立陽明交通大學。

⁴ 科長，基本測量及企劃科，內政部國土測繪中心。

⁵ 技正，基本測量及企劃科，內政部國土測繪中心。

* 通訊作者，TEL:(03)5712121#54940，E-mail:tyshih@nycu.edu.tw

考量。觀測量之多星系則納入 GPS、GLONASS、Galileo、以及 Beidou，QZSS 是否納入，亦屬於可探討之議題。作業規定的項目中，宜有可以接受之使用接收儀等級、最少觀測時段長度、最少觀測之衛星數目。幾何圖形強度相關指標是否需要納入，則為可以再進一步思考的項目。

關鍵詞：RTK、快速靜態測量、動態測量、網路型 RTK、靜態測量

On the National GNSS Surveying Guideline

Tian-Yuan Shih¹, Ming Yang², Hui-Jung Wang³, He-Chin Chen⁴,
Chih-Ann Yang⁵

Abstract

The first launch of GPS (Global Positioning System) by the United States in 1978, and the subsequent full constellation operation in 1993, brought a revolutionary change of surveying method, particularly for the control survey. NAD83 (North American Datum, 1983) was established even before the full constellation operation of GPS. The 1997 Taiwan Datum, TWD97 was established with GPS as well. And then, the use of GNSS (Global Navigation Satellite Systems) for control survey became the standard operation and routinely exercised. Due to the importance of surveying, traditional standards are established for the operation for the quality control. Prior to the surveying work for establishing TWD97, Ministry of Interior published a standard, “the Standard for the Establishment of the First and Second Order Satellite Control Points”.

In the past 28 years, GNSS have experienced incremental, but significant, progresses. Not just the increase of constellations, but also the signal and frequency bands used. This study collected and analyzed GNSS related standard and guidelines from other national governments. These include, “the Multi-Constellation GNSS Survey Guideline (Draft)” and its companion detailed description book, from GSI, Japan (GSI G1-N0.18); GB/T 18314-2009 “GPS Surveying Standard”, and GB/T 39616-2020 “GNSS Network RTK Standard” from mainland China; Australian “Guideline for Control Survey by GNSS, Special Publication 1, version 2.2, 2020”; New Zealand: “Guideline for Simplified Geodetic Control Survey, v2.1, 2012”, United Kingdom: “Guidelines for the Use of GNSS in Land Surveying and Mapping, 2nd edition, 2010”.

Concluding from this study, for the control surveying, the GNSS method could be utilized include static surveying, rapid static surveying, kinematic surveying, RTK, Network RTK. For RTK and Network RTK, both real time processing and post processing are feasible. For Precise

¹ Professor, Department of Civil Engineering, Undergraduate Degree Program of Systems Engineering and Technology, National Yang Ming Chiao Tung University, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University.

² Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University.

³ Engineer, Disaster Prevention & Water Environment Research Center, National Yang Ming Chiao Tung University.

⁴ Section Chief, Department of Basic Survey and Planning Section, National Land Surveying and Mapping Center.

⁵ Technical Specialist, Department of Basic Survey and Planning Section, National Land Surveying and Mapping.

*Corresponding Author, TEL:(03)5712121#54940, E-mail: tyshih@nycu.edu.tw

Point Positioning techniques, particularly the post-processing methods, may be included as well. Regarding to the observations, signals from GPS, GLONASS, Galileo, and Beidou shall be included. Whether including QZSS may be further investigated. For the operation part, the quality level of GNSS receivers, the minimum observation period, the minimum number of satellite observed, shall be regulated. Whether the geometric configuration related indices, such as DOP, should be specified in the standard, could also be further investigated.

Keywords: Kinematic survey, Network RTK, RTK Rapid, Static survey

一、前言

「作業規範」是測量工作中確認成果品質的方法，其名稱或為規範(Standard)、或為手冊(Guideline, 指南)；其內容則包含作業所需滿足之前置條件、作業進行之方法、成果呈現方式、品質檢核與管理等。以民國 83 年擬定之「內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範」(內政部, 1994)為例，其章節包含坐標系統、衛星追蹤站、施測成果精度、觀測作業規劃、資料處理與分析、衛星控制點之勘查與埋標基準、GPS 衛星控制測量外業須知，並包含兩個附錄，分別為「內政部衛星追蹤站穩定度說明」、「附表及附圖」。

「觀測作業規劃」中的項目，包含有參考基準、觀測儀器、觀測時間長短、觀測取樣間隔、點位遮蔽仰角、衛星分布情形、網形設計。這七項，便是前所稱之「作業所需滿足之前置條件」。在這些項目中，「點位遮蔽仰角」是對選點時環境之考量，因為 GNSS 測量要求對空通視。其考量原因主要是基於定位圖形的強度，由於 GNSS 定位原理是交弧法(Arc Intersection)，若是觀測之衛星均為高仰角角度，則垂直方向之定位幾何不確定度高。同時，「點位遮蔽仰角」高的區域，由於對空視域狹窄，能夠觀測到的衛星數亦少。除「點位遮蔽仰角」之外，「衛星分布情形」也是基於定位圖形強度的考量，常用的衡量指標為「精度衰減因子」(DOP, Dilution of Precision)系列，如 HDOP (Horizontal Dilution of Precision)、VDOP (Vertical Dilution of Precision)、PDOP (Position (3D) Dilution of Precision)、TDOP (Time Dilution of Precision)、GDOP (Geometric Dilution of Precision)。內政部(1994)採用 PDOP 規範，要求其值需小於 10。

關於「作業進行之方法」，由於當時代科技之限制，內政部(1994)均以靜態測量為考量。而今，選項業已增多。本研究以內政部(1994)為參考基準，探討數個國際規範，統整分析如後。

二、國際規範

本研究採用網際查找之方式，收集國際相關規範、指南與手冊，目前所搜尋到之規範，包含日本國土地理院(2020, 2020a)、中國國家標準化管理委員會(2009, 2020)、澳洲 ICSM(2014, 2020)、Queensland government (2021)、紐西蘭 LINZ (2012)、LZIS (2017)、英國 RICS (2010)、TSA (2008, 2012, 2015)、美國 USGS(2012)、VDOT(2021)、加拿大 Ontario government (2004)、Alberta Surveys & Technical Services Branch (2010)、Nature Resources Canada (2015)、韓國 Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017)、瑞士 KKVA (2010)。各文件之概要描述如表 1。本文謹就前五個國家之規範，分析探討。

表 1 蒐集之國際規範

國家	文件	簡要內容
日本	國土地理院 (2020)	完整性之文件，以控制測量為對象。重點項目在於多星系之導航衛星系統環境中，針對控制測量作業之建議與要求。
日本	國土地理院 (2020a)	前項文件之附冊。
中國	中國國家標準化管理委員會 (2009)	針對使用靜態測量方式。
中國	中國國家標準化管理委員會 (2020)	針對使用基準站網絡實時(網路即時)動態測量(Network RTK，以下簡稱 NRTK)方式。
澳洲	ICSM (2014)	規範連續運行基準站(CORS, Continuously Operating Reference Station)架構、設計、設置等。
澳洲	ICSM (2020)	規範 GNSS 測量作業，包含靜態與即時；於基準連接、高程系統等面向有豐富的內涵。
紐西蘭	LINZ (2012)	第五級與第六級控制測量之作業規範，包含靜態與即時。
紐西蘭	NZIS (2017)	網路即時動態測量(NRTK)方式。
英國	RICS (2010)	GNSS 測量的完整手冊，測量方法包含靜態、動態、即時動態，也提到 PPP。對於操作環境之多路徑、大氣影響、無線電干擾等，均有建議。針對各項作業，提供了表單式的指南。
英國	TSA (2008)	針對網路即時動態測量(NRTK)方式。
英國	TSA (2012)	針對網路即時動態測量(NRTK)方式。
英國	TSA (2015)	針對網路即時動態測量(NRTK)方式。
美國	USGS(2012)	以高程基準建置為主題，對於 GNSS 實務作業有深入的描述。
美國	VDOT(2021)	美國維吉尼亞州(Virginia)交通處所制定之測量規範，GNSS 為整體規範之第五章。內涵中包含相當完整之基準連接、坐標投影、高程系統等。
加拿大	Ontario government (2004)	完整的測量作業規範，包含網形設計、測量、網形平差、成果驗證等。以 GPS 單星系基線測量方式為主，基本上是以靜態觀測方式測量。

加拿大	Alberta goernment (2010)	完整的測量作業規範，包含網形設計、測量、網形平差、成果驗證等。以 GPS 單星系基線測量方式為主，基本上是以靜態觀測方式測量。
加拿大	NR Canada (2015)	以即時動態定位與網路即時動態定位為主軸。
韓國	Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017)	以地籍測量應用為主體，測量方法包含靜態與即時，包含網路即時動態測量(NRTK)方式。
瑞士	KKVA (2010)	以地籍測量應用為主體，測量方法包含靜態與即時，包含網路即時動態測量(NRTK)方式。

三、規範探討

在部分國家，如日本，多種 GNSS 測量技術均包含在同一規範內，但是在其他國家，卻亦有將不同技術分別陳述於不同文件中。如中國大陸，將「網路即時動態定位」，單獨列為一項規範。謹此分別探討如後。

(一) 日本 GSI

令和 2 年(公元 2020 年)，日本國土交通省國土地理院發布更新版「多 GNSS 測量手冊（草案）」(國土地理院技術資料 G1-N0.18)，除手冊本體外，並有手冊之解說。在本版文件中，重點項目在於多星系之導航衛星系統環境中，針對控制測量作業之建議與要求。在本版手冊中，將多星系觀測量之處理方式，分為「混合」與「統合」兩大項，分別予以規範。

本套文件中，GNSS 測量與數據處理的方法，包含靜態法、快速靜態法、動態法、RTK、網路型 RTK，在 RTK 部分涵括以後處理方式進行之作業。觀測量之多星系納入 GPS、GLONASS (GLobal NAVigation Satellite System)、Galileo、Beidou，以及 QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)。規定的項目中，有可以接受之使用接收儀等級、最少觀測時段長度、觀測之衛星數目，但是不包含幾何圖形強度相關指標。

對於「點位遮蔽仰角」，本手冊中沒有規範。相反的，本手冊特別著重於「點位遮蔽仰角」高的區域，如何測得控制點。考量由於對空視域狹窄，能夠觀測到的衛星數亦少，因此唯有藉由多星系之「統合」方式，以達成測設控制點之目的。

僅就手冊中部份重要條款，列舉如後。

1.手冊的目的和適用範圍

本手冊在《條例》第十七條（設備等和工作方法的特殊規定）第三款中規定，定義了多 GNSS 測量的標準工作方法，統一了標準，並提供了所需的精度。目的是確保所需的精度。在本手冊中，除了使用 L5 和 Galileo 之外，假設在觀測條件惡劣的地方使用不同衛星定位系統之間的相位差分析，例如在天空能見度有限的建築物街道（以下簡稱“統合處理“）也有規定。

本手冊適用範圍為 1 級至 4 級參考點測量。

2. 適用之儀器

在第五條規定：

「用於觀察的標準設備是表所列設備或同等或更好的設備。

觀測 L5 時，除了具有一流的 GNSS 測量儀器性能外，還要使用具有 L5 接收功能的儀器。」

表 2 GNSS 測量機性能分級

設備	性能（接收頻段數）	摘要
第一級 GNSS 測量機	根據規則附表 1	
第二級 GNSS 測量機		當觀測距離小於 10 公里時，可使用。

所以可以使用的接收儀是有規範限制的，上表中所引述之「根據規則附表 1」，目前本研究尚未能確認、獲得該項資料。但是日本國土地理院採用正面表列各級機型之型號等資料，並以網際公告方式提供，「国土地理院 登録機種一覽簿」中，包含多樣測量儀器，如經緯儀(セオドライト)等。GNSS 接收儀一級儀器為雙頻(含)以上，二級儀器為單頻。一級「GNSS 測量機」令和 4 年(2022 年)11 月 10 日更新為 226 項(<https://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/kihon/kisyu/gnss-1.htm>)。二級「GNSS 測量機」現有編號至 61(<https://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/kihon/kisyu/gnss-2.htm>)。

3. 觀測時間、取樣頻率規定與適用之控制點等級

針對五種 GNSS 相對定位技術，對應一、二、三、四級之控制點，「觀測時間」與「資料獲取間隔」規定如表。

表 3 一至四等控制點觀測時間及取樣頻率規定

觀測方法	觀測時間	資料獲取間隔	摘要
靜態方法 (Static method)	120 分鐘以上	少於 30 秒	一級至二級參考點測量(2 個頻率，超過 10 公里)
	90 分鐘以上	少於 30 秒	一級至二級參考點測量(3 個頻率 ※1、10km 以上)
	60 分鐘以上	少於 30 秒	一級至二級參考點測量(少於 10 公里) 第 3 級至第 4 級參考點測量
短時靜態方法	20 分鐘以上	15 秒或更少	3~4 級參考點測量

(Short static method)			
動態方法 (Kinematic method)	10 秒以上※2	5 秒以下	3~4 級參考點測量
RTK 法※4	10 秒以上※3	1 秒	3~4 級參考點測量
網路型 RTK 方法 ※4	10 秒以上※3	1 秒	3~4 級參考點測量
備考	※1 在 3 個頻率的情況下，使用發射 3 個頻率的衛星確保第 4 項中規定的使用衛星數量。 ※2 可以獲取 10 個 epoch 或更多 epoch 資料的時間。 ※3 設置時間可以獲取 10 個 epoch 或更多的數據，以便獲得整數解(Fix)。 ※4 應包括以後處理方式進行分析的情況。		

4.觀測衛星數

在這各項目中，有表 A 及表 B 兩表之規範，以表 A 為主，表 B 為輔。表 A 以不採取「統合」處理者，表 B 則採用。

表 4 A 在基線分析中不執行統合處理時

測量方法	靜態方法	靜態方式 (10km 以上) 縮短靜態方法 運動學方法 RTK 方法 網路類型 RTK 方法
GNSS 衛星組合		
GPS-準天頂衛星	4 個或更多衛星	5 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星和 GLONASS 衛星	5 個或更多衛星	6 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星和伽利略衛星	5 個或更多衛星	6 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星，GLONASS 衛星和伽利略衛星	6 個或更多衛星	7 個或更多衛星
GLONASS 衛星	4 個或更多衛星	5 個或更多衛星
摘要	使用多個衛星定位系統的衛星進行觀測時，每個系統使用 2 個以上衛星。	

表 B 在基線分析中在 GPS-準天頂衛星和伽利略衛星之間進行統合處理時

觀察方法 GNSS 衛星組合	靜態方法	靜態方式 (10km 以上) 縮短靜態方法 運動學方法 RTK 方法
GPS-準天頂衛星和伽利略衛星	4 個或更多衛星	5 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星， GLONASS 衛星和伽利略衛星	5 個或更多衛星	6 個或更多衛星
摘要	使用 GLONASS 衛星進行觀測時，請使用兩顆或更多顆 GLONASS 衛星。	

5. 可使用的 GNSS 衛星組合頻段

本項規定似乎是以提供參考為目的，表所列舉者為實務上目前各星系使用之頻段，而可以組合者。

表 5 GNSS 衛星組合頻段

用於觀察的頻率 GNSS 衛星組合	1 頻率	2 頻率	3 頻率
GPS-準天頂衛星	L1	L1+L2 或 L1+L5	L1+L2+L5
GPS-準天頂衛星 和 GLONASS 衛星			
GPS-準天頂和伽利略衛星			
GPS-準天頂衛星， GLONASS 衛星 和伽利略衛星			
GLONASS 衛星		L1+L2	-----

與表相關的作業規範是：「如果基線長度為 10 公里或更長，則應以 2 或 3 個頻率進行基線分析。但是，如果基線長度小於 10 公里，則可以 1 個頻率、2 個頻率或 3 個頻率進行」。

6.坐標基準

由於採用相對定位的測量模式，所以測量成果為所採用之參考點所屬之基準。相關規定為，「基線分析的固定點的經緯度為成果表中的值(以下簡稱“曆元坐標”)或使用本單位(國土地理院)提供的地殼運動修正參數進行半動態修正得到的值(以下簡稱“主坐標”)。稱為“當期坐標”。用於半動態校正的地殼運動校正參數應與測量實施時間相對應。在後續的基線分析中，依次輸入使用定點的經緯度得到的經緯度」。

這裡提出了「曆元坐標」與「當期坐標」的差異，前者是公告坐標，後者為經速度場化算後之目前此刻之坐標。相對應的，高程部分亦如是，其規定為「基線分析的固定點的橢球高應為從成果表的高程和大地水準面高度得到的值，應為曆元坐標或當期坐標。但是，如果固定點是電子參考點，它將是成果表的橢球高。在後續的基線分析中，依次輸入使用固定點的橢球高以得到橢球高」。

7.最小高度角、ISB 最大不確定度

低仰角高度角的衛星，其訊號之大氣層路徑較長，穿越時所受干擾亦較大，因此，多設定最小高度角，以求降低雜訊。本文件規定「GNSS 衛星的最小高度角以 15 度作為標準」，同時規定：「用於基線分析的 GNSS 測量儀器的高度角應為觀測時設定的接收高度角」。以此觀之，15 度為參考值，手冊允許採用其他值。

同時，執行統合處理時，往往需要應用「系統間偏差」(ISB, Inter System Bias)，在手冊中規範其公差需小於 10mm。

(二)中國大陸

中國大陸國家基本控制點衛星測量作業主要分別靜態測量及網絡即時動態測量兩類，相應之最新作業規範分別為：(1)中華人民共和國國家標準，全球定位系統(GPS)測量規範，GB/T 18314-2009；(2)中華人民共和國國家標準，衛星導航定位基準站網絡實時動態測量(RTK)規範，GB/T 39616-2020。

1.坐標系統

中國大陸衛星測量之法定坐標系統為 2000 國家大地坐標系(China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000)，和 TWD97 相同，是一個原點定義在地球質心、方位由國際時間局給定的地心坐標框架。CGCS2000 採用的參考橢球體參數中，長半徑、扁率、地球自轉角速度和國際大地測量與地球物理聯合會給定的 GRS80 (Geodetic Reference System 1980)數值相同，地心引力常數則是與美國給定的 WGS84 (World Geodetic System 1984)數值相同，與 GRS80 之數值有微小的差異。此外，中國大陸部分的測繪成果仍定義在較舊的坐標系統(稱為地方坐標系)，主要有 1980 西安坐標系及 1954 北京坐標系兩類。

2.靜態測量與控制點級別

中國大陸將衛星控制點依精度區分為 A、B、C、D、E 共 5 級。其中 A 級點位由 CORS (Continuously Operating Reference Station) 連續運行基準站所構成。這些點位是精度最高的衛星控制點，用於建立中國大陸之一等大地控制網、進行全球性的地球動力學與地殼變形研究及衛星軌道測定等用途。其重要性及用途約相當於 TWD97 之大地基準點。

表為 A 級控制點對於坐標、坐標年變化率之中誤差以及相對精度的規範要求。由於控制點坐標年變化率是參數之一，代表 A 級控制網整體平差時必須要考慮板塊運動和點位位移速度場。

A 級控制點選用之接收儀必須滿足下列功能：接收雙頻載波相位及雙頻電碼，同時觀測至少 24 顆衛星，採樣數據能力至少 1Hz，天線相位中心穩定性優於 3 mm 等要求。A 級控制點數據處理使用之軟體必須為高精度專業軟體，採用之衛星星曆必須為精密星曆，計算時使用之起算依據應為國際 GNSS 服務組織提供之 IGS 站坐標和原始觀測數據。

在網形平差方面，A 級控制網應先進行各子網之自由網平差(無約束平差)，並進行變方(方差)因子估計和改正數粗差偵錯。A 級控制網的整體平差可在 2000 國家大地坐標系或國際地球參考框架(ITRF)中進行，各子網曆元(epoch)不同時則是利用板塊運動和速度場模型進行統一歸算。整體平差時應引入起算點的完整變方-協變方矩陣，並乘以適當的鬆弛因子定權。

表 6 A 級控制點精度要求

級別	坐標年變化率中誤差		相對精度	坐標分量年平均中誤差(mm)	相鄰基準站間平均間距(km)
	水平分量 (mm/yr)	垂直分量 (mm/yr)			
A	2	3	1×10^{-8}	0.5	100~200

B 級控制點用於建立中國大陸之二等大地控制網、地方或城市之坐標基準框架，重要性與用途約相當於 TWD97 的一等基本控制點。其精度要求為相鄰點(平均距離 50 km)之基線水平分量中誤差 5 mm、高程分量中誤差 10 mm，相對精度 1×10^{-7} 。選用之接收儀應具備雙頻全波長功能，且須依照規定檢驗後使用。控制點之觀測時段數應不少於 3 次，時段長度應大於 23 小時，採樣間隔為 30 秒，同步觀測之接收儀數不少於 4 台。

B 級控制點數據處理使用之軟體必須為高精度專業軟體，採用之衛星星曆必須為精密星曆，計算時使用之起算依據應為 A 級控制點或 IGS 站坐標和原始觀測數據。在基線處理成果檢核方面，需進行重複基線之較差檢核以及環線閉合差之檢核，合格之基線方可進入網形平差階段。B 級控制網之網形平差可與 A 級同步進行，先進行各子網之自由網平差再進行整體平差。

C、D、E 級控制點分別用於建立三等、四等、中小城市之大地控制網，其重要性與用途約相當於 TWD97 之二等、三等和四等基本控制點。精度要求如表。

表 7 B、C、D、E 級控制點精度要求

級別	相鄰基線分量中誤差		相鄰點間平均距離(km)
	水平分量(mm)	垂直分量(mm)	
B	5	10	50
C	10	20	20
D	20	40	5
E	20	40	3

C 級控制點選用之接收儀與 B 級相同，須為雙頻全波長接收儀；D、E 級選用之接收儀則可以為雙頻或者單頻。各類接收儀均須依照規定完成檢驗後使用。觀測時之基本要求如表。

表 8 B、C、D、E 級控制點觀測基本要求

項目	級別			
	B	C	D	E
衛星截止高度角(°)	10	15	15	15
同時觀測有效衛星數	≥4	≥4	≥4	≥4
有效觀測衛星總數	≥20	≥6	≥4	≥4
觀測時段數	≥3	≥2	≥1.6	≥1.6
時段長度	≥23 h	≥4 h	≥60 min	≥40 min
採樣間隔(s)	30	10~30	5~15	5~15
註 1：計算有效觀測衛星總數時，應將各時段的有效觀測衛星數扣除其間的重覆衛星數。 註 2：觀測時段長度，應為開始記錄數據到結束記錄的時間段。 註 3：觀測時段數 ≥ 1.6，指採用網觀測模式時，每站至少觀測一時段，其中二次測站點數應不少於總點數的 60%。 註 4：採用基於衛星定位連續運行基準站點觀測模式時，可連續觀測，但觀測時間應不低於表中規定的各時段觀測時間的和。				

C、D、E 級控制點基線解算可採用隨接收儀配備的商用軟體，但需經過有關部門的鑒定與批准後方可使用。基線解算採用之衛星星曆可為精密星曆或者廣播星曆，計算時使用之起算依據應為 A、B 級控制點坐標和原始觀測數據。

在基線處理成果檢核方面，需進行重複基線之較差檢核以及環線閉合差之檢核，合格之基線即可進入網形平差階段。網形平差分為自由網(最小約制)平差和約制平差兩部分。使用通過最小約制平差檢驗後的基線分量作為觀測量，對於已知上級控制點之坐標、距離或方位進行強制約制或加權約制後得到最終的平差成果。

3. 網路即時動態測量

中國大陸網路即時動態測量(NRTK)包含平面測量與高程測量，NRTK 平面測量依精度等級分為一級、二級、三級及圖根、碎部；NRTK 高程測量依精度等級分為等外及碎部。

中國大陸 NRTK 的坐標系統規定採用 CGCS2000，部分地區可依實際需要經由坐標轉換方法將觀測所得的 CGCS2000 坐標轉換至指定之地方坐標系。

在進行 NRTK 施測時，導航衛星的狀態必須符合表之要求，在截仰角 15 度以上的同一星系(例如 GPS 星系)衛星個數必須至少為 5 顆且 PDOP 值不得大於 6。

表 9 NRTK 外業測量基本要求(GB/T 39616-2020)

觀測窗口狀態	截仰角 15°以上的同一系統衛星個數	PDOP 值
良好	≥6	<4
可用	5	≥4 且 <6
不可用	<5	≥6

相較於國土測繪中心現行 e-GNSS 外業測量規範的截仰角 15°、GPS 衛星至少 5 顆、PDOP 值小於 10 之規定，兩者之規定相當接近，惟 GB/T 39616-2020 在 NRTK 作業時 PDOP 值的要求較 e-GNSS 嚴格。

NRTK 使用之接收設備包括接收儀、天線和天線電纜、數據鏈設備、數據採集器等。接收儀之基本規格為雙頻或多頻接收儀，並符合表之精度要求。

表 10 NRTK 接收儀精度要求(GB/T 39616-2020)

類型	平面標稱精度(mm)	高程標稱精度(mm)
技術指標	$10 + 2 \times 10^{-6} \times d$	$20 + 2 \times 10^{-6} \times d$
注：d為基線長度，單位為 mm		

相較於 e-GNSS 外業測量規定的水平分量 10 mm + 1 ppm、高程分量 20 mm + 1 ppm 精度規範，NRTK 對於接收儀精度的要求(10 mm + 2 ppm、20 mm + 2 ppm)略低於 e-GNSS，但兩者差別不大。

NRTK 平面控制測量技術要求如

表 1 所示。NRTK 之測量規範與精度要求根據施測點位之等級而定，越高等級之點位相鄰距離越大且必須施測之測回數也越多。

表 1 NRTK 平面控制測量技術要求(GB/T 39616-2020)

等級	相鄰點間距離	點位中誤差	邊長相對中誤差	測回數
一級	≥ 500 m	5 cm	≤ 1/20,000	≥ 4
二級	≥ 300 m	5 cm	≤ 1/10,000	≥ 3
三級	≥ 200 m	5 cm	≤ 1/6,000	≥ 2
圖根	≥ 100 m	圖上 0.1 mm	--	≥ 2
碎部	--	圖上 0.5 mm	--	≥ 1

註：困難地區相鄰點間距離可縮短至表中數值的 2/3。

NRTK 平面控制測量時，移動站可依實際需求，通過坐標轉換方法將觀測得到之 CGCS2000 坐標轉換為指定坐標系的平面坐標。在已有坐標轉換關係時，可以直接利用已知的參數進行轉換。在沒有已知轉換關係的情況下，可採用 3 個以上分布均勻的高等級控制點作為參考點求解轉換參數，惟轉換精度不得劣於 2 cm 且轉換關係的求解不得採用現場點校正的方法進行。

相較於國土測繪中心之規定，e-GNSS 動態測量控制點依點位間距與相對精度分為三類，大致可分別對應於

表 1 之一級、二級、三級控制點。差異較大之處在於，e-GNSS 動態測量成果是定義在 e-GNSS 坐標系統，因此現行規定是將 e-GNSS 坐標成果利用國土測繪中心「控制測量網形平差程式」轉換為虛擬基線網後，再經由網形平差計算獲得最終的控制點坐標成果，這點作法與 NRTK 直接獲得坐標成果有很大的不同。

對於 NRTK 一級、二級、三級平面控制點測量而言，移動站作業之施測要求如下：

- (a) 每次作業開始前，應進行至少一個同等級或高等級已知點的檢核，平面點位較差不得大於 7 cm。
- (b) NRTK 平面坐標轉換殘差不得大於 2 cm。
- (c) NRTK 觀測前設置的平面收斂門檻值不得大於 2 cm。
- (d) NRTK 觀測時應採用三角架定心、定平，每測回觀測曆元數不少於 20 個，採樣間隔不少於 2 秒，各測回的平面坐標較差不得大於 4 cm。
- (e) 取各測回的平面坐標平均值作為最終結果。

對於 e-GNSS 動態測量控制點而言，目前之施測規定是每測回觀測筆數(曆元數)至少 180 個、資料記錄(採樣)間隔為 1 秒、各測回之平面坐標較差不得大於 2 cm (高程不得大於 5 cm)，均較 NRTK 作業規範嚴格。

NRTK 控制點成果須進行 100% 的內業檢查和不少於總點數 10% 的外業檢測，且在總點數少於 30 點時，檢測點不得少於 3 點。外業檢測可採用 NRTK 檢測法測量已知控制點或採用同等級精度重測法進行比較檢核。平面控制點外業檢核可採用相應等級的靜態測量測定坐標、全站儀測量邊長和角度等方法。NRTK 平面控制點檢測要求如

表 2 所示。

表 2 NRTK 平面控制點檢測要求(GB/T 39616-2020)

等級	邊長校核		角度校核		坐標校核
	測距中誤差 (mm)	邊長較差的 相對誤差	測角中誤差 (")	角度較差限差 (")	坐標中誤差 (cm)
一級	15	≤ 1/14,000	5	≤ 14	5
二級	15	≤ 1/7,000	8	≤ 20	5

三級	15	$\leq 1/5,000$	12	≤ 30	5
圖根	20	$\leq 1/3,000$	20	≤ 60	--

e-GNSS 亦規定強制符合網形平差計算成果須採用電子測距經緯儀進行實地觀測檢核，檢測距離之數量應大於測區內所有點位可通視方向總數的 15%，若實地可檢測距離之數量小於 10 條者，則全數辦理檢測。進行距離檢測時，若該點位鄰近可通視之點位大於 2 點以上，應同時辦理角度檢測。e-GNSS 地測檢核精度要求如表 3 所示(摘自國土測繪中心採用電子化全球衛星即時動態定位系統辦理控制測量作業手冊)。整體而言，e-GNSS 與 NRTK 在檢測要求方面的差異並不大。

表 3 e-GNSS 地測檢核精度要求

點位間距對應相對精度參考表		
點位間距	相對精度	角度較差
≥ 500 m	$\leq 1/20000$	$\leq 20''$
≥ 300 m	$\leq 1/10000$	$\leq 20''$
≥ 100 m	$\leq 1/5000$	$\leq 30''$

(三)澳洲

澳洲為由原有的六塊英屬殖民地（即現在的州份）組成的聯邦，在聯邦政府之架構下，各州均有州政府之設置。本研究蒐集之文件，ICSM (2020)為聯邦政府多個行政單位組成之跨單位測量與製圖委員會所制定，屬於聯邦文件；Queensland government (2021)則為昆士蘭州(Queensland)之州政府文件。謹以 ICSM (2020)討論如下。

本文件在目錄、表目錄、圖目錄之後，是本文件所使用之術語名詞及其簡要定義。之後，共有六章，第一章包含前言(Introduction)，敘述本文件之考量與適用，以及相關規範性參考文件(Normative References)。第二章則敘述測量所使用之基準，以及與基準之連結。第三章為 GNSS 測量手冊，分就靜態測量(Static Surveys)與即時測量(Real-time Surveys)，規範 GNSS 儀器、觀測方式、以及數據處理。第四章為 GNSS 測量之不確定性分析，並就高程部分以專節敘述。第五章為針對即時 GNSS 測量之成果藉由坐標比對評量。第六章描述的是 AUSPOS 系統，該系統以線上方式，提供 GPS 觀測量數據處理之服務。

1.適用範圍與採用之定位技術

本文件以控制測量為適用範圍，並區分為基準定義測量(Datum Definition)、基準控制測量(Datum Control Survey) 與一般控制測量(General Purpose Control and other surveys)。將多種 GNSS 測量技術，以觀測時間為橫軸，成果坐標不確定度為縱軸，圖示如圖 1。本文件以 GNSS 作業為描述範圍，各級控制點之不確定度定義，導引至其他參考規範。在本文件中，引用「測量不確定度」(SU, Survey Uncertainty)

作為分級。分級為：

- 水平<15 mm，幾何高<20 mm；
- 水平<30 mm，幾何高<50 mm；
- 水平<40 mm，幾何高<60 mm。

由圖 1 所列之 GNSS 測量定位技術，主要為相對定位的方式，除單點定位(Single Point Position)以外。差分 GNSS (Differential GNSS)是指以電碼進行差分作業之方式，其不確定度較大。其他縱軸方向在差分 GNSS 之下之技術，亦採用差分，但是會使用電碼及相位。單參考站 RTK(Single Reference Station RTK)為傳統之 RTK 作業方式，相對應的是網路 RTK (Network RTK, NRTK)，其精度是相對較高的。Quick Static 即為快速靜態(Rapid Static)，Classic Static 為常規的靜態測量。大地基準的定義則需要「連續運行參考站」(Continuously Operating Reference Stations, CORS)，依照規格，區分為三級，這部分不屬於本文件範疇，而是由 ICSM (2014)規範。

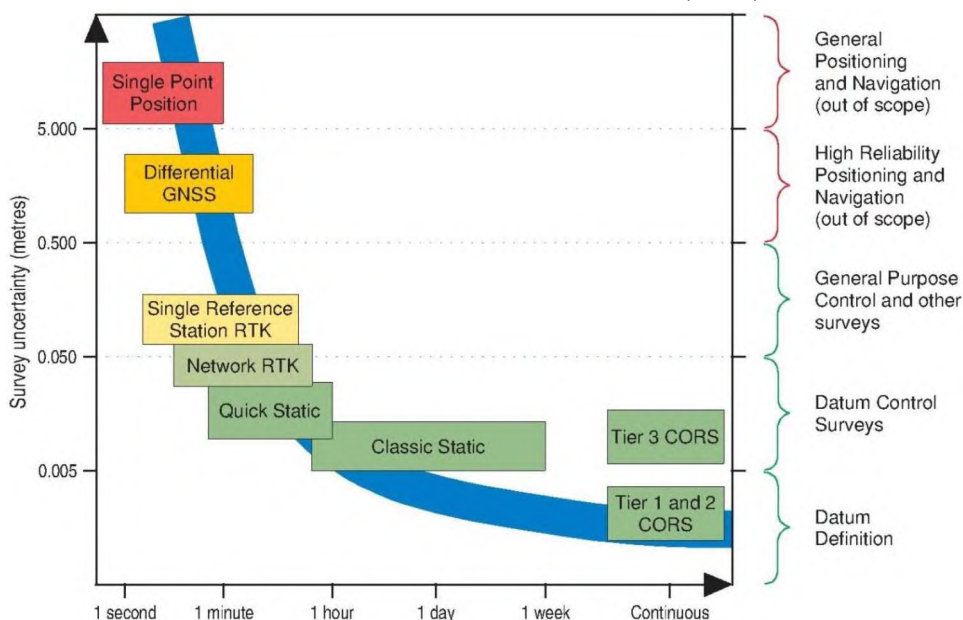


圖 1 GNSS 測量技術(ICSM, 2020; Figure 2)

在 ICSM (2021)中，PPP 相關方法在前言中即已排除。其描述文字為：

「However, those additional techniques including Precise Point Positioning (PPP), code-based Differential GNSS and Single Point Positioning are not suitable for Datum Control Surveys and are beyond the scope of this Guideline. (但是，包括精密單點定位(PPP)、電碼差分和單點定位在內的那些附加技術不適用於基準控制測量，並且超出了本指南的範圍。)」

2. 規範性參考文件

ICSM (2021)明列相關之規範，包含國際性之規範：

JCGM 100:2008, Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, Joint Committee for Guides in Metrology – Bureau International des Poids et Mesures, Paris, France.

由於測量科技中不確定度是一件極為關鍵的項目，本文件為「國際度量衡局」

(BIPM, Bureau international des poids et mesures)下屬的量測科技文件委員會，針對量測值不確定度所編寫之國際規範。

以及澳洲聯邦制定之標準(Standard)：

ICSM (2020), Standard for the Australian Survey Control Network – Special Publication 1, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

其他的聯邦相關指南：

ICSM (2020), Guideline for the Adjustment and Evaluation of Survey Control, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

ICSM (2020), Guideline for Control Surveys by Differential Levelling, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

ICSM (2020), Guideline for the Installation and Documentation of Survey Control Marks, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

ICSM (2020), Guideline for Continuously Operating Reference Stations, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

還有兩本技術手冊(Technical Manuals)：

ICSM (2020), Geocentric Datum of Australia 2020 Technical Manual, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

ICSM (2007), Australian Tides Manual – Special Publication 9, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Wollongong, Australia.

與三篇技術文件：

Dawson, J. and Woods, A. (2010), ITRF to GDA94 coordinate transformations, Journal of Applied Geodesy, 4:4, pp. 189–199.

Brown, N. J., Featherstone, W. E., Hu, G. and Johnston, G. (2011), AUSGeoid09: A more direct and more accurate model for converting ellipsoidal heights to AHD heights, Journal of Spatial Science, 56:1, pp. 27–37.

Brown, N., J. McCubbine, W. Featherstone, N. Gowans, A. Woods, and I. Baran (2018), AUSGeoid2020 combined gravimetric–geometric model: location-specific uncertainties and baseline-length-dependent error decorrelation, Journal of Geodesy, 92(12), 1457-1465.

規範性文件的列舉與引用，構建一個完整體系，可以讓各個文件自身可以聚焦，而讀者亦可以擴大追查完整規範。同時，減省規範間之重複，亦便於維護、更新、管理。這是十分值得借鏡的。

3.儀器、技術、觀測時間長度、取樣頻率規定與適用之控制點等級

依據「測量不確定度」的分級，在「水平 $<15\text{ mm}$ ，幾何高 $<20\text{ mm}$ 」與「水平

<30 mm，幾何高<50 mm」情況下，僅有傳統靜態與快速靜態為適用。在「水平<40 mm，幾何高<60 mm」等級，則僅提列即時觀測處理之作業方式。重點是，ICSM (2021) 規範 NRTK 不適用於「水平<15 mm，幾何高<20 mm」與「水平<30 mm，幾何高<50 mm」等級之測量作業，相關規定如表 4。

表 4 不同控制點之儀器、技術、觀測時間長度、取樣頻率規定

SU	水平<15 mm，幾何高<20 mm	水平<30 mm，幾何高<50 mm
定位技術	傳統靜態	傳統靜態 快速靜態(基線短於 10 km 時)
GNSS 接收儀	雙頻，可以觀測電碼與相位	雙頻，可以觀測電碼與相位
GNSS 天線	抑流圈天線 (Choke ring antenna)、或是具有底板 (Ground plane)者 以及高品質三腳架、三角基座、光學對心器	測量級天線，以及高品質三腳架、三角基座、光學對心器
觀測時間長度	6 至 24 小時，視基線長度而定	傳統靜態：1 至 6 小時，視基線長度而定，原則是至少 1 小時，每增加 1 km，增加 5 分鐘 快速靜態：依照儀器製造商提供之建議，隨可觀測衛星數、基線長度而定，以能解算周波未定值為度
最大取樣間隔	30 秒	傳統靜態：15-30 秒 快速靜態：5-15 秒

除表 4 以外，兩個等級均適用的其他事項包含下列：

- 建議採用獨立再次設站觀測(Independent occupations)，如果在三腳架上，則間隔 30 分鐘並重新整置天線。
- 衛星仰角高度遮罩角度設置為零度(Elevation mask set to record down to zero degrees elevation)。這一點與日本規範，以及內政部(1994)，是相當不同的概念。實務上，所有可以觀測到的衛星，一律觀測、紀錄。這不表示低角度的衛星訊號今天不再有高訊雜比之傾向，而是在處理技術中除錯與賦權能力的提升。這一點對應稍後介紹之即時動態定位中的規定，便有更明確之體悟。
- 天線盤對北需在誤差 5 度以內(Antenna orientated to within 5 degrees of true North)。這項考量乃為天線相位中心變化(Antenna phase center variation)所設置。這也是一項當今 GNSS 測量實務上，漸漸遭受忽略之事項。

但是，在後續的數據處理規定中，僅有「水平 <15 mm，幾何高 <20 mm」等級要求使用 IGS 或 NGS 的天線模型。如果是「水平 <30 mm，幾何高 <50 mm」等級，可以使用製造商提供之天線模型。

- 連接大地基準時，至少包含兩個控制點，該兩點為現有基準控制測量平差合格的測量控制點或規則 13 認證的 CORS (Datum connection to at least two survey control marks being either marks in the existing Datum Control Survey Adjustment or Regulation 13 Certified CORS)。

可以使用於「水平 <40 mm，幾何高 <60 mm」等級之 GNSS 定位技術，包含單參考站 RTK，與網路 RTK (NRTK)。這兩項技術，規範中的敘述如下：

- 接收儀：雙頻，可以觀測電碼與相位。
- 天線：固定站與移動站均須使用測量級天線，移動站使用固定高度之測量標竿，或雙桿固定架(Bipod，兩角架)。單參考站 RTK 之主站(固定站)需使用高品質三腳架、三角基座、光學對心器。如果是多個參考站，但不是 NRTK 時，RTK 測量的內部一致性依賴於最小化參考站之間的相對不確定度。可以使用現有基準控制測量平差成果；採用新點時，應以靜態或快速靜態 GNSS 測量、平差，並連接到基準。
- 各移動站應獨立再度測量兩次，間隔至少 30 分鐘。
- 移動站各次觀測時間長度：在移動站成功初始化後，亦即週波未定值求解後，記錄位置至少 1 分鐘，取平均。
- 參考站和移動站的觀測曆元間隔：建議記錄 1 秒原始 GNSS 數據以便以後處理方式，檢核測量成果。
- 參考站和移動站的仰角遮罩：15 度。

(四)紐西蘭

紐西蘭負責大地基準與測量體系的是 LINZ (紐西蘭土地資訊局，Land Information New Zealand)，目前施行中之 GNSS 控制測量規範為 LINZ (2012)。同時，以政府的立場，由 NZIS (紐西蘭資訊服務處，New Zealand Information Service) 發佈了一份 NRTK 的技術說明 NZIS (2017)。

LINZ (2012)在目錄後，先簡述名詞與定義。本文分七章，第一章為前言，除界定本文件之目的與內容外，本章中列舉與本文件相關之其他標準、指南與規則 (Standard, guideline, rule)等官方文件。第二章為測量標(Survey Mark)規定，包含樁標型制與佈設選點原則、建立紀錄之內涵、佈設密度、編碼方式等。第三章針對測量標之可信度(Reliability)有所描述，測量員需藉由距離、角度，與地籍等文件資料比對，確認成果是符合要求的，可以接受的差值，除引用規範外，原則上是小於 0.05 m。

第四章為測量方法(Survey Mark)規定，該章之首，界定「所有測量必須使用 GNSS 技術」 (All survey observations must be made using GNSS (including GPS)

techniques)。在作業方式中，重點包含每一點位均需有兩次獨立的觀測，每次觀測均需重新整置儀器、量天線高。每次觀測時段間之間隔時間長度至少為 20 分鐘。最顯明的是，雖然測量設備需要週期性的檢校與維護(regularly calibrating and checking field equipment)，但是嚴禁「現地校正」(A “Site Calibration” should **never** be done as part of a geodetic control survey)。

觀測方式在 LINZ (2012)文件中，包含靜態與 RTK，對於使用之儀器沒有規範。在靜態中，陳述以快速靜態方式為主，觀測時段敘明「應用快速靜態時，最短觀測時間為 10 分鐘」(For rapid static surveys, ten minutes is considered to be the minimum observation time required to active the accuracy standards)。RTK 的方式在文件中呈現，但是具體說明其高程不確定度高，通常僅能達到六級，而非五級。LINZ (2012)中沒有圖形強度、衛星數、等等之規定，而以「達成規範要求之精度」為要求。這是 LINZ (2012)的系統性思維，「達成規範要求之精度」是最高的測量規範，測量人員應具有專業能力與態度，不需要繁文縟節的規定。因此，LINZ (2012)在測量方法部分所陳述的是基本原則。

第五章為測量完成後所需繳交之文件(Survey deliverables)，規定有三項，控制點資料檔(Mark data file)、向量檔(Vector file)、測量報告(Survey report)。第六章為繳交文件之可選項(Optional deliverables)，包含有關辨識點位、說明周邊環境與如何到達點位之相片、簡圖，LINZ (2012)均提供明確格式。第七章為繳交文程序。

紐西蘭(New Zealand)是全球第一個採用「時變基準」(Time-variant datum)的國家，基於實際執行效率的考量，使用之方式為「半動態基準」(Semi-dynamic datum)。亦因為如此，對於使用 GNSS 測量的考量，有著十分現代化的思維。

在回顧紐西蘭 GNSS 控制測量規範之前，謹先回溯探討當今測量實務應用「多層級控制點/網」架構之緣由。基本上，設置一等控制網，涵蓋較大範圍；繼而根據一等控制的點位所組成的區域性子集合，架構二等。依序，三等、四等，分區分級，成就一個涵蓋面大、密度高的控制網絡，應用時方便根據既有控制網中之點位，測設導線、導線網，以為地籍界址、工程建設、地形測量，等等作業，佈設控制。而需要如此進行之原因，是因為所採用的測量方法是「直接的角、邊測量」。使用經緯儀、測距儀進行之作業，需要點間通視；為了「引測」方便，既有之上級控制點分佈密度需高。

在採用「直接的角、邊測量」技術之時代，亦即「三角三邊」的作業型態時，作為零級的「基準」點數是少的。以臺灣而言，TWD67 的原點只有一個，虎子山，作為位置的定義。另有基線場、方位角等與基準相關的部分點位。紐西蘭現代化的基準，亦即零級的高精度控制網，由分布密度相當高的 CORS 組成。因為，以時變基準而言，控制點的參數，不止是三維坐標，還必須有速度、加速度，以及因地震等因素所導致之非連續性時間變化的改變的完整資訊。這一些要求，需要空間分布密度高、觀測時間頻率亦高的控制測量。此時，佈設沒有連續觀測的一級、二級、三級、四級，控制點網的價值，就很低落了。傳統的多級控制網，建置與維護均使用「運轉式」(Campaign mode)作業。亦即，在某時刻，組織測量隊執行某一時段之

測量。這種作業是需要經費與人力的，由管理與投資的面向審視，方案效益如何，便是執行與否的重要因素。隨同「多層級控制點/網」架構之實施，精度亦是分級的；數據處理面向，平差亦是分區分級的，跨子網的點位引用，不確定度是高的。這些都是「多層級控制點/網」的問題。

由另一個面向審視，許多的應用不需要高精度，或許，仍有需要使用經緯儀、測距儀進行之作業，會有應用傳統控制點的需求。但是，整體的效益是如何呢？又有沒有可以替代的方案呢？

LINZ 目前已停止所有一、二等控制點之測量。零級之 PositionNZ CORS 網為持續觀測、每日解算，即時獲得最新坐標。PositionNZ CORS 的運作採用最新之科技，隨時更新，以追求最佳之成果與基準的定義。一、二等控制點之坐標則依據 PositionNZ CORS 所產出之模式，經由 NGA (國家大地改正，National Geodetic Adjustment) 程序更新，NGA 之執行頻率為數年，視改正量需求而定 (Scott King, LINZ, 個人聯繫，2022-06-01, 06-02)。

(五)英國

皇家特許測量師學會(RICS, Royal Institution of Chartered Surveyors)，成立於 1868 年，是以英國為基地、規管英國在內多個國家皇家特許測量師學會會員的獨立專業團體(維基百科，2022)。本研究所蒐集獲得之 GNSS 測量指南即為 RICS 所發行(RICS, 2010)。另有 TSA(2008, 2012, 2015)三份文件，均以說明、探討 Network RTK 的實務為主題，內容深具參考價值，但是並非規範。TSA 為「測量組織」(The Survey Association)的縮寫，此一組織為由測量公司所構成。RICS 為英國相當於臺灣之「測量技師公會」，TSA 為英國相應於臺灣之「測量商業同業公會」，兩個團體相互合作，雙邊窗口為 TSA 之測量聯絡組(Survey Liaison Group, SLG)與 RICS 的地理空間處(Geospatial department of RICS)(Murphy, Susan, 2022; 個人聯繫)。

RICS (2010)本文分為兩大部分，第一部分為指南(Guideline)，第二部分為技術細節(Technical commentary)。在本文之外，附錄中另有五個文件。

指南包含三章，GNSS 的角色(The role of GNSS in surveying)、GNSS 測量文件(GNSS survey documentation)、GNSS 測量程序(GNSS survey operation)。技術細節中之各章，依序為 GNSS 測量方法(GNSS survey methods)、作業考量(Operational considerations)、坐標參考框架(Co-ordinates reference frame)、品管事項(Quality issues)。

RICS (2010)所涵蓋之內容為以 GNSS 進行測量之許多工作，包含控制測量與細部測量。以建立之目的而言，本文件相當不同於臺灣一般對規範、標準之概念。文件開始之初，在序言(Preface)中便說明測量工作不需要依照此指南(Members are not required to follow the advice and recommendations contained in the guidance note)。而建立此文件之目的，在於提供「最佳執業」(Best practice)參考。對於執業之測量員而言，其基本責任是針對其服務對象，如客戶，提供專業的測量工作成果。如若該

測量員遭受其服務對象，提出「怠惰」(negligence)指控時，如果測量執行過程為遵照本文件，則於法庭上或可以提供該測量員一個基本的保護。

GNSS 測量是測量工作中的一項，因此相關的規範與指南尚有多件，序言中亦明列四件 RISC 所發行之各類指南。達成測量工作的「最佳執業」，並非遵照單一指南便可以達成，亦非僅僅依照指南規範，便可以免責。

在 RICS (2010)的 82 頁文件中，有著十分豐富的內涵。於測量方法面向，分為靜態(Static)、動態(Dynamic)、即時動態(Real-time dynamic)，各類別下又依據所需之精度區分為數類；在儀器方面，不排除在適當情境使用單頻接收儀。RICS (2010)提供了一些綜合的基本概念，如「最少觀測 6 顆衛星、GDOP 值最大為 3、電離層活躍性為一般」，而如果情境並非如此理想時，加倍、三倍、...地延長觀測時間。

同時，針對各項作業，RICS (2010)提供了表單式的指南。以文件中表 A 為例，其表名為控制測量指南(Control survey guidelines)，包含六項，每項有指南與說明兩部分，並註明對應之文件第二部分技術細節之章節。謹就該表內涵，中英並陳，條列如下：

1. 指南：

所有測量均使用本源控制；最好使用至少 4 個控制站。

All surveys use source control; it is best practice to use at least 4 control stations.

說明：

這可能為使用連續運行的 GNSS 站(COGR)，通常由國家測繪機構或國際 GNSS 服務 (IGS) 提供。另一選項為自行建立本源控制，相對於 COGR 或其自有基站進行定位。或者，可以使用精密單點定位 (PPP) 技術。

This may be from Continually Operating GNSS stations (COGRs), typically provided by the national mapping agency or the International GNSS Service (IGS). Another option is for the surveyor to establish their own source control, positioning relative to COGRs or their own base stations. Alternatively, the Precise Point Positioning (PPP) technique could be used.

參考：4.2, 7.2

2. 指南：

控制由GNSS坐標系轉換到地圖投影或測量網格。

Control to transform from the GNSS coordinate system to map projection or survey grid.

說明：

GNSS測量為於GNSS坐標系中進行觀測與計算，然後轉換為當地地圖投影或網格系統之坐標系中。為此，需要知道從GNSS坐標系到地圖投影坐標系的轉換參數，或者在GNSS測量程序中包括具有已知地圖投影坐標和高度的現有測量控制站。

GNSS surveys are firstly observed and computed in the GNSS co-ordinate system and then transformed onto a local map projection or grid system. To do this we need

to know the transformation parameters from GNSS co-ordinate system to map projection system, or include existing survey control stations with known map projection co-ordinates and heights in the GNSS survey programme.

參考： 6.3

3. **指南：**

使用穩固的測量標。

Use stable survey markers.

說明：

GNSS測量可以在相當長的距離間實施高精度測量，因此應使用穩固的測量標。建議之控制點測量標類型在RICS文件「1:500及更大比例土地、建築物和公用事業服務測量」的附件A中有詳細說明，並且可以在其他規範文件中找到。

When measuring with GNSS it is possible to achieve highly accurate measurements over considerable distances, hence stable monuments should be used. The type of marker recommended for control points is detailed in Annexe A of the RICS document Surveys of Land, Buildings and Utility Services at Scales of 1:500 and Larger, and can be found in other specification documents.

參考： 7.2.1

4. **指南：**

控制站選擇設於有良好對空通視度處。

Choose control station locations where there is a good view of the sky.

說明：

測量控制點必須設在有良好對空通視度處，建議沒有高於高度角15度的障礙物。然而，在建成區，這有時是不可能的，成果的可靠度可能會受到不利影響。由於這些控制點將決定整體作業準確性，因此應盡可能選擇最佳位置。

It is imperative that survey control points are located where there is a good view of the sky, with no obstructions above a recommended 15 degrees elevation from the horizontal. However, in built-up areas this is sometimes not possible and the reliability of results could be adversely affected. As these control points will determine the overall accuracy of the project, the best possible locations should be selected.

參考： 5.2, 5.3.4, 7.3.1

5. **指南：**

使用靜態或快速靜態GNSS基線測量方法。

Use a static or rapid static GNSS baseline survey method.

說明：

控制測量應使用「靜態」或「快速靜態」方法進行(雖然網型RTK在理想條件下可能可以提供達到所需的精度)。這些作業方式可以明確地定義所需的數據

量(觀察時間)，因此測量作業規劃的後勤工作相對容易。所有尺度的測量都需要控制；從定義全球參考框架的網絡，到國家系統，再到地形測量的當地控制。

The control survey should be undertaken using 'static' or 'rapid static' methods (although network RTK may give the required accuracy under ideal conditions). The amount of data required using these procedures (observing-time) can be well defined, and hence the logistics of project planning is relatively easy. Control is needed at all scales of survey; from networks defining global reference frames, through state systems to local control for a topographic survey.

參考：4.2

6. 指南：

根據需要的精度使用精密星曆或廣播星曆。

Use the precise or broadcast ephemeris according to accuracy required.

說明：

對於高精度需求之工作，建議使用精密星曆。這與一般測量處理中所使用的廣播星曆不同。精密星曆可以消除廣播星曆中的誤差，並為控制測量提供更高精度的坐標。應檢查測量數據處理程式，以確認具有導入和使用精密星曆的功能。

For high-precision projects it is recommended that the precise ephemeris is used.

This differs from the broadcast ephemeris which is used in standard survey processing. Doing so will remove the errors associated with the broadcast ephemeris, and result in higher-precision co-ordinates for the control survey. Survey software should be checked to ensure it supports import and use of the precise ephemeris.

參考：4.2.1

RICS (2010)之內容包含十分多之細節，對於各型 GNSS 測量方式，諸如其觀測時段長度與基線距離長度關係等，均有指南。限於篇幅，難於一一討論。但是相當明確的，RICS (2010)建議控制測量使用靜態或快速靜態 GNSS 基線測量方法，並使用精密星曆。

(六)部分指標型數值整理

測量作業標準目的在於確認測量成果，為簡化執行的程序，傳統衛星定位測量規範中，常見規範一些指標型的數字。例如：最少觀測時段、最短數據取樣間隔、最少觀測衛星數目、最大幾何圖形強度(DOP)、等，關於觀測數據面向的指標，以及成果檢驗的精度指標要求(相對精度、角度較差)。謹就上述指標，整理列如表 15。由於當代規範，如國土地理院(2020)，考量之情境多元，這些指標是不適合列入單

一個表單比較的，要了解各國規範，詳讀文件是必要的。故而表 15 僅就限定的情況列舉，不適合作為統整比較。表 15 裡國土地理院(2020)的數值情境為：靜態測量，觀測距離在 10 公里或以上的觀測，使用一級 GNSS 測量機採用 2 個頻率或 3 個頻率進行觀測。測量標的為一級至二級參考點測量。中國國家標準化管理委員會(2009)的數值情境為：靜態測量，測量標的為 B 級控制點測量，使用雙頻接收儀。由於整體的作業為以網形為考量，詳細的情境需要參照原文件。中國國家標準化管理委員會(2020)為針對 NRTK 規範，情境為：測量標的為一級平面控制點測量，使用雙頻接收儀。LINZ(2012) 情境為：測量標的為五級控制點測量，對於表 15 所列觀測指標均無規範，要求為達成控制點所需精度。RICS (2010)建議控制測量使用靜態或快速靜態 GNSS 基線測量方法，並使用精密星曆。表 15 情境為高精度(5-10mm)靜態測量。

關於測量定位方式，在表 15 中所列手冊裡，除 RICS (2010)外，均排除 PPP 作業方法。在加拿大 NRCanada (2015)之即時動態及網形即時動態(RTK, RTN)手冊中則有描述，針對 CSRS-PPP 服務討論。

表 15 部分觀測指標整理

文件	最少觀測時段	最長數據取樣間隔(秒)	最少觀測衛星數目	最大幾何圖形強度
國土地理院(2020)	120(分鐘)	30	5	無規範
中國國家標準化管理委員會(2009)	23(小時)	30	4	無規範
中國國家標準化管理委員會(2020)	無規範	無規範	同一系統衛星個數 >4	PDOP<6
ICSM (2020)	6-24(小時)視基線長度選擇	30	無規範	無規範
LINZ(2012)	無規範	無規範	無規範	無規範
RICS (2010)	30 公里>2(小時) 50 公里>4(小時) 100 公里>6(小時)	15 或 30	>6	GDOP<3

四、結 語

GNSS 測量與數據處理的方法，大分為相對定位與絕對定位。其中之絕對定位技術當下以「精密單點定位」(PPP)為主。在相對定位技術中，包含靜態法、快速靜態法、動態法、RTK、網絡型 RTK，在 RTK 與網絡型 RTK 部分涵括以後處理方式進行之作業。在「精密單點定位」中，包含靜態法、動態法、即時 PPP (RT-PPP, Real Time PPP)、即時動態 PPP (PPP-RTK)，其中靜態法、動態法均亦可以後處理方式為之。在目前的國際規範中，大多以相對定位之技術為限，RICS (2010)為例外。但是考量科技之實際發展，PPP，尤其是以後處理方式進行之靜態測量，或許可以考量納入控制點測量所允許之技術。

觀測量之多星系則納入 GPS、GLONASS、Galileo、Beidou 以及 QZSS。「多星系多頻」是 GNSS 衛星目前發展的方向，運用價值不僅在於增加衛星的可見度，亦有提升定位精度與可靠度之效益。多星系目前結合方式多為使用「混合」(Mixed solution)的方法，亦即各星系分別求解定位後再經最佳化過程合併得到估值。原則上最理想的方式或許為「統合」(Integrated solution)方式，由各個衛星獲得之距離觀測量直接平差，這時，許多各星系間的差異必須考量，包含「系統間偏差」(ISB)，必須求定。因 ISB 值隨接收儀之電路設計而有差異，因此，如果接收儀之硬體、軟體不同，ISB 便原則上不同(Ha^okansson, et al., 2017; Mi, et al., 2019)。日本國土地理院之規範中包含「混合」與「統合」(國土地理院，2020、2020a)，是一項亮眼、值得進一步探討列入規範者。

作業規定的項目中，可以接受之使用接收儀等級、最少觀測時段長度、觀測之衛星數目，宜在規範中描述。幾何圖形強度相關指標是否需要納入，則為可以再進一步思考的項目。

五、致 謝

本研究為內政部國土測繪中心委託研究計劃「111 年度基本控制點衛星定位測量作業規範」之一部分，對於研究經費之支持，謹此致謝。

六、參考文獻

- 內政部，1994。內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範。
- 中國國家標準化管理委員會，2009。全球定位系統測量規範，GB/T 18314-2009。
- 中國國家標準化管理委員會，2020。衛星導航定位基準站網絡實時動態測量(RTK)規範，GB/T 39616-2020。
- 國土地理院，2020。マルチ GNSS 測量マニュアル 測量マニュアル 測量マニュアル（案）—近代化 —近代化 GPS、Galileo 等の活用—，國土交通省。
- 國土地理院，2020a。マルチ GNSS 測量マニュアル 測量マニュアル 測量マニュアル（案）—近代化 —近代化 GPS、Galileo 等の活用—，解説，國土交通省。
- 維基百科，2022。皇家特許測量師學會，<https://zh.wikipedia.org/wiki/皇家特許測量師學會>，前次查訪：2022/06/07。
- ICSM, 2014. Guideline for Continuously Operating Reference Stations, Special Publication 1, Version 2.1, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM), Geodesy Working Group (GWG).
- ICSM, 2020. Guideline for Control Surveys by GNSS, Special Publication 1, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM), Geodesy Working Group (GWG).
- KKVA, 2010. Einsatz von GNSS bei der Bestimmung von Detailpunkten in der amtlichen Vermessung, Konferenz der Kantonalen Vermessungsämter. (應用 GNSS 於地籍測量，Use of GNSS to determine detail points in cadastral surveying)
- LINZ, 2012. Guidelines for Simplified Geodetic Control Survey, V2.1, National Geodetic Office, LINZ, New Zealand Government.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017. Cadastral Survey Regulations by GNSS, Enforcement 2017. 7. 1., Ministry of Land, Infrastructure and Transport Regulations No. 183, 2017. 6. 23., partially amended, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Spatial Information System Division), Korea, 044-201-3485.
- NRCanada, 2015. Guidelines for RTK/RTN GNSS in Canada, Version 1.2, Main Authors: Brian Donahue, Jan Wentzel and Ron Berg, Survey General Branch, Nature Resources Canada, Canada.
- NZIS, 2017. NetworkRTK – New Zealand, A summary of the concepts, methods, limitations and services in New Zealand, Version 17.01, Positioning and Measurement, New Zealand Information Service.

- Ontario government, 2004. Ontario Specification for GPS Control Surveys, Geomatics Office, Ministry of Transportation of Ontario, St. Catharines, and Provincial Georeferencing, Ministry of Natural Resources, Peterborough
- Queensland government, 2021. Guideline, GNSS Control Surveys, Department of Transportation and Main Roads.
- RICS, 2010. Guidelines for the use of GNSS in land surveying and mapping, 2nd edition (GN 13/2010), the Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS). <https://www.rics.org/uk/upholding-professional-standards/sector-standards/land/guidelines-for-the-use-of-gnss-in-land-surveying-and-mapping/>.
- Alberta government, 2010. Standards, Specifications & Guidelines for GPS Surveys of Alberta Survey Control, Surveys & Technical Services Branch, government of Alberta.
- TSA, 2008. An examination of commercial network RTK GPS services in Great Britain, by Stuart Edwards, Peter Clarke, Sibylle Goebell, Nigel Penna, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC, and TSA. https://gnss.itacyl.es/documents/1088492/0/An_examination_of_commercial_network_RTK_GPS_services_in_Great_Britain_.pdf/959bfa2d-88cb-8c5a-cdc0-3461cda538b0?t=1596707078919.
- TSA, 2012. Further testing of commercial Network RTK GNSS services in Great Britain (NetRTK -2), by Nigel Penna, Peter Clarke, Stuart Edwards, Matt King, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Issue 1 April 2012 ©TSA, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC. https://www.smartnetna.com/documents/TSA_GuidanceNote_NetworkRTK_BestPractices.pdf.
- TSA, 2015. Guidance notes for GNSS Network RTK Surveying in Great Britain, Issue 4 May 2015 ©TSA, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC. https://www.smartnetna.com/documents/TSA_GuidanceNote_NetworkRTK_BestPractices.pdf.
- USGS, 2012. Methods of Practice and Guidelines for Using Survey-Grade Global Navigation Satellite Systems (GNSS) to Establish Vertical Datum in the United States Geological Survey, Chapter 1 of Section D, Field Survey Methods, Book 11, Collection and Delineation of Spatial Data, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- VDOT, 2021. GNSS and Control, Survey Manual, Chapter 5, Location and Design Division, Virginia Department of Transportation.

投稿須知

所有稿件以未曾在國內、外以任何形式刊載為限，且稿件內容不得有侵犯他人著作權或商業宣傳行為，否則由作者自行負法律之責任。文體以中文或英文撰寫為原則，並附中文及英文摘要。稿件須加註標點、分段及編列頁碼。內容編排以下列順序為原則：（一）封面：包括中文及英文之論文名稱、作者姓名、作者所屬單位、聯絡地址、電話、傳真、電子郵件住址；（二）中、英文摘要及關鍵詞等；（三）內文；（四）註釋；（五）謝誌；（六）參考文獻；及（七）附錄與圖表。審查通過後，無法直接由電腦列印之圖、表，應另附完稿之圖、表（不超過A4紙張），以利編排。圖或照片應以黑白為原則，如需彩色印刷請作者自行負擔費用。內文所引用之文獻須列於參考文獻，參考文獻請以姓氏筆劃多寡，依序以中文列出，之後再依英文姓氏之英文字母，依序以英文列出。各項格式書寫方式，請參考下列說明：

各項格式說明如下：

壹、文書檔案採 A4 直式橫寫書格式，版面邊界分別為上（2.54cm）、下（2.54cm）、左（3cm）、右（2.8cm），字體以新細明體及英文 Times New Roman 等兩種字體排版。

貳、首頁（Title page），應包含下列內容：

一、標題（Article Title）：包括中、英文文章篇名。

二、作者（Author's Name）：

1. 包括中、英文作者姓名。
2. 分別以中、英文註腳載明作者的職稱、單位。若作者有數人，則以阿拉伯數字 1, 2, 3... 個別標示。
3. 須標示通訊作者(加註*)，註明連繫電話、E-mail，英文電話請以國際電話方式書寫。

三、摘要（Abstract）：包括中、英文摘要。

四、關鍵字（Keywords）：包括中文、英文關鍵字，分別列於中、英文摘要之下。

參、正文（Manuscript）

一、稿件標題章節編號層次及順序

中文請按「一，（一），1，（1），a」順序排列；英文則按「1，1.1，1.1.1...」順序排列。

二、引述用例

（一）直接引述：

中文請用單引號「」；英文請用雙引號“ ”，並以括弧標示引述文獻頁次。

（二）引述中復有引述，或特殊引用時：

中文單引號「」在外，雙引號『』在內。英文雙引號“ ”在外，單引號‘ ’在內。

三、文獻引述用例

(一) 文中註明引述文獻

1. 請以（作者，年份）方式表示。
2. 若有數篇文章以分號（；）區隔；中英文文獻分開，並各自以引述文獻之出版年份先後依序排列。
3. 若同一作者，有數篇文章同時引述，則以（作者，年份 1、年份 2）；若同一作者有同一年發表文章同時引述，則以（年份 a, b）表示。
4. 若一篇文章有 2 位作者，請全部列出。中文為（作者 A 與作者 B，年份）；英文為（作者 A and 作者 B, 年份）
5. 若一篇文章有 3 位以上作者（含 3 位），中文請用（第一位作者等，年份）；英文請（第一位作者 *et al.*, 年份）用。
6. 英文期刊第一作者姓在前，名在後，第二作者之後，名在前，姓在後。

(二) 文中已有作者姓名時

1. 請以作者（年份）方式表示
2. 若有數篇文章同時引述，則以作者 A（年份）、作者 B（年份）…表示
3. 若有必要加註說明時，請用註腳，內文註腳號碼使用上標

四、圖版、插圖及表用例

1. 圖名請置於圖之正下方，並以圖 1、圖 2……方式表示。
2. 表名請置於表格之正上方，並以表 1、表 2……方式表示。
3. 若引用他人圖表需註明資料來源。

五、公式寫法用例

以(1)、(2)、(3)…依序編號。例： $\hat{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P L$ (1)

肆、參考文獻(References)

- 一、專書：作者，年份，《書名》，版次，出版地：出版者。
- 二、期刊論文：作者，年份，篇名，《期刊名》，卷期數，頁碼。
- 三、研討會論文：作者，出版年，論文名稱，《研討會名稱》。
- 四、博碩士論文：作者，年份，《論文名稱》，學校科系名稱(碩/博士論文)。
- 五、網路等電子化資料：作者（單位），年份，篇名，網站名稱，網址。
- 六、技術報告或研究報告：作者，年份，《報告名稱》，研究單位。

中華民國地籍測量學會「國土測繪與空間資訊」期刊 論文審查辦法

中華民國 101 年 09 月 25 日第 16 屆第 6 次理監事聯席會議通過

第一條 為規範「國土測繪與空間資訊」期刊論文審查辦法(以下簡稱本辦法)，得依本會編輯委員會組織簡則第二條規定訂定之。

第二條 來稿經登記後由總編輯就來稿性質，邀請相關專長之編輯委員推薦審查委員。編輯委員會負責對審查委員及投稿作者保持雙向匿名方式審查，審查作業程序如附圖。

第三條 審查委員應於接到論文後三週內審查完畢，並將論文審查表(如附表)，連同論文寄回編輯委員會，審查意見表中須明確勾選其中一項：

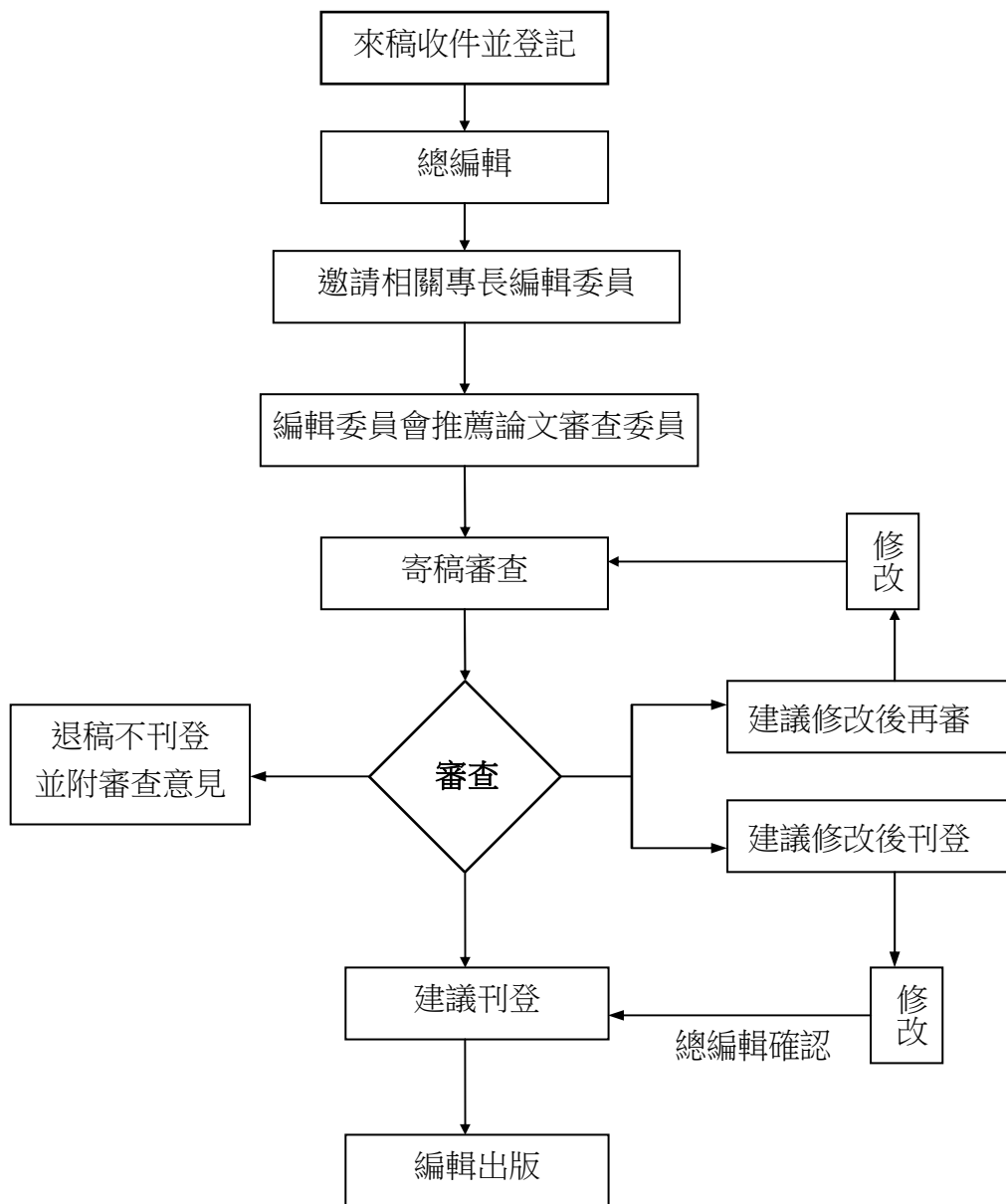
1. 刊登。
2. 修改後刊登(應列明審查意見及建議事項)。
3. 修改後再審(應列明審查意見及建議事項)。
4. 不適刊登(應列明審查意見)。

第四條 審查結果處理方式：

處理 方式 第一位 審查委員意見 第二位 審查委員意見	刊登	修改後刊登	修改後再審	不適刊登
刊登	刊登	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後刊登	寄回修改	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	不適刊登
不適刊登	第三位審查	第三位審查	不適刊登	不適刊登

附註：再審以一次為限。

第五條 本辦法經理監事會通過後實施，修改時亦同。



論文審查流程圖

國土測繪與空間資訊期刊

TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

編輯委員會

主任委員 史天元 國立交通大學土木工程學系

編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

周天穎 逢甲大學土地管理學系

甯方璽 國立政治大學地政學系

曾國欣 國立中央大學太空及遙測研究中心

張智安 國立交通大學土木工程學系

楊 名 國立成功大學測量及空間資訊學系

蔡慧萍 國立中興大學土木工程學系

韓仁毓 國立臺灣大學土木工程學系

饒瑞鈞 國立成功大學地球科學系

總 編 輯 周天穎 逢甲大學土地管理學系

編 輯 葉美伶 逢甲大學地理資訊系統研究中心

陳鶴欽 內政部國土測繪中心

黃筱晴 逢甲大學地理資訊系統研究中心

發 行 人 洪本善 理事長 逢甲大學土地管理學系

鄭彩堂 主任 內政部國土測繪中心

出 版 所 中華民國地籍測量學會

內政部國土測繪中心

國土測繪與空間資訊
TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

第十一卷第一期

民國一一二年一月

Vol. 11, No. 1

January 2023

目 錄 CONTENTS

資訊萃取於高解析度影像在紋理資訊對海岸漂流木之辨識差異研究

陳柏安、劉紘瑄、萬絢、鄭育欣.....01

The Study on the Different Texture Information of Coastal Driftwood Based on Information Extraction through High-Resolution Image Data

Bo-An Chen, Yun-Xuan Liu, Shiuan Wan, Yu-Hsin Cheng

應用 UAV 影像及深度學習技術輔助橋梁裂縫量化分析

張永辰、高書屏、王豐良、林志憲.....15

Application of UAV Image and Deep Learning to Assist Bridge Cracks Quantitative Analysis

Yung-Chen Chang, Szu-Pyng Kao, Feng-Liang Wang, Jih-Sian Lin

各國導航衛星系統測量手冊探討

史天元、楊名、王慧蓉、陳鶴欽、楊枝安.....35

On the National GNSS Surveying Guideline

Tian-Yuan Shih, Ming Yang, Hui-Jung Wang, He-Chin Chen, Chih-Ann