

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

第十二卷 第一期

中華民國一一三年一月



VOLUME 12, NO. 1

January 2024

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22屆組織表

1.理事會

理事長：楊名

副理事長：史天元

常務理事：蕭輔導、高書屏、江渾欽

理事：曾耀賢、洪本善、劉正倫、駱旭琛、紀聰吉、王啟鋒、邱仲銘、周天穎、白敏思、邱俊榮、
邱式鴻、王定平、梁崇智、陳國華、李文聖、吳相忠

秘書長：梁旭文(兼任)

副秘書長：陳鶴欽(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)

2.監事會

常務監事：崔國強

監事：陳典熙、蕭介峰、徐百輝、洪榮宏

3.服務委員會 (設委員5-9人，幹事2-4人)

主任委員：王啟鋒

委員：王定平、黃仰澤、邱俊榮、張瑞隆、劉正倫、黃建華、李文聖、吳智維

幹事：陳俊德

4.編輯委員會 (設委員7-11人，總編輯1人，編輯2-4人)

主任委員：陳國華

委員：史天元、林士淵、曾子榜、曾國欣、張智安、景國恩、蕭宇伸、儲豐宥、韓仁毓、陳惠玲

總編輯：周天穎

編輯：洪翎嘉、葉美伶、黃筱晴

5.研究發展委員會 (設委員7-11人，總幹事1人，幹事2-4人)

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：秘書處兼辦

幹事：李孟娟

6.獎章審查委員會 (設委員5-7人，幹事1-2人)

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：秘書處兼辦

7.教育訓練委員會 (設委員5-7人，總幹事1人，幹事1-2人)

主任委員：崔國強

委員：吳宗寶、李文聖、黃建華、陳俊達、林登建、蕭介峰

總幹事：蕭泰中

幹事：林以恆

8.國際事務委員會 (設委員4-7人，總幹事1人，幹事2-4人)

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、陳家卉

9.界址鑑定及諮詢委員會 (設委員13-21人，總幹事1人，幹事1-3人)

主任委員：盧鄂生

委員：邱仲銘、洪本善、謝福勝、王啟鋒、駱旭琛、吳宗寶、吳相忠、梁崇智、黃玉鐘、劉育儒、
杜仲楹、李志宏

總幹事：王建得

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

應用夜間燈光量測經濟活動及區域所得

郭彥廉¹ 朱宏杰^{2*} 楊雅量³ 楊淨雯⁴ 范峻達⁵ 蔣昊濤⁶

論文收件日期：112.06.23

論文修改日期：112.11.02

論文接受日期：112.11.13

摘要

台灣用來代表所得的指標中，國內生產毛額會每季更新，各縣市居民所得雖有家庭收支調查則每年更新，缺乏了一種高頻率且高解析度的所得或整體經濟活動指標。遙測數據擁有大面積重複蒐集資料的特性，過去已有文獻將遙測夜間燈光用於估計國家或區域的經濟活動水準，但大多以年資料進行探討。

本研究使用了夜間燈光數據(2012年4月到2020年11月的NPP-VIIRS之夜間燈光月資料)，對台灣的國內生產毛額及各縣市平均家戶收支進行定態檢核與迴歸分析。從結果可發現：(一)夜間燈光數據與台灣國內生產毛額及各縣市平均家戶收支皆有顯著相關。(二)燈光數據可以代表某區域的經濟活動量。(三)燈光成長率與經濟成長率沒有顯著關係。(四)夜間燈光可以用來估計縣市家庭收入，夜間燈光可延伸作為縣市區域所得指標，且縣市夜間燈光與治安案件數有負向關係，因此說明縣市所得會影響治安情況。

關鍵詞：VIIRS夜間燈光、平均家戶收支、國內生產毛額、總體經濟指標

¹ 副教授，國立成功大學經濟學系。

² 教授，國立成功大學測量及空間資訊學系。

³ 碩士，國立成功大學經濟學系。

⁴ 碩士，國立成功大學經濟學系。

⁵ 碩士，國立成功大學經濟學系。

⁶ 碩士生，國立成功大學測量及空間資訊學系。

* 通訊作者，TEL:(06)2757575 轉 63827，E-mail: honeyjaychu@geomatics.ncku.edu.tw。

Applying Nighttime Light on the Measurements of Economic Activity and Regional Income

Yen-Lien Kuo¹, Hone-Jay Chu^{2*}, Ya-Liang Yang³,
Ching-Wen Yang⁴, Chun-Ta Fan⁵, Hao-Yun Chiang⁶

Abstract

The most important macroeconomics indicator - gross domestic product (GDP)- is revealed every quarter of the year. In Taiwan, there is even no regional gross product and an economic survey – household income and expenditure – is carried out every year. We don't have a high frequency and high resolution income or economic development indicator. A remote sensing – nighttime light – had been applied to be a macroeconomic indicator in some countries. However, only yearly time series and cross sectional data was adopted in the literature.

The VIIRS nighttime lights data from April, 2012 to November, 2020, in Taiwan and regression was run in this study. It was found that VIIRS nighttime light was significantly correlated to Taiwan's GDP and household income and expenditure of cities and counties. Nighttime light has monthly data and can be zoomed into a region. There is no significant correlation between the growth rate of nighttime light and economic growth. The monthly crime cases of cities/counties has negative correlation with nighttime light. Therefore, nighttime light can be an indicator of cities/counties' economic and criminal activities.

Keywords: average household income and expenditure , gross domestic product , macroeconomic indicators , VIIRS nighttime lights

¹ Associate Professor, Department of Economics, National Cheng Kung University.

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

³ Master, Department of Economics, National Cheng Kung University.

⁴ Master, Department of Economics, National Cheng Kung University.

⁵ Master, Department of Economics, National Cheng Kung University.

⁶ Master student, Department of Geomatics, National Cheng Kung University.

*Corresponding Author, TEL: +886-6-275757 #63827 , E-mail: honejaychu@geomatics.ncku.edu.tw

一、前言

遙測的優勢在於能於短時間內取得大範圍資訊。為了區別於白天(daytime)遙測資料，通常與僅有關土地覆蓋物理特徵資訊的白天遙測相比，夜間燈光(nighttime light)提供了人類活動的視角，特別指的是夜間人造光相關之活動。夜間燈光數據從1992年開始於美國國家海洋大氣局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, 簡稱NOAA) 所提供的遙測資料是使用美國空軍的防空氣象衛星計畫之感測系統 (Defense Meteorological Satellite Program-Operational Line-scan System, 簡稱DMSP-OLS), DMSP-OLS的數據時間長度為1992年到2013年是目前最早的遙測夜間燈光資料，雖然該資料在2013年已停止更新，但DMSP-OLS燈光數據仍然為許多的研究帶來新的可用數據，因為遙測夜間燈光可以顯示出了與經濟密切相關的公共照明以及商業照明，因此有大量研究表示遙測夜間燈光數據與人類的經濟活動有很高的相關性。現在已經有國家使用夜間燈光數據來辨識城市的範圍並估計城市人口(楊, 2019)，也有國家用來追蹤城市化的速度、規模。在2012年4月時NOAA發布了由索米國家極地軌道夥伴(NPP)衛星攜帶的可見紅外成像輻射計套件 (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, 簡稱VIIRS), 由VIIRS系統所產生的遙測夜間燈光比起過去DMSP-OLS的遙測夜間燈光，VIIRS系統擁有更高的解析度且有更高的更新頻率，且VIIRS的燈光數據不存在DMSP-OLS光飽和度的問題，在後續的研究中也有學者提出，VIIRS燈光數據對人類的經濟活動有更大的解釋能力。

所得是最直接的經濟活動指標，在國家尺度最常見的所得指標就是國內生產毛額 (gross domestic product, 簡稱GDP), 亦即最終產品與服務的市場價值。產業生產總額其指一個國家 (地區) 在一年或一個季度內，所生產的全部產品和服務的市場價值總和。在短期，市場結構不變的前提下，生產毛額就是所有產業生產總額的一定比例。GDP的衡量需要花費非常大量的時間以及人力，多數國家包括台灣，目前GDP的更新頻率為每季更新。若是縣市別的產業生產總額則只有工商及服務業普查，調查頻率為每五年進行一次。如此的更新頻率，讓我們無法看出政策在短時間下的效果如何，特別是區域性的災害發生時，我們無法快速的觀察到對所得的影響。台灣目前月資料型態的總體經濟數據，例如：家庭收支指標、失業率等等，但失業率的變化較小，家庭收支指標調查的對象是家庭。月頻率GDP是總體經濟學者試著建構的指標，例如常藉由內插與分配的方法以季GDP估計月GDP，但此方法的資料來源仍是既有GDP資料，可以呈現月的變化用於總體經濟分析。此外，每次GDP更新的空間範圍是全國的GDP，當我們想研究某個城市的經濟情況時，各縣市並沒有代表性的總體經濟指標，較高頻率的資料僅有數量指標，如新設廠商家數等。貨幣資料如家庭收支因需要人力調查僅有年資料，部分人口較少的縣市也僅有數十到百個家戶樣本。近年來失業率也有縣市資料，但因為縣市的調查樣本較少，僅公布半年失業率。從上述說明，台灣目前缺少了一種涵蓋大範圍、高頻率且空間單元更精細的經濟指標，若地理範圍非行政區的話，就幾乎沒有所得之類的經濟指標，許多環境、自然資源、天然災害的研究範圍並非行政區，而是以地質、地形、流域等為範

圍。目前所得資料均為行政區界，例如洪鴻智、劉怡君、與簡頌愷(2014)將鄉鎮單元的家戶所得作為流域災害脆弱度指標之一，或林文苑、洪啟東(2017)將村里單元的家戶所得作為災害脆弱度指標之一。而行政區界在偏遠地區即使是村範圍就很大，且不會與環境或天然資源範圍一致，需要經過轉換。鄉鎮或村里的所得資料來源都是綜合所得稅申報資料，但該資料與實際所得不盡相符。本研究希望驗證夜間燈光與國內生產毛額、縣市平均家戶收支的關係，希冀提供另一種具大範圍、高頻率且空間單元更精細的所得估計資料。

二、文獻回顧

回顧應用夜間燈光進行社會經濟指標估計的文獻，歸納這些研究使用的資料與估計的社經指標。遙測夜間燈光研究的發展初期，使用DMSP-OLS燈光數據做研究，多數將之應用在評估經濟發展與人口數方面。Lo (2002)使用了DMSP-OLS燈光數據分析了中國的非農業人口、國內生產毛額、建築面積以及用電量，在排除經濟特區城市的情況下，可得到準確度可接受的指標，算出中國的非農業人口，並利用了DMSP-OLS夜間圖像就可以確定中國的城市化情況，此研究說明了儘管DMSP-OLS的影像解析度較低(空間解析度: 約2700 m; 時間解析度: 年)，但DMSP-OLS燈光數據仍然可以為城市提供人口統計和社會經濟數據。Mellander et al. (2015)使用了DMSP-OLS燈光數據，並利用了瑞典詳細的住宅和工業分佈位置來進行地理加權，得出了夜間燈光可以很好的代表人口和企業密度，並且得出了DMSP-OLS燈光數據的飽和度問題會明顯地使研究結果出現偏差的結論，即使在經過調整飽和值的情況下，對經濟活動的估計仍然會有低估或高估的問題。Henderson et al. (2012)利用了DMSP-OLS燈光數據於一個實證模型來增強官方的經濟成長指標，來幫助數據品質較低的區域以及大多數的國家都無法獲得區域的生產毛額，使用燈光成長來衡量經濟成長，並將其應用到經濟分析，文中也提到只要在地球上有人居住的地方都可以關聯夜間燈光數據，比用電數據涵蓋更廣(許多國家無法獲得用電數據)。在2012年VIIRS燈光數據出現後，有越來越多的學者開始探討VIIRS和DMSP-OLS燈光數據在預測經濟活動上的強弱，Dai et al. (2017)利用了兩燈光數據在時間上的重疊，估計中國31個省以及341個城市的生產毛額做驗證，在31個省的驗證中DMSP-OLS燈光數據與VIIRS燈光數據皆有良好的估計程度，但在341個城市的驗證中，DMSP-OLS燈光數據因為飽和度問題以及影像解析度太差的原因使得估計結果不準確。同時該研究也指出在經濟主體依靠第一級產業的地區，GDP通常會被低估。因而，夜間燈光較少應用於人口少和人均產出較低的區域。Chen and Nordhaus (2015)使用VIIRS燈光數據對非洲的人口密度及生產毛額做估計，VIIRS燈光數據藉著較高的影像解析度成功地與人口密度呈現顯著地相關性，雖然其判定係數只有30%到40%，仍然不是一個理想的估算方法，但這項研究說明了VIIRS燈光數據可以為較小的經濟體提供一個新的數據參考。

Lopez-Ruiz et al. (2019)將燈光數據實際應用在政策分析上，特別的是該研究同時使用了DMSP-OLS與VIIRS燈光數據，取得了1992年到2017年的數據，估計了沙烏

地阿拉伯13個省的地區生產毛額，對沙烏地阿拉伯的經濟活動進行了區域劃分，提供13個地區良好的量化資料，例如以石油為主的區域總產值比以旅遊為主的區域高了70%左右，儘管沙烏地阿拉伯有季度就業統計數據，但夜間燈光使研究人員可以更清楚地了解各省的經濟結構，更重要的是該研究分析了2008-2009年和2014-2015年國際石油危機發生時，阿拉伯各省所受到的經濟影響以及這些區域經濟政策的影響，成功地研究出沙烏地阿拉伯為了舒緩2015年石油危機所發佈的經濟政策對所有地區都有顯著地影響性，該研究不僅證明了夜間燈光可以將一國的經濟產出做出良好的區域劃分，也成功的使用夜間燈光看出了經濟政策是否有影響效果。儘管燈光數據在預測GDP、人口密度等經濟活動擁有了良好的解釋能力，但若是我們想要預測經濟成長率時，Henderson et al. (2012)表示DMSP-OLS燈光數據對經濟成長率的彈性接近0.3，而Chen and Nordhaus (2019)指出燈光數據在預測經濟成長率僅有10%或是更低的解釋能力，這是因為GDP成長率的變化遠小於橫截面GDP的變化，若燈光與GDP的均方誤差較大時，會導致預測成長率的能力較低。

以上文獻皆使用夜間燈光年資料進行迴歸分析，但目前遙測資料可提供更高頻率的資料(如季、月)，且過去研究中主要進行單國長年數、多區域橫截面、與短年數多區域的追蹤資料(panel data)，少有月或季資料的時間序列分析，雖然已有研究出夜間燈光與人口、企業密度、分布、國家及區域生產毛額有密切的相關性，但文獻也發現不同區域因產業結構不同，夜間燈光的解釋力不同，因此我們需要驗證夜間燈光資料是否與台灣區域的經濟活動與所得有關。

三、研究方法與資料

本研究使用VIIRS資料的空間解析度約700 m與時間解析度為月(Liu et al., 2020)，欲驗證夜間燈光在年、月資料與所得相關。本研究關聯 (圖1)有下列數項: (1)利用夜間燈光月資料平均為季，再與GDP季資料進行分析，若我們可以得到夜間燈光與台灣GDP有顯著的相關，我們可以用夜間燈光月資料作為全國的生產毛額估計；(2)將夜間燈光月資料與失業率、家庭收支指標等月資料分析，實證夜間燈光與其他產業生產相關指標之關係；(3)將夜間燈光數據分割成各縣市的資料，將之與各縣市平均家戶收支做分析，以此得出夜間燈光數據是否能估計各縣市的平均家戶收支；(4)若夜間燈光可以估計平均家戶所得，將各縣市的夜間燈光資料月資料與治安案件數月資料做分析，確認所得與治安案件數的關係，以此證明夜間燈光數據可以使得台灣區域有一穩定且更新頻率高的資料可以做為經濟指標。以下分為四節。第一節說明VIIRS夜間燈光資料處理過程；第二節為社經資料介紹；第三節為資料特性分析，包括時間序列資料的單根檢定與共整合檢定。第四節為實證模型，驗證夜間燈光與國內生產毛額、縣市平均家戶收支的關係。



圖1 夜間燈光與區域經濟(全台灣與縣市尺度)研究概念圖

(一) VIIRS夜間燈光資料

在2011年時美國國家航空暨太空總署(NASA)和NOAA發射了裝有可見紅外成像輻射計套件系統 (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, 簡稱VIIRS) 的索米國家極地軌道夥伴衛星, 該衛星影像提供了日間與夜晚的波段 (Day/Night Band, 簡稱DNB), 其系統擁有良好的觀測夜間地球表面的能力, 在夜晚收集到的資料是來自地面上的城市燈光, 也同時記錄了其他與燈光無關的數據, 例如雜散光、閃電、生質燃燒等等。為了產生良好的夜間燈光資料, NOAA需要對DNB過濾。Elvidge et al. (2017)對VIIRS DNB排除了各種不必要的波長, 如雜散光、閃電、雲的干擾、生質燃燒等, 並且進行了時間平均以此得出了VIIRS夜間燈光數據的資料。Earth Observation Group 可以免費下載VIIRS燈光數據月資料以及年資料, 本研究使用排除了雜散光的燈光數據, 使得燈光的測量誤差不會過於影響實驗結果, 本研究使用VIIRS燈光數據的資料長度是從2012年4月到2020年11月, 共104個月, 下載的檔案格式為GeoTIFF格式, 是一種帶有地理坐標的影像格式, 空間解析度750公尺, 透過地理資訊系統 (Geographic Information System, 簡稱GIS)讀取圖檔內容, 而本研究使用ArcGIS Pro來處理圖檔內容。

夜間燈光圖檔範圍為全球, 使用ArcGIS Pro軟體的裁剪功能利用台灣行政界線圖將原始圖檔輸出成只有台灣的區域, 即可得到台灣VIIRS夜間燈光圖檔並且計算範圍內所有網格之總和值、平均等統計資料。各縣市的夜間燈光數據同樣使用台灣行政界線圖, 使用分割功能, 可以將台灣分成各縣市的圖檔資料, 同樣計

算其總和值、平均等統計資料，最後輸出即可得到各縣市的VIIRS夜間燈光數據月資料。經前述轉換後，夜間燈光資料變成一空間範圍內所有網格值，可以進行估計各種統計值，包括總和值、平均值、最大值、最小值、中位數以及變異數。因最大值多位於市中心區，使用最大值會使各縣市的數據會非常相近；最小值均位於無人居住的地區，使用最小值會使各縣市的數據皆接近於0；平均值、中位數會受到土地大小的影響，大面積的都市（如直轄市）中位數、平均值可能與小面積的都市（如省轄市）接近。本研究目的是尋找全國所得指標與縣市平均家戶收支，而這些數據與規模大小息息相關，因此使用地區夜間燈光的總和值來分析。過去的文獻也大多使用總和值，例如Lopez-Ruiz et al. (2019)便以總和值進行區域GDP估計。實證上也發現，總和值比起其他統計量解釋力更高。Lopez-Ruiz et al. (2019)曾經將VIIRS夜間燈光月資料加總平均成年資料，以此來獲得2012年到2017年的年資料以供經濟分析，而台灣GDP是季資料，本研究將台灣VIIRS燈光數據月資料每三個月加總平均為季資料，獲得2012年第二季到2020年第三季夜間燈光數據。

夜間燈光資料如表1所示。台灣月夜間燈光 (MNTL)、縣市2016年夜間燈光 (NNTL) 敘述統計置於附表1，各縣市月夜間燈光 (MCNTL) 的敘述統計置於附表2。

表 1 研究使用的夜間燈光資料

變數代號	變數說明	資料長度	樣本數
SNTL	全台灣季夜間燈光(以月資料平均)	2012 年第二季到 2020 年第三季	34
MNTL	全台灣月夜間燈光	2012 年 4 月到 2020 年 11 月	104
MCNTL	縣市月夜間燈光	2012 年 4 月到 2020 年 11 月	2,288
NNTL	縣市年夜間燈光(以月資料平均)	2013 年到 2020 年	176

(二) 社經資料介紹

欲探討VIIRS燈光數據台灣與台灣各縣市的應用能力，所以使用了台灣的實質國內生產毛額、家庭收支指標、失業率，實質國內生產毛額與失業率另計算成長率，

所有變項如表2所示；在縣市方面使用家庭收支指標中的平均每戶可支配所得、平均每戶消費支出及治安案件總數，如表3所示，並說明如下：

1. 實質國內生產毛額：資料來源為行政院主計處。實質國內生產總額是指衡量一國國內在某特定期間內所生產最終物品和勞務，以某一期物價計算之市場總價值。實質GDP以基期的價格水準加以計算，排除通貨膨脹的影響。本研究取用2012年第二季到2020年第三季，共34季的資料。
2. 工業生產指數：資料來源為行政院主計處。工業生產指數是反映工業發展速度的指標。工業生產指數是用加權算術平均數編製的工業產出指數，可衡量製造業、礦業及公用事業的實質總產出。調查範圍包括礦業、製造業、水電燃氣及房屋建築業等4大行業，由當前工業生產結構中，選取最具有代表性的產品，每月調查其生產量、銷售量及存貨量，且以指數型式表現工業產銷量值的變動，目前係以2016年為基期，編成各類定基指數。本研究取用2012年4月到2020年11月的資料，共104個月。
3. 失業率：資料來源為行政院主計處。失業率是指失業人口占勞動人口的比率。本研究取用2012年4月到2020年11月的資料，共104個月。
4. 家庭收支指標：資料來源為行政院主計處，行政院主計處每年進行一次抽樣，採分層二段隨機抽樣方法，以村里為第一段抽樣單位，村里內為第二段抽樣單位。調查內容為家庭收支、家庭現代化設備、平均每人每年可支配所得、平均每人居住面積（坪）、飲食費及平均每戶書報雜誌文具支出占消費支出比率等。本研究使用家庭收支中的平均每戶可支配所得及平均每戶消費支出進行分析。
5. 治安案件總數：資料來源為內政部警政署，該資料統計了各縣市每個月的暴力犯罪數、竊盜數、傷害數、詐欺等等與治安相關的事項，本研究用來代表各縣市的治安情況。本研究取用2012年4月到2020年11月的資料，共104個月。

實質國內生產毛額、失業率均為全國資料，故為時間序列資料(time series data)；平均每戶可支配所得及平均每戶消費支出為各縣市民國102年至民國111年資料，即為追蹤資料；治安案件總數為各縣市每月資料，亦為追蹤資料。以上資料之敘述統計置於附表3與4。

表 2 研究使用的全台灣經濟資料

變數代號	變數說明	時間頻率	資料長度	樣本數
GDP	實質國內生產毛額	季資料	2012 年第二季到	34
	GDP(千元)		2020 年第三季	

GDP%	實質 GDP 成長率 (經濟成長率)	季資料	2012 年第二季到 2020 年第三季	33
UR	失業率	月資料	2012 年 4 月到 2020 年 11 月	104
UR%	失業率成長率	月資料	2012 年 5 月到 2020 年 11 月	103
IPI	工業生產指數	月資料	2012 年 4 月到 2020 年 11 月	104

表 3 研究使用的台灣各縣市社經資料

變數代號	變數說明	時間頻率	資料長度	樣本數
DP	縣市平均家戶可支 配所得	月資料	2013 年到 2020 年	176
C	縣市平均家戶消費 支出	月資料	2013 年到 2020 年	176
PS	縣市治安案件總數	月資料	2012 年 4 月到 2020 年 11 月	2,288

(三) 資料特性分析

將2012年第二季到2020年第三季台灣本島夜間燈光加總值與實質GDP作圖(圖2)，可看出兩者有共同的成長趨勢，但若要實證夜間燈光資料與台灣的區域生產毛額相關，必須再進一步使用具有真實值(調查統計)的行政區域，如台灣或台灣的縣市進行資訊處理與實證模型分析。

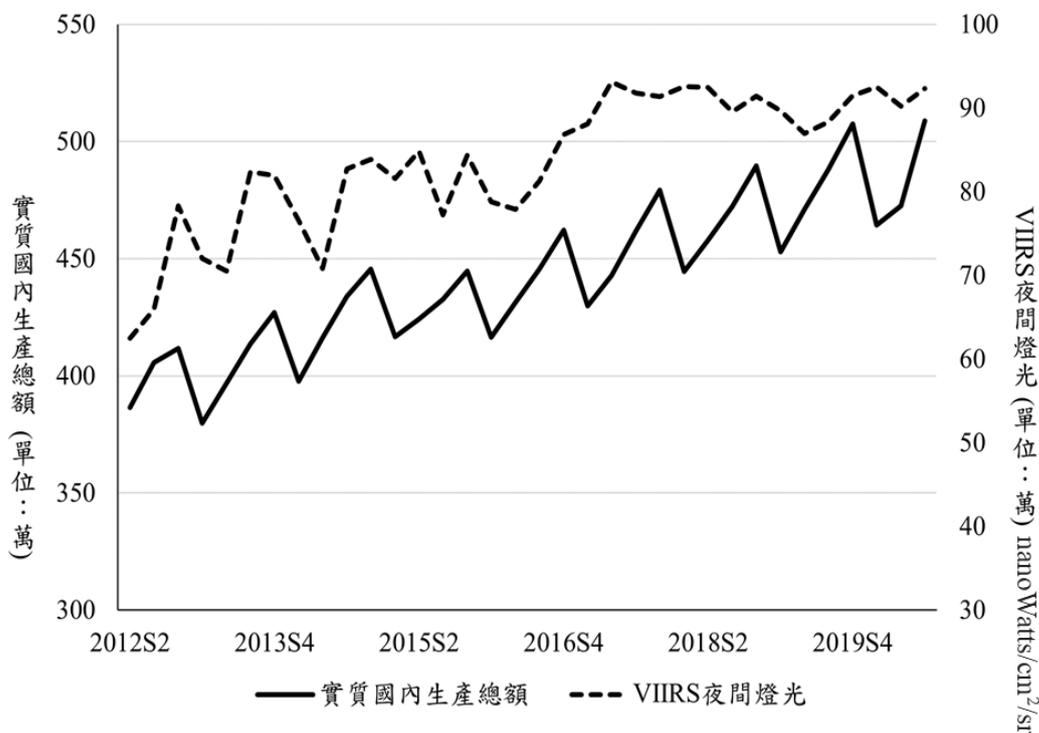


圖2 實質國內生產總額與夜間燈光時間序列圖

台灣層級的時間序列資料，進行迴歸分析前，先判定是否定態(Stationary)。本研究以STATA作為分析工具，先使用Augmented Dickey-Fuller Test, ADF單根檢定確認資料是否為定態資料，並根據其結果對資料作處理，最後使用最小平方法(Ordinary least squares, OLS) 檢驗夜間燈光與台灣GDP以及其他資料的關係。

1.單根檢定

在時間序列的資料中，分為定態資料及非定態資料，定態的時間序列資料代表其平均數是一個固定的常數值，且變異數不會隨著時間改變，而非定態的時間序列資料其平均數與變異數會隨著時間而改變。一般的統計分析，如迴歸，都是建立在時間序列為定態的假設下分析。本研究使用Said and Dickey (1984)提出了Augmented Dickey-Fuller Test (ADF檢定)，模型如下，若 Y_t 為時間序列資料， β 為迴歸係數， α 為截距項， μ_t 是誤差項， T_t 為時間趨勢項：

模式1：無截距項且無時間趨勢項之模型：

$$\Delta Y_t = \beta Y_{t-1} + \sum_{i=0}^k C_i \Delta Y_{t-1} + \mu_t \quad (1)$$

模式2：包含截距項之模型：

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta Y_{t-1} + \sum_{i=0}^k C_i \Delta Y_{t-1} + \mu_t \quad (2)$$

模式3：包含截距項及時間趨勢項之模型：

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta Y_{t-1} + \sum_{i=0}^k C_i \Delta Y_{t-1} + T_t + \mu_t \quad (3)$$

ADF檢定中允許同值的殘差和白噪音的性質，該檢定的虛無假設為時間序列資料為非定態資料，對立假設是時間序列資料為定態資料，因為我們需要拒絕虛無假設才可以進行後續的分析，若無法拒絕虛無假設，才代表該資料為非定態資料，本研究將進一步探討變數之間的共整合關係，若變數間存在共整合關係，則代表變數間的線性組合能使原始非定態的時間數列達成定態狀態。結果如表4所示。

表 4 各變數 ADF 單根檢定結果(原始值)

變數代號	變數說明	檢定方程式	落後期數	P 值	型態
SNTL	台灣季夜間燈光	(3)	2	0.4933	非定態
GDP	實質國內生產總額	(3)	3	0.8678	非定態
MNTL	台灣月夜間燈光	(3)	2	0.0009	定態
MNTL_dt	去除時間趨勢之台灣 月夜間燈光	(2)	2	0.0001	定態
UR	失業率	(3)	2	0.136	非定態
UR_dt	去除時間趨勢之失業 率	(2)	2	0.0337	定態
IPI	工業生產指數	(3)	2	0.0144	定態

由於本研究所使用的時間序列資料皆具有截距項與線性趨勢，因此我們必須選用含截距項且時間趨勢的模型進行單根檢定，變數落後期的選擇以Schwarz Info Criterion (SIC) 為準則。利用STATA統計軟體呈現ADF單根檢定結果如表4所示，當變數在原始值時，在5%的顯著水準下，失業率、台灣季夜間燈光、實質國內生產總額的p-value值皆大於0.05，代表三者為非定態資料。台灣月夜間燈光、工業生產指數則為定態。在月資料方面，僅失業率為非定態，若與月夜間燈光迴歸恐有假性迴歸的可能。為了避免這種可能，採用去除固定趨勢的方法，估計固定趨勢模型(與時間迴歸)後，得到殘差序列，即去除時間趨勢之變數。因而得到去除時間趨勢的台灣月夜間燈光及失業率。再對這兩者進行單根檢定可以發現均為定態，我們可以直接進行迴歸分析。在季資料方面，台灣季夜間燈光、實質國內生產總額均為非定態變數，有可能具有共整合關係，故

先進行一階差分消除時間趨勢，ADF單根檢定結果如表5所示，在5%的顯著水準下，經過一階差分後的兩變數為定態資料。

表 5 各變數 ADF 檢定結果(一階差分)

變數代號	變數說明	檢定方程式	落後期數	P 值	型態
Δ SNTL	經一階差分之台灣 季夜間燈光	(2)	1	0.0000	定態
Δ GDP	經一階差分之實質 國內生產總額	(2)	2	0.0000	定態

2. 共整合檢定

共整合的概念是由Engle and Granger (1987)所提出，目的在研究非定態時間序列間的長期關係，若兩變數是非定態的時間序列，其線性組合也會屬於非定態的數列，但變數之間存在某些經濟關係，使其存在一種線性組合是屬於定態的時間序列，才稱兩變數具有共整合關係。在經過上一節所進行的單根檢定，我們知道了各變數的整合階次，由於台灣季夜間燈光、實質國內生產總額皆為I(1)變數，整合階次相同，故可以進行共整合檢定，本研究使用的共整合檢定法為Johansen最大概似法。利用STATA統計軟體呈現檢定結果如表6所示。從表中可得知在 $r = 0$ 時，其特徵根估計值大於5%的顯著水準，代表拒絕虛無假設，兩變數之間可能有一個共整合關係，在 $r \leq 1$ 時，特徵根估計值小於5%顯著水準，無法拒絕虛無假設，兩變數之間有一個共整合關係，得知台灣_季夜間燈光與實質國內生產總額有共整合關係，我們可以直接進行迴歸分析，不會發生虛假迴歸的問題。

表 6 夜間燈光(SNTL)與 GDP 共整合檢定結果

最大特性根檢定		樣本數 = 32	
樣本期間：2012q4 – 2020q3		落後期 = 2	
秩	最大特性根檢定量	5% 臨界值	結論
$r = 0$	18.9405	15.41	拒絕虛無假設
$r \leq 1$	2.7476	3.76	無法拒絕虛無假設

(四) 實證模型

實證模型分為全台灣與縣市兩種尺度。全台灣(六個Model): 全台灣VIIRS夜間燈光季平均資料與真實值台灣季GDP分析其相關性。其次，將夜間燈光月資料與同為月資料的失業率及工業生產指數分析相關性，驗證VIIRS夜間燈光作為全國所得指標的可用性。縣市(三個Model): (1)縣市VIIRS夜間燈光年平均資料，再(2)與家庭收支指標中的平均每戶可支配所得及平均每戶消費支出作迴歸分析，驗證VIIRS能代表各縣市的經濟活動。最後，(3)將VIIRS燈光數據與各縣市的治安案件總數作分析，探討經濟活動對治安的影響。

1. 台灣實證模型

為了觀察VIIRS燈光數據和GDP的關係，其Model 1模型設定如下：

$$GDP_t = \alpha + \beta_1 SNTL_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

GDP_t 為實質台灣GDP； $SNTL_t$ 為VIIRS夜間燈光季資料， ε_t 為誤差項。為了觀察VIIRS燈光數據是否可以估計台灣的GDP成長率，因此在第二個模型Model 2中，我們將VIIRS燈光數據與GDP更換成其各自的成長率，其模型設定如下：

$$GDP\%_t = \alpha + \beta_1 SNTL\%_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

$GDP\%_t$ 為實質台灣GDP成長率； $SNTL\%_t$ 為VIIRS燈光數據季資料的成長率， ε_t 為誤差項。

若以VIIRS燈光數據與台灣失業率做分析，以往GDP與失業率往往是負相關，若我們能得到燈光數據與失業率也是負相關，則更可以確認VIIRS燈光數據在經濟上的可用性，因此Model 3模型設定如下：

$$UR_t = \alpha + \beta_1 MNTL_t + \varepsilon_t \quad (6)$$

UR_t 為失業率； $MNTL_t$ 為VIIRS燈光數據月資料， ε_t 為誤差項，因為兩者數值差距過大，我們將VIIRS燈光數據月資料改為每百萬為一單位。

由於燈光月資料為定態資料，失業率為非定態資料，進行迴歸分析有假性迴歸的可能性，因此Model 4將兩者去除時間趨勢後，成為定態資料，我們對兩者再進行迴歸分析，其模型設定如下：

$$UR_dt_t = \alpha + \beta_1 MNTL_dt_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

UR_dt_t 為去除時間趨勢後的失業率； $MNTL_dt_t$ 為去除時間趨勢後的VIIRS燈光數據月資料， ε_t 為誤差項。

Model 5將失業率與夜間燈光取其成長率也可以將資料皆轉為定態資料，同時也可以評估夜間燈光成長率是否可以應用於經濟分析，其模型設定如下：

$$UR\%_t = \alpha + \beta_1 MNTL\%_t + \varepsilon_t \quad (8)$$

$UR\%_t$ 為失業率的成長率； $MNTL\%_t$ 為VIIRS燈光數據月資料的成長率， ε_t 為誤差項。Model 6分析VIIRS夜間燈光數據與台灣工業生產指數，其模型設定如下：

$$IPI_t = \alpha + \beta_1 MNTL_t + \varepsilon_t \quad (9)$$

IPI_t 為工業生產指數； $MNTL_t$ 為VIIRS燈光數據月資料， ε_t 為誤差項。因為兩者數值差距過大，我們將VIIRS燈光數據月資料改為每百萬為一單位。

2. 縣市實證模型

首先利用各縣市VIIRS夜間燈光數據與各縣市平均家戶可支配所得及平均家戶消費支出作分析，欲分析VIIRS夜間燈光數據對此兩項家庭收支指標是否有關係。對於VIIRS夜間燈光數據對各縣市平均家戶可支配所得是否有關係，將Model 7模型設定如下：

$$DP_{i,t} = \alpha + \beta_1 NTL_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (10)$$

$DP_{i,t}$ 為各縣市平均家戶可支配所得； $NTL_{i,t}$ 為民國102年至民國109年各縣市VIIRS夜間燈光數據； $\varepsilon_{i,t}$ 為誤差項； i 為台灣各縣市。為了瞭解VIIRS夜間燈光數據對各縣市平均家戶消費支出是否有關係，將Model 8模型設定如下：

$$C_{i,t} = \alpha + \beta_1 NTL_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (11)$$

$C_{i,t}$ 為各縣市平均家戶消費支出； $NTL_{i,t}$ 為民國102年至民國109年各縣市VIIRS夜間燈光數據； $\varepsilon_{i,t}$ 為誤差項； i 為台灣各縣市。

經濟成長、所得不均與犯罪之關聯性研究由來已久，近期如Anser et al. (2020)便是一例，查其引用文獻，從2000年左右就有許多計量研究探討此問題。假如前述的結果顯示夜間燈光可以估計縣市產業生產總額，而其為縣市生產毛額之一定比例，則夜間燈光可以為縣市所得指標。連續一段時間的所得資料也能表達經濟成長的效果，故本研究將VIIRS燈光數據與治安案件總數作分析，延伸探討縣市所得是否會影響治安情況，其Model 9模型設定如下：

$$PS_{i,t} = \alpha + \beta_1 MCNTL_{i,t} + CITY + TIME + \varepsilon_{i,t} \quad (12)$$

$PS_{i,t}$ 為各縣市的治安案件總數； $MCNTL_{i,t}$ 為各縣市的VIIRS燈光數據月資料； $\varepsilon_{i,t}$ 為誤差項； i 為台灣各縣市； t 為時間；CITY 為各縣市的虛擬變數，捕捉各縣市的固定效果；TIME 為時間趨勢項。

四、實證結果

以下分為兩個部份，第一部分為台灣實證分析結果，說明VIIRS夜間燈光數據在台灣生產毛額上應用能力；第二部份為縣市實證分析結果，說明VIIRS夜間燈光數據在各縣市平均家戶收支代表能力，以及其應用於治安案件數上的效果。

(一) 台灣實證分析結果

首先是VIIRS夜間燈光與國內生產毛額的關係，Model 1 為實質值及Model 2為成長率，迴歸結果如表7。在Model 1中觀察到季資料的夜間燈光與國內生產總額有明顯的正相關，與過往的文獻中提到的相同，夜間燈光足以反映了公共照明以及商業照明，且台灣的產業結構的二、三級產業共占了大宗，這使夜間燈光對台灣經濟活動估計具有解釋能力，但解釋力約67%，可能的原因一是部分縣市經濟主體依靠

第一級產業，Dai et al. (2017)認為這種區域的GDP會被低估，或是夜間燈光無法分辨出光源所產生的產值。在Model 2，夜間燈光成長率與GDP成長率並沒有顯著相關，因為夜間燈光在估計GDP時一定會有些許誤差，這些誤差會導致我們沒有辦法使用夜間燈光去分析變化較小的經濟成長率。透過上面夜間燈光季資料的分析，研究得知燈光有很好的所得代表性，再來我們利用VIIRS夜間燈光原始的月資料來當作自變數，分析其與台灣失業率及工業生產指數等月經濟資料的關係，迴歸結果如表8。

表 7 夜間燈光與台灣國內生產毛額季資料迴歸結果

	Model 1	Model 2
	GDP	GDP%
SNTL	3.253*** (0.408)	
SNTL%		0.236 (0.122)
常數項	1,702,024.9*** (342732.09)	0.006 (0.008)
樣本數	34	33
判定係數	0.665	0.107

註 1：括號內為標準差

註 2：分別以*、**及***代表 5%、1%及 0.1%的顯著水準

由文獻知道 GDP 與失業率是負相關，從 Model 3 的結果得知，夜間燈光與失業率也是顯著地負相關，這代表夜間燈光有一定的總體經濟代表能力，但因為本研究使用的失業率資料期間為非定態資料，因此迴歸結果可能為假性迴歸。在 Model 4 中我們將兩者去除時間趨勢，結果顯示夜間燈光仍然與失業率呈顯著負向關係，代表了夜間燈光可以應用於總體經濟分析上。在 Model 5 中我們將兩者取成長率再進行一次分析，發現夜間燈光成長率與失業率成長率沒有顯著相關，原因可能是失業率變化率趨近於零，此外，夜間燈光成長率與 GDP 成長率也沒有顯著相關，表示在變化率方面，夜間燈光解釋力不足。Model 6 中，夜間燈光與工業生產指數為顯著正相關，工業生

產指數反映了工業的發展速度，在工業發展快速時，可能有夜間加班生產，或是生產增加帶動薪資增加，進而使夜間的消費活動增加。因此 Model 4 與 Model 6 顯示出了夜間燈光月資料也同樣有代表總體經濟活動指標的能力。

表 8 台灣月資料迴歸結果

	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
	UR	UR_dt	UR%	IPI
MNTL%			0.01 (0.022)	
MNTL	-0.133*** (0.002)			0.575*** (0.086)
MNTL_dt		-0.005*** (0.002)		
常數項	5.015*** (0.145)	-2.16e-10 (0.014)	-0.001 (0.002)	54.318*** (7.216)
樣本數	104	104	103	104
判定係數	0.37	0.04	0.002	0.306

註 1：括號內為標準差

註 2：分別以*、**及***代表 5%、1%及 0.1%的顯著水準

註 3：VIIRS 夜間燈光以百萬為計

(二) 縣市實證分析結果

將民國 102 到民國 105 年各縣市 VIIRS 夜間燈光月資料平均為年資料，並將平均家戶可支配所得與平均家戶消費支出兩項指標以民國 102 年之消費者物價指數(Consumer Price Index, CPI)作平減後進行迴歸分析，迴歸結果如表 9。從表 9 的結果可以發現在使用固定效果模型下各縣市夜間燈光與各縣市平均家戶可支配所得、平均家戶消費支出有顯著的正相關，因此可使用夜間燈光資料作為各縣市的家庭收支指標。

表 9 Model 7 與 8 迴歸結果

	Model 7		Model 8	
	平均每家戶可支配所得		平均每家戶消費支出	
NTL	0.0390***	NTL	0.0317***	
	(0.00909)		(0.00675)	
常數項	8,051***	常數項	6,040***	
	(353.2)		(262.4)	
樣本數	176	樣本數	176	
判定係數	0.107	判定係數	0.126	
縣市數量	22	縣市數量	22	

註 1：分別以*、**及***代表 5%、1%及 0.1%的顯著水準

由於經濟條件與犯罪常有關連，以下以各縣市 2012 年 4 月到 2020 年 11 月夜間燈光代表其經濟活動分析與治安案件數之關係(即 Model 9)，迴歸結果如表 10，不論是縣市固定效果模型或隨機效果模型夜間燈光與時間均為負顯著。Hausman 檢定下判定，固定效果模型最為適當，因此下列以固定效果模型的迴歸結果解釋夜間燈光與治安案件的關係。時間與治安案件數呈現顯著的負相關，代表治安案件數隨著時間而減少，本研究所關注的夜間燈光與治安案件數的關係，兩者呈現負相關，可能的原因有兩個：一是重大犯罪大多在晚上，隨著夜間燈光的增加，抑制了罪犯的發生，這個可能性已經於美國紐約的實驗證實(Chalfin et al. 2022)。二是根據夜間燈光與產業生產總額正相關，所得提升降低了罪犯的可能，這個可能性於中國資料證實，Dong et al. (2020)亦發現貧窮與低所得會增加犯罪率，而非所得不均。

表 10 Model 9 迴歸結果

	固定效果模型	隨機效果模型
MCNTL	-0.00269*** (0.00042)	-0.002*** (0.0004)
TIME	-1.940*** (0.0987)	-2.01*** (0.099)
常數項	365.6*** (16.46)	548.83*** (57.87)
樣本數	2,288	2,288
判定係數	0.224	0.223
Hausman 檢定統計量	66.82	

註 1：分別以*、**及***代表 5%、1%及 0.1%的顯著水準

註 2：括號內為標準差

註 3：Hausman 檢定在 0.5%檢定水準下判定，以固定效果模型最為適當

五、結論與建議

過去研究使用夜間燈光於經濟發展、人口估計等獲得不錯的成果，也開始有研究以夜間燈光作為所得或整體經濟活動的指標，探討政策對經濟體的影響，然而，過去研究中鮮少針對其月或季資料之時間序列分析。本研究使用了2012年開始的VIIRS夜間燈光月資料，搭配台灣總體經濟指標及各縣市的經濟與治安案件數進行分析，實證以夜間燈光作為國內生產毛額、縣市平均家戶收支指標之可行性。

本研究分為全台灣與台灣各縣市資料兩種尺度探討。本研究目的在以夜間燈光作為區域生產毛額、平均家戶收支，分析後採用區域內燈光值總和進行迴歸，可歸納幾點：（一）以VIIRS夜間燈光月資料平均為季資料，以與真實值台灣國內生產毛額季資料進行迴歸分析，可發現具顯著正相關。（二）以夜間燈光月資料與原為月資料的總體經濟指標-失業率與家庭收支指標進行迴歸分析，亦可發現顯著相關，故VIIRS夜間燈光可以作為一種月頻率的台灣總體經濟指標。（三）以各年縣市的夜間燈光月資料平均為年資料，與各縣市平均家戶可支配所得及平均家戶消費支出進行迴歸分析，並發現具有顯著正相關，表示夜間燈光月資料可以代表各縣市的家庭收支指標。（四）使用縣市VIIRS夜間燈光月資料與治安案件總數進行迴歸分析，在縣

市固定效果模型下，夜間燈光的係數顯著為負，可能的原因是治安事件較常發生於黑暗少人區域，且所得較高或經濟活動較活躍的地區居民較少犯罪，但由於經濟成長率、失業率變化率變化較小，無法使用夜間燈光成長率進行預測。

以台灣為例，夜間燈光雖然與GDP有顯著正相關，但仍未可被充分解釋，可能的原因一是部分縣市經濟主體依靠第一級產業，這種區域的GDP會被低估，其他可能原因是夜間燈光無法分辨到光源所產生的產值，例如：生產電子組件與生產服飾，兩個亮度值可能相同，但產值卻大大不同，因此造成估計誤差，未來可進一步細分不同縣市(區域)或不同情況來討論，考量各縣市(區域)各別的差異，建立區域模型，或是以多時期燈光資訊進行長期經濟活動分析，若未來有更精確的納入其他的解釋變項。亦可應用於評估如災害影響或可進一步探討夜間燈光與土地利用區分類之關係等，操作上，可排除以第一級產業為主的縣市、鄉鎮，或是配合國土利用調查資料再進行估計。此外，若要辨別細部的經濟活動與不同產業之產值，未來也可搭配高空載台與先進感測器蒐集高時空解析度之夜間燈光資料。

致謝

作者們感謝國立成功大學經濟學系林姿妤副教授對本研究提出的數項建議。文中論點僅代表作者之立場，如有任何疏漏及謬誤，概由作者負責。

附錄

附表1. 台灣夜間燈光總和值敘述統計表 (unit: nanoWatts/cm²/sr)

	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
MNTL	104	836,671.8	91,390.64	514,450.8	1,006,016
NTL	176	38,600.96	34,203.86	328.22	124,891.5

附表2. 縣市夜間燈光月資料敘述統計表 (unit: nanoWatts/cm²/sr)

	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
台中市	104	89,563.43	12,364.08	53,416.40	112,519.41
台北市	104	39,198.02	5,885.09	15,061.88	48,806.48
台東縣	104	11,390.21	5,953.47	4,362.91	58,586.00
台南市	104	89,971.90	13,306.32	54,658.97	111,513.51
宜蘭縣	104	21,181.79	4,107.21	9,875.13	28,433.56
花蓮縣	104	18,662.49	4,656.49	10,027.11	27,983.81
金門縣	104	4,398.58	760.69	1,274.09	6,172.09
南投縣	104	28,099.43	7,932.84	12,252.11	48,673.24
屏東縣	104	37,212.07	7,448.90	16,653.02	54,518.21
苗栗縣	104	26,386.39	3,382.43	15,704.97	32,468.86
桃園市	104	86,180.07	10,955.72	51,694.31	106,068.09
基隆市	104	114,965.61	12,464.72	61,361.79	137,359.71
高雄市	104	8,064.92	1,556.36	2,266.22	10,458.43
連江縣	104	408.38	126.25	77.11	639.51
雲林縣	104	40,711.81	5,363.63	23,968.67	50,297.88
新北市	104	69,920.94	9,521.63	34,100.60	91,805.36
新竹市	104	9,966.45	1,453.08	2,694.46	12,509.90
新竹縣	104	23,274.03	3,924.85	10,496.35	30,086.62
嘉義市	104	6,868.30	1,371.78	3,751.43	9,453.92
嘉義縣	104	29,410.02	4,377.33	16,894.97	37,852.02
彰化縣	104	76,382.92	11,133.82	44,945.67	97,646.97
澎湖縣	104	3,744.33	854.90	1,526.72	5,729.21

附表 3. 社經資料敘述統計表

	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
GDP	34	4,420,977	329,592.7	3,798,607	5,088,208
DP	176	9,556.79	1,757.98	6,507.39	14,554.58
C	176	7,265.03	1,574.799	4,430.575	11,789.09
UR	104	3.896	.201	3.62	4.40
IPI	104	102.398	9.498	76.99	123.81

附表 4. 縣市治安案件總數月資料敘述統計表

	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
台中市	104	743.5	225.3	382	1,642
台北市	104	1,163.1	145.1	778	1,517
台東縣	104	56.5	19.0	23	135
台南市	104	801.6	165.7	502	1,217
宜蘭縣	104	180.9	37.2	98	326
花蓮縣	104	142.2	33.7	82	265
金門縣	104	26.9	10.3	11	78
南投縣	104	188.1	37.4	101	327
屏東縣	104	228.8	58.5	111	412
苗栗縣	104	178.1	61.5	78	448
桃園市	104	582.0	186.8	266	1,418
基隆市	104	140.6	29.5	90	240
高雄市	104	1,057.8	381.1	583	2,338
連江縣	104	3.1	2.7	0	15
雲林縣	104	193.4	34.9	114	334
新北市	104	1,337.1	401.4	559	2,456
新竹市	104	172.4	50.1	61	300
新竹縣	104	201.3	52.5	102	417
嘉義市	104	111.5	27.2	64	173
嘉義縣	104	163.3	31.8	102	269
彰化縣	104	372.7	54.9	263	586
澎湖縣	104	31.5	8.6	10	58

參考文獻

- 林文苑、洪啟東 (2017)。台灣本島網格化災害脆弱度空間分佈評估與 OWA 分析應用。地理學報 87: 39-78。
- 洪鴻智、劉怡君、簡頌愷 (2015)。河川流域颱風災害損失與地區脆弱度：莫拉克颱風為例。地理學報 74: 87-106。
- 楊承翰(2019)。結合開放街圖與夜間燈光影像於高解析度人口密度估計。國立成功大學測量及空間資訊系碩士論文。
- Anser, Muhammad Khalid, Zahid Yousaf, Abdelmohsen A. Nassani, Saad M. Alotaibi, Ahmad Kabbani, and Khalid Zaman. 2020. Dynamic Linkages Between Poverty, Inequality, Crime, and Social Expenditures in a Panel of 16 Countries: two-step GMM Estimates. *Journal of Economic Structures* 9 (1): 43.
<https://doi.org/10.1186/s40008-020-00220-6>.
- Chalfin, Aaron, Benjamin Hansen, Jason Lerner, and Lucie Parker. 2022. Reducing Crime Through Environmental Design: Evidence from a Randomized Experiment of Street Lighting in New York City. *Journal of Quantitative Criminology* 38: 127–157. <https://doi.org/10.1007/s10940-020-09490-6>.
- Chen, Xi, and William Nordhaus. 2015. A Test of the New VIIRS Lights Data Set: Population and Economic Output in Africa. *Remote Sensing* 7 (4): 4937-4947.
<https://doi.org/10.3390/rs70404937>.
- Chen, Xi, and William D. Nordhaus. 2019. VIIRS Nighttime Lights in the Estimation of Cross-Sectional and Time-Series GDP. *Remote Sensing* 11 (9): 1057.
- Dai, Zhaoxin, Yunfeng Hu, and Guanhua Zhao. 2017. The Suitability of Different Nighttime Light Data for GDP Estimation at Different Spatial Scales and Regional Levels. *Sustainability* 9 (2): 305.
- Dong, Baomin, Peter H. Egger, and Yibei Guo. 2020. Is Poverty the Mother of Crime? Evidence from Homicide Rates in China. *PloS one* 15 (5): e0233034-e0233034.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233034>.
- Elvidge, Christopher D., Kimberly Baugh, Mikhail Zhizhin, Feng Chi Hsu, and Tilottama Ghosh. 2017. VIIRS Night-time Lights. *International Journal of Remote Sensing* 38 (21): 5860-5879. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1342050>.
- Engle, Robert F., and C. W. J. Granger. 1987. Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica* 55 (2): 251-276.
<https://doi.org/10.2307/1913236>.
- Henderson, J. Vernon, Adam Storeygard, and David N. Weil. 2012. Measuring Economic Growth from Outer Space. *American Economic Review* 102 (2): 994-1028.
<https://doi.org/10.1257/aer.102.2.994>.

- Liu, H., Luo, N., & Hu, C. 2020. Detection of county economic development using LJ1-01 nighttime light imagery: a comparison with NPP-VIIRS data. *Sensors*, 20(22), 6633.
- Lo, C. P. 2002. Urban Indicators of China from Radiance-Calibrated Digital DMSP-OLS Nighttime Images. *Annals of the Association of American Geographers* 92 (2): 225-240. <https://doi.org/10.1111/1467-8306.00288>.
- Lopez-Ruiz, Hector, Jorge Blazquez, and Fakhri Hasanov. 2019. *Estimating Saudi Arabia's Regional GDP Using Satellite Nighttime Light Images*. The King Abdullah Petroleum Studies and Research Center (KAPSARC) (Riyadh, Saudi Arabia).
- Mellander, Charlotta, José Lobo, Kevin Stolarick, and Zara Matheson. 2015. Night-Time Light Data: A Good Proxy Measure for Economic Activity? *PLOS ONE* 10 (10): e0139779. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139779>.
- Said, E. Said, and David A. Dickey. 1984. Testing for Unit Roots in Autoregressive-Moving Average Models of Unknown Order. *Biometrika* 71 (3): 599-607. <https://doi.org/10.2307/2336570>.

進階式兩階段流動搜尋法及其應用：以臺中市醫療可 及性分析為例

招博允¹ 張智安^{2*} 史天元²

論文收件日期：112.07.01

論文修改日期：112.10.19

論文接受日期：112.11.02

摘 要

空間可及性分析是指評估從一個特定位置到達服務設施（例如工作地點、公共設施、醫療資源等）的難易程度。透過空間可及性分析，可以檢視供應端所提供服務的程度，並量化不同空間位置的可及性。本研究的目標是分析臺中市醫療資源的可及性，研究中採用村里邊界、大型醫院、衛生所和路網等公開資料集，並應用進階式兩階段流動搜尋法進行分析。步驟包括建立村里中心點坐標、建立醫療設施位置坐標、計算起點至終點的距離矩陣，以及進行進階式兩階段流動搜尋法的供給面和需求面分析。依據本研究實驗材料之臺中市醫療資源可及性分析成果，距離市中心越遠，醫療資源的可及性越低，大部分缺乏醫療資源的村里位於偏遠的郊區和山區地區。

關鍵詞：空間可及性、進階式兩階段流動搜尋法、醫療可及性分析

1 碩士，國立陽明交通大學土木工程學系

2 教授，國立陽明交通大學土木工程學系。

* 通訊作者，TEL：(03)5712121 轉 54929，E-mail: tateo@nycu.edu.tw。

Enhanced Two-Step Floating Catchment Area Method and Its Application: A Case Study of Healthcare Accessibility Analysis in Taichung City

Po-Yun Chao¹, Tee-Ann Teo^{2*}, Tian-Yuan Shih²

Abstract

Spatial accessibility analysis refers to evaluating the ease of reaching service facilities (such as workplaces, public amenities, healthcare resources) from a specific location. Through spatial accessibility analysis, the extent of services provided by the supply side can be examined and the accessibility of different spatial locations can be quantified. This study aims to analyze the accessibility of healthcare resources in Taichung City. Public datasets including village boundaries, major hospitals, clinics, and road networks were utilized, and an enhanced two-step floating catchment area method (E2SFCA) method was applied for the analysis. The steps involved establishing the coordinates of village centroids, and healthcare facility locations, computing the distance matrix from origins to destinations, and conducting supply-side and demand-side analyses using the E2SFCA method. Based on the results of the accessibility analysis of healthcare resources in Taichung City using the experimental materials in this study, it was found that the longer the distance from the city center, the lower the accessibility of healthcare resources, with a majority of underserved villages located in remote suburban and mountainous areas.

Keywords: accessibility of healthcare, E2SFCA, spatial accessibility

1 Master, Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University

2 Professor, Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University

* Corresponding author, TEL : +886-3-5712121 #54929, E-mail: tateo@nycu.edu.tw

一、前言

醫療資源的探討具有多重面向，其中之一是從空間資訊的觀點進行分析。透過利用地理資訊系統分析，可探討醫療資源的空間可及性(spatial accessibility) (Guagliardo, 2004)，並評估使用者對醫療服務設施的空間接近程度。空間可及性是指使用者能夠方便地接觸到所需的醫療資源的程度。這包括醫院、診所、藥局和其他醫療設施的分佈情況、距離和交通連通性等因素。通過使用 GIS 技術，可將醫療資源的地理位置和相關資訊進行空間化，並可以計算出使用者生活中醫療資源服務設施的空間接近程度。這種分析通常基於使用者的居住地點，以及醫療設施之間的距離和可行的交通路線。以提供定量的指標，如平均距離、平均交通時間或者其他相關指標，以評估醫療資源的可及性。透過空間可及性的分析，可以識別出醫療資源分佈不均的地區，以及可能存在的醫療服務不足的問題。分析成果可做為政府和醫療機構制定相應的政策和計劃，以改善醫療資源的分配和提高可及性。

在探討醫療資源的遠近時，傳統上使用地理資訊系統的路徑分析，計算居民與醫療服務機構之間的最短時間或是最短距離(Su et al., 2022)。此方法在資源較為貧乏的鄉村地區適用程度較高，主要因為醫療服務機構在鄉村地區數量少，居民只有少數的選擇，故問題的複雜度較低；但在醫療服務提供密集的都市地區，僅考量最短距離可能不完全適用，因並未考慮到都市地區內在相近的通勤時間及距離內，可能會有多家醫療服務機構可以選擇，故無法反應真實的醫療可近性。

除了考量最短距離，有些醫療資源評估方式會限制居民就醫行為在單一個行政區內(文獻)，也就是假設居民不會跨區就醫，然而，通常居民應會在合理的交通距離內尋求醫療服務，而非侷限在自己所生活的行政區內。為克服這類限制，流動搜尋法(floating catchment area method, FCA)是較常用於評估醫療資源與人口數間的比例而衍生方式，此和傳統的評估方式相比，不再以行政區界為限，即流動搜尋法的邊界是具有流動性、不規則的，其假設更貼近於實際居民的就醫情形。

在醫療資源可及性的相關研究中，Gulliford(2002)將可及性區分成兩個面向：擁有可接近性(having access)與取得可接近性(gaining access)。前者主要是由於醫療服務的可取得性所產生的，與醫療資源的分布及提供有關係；而後者則是意指是否個人擁有充分的資源，以克服在使用醫療服務時，財務上與社會文化上可能面對的障礙與限制。因此，任何有關醫療服務可接近性的研究不僅需要關注地理空間上的可及性，醫療服務的可負擔性與可接受性等議題也必須被顧及。而 Wang(2006)則將可及性分成兩大領域：潛在(potential)與實際(revealed)可近性以及空間(spatial)與非空間(aspatial)可近性。以醫療為例，實際可近性(revealed accessibility)著重分析需求者能獲得的實際醫療資源；潛在可近性(potential accessibility)分析需求者能獲得的潛在醫療資源。由於需求者實際上用了多少醫療資源之調查資料往往難以取得，所以從政策計畫的角度，主要是分析現有醫療系統的潛力能服務多少地方群眾。空間可及性(spatial accessibility)強調地理空間位置對醫療供給與需求所造成的隔離程度；非

空間可及性(non-spatial accessibility)探討非空間因素(像是種族、性別等社會經濟因素)造成某類群眾無法取得醫療資源。

流動搜尋法與傳統醫療資源人口比之間存在著差異。傳統方法通常根據既定的行政區界限來計算醫療資源的可及性，而流動搜尋法則利用流動性邊界。近期的研究多採用改良的流動搜尋法，如兩階段流動搜尋法 (two-step floating catchment area method, 2SFCA) (Luo and Wang, 2003)和進階式兩階段流動搜尋法 (enhanced two-step floating catchment area method, E2SFCA) (Luo and Qi, 2009; 廖興中, 2013)。某些研究者還對這些方法進行自身內容的改良。兩階段流動搜尋法之目的是在綜合考慮供給和需求因素，以評估醫療保健的空間可近性。

Tao et al., (2020)探討中國深圳市的醫療可近性分析，並提出分層式兩階段搜尋法(Hierarchical two-step floating catchment area, H2SFCA)的應用，為了提高分級醫療設施空間可近性的空間公平性，該方法有助於模擬中國分級醫療機構的空間可近性以及轉診系統設計不佳的類似環境；Ghorbanzadeh et al., (2021)評估 COVID-19 患者進入佛羅里達州醫療機構的空間可及性，該研究使用的研究方法是兩階段流動搜尋法與進階式兩階段流動搜尋法。

Apparico et al., (2008)比較使用不同距離類型和聚合方法計算醫療可及性時的差異。研究結果顯示，都會區的笛卡兒距離與路網距離之間存在較強的相關性。然而，在郊區了笛卡兒距離與網絡距離之間的相關性存在重要的局部變化。聚合方法的選擇可能導致 5%至 10%的測量誤差，因此，距離類型和聚合方法的選擇對於評估醫療可及性相當重要。Delamater et al., (2013)則進一步比較網格式及向量式衡量對醫療可及性的差異，其中討論了路徑分析的應用以及相關的量化方法，實驗成果顯示，不論是網格式或向量式，被識別為可及性有限的區域在位置、配置和形狀上相似，但在被識別為可及性有限的人數有相當大的差異。

空間可及性分析在城市健康研究中一直受到關注，國內亦有許多研究使用兩階段流動搜尋法進行醫療可及性的分析，例如探討臺灣婦產科醫療資源(廖興中,2014)、臺灣各村里小兒科醫療資源(廖興中, 2013)、臺中市長期照顧資源(張靜文,2017)等，研究成果顯示兩階段流動搜尋法，可做為良好的醫療可及性解釋分析方法。

本研究旨在探討利用進階式兩階段流動搜尋法(enhanced two-step floating catchment area method, E2SFCA)進行臺中市醫療可及性分析。研究過程包括資料準備和方法建立兩個主要步驟。首先，收集村里邊界、大型醫院、衛生所和路網等公開資料集。並建立了村里中心點坐標和醫療設施位置坐標的資料，以及計算起點至終點的距離矩陣。接著，應用了進階式兩階段流動搜尋法，進行供給面和需求面的分析。經由分析臺中市醫療可及性，探討臺中市醫療可及性的城鄉差異，以利策略單位做最佳的配置及資源利用。

二、研究方法

流動搜尋法以其計算的複雜程度可分為「單向流動搜尋法」、「兩階段流動搜尋法」與「進階式兩階段流動搜尋法」，並且將資源從需求面及供給面的角度分開來討論後再加以做計算，以下針對這三種方法進行說明：

(一) 單向流動搜尋法

單向流動搜尋法主要從需求者－居民或供給者－醫療機構服務的單向角度出發作為可近性指標的探討，例如：從醫療服務提供點向外延伸 10 公里，作為服務合理提供的範圍，而在這 10 公里內所涵蓋的居民人口數與醫療服務提供點醫師人數之間的比率即是可近性指標。單向流動搜尋法的優點是成果直觀，但缺點是考量不完整。

(二) 兩階段流動搜尋法

有別於單向流動搜尋法，兩階段流動搜尋法則是同時探討「需求面」與「供給面」的雙向角度，分為兩個階段進行流動搜尋：

1. 第一階段-醫療供給面：

以醫療服務提供點做為中心，並定義合理提供的服務範圍，此範圍可用時間或是距離作為衡量標準，在範圍內所包含的醫療需求人數(居民人口數)計算與醫療資源間的比率。

2. 第二階段-醫療需求面：

以醫療需求者作為中心點，並定義居民合理的移動範圍，再加總計算範圍內所有的醫療服務提供點的服務提供比率，以其值代表可近性指標。

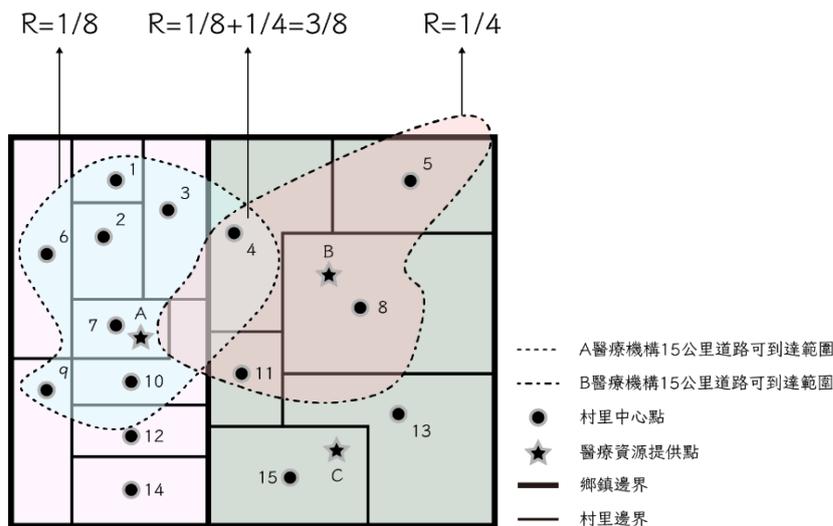


圖 1 兩階段流動搜尋法示意圖(廖興中，2013)

以圖 1 為例，假設醫療機構提服務的醫生人數各為 1 位，且村里中心點(居民據點)的醫療需求人數皆為 1 位。

1. 第一階段-供給面的計算：

A 醫療機構的 15 公里可達範圍內，涵蓋了(1,2,3,4,6,7,9,10)共八個村里中心點，即 A 醫療機構可提供資源的比率為 1/8(一位醫生可服務八名需求者)；B 醫療機構的 15 公里可達範圍內，涵蓋了(4,5,8,11)共四個村里中心點，即 B 醫療機構可提供資源的比率為 1/4(一位醫生可服務四名需求者)。

2. 第二階段-需求面的計算：

以村里中心點 4 而言，同時被兩間來說醫療機構涵蓋，其向外 15 公里的範圍內，含有 A 及 B 兩間醫療機構，A 及 B 兩間醫療機構資源提供比率分別為 1/8 及 1/4，故對村里中心點 4 而言可獲得的總醫療機構資源為兩者相加，即村里中心點 4 的醫療可近性為 $1/8+1/4 = 3/8$ 。經由兩階段流動搜尋法，村里中心點 4 可同時考量供給面的可供應及需求面的需求，不受其村里邊界的限制。

(三) 進階式兩階段流動搜尋法

兩階段流動搜尋法還是存在缺點，計算方法並未考慮到範圍內的距離遠近影響居民就醫的因素，應假定在醫療資源於範圍內資源的利用會隨著距離或通勤時間而遞減，故需要加入權重的觀念，使用進階式兩階段流動搜尋法解決此問題。進階式兩階段流動搜尋法在計算過程中加入權重，也就是將醫療資源提供的範圍或是醫療資源需求者的範圍進行分級，距離醫療資源提供的中心點越近、通勤時間越短，給予權重越重；反之亦然。

以圖 2、圖 3 為例，假設醫療機構提服務的醫生人數各為 1 位，村里中心點(居民據點)的醫療需求人數皆為 1 位，醫療機構的 0~5 公里可達範圍給予權重 1，隨距離區間越遠分別遞減 1/2；5~10 公里可達範圍給予權重 0.5；10~15 公里可達範圍給予權重 0.25；以村里中心點(居民據點)為中心，其權重給法也相同。此時進階式兩階段流動搜尋法，不同距離會考量不同的權重進行加權，而兩階段流動搜尋法則是採用等權。

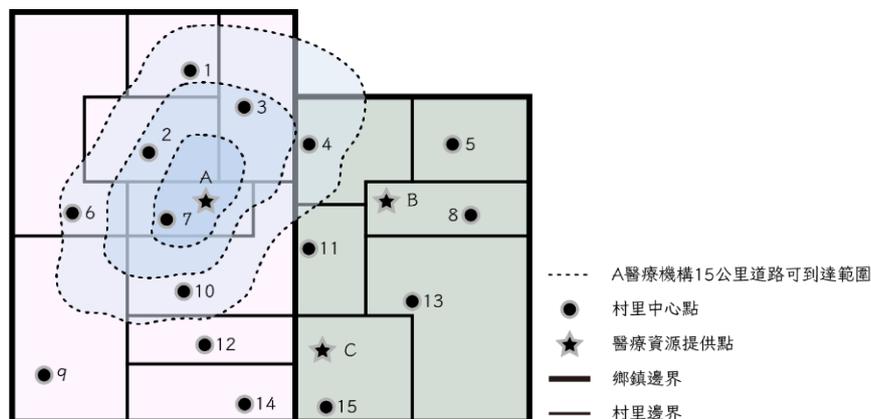


圖 2 進階式兩階段流動搜尋法—第一階段示意圖(轉繪自彭蒂菁, 2021)

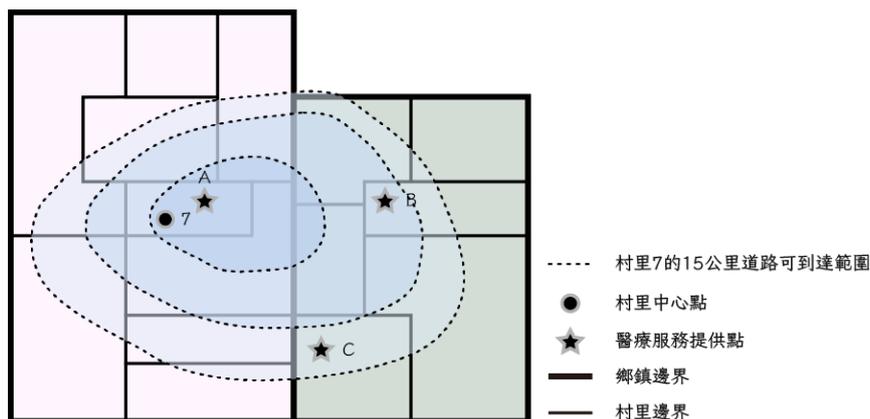


圖 3 進階式兩階段流動搜尋法－第二階段示意圖(轉繪自彭蒂菁, 2021)

1. 第一階段-供給面(圖 2)的計算：
A 醫療機構的 0~5 公里可達範圍內，涵蓋了一個村里中心點(7)、5~10 公里可達範圍內，涵蓋了兩個村里中心點(2,3)、5~10 公里可達範圍內，涵蓋了四個村里中心點(1,4,6,10)；加權計算 A 醫療機構可提供資源為 $1*1+2*0.5+4*0.25=3$ (一位醫生可服務三名需求者)，即 A 醫療機構可提供資源的比率為 $1/3$ 。
2. 第二階段-需求面(圖 3)的計算：
假設經過第一階段的計算，A、B、C 醫療機構可提供資源比率皆為 $1/3$ ，以村里中心點 7 為例，0~5 公里可達範圍內，涵蓋了一個 A 醫療機構、5~10 公里可達範圍內，涵蓋了 B 醫療機構、5~10 公里可達範圍內，涵蓋了 C 醫療機構；村里中心點 7 可獲得的總醫療機構資源為三間醫療機構的加權總合，即村里中心點 7 的醫療可近性為 $1/3*1+1/3*0.5+1/3*0.25=7/12$ 。

綜上所述，進階式兩階段流動搜尋法除將醫療供給及需求面同時納入考量，並加入了實際道路可到達的範圍、且依據距離的遠近給予相對應的權重以突顯距離對於就醫便利程度的影響，此方法更能展現醫療需求、醫院資源與距離間所構成於空間中獲取與提供的可及性。

三、研究資料與分析結果

研究範圍選定為臺中市，主要是因為臺中市政府將道路資料公開於開放資料平台，相對於他縣市的資料較易取得，以下分別介紹本次研究所採用的資料、研究流程、分析方法及分析成果。圖 4 為本研究流程圖。

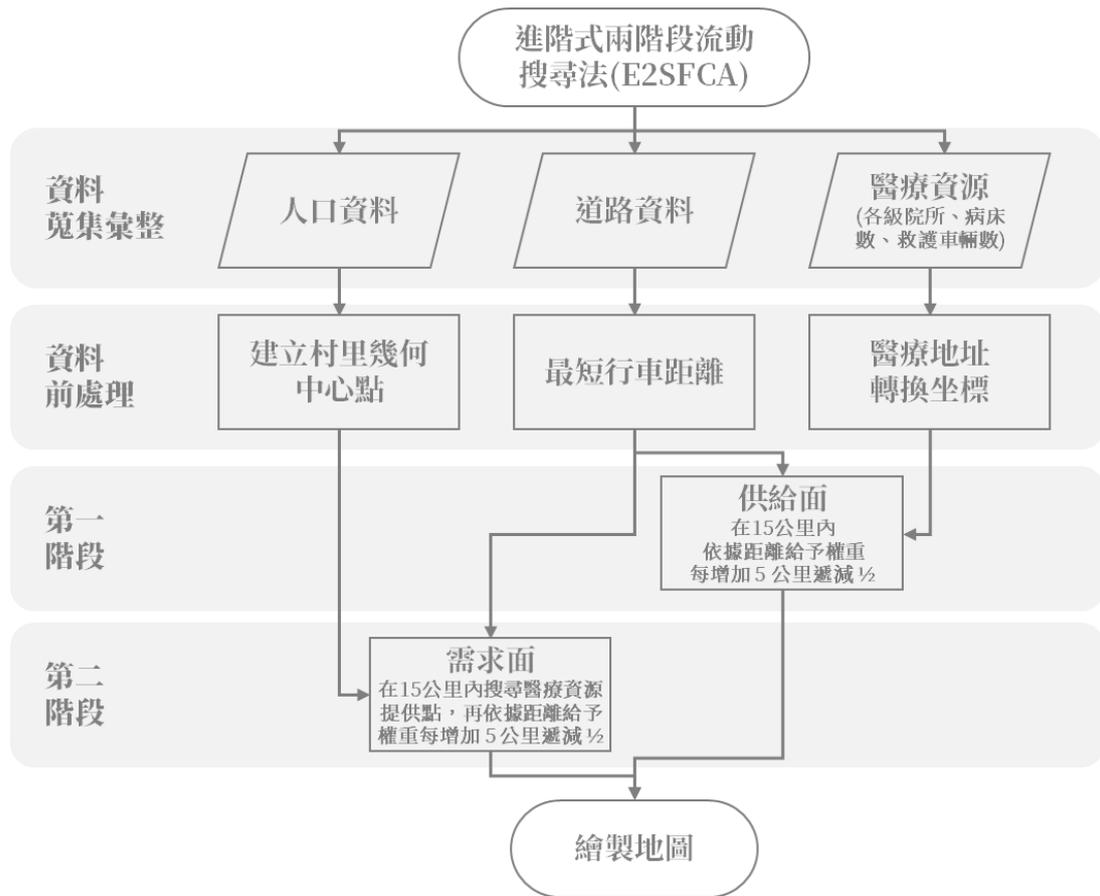


圖 4 研究流程圖

(一) 研究資料

本研究以臺中市為例進行醫療可及性分析，進階式兩階段流動搜尋法所必備的資料包含供給面、需求面與可計算兩點實際距離之道路資料，研究資料整理如總表 1，說明如下：

表 1 資料彙整表

類別	資料名稱	資料來源	備註
供給面	108 年臺中市醫療院所數及各類病床數、救護車輛數	內政部統計處	以鄉鎮市區分
供給面	醫療機構與人員基本資料	衛生福利部醫事司	取綜合醫院、醫院、衛生所
需求面	108 年各村里三段年齡組人口統計	內政部統計處	
道路資料	臺中市道路資料	臺中市政府	若道路資料有缺漏，則會以 OpenStreetMap 補齊

1. 供給面

供給面為醫療機構的數量、機構服務的醫生人數等，足以展現醫療量能的資訊，可供民眾所使用其服務。本研究僅針對較大型的醫院及各區的衛生所，其考量為大型醫療院所可提供足夠廣泛的就醫科別且醫療器材較先進的檢查項目；而衛生所則是各區基本且區民可快速獲取醫療資源的場所，小型診所與專科診所本次不列入考慮。

2. 需求面

為找出何年齡族群對於醫療資源的需求量較大，本研究參考衛生福利部統計處 108 年度全民健康保險醫療統計年報中的西醫門診(不含急診)之就診率(式 1)，共分為四個年齡的組距(如表 2)，其顯示 65 歲以上的人口族群對於醫療資源的需求較其他年齡組距更為顯著，故本次研究採用 65 歲以上人口數作為醫療需求對象，各村里三段年齡組人口統計可從內政部統計處獲得。

$$\text{就診率} = \text{患者人數} * 100,000 / \text{年中人口數} \quad (1)$$

表 2 108 年度西醫門診(不含急診)之就診率表格擷取

	就診率 (每十萬人口)			
	0-14 歲	15-44 歲	45-64 歲	65 歲以上
總計	96,167	87,909	89,268	100,388

3. 道路資料

距離是進階式兩階段流動搜尋法中是必要的資訊，計算距離採用道路路網資料，以距離做為權重，進行供需面的權重分配。道路路網來自臺中市政府，完整的道路資訊才能準確地計算出正確的可及性，若道路資料有缺漏，則會以 OpenStreetMap 補齊。

(二) 研究資料前處理

由於進階式兩階段搜尋法需要計算醫療需求點及供給點間的距離，本研究使用的計算工具為起點－終點矩陣(origin-destination matrix)工具，其計算的方式為點對點的距離計算。

1. 建立村里幾何中心點

利用 QGIS 中的 centroids 工具，將研究區域—臺中市—村里界的 SHP 面資料，轉換成點資料，此點為面資料的質心，並以代表醫療資源需求者的位置。然而某些狀況下，質心並不會位於實際聚落所在的位置，此情形最常發生在山區的村里，一開始的質心位置可能位於森林中，故需搭配衛星影像、OpenStreetMap 或通用版電

子地圖，找到聚落後進行後處理，出現以下情形也會做質心的位置調整，使其更貼近實際聚落位置：移除未命名村里、幾何中心未在區域範圍內、幾何中心落於機場、軍營、臨海、靠河區域的村里、郊區、山區的村里、明顯遠離道路與聚落。最終產生共 625 個村里中心點。

2. 地址定位座標轉換

使用衛生福利部醫事司所提供之「醫療機構與人員基本資料」，取位於臺中市且型態別為「綜合醫院、醫院、衛生所」共 3 種類別，再依其提供之地址一欄至 TGOS 全國門牌地址定位服務進行轉換，若出現無法轉換的狀況，則會至 Google Map 搜尋地標，利用於點位上按右鍵的方式，即可獲得經緯度座標。檢視轉換的經緯度座標結果時，移除一般民眾無法就診、醫院地址過於鄰近之點位(如圖 5)，僅保留一處，最終共篩選出 85 個醫療資源提供點。

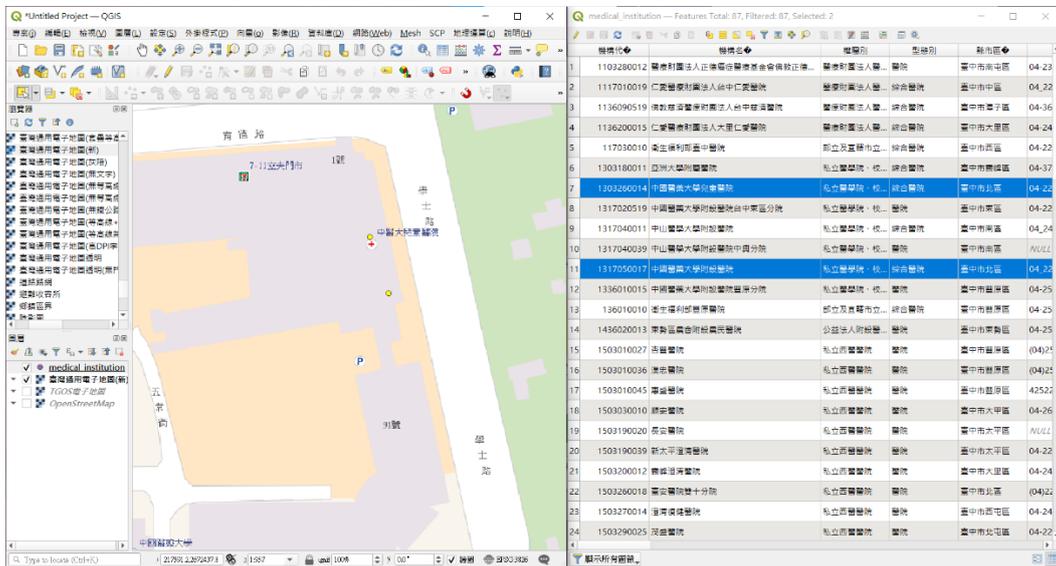


圖 5 醫院地址過於鄰近之案例

3. 計算起點—終點矩陣(origin-destination matrix)

運用 QGIS 中的擴充元件：QNEAT3 (QGIS Network Analysis Toolbox 3)，分析工具為：OD Matrix from Layers as Lines (m:n)，使用分析元素含有真實道路資料，計算各起點與各終點間的最短距離，以 625 個村里中心點做為起點(Origin)，另 85 個醫療資源提供點設定為終點(Destination)，因此該矩陣會得到 625*85=53,125 個元素(相鄰距離)。圖 6 為 OD Matrix 分析工具的操作畫面，分析結果經篩選出 0~5 公里(圖 9)、5~10 公里(圖 10)、10~15 公里(圖 11)等 3 種範圍，另外，可使用該擴增元件的另一工具：Shortest Path(圖 12)，進一步驗證是否為最短距離。

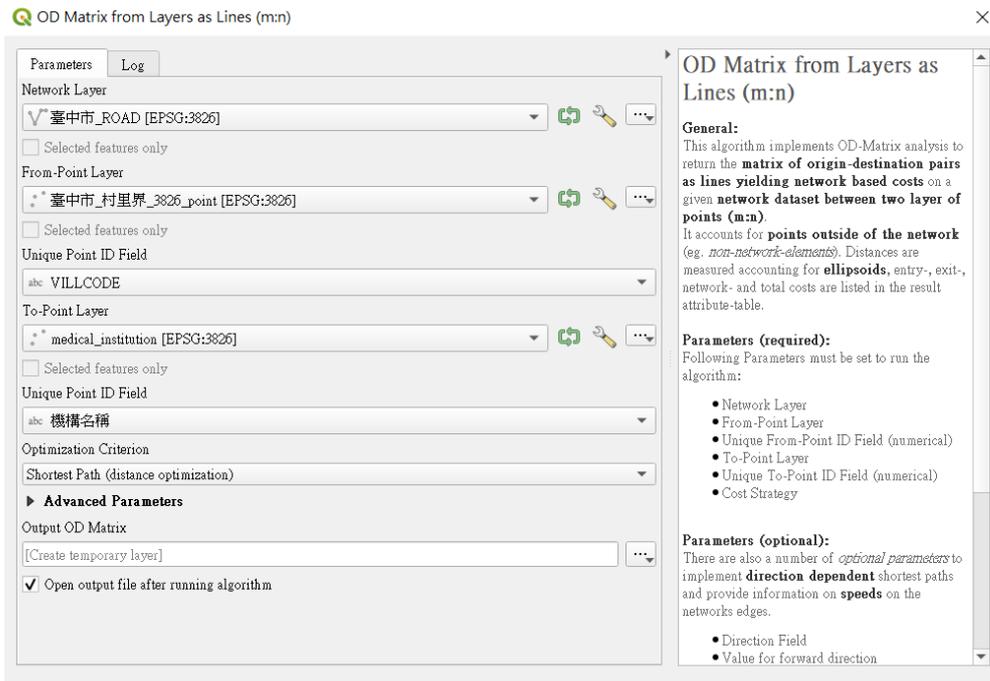


圖 6 OD Matrix 操作畫面

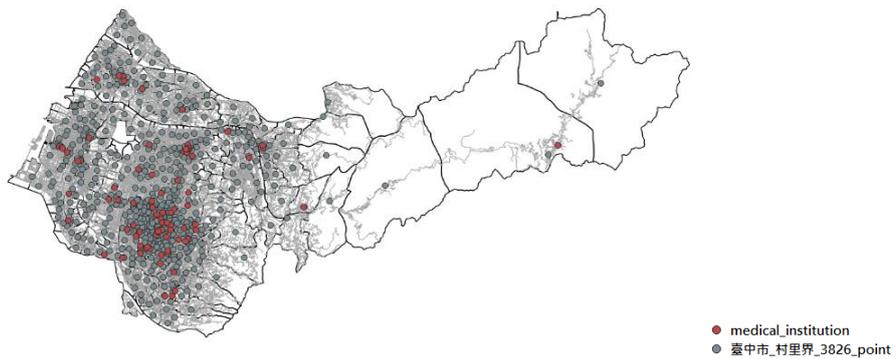


圖 7 各起點與終點位置分布

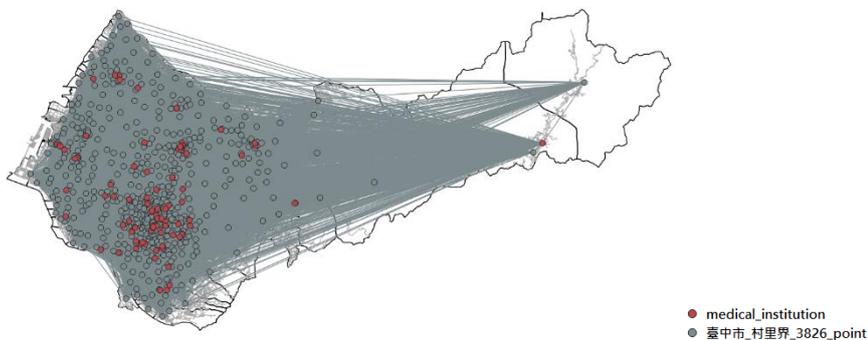


圖 8 O-D matrix 結果，共 53,125 個

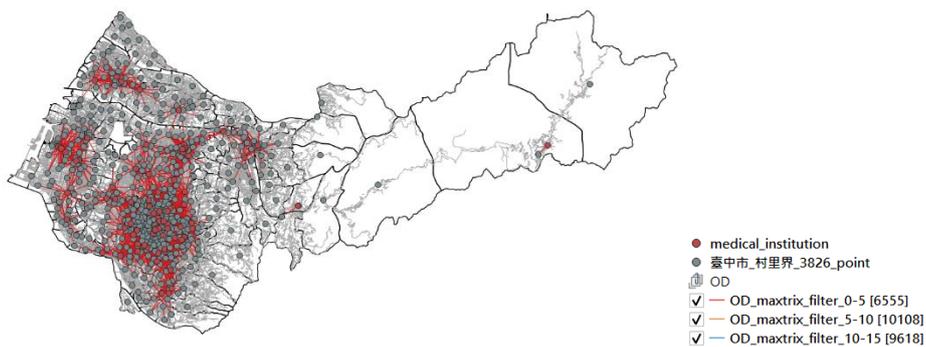


圖 9 O-D matrix 結果：0~5 公里

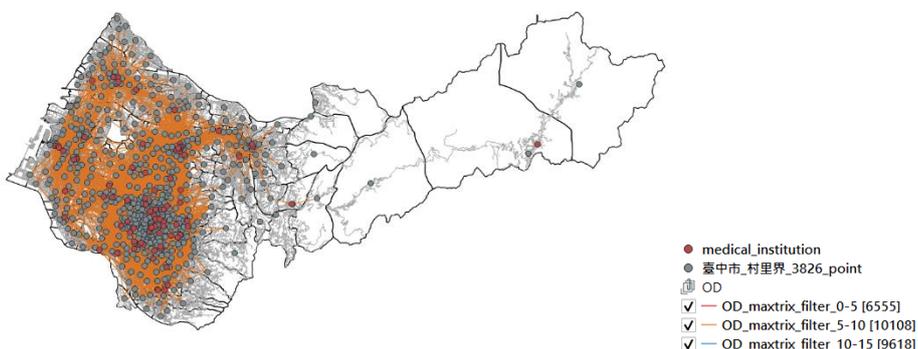


圖 10 O-D matrix 結果：5~10 公里

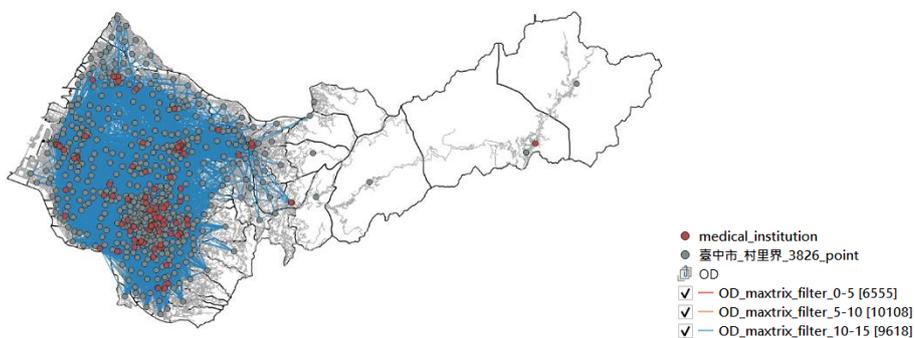


圖 11 O-D matrix 結果：10~15 公里

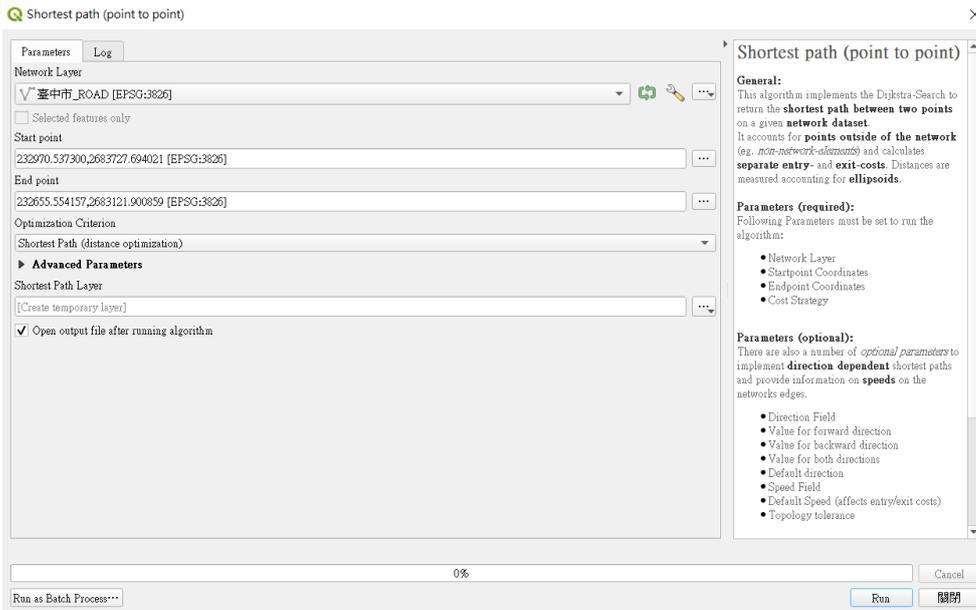


圖 12 Shortest Path (Point to Point) 參數輸入



圖 13 最短路徑分析成果細部展示

(三) 分析結果

完成資料前處理後，接著使用進階式兩階段搜尋法的計算理論，分別計算供給面與需求面，進階式兩階段流動搜尋法計算公式如式(2)及(3)，本次計算過程會依距離做權重分配，每增加 5 公里遞減二分之一，0~5 公里為 1；5~10 公里為 0.5；10~15 公里為 0.25。

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{ij} \leq D_r\}} P_k W_r} = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{ij} \leq D_1\}} P_k W_1 + \sum_{k \in \{d_{ij} \leq D_2\}} P_k W_2 + \sum_{k \in \{d_{ij} \leq D_3\}} P_k W_3} \quad (2)$$

$$A_i^F = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq D_r\}} R_j W_r = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq D_1\}} R_j W_1 + \sum_{j \in \{d_{ij} \leq D_2\}} R_j W_2 + \sum_{j \in \{d_{ij} \leq D_3\}} R_j W_3 \quad (3)$$

其中，

j：醫療供給據點

k：醫療需求據點

S_j ：醫療供給據點 j 的醫療供給程度；

d_{kj} ：k 與 j 之間的移動距離；

D_r ：第 r 個移動範圍區 (zone)， $r = 1-3$ ；

P_k ：位於醫療供給據點 j 的資源提供範圍內的 k 個醫療需求據點；

W_r ：各移動範圍區的權重，用以衡量醫療可及性隨距離遞減；

R_j ：需求據點 i 之時間移動範圍內的各供給據點之供給需求比；

A_i^F ：代表需求據點 i 的醫療可及性。

1. 第一階段：供給面分析

在醫療資源提供點，向外延展道路距離 15 公里的範圍，根據權重每增加 5 公里遞減二分之一計算。以醫療資源提供點「中國醫藥大學附設醫院」為例，取村里人口數 65 歲以上的人，並依距離權重得欄位「村里人口數權重：65 歲以上」，計算過程： $117,175*1+88,210*0.5+54,778*0.25=174,974.5$ 。欄位「醫生與人口比」是依據「醫生數」與「村里人口數權重：65 歲以上」的比例，其他欄位的比值以此類推。最後可得醫療資源加總的比值，整理如表 3 所示。

表 3 進階式兩階段流動搜尋法：供給面計算範例

醫療資源 提供點	距離範圍	服務提供	村里人口	醫生數	病床數	救護車數
		人口數： 65 歲以上	數權重： 65 歲以上			
中國醫藥大學 附設醫院	0~5 公里	117,175				
	5~10 公里	88,210	174,974.5	4237	2957	2
	10~15 公里	54,778				
		醫生與 人口比	病床與 人口比	救護車與 人口比	醫療資源 加總	
		0.02421	0.01690	0.00001	0.041126	

2. 第二階段：需求面分析

在每個村里中心點，向外延展道路距離 15 公里的範圍中，搜尋醫療資源提供點，並根據權重每增加 5 公里遞減二分之一計算。以村里「繼光里」為例，將第一階段求得的「醫療資源加總的距離權重」，在依村里為中心點，依距離權重計算「需求村里醫療可及性」，計算過程： $0.33479*1+0.32155*0.5+0.25647*0.25=0.559682$ ，整理如表 4 所示。

表 4 進階式兩階段流動搜尋法：需求面計算範例

鄉鎮名稱	村里名稱	距離範圍	醫療資源加總的 距離權重	需求村里 醫療可及性
中區	繼光里	0~5 公里	0.33479	0.559682
		5~10 公里	0.32155	
		10~15 公里	0.25647	

3. 醫療資源可及性分析成果

完成進階式兩階段流動搜尋法計算後，即可獲得臺中市各村里醫療可及性，本研究以 QGIS 展示臺中市醫療資源可及性分析成果(圖 14)，從村里分層設色圖(面量圖)可看出醫療可及性距離市中心呈遞減趨勢，而醫療資源缺乏的村里大部分位於偏遠郊區與山區。

在進行醫療可及性分析時，受到資料的完整度與研究方法的設定，會使研究產生限制。首先，本研究並未考慮道路等級以及道路的方向性，這會使距離計算會與現實有微小差異；第二，未考慮醫療資料的精細程度和涵蓋的診療科別，使得無法再進一步地分析；第三，研究中並未納入研究區域外但靠近研究範圍的醫療中心與區域醫院，這會對靠近研究邊緣的醫療需求據點之醫療可及性評估產生影響；最後，本研究並未考慮小型診所，這也是一個潛在的研究限制，因為這些診所在特定社區中可能扮演著重要的角色。因此，在解釋研究結果時，我們必須謹慎考慮這些限制，並避免過度推論。

以計算出來的醫療可及性數據做說明比較，在醫療可及性最高的前五個依序為中區柳川里、西屯區何成里、中區大誠里、西區平和里、中區中華里，計算的指標分數為 0.570894~0.578263 區間；而醫療可及性最低的前五個皆位於和平區，分別為博愛里、中坑里、達觀里、平等里、天輪里，計算的指標分數為 0~0.000733 區間，分數為 0 的村里通常為該村里中心依據道路距離皆沒有小於 15 公里的醫療院所。因本研究僅納入大型醫院及區衛生所做為醫療資源，診所並未列入考慮，比較醫療可及性最高與最低的村里，兩者有相當大的差異。

臺中市醫療資源可及性分析

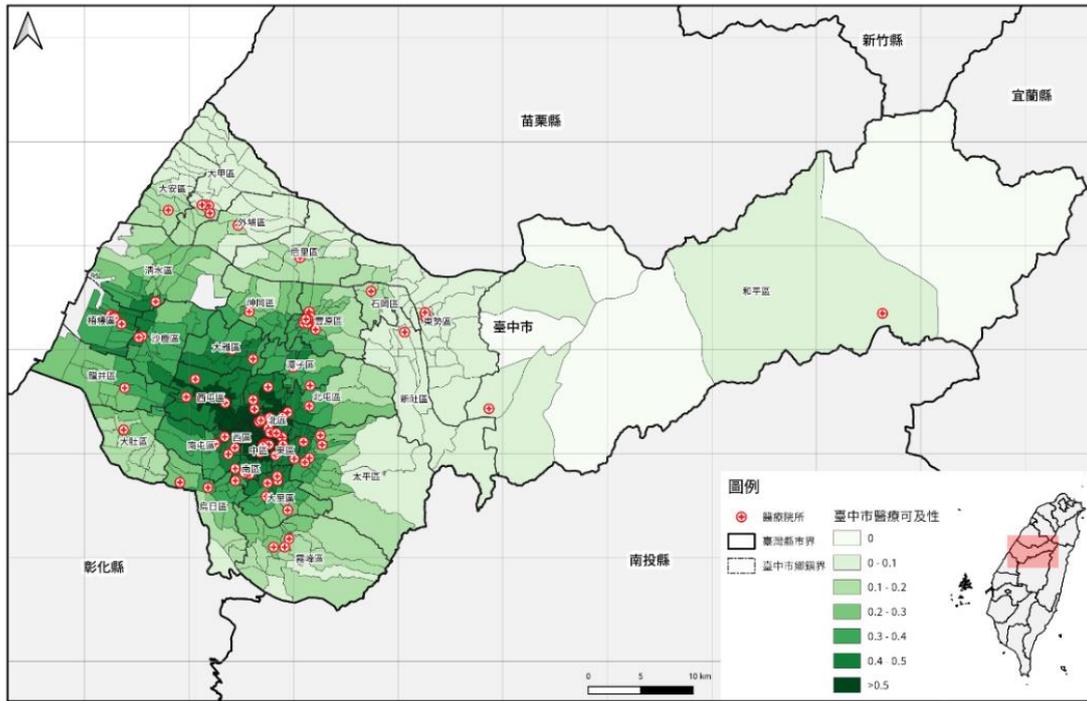


圖 14 臺中市醫療資源可及性分析成果圖

統計 625 個村里醫療資源可及性，平均值、中位數及標準差分別為 0.326564、0.352998 及 0.169433。再將村里醫療資源可及性依 0.1 級距進行分群，成果如表 5 所示，可看出大於 0.3 以上的村里在醫療可及性上相對充足。進一步觀察 65 歲以上人口數最多的五個里，依序為豐原區北陽里(2,110 人)、烏日區九德里(1,769 人)、北屯區軍功里(1,744 人)、北屯區水景里(1,711 人)、潭子區東寶里(1,699 人)，其醫療可及性指標分數分別為 0.261069、0.378880、0.382139、0.467304、0.372715，除了北陽里在醫療可及性上相對較低，其他皆有達到臺中市所有村里中位數以上。

表 5 醫療可及性指標分數統計表

醫療可及性指標分數	村里數
0	4
0.0~0.1	85
0.1~0.2	79
0.2~0.3	85
0.3~0.4	119
0.4~0.5	135
>0.5	117

四、結論與未來工作

本研究採用兼顧到活動空間範圍與距離遞減概念的「進階式兩階段流動搜尋法」，評估臺中市各村里的醫療資源可接近性，改善單向流動搜尋法以行政邊界進行統計忽略人口跨區利用醫療資源的可能性，以及因距離所產生使用率遞減的限制。就本研究的實驗資料，依據臺中市醫療資源可及性分析成果，在醫療可及性最高的村里前五個依序為中區柳川里、西屯區何成里、中區大誠里、西區平和里、中區中華里，而醫療可及性最低的前五個皆位於和平區，分別為博愛里、中坑里、達觀里、平等里、天輪里。醫療資源缺乏的村里大部分位於偏遠郊區與山區，與醫療分佈相符。本研究未來研究分析方向總共有三個，第一個為是否應納入在鄰近臺中區域外的醫療中心與區域醫院，這樣可以改善醫療可及性評分低估問題；第二個為未考慮道路等級與方向性，因此算出來的最短距離可能會與實際上的有些許落差；第三個為醫療資料的精細程度與考量診療科別，由於醫療開放的統計資料有些等級只到鄉鎮市區級別，故精細程度有限，且診療科別應在未來研究中納入考量。

參考文獻

- 廖興中，2013，臺灣小兒科醫療資源空間可接近性分析，《公共行政學報》，第 44 期，頁 1-39。
- 廖興中，2014，應用空間可接近性分析於臺灣婦產科醫療資源的評估，《民主與法理》，第 1 卷，第 2 期，頁 83-118。
- 張靜文，2017，《應用空間可接近性分析於長期照顧資源之評估-以臺中市為例》，國立中興大學應用經濟學系，碩士論文。
- 彭蒂菁，2021，醫療可及性是否左右房價？機器學習之迴歸樹及隨機森林模型的應用，《應用經濟論叢》，109 期，頁 115-167。
- Apparicio, P., Abdelmajid, M., Riva, M., & Shearmur, R., 2008, Comparing alternative approaches to measuring the geographical accessibility of urban health services: Distance types and aggregation-error issues. *International journal of health geographics*, 7(1), pp. 1-14.
- Delamater, P. L., Messina, J. P., Grady, S. C., WinklerPrins, V., Shortridge, A. M., & Casper, M., 2013, Measuring geographic access to health care: raster and network-based methods. *International Journal of Health Geographics*, 12(1), 6.
- Luo, W., & Wang, F., 2003, Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in the Chicago region. *Environment and planning B: planning and design*, 30(6), pp. 865-884.
- Luo, W., & Qi, Y., 2009, An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians. *Health & place*, 15(4), 1100-1107.
- Ghorbanzadeh, M., Kim, K., Ozguven, E. E., & Horner, M. W., 2021, Spatial accessibility assessment of COVID-19 patients to healthcare facilities: A case study of Florida. *Travel Behaviour and Society*, 24, pp. 95-101.
- Guagliardo, M. F. (2004). Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and challenges. *International Journal of Health Geographics*, 3(1), pp. 1-13.
- Su, Y., Wang, J., Wang, J., & Wang, G., 2022, Measuring Spatial Accessibility to Hospitals of Acute Myocardial Infarction in Multi Period Scale: A Case Study in Shijingshan District, Beijing, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(2), 137.
- Tao, Z., Cheng, Y., & Liu, J., 2020, Hierarchical two-step floating catchment area (2SFCA) method: measuring the spatial accessibility to hierarchical healthcare facilities in Shenzhen, China. *International Journal for Equity in Health*, 19(1), pp. 1-16.

e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統 實務作業探討

鍾岳龍¹ 陳鶴欽^{2*}

論文收件日期：112.10.16

論文修改日期：112.11.08

論文接受日期：112.11.10

摘 要

內政部國土測繪中心為提升國內測繪技術，自 93 年開始研究建置電子化全球衛星 (Electronic Global Navigation Satellite System, e-GNSS) 即時動態定位系統，為全國之首亦為東亞地區先驅，95 年完成臺灣本島及澎湖金馬等地區 e-GNSS 即時動態定位系統建置，並於 98 年正式開始營運，提供國內測繪業一個優質測繪環境，提高作業效能。

國土測繪中心 97 年成立「測量儀器校正實驗室」(Surveying Instrument Calibration Laboratory, SICL)，建立符合國際認證規範 ISO/IEC 17025 之品質管理系統，於 99 年 3 月 10 日通過財團法人全國認證基金會 (Taiwan Accreditation Foundation, TAF) 認證，至 108 年已提供「電子測距儀」、「經緯儀」、「衛星定位儀」、「航空測量攝影機」、「空載光達」及「小像幅航拍攝影機」等校正項目服務。考量國土測繪中心 e-GNSS 系統即時動態定位系統已提升為多星系服務，許多使用者利用該系統辦理測量業務，為協助使用者確保測量成果品質，遂於 108 年著手建置「e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統」，並於 109 年通過 TAF 增項認證，110 年訂定收費標準正式營運，從 109 年營運迄今，已完成超過 200 部 e-GNSS 儀器校正作業。

本文介紹「e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統」發展歷程，另希望藉由累積至目前的校正數據資料進行統計分析，提供除了校正結果以外，更多的實務作業參考資訊及建議。

關鍵字：即時動態定位、虛擬參考站、儀器校正

¹ 技士，基本測量及企劃科，內政部國土測繪中心

² 科長，基本測量及企劃科，內政部國土測繪中心

*通訊作者，TEL：(04)22522966 轉 270，E-mail: 23012@mail.nlsc.gov.tw

The Practice Discussion of e-GNSS Rover Receiver Calibration

Yueh-Lung Chung¹, He-Chin Chen^{2*}

Abstract

The National Land Surveying and Mapping Center (NLSC) deployed the e-GNSS real-time kinematic positioning system in 2009, which is an application of network RTK technology and has provided a high-quality positioning service for the surveying industry and improved working efficiency in Taiwan.

The NLSC also built the Surveying Instrument Calibration Laboratory (SICL) in 2008, which complies with ISO/IEC 17025 and was certified by the Taiwan Accreditation Foundation (TAF) on March 10, 2010. By now, the SICL had provided many surveying instrument calibration services. Considering the e-GNSS real-time kinematic positioning system service is used for all kinds of surveying work in Taiwan, the SICL added the e-GNSS rover receiver calibration in 2020 to ensure the quality of surveying results and is open for operation in 2021. More than 200 e-GNSS rover receivers have been calibrated since then.

This article introduces the development of the e-GNSS rover receiver calibration system, and hopes to provide more practical experiences and suggestions by analysing calibration data.

Keywords: Instrument Calibration, Real-time Kinematic Positioning (RTK), Virtual Reference Station (VRS)

¹ Associate Technical Specialist, Basic Survey and Planning Section, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior.

² Section Chief, Basic Survey and Planning Section, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior.

* Corresponding author, TEL : +886-4-22522966 # 270 , E-mail: 23012@mail.nlsc.gov.tw

一、前言

國土測繪中心電子化全球衛星即時動態定位系統（以下簡稱 e-GNSS 即時動態定位系統）具有快速及精確的優勢，已被廣泛應用於各項測量作業，依據國土測繪法及相關子法規定，測繪儀器應定期辦理校正作業，以符合基本測量實施規則相關法規。國土測繪中心為服務使用者並確保測量成果品質，108 年著手建置「e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統」，109 年通過財團法人全國認證基金會（以下簡稱 TAF）增項認證，並於 110 年正式營運。本校正系統主要係綜整國土測繪中心自 93 年建置 e-GNSS 即時動態定位系統以來，國際衛星定位測量系統架構、即時動態定位技術演進、國內各項測量作業規範及各項研究成果而成（內政部國土測繪中心，2021）。

二、實務作業探討架構

本文主要概述校正系統建置過程，說明遭遇困難及解決方式，並將校正數據資料進行統計分析，展繪校正數據分布情形及計算其標準偏差，探討其間差異及原因，提供實務作業更多參考資訊及未來系統精進建議，文章架構如下（圖 1）。

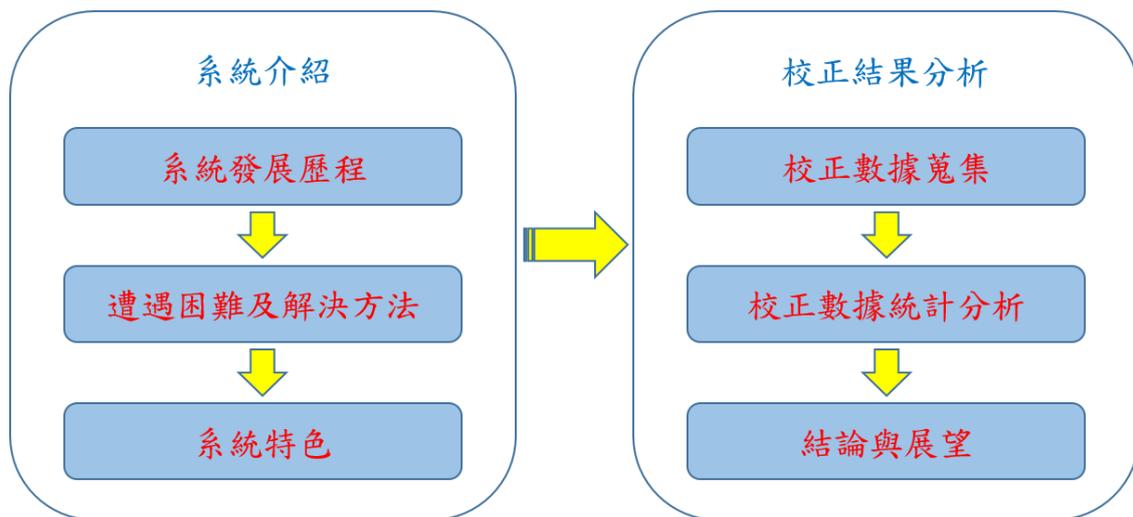


圖 1 實務作業探討架構圖

三、系統建置歷程

本校正系統於 108 年著手建置，至 110 年正式營運，歷時約 3 年，除規劃校正方式研擬校正作業程序，並對校正系統之擴充不確定度進行系統評估，亦同步培養校正人員作業能力，於通過 TAF 增項認證後訂定合理收費標準，建置歷程（圖 2）如下：



圖 2 校正系統發展歷程

(一)校正系統文件研擬及場域設置

參考現有各項校正系統評估方式及程序，規劃「e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統」作業方式並設計校正場域（圖 3），另邀集專家學者召開會議（圖 4），確認作業方式之可行性及校正場域設計之合理性，依照確立之作業方式進行實作及數據蒐集，研擬校正系統評估文件及計算擴充不確定度，並辦理校正系統相關人員實驗室認證規範及校正作業之教育訓練，完成相關校正作業人員授權。

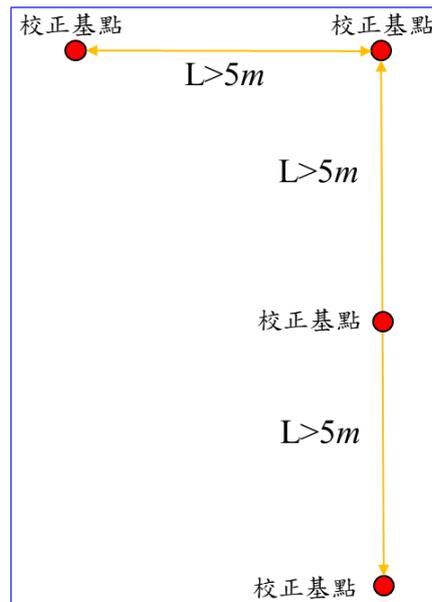


圖 3 校正場規劃設計圖



圖 4 校正程序專家學者會議

(二)設計並執行品質保證方案、系統文件修正及TAF增列認證

本校正系統依照 TAF 「能力試驗活動要求」文件，研擬校正系統品質保證方案及執行相關工作，確保校正系統可維持設計精度並執行任務，且不定期召開文件討論會議，修正校正系統作業程序及系統評估文件，確保文件內容符合 TAF 相關規範，並於 109 年 7 月 9 日辦理 TAF 現場評鑑（圖 5），9 月 28 日通過增列認證取得證書（圖 6）。



圖 5 TAF 增列認證現場評鑑



圖 6 TAF 認證證書

(三)校正量能評估、訂定收費標準及正式營運。

辦理試營運計畫，免費提供部分地政機關及儀器廠商校正服務，藉以評估校正系統產能，達成系統量能最佳化，並估算校正作業之設備及人力成本，研擬合理之收費標準。

四、遭遇困難及解決方法

(一)環境需求及時效，選定校正場域及規劃人力

國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統基準站布設間距約 30~50 公里，校正場域應距離鄰近實體基準站 20 公里以上方接近實際使用情形，考量國土測繪中心頂樓已設置實體基準站 LSB0，不適合作為校正場域，而另尋校正場設置地點，作業人員無法隨時辦理校正工作，需顧及路程時間及作業時效。經評估後於國土測繪中心南投辦公室頂樓建置「e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正場」(圖 7)，其與固定基點距離約 22 公里(圖 8)，且由國土測繪中心出發約 30 分鐘可到達，藉由妥善規劃作業人員輪值，使用者可於送件後 2 周內領回儀器，避免影響原訂工作期程。



圖 7 e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正場

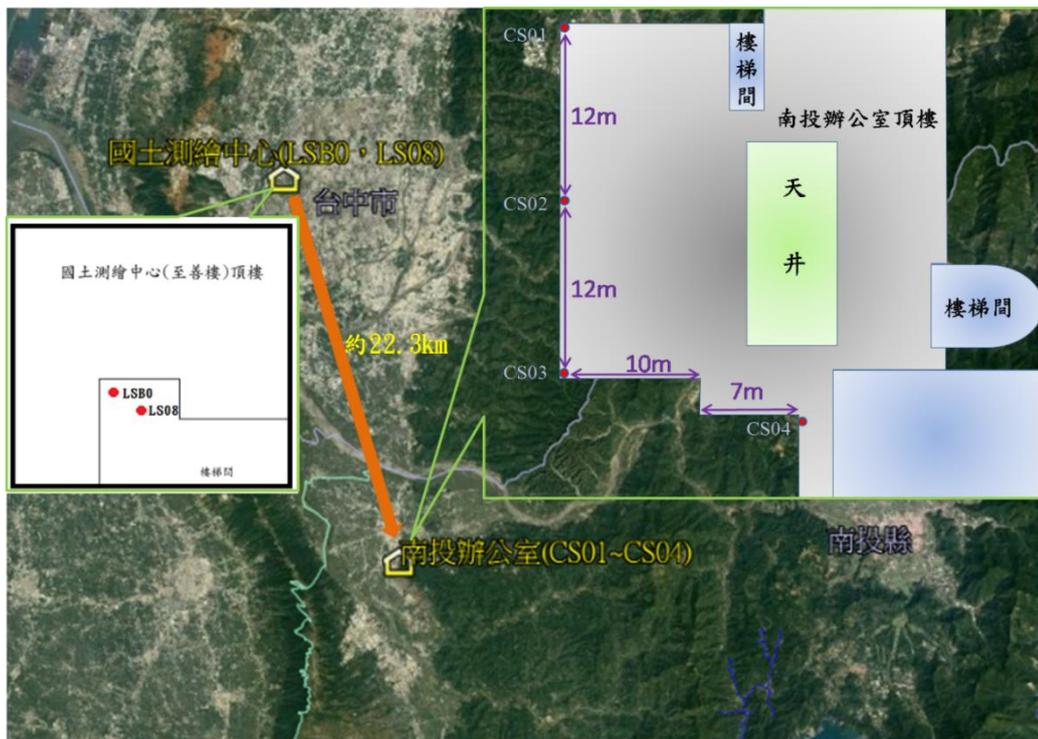


圖 8 e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正場位置示意圖

(二) 避免校正報告內容誤繕，開發自動化程式。

校正系統建置期間以人工輸入方式出具測試報告，發生校正日期、儀器序號、地址及頁碼...等校正資訊誤繕情形，為避免發生此類人為疏失，開發「e-GNSS 即時動態定位資料處理及校正報告產製程式」，藉由連線國土測繪中心測量儀器校正實驗室案件資料庫，自動取得各案件編號之校正資訊（圖 9），並可直接讀取儀器下載之觀測數據，進行觀測數據檢核及校正結果計算，自動產製校正報告，避免人為誤繕情形，確保校正報告之正確性。

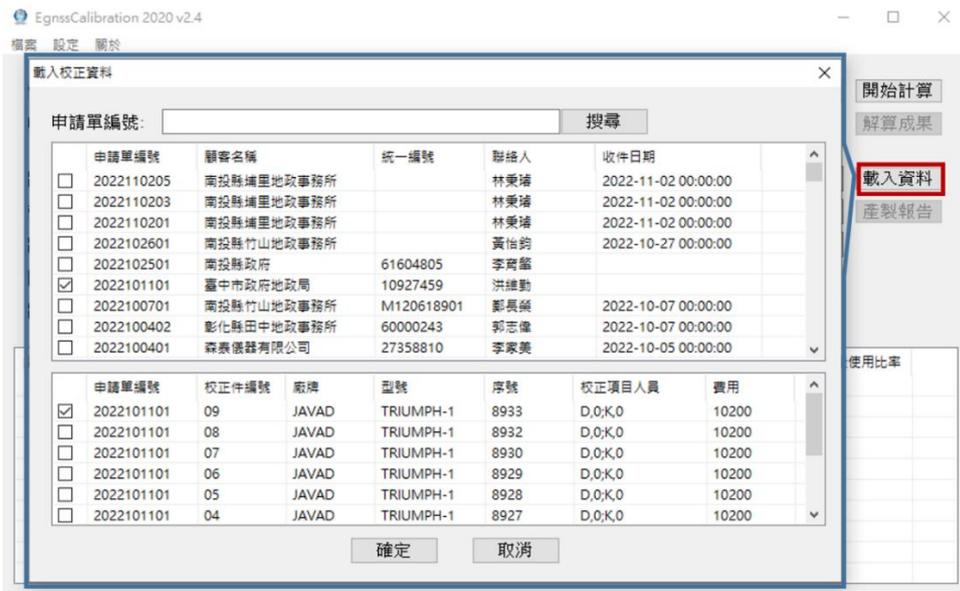


圖 9 資料庫連接獲取校正資訊示意圖

(三) 設計品質保證方案，符合 TAF 能力試驗活動要求

依 TAF「能力試驗活動要求」文件，能力試驗活動不足以支持實驗室所有校正或 測試品質保證時，實驗室應研究發展其它品質保證方案（財團法人全國認證基金會，2020），因國土測繪中心建置之「e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統」非該文件之附件四表 1（校正領域能力試驗指定項目）及表 2（校正領域量測稽核項目）所列項目，爰研擬「品質保證方案」，以不同校正系統標準件檢核本系統校正結果之坐標及距離的正確性（圖 10），確保本系統能維持其設計精度並執行任務，各校正系統之擴充不確定度係依國際標準組織（International Organization for Standardization, ISO）之「量測不確定度表示法指引」（Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, GUM:1995）進行評估，將各項誤差來源分為 A 類及 B 類不確定度，並予以量化。其中，A 類以統計方法評估，B 類用其他方法評估，兩者皆以假設性機率分布為基礎，估得各標準不確定度，再合併成組合標準不確定度，依特定信賴水準與有效自由度，決定涵蓋因子，計算擴充不確定度（內政部國土測繪中心，2021；International Organization for Standardization, 2008），品質保證方案檢核方式詳述如下：

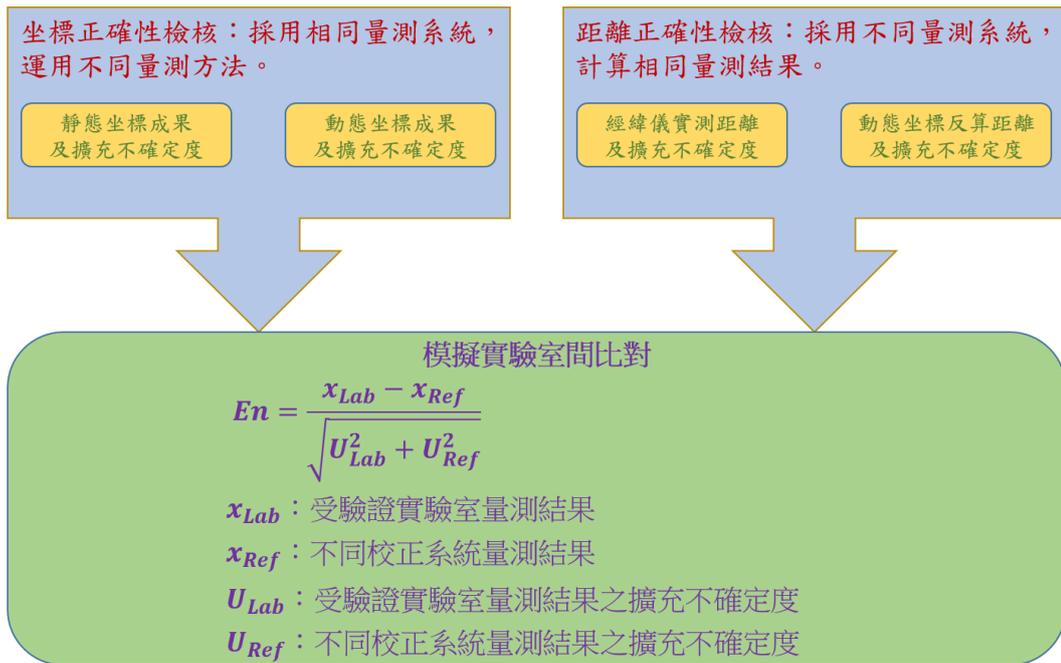


圖 10 品質保證方案

1. 坐標正確性檢核

採用相同量測系統，運用不同量測方法驗證坐標成果正確性。以本中心測量儀器校正實驗室之衛星定位儀校正系統標準件於各校正基點進行完整 1 日之靜態觀測 5 次，並以瑞士伯恩大學天文研究所研發之 Bernese 研究軟體解算其與固定基點之中基線斜距，進而推求出各校正基點之 e-GNSS 系統坐標，再依據 ISO GUM:1995 方法計算「校正件之動態觀測坐標成果」與「標準件之靜態觀測坐標成果」之擴充不確定度，並以兩者之量測成果進行 En 值計算，當 $|En| \leq 1$ 時，表示兩者量測結果一致（內政部國土測繪中心，2021），計算結果如附件 1。

2. 距離正確性檢核

採用不同量測系統，具有相同量測結果之特性，驗證距離成果正確性。以本中心測量儀器校正實驗室之電子測距儀校正系統標準件，直接量測校正基點間之水平距離 5 次並取平均值，由不同量測系統來驗證校正結果，再依據 ISO GUM 方法計算「校正件 e-GNSS 坐標成果反算之水平距離」與「電子測距儀校正系統標準件量測之水平距離」之擴充不確定度，並以兩者之量測成果進行 En 值計算，當 $|En| \leq 1$ 時，表示兩者量測結果一致（內政部國土測繪中心，2021），計算結果如附件 2。

五、系統特色

(一)提供符合實際使用狀況之校正結果

國內校正實驗室有關衛星定位儀之校正項目，均於地心地固坐標系（X、Y、Z）以校正基點相對於固定基點之空間關係，評估擴充不確定度及計算校正結果，然以虛擬基準站為基礎之網路化即時動態定位技術（Virtual Base Station-Network RTK，以下簡稱 VBS-RTK）測量之成果係相對於虛擬基準站之單點定位成果，且皆將其投影至橫麥卡托（Transverse Mercator）二度分帶（以下簡稱 TM2 度分帶）坐標系統（N、E、h），以符實際測繪工作使用，國土測繪中心「e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統」依據衛星定位測量原理及 e-GNSS 即時動態定位之 TM2 度分帶坐標成果，針對各項不確定度來源進行分析，計算校正基點 TM2 度分帶坐標成果之擴充不確定度，提供使用者 TM2 度分帶坐標分量較差之校正結果（如表 1），符合實際作業精度評估需求。

表 1 校正結果範例

校正基點 CS01 相對 LSB0 之 e-GNSS 系統坐標	參考值[m] R ₁	量測值[m] A ₁	器差[mm] A ₁ -R ₁	擴充不確定度 [mm]
N ₁	2650353.691	2650353.684	-7	34
E ₁	217829.122	217829.125	3	
h ₁	133.478	133.466	-12	

(二)符合相關規範之評估數據

「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」為國土測繪中心以 e-GNSS 即時動態定位系統辦理控制測量之依據，另內政部「非都市計畫地區圖解數化地籍圖整合建置作業手冊」包含以 VBS-RTK 技術辦理圖根測量之作業方式及規範，後續亦規劃修正「數值法地籍圖重測作業手冊」，將以 VBS-RTK 技術辦理相關測量工作之作業方式及規範納入作業手冊，相關作業規範均要求以點位重複觀測之平面及高程分量較差，作為觀測成果檢核條件，國土測繪中心「e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統」提供之符合性聲明參考資訊（如表 2），可提供使用者直接評估儀器測量精度是否適合其辦理測量工作之作業規範。

表 2 符合性聲明參考範例

校正基點	控制點重複觀測通過標準	
	$\Delta H = \sqrt{(A_{Ni} - R_{Ni})^2 + (A_{Ei} - R_{Ei})^2} \leq 20$ (mm)	$\Delta V = A_{hi} - R_{hi} \leq 50$ (mm)
CS01	7	4
CS02	6	8

(三)提供動態觀測資料處理程式

各廠牌衛星定位儀進行即時動態定位觀測時，僅可設定紀錄「每秒坐標」或「觀測坐標平均值」，無法依常態分布 99%信心區間進行粗差偵錯，剔除大於 3 倍中誤差之觀測數據，國土測繪中心開發「e-GNSS 即時動態定位資料處理及校正報告產製程式」時，另將即時動態定位資料處理功能製作為「動態觀測資料處理程式」，提供辦理即時動態定位觀測之使用者使用，可將大於 3 倍中誤差之觀測數據剔除後計算平均值，並可檢核點位重複觀測結果（圖 11），協助使用者確保動態觀測資料之成果品質。

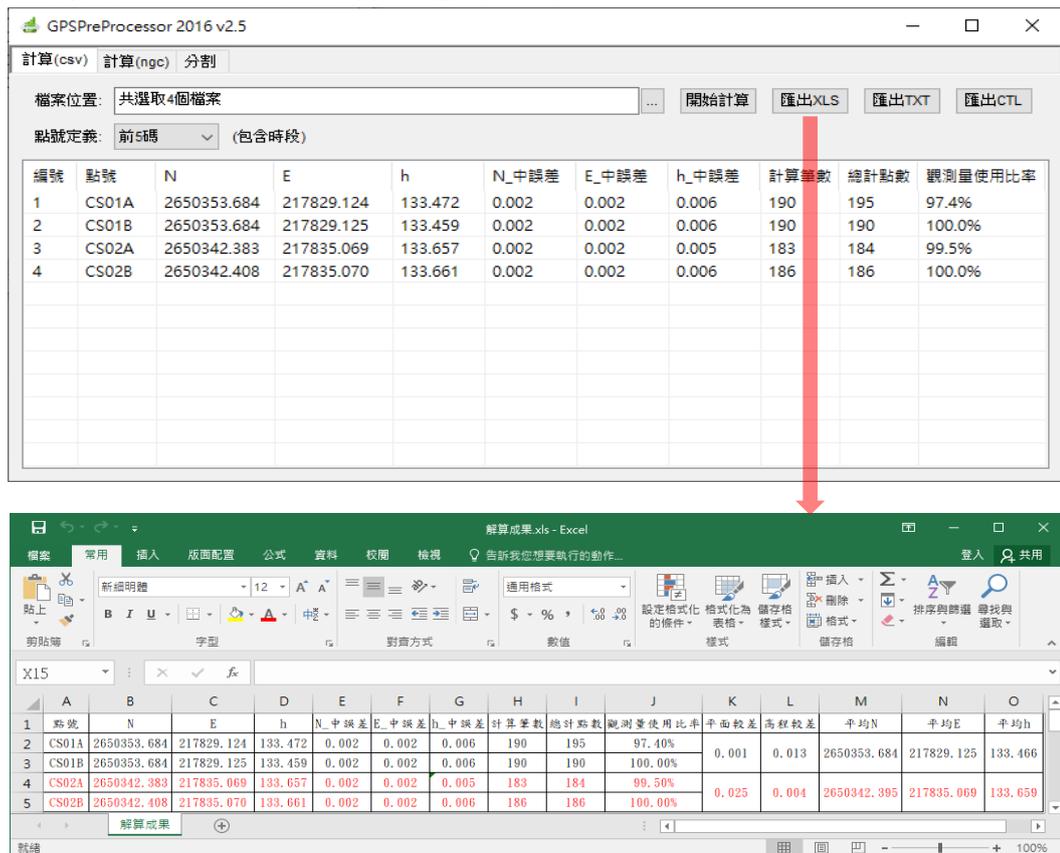


圖 11 「動態觀測資料處理程式」

(四) 監測校正系統穩定性

「e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統」係以各校正基點相對於固定基點之相對位置評估不確定度，為求校正基點至固定基點基線是否穩定，設計一套查核參數和管制圖來監控校正系統，本中心每季辦理校正基點查核工作，以各校正基點相對於固定基點之斜距辦理管制(內政部國土測繪中心，2021)，分析查核參數平均值、計算標準差，並以 99.7%信賴水準訂定管制上、下限(圖 12、13 紅線)，監控各校正基點至固定基點基線之穩定性，利用每次查核值與標準值計算之斜距差是否超出管制上、下限，來確認其基線成果處於穩定狀態(圖 12、13)，提供正確的校正結果。

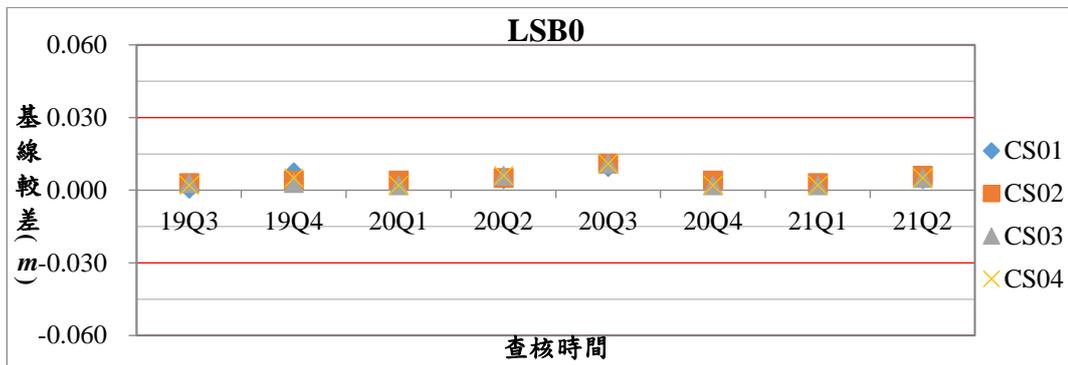


圖 12 校正基點至 LSB0 斜距管制圖

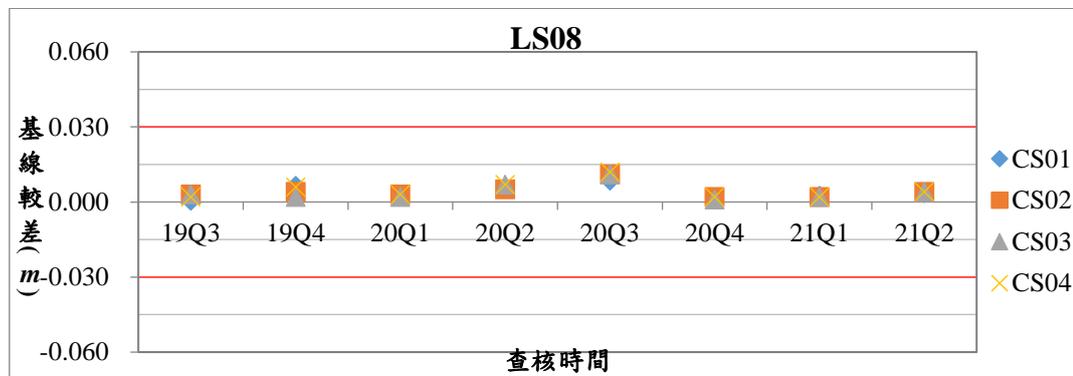


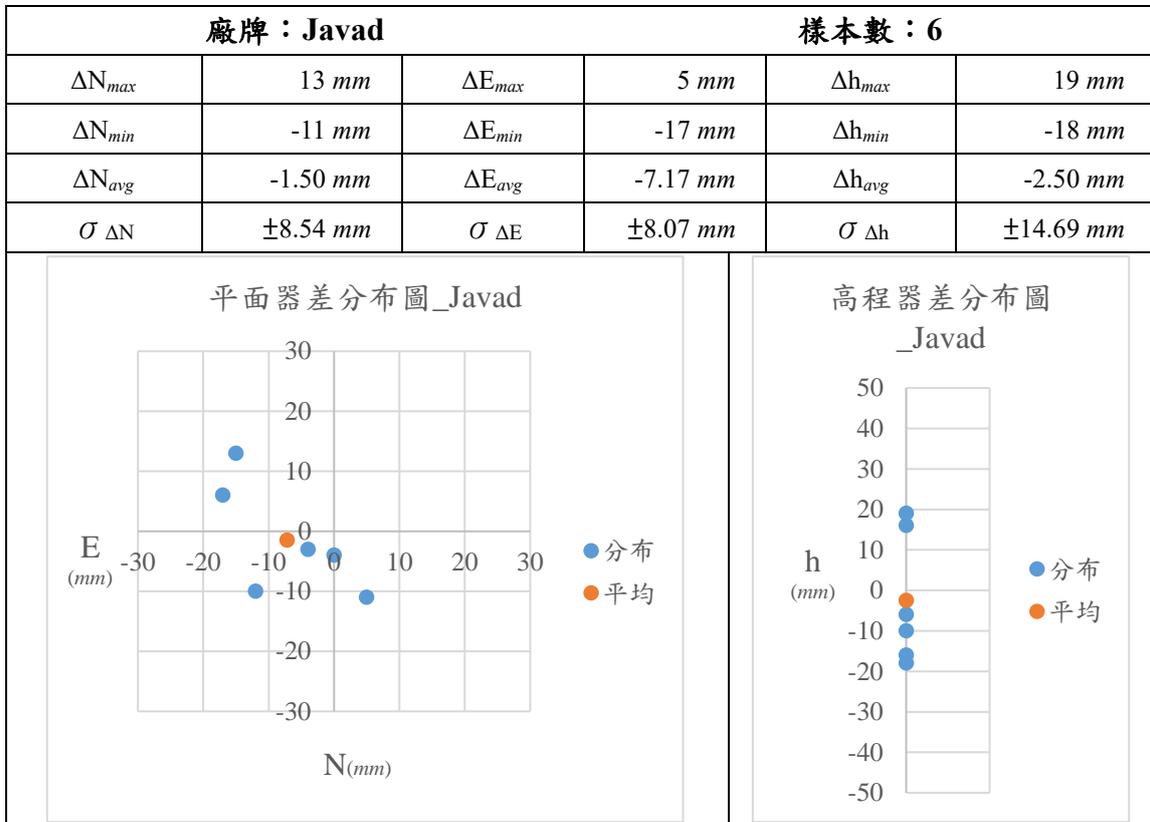
圖 13 校正基點至 LS08 斜距管制圖

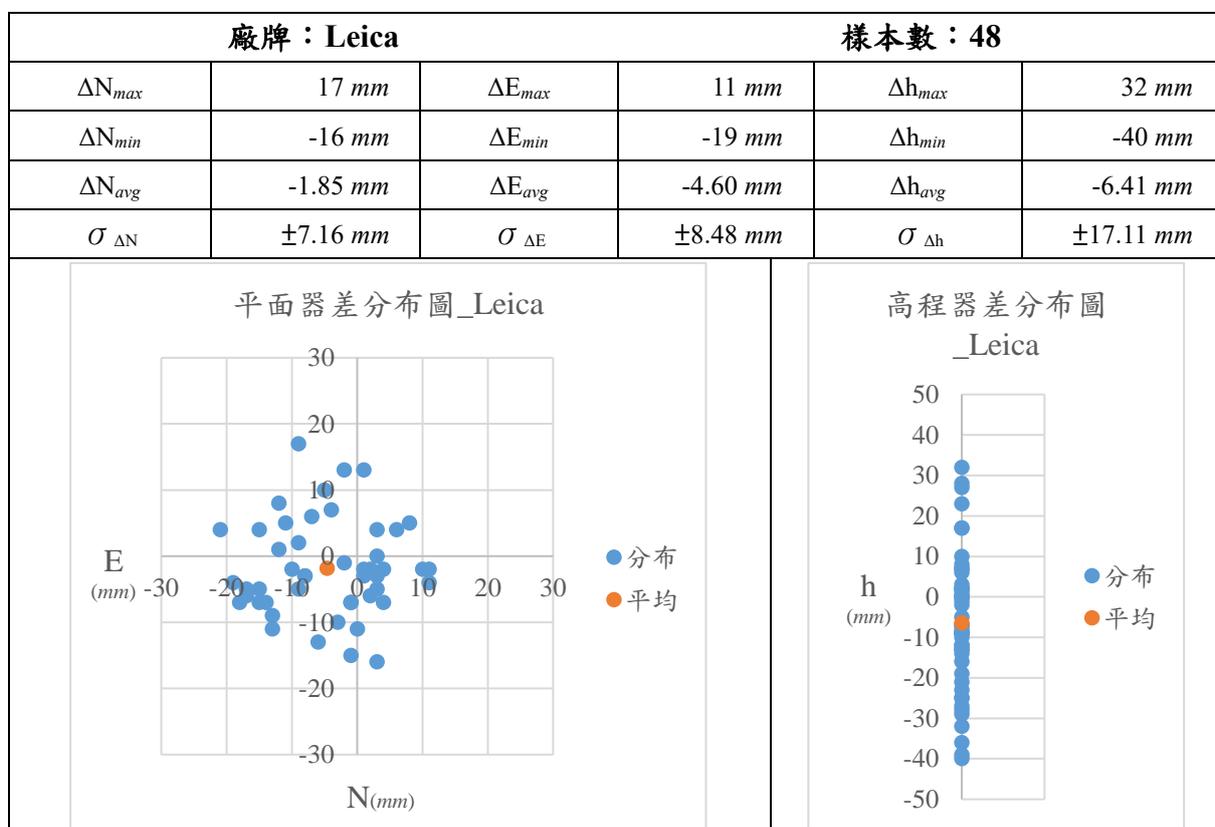
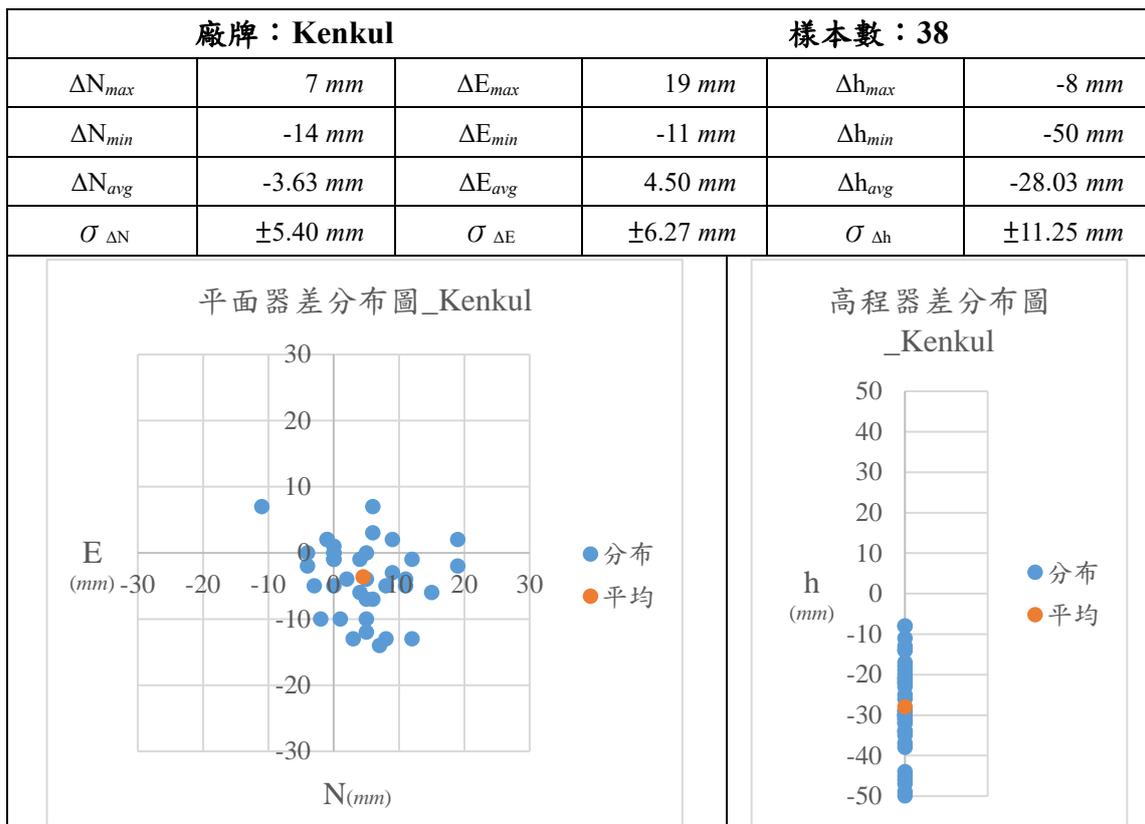
六、校正資料分析

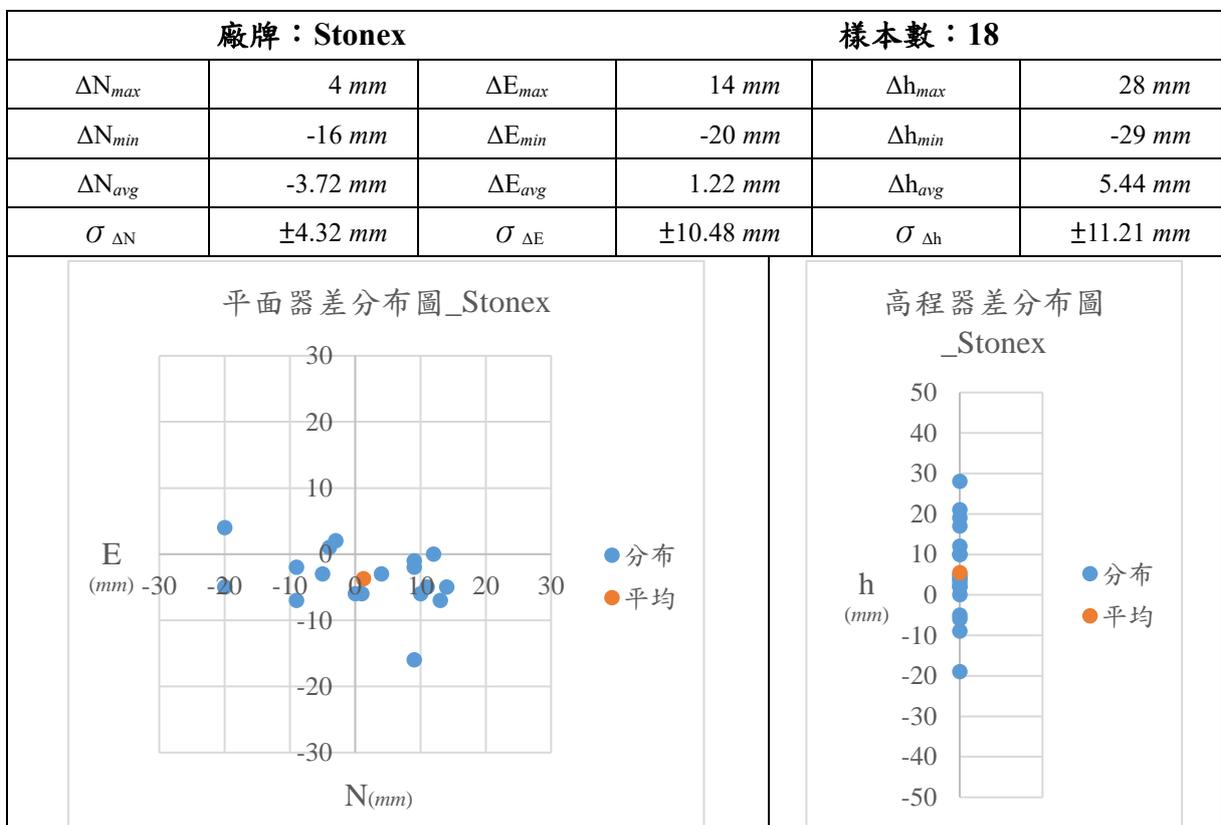
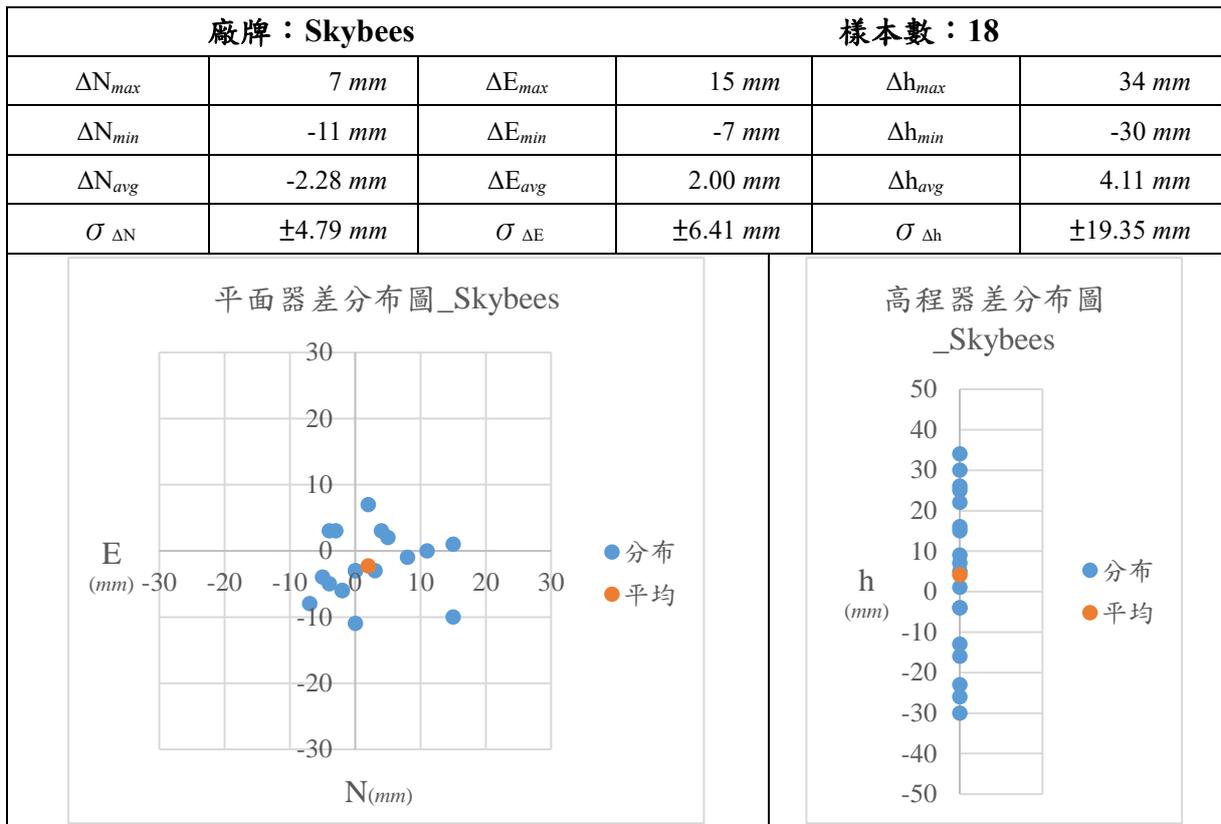
本系統至今累計逾 400 筆校正數據，包含 Javad、Kenkul、Leica、Skybees、Stonex、Topcon、Trimble、Locosys、Sokkia、Spectra 等廠牌，其中 Kenkul 及 Locosys 有別於專業型衛星定位儀，為非測量型衛星定位控制盒及簡易型天線，茲就各廠牌及系統整體校正結果進行統計分析，計算各方向器差極大值、極小值、平均值及標準偏差，並分析校正結果分布情形，系統整體校正結果 N、E 方向器差均在校正系統之擴充不確定度 (34 mm) 範圍內，h 方向因非測量型衛星定位儀無法將天線高精確化算至 ARP 位置，故超出校正系統之擴充不確定度 (34 mm) 範圍，但符合國土測繪

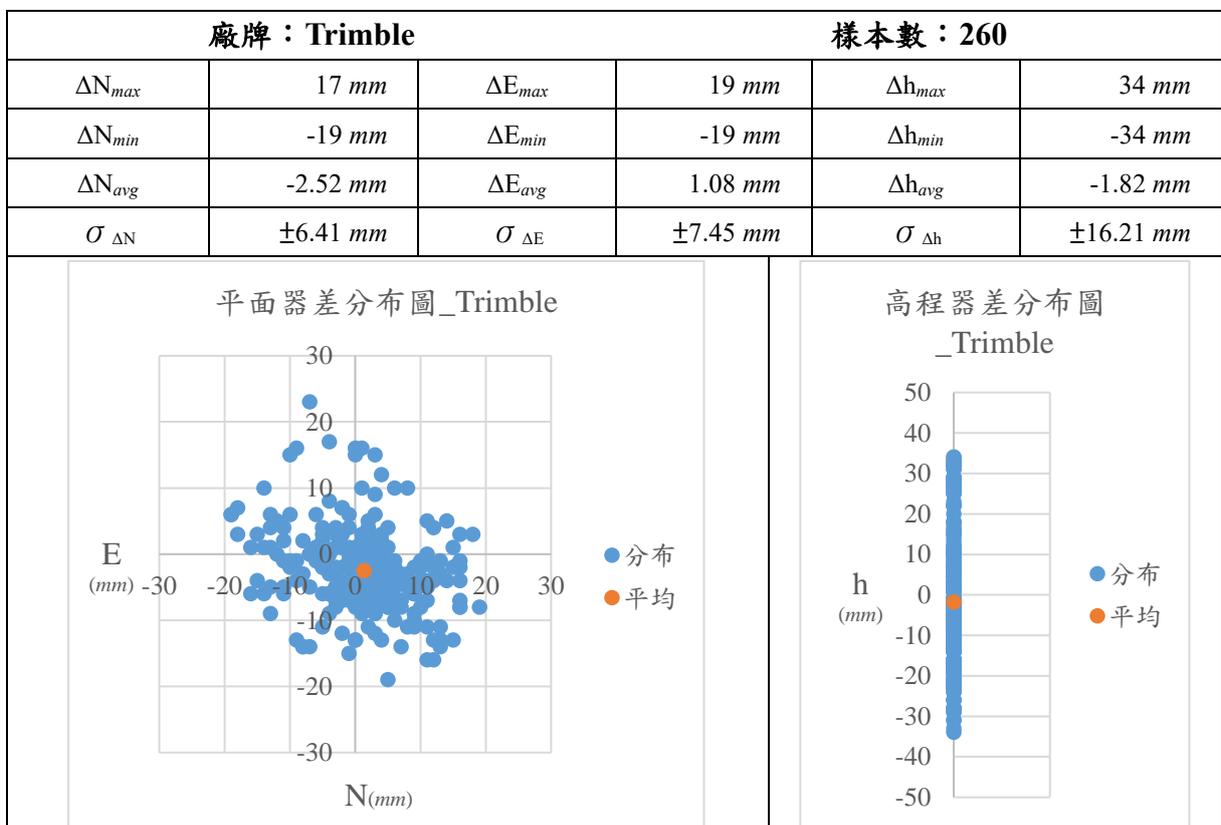
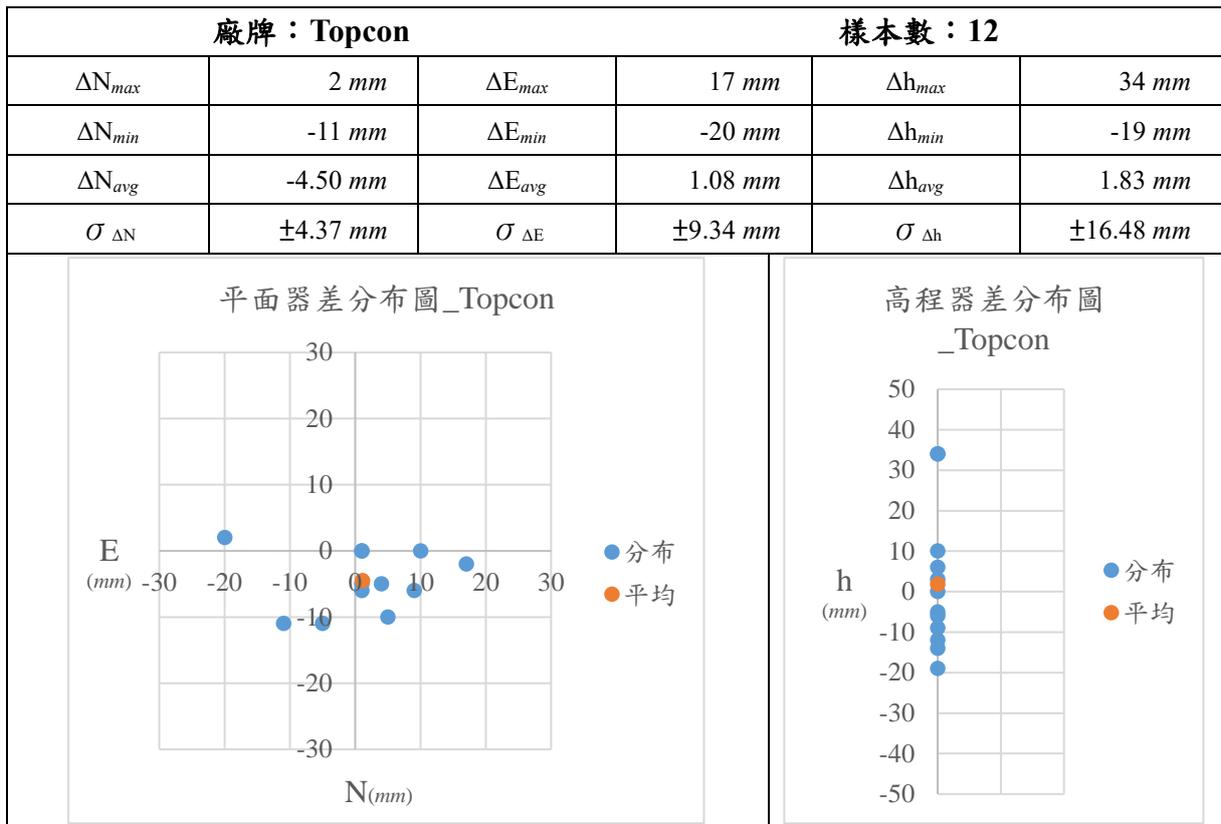
中心 e-GNSS 即時動態定位系統公布之定位精度（平面精度優於 5 公分，高程精度優於 10 公分）。各廠牌儀器及系統整體校正結果如下：

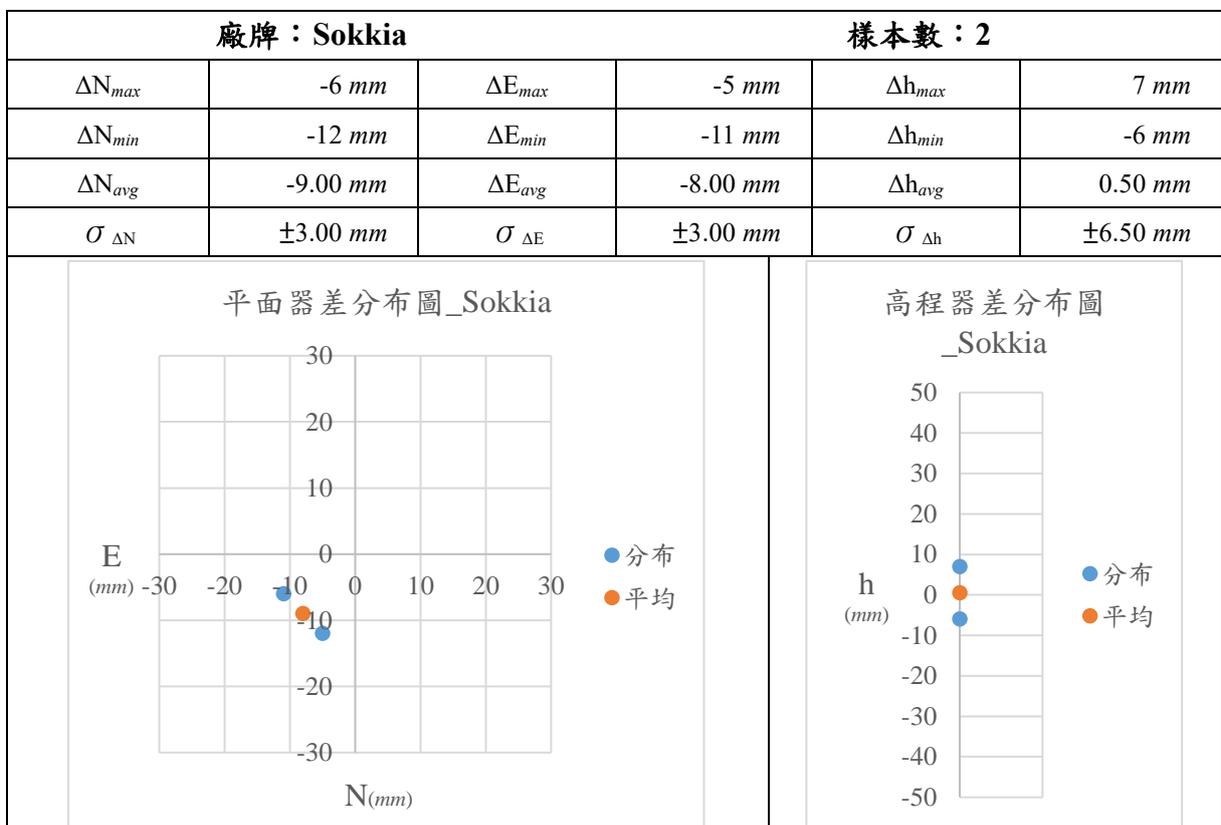
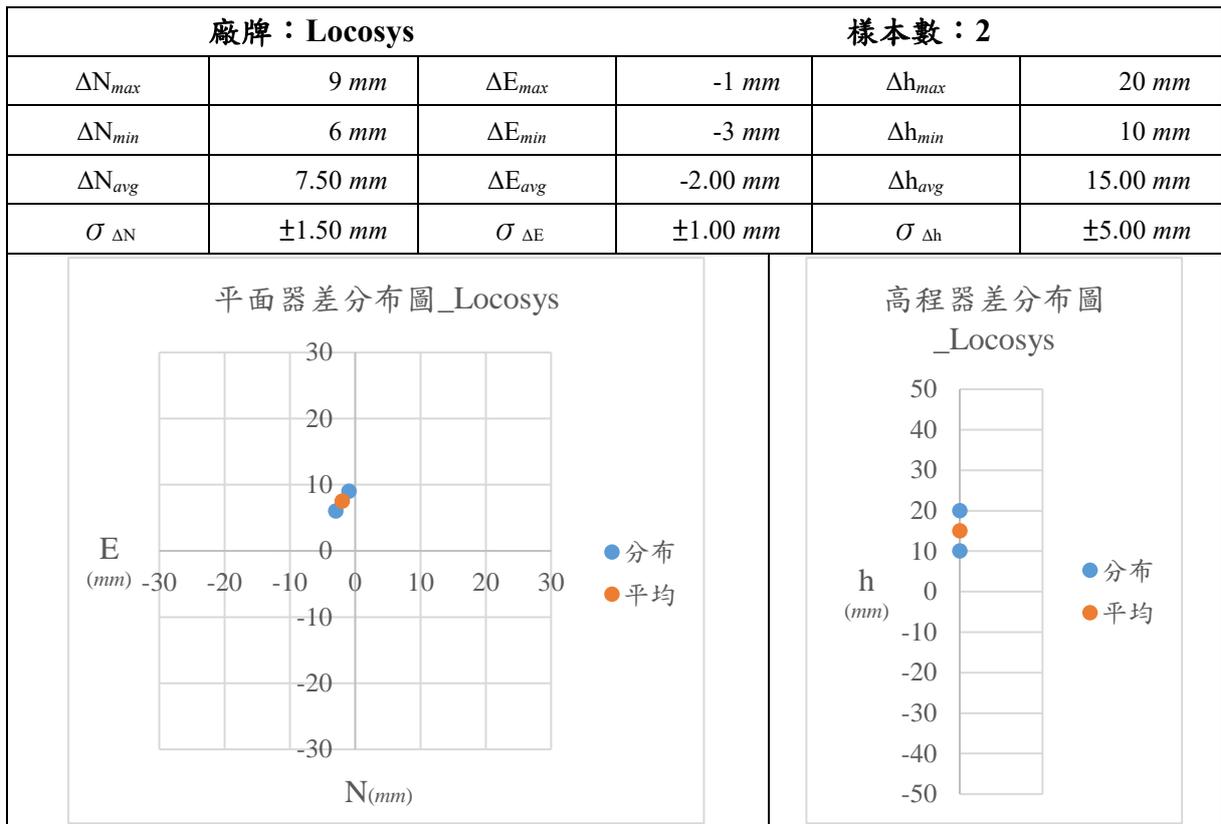
(一) 各廠牌儀器校正結果及分布情形。

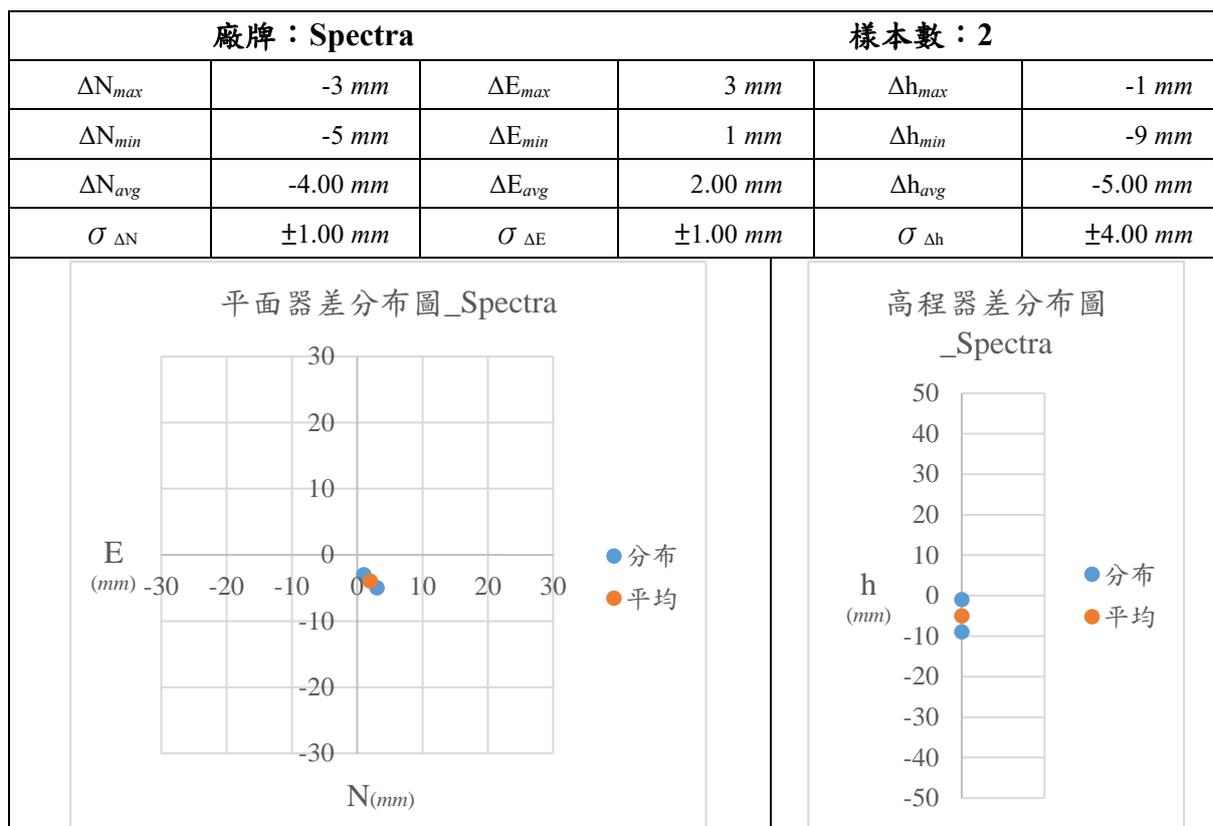






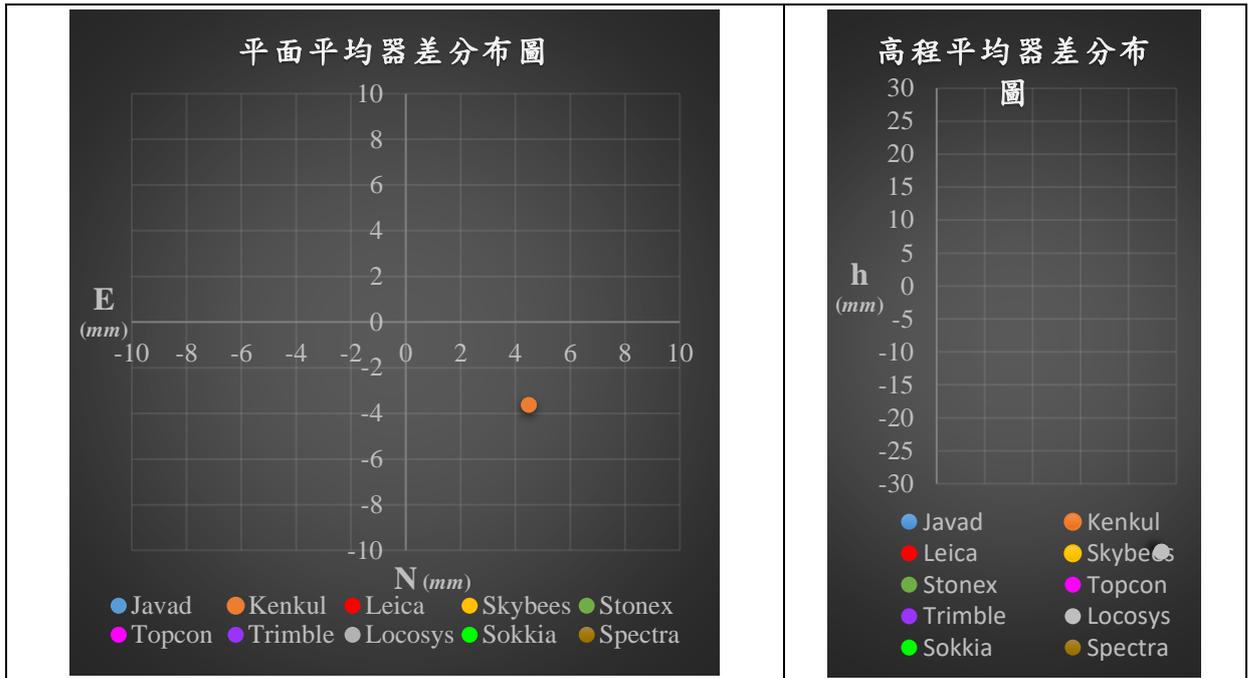






(二) 系統整體校正結果：各廠牌儀器平均器差統計及分布情形。

e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統整體校正結果及分布情形					
ΔN_{max}	23 mm	ΔE_{max}	19 mm	Δh_{max}	34 mm
ΔN_{min}	-19 mm	ΔE_{min}	-21 mm	Δh_{min}	-50 mm
ΔN_{avg}	-2.62 mm	ΔE_{avg}	-0.76 mm	Δh_{avg}	-4.06 mm
$\sigma_{\Delta N}$	± 6.30 mm	$\sigma_{\Delta E}$	± 8.20 mm	$\sigma_{\Delta h}$	± 17.78 mm



七、結論與建議

(一) 結論

1. 綜合比較各廠牌儀器校正結果之 N、E、h 器差平均值，Skybees、Stonex 及 Trimble 三者器差平均值相近，或許與 Skybees 及 Stonex 係採用 Trimble BD970 主機板有關。
2. Kenkul 及 Locosys 為非測量型衛星定位控制盒及簡易型天線，其天線未經率定，廠商無法將天線高精確化算至 ARP 位置，可明顯發現其高程平均器差遠大於其他專業型衛星定位儀。
3. 依據各廠牌校正結果，器差平均值符合統計理論趨近於零，而其標準偏差代表該廠牌即時動態定位之穩定度，標準偏差越小代表每次定位結果越接近，惟參考中央極限定理 (Central Limit Theorem)：「無論母體為何種分布，自母體中隨機抽取 n 個為一組樣本，若樣本數 n 夠大 (一般認為 $n \geq 30$)，則樣本平均數的抽樣分布會趨近於常態分布」，本次分析數據僅 Kenkul、Leica 及 Trimble 三廠牌樣本數大於 30，其他廠牌分析結果可靠度稍嫌不足，俟未來樣本數夠大時，分析結果將更為可靠。

(二) 建議

1. 測量儀器校正是一個持續性、定期性的工作，可有效降低因儀器誤差所造成的測量錯誤，對於保障測量成果品質效果顯著，國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統實務上已廣泛使用於控制測量、地籍測量、現況測量及工程測量等測繪業務，新開發之儀器設備透過校正工作可確認其測量精度，

而現有儀器以持續辦理定期校正方式，於作業前確保測量精度，後續累積之校正數據可分析其精度是否隨儀器設備老化而降低，評估設備更新之必要性。

2. 隨著國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統實務應用愈趨廣泛，部分作業規範已開始研擬即時動態定位測量之檢核機制，未來可參考不同作業規範之檢核條件，適當增加符合性聲明參考內容，使校正報告內容更貼近使用者需求。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2021，e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統評估，內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室系統評估文件，編號：SICL-3-07-1。
- 財團法人全國認證基金會，2020，能力試驗活動要求，財團法人全國認證基金會 ISO/IEC 17025 測試實驗室文件，編號：TAF-CNLA-R05。
- International Organization for Standardization, 2008, ISO/IEC GUIDE 98-3:2008 Uncertainty of Measurement: Part3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM: 1995), First edition.

附件 1

靜態衛星定位				e-GNSS即時動態定位				擴充不確定度 (mm)	擴充不確定度 (mm)	En 值				
校正基點相對於 LSB0 之 e-GNSS 系統坐標	量測值 A (m) <i>Leica GR30</i> 1832189 - 1832197 1832209 - 1832208	參考值 R (m)	偏差 A-R (mm)	校正基點相對於 LSB0 之 e-GNSS 系統坐標	量測值 A (m) <i>Trimble R32</i> 5603R01129	參考值 R (m)	偏差 A-R (mm)							
CS01	N1	2650353.691	-3	CS01	2650353.691	2650353.690	-1	34	-2	0.04				
	E1	217829.112	0		E1	217829.112	217829.108		-4	4	0.08			
	h1	133.478	1		h1	133.477	133.454		-23	24	0.54			
CS02	N2	2650342.389	-4	CS02	2650342.389	2650342.390	1		34	-5	0.11			
	E2	217835.054	-1		E2	217835.054	217835.063			9	-10	0.21		
	h2	133.666	3		h2	133.666	133.654			-12	15	0.33		
CS03	N3	2650332.788	-4	CS03	2650332.792	2650332.796	4			34	-8	0.18		
	E3	217840.074	0		E3	217840.074	217840.071				-3	3	0.06	
	h3	133.461	1		h3	133.461	133.454				-7	8	0.18	
CS04	N4	2650336.315	-4	CS04	2650336.319	2650336.315	-4				34	0	0.00	
	E4	217858.235	0		E4	217858.235	217858.230					-5	5	0.12
	h4	133.616	1		h4	133.615	133.604					-11	12	0.27

附件 2

電子測距儀			e-GNSS 即時動態定位坐標反算								
校正基點水平距離	參考值 R (m)	量測值 A (m) <i>Leica_T430</i> <i>365576</i>	器差 A-R (mm)	擴充不確定度 (mm)	校正基點水平距離	參考值 R (m)	量測值 A (m) <i>Trimble_RB2</i> <i>5605R01129</i>	器差 A-R (mm)	擴充不確定度 (mm)	X _{Lab} -X _{Ref} (mm)	En 值
HD1	12.769	12.771	2	1	HD1	12.769	12.773	4	68	-2	0.03
HD3	18.500	18.504	4		HD2	18.500	18.497	-3		7	0.10

利用深度學習提升夜間行駛車輛的辨識能力

管志偉^{1*} 周天穎² 陳維哲³

論文收件日期：112.11.02

論文修改日期：112.11.10

論文接受日期：112.11.17

摘要

傳統的夜間監控系統受限於光線不足，導致車輛識別率較低。然而，本研究所提出的方法結合了可見光和熱感影像，大幅提高了夜間駕駛車輛的識別率。我們運用Yolo算法對這些混合圖像中的車輛進行準確識別，不僅提高了辨識的準確性，也提供了更豐富的交通流資訊。

這項方法不僅僅是技術層面的創新，更在夜間交通監測方面具有實際的應用價值。透過我們的方法，交通管理者可以更精準地了解夜間路段的車輛密度、速度等信息，為交通管理和安全決策提供了更可靠的數據支持。

本研究的實驗結果顯示，所提出的方法在車輛識別中實現了高精度。這不僅使得夜間駕駛更加安全，也為城市交通管理提供了一個具有前景的解決方案。這種綜合應用不僅為夜間行車帶來更高的安全性，同時也為智慧城市的建設提供了更可靠的技術支持。

關鍵詞：Yolo、光學影像、深度學習、熱感影像。

¹ 博士生，逢甲大學建設規劃與工程學系

² 特聘教授，逢甲大學都市計畫與空間資訊學系

³ 博士生，逢甲大學智慧城市學程

* 通訊作者，TEL: (04)24516669 轉 702，Email: will@gis.tw

Enhancing Nighttime Vehicle Recognition with Deep Learning

Chih-Wei Kuan^{1*}, Tien-Yin Chou², Wei-Zhe Chen³

Abstract

Traditional nighttime surveillance systems are limited by low light conditions, resulting in lower vehicle recognition rates. However, the method proposed in this study combines visible light and thermal imaging, significantly increasing the recognition rate of driving vehicles at night. We applied the Yolo algorithm to accurately identify vehicles in these hybrid images, not only improving recognition accuracy but also providing richer traffic flow information.

This approach is not only a technical innovation but also has practical application value in nighttime traffic monitoring. Through our method, traffic managers can gain a more precise understanding of nighttime road segments, including vehicle density, speed, and other information, providing more reliable data support for traffic management and safety decisions.

The experimental results of this study demonstrate high accuracy in vehicle recognition. This not only enhances the safety of nighttime driving but also provides a promising solution for urban traffic management. This integrated application not only brings higher security to nighttime driving but also provides more reliable technical support for the construction of smart cities.

Keyword : Deep learning 、 Optical image 、 Thermal image 、 Yolo

¹ PhD Candidate, Infrastructure Planning and Engineering, Feng Chia University.

² Professor , College of Construction and Development, Feng Chia University.

³ Master, Master Program for Smart Cities, Feng Chia University.

*Corresponding Author , TEL:04-24516669#702 , Email:will@gis.tw

一、前言

近年來隨著電腦軟硬體的進步，人工智慧技術已經蓬勃發展，各式的 AI 應用皆已深入生活中，像是自動駕駛車輛的偵測系統、停車場車牌辨識、路口監視系統等，對於現代交通控制系統有顯著的進步。然而傳統的光學影像容易受到下雨天或是夜間光線不足的情況影響車輛的辨識率，為了能夠提升交通整體的安全，路口的監測或是車流量的監測都應該不分天氣狀況或夜晚時間，提供全天候的即時監測。

熱感影像的物理原理可區分出具有溫度變化的特徵物，而傳統的光學影像需要依賴光線反射出物體的型態，夜晚行駛車輛的車燈也會有光暈現象造成光學影像辨識的困難，但是熱感影像使利用熱能的原理因此不受到車燈光線影響，故光學影像辨識在夜晚時辨識率較低會有所侷限。

本研究依據此目的與動機進行研究，以夜間光線不足情況下，利用熱感影像來源來補足傳統光學影像的限制，並且利用深度學習中可同時辨識物件的類神經網絡-Yolo 方法，來進行 AI 模型的訓練與回歸校正，最後再依據訓練好的模型進行夜間車輛於光學影像與熱感影像的分析與比較。

二、相關研究

深度學習是由電腦本身依循自己的判斷，從所分析的原始資料中找出特徵值來逕行標記，也稱為特徵學習(Feature Learning)或者是特徵抽取(Feature Extraction)，電腦自行本身有判斷能力去找出共通點再進行分群，不會有過多的人為介入，可迅速去判斷目標位置及類別，能很有效的運用在即時性的辨識中，特別是可應用於車輛影像辨別。

(一)深度學習應用於車輛辨識

近年來利用深度學習辨識已成為道路檢測最有利的指標，車輛在交通的監控中為重要的對象類別，早期的自駕車較於依賴感測器系統，需要以許多傳感器的設置與其傳感器所偵測到的數據來提供準確的環境訊息，這種方法的缺點就是需要專業人員密集的手動參數調整，比較難以運用到每個環境中，由於深度學習在圖像分類領域取得許多出眾的結果，Feris, 2012 和 Matei, 2011 利用道路攝影機捕獲車輛的圖像，能快速的發現並定位和追蹤監視影像中的目標車輛。在電腦視覺領域中，由於資料量的不斷增加和軟硬體設備的快速進步，深度學習方法在檢測精度方面遠遠超過傳統算法。車輛檢測方式主要考慮到車輛的特性包括在動態環境的影像變化，環境中光線照明和背景的變化，車輛的種類、尺寸、大小、形狀、位置和顏色等。目前較為主流的檢測法主要分為兩種，兩階段車輛檢測算法與一階段車輛檢測模型，兩階段目標檢測的代表為 faster RCNN，一開始生成一系列的候選框對其進行分類與回歸，包含為候選區域的生成、特徵值的提取、分類位置細化，優點為檢測的精度高，結合 VGG16 K. Simonyan, 2014 做為基本特徵提取的神經網絡，整體的精度

性能已經提升到 42.1%。一階段車輛模型，沒有中間檢測的過程，主要利用在不同位置和不同比例和縱橫比例進行採樣圖像，接著用 CNN 提取特徵做分類與回歸，由於過程只有一個步驟，有著操作較為快速的優點，如 Yolo 在車輛的辨識中，證實了在模型的 mAP 檢測指標和運行速率都有得到有效的提升，即時性和準確性這兩方面在目標檢測中都有很大的進步。

然而車輛對於夜間的檢測較於困難，Ho Kwan Leung 2019 提出了 faster RCNN 的優化，針對於夜間的車輛辨識，透過數據集以及夜間車輛圖像的蒐集，夜間的環境情況使得遮蔽物、模糊物以及小型的物體進行特殊處理，傳統夜間車輛檢測的應用，多主要是靠車輛的車頭和車尾燈，這是因為夜晚缺乏了足夠的光線，faster RCNN 的檢測精度會隨著車輛圖像訓練大小而野所增加，訓練時所用車輛圖像越大，越能清晰地顯示車輛的主要特徵與輪廓，能提供夠有效的訓練。

(Vibhanshu Singh Sindhu,2021)的研究指出，車輛的檢測與追蹤已經成為了交通影像監控的重要工具，在公路安全、違規取締和到監控在現在路口監視器與行車紀錄器，交通影像的流動相當普及，也帶起了運用演算法去處理車輛檢測的概念，雖然機器學習辨識方法的速度較快，但圖像有較多的明亮變化，各個車輛的車速均不同，導致的場景變得較為複雜，然而 CNN 在物體檢測方面相當不錯的效果，(Vuong Xuan Can,2021)以 YOLOv4 對於越南的交通環境，由於路上約 86%以上都是以摩托車為主，因此交通情況較為複雜且較於混亂，進行了車輛檢測與記數，一共測試了五種類型的載具，包括摩托車、自行車、汽車、公共汽車，分別比較了 YOLOv4、MOG、 Haar Cascade，對於該交通道路上的尖峰以及離峰時段的精準度，車輛檢測和計數的準確性取決於許多因素，例如培訓數據集、圖像質量、氣候條件等，以環境相同為前題去探討，YOLOv4 在整體辨識出來的數量以及正確率可說是效果最好的，他能在複雜的交通環境，通過每一幀數去檢測車輛，使得他在車量較多且車輛重疊的情況下，效果也較於兩者好。

不管是 YOLOv3 甚至是功能更加完善、辨識效率更高的 YOLOv4 都有許多利用在交通和監控應用例子，(Chethan Kumar B.,2020)提出 YOLO 網路車輛模型訓練，神經網路神經網絡由輸入最小的一個隱藏層和一個輸出層組成，對於數據集的訓練圖像與影片，由白天與夜晚的拍攝片以不同的光照程度 圖片所組成，在 RGB 和灰度圖像期間捕獲的汽車、卡車和兩輪車等圖像類別 與夜間和模糊圖像數據集計算的性能參數，例如精度、召回和 f1 分數，結果表明利用 YOLO 模型訓練檢測車輛，圖像與影像的準確率高達 98%與 99% (C. Kumar B, 2020)，(Amir Mohammad Ghoreyshi, 2020)指出運用 YOLOv3 tiny 的版本，在車輛辨識中，不管圖像裡的車輛如何的變化，YOLO 在檢測交通車輛方面始終維持一樣的速率且辨識速率比起其他的模型還要快上 5 倍，而在準確率相差也並不會相差太大，如圖 1 所示。

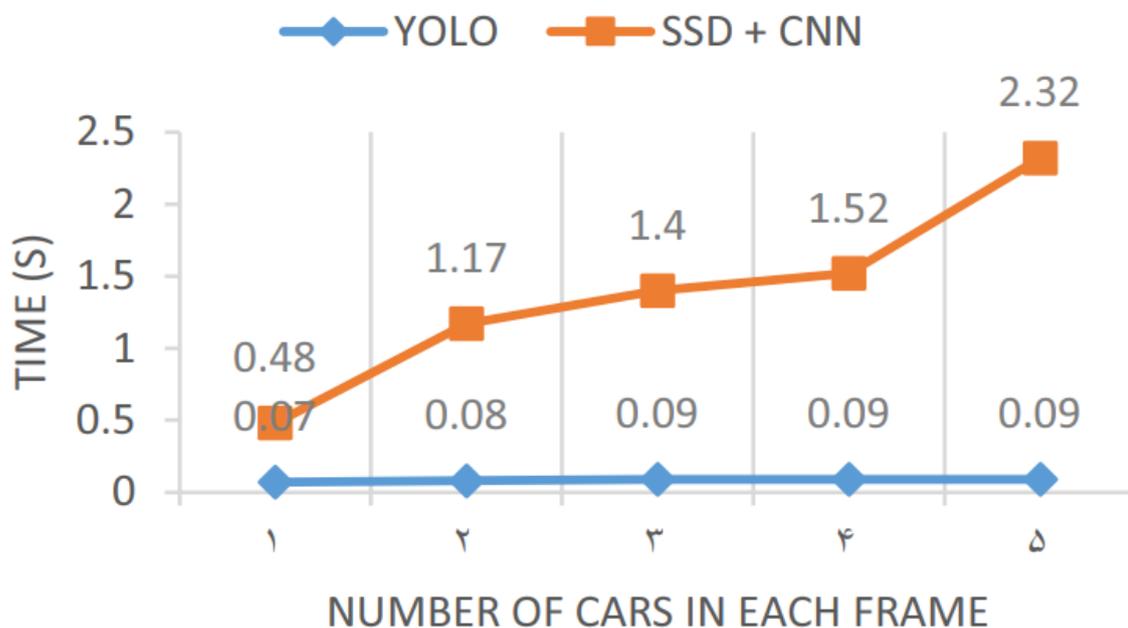


圖 1 車輛變化與各種網路類型關係圖 (Amir Mohammad Ghoreyshi, 2020)

(二)熱感影像相關分析應用

紅外線顯像測溫儀，又稱為紅外線熱像儀、熱成像儀，夜間車輛影像的環境溫度的變化會影響熱圖像的質量，因為圖像是由物體與其周圍環境之間的輻射強度差異形成的，因此較高的環境溫度會降低檢測到的物體與背景之間的對比度。所有物體都散發出肉眼所無法看到的紅外線熱量，肉眼只能接收到很狹窄的電磁波的波長，稱為可見光的光譜，而電磁波譜中的紅外線區域(Infrared, 波長介於微波與可見光之間的電磁波，760 奈米到 1 毫米之間，對應頻率範圍在 430THz 到 300GHz 內，其中分為近紅外光 (NIR, IR A DIN)波長在 0.75~1.4 微米、短波長紅線(SWIR,IR B DIN)、中波長紅外線(MWIR, IR C DIN)波長 3~8 微米、長波長紅外線(LWIR, IR C DIN)波長 8 ~ 15 微米與遠紅外線(FIR)波長 50~ 1,000 微米，這些波長是我們人眼無法捕捉的。熱像儀收集來自場景中物體的紅外線輻射，並根據有關溫差的信息創建電子圖像。熱成像不受車輛影像光照、煙霧、陰影等外在環境的影響，能夠一定距離以非接觸式方式去進行溫度測量，並轉為熱圖像顯示出來，它其中的一個優點是能對大範圍的各物體表面溫度分佈進行比較也能夠對微小的物體進行測量，在完全黑暗的環境中照樣可以運作，由於物體很少與周圍的其他物體的溫度完全相同，因此熱像儀可以檢測到它們，並且它們在熱圖像中看起來是不同的，也非常適用於道路上的車輛辨識。本研究將使用熱感影像來補足光學影像於夜間光線不足的缺點，進行車輛辨識的研究分析比較。

三、研究方法與資料

本研究是基於 Pytorch 深度學習框架中的 YOLOv4，以車輛為訓練樣本去訓練 AI 模型，用以辨識道路中的夜間車輛資訊，並針對不同車輛種類進行簡單的比對，探討光學影像與熱感影像的整體辨識度之差異比較。

(一)影像分析流程

本文將針對熱影像與光學影像針對行駛車輛進行辨識比較，影像分析的流程如下圖 2 所示，我們將從網路上所收集下來包含的車輛圖片進行處理後，分別對 YOLOv4 以及卷積神經網路進行訓練，得到訓練後的權重用以對光學影像以及熱感影像辨識與分類。分別為：1.影像前處理(數據收集、特徵工程，分成訓練集及驗證集)、2.CNN 模型訓練(模型學習、預測與評估)、3.光學影像以及熱影像辨識等三大部份。

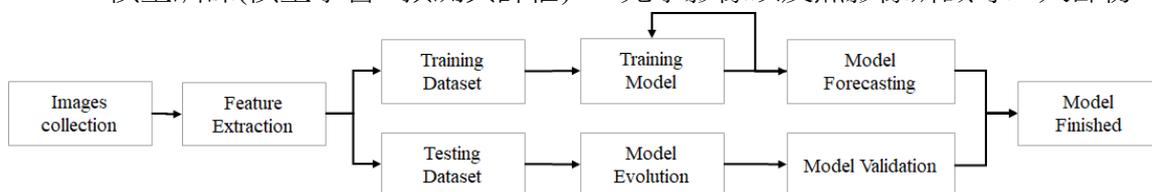


圖 2 YOLOv4 訓練流程圖

(二)熱感影像資料蒐集與分析

本研究的訓練資料除了部分使用 Yolo 既有的資料集之外，主要仍是從路上自行拍攝車輛照片作為訓練資料的資料樣本，道路上的拍攝主要取材的範圍是選擇車流量較多的文心路以及台灣大道，如圖 3、圖 4 等選擇車流量較多的好處是能在一次照片中，有許多種類的車輛可以進行標記訓練，以提高模型的辨識率。



圖 3 車輛取材範圍(白色線條：文心路二段到文心南路)

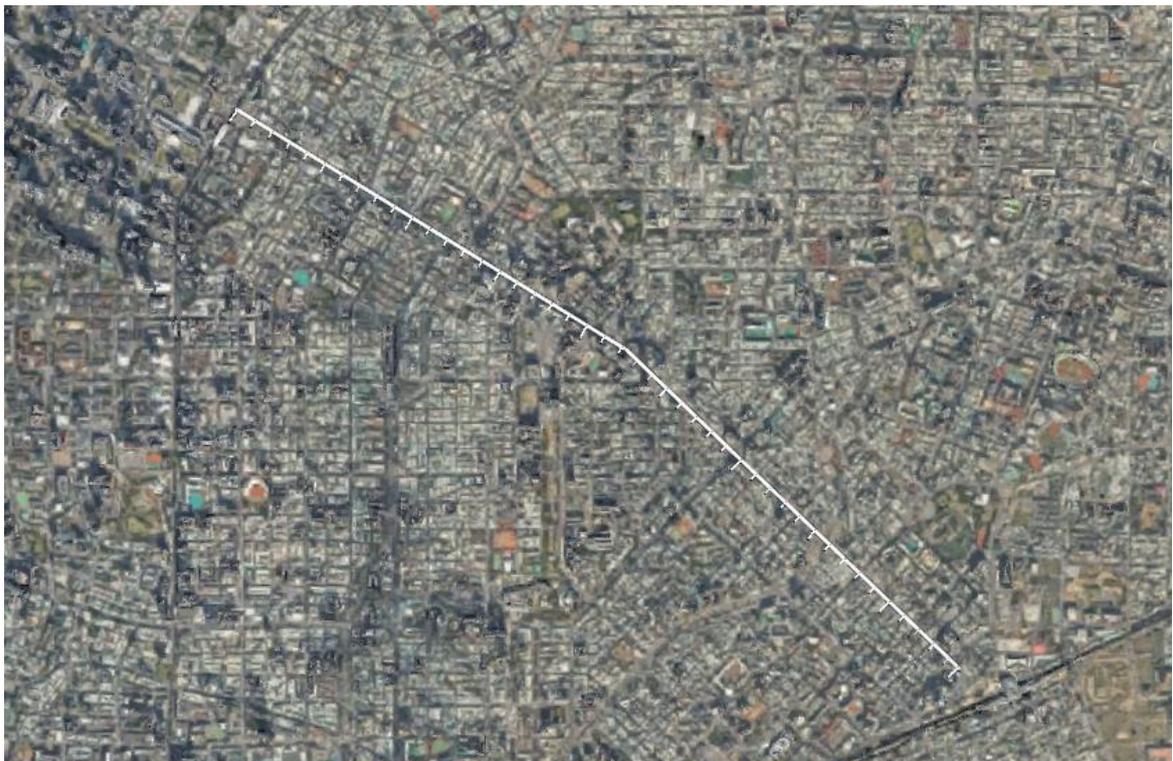


圖 4 車輛取材範圍(白色線條：台灣大道二段文心路口到台灣大道一段)

(三)訓練資料預先處理與環境變數設定

圖片訓練前，需要將所要訓練的車輛進行標記，在模型訓練時學習到的樣本中，區分被標記到車輛的特徵值以及未被標示框選取到的區域為背景。標記使用軟體為開源軟體(LabelImg)，是一種圖像的標註工具，這次研究標記了巴士、汽車、卡車等三種標籤。如圖 5 所示，標記圖像中要檢測的車輛邊界(bounding box)，圈繪並標記了類別名稱，其他未被標示到的區域被視為背景。

在標示訓練樣本的車輛時，如果有離畫面較遠的車輛，車輛的特徵已經很少且不明顯，例如有些車輛則與其他車輛已經重疊，為了避免學習時造成機器辨識的混淆，被擋住的車輛不進行標記，但又需要足夠的訓練數據集，圖片中有完整面的車輛，車燈及擋風玻璃等重要特徵都要標示。

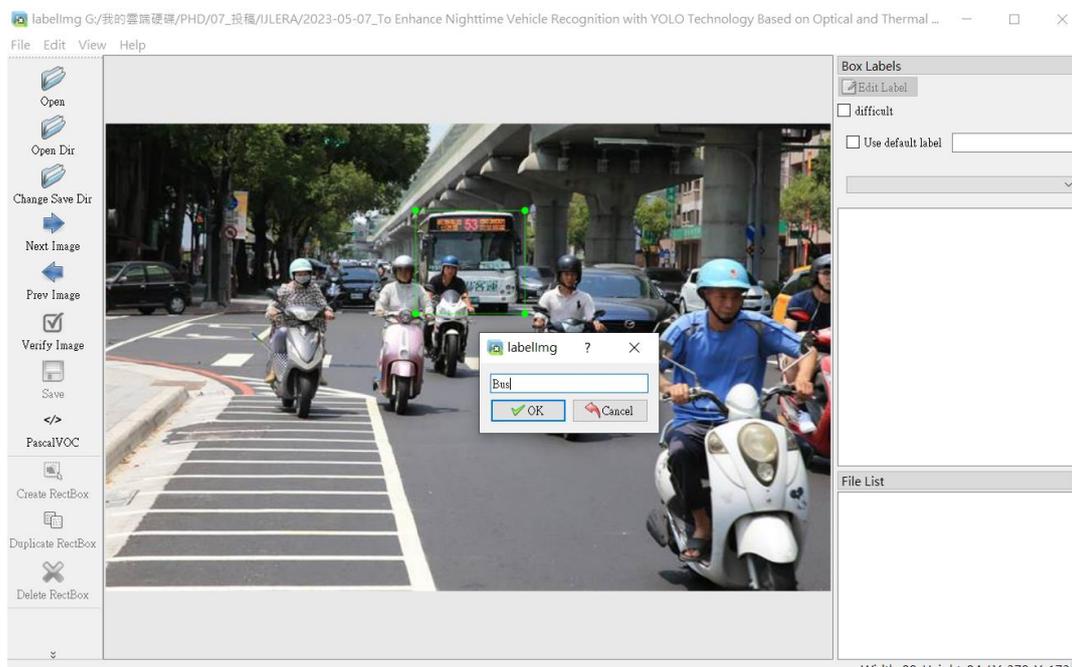


圖 5 使用 labelImg 軟體進行訓練資料標記

當標註完成一張訓練樣本後，LabelImg 會對此張訓練樣本另外儲存為一通檔名且副檔名為.xml 的註解檔，此檔包含的資訊有訓練樣本的分類類別及座標，以及每個 bounding box 的 X 長度及 Y 長度，註解檔如圖 6 所示。

```

This XML file does not appear to have any style informati
▼<annotation>
  <folder>VOC2007</folder>
  <filename>1.jpg</filename>
  ▼<source>
    <database>The VOC2007 Database</database>
    <annotation>PASCAL VOC2007</annotation>
    <image>flickr</image>
    <flickrid>336426776</flickrid>
  </source>
  ▼<owner>
    <flickrid>Elder Timothy Chaves</flickrid>
    <name>Tim Chaves</name>
  </owner>
  ▼<size>
    <width>500</width>
    <height>375</height>
    <depth>3</depth>
  </size>
  <segmented>0</segmented>
  ▼<object>
    <name>person</name>
    <pose>Left</pose>
    <truncated>0</truncated>
    <difficult>0</difficult>
    ▼<bndbox>
      <xmin>135</xmin>
      <ymin>25</ymin>
      <xmax>236</xmax>
      <ymax>188</ymax>
    </bndbox>
  </object>
  ▼<object>
    <name>bicycle</name>
    <pose>Left</pose>
    <truncated>0</truncated>
    <difficult>0</difficult>
    ▼<bndbox>
      <xmin>95</xmin>
      <ymin>85</ymin>
      <xmax>232</xmax>
      <ymax>253</ymax>
    </bndbox>
  </object>
</annotation>
▼<annotation>
  <folder>VOC2007</folder>
  <filename>2.jpg</filename>
  ▼<source>
    <database>The VOC2007 Database</database>
    <annotation>PASCAL VOC2007</annotation>
    <image>flickr</image>
    <flickrid>329950741</flickrid>
  </source>
  ▼<owner>
    <flickrid>Lothar Lenz</flickrid>
    <name>Lothar Lenz</name>
  </owner>
  ▼<size>
    <width>500</width>
    <height>332</height>
    <depth>3</depth>
  </size>
  <segmented>0</segmented>
  ▼<object>
    <name>person</name>
    <pose>Left</pose>
    <truncated>0</truncated>
    <difficult>0</difficult>
    ▼<bndbox>
      <xmin>235</xmin>
      <ymin>51</ymin>
      <xmax>309</xmax>
      <ymax>222</ymax>
    </bndbox>
  </object>
  ▼<object>
    <name>horse</name>
    <pose>Left</pose>
    <truncated>0</truncated>
    <difficult>0</difficult>
    ▼<bndbox>
      <xmin>157</xmin>
      <ymin>106</ymin>
      <xmax>426</xmax>
      <ymax>294</ymax>
    </bndbox>
  </object>
</annotation>

```

圖 6 PascalVOC 檔案內容

而本實驗所需要的檔案類型為 YOLO 的格式，它每一行代表一個物件，分別表示物件名稱(object-class)，物件中心 x 位在整張圖片寬(image_width) 的比例，物件中心 y 位在整張圖片高(image_height) 的比例，物件寬度(target_width)佔整張圖片寬(image_width)的比例，物件長度(target_height)佔整張圖片長度(image_height)的比例如圖 7 所示。計算方式分別如下：

$$\text{Center } X = (\text{xmin} + (\text{xmax} - \text{xmin}) / 2) / \text{width}$$

$$\text{Center } Y = (\text{ymin} + (\text{ymax} - \text{ymin}) / 2) / \text{height}$$

$$W = (\text{xmax} - \text{xmin}) / \text{width}$$

$$H = (\text{ymax} - \text{ymin}) / \text{height}$$

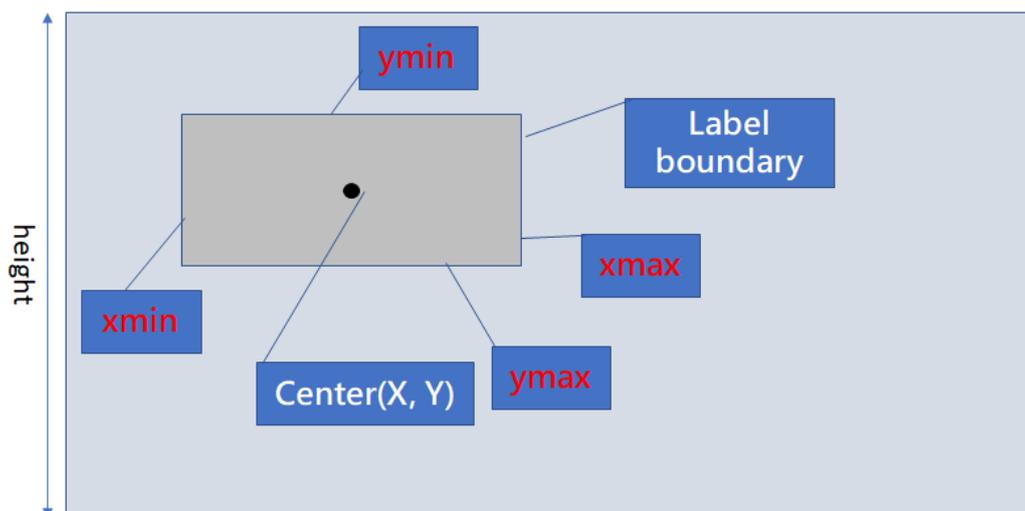


圖 7 Yolo 標記資料格式

YOLO 的 Label 檔案 text 格式.txt 檔，每張圖要對應到一個 txt 檔，為此創造一個資料夾名為 YOLOv4，將所標註的圖像以及 txt 檔案放進這資料夾中，分別創造五個設定檔案，names、test.text、val.txt、yaml、yolov4.cfg 檔，分類方法如圖 8 所示。

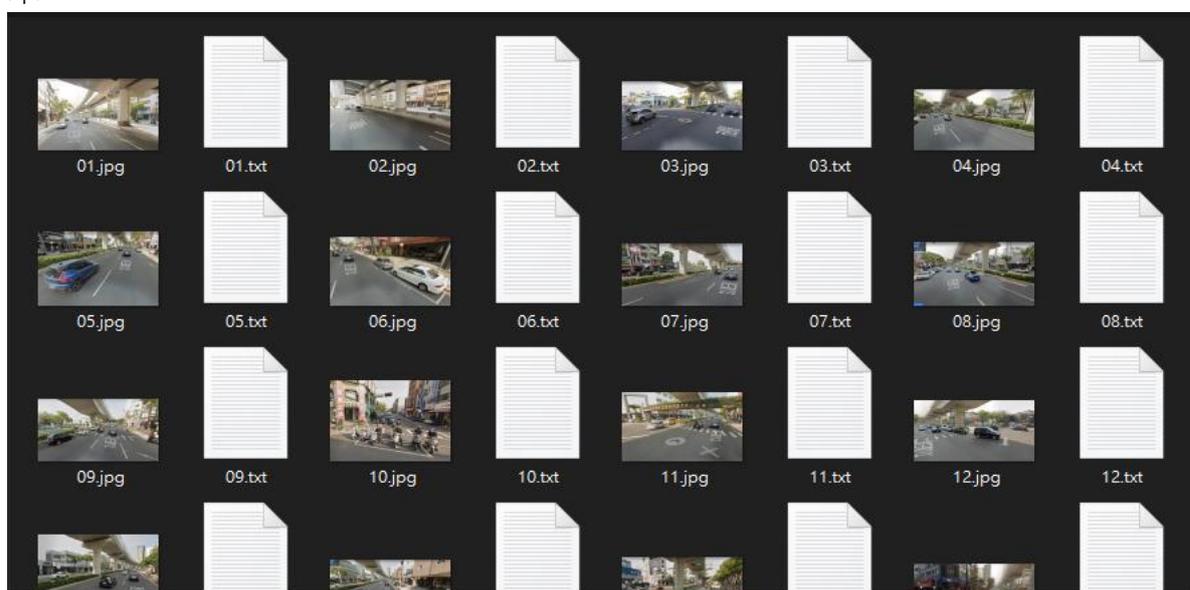


圖 8 訓練車輛圖片與 Label 的 txt 檔案圖

在這幾個檔案中，obj.names 檔案內容為 label 列表，以本研究為例是標記名稱 car，YOLO 在讀取與預測時皆需要讀取到此檔案，test.txt (訓練檔)與 val.txt(驗證檔)，test.txt 的主要內容為訓練的檔案名稱列表，val.txt 的主要內容為驗證的檔案名稱列表，本次模型訓練的訓練 train.txt 檔案與 test.txt 檔案分別的為 80%與 20%，以程式的方式去隨機分類 3000 張的图片，1500 張的白天照片，1500 張的夜間車輛照片，分成訓練集為 2400 張樣本，驗證集為 600 張樣本，訓練資料的結構則如圖 9 所示。

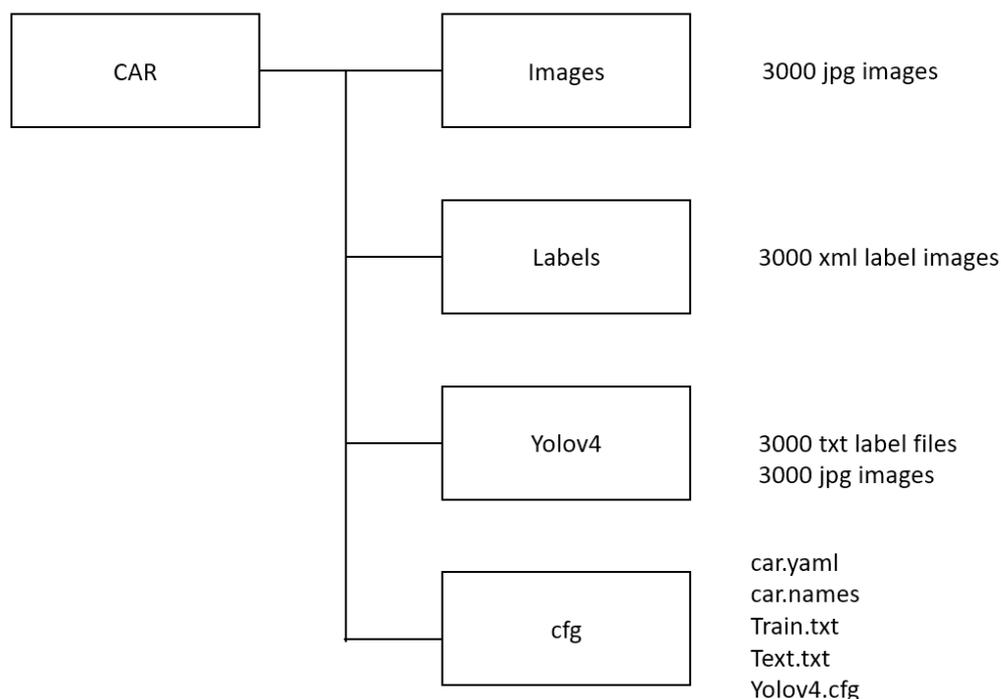


圖 9 訓練資料結構

yolov4.cfg 檔案為設定訓練時所需要的參數，每個模塊都有各自的參數，再使用 Pytorch 來創建神經網路模型，batch 設為 64，代表每個 batch 學習採用多少的樣本資料，為了減少 GPU 訓練時的負荷量，設定 subdivisions 為 8，分成總共 8 個 mini-batch，當 8 個 mini-batch 都處理過，將 8 個 mini-batch 平均起來得到平均梯度後，再利用梯度下降法進行更新，梯度下降法： $\text{權重} = \text{權重} - \text{學習率} * \text{梯度}(\text{batch})$ ，同樣的 epoch 數目，大的 batchsize 需要的 batch 數目減少了，所以可以減少訓練時間，大的 batch size 梯度的計算更加穩定，因為模型訓練曲線會更加平滑。在微調的時候，大的 batch size 可能會取得更好的結果，exposure 設定為 1.5：在訓練時會隨機改變圖像亮度，範圍在 1~1.5 倍中隨機取數值設定，訓練的過程中，次數到 400000 跟 450000 為模型的調整學率，當下轉變的學習率為 0.0001 以及 0.00001，隨著學習率的增加，模型也可能會從欠缺擬合過度到過度擬合狀態，在大型數據集上的表現尤其明顯，如圖 10 所示。

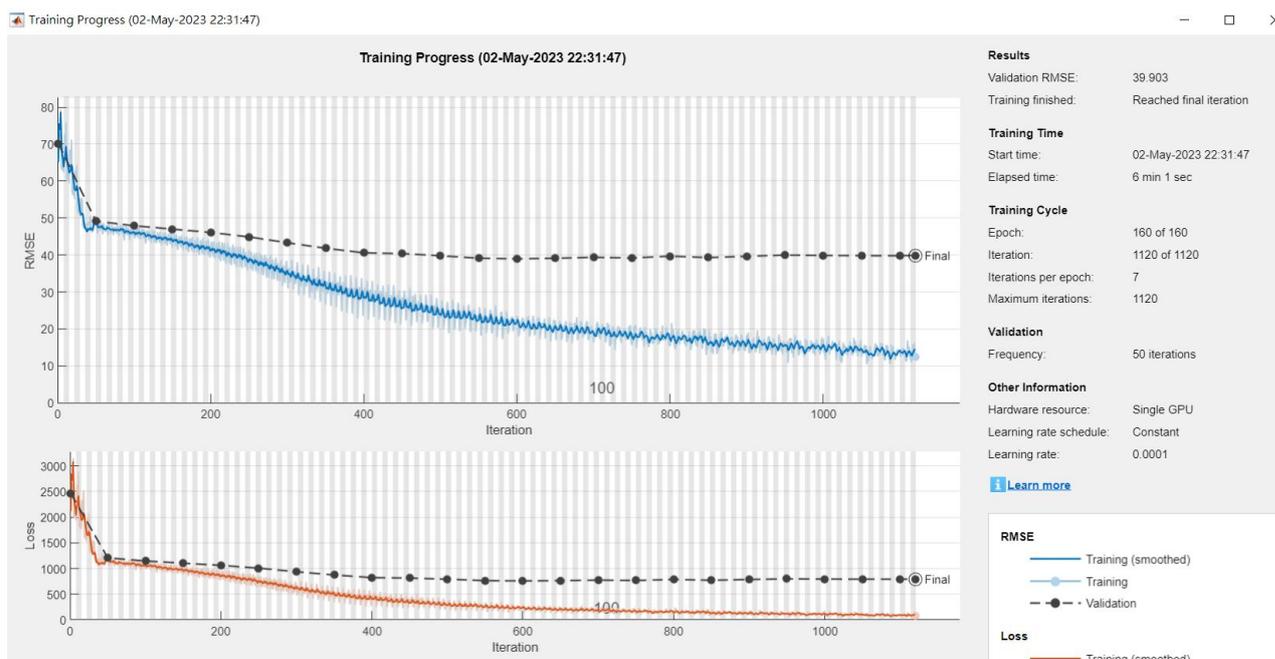


圖 10 Training Progress and validation RMSE

四、Experiment results

(一)模型訓練

1.模型評估方法

本研究透過 Pytorch 建置 YOLOv4 的神經網路模型，提供了 GPU 的運算，加速了整體訓練速度，模型訓練完成後將將路口影像輸入訓練好的 AI 模型進行車輛辨識。對於深度學習網路訓練，通常會使用(1)精準度(Precision)、(2)召回率(Recall)以及(3)平均精度(Average precision, ap)，為評估模型的三個指標，精準度定義為 Precision(準確率) = $TP / (TP + FP)$ ，這個指標更在意的是在預測為正樣本的結果中，其精確性是多少；召回率的定義為 Recall(召回率) = $TP / (TP + FN)$ ，召回率是在所有正樣本當中，能夠預測多少正樣本的比例，而平均精度也就是各類別的 AP 的均值。

TP (True Positive)，即實際為 True，預測為 Positive，預測的結果與實際情況相同。TN (True Negative)，即實際為 True，預測為 Negative，預測的結果與實際情況相同。FP (False Positive)，即實際為 False，預測為 Positive，預測的結果與實際情況不同。FN (False Negative)，即實際為 False，預測為 Negative，預測的結果與實際情況不同。如表 1 Confusion matrix 所示。

表 1 Confusion matrix

	Total population = P + N	Predicted condition	
		Positive (P)	Negative (N)
Actual condition	Ture (T)	True positive (TP)	False negative (FN)
	False (F)	False positive (FP)	True negative (TN)

在多個類別目標辨識中，每個類別都可以根據 recall（召回率）和 percision（準確率）劃出一條曲線，AP 就是該曲線下的面積，mAP 則是對每一類別 AP 的平均。

為了評估模型的好壞，本論文採用 mAP(Mean Average Precision)，它是一個主流的評價指標，目的是用來判斷該目標辨識模型的表現是否良好。在影像辨識領域的相關演算法中，經常會利用到精確率(Precision)和召回率(Recall)，所得出來的分數越高，通常代表著訓練結果越好，但實際情況可能會有差異，一張照片中只有一個辨識結果，精確率會顯示在 100%，但也代表召回率很低，而相反的如果辨識出來結果都相同，會顯得模型召回率很高但準確率相對的低，因此通常會用精確率與召回率的曲線圖評估模型，而 AP 就是曲線圖下的面積，mAP 則是所有類別的 AP 平均值，當數值越接近 1，代表該模型有著更精準更有效率的辨識度，以下是計算 AP 的步驟下：1. 使用模型得到預測分數。2. 將預測分數轉換為類標籤。3. 計算混淆矩陣 TP、FP、TN、FN。4. 計算精度和召回率。5. 計算精確率召回率曲線下的面積。6.測量平均精度。mAP 的計算方法是找到每個類的平均精度(AP)，然後對多個類進行平均。平均平均精度公式如下所述：

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i$$

2.模型訓練結果

本研究經過 900 次的疊代測試，所得到的召回率、精準度、val GIOU 以及 mAP 如下圖 11 所示，Recall 執行 500 次後就會接近於 0.8，Precision 執行 500 次後就會接近於 0.4，val GIOU 執行 500 次後就會趨進於 0，val GIOU 為預測的目標和 Ground truth 進行 IoU 計算所得結果，如果 IoU 大於一個閾值，則認為這個是 TP，如果小於這個閾值就是 FP，mAP 則為平均精度，GIOU 損失值隨著訓練次數增加而相對地遞減，mAP 則隨著訓練次數增加而遞增，也代表損失值越來越小。

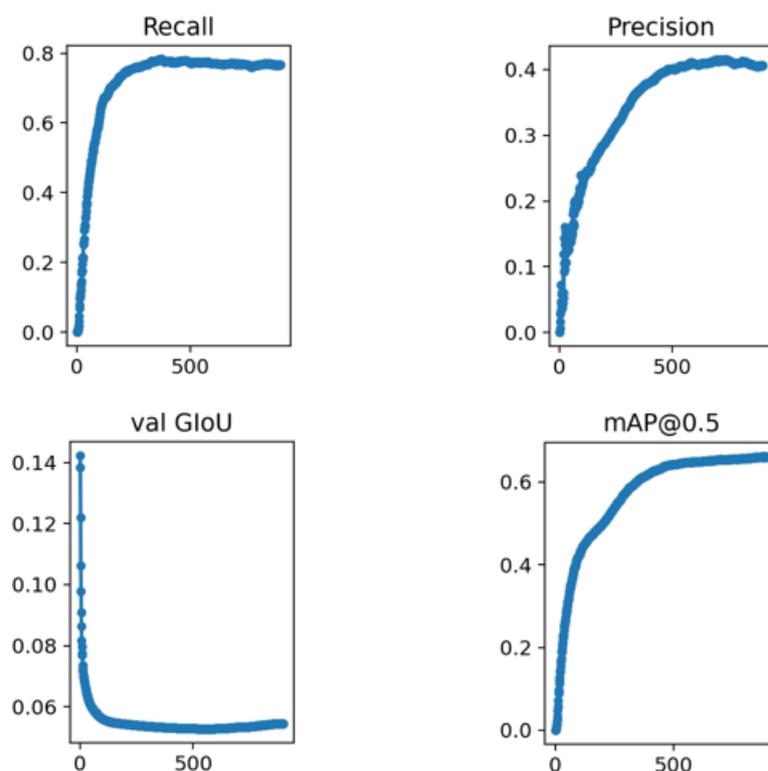


圖 11 模型於 Recall, Precision, val GloU, mAP 的曲線分布圖

(二)實驗成果與分析

利用前一章節所訓練好的模型，來進行接下來的驗證測試，我們於台中市環中路三段的某一路口，分別拍攝了光學影像與熱感影像各三段影像，加起來總共 543 秒的影片，以每秒取出一個影格作為測試影像，統計影像中的車流量總共為 157 輛，而影像中主要辨識三種車輛類型，分別為一般汽車、巴士以及卡車，而辨識目標物的距離則分成距離 10 公尺的位置編號 1(紅色虛線表示)與距離 30 公尺的位置編號 2(黃色虛線表示)進行分析，如圖 12 所示。

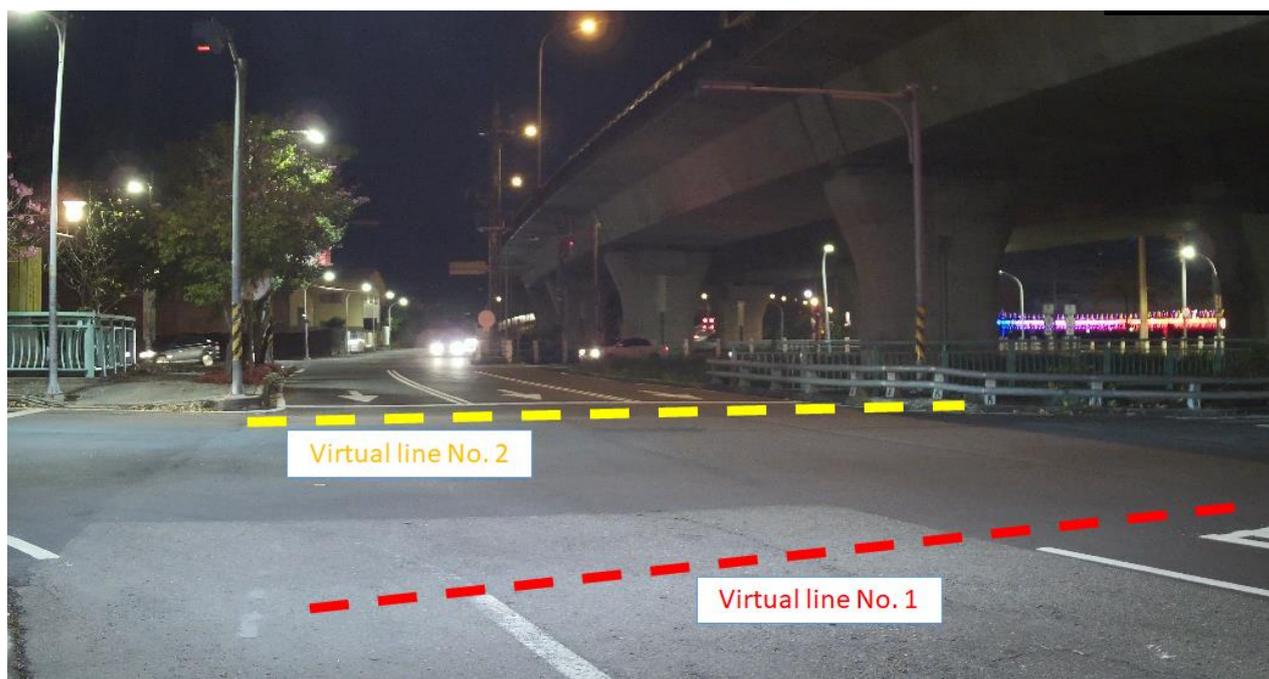


圖 12 測試路口圖(紅色虛線代表為測試的位置編號 1，黃色虛線代表為測試的位置編號 2)

經測試分析結果發現，傳統的光學影像在實驗中總共辨識出來 146 輛，熱影像共辨識出 153 輛，光學影像與熱感影像分別於 10 公尺與 30 公尺的距離測試，辨識率如表 2，我們可以發現熱感影像的辨識率在不同距離以及不同車輛類型皆為較優，主要造成兩者在辨識上差異的地方，在於編號 2 的地方距離較遠，因此影像的特徵相對於編號 1 較為模糊，光學影像被車燈造成光暈現象的影響程度遠遠大於熱感影像，因此造成兩種影像辨識度差異的主要原因。然後我們也發現在 Bus 的辨識度比較上，光學影像卻比熱感影像來得好，推估原因為熱感影像中 Bus 的訓練影像資料集較少，造成此種現象。

表 2 光學影像與熱感影像於不同距離的測試辨識率

Distances \ Image Dataset		Optical images	Thermal images
Virtual line No. 1 (10m)	Car	0.828	0.901
	Bus	0.913	0.917
	Truck	0.901	0.892
Virtual line No. 2 (30m)	Car	0.691	0.787
	Bus	0.724	0.691
	Truck	0.616	0.644

除此之外，當辨識的物體與鏡頭離較遠的時候，容易出現目標物模糊以及車輛與背景融在一起的問題，導致分類錯誤的情形發生，如圖 13 所示。而由於熱感影像之熱能感應的物理特性，當車輛的車頭相近時候，也容易使模型發生混淆的情況，如圖 14 所示。



圖 13 光學影像將建築背景誤判為 bus



圖 14 熱感影像將普通汽車誤判為 truck

而車輛與鏡頭的距離也容易導致辨識的精準度受到影響，如圖 15 所示，光學影像中前面路口兩輛車輛的準確度高達(左)0.87 與(右)0.96，後方車輛的辨識度卻只有 0.46，而同一個時間點，圖 16 熱感影像的車輛辨識度卻無明顯差異，在較遠距離的後方車輛的辨識度熱感影像比光學影像還要高出許多。



圖 15 光學影像於不同距離的車輛辨識差異



圖 16 熱感影像於不同距離的車輛辨識差異

研究中也發現夜間車輛的車燈會影響辨識度，圖 17 顯示傳統的光學影像容易受到車燈光暈現象影響而降低辨識率，然而在距離較近的辨識仍可以辨識出車輛，但在距離較遠的路口，在許多車輛車燈閃爍重疊下，使得車輛特徵模糊，模型無法精準地判定是否為車輛，導致受到車燈影響的車輛無法有效辨識。相反的如圖 18 熱感影像的辨識結果，在距離較遠的車輛依然能清楚的辨識出來，辨識率分別是 0.85 與 0.84，熱感影像方面對於夜間車輛的辨識中明顯不會受到車燈光暈現象所影響，於夜間車輛辨識更能發揮功用。



圖 17 光學影像於車燈影響下的辨識結果



圖 18 熱感影像於車燈影響下的辨識結果

五、結論與建議

本研究利用 AI 深度學習技術中的 Yolo 技術，針對於夜間行駛的車輛進行辨識，同時比對光學影像與熱感影像的辨識效果差異。本文再比較了幾個深度學習模型的優劣後，選擇了辨識能力較強以及辨識即時性較佳的 Yolo 方法。同時利用了 Pytorch 模型函式庫加入訓練模型，測試研究車輛的標記對於模型辨識的影響程度，研究過程中發現車輛的標記對於影像辨識的成果影響甚鉅，若使用既有的光學影像訓練而成的模型進行熱感影像的辨識時，所得到的辨識率會下降，反之亦然。因此本研究分別將光學影像以及熱感影像的照片分別進行標記與模型的訓練，最終再依據不同的影像來源輸入不同的模型進行車輛的辨識，當距離目標車輛分別在 10 公尺與 30 公尺的距離測試時，本文的方法所得到的辨識度皆比單一模型較佳。本文的研究成果成功的證明了熱感影像可提升夜間行駛車輛的辨識能力，未來可以進一步整合至路口的監視器做更多夜間車輛辨識的應用，如交通事故、違規取締等應用，都可以利用本文的方法來實際應用。

本文於研究中發現夜間車輛的車燈對於影像的辨識度有著極大的影響，而熱感影像的原理是採用熱能的感應來成像，因此車燈的影響相對於傳統的光學影像來得小，然而若要完全的屏除車燈的影響，未來的研究可以朝著先將影響作灰階的處理，利用影像物件的紋理來辨識，以降低夜間車燈對於辨識度的影響。

六、參考文獻

- Ghoreyshi A. M., AkhavanPour A., Bossaghzadeh A.,2020, Simultaneous Vehicle Detection and Classification Model based on Deep YOLO Networks, International Conference on Machine Vision and Image Processing, pp. 1-6.
- A Bochkovskiy, Wang C, Liao, H M., 2020, YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. arXiv: Computer Vision and Pattern Recognition.,10934.
- C. Kumar B., Punitha R., Mohana, 2020, YOLOv3 and YOLOv4: Multiple Object Detection for Surveillance Applications., Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT), pp. 1316-1321.
- H. Wang, J. Hou, N. A Chen, 2019, Survey of Vehicle Re-Identification Based on Deep Learning, IEEE Access, vol. 7, pp. 172443-172469.
- H. K. Leung, X. Z. Chen, Chao-Wei Yu, Hongyi Liang, JianYong Wu, Yen-Lin Chen, 2019, A deep-learning-based vehicle detection approach for insufficient and nighttime illumination conditions, Department of Computer Science and Information Engineering, 9(22), 4769.
- H. Song, H. Liang, H. Li, 2019, Vision-based vehicle detection and counting system using deep learning in highway scenes, European Transport Research Review , volume 11, Article number: 51.

- J. Redmon, A. Farhadi, 2017, YOLO 9000: Better, Faster, Stronger, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 6517-6525.
- Janiesch Christian, Patrick Zschech, Kai Heinrich, 2021, Machine learning and deep learning, Electron Markets 31, 685–695.
- Karen Simonyan, Andrew Zisserman, 2014, Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, Computer Vision and Pattern Recognition.
- L. Lianqiao, C. Xiaai, Z. Huili, W. Ling, 2019, Recognition and Application of Infrared Thermal Image Among Power Facilities Based on YOLO, Chinese Control And Decision Conference (CCDC), pp. 5939-5943.
- M. Teutsch, T. Mueller, M. Huber, J. Beyerer, 2014, Low resolution person detection with a moving thermal infrared camera by hot spot classification, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops.
- V. Sindhu, S. Vehicle, 2021, Identification from Traffic Video Surveillance Using YOLOv4, 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), pp. 1768-1775.
- Vuong Xuan Can, Phan Xuan Vu, Mou Rui-fang, 2021, Vehicle Detection and Counting Under Mixed Traffic Conditions in Vietnam Using Yolov4, International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology.
- A. M. Ghoreyshi, A. AkhavanPour, A. Bossaghzadeh, 2021, Traffic vehicle cognition in severe weather based on radar and infrared thermal camera fusion, Measurement Science and Technology, pp. 32.

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：

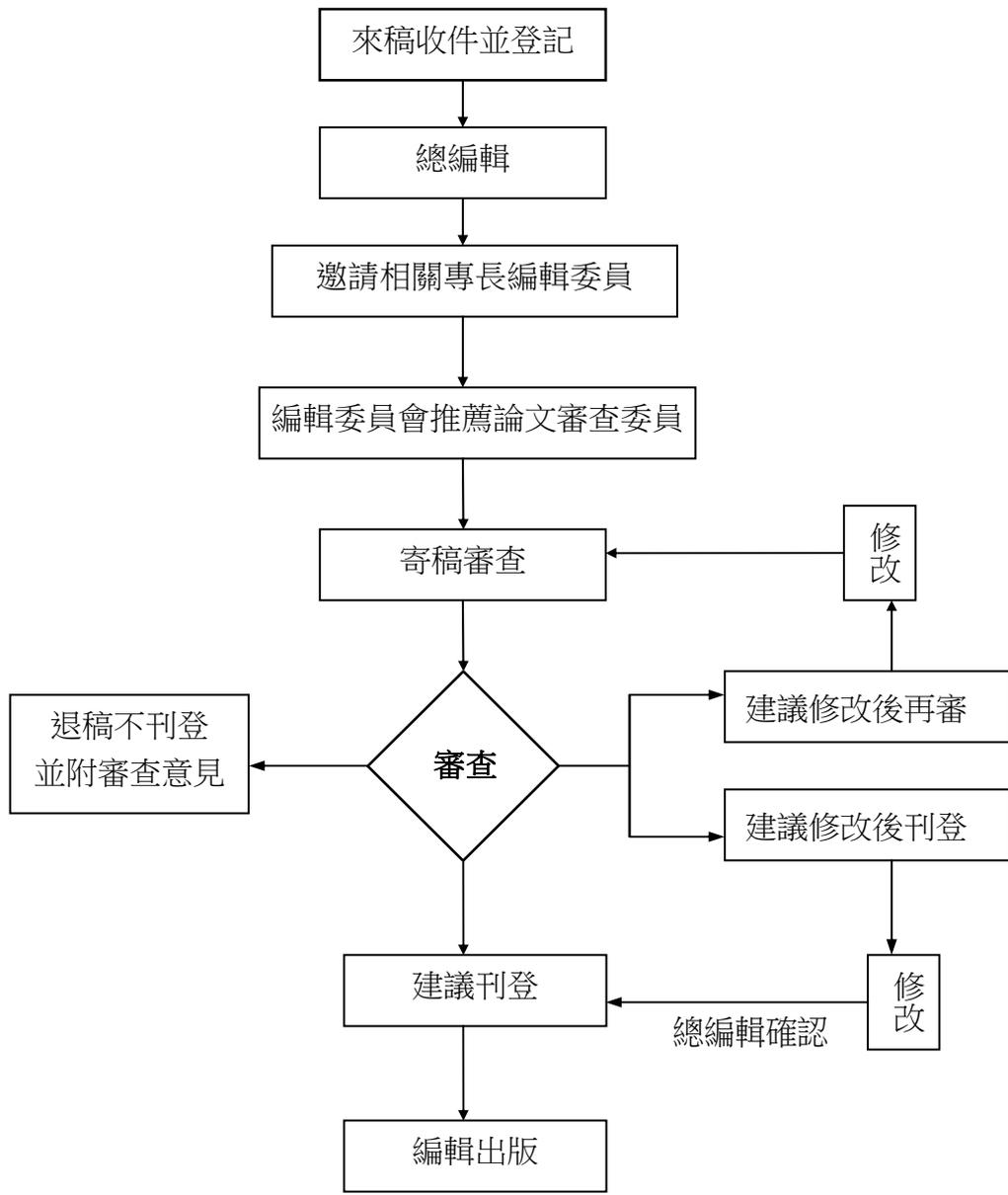
1. 刊登。
2. 修改後刊登(應列明審查意見及建議事項)。
3. 修改後再審(應列明審查意見及建議事項)。
4. 不適刊登(應列明審查意見)。

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 陳國華 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

史天元 國立陽明交通大學土木工程學系

林士淵 國立政治大學地政學系

張智安 國立陽明交通大學土木工程學系

陳惠玲 前台中市政府地政局副局長

曾子榜 國立成功大學測量及空間資訊學系

曾國欣 國立中央大學太空及遙測研究中心

景國恩 國立成功大學測量及空間資訊學系

蕭宇伸 國立中興大學水土保持學系

儲豐宥 國立政治大學地政學系

韓仁毓 國立臺灣大學土木工程學系

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

洪翎嘉 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 楊名 理事長 國立成功大學測量及空間資訊學系

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

第十二卷第一期

民國一一三年一月

Vol. 12, No. 1

January 2024

目 錄
CONTENTS

應用夜間燈光量測經濟活動及區域所得

郭彥廉、朱宏杰、楊雅量、楊淨雯、范峻達、蔣昊灃.....01

Applying Nighttime Light on the Measurements of Economic Activity and Regional Income

Yen-Lien Kuo, Hone-Jay Chu, Ya-Liang Yang, Ching-Wen Yang , Chun-Ta Fan, Hao-Yun Chiang

進階式兩階段流動搜尋法及其應用:以臺中市醫療可及性分析為例

招博允、張智安、史天元.....25

Enhanced Two-Step Floating Catchment Area Method and Its Application: A Case Study of Healthcare Accessibility Analysis in Taichung City

Po-Yun Chao , Tee-Ann Teo , Tian-Yuan Shih

e-GNSS 即時動態定位衛星定位儀校正系統實務作業探討

鍾岳龍、陳鶴欽.....43

The Practice Discussion of e-GNSS Rover Receiver Calibration

Yueh-Lung Chung , He-Chin Chen

利用深度學習提升夜間行駛車輛的辨識能力

管志偉、周天穎、陳維哲.....67

Enhancing Nighttime Vehicle Recognition with Deep Learning

Chih-Wei Kuan , Tien-Yin Chou , Wei-Zhe Chen