

以無人機 PPK 與 RTK 技術建置地形圖之可行性評估

蕭宇伸⁽¹⁾ 陳祥茵⁽¹⁾

摘 要

本研究利用無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)，搭配 GPS 即時動態定位 (Real-Time Kinematic, RTK)與 GPS 動態後處理 (Post-Processing Kinematic, PPK)技術，獲取研究區域之正射鑲嵌圖與數值地表模型(Digital Surface Model, DSM)，並分析研究成果建置地形圖之可行性。製作正射鑲嵌圖與 DSM 軟體為晟暘科技有限公司之 CCS 航測軟體，研究區域包含宜蘭縣冬山鄉三清宮停車場(第一樣區)和新北市中和區光環路二段(第二樣區)。研究成果顯示，本文產製之正射鑲嵌圖與 DSM，其精度均符合國內相關航測與地籍測量地形圖之精度規範，其中又以 case4(單獨使用 PPK 定位之成果)具有最高精度，誤差僅約 1.2cm。本文所產製之高精度現況地形圖，期望能為工程發開、水土保持計畫、甚至地籍等領域參考使用。

(**關鍵詞：**無人飛行載具、即時動態定位、動態後處理、CCS 航測軟體)

Feasibility Assessment of Topographic Map Construction Using UAV with PPK and RTK Techniques

Yu-Shen Hsiao ⁽¹⁾ *Hsiang-Yin Chen* ⁽¹⁾

Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan

ABSTRACT

In this study, an unmanned aerial vehicle (UAV) with Real-Time Kinematic (RTK) and GPS Post-Processing Kinematic (PPK) technologies is used to obtain orthomosaics and Digital Surface Models (DSM) in the study areas, and we analyze the feasibility of the results to build a topographic map. The orthomosaics and DSMs are produced by the CCS software of Chen Yang Technology Co., Ltd. The study areas include the parking lot of the San-Ching Temple (the 1st study area) in Dongshan Township, Yilan County and the Section 2 Guanghuan Road (the 2nd study area) in

(1)國立中興大學水土保持學系

Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail: yshsiao@nchu.edu.tw

Zhonghe District, New Taipei City. The results show that the accuracy of the orthomosaics and the DSMs are in line with the accuracy specifications of relevant domestic aerial surveys and cadastral topographic maps. Among them, case2 (using PPK only) has the highest accuracy, and the error is only about 1.2cm. These high-accuracy topographic maps are expected to be used directly in the fields of engineering development, soil and water conservation plans, and even cadastral.

(**Keywords** : UAV, RTK, PPK, CCS software)

一、前言

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)之航空攝影相關研究越發成熟，可量測高精度之空間資料以及蒐集地表之即時資訊，且 UAV 具有機動性高、體積小、多任務、效益高和飛行安全性高等特點，被廣泛運用於影像測量、數值模型建置、軍事和民用生產等方面。近年來 UAV 之攝影測量被廣泛應用於多種研究領域與測量對象，例如申承翰(2013)以 UAV 獲取研究區域的影像，應用 Pix4UAV 建製數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM) 及數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)，再與現有資料進行精度分析；楊明德等(2018)以 UAV 影像建置南投縣南清水溝溪之堰塞壩三維場景模型，計算崩塌土方量及計算無因次阻塞指標 (Dimensionless Blockage Index, DBI) 以評估壩體穩定性，成果顯示崩塌土方量為 136,588 m³，土石壩 DBI 值為 3.37，屬不穩定的狀態，可提供管理單位做後續處置之依據；陳俊達等(2019)應用 UAV 結合內政部國土測繪中心建置之 e-GNSS 即時動態定位系統拍攝新北三峽橫溪地區之正射影像，研究指出可以更有效率地解決地籍整理時遇到之地形限制等現況測量問題；張東琳(2015)以 UAV 結合水質感測裝置，針對北港溪進行即時水溫、PH 值、電導度等項目

的檢測，並透過地面導控站使 UAV 自主起降，能精準且迅速的取得各種監測數據；楊明德等(2019)以 UAV 結合影像處理技術，當天然災害發生時，UAV 災損辨識技術輔助分析區域災損情形，有效降低人力需求，並提升客觀之分析資料；Sebastian et al.(2015)將攝影機安裝在多旋翼六軸飛行器上，處理多光譜數據後得到 NDVI、GNDVI、SAVI 等植被指數，可應用於精準農業的作物評估。

由上述文獻可發現，UAV 技術已廣泛應用於防災、農業、森林、水環境、水土保持等相關領域。一般而言，若需要利用 UAV 建置高精度之正射鑲嵌圖或 DSM，且現地不容易佈設控制點時，GPS 即時動態定位 (Real-Time Kinematic, RTK)技術或 GPS 動態後處理 (Post-Processing Kinematic, PPK)技術經常會使用。RTK 是一利用載波相位觀測值的即時動態定位技術，這種技術對於區域性之動態定位的量測有很大的方便性。在 UAV 結合 RTK 之相關研究上，國內外已在此領域研究許久，例如陳修德(2014)以 UAV 拍攝荖濃溪影像，應用 RTK 與 e-GPS 量測地面控制點，建置高精度數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM)來得知區域內河道土砂之運移情況；Yoo and Oh (2016)使用 UAV 拍攝韓國松亭海水浴場之影像，與 RTK-VRS 測量值相結合，開發了一種用於海岸地形演變的 3D 分

析方法，可檢測海岸發生侵蝕的區域與海灘體積之變化；Watanabe and Kawahara(2016)利用 UAV 配合 RTK-GPS 和全站儀來評估河道數值地表模型(DSM)之準確性，結果顯示，DSM 在植被較高和密度較低之地區能很好地再現地面高程；Obanawa et al.(2019)使用 UAV 技術評估其內建之 RTK GNSS 系統於現場管理的適用性，其結果所示 x, y 和 z 軸上的位置數據精度平均分別為 78、73 和 292 mm；黃韋蒼等(2019)使用 UAV 結合 RTK 載波相位差分技術，對影像資訊進行光譜分析，建立三維模型應用於果樹生長情形的監控。

相較於 UAV 結合 RTK 之相關研究，UAV 結合 PPK 之相關文獻在國內非常少見，主要研究以國外為主，例如 Zhang (2019)以 UAV 結合 PPK 生成 DSM，評估兩種不同相機產製位置精度，其結果顯示，相機屬性（即焦距，分辨率，傳感器質量）對精度有很大影響；Tomaščík et al. (2019)利用 UAV 結合 PPK 與 RTK，透過全球導航衛星系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）進行的後處理和校正測量來獲取攝像機位置，其結果顯示以 UAV-PPK 技術獲取之水平精度明顯高於 UAV-RTK，此類技術可用於森林中難以測繪地區之製圖任務。

台灣地形崎嶇複雜，以 UAV 建置高精度地形時，很多山坡地難佈設地面控制點位，為克服此難題，必須引入 RTK 或 PPK 技術。本研究嘗試以 UAV 配合 RTK、PPK、或結合 RTK\ PPK 之技術，探討獲取之 DSM 精度，並分析其應用於建置現況地形圖之可行性，期望提供未來工程開發、水土保持計畫、地籍等在製作現況地形圖時，重要之參考。

二、RTK 與 PPK

2-1 RTK

RTK 中文為即時動態定位技術，主要利用 GNSS 中之載波相位觀測量，將基準站(已知坐標站)與移動站(未知坐標站)進行差分定位以獲取未知點坐標，由於此技術重點在“即時”定位，故基準站與移動站觀測時，基準站會將收到的載波相位觀測量通過無線通訊方式傳給移動站，以進行差分解算移動站精確的三維坐標。由於 RTK 基準站與移動站間必須保有無線電通訊，故通常兩者距離不能太遠。一般而言，RTK 求解出的坐標精度可達到 1-2cm(王正忠等，2012)。

2-2 PPK

PPK 中文為動態後處理技術，同樣利用基準站和移動站同步接收 GNSS 載波相位觀測量，但兩者間並無無線電通訊連結。在完成測量任務後，再利用軟體將基準站和移動站所收到之資料進行差分解算，進而得到移動站之三維坐標。由於 PPK 解算坐標屬於後處理，測量過程中不受基準站和移動站通訊距離的影響，故若採用此技術，UAV 飛行距離會比 RTK 技術更遠。一般而言，PPK 求解出的坐標精度也可達到 1-2 公分(Zhang, 2019)。

三、研究方法

3-1 研究流程

本文研究流程如圖 1 所示，先選定第一研究區域，然後利用 UAV 空拍技術獲取研究區域影像，接著利用航測軟體進行內業處理以獲取正射鑲嵌圖與 DSM，且由於移動站(UAV 飛行器)定位方法不同，正射鑲嵌圖與

DSM 成果分為四種(case1~case4)。本研究即針對各 case 成果進行精度比較。接著採用其中最佳 case 之方法，對第二樣區再進行 UAV

空拍獲取影像並製作正射鑲嵌圖，最後由此圖數化出現況地形圖。

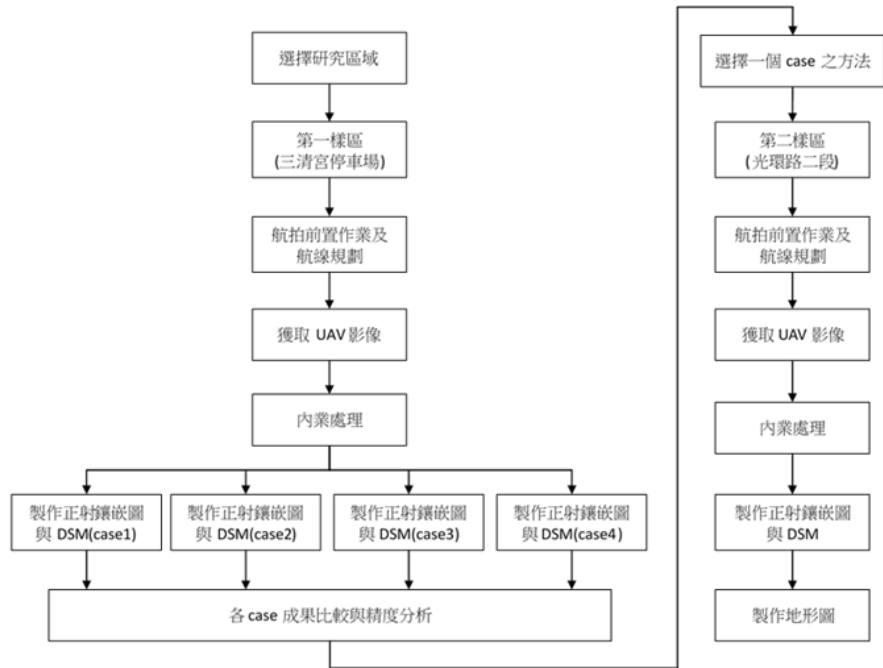


圖 1 研究流程圖。

上述各 case 之分類如表 1 所示，其中關於 UAV 拍攝時之飛機定位，RTK 法為利用國土測繪中心 e-GNSS 定位技術即時得到(例如 case2)，而 PPK 法則利用現場架設的基準站同步觀測，然後進行資料後處理差分得到(例如 case4)，而 case1 與 case3 則同時結合兩者之技術得到飛機定位坐標。表 1 中 GPS 欄代表此 case 是否利用地面 GPS 控制點修正正射鑲嵌圖與 DSM 結果(case1 與 case2 有，而 case3 與 case4 無)。

表 1 本研究各測試案例(case)之分類。

	RTK	PPK	GPS
Case 1	V	V	V
Case 2	V		V
Case 3	V	V	
Case 4		V	

備註：1. RTK 表示 UAV 定位有採用 RTK 方法
 2. PPK 表示 UAV 定位有採用 RTK 方法
 3. GPS 表示有利用地面 GPS 控制點修正正射鑲嵌圖與 DSM 成果

3-2 UAV 作業

本文研究之區域有兩個，第一樣區為宜蘭縣冬山鄉三清宮停車場，第二樣區為新北市中和區光環路二段。圖 2 為兩樣區之地理位置圖。本研究採用之 UAV 為大疆創新科技有限公司所開發之 Phantom 4 RTK 機型。Phantom 4 RTK 之飛行器、遙控器、雲台相機等外觀如圖 3 所示。Phantom 4 RTK 為一款小型四旋翼 UAV，具有 2000 萬像素相機，於 100 公尺飛行高度時，地面採樣距離 (Ground Sampling Distance, GSD) 可達 3 公分以內。此外，由於 Phantom 4 RTK 具備 RTK

技術，故實際作業時，理論上無須廣設地面控制點，即可獲得高精度之飛行器定位坐標，另外 Phantom 4 RTK 亦支援 PPK 技術，故能提供本研究重要之航拍資料。

圖 4 為兩研究樣區之空拍航線圖，空拍之地面高度均為 40 公尺。航拍時之前後與左右重疊率均為 80%。第一樣區與第二樣區分別獲取 257 張與 1474 張航拍相片。獲得之航拍相片以晟暘科技有限公司所開發之 CCS 航測軟體(晟暘科技有限公司，2019)進行正射鑲嵌圖與 DSM 之製作。

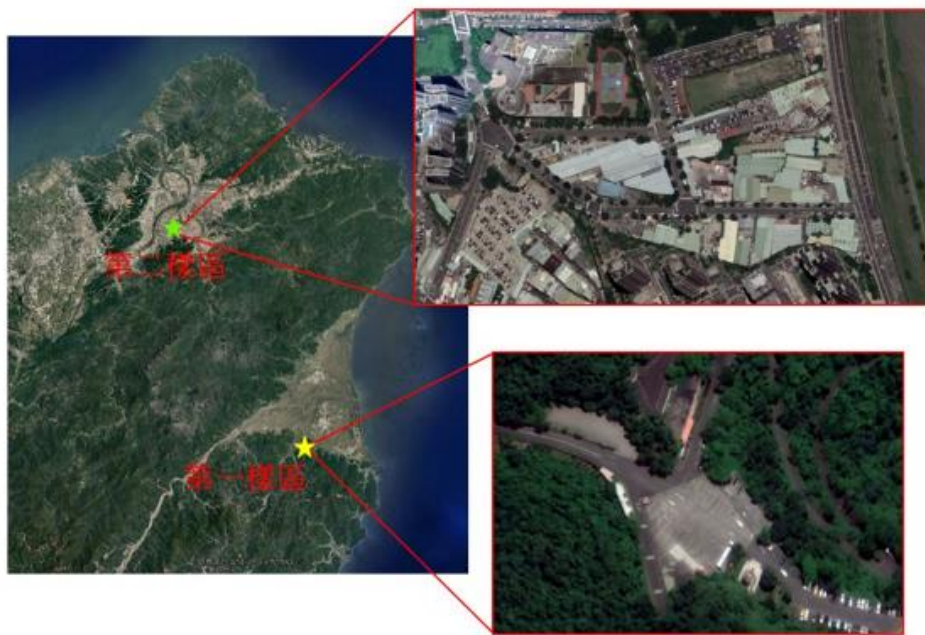


圖 2 研究區域地理位置圖，其中黃色星號為宜蘭縣冬山鄉三清宮停車場(第一樣區)，綠色星號為新北市中和區光環路二段(第二樣區) (影像來源：google earth)。



圖 3 Phantom 4 RTK 之空拍機、遙控器與雲台相機外觀。



圖 4 (a)第一研究樣區與(b)第二研究樣區之 UAV 航線圖。

圖 5 為兩樣區之正射鑲嵌圖成果，第一研究樣區在空拍時，於試驗區佈設 10 個控制點，點位分布如圖 5(a)Pt1~Pt10，各控制點均以 Gentec G10 GNSS 接收儀以 RTK-VRS 觀測方式獲取精確之控制點坐標值，所得到之坐標精度在高程方向約 1.5 公分 (<https://sxbluegps.com/wp-content/uploads/2019/03/G10-User-Manual.pdf>)。圖 5(a)之 C1 點位則為 PPK 地面基準站位置。各點位實際外觀如圖 6 所示。

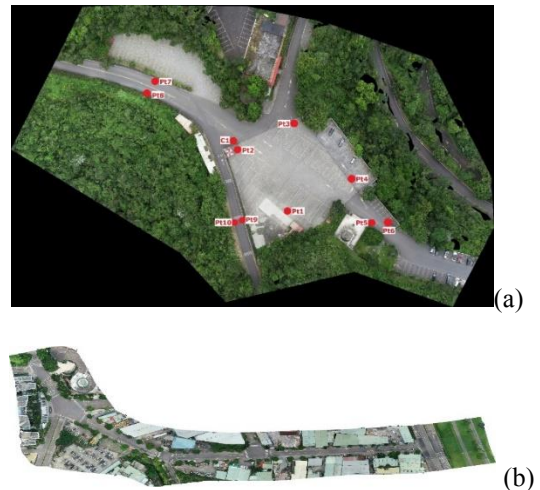


圖 5 (a)第一研究樣區與(b)第二研究樣區之正射鑲嵌圖，其中於第一研究樣區共設置 10 個 GPS 控制點(Pt1~Pt10)與 1 個 PPK 地面基準站(C1)。

蕭宇伸、陳祥茵:
以無人機 PPK 與 RTK 技術建置地形圖之可行性評估

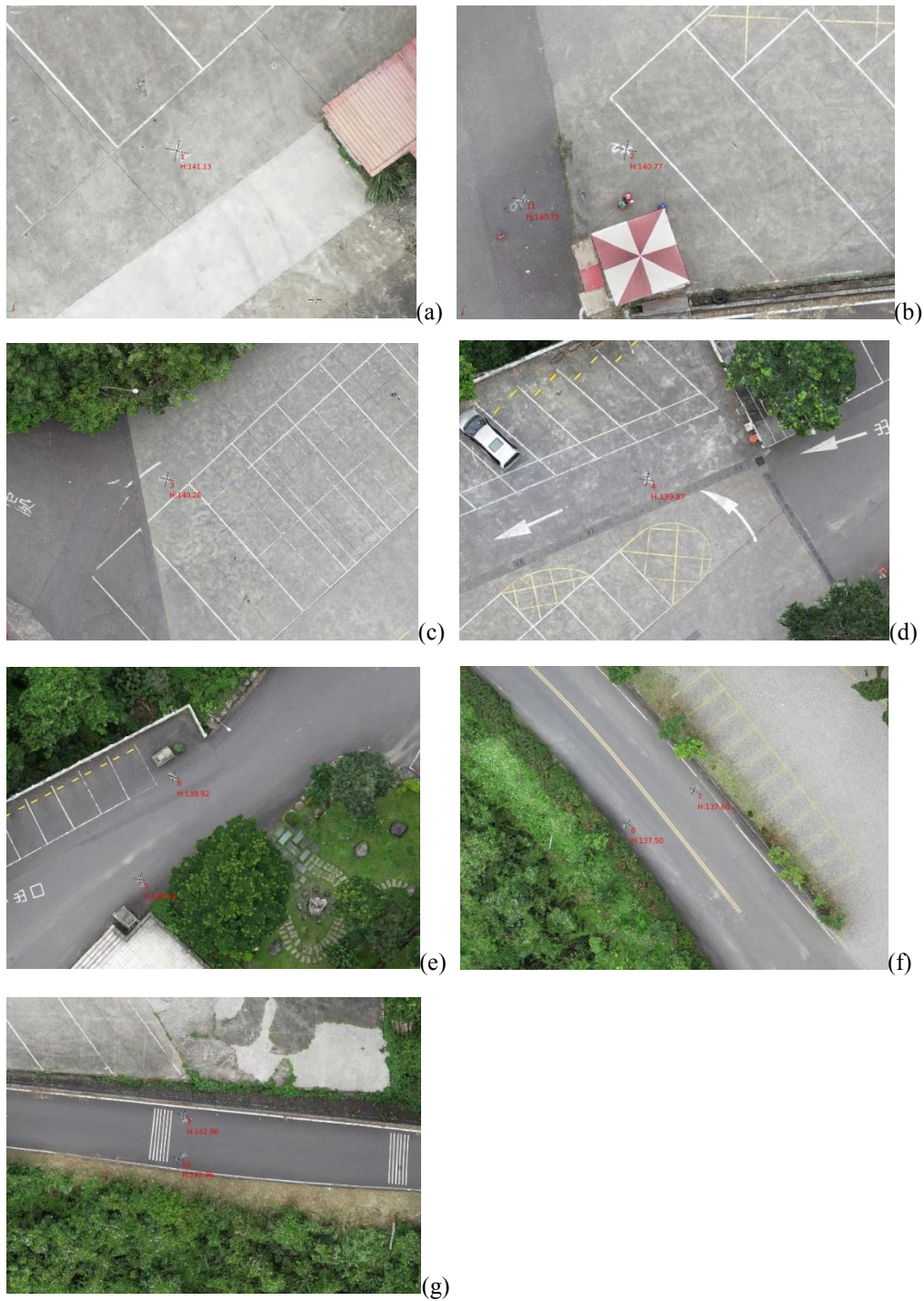


圖 6 第一研究樣區 GPS 控制點與 PPK 基準點外觀，其中(a)Pt1、(b)Pt2 與 C1、(c)Pt3、(d)Pt4、(e)Pt5 與 Pt6、(f)Pt7 與 Pt8、(g) Pt9 與 Pt10。

四、研究成果

4-1 第一樣區成果

本研究樣區之 DSM 如圖 7 所示，研究區域高程介於 80~160 公尺，停車場本身位於樣區高程較高之處。

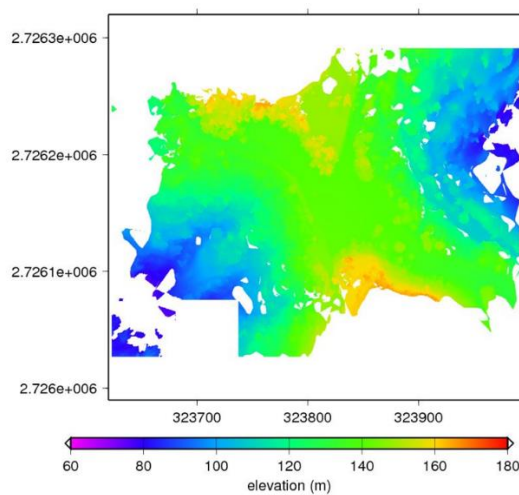


圖 7 第一樣區之 DSM 圖。

圖 8 為各 case 之精度分析成果圖，圖中差值為 GPS 地面控制點高程減去同樣位置航測高程之成果，相關統計整理於表 2。由圖 8 與表 2 可發現，各 case 之差值大部分都藉於 $\pm 3\text{cm}$ 以內，且標準偏差大部分 case 都在 2cm 以內，成果大致都非常良好，這證明本研究之實驗步驟配合計算軟體能產製出高精度之正射鑲嵌圖與 DSM。

case2 標準偏差相對較大，可說明若飛行器僅採用 RTK 技術定位，成果較差。Case1 與 case3 飛行器定位技術相同(結合 RTK\PPK)，兩者雖然標準偏差值相近，但 case3(未採用地面 GPS 控制點修正模型)之差值均為負值，導致平均值呈現較差，在經過地面 GPS 控制點修正模型後(即 case1 成果)，DSM 成果已提升，平均值已較接近 0。整體而言，case4(飛行器僅利用 PPK 定位，且未採用地面 GPS 控制點修正模型)無論在平均值和標準偏差均呈現最佳之 DSM 成果。

表 2 各 case 與傳統方法之坐標差值統計(單位: cm)

	最大值	最小值	平均值	標準偏差
Case 1	2.2	-2.9	-0.9	1.3
Case 2	2.3	-4.1	-1.7	2.2
Case 3	-0.1	-3.5	-2.0	1.2
Case 4	2.3	-1.0	0.3	1.2

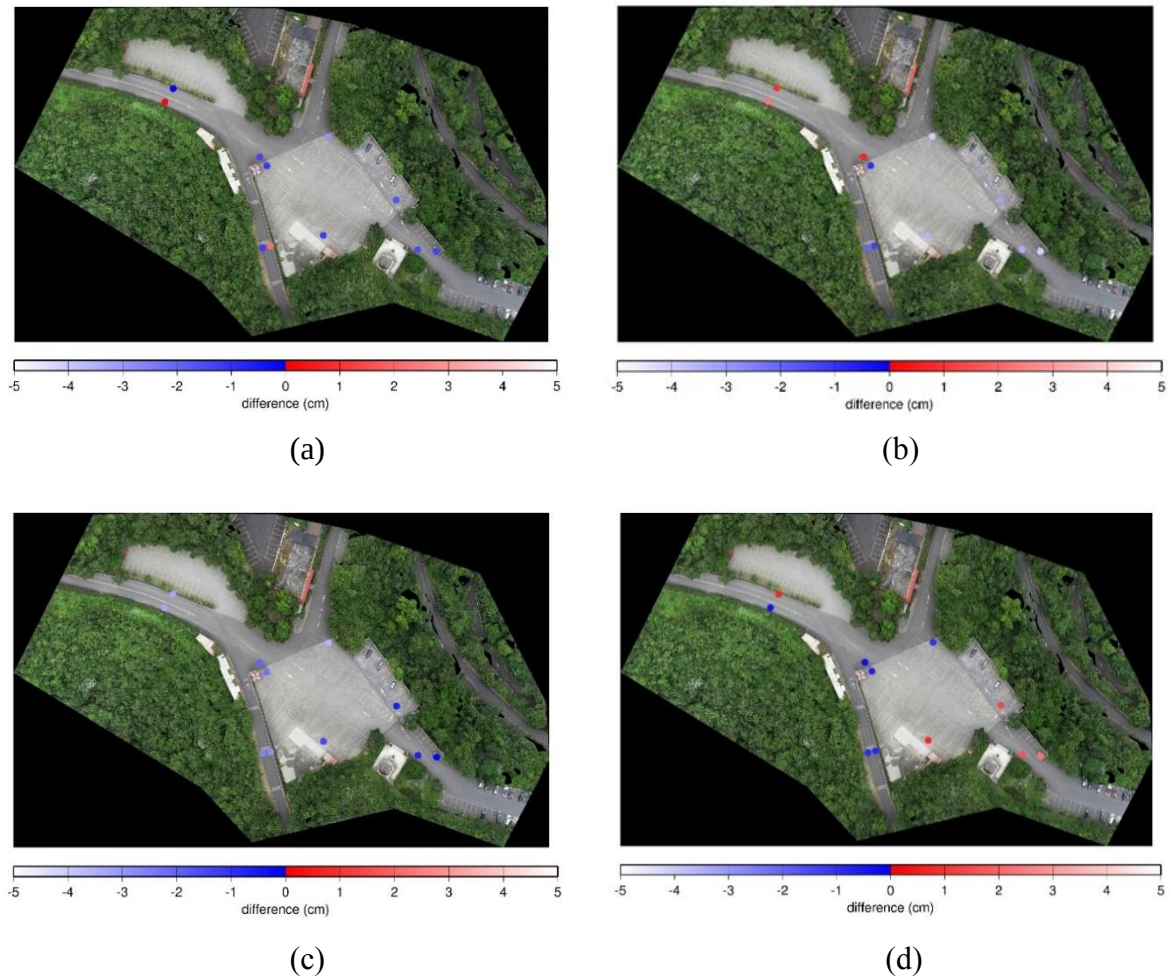


圖 8 第一樣區 DSM 高程誤差分析圖，其中(a)case1、(b)case2、(c)case3、(d)case4 之成果。圖中高程差值為 GPS 地面控制點高程減去同樣位置航測高程之結果。

4-2 第二樣區成果

由於第一樣區中各 case 之成果以 case4 最佳，故於本區域僅採用 case4 之方法產製此樣區之正射鑲嵌圖。圖 9 為利用 CCS 航測軟體所得到之第二樣區正射鑲嵌圖結果，本研究亦根據此圖，數化出現況地形圖(如圖 9 所示)，為了驗證正射鑲嵌圖與現況地形圖之正

確性，本文於正射鑲嵌圖上量測某一斑馬線紋之寬度(如圖 10 所示)，結果為長 2.999 公尺，寬為 0.411 公尺，經過與現場捲尺量測值比較後，兩者差值無論長與寬誤差均在 2 公分以內，成果相當理想。

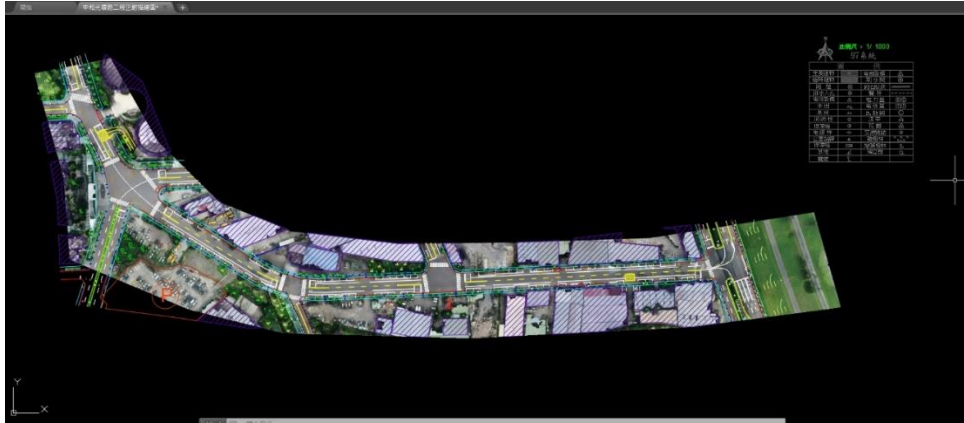


圖 9 第二樣區正射鑲嵌圖與所數化得到之地形圖。

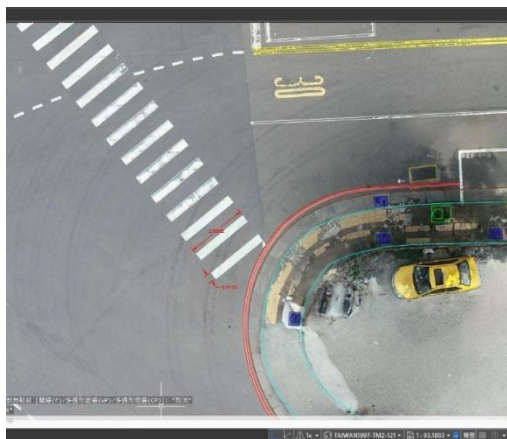


圖 10 第二樣區斑馬線量測位置與結果圖。
量測之斑馬線紋長 2.999m，寬為 0.411m，
與實際尺寸相比，誤差在 2cm 以內。

4-3 綜合討論

本文之方法能產製高精度之正射鑲嵌圖、DSM 與現況地形圖。依據國內目前航測方法產製地形圖之規範，即「建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊」所規範之高程精度須小於 30 公分(內政部，2010)，本研究之成果遠好於此規範。若採用較嚴格之

地籍測量規範(內政部，2011)來看，目前大部分地政機關採取數值法地籍測量精度規範之最高標準，一般以 2 公分做為戶地測量之誤差容許值(邱元宏和吳存金，2015)，本研究所產製之地形圖精度，整體上亦符合要求。整體而言，本研究產製之正射鑲嵌圖與數化得到之現況地形圖，精度頗高，可以作為工程開發、水土保持計畫、甚至地籍等參考使用。

五、結論

本研究利用晟暘科技有限公司所開發之 CCS 航測軟體，搭配 Phantom 4 RTK 之 UAV，於宜蘭縣冬山鄉三清宮停車場(第一樣區)和新北市中和區光環路二段(第二樣區)一帶進行空拍以獲取正射鑲嵌圖和 DSM，其中光環路二段研究樣區利用正射鑲嵌圖數化出現況地形圖。由於 UAV 飛行器定位之方式不同，第一樣區共分為 4 個研究 case (case1~case4)，而第二樣區僅採用 case4 之方式定位。整體而言，無論相片定位採用 RTK/PPK 或單獨使用 PPK，正射鑲嵌圖和 DSM 成果均相當良好。

若以 GPS 地面點位驗證成果，平均每個 case 誤差僅約 1~3 cm。其中 case4 之成果最佳，誤差僅 1.2 cm。整體而言，本研究產製之正射鑲嵌圖與數化得到之現況地形圖，精度符合國內相關航測與地籍測量地形圖之精度規範。

誌謝

本研究感謝晟暘科技有限公司提供相關研究資料。

參考文獻

1. 內政部 (2010)，「建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊」，內政部 100 年 2 月 9 日台內地字第 1000025069 號函修訂，臺北。
2. 內政部(2011)，「數值法地籍圖重測作業手冊」，內政部 100 年 10 月 31 日台內地字第 1000209330 號函修正，臺北。
3. 王正忠、蘇文俊、蘇俊源(2012)，「RTK 應用於圖根點測量之實務測試」，地籍測量，第 31 卷第 1 期，1-8。
4. 申承翰(2013)，「無人飛行載具影像數值地形模型建置及精度評估」，臺北科技大學土木與防災研究所學位論文，臺北。
5. 邱元宏、吳存金 (2015) 「土地整體開發地籍測量精度與正確度提升策略」，國土測繪與空間資訊，第 3 卷第 1 期，1-21。
6. 晟暘科技有限公司(2019) 「雲林縣水林鄉水林路人行環境串聯改善工程」，雲林縣水林鄉公所工程計畫。
7. 陳修德(2014)，「UAV 高精度數值地形模型應用於河道變遷分析之可行性研究-以寶來地區為例」，臺北科技大學土木與防災研究所學位論文，臺北。
8. 陳俊達、方惠民、蕭松山、康秋桂(2019)，「UAV 正射影像應用於未辦地籍整理地區現況測量之研究」，國土測繪與空間資訊，第 7 卷第 2 期，67-85。
9. 張東琳(2015)，「結合 UAV 於自動化水質檢測系統」，中國土木水利工程學刊，第 27 卷第 3 期，175-182。
10. 黃韋蒼、于鈞、顏永哲、施睿庠、李易昇、林修國、陳宗正、黃基倬、陳怡君、邱俊誠、歐陽盟(2019)，「空中與地面無人載具應用於 3D 果樹與樹林建模」，科儀新知，第 220 期，40-61。
11. 楊明德、黃凱翔、趙智凡(2018)，「應用 UAV 影像於鳳凰谷崩塌與堰塞壩之分析」，中華水土保持學報，第 49 卷第 1 期，40-48。
12. 楊明德、許鈺群、曾信鴻、曾偉誠(2019)，「無人機於精準農業之應用」，科儀新知，第 220 期，20-39。
13. Obanawa, H., Sakanoue, S., and Yagi, T. (2019), "Evaluating the Applicability of RTK-UAV for Field Management", IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
14. Sebastian, C., Fabio, R., Michaela, D.G., Marco, D., and Mario, G., (2015), "Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images", Remote Sensing, 7(4),

4026-4047.

15. Tomašík, J., Mokroš, M., Surový, P., Grznárová, A., and Merganič, J. (2019),“ UAV RTK/PPK Method—An Optimal Solution for Mapping Inaccessible Forested Areas?” Remote Sensing, 11(6), 721.
16. Watanabe, Y., and Kawahara, Y. (2016) “UAV Photogrammetry for Monitoring Changes in River Topography and Vegetation”, Procedia Engineering, 154, 317-325.
17. Yoo, C.I., and Oh, T.S. (2016) “Beach Volume Change Using UAV Photogrammetry Songjung Beach, Korea”, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, 2016, 41(July), 1201–1205.
18. Zhang, H. (2019) ,“Evaluating the performance of UAV photogrammetry with PPK posi-tioning in topographic reconstruction and change-detection GPS”, The EGU General As-sembly 2019.

108 年 12 月 23 日收稿

109 年 01 月 14 日修改

109 年 01 月 20 日接受