

手機定位 APP 與 UAV 技術應用於山坡地農路調查工作

蕭宇伸⁽¹⁾ 廖子寧⁽²⁾ 沈鈺旻⁽²⁾ 卓宥瑄⁽³⁾

摘 要

本研究利用手機定位 APP 量測高雄市燕巢區、旗山區和甲仙區共6條農路之坐標與長度，並以無人飛行載具空拍其中3條農路以產製土地利用現況圖，最後分析相關之成果。研究顯示 GPS 紀錄器 APP 和 GPS 地圖相機 APP 對於農路路線定位成果與 google 地圖相符，且在地形起伏較大和植被遮蔽度較高的區位依然有準確的定位成果。在無人機方面，所拍攝之研究區位影像清晰解析度高，故利用無人機影像產製之正射鑲嵌圖可製作高精度的土地利用現況圖。整體而言，本研究所使用的手機定位 APP 與 UAV 技術應用在農路調查方面成果大致準確，可節省人力及縮短調查時間的功效，相當適合應用於農路調查工作。

(**關鍵詞**：手機定位 APP、UAV、農路)

Application of mobile phone positioning APP and UAV technology in hillside agricultural road survey work

Yu-Shen Hsiao^{(1)*} Tsu-Ning Liao⁽²⁾ Yu-Ming Shen⁽²⁾ Yu-Hsuan Cho⁽³⁾

Associate Professor⁽¹⁾ Master Student⁽²⁾ Ph.D.student⁽³⁾ Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan

ABSTRACT

We used the mobile phone positioning APP to measure the coordinates and lengths of 6 agricultural roads in Yanchao District, Cishan District, and Jiasian District of Kaohsiung City, the unmanned aerial vehicle (UAV) to produce land use maps of 3 of them, and finally analyzed the related results. The research shows that the positioning tests of the GPS recorder APP and the GPS map camera APP are consistent with Google Maps, even in areas with large terrain undulations and high vegetation coverage. In terms of UAV application, the captured images of the study areas are clear and high-resolution. Therefore, the orthophoto mosaics produced by UAV images can be used to produce high-precision land use maps. Overall, the mobile phone positioning APP and UAV technology application used in this study have achieved good results in agricultural road surveys, which can save manpower and shorten the survey time. They are quite suitable for agricultural road surveys.

(**Key word** : mobile phone positioning APP, UAV, agricultural road.)

(1)國立中興大學水土保持學系副教授(通訊作者 e-mail：yhsiao@nchu.edu.tw)

(2)國立中興大學水土保持學系碩士生

(3)國立中興大學水土保持學系博士生

一、前言

農路除為農村生產資材與產物運輸之交通要道，更具有開創農村新風貌、降低農業生產成本、提高農民收益和縮短城鄉差距等功能，是農村經濟和農業發展的重要基層設施。有關高雄市重劃區外編號農路之資料，根據 105 年度高雄市重劃區外農路現況調查工作(高雄市政府農業局, 2016)之調查成果顯示，高雄市轄內之編號農路計有 475 條（總長度為 371.79 公里）。惟經高雄市政府農業局發現，部分農路因年代已久遠，歷經多次天災，故有多條農路道路狀況不佳甚至已荒廢，這些農路極需維護。而道路維護經費除了與破損程度、鋪面性質有關外，道路長度與坐標亦是重要考量，因為農路長度及位置之準確性會影響主管機關修繕時之經費估算，故如何快速且準確測得農路之長度與坐標為農路巡察工作重要事項。另一方面，農路通常位於人煙稀少之處，使農路周邊濫墾、濫伐、超限利用、擅自開發建築、擅自開發整地、擅自修闢道路等違法或違規使用行為層出不窮，故如何準確掌握農路周邊土地利用現況，亦是農路巡察工作之重要事項。

本研究從高雄市所轄 475 條農路中，挑選出其中 6 條，以手機定位程式來獲取農路之長度、坐標等資訊，並分析其準確性，進一步評估以手機定位程式應用於農路調查之可行性。除此之外，本研究再從 6 條農路中選取 3 條進行無人飛行載具空拍建置正射鑲嵌圖，並繪製土地利用現況圖，以了解農路周邊是否有超限利用、違規等情事，並評估以無人飛行載具產製土地利用現況圖之可行性。期望本研究能提供中央或各縣市政府農路主

管單位，未來在執行農路巡查工作時之重要參考。

二、文獻回顧

現今手機發展日益成熟，不僅於手機本身有完善的定位系統，且有許多運動及導航應用程式(APP)或是穿戴式裝置輔助以得知相關坐標資訊，近年來也有許多與全球定位系統(Global Positioning System, GPS)定位相關之研究，如吳思穎與周學雯(2016)於運動訓練之研究中所使用俱備 GPS 之穿戴式裝置，可提供每次運動時之相關資訊，如距離、時間、速度、軌跡紀錄等；劉承勛等(2016)利用快速路徑 (Quick Route) 程式，配合 GPS 路線所得之軌跡資料，協助定向越野之選手與教練，進行訓練或比賽時之路線回顧；卓奕全(2005)利用 GPS 之定位能力與全球行動通訊系統 (Global System for Mobile Communications, GSM)之傳輸能力，藉由 RS-232 之介面結合，使遠端行進車輛之路線可即時在使用端呈現，並將 GPS 接收器紀錄之路線軌跡與實際路線比較，以初步評估於農用車輛應用之可行性。陳彥銘(2012)利用 GPS 技術發展一套以戶外活動軌跡為基礎之分析系統，記錄每日活動之路徑並加以分析，以應用於遠距醫療照護或老年健康照護等面向。

而無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)除了可應用於建置鑲嵌圖以繪製土地現況利用圖，於農業方面之應用也日漸廣泛，江彥政(2019)表示目前 UAV 於農業之應用，主要可以分成農情調查、植物保護、農損勘災三大類，而楊明德等 (2019)表示將 UAV 應用在精準農業之案例，如植株計數、評估災損等，可將農業調查之效率提升，亦

分享國內外 UAV 於農業發展之案例，包含蟲害與復育、農噴施肥、農地管理等應用。陳琦玲等 (2018) 利用 UAV 之影像，透過監督式與非監督式分類、數值地表模型與影像分割等技術，針對敏感性作物歷經風災後之災害狀況，進行災損影像判釋，以評估與現場勘災成本之差異。楊景堯(2017)將小型無人機應用於農地作業，透過無人機測量農地面積，並於無人機上搭載設備進行噴藥以達到福壽螺防治目的，再利用搭載之種子散佈設備進行油菜花種子散佈作業，最後觀測油菜花種子萌發情形，以評估使用無人機於農藥噴灑及種子散播之可行性。而無人飛行載具除了廣泛運用於農業領域，亦可利用無人飛行載具所拍攝之影像了解該地區之土地利用情形，如徐竣翔(2015)為得知土地利用及建築物變化，利用無人飛行載具拍攝之影像，並產製高解析密點雲、高解析度正射影像等資訊，以獲得準確的變遷偵測區域。劉舒與朱航(2020)利用無人飛行載具獲取農耕區之影像，並建置正射影像圖、DSM，以及計算地形指標，以進行土地利用分類之研究。

整體而言，雖然手機定位 APP 的應用面很廣，但未有文獻分析探討山坡地農路路線定位相關課題，而無人機在台灣乃至於全球的應用非常廣泛，然而在台灣若執行水土保持相關計畫時，土地利用現況圖通常會引用國土測繪中心之圖資，但此舉也會有時效性的問題，故本研究重點鎖定在手機定位 APP 定位農路坐標與長度，與無人機產製即時性土地利用現況圖之相關成果，以提供相關單位重要的參考。

三、計畫區域

本研究區位在高雄市山坡地，高雄市位於台灣西南部，東北邊涵蓋中央山脈，玉山山脈及阿里山山脈，北緣嘉南平原，西濱台灣海峽，東南邊以高屏溪和屏東縣為界，共計 27 區。地勢東高西低，由 3,500 公尺以上之高山到平原地形變化極大，其間呈現山坡、丘陵、河谷、台地及平原等各種面貌。高雄市轄區內之編號農路(高雄市政府農業局，2016)分布如圖 1 所示，總共 475 條，其中屬於第一類農路(已荒廢不復存在或已改道者、屬現有區道或舊有之鄉縣道者、屬土石(級配)路面者、屬本市原住民自治區域內之道路、屬村里聚落聯絡道路、屬防汛(水防)道路、屬林班地內林務局列管之林道、屬農地重劃區內農路、屬河川治理範圍(行水區)內或高灘地之道路、未符合路寬在六公尺以下，三公尺以上(山坡地得視需要降低至二·五公尺)未依公路法管理且由本會輔建或改善農用道路、屬本市魚塢集中區或養殖專區內之道路、屬都市計畫內範圍等)之道路僅有 1 條，其餘 474 條農路屬於第二類。

本研究從 475 條農路中挑選 6 條農路進行手機定位 APP 量測農路坐標與長度，並進行成果分析，接著進一步從 6 條農路中再選 3 條進行 UAV 空拍產製土地利用現況圖，並進行成果之探討。這 6 條農路的農路編號分別為位於燕巢區的農高燕 014 與農高燕 017，位於旗山區的農高旗 038，位於甲仙區的農高甲 205、農高甲 213 與農高甲 218。6 條農路之位置與周邊地形如圖 1 所示。由圖 1 可發現，農高燕 014 與農高燕 017 位於地形較平緩之處，路面高程變化僅 5~10 公尺，周邊地形主要以二級坡和三級坡為主；農高旗 038 路面高程變化較大，約 150 公尺，周邊地形

主要以三級坡和四級坡為主；農高甲 205、農高甲 213 與農高甲 218 位於地形較崎嶇之處，路面高程變化介於 180~230 公尺之間，周邊地形主要以四級坡至六級坡為主。另外根據現勘與 google 衛星影像交叉比對，植被對農

路的遮蔽度大致為農高燕 014 與農高燕 017 較低，農高旗 038 中等，而農高甲 205、農高甲 213 與農高甲 218 均為植被遮蔽嚴重情況。6 條選定之農路相關資訊如表 1 所示。

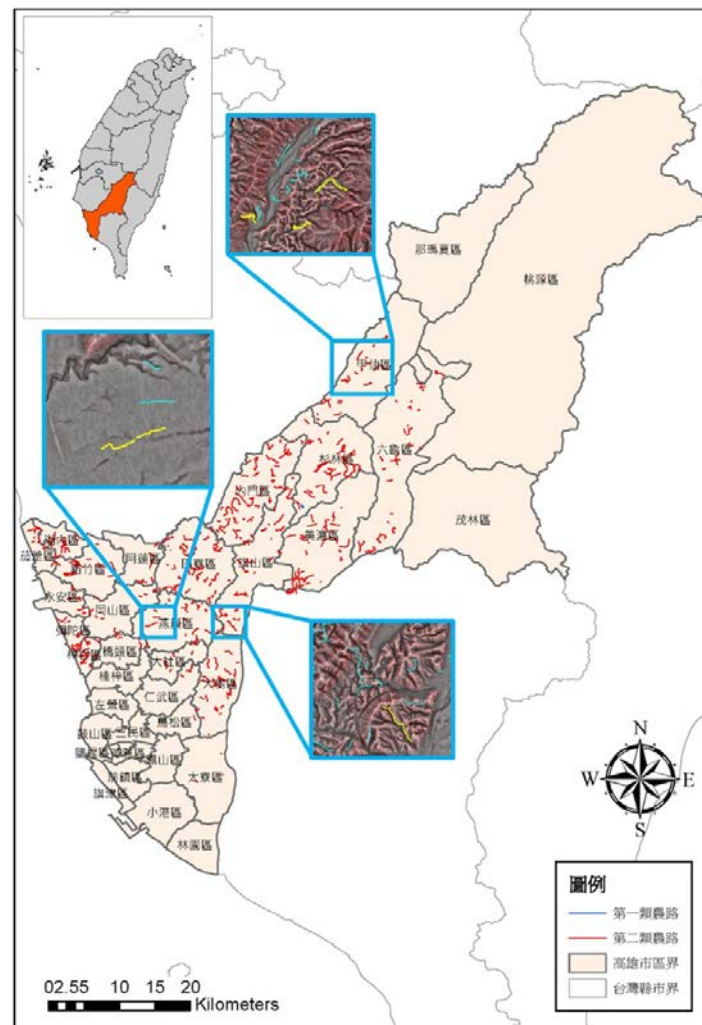


圖 1 高雄市轄區內之編號農路，其中黃色農路即為本研究選定的 6 條農路，其中位於燕巢區有 2 條，位於旗山區有 1 條，位於甲仙區有 3 條。

Figure 1 The numbered agricultural roads in Kaohsiung City, the yellow agricultural roads are the 6 selected for this study, including 2 in Yanchao District, 1 in Cishan District, and 3 in Jiasian District.

表 1 6 條農路相關資訊表

Table 1 The information of the 6 selected agricultural roads.

農路名稱	分布區域	高程分布	坡度	植被遮蔽度
農高燕 014	燕巢區	20~25 公尺	二級坡、三級坡	低
農高燕 017	燕巢區	20~30 公尺	二級坡、三級坡	低
農高旗 038	旗山區	55~210 公尺	三級坡、四級坡	中
農高甲 205	甲仙區	400~600 公尺	四級坡~六級坡	高
農高甲 213	甲仙區	300~480 公尺	四級坡~六級坡	高
農高甲 218	甲仙區	270~500 公尺	四級坡~六級坡	高

四、實驗方式

4.1 手機定位 APP

本研究利用 GPS 紀錄器以及 GPS 地圖相機兩個 APP 進行農路定位與長度量測實驗，實驗時將手機架設於機車上之手機架上，以時速 30-40 公里之速度依照農路路線前進，並利用 APP 紀錄其資訊，手機架設情形如圖 2 所示。GPS 紀錄器 APP 為 Google Play 上由 Peter Ho 所發行的一款 GPS 定位紀錄 APP，可以記錄 GPS 數據、緯度、高度、速度以及距離等數據，而該 APP 所記錄之數據可以匯出 KML 資料方便匯入 Google Earth 進行路線之比對，使用上十分簡單方便，只需要在開始進行調查作業前開啟程式，結束調查作業後關閉程式即可完成，該程式會自動記錄 GPS 坐標，每一秒皆會有一筆資料，再藉由各點位置推算出路徑線形以及路徑長度，最後便可輸出 KML 資料。GPS 地圖相機 APP 是由 JK.Fantasy 所開發的一款於 Google Play 發行的 APP，為拍照與定位 2 合 1，將能加快實驗速度，當該程式開啟時，地圖、地址、天氣、時間等資訊會顯示在相機預覽畫面，

能在拍照前先確認資訊是否正確，拍照後之照片具有 GPS 標籤，拍照時可以將地圖、地址、經緯度等資訊貼在照片上，方便使用者比對資訊。本研究先於國立中興大學校園進行此 APP 之準確性測試，其結果如圖 3 所示，由圖 3 可看出即使道路旁邊有大樓樹木等遮蔽，但若將定位路線匯入 Google Map 中仍可準確貼合於道路上，因此本研究所使用的手機定位 APP 之精度應足夠應用於後續農路調查實驗中。



圖 2 外業調查時手機架設方式。

Figure 2 The mobile phone installation method during field investigations.

軌跡紀錄器		地圖相機
名稱	GPS 紀錄器	GPS 地圖相機
測試成果		

圖 3 GPS 軌跡紀錄器(左)成果及地圖相機 APP 介面(右)。

Figure 3 The positioning results of the GPS track recorder (left), and the interface of the map camera APP (right).

4.2 無人飛行載具

本研究同時從上述 6 條農路中挑選出其中 3 條農路(高旗 038、農高燕 014、農高燕 017)進行無人機空拍並利用 Pix4Dmapper 軟體建置鑲嵌影像，研究所使用之無人機型號為 DJI phantom 4 pro，重量 1388g，空拍鏡頭內置 1 吋 CMOS 感光元件，有效像素為 2,000 萬，該相機之像片解機度足以清楚辨識地表上之物件，如車輛、樹叢、道路等等，足以達到製作數化地形圖之需求，最大飛行時間為

30 分鐘，圖傳距離可達 7 公里，並具備 5 向感知以及 4 向避障功能，提高無 GPS 環境下之精準懸停能力，使用大光圈定焦鏡頭，快門最高速度 1/2000 秒，記錄運動物體時可有效防止拖影，其規格如表 2 所示，DJI phantom 4 pro 外觀如圖 4 所示。本研究利用空拍所得之航空照片結合 Pix4Dmapper 軟體建構農路及其周邊地形之正射鑲嵌圖與 3 維點雲圖，後續再使用 ArcGIS 程式進行數化地圖製成土地利用現況圖。

蕭宇伸、廖子寧、沈鈺旻、卓宥瑄：
手機定位 APP 與 UAV 技術應用於山坡地農路調查工作

表 2 DJI Phantom 4 Pro 資訊 (資料來源: DJI 官方網站)。

Table 2 The information of the DJI Phantom 4 Pro (Source: DJI Official Website).

定位	避障功能強大的準專業級航拍機
重量	1388 g
最大飛行時間	約 30 分鐘
視覺系統	前視視覺系統後視視覺系統下視視覺系統
避障功能	前視，後視避障左右紅外避障
影像傳感器	1 英寸 CMOS 有效像素 2000 萬
最大錄影解像度	4K 60P
最大遙控距離	FCC: 4.3 mi
圖傳技術	Lightbridge
工作頻率	2.4 GHz/5.8 GHz



圖 4 Phantom 4 pro 外觀示意圖(資料來源:DJI 官方網站)

Figure 4 The appearance of Phantom 4 pro (Source: DJI Official Website).

五、研究成果

5.1 手機定位 APP 研究成果

本研究使用 GPS 紀錄器以及 GPS 地圖相機等 APP 紀錄 6 條農路路徑與坐標等數據，研究成果如圖 5~10 所示。圖 5 與 6 分別為農高燕 014 與農高燕 017 之成果，此兩條農路位於地形平緩之處，由衛星影像來看，農路周邊多為農舍、住宅等鄉村聚落，植被多為農田及低矮樹叢，農路遮被少，故 GPS 紀錄器和 GPS 地圖相機 APP 收訊良好。根據量測成果，農高燕 014 與農高燕 017 全長分別為 1011 公尺與 823 公尺，且由圖 5 可發現，定位之農路路線與 google 地圖和衛星影像所標註的農路位置均完全吻合，可說明 GPS 紀錄器和 GPS 地圖相機 APP 量測成果無誤。

圖 7 為農高旗 038 之成果，由圖 7 之 google 影像圖可發現，農路周邊大部份種植果樹，同時亦有不少闊葉林地，附近也多半是鄉村聚落，整體而言農路遮蔽程度較農高燕 014 與農高燕 017 多，且地形起伏程度也較大，然而定位結果可看出路線仍相當吻合 Google Earth 衛星影像與地圖，GPS 紀錄器和

GPS 地圖相機 APP 量測得到的長度為 2165 公尺，且定位之農路路線與 google 地圖和衛星影像所標註的農路位置亦完全吻合，這代表三到四級坡且周邊植被為果樹和闊葉林地的農路，亦有準確的路線定位成果。

圖 8~圖 10 分別為農高甲 205、農高甲 213 以及農高甲 218 之定位成果。甲仙區的 3 條農路皆在海拔較高之山坡地上，坡度約在四級至六級坡之間，地表起伏更加劇烈，且植生覆蓋茂密，多為闊葉林樹種。由圖 8~圖 10 可看出部分路段於衛星照片上甚至被樹叢所遮蔽，無法辨識路徑。由 GPS 紀錄器和 GPS 地圖相機 APP 量測得到的長度，農高甲 205、農高甲 213 以及農高甲 218 全長分別為 1787 公尺、1496 公尺與 2579 公尺，若由圖 8~圖 10 定位路線與衛星影像套疊來看，在植被覆蓋茂密地區，雖然無法由衛星影像清楚判釋農路完整路線，但配合本實地現勘比對，所測得的農路路線大致與衛星影像農路路徑吻合，這代表在如此地形崎嶇且農路路面上方植被遮蔽度高的地區，GPS 紀錄器和 GPS 地圖相機 APP 依然有準確的定位成果。

蕭宇伸、廖子寧、沈鈺旻、卓宥瑄：
手機定位 APP 與 UAV 技術應用於山坡地農路調查工作



圖 5 農高燕 014 路線定位成果(左)、區位 Google Earth 衛星影像(中)與套疊成果(右)
Figure 5 The Nongkaoyan 014 positioning results (left), the location in Google Earth satellite image (middle), and the overlaying results (right).



圖 6 農高燕 017 路線定位成果(左)、區位 Google Earth 衛星影像(中)與套疊成果(右)
Figure 6 The Nongkaoyan 017 positioning results (left), the location in Google Earth satellite image (middle), and the overlaying results (right).

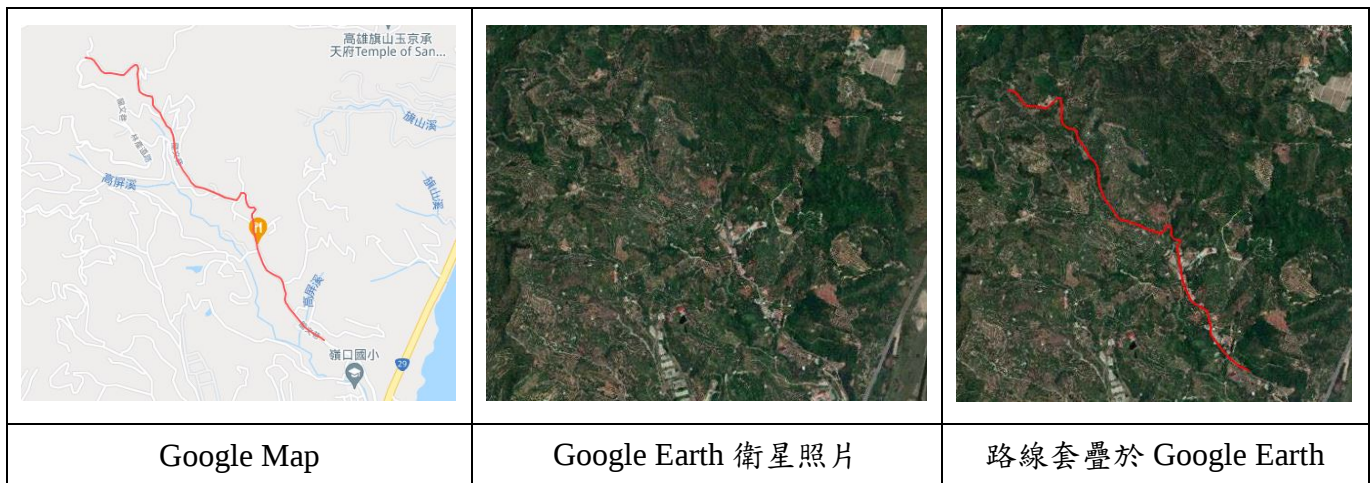


圖 7 農高旗 038 路線定位成果(左)、區位 Google Earth 衛星影像(中)與套疊成果(右)

Figure 7 The Nongkaoci 017 positioning results (left), the location in Google Earth satellite image (middle), and the overlaying results (right).

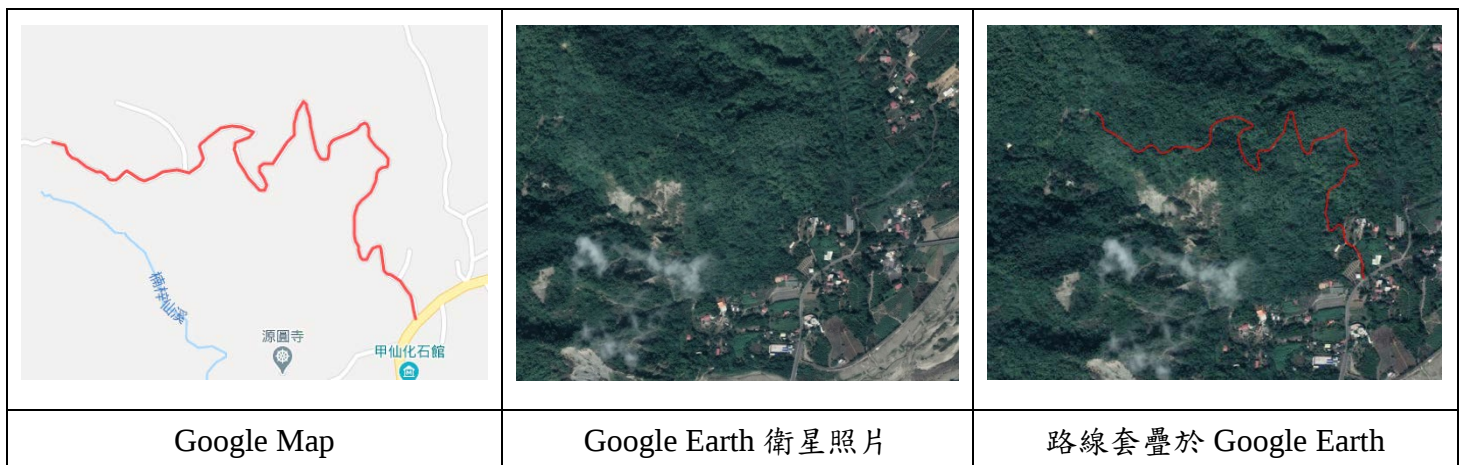


圖 8 農高甲 205 路線定位成果(左)、區位 Google Earth 衛星影像(中)與套疊成果(右)

Figure 8 The Nongkaojia 205 positioning results (left), the location in Google Earth satellite image (middle), and the overlaying results (right).



圖 9 農高甲 213 路線定位成果(左)、區位 Google Earth 衛星影像(中)與套疊成果(右)
Figure 9 The Nongkaojia 213 positioning results (left), the location in Google Earth satellite image (middle), and the overlaying results (right).

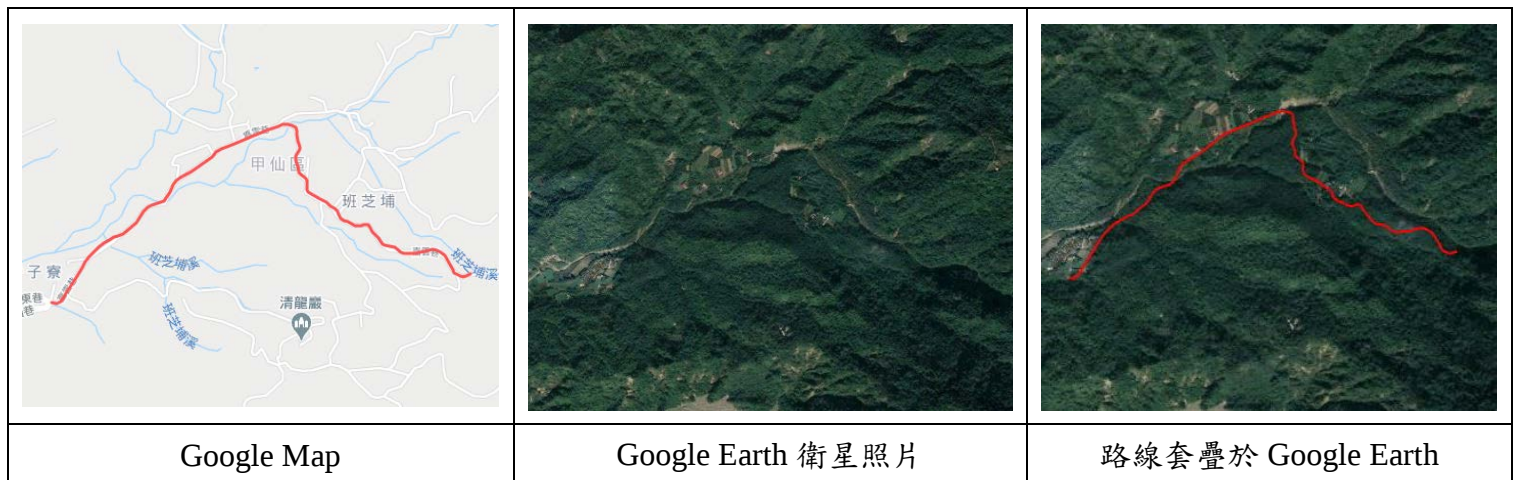


圖 10 農高甲 218 路線定位成果(左)、區位 Google Earth 衛星影像(中)與套疊成果(右)
Figure 10 The Nongkaojia 218 positioning results (left), the location in Google Earth satellite image (middle), and the overlaying results (right).

5.2 無人飛行載具研究成果

研究選定農高燕 014、農高燕 017 與農高旗 038 做為無人飛行載具 UAV 空拍區域，並將空拍成果產製土地利用現況圖，農高燕 014 與農高燕 017 合計共拍攝 412 張連續照

片，拍攝日期為 2020 年 10 月 13 日，而農高旗 038 則拍攝 440 張連續照片，拍攝日期為 2020 年 10 月 14 日。航拍時天氣狀況良好，航高均為對地高 60 公尺，照片前後重疊率 80%，左右重疊率 75%，後續以 Pix4Dmapper 將連續照片產製區位的正射鑲嵌圖(圖 11(左)

至圖 13(左))。由圖 11(左)至圖 13(左)可發現，各農路正射鑲嵌圖可清楚判釋建築物、樹林、農地等不同土地利用型態，接著再利用 ArcGIS 數化出土地現況利用圖(圖 11(右)至圖 13(右))。由圖 11(右)至圖 13(右)可看出，藉由不同顏色的圖例設定可以快速地辨別不同區域的土地利用情形。從土地現況利用圖中可觀察到，農高燕 014 以及農高燕 017 之土地利用情形以農地為大宗，其次為聚落，甚少為裸露地，而在農高旗 038 的部分，裸露地以及闊葉林地的比例增加不少，農地的

使用比例銳減，此應為農高旗 038 位處山坡地，地勢起伏較大，相較於農高燕 014 以及農高燕 017 位處較平坦的市區，農高旗 038 之開發程度較低同時也不易於開發。藉由本研究所製成之土地現況利用圖，使用者可以迅速掌握現地之土地利用情形，若再配合當地山坡地土地可利用限度查定成果(例如宜林地、宜農牧用地或加強保育地等)，即可得知該區域有無超限利用或濫墾濫伐等違規情事，這對於未來土地利用之相關規劃工作能提供相當大的幫助。

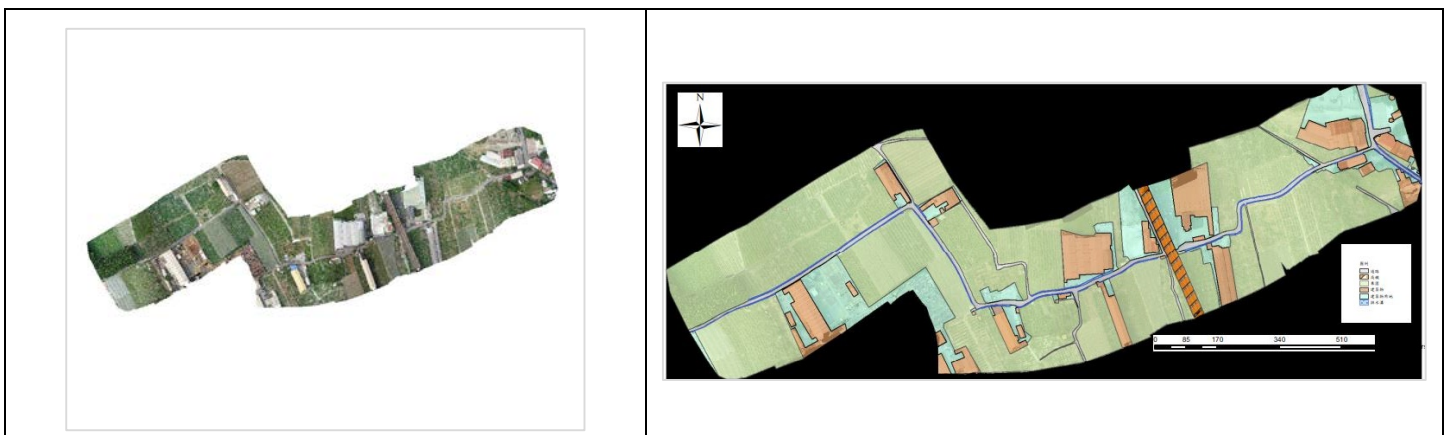


圖 11 農高燕 014 之正射鑲嵌圖(左)及土地利用圖(右)。

Figure 11 The ortho-mosaic photo (left) and the land use map (right) of Nonggaoyan 014.

蕭宇仲、廖子寧、沈鈺旻、卓宥瑄：
手機定位 APP 與 UAV 技術應用於山坡地農路調查工作

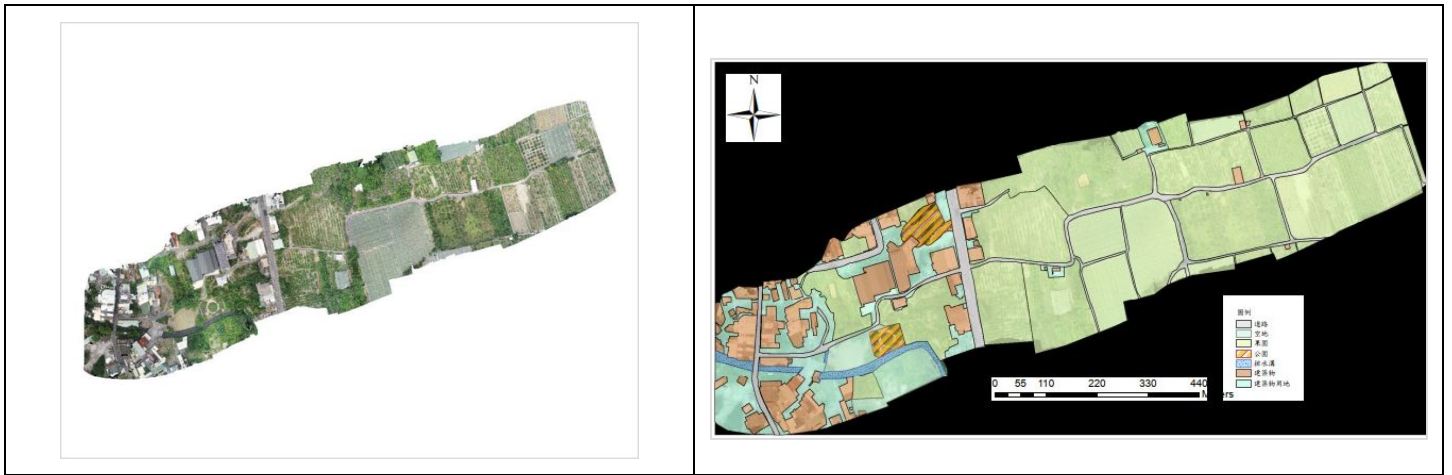


圖 12 農高燕 017 之正射鑲嵌圖(左)及土地利用圖(右)。

Figure 12 Figure 11 The ortho-mosaic photo (left) and the land use map (right) of Nonggaoyan 017.

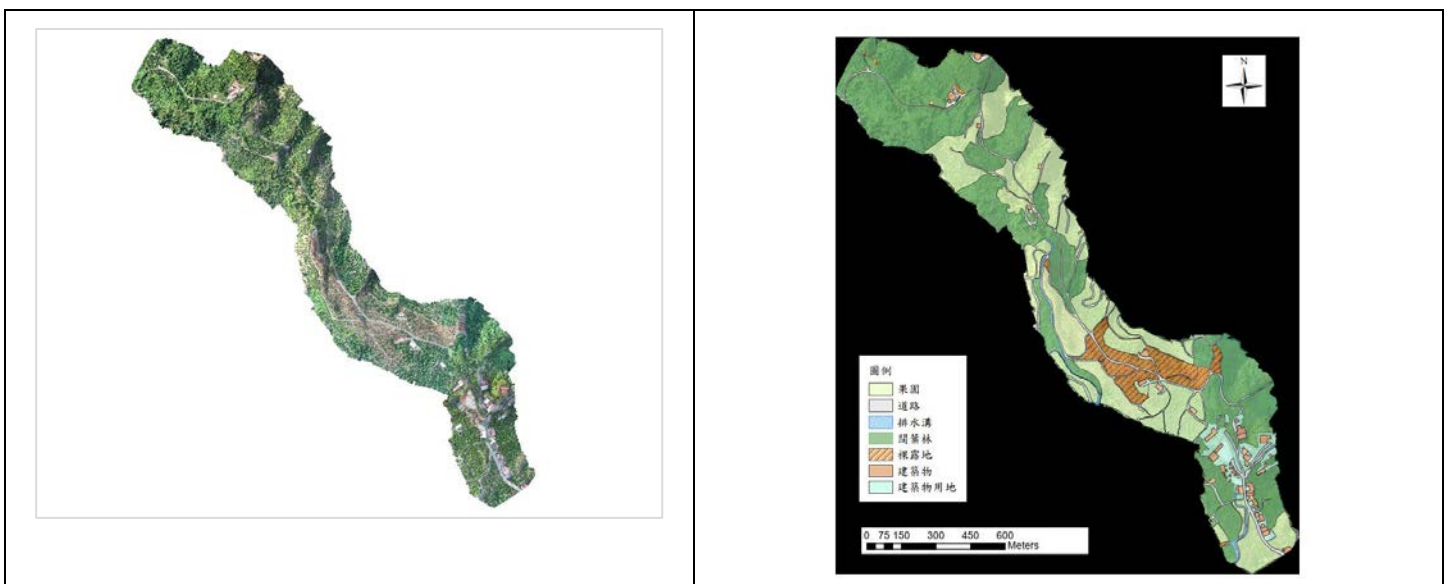


圖 13 農高旗 038 之正射鑲嵌圖(左)及土地利用圖(右)。

Figure 13 Figure 11 The ortho-mosaic photo (left) and the land use map (right) of Nonggaoci 038.

六、結論與建議

農路調查工作相當繁瑣，不僅需要調查相當大數量的農路，同時也須審慎評估農路使用狀況等資訊，相當耗時以及人力需求繁重。本研究以農高燕 014、農高燕 17、農高旗 038、農高甲 205、農高甲 213、農高甲 215、農高甲 218 等 6 條農路探討手機定位 APP 於山坡地農路調查之應用，其中選取農高燕 014、農高燕 017、農高旗 038 等 3 條農路探討無人機於調查工作之應用，從研究成果中可得知本研究採用的 GPS 紀錄器 APP 和 GPS 地圖相機 APP 測得之農路路徑與 Google Map 以及 Google Earth 上所顯示之路徑十分吻合，且不論是在平地(農高燕 014、農高燕 017)或是地表起伏較大的坡地(農高旗 038、農高甲 205、農高甲 213、農高甲 218)成果皆十分準確，即使是在植被遮蔽度高的地方(農高甲 205、農高甲 213、農高甲 218)所測得之成果亦準確，依然不影響 GPS 紀錄器 APP 和 GPS 地圖相機 APP 之精度，顯示手機定位程式 APP 適合用於農路調查作業。若與傳統測量方法(例如測距輪)相比，手機定位程式只需要使用手機開啟定位功能進行測量即可獲取測量資訊，操作上十分簡單易懂，可更快速有效的完成相關調查作業，同時又能達到足夠的精度。

在無人機空拍應用部分，無人機本身機動性高、成本低且解析度高，所拍攝之影像清晰，能清楚看見地面景物，因此利用無人機影像產製之正射鑲嵌圖可製作土地利用現況圖，可讓使用者清楚了解當地之土地利用情形，相較於以往衛星影像圖，無人機可以達到更好的相片解析度，作業流程上也相對簡單快速，並可節省人力物力，應用於農路調查作業亦十分方便有效。

參考文獻

1. 江彥政(2019)，「無人機在農業調查之應用」，嘉大農林學報，第 16 卷，第 2 期，第 155 - 169 頁。
2. 吳思穎、周學雯(2016)，「穿戴式裝置應用於運動訓練之探討—以 GPS 智慧運動錶為例」，中華體育季刊，第 30 卷，第 1 期，第 39 - 48 頁。
3. 卓奕全(2005)，「GPS/GSM 整合應用於農用車輛行走軌跡遠端監視系統之初步研究」，臺灣大學生物產業機電工程學碩士論文。
4. 陳彥銘(2012)，「基於 GPS 戶外活動紀錄與分析系統」，成功大學生物醫學工程學系碩士論文。
5. 徐竣翔(2015)，「UAV 影像在都市三維變遷偵測之應用」，高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
6. 高雄市政府農業局(2016)，「105 年度高雄市重劃區外農路現況調查工作」，成果報告書。
7. 陳琦玲、周巧盈、巫思揚、陳韋廷(2018)，「無人機協助農損勘災—加速災後救助流程與復耕」，臺灣災害管理研討會，第 434 - 441 頁。
8. 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，第 20-39 頁。
9. 楊景堯(2017)，「小型四旋翼無人機應用於水稻作業之可行性評估」，臺灣大學生物產業機電工程學碩士論文。
10. 劉承勛、陳俊民、楊亮梅(2016)，「快速路徑程式結合全球定位系統路線軌跡在定向

蕭宇伸、廖子寧、沈鈺旻、卓宥瑄：
手機定位 APP 與 UAV 技術應用於山坡地農路調查工作

越野運動的訓練與賽後分析之應用」，中正體育學刊，第 6 期，第 31 - 48 頁。

11. 劉舒、朱航(2020)，「基於超高空間分辨率無人機影像的面向對象土地利用分類方法」，中國農業工程學會學報，第 36 卷，第 2 期，第 81-88 頁。

水土保持學報 51 (2): 2789-2804 (2021)

Journal of Soil and Water Conservation, 51 (2): 2789-2804 (2021)

110 年 7 月 19 日收稿

110 年 7 月 22 日修改

110 年 7 月 29 日接受