

教育部教學實踐研究計畫成果報告
Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：PEE1090594

學門專案分類/Division：工程學門

執行期間/Funding Period：2020/08/01 – 2021/07/31

無人機測繪技術之教學與實作/Teaching and Implementing of UAV-based Mapping
Technology
攝影測量與遙感探測/Photogrammetry & Remote Sensing

計畫主持人：張智安

執行機構及系所：國立陽明交通大學土木工程學系

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開(統一於 2022 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2021/08/02

無人機測繪技術之教學與實作

一. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

1. 研究動機

無人飛行系統(Unmanned Aerial System, UAS)是一套整合全球定位系統(Global Positioning System, GPS)、慣性量測單元(Inertial Measurement Unit, IMU)及飛行控制元件(Controller)進行資料獲取的系統。受載具載重限制,UAS搭載的感測器在重量及電源方面都有所限制,多數UAS搭載非量測型相機,獲取多光譜之數位影像。UAS具有高機動性且可以獲取高重疊率及高空間解析之影像,近年來空間資訊領域廣泛使用UAS於各種應用,UAS可補足傳統航測機動性及大面積資料獲取的限制,因此其發展在攝影測量(Photogrammetry)及空間資訊領域中相當重要。無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)搭配攝影測量技術對工程相關之測量工作帶來巨大的改變,使無人機測繪技術成為未來土木工程師應具備的能力之一(Hernandez de Menendez et al., 2019)。

UAS的主要優點是機動性高且成本較傳統航測低,適合小範圍的應用,其研究領域包含硬體發展、資料處理能力的優化及應用三個方面。在硬體發展方面,以飛行載具、資料獲取感測器(Imaging Sensors)及定位定向系統(Position and Orientation System)於UAS的研究為主;在資料處理方面則以直接地理對位(Direct Geo-referencing) (Rehak et al., 2013)及即時攝影測量(Real Time Photogrammetry) (Wu et al., 2004)來提升資料處理的效能;隨著UAS獲取影像性能的提升,可獲取高空間解析度、同航線前後高重疊率與高紋理相似性的數位化影像,已廣泛應用在土木工程、地球科學、氣象及環境科學等領域。UAS在土木工程領域的應用以製圖及資源調查為主,不同層面的UAS應用包含地形及地貌重建、災害災情調查、歷史古蹟的製圖、交通監測、生態保護等。根據PwC (pwc.pl)的分析,基礎建設是商業無人機最主要的應用(圖1),無人機技術在建築、交通、鐵路及能源等各項基礎建設行業中發揮著至關重要的作用,因此,無人機測繪技術是工程測量教育中重要且必要的技術。

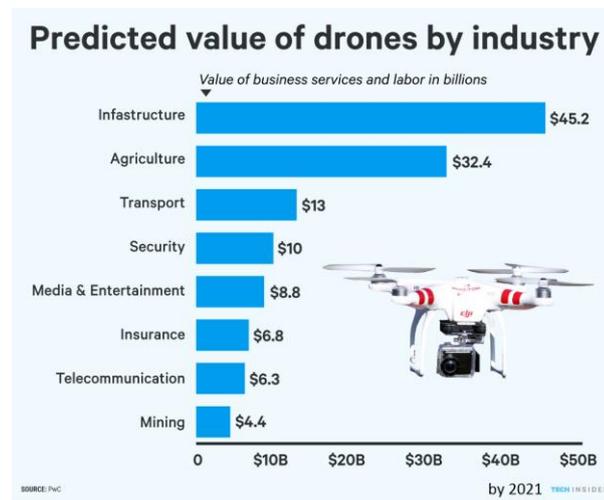


圖 1.無人機商業應用市場分析及預測

(Source: <https://bestdroneforthejob.com/blog/pwc-report-business-use-drones/>)

2. 研究目的

無人機是當代科技中備受重視的一項發展,無人機測繪技術是無人機關鍵的應用之一。本計畫主要目的是發展無人機測繪技術教學課程,以彌補現有工程測量在無人機測繪技術教育的不足。經由教學課程,探討無人機測繪技術教育可能的難點,以利後續推動及提升教學成效,此外亦配合新工程教育的發展,對測量學、工程圖學、全球定位系

統、地理資訊系統及土木工程概念設計進行橫向連結，以問題導向的教學設計，經由地形測量問題養成學生解決工程測量問題的能力。

二. 文獻探討(Literature Review)

傳統航空攝影測量發展至今已有近一百年之歷史，而無人機攝影測量則是近十年開始普及化，比較傳統航空攝影測量與無人機攝影測量(表1)，無人機之拍攝成本低、效率高、起飛降落地點彈性，飛行機動性及自由度高，低飛行高度使其拍攝不會有雲層的遮蔽，且可以獲得地面解析度較高的影像，在執行任務時，可靈活地改變拍攝角度，由多視角進行拍攝，適合小範圍區域測量。而傳統攝影測量飛行高度較高，多為垂直攝影，擁有高精度的定向定位系統，以及內方位參數穩定的量測型相機，因此可以獲取高品質的航空影像，以及穩定的相機內外方位參數，適合大範圍區域測量。

表 1、無人機攝影測量與傳統攝影測量之比較

類型	無人機攝影測量	傳統攝影測量
成本	低	高
航高	一百公尺等級	一千公尺等級
原理	影像匹配	共線式
地面解析度	公分等級	十公分等級
攝影模式	垂直、傾斜	垂直
涵蓋範圍	小	大
優點	1.影像重疊率高 2.無雲層的遮蔽 3.起飛降落地點彈性	1.影像品質高 2.前移補償裝置 3.內外方位參數穩定
缺點	1.POS 精度低 2.飛行穩定度低	1.靈活性低 2.影像數目少

無人機的發展不僅提升客製化影像資料收集的效能，也增加了攝影測量在學術和商業應用中的需求，操作及處理無人機的能力成為業界和學界所需的一項技能，因此無人機測繪技術的教學也更為重要，有潛力於創新學習環境的發展扮演重要角色(Fombuena, 2017; Mesas-Carrascosa et al., 2019)。無人機軟硬體廠商為了推廣無人機，在開放平台中提供網路學習資源，例如無人機航拍任務規劃、無人機正射化處理、三維點雲重建等。Jeziorska (2014) 針對地理學科提出了無人機課程應有的課程，包括介紹、飛行準備、飛行、處理和成果分析(圖2)，此程中使學生有機會學習一系列應用無人機的程序；Teo et al. (2016)則是針對地形測量提出資料處理模組(圖3)，並使學生擴展技能及增強就業市場的競爭力，學習無人機測繪相關技能變成工程領域重要的技能。

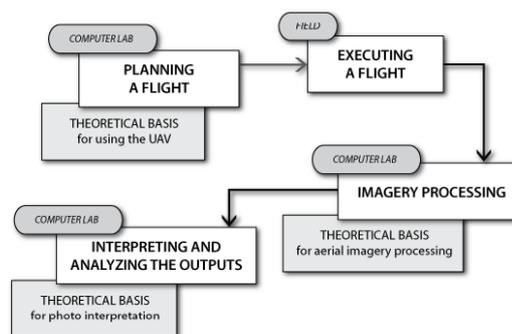


圖 2.無人機於地理學科之教學模組(Jeziorska, 2014)

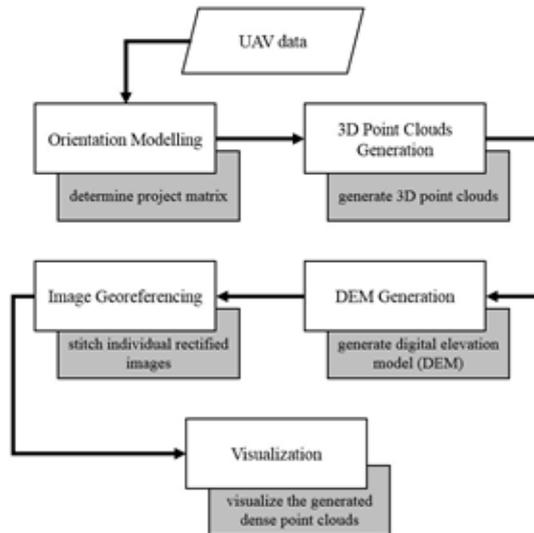


圖 3.無人機於地形測量之資料處理模組(Teo et al., 2016)

針對無人機測繪技術之教育方式，Fombuena (2017)認為若將無人機與簡單的影像軟體結合在一起能夠更加地了解環境，或是利用如 Microsoft 的 Image Composite Editor 和 Photosynth 之類的軟體實施簡單的轉換也許會為學習增添樂趣之外，也可在數學課程中使用 MATLAB 來計算基本影像轉換，即平移、反射、旋轉、膨脹(Dilation)、仿射(Affine)等。通過這種教學方式，學生將能在參與系統的數據收集和處理中，同時學習如何透過人工及程式設計進行矩陣計算並將結果視覺化，幫助學生立即知道計算結果是否正確，以及更容易理解與地球相關的現象(Duan et al., 2013)。

此外，在課程的教育方法上，Fombuena (2017)傾向於現有課程中納入無人機相關教學，而非在獨立課程中。例如在測量學課程應介紹無人機的類型及錯誤的來源等，或者是在攝影測量課程使用無人機來介紹相機校準、內外方位參數、影像失真等。Wright et al (2018)則是著重在無人機的三維重建教學，課程中強化連續影像之運動推斷結構(Structure from Motion)的教學。而 Al-Tahir (2015)則是認為無人機的教育及培訓計劃應包含基於無人機的測繪操作與應用程序開發，故提出無人機教育的三層級(Three-tier)方法，欲將無人機的技術教學整合至地理學及地理工程。第一級是要求學生在程序結束前製作一個個人專題，目的為讓學生使用已建立的或商業軟體參與攝影測量設計與過程，激發學生理解和應用無人機影像。第二級是在現有的攝影測量學課程中，學生已經了解攝影測量學的基本原理之後再安排無人機的相關課程，課程內容包含無人機的定義、術語與類型，市場和應用領域，無人機在測繪中的優勢和局限性，及無人機的法規。目標為使學生能定義無人機，並列出且分類不同的無人機類型，以及評估無人機在傳統技術上的使用情況。此方法能幫助學生了解攝影測量的飛行計劃、空中三角測量、影像處理與特徵萃取。第三級是攝影測量課程的重要組成部分或一門完整的課程，課程內容可以是回顧攝影測量學、介紹無人機技術、動手實踐培訓、遙感應用等。課程目的則可能包含期許學生能描述無人機操作的基本原理，評估可用的無人機系統和數據處理軟體及其適用性，設計基於無人機的航空影像操作與飛行任務，針對傳感器校準的過程提出建議，產生數值地形模型、正射影像等。

在不久的將來，自動無人機以及人工智慧的發展將可能造成專家操作員這個角色消失。因此，教育重點應該避免放在操作無人機上，以預防學生在不了解基本原理與技術的情況下，學習該按下哪顆按鈕以執行特定任務(Ferrandino, 2015; Bearman et al., 2015)。因為操作儀器只能收集數據，無法真的能夠理解遙測的原理與技術，故在操作軟體時，不僅需要知道該按哪顆按鈕，還必須了解特定軟體的邏輯以及每項任務背後的演算法方能判斷與現有情況相關的潛在問題，並根據需求使用合適的任務以解決問題(Elaksher, 2018)。

現今許多工程相關工作可透過輕巧的無人機完成，無人機在各個工程生命週期都扮演重要的收料收集角色，在工程設計與選址階段，可使用無人機測量建物基地的三維地形地貌；在工程施工階段，則可以使用無人機記錄工程進度；在驗工階段，以無人機檢驗設計與實驗工程的差異。更重要的是，無人機測繪的三維成果，可做為工程師之間的協同作業平台，更可以成為工程師與業主/民眾溝通的一大利器。除此之外，無人機也應用在緊急製圖事件(Tampubolon and Reinhardt, 2015)，例如：2014年高雄氣爆、2016年台南維冠大樓等重大災害、2019年宜蘭南方澳斷橋等，均在第一時間以無人機進行空間資訊的快速收集。因此，無人機測繪技術在工程測量發揮極大的效益。

根據上述文獻探討，愈來愈多的應用使用從無人機獲取的空間資料，另一方面，操作無人機的相關能力也引起愈來愈多的關注。因此，本計畫發展無人機測繪技術之教學課程外，同時也利用無人機獲取的影像進行地形測量實作。

三. 研究問題(Question)

本計畫全程目的為無人機測繪技術教育的精進，研究問題是如何在現行攝影測量課程中，有效的融入無人機測繪技術，提升教學效益。針對傳統攝影測量教學課程，提出強化無人機測繪專案實務操作及導入現行無人機相關法規教育兩項精進項目。隨著無人機硬體設備的進步，消費型無人機搭配專業攝影測量工具，可達成小範圍地形測量之目的。為了能累積實務經驗，計畫導入無人機地形測量專案之實務操作，包含無人機航線任務規劃、資料獲取、地面控制點量測、影像處理及分析，以及成果檢驗報告等。另外，無人機的普及化，促使交通部設置「遙控無人機管理規則」(109年3月31日實施，交通部，2019)，為鼓勵新創，經濟部設置「無人載具科技創新實驗條例」(經濟部，2019)，此規則對無人機設備、飛手、空域及申請均有規範。為了讓學習無人機測繪技術的學生未來能落實無人機測繪技術於實務應用，課程計畫加強無人機相關法規教育。

四. 研究設計與方法(Research Methodology)

本計畫目標為精進現有「攝影測量及遙感探測」課程，發展無人機測繪技術之實作型教學課程。教學目標為學習工程測量所需無人機測繪之理論與實務，包含現行法規、航拍規劃、資料獲取、資料處理、資料分析及應用。課程定位為問題導向之實作課程，以地形測量為主題進行實作，讓學生透過實作養成解決工程問題的能力。課程內容講授攝影測量理論，累積基礎概念與理論知識，並安排專業業師演講，分享業界於無人機測繪技術之實務經驗及探討現行相關法規，再以課程實作作業串聯理論與實務經驗，導入無人機地形測量專案之實務操作，包含無人機航線任務規劃、資料獲取、地面控制點量測、影像處理及分析和成果評估。最後，以學生自評來討論課程教學目標成效，評量方式採用核心能力指標評估尺規(Rubrics)，另外，於期初與期末發放測驗請學生填寫，分析學生在修課前後的成長情形。

1. 研究場域與對象

課程以地形測量為主題進行實作，討論範疇為小區域地形地貌的三維測量工作。為鼓勵無人載具科技創新，大專院校校區可視教學需求申請為無人機教學場域，有鑑於此，研究的教學任務設定為校園無人機地形測繪，場域鎖定於校園內運動場周圍。教學對象來自相同科系，以土木工程學系大三和大四學生為主，他們未來就業或研究均有工程測量的需求，且學習背景一致，皆已具備測量學(I)(II)、工程圖學(I)(II)、全球定位系統等基礎知識。可經由本課程的無人機測繪技術教育，統整過去所學的測量相關知識，對不同課程進行橫向連結，進而應用到工程實務問題外，未來能夠結合其他所學的專業領域，發展更豐富的無人機測繪技術和服務。

2. 研究教學方法與規劃

第一階段先定義課程實作將解決之工程問題；第二階段經由課程講授及業師經驗分

享，累積理論基礎及基本概念，並對重要注意事項及法規進行探討；第三階段是安排課程實作作業，包含資料獲取、處理及分析；第四階段是課程檢討及反思。

(1) 課程講授:

本計畫除安排攝影測量理論基礎課程外，也規劃及設計無人機測繪技術的教材，包括無人載具硬體介紹、航拍規劃原則與步驟、地面控制點設置原則等。授課內容主要分成四個單元，並與實作作業互相搭配(表2)。攝影測量理論基礎之教材選用 Mikhail et al., (2000)；地形測量實務之教材選用 Li et al., (2004)。

表 2、課程講授與實作作業規劃

理論教學 (單元/重點內容)	配合作業	
Introduction to Photogrammetry 航空攝影測量理論基礎	<ol style="list-style-type: none"> 1. 航空攝影測量基礎概念與理論 2. 無人機航線規劃 3. 透鏡畸變差 4. 傾斜與高差位移 5. 透視投影與正射投影 6. 立體像對基礎理論 7. 內外方位參數 8. 共線條件式 9. 方位重建(空間後方交會) 10. 三維定位(空間前方交會) 11. 影像正射化(影像反投影) 	HW1: Lens Distortion HW2: Close Range Photogrammetry HW3: Orthorectification of UAV image HW5: Digitization
Collinearity Equations 共線條件式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 航空攝影使用的共線條件式 2. 電腦視覺使用的共線條件式 	HW2: Close Range Photogrammetry HW4: Point Clouds Processing
Introduction to DTM 認識數值地形模型	<ol style="list-style-type: none"> 1. 數值地形模型簡介 2. 核幾何原理 3. 建置三維數值地形模型原理 	HW3: Orthorectification of UAV image HW6: Flight Planning
The practical application of UAV 無人機攝影測量任務規劃及校園實習	<ol style="list-style-type: none"> 1. 無人飛行載具簡介 2. 航拍任務前置作業 3. 航線規劃原則、步驟、設備選擇與參數設定 4. 多視角三維重建技術 5. 影像正射化處理方法與流程 	HW3: Orthorectification of UAV image HW6: Flight Planning

(2) 業師經驗分享:

邀請三位業師在課程中分享無人機相關實務經驗，分享主軸包含無人機在工程及法規之實務應用及無人機載具的發展、現況與未來。另外，邀請一位業師在課堂上實際示範使用無人機規劃航拍路線與執行飛航任務，讓修課的學生了解無人機在業界的實務發展與操作方式。

(3) 課程實作作業:

配合課程講授與專業業師經驗分享，共規劃七次實作作業與一次線上測驗(表3)，作業所需教材與教具由授課教師與課程助教共同製作和準備。教材製作包含設計作業目標、方法及問題探討等，另外，針對實作使用的機型及軟體，參考廠商說明文件自編講義，無人機法規教材則參考全國法規資料庫、交通部民用航空局網站及業師提供之參考文件。教具準備工作包含租用無人機資料處理軟體，提供遙控無人機、地面控制點測量儀器、飛控應用程式等供學生使用，及確定各項工具間的互操作性

及相容性。

表 3、課程實作作業規劃

作業主題	內容	材料與設備
HW1: Lens Distortion	1. 率定相機內參數 2. 校正透鏡畸變差	1. Agisoft Lens 軟體 2. 智慧型手機
HW2: Close Range Photogrammetry	1. 無人機測繪基礎理論: 2. 方位重建(後方交會) 3. 三維定位(空間前方交會)	1. Agisoft Metashape 2. Professional 軟體 3. 物件多視角照片
HW3: Orthorectification of UAV image 外業測量	地面控制點量測	1. Polaris Connect APP 2. Lefebure NTRIP Client APP 3. S100 RTK 接收儀 4. 即時動態定位服務帳號 5. GPS 固定站
HW3: Orthorectification of UAV image 內業處理	1. 無人機測繪資料處理流程 2. 方位重建(後方交會) 3. 三維定位(空間前方交會) 4. 影像正射化(影像反投影) 5. 資料成果精度評估與分析	1. Agisoft Metashape 2. Professional 軟體 3. 高重疊 UAV 影像
HW4: Point Clouds Processing	1. 分離地面與非地面點雲 2. 建置 DEM 及 DSM 3. 視覺化三維數值地形模型	1. CloudCompare 軟體 2. 三維點雲資料
HW5: Digitization	無人機測繪資料應用: UAV 正射鑲嵌影像產製二維地圖	1. QGIS 軟體 2. UAV 正射鑲嵌影像
HW6: Flight Planning	1. 無人機航拍任務規劃及法規 2. 航線規劃與航拍參數設定 3. 飛航任務模擬	1. Mission planner 軟體 2. 遙控無人機學科測驗規範.pdf
補充: 線上測驗	航空攝影測量及無人機航拍現行法規基礎測驗	Kahoot!: 攝影測量與遙感探測課程問卷

3. 課程及學習成效評估方式

課程及學習成效評估方式主要分成二大項，第一項為利用評量尺規(Rubric)評量課程核心能力之重要性與達成度，透過提供統一的評分標準，讓教師與同學都有一致的學習成果目標。本計畫依據教學目標訂定評量尺規項目，共設定六項核心能力指標(表4)。第二項為設計學期初與學期末的前後測驗問卷做為學習成效評量工具，衡量學生在修課前後之成長情形來評估其學習成效，並針對不易達成的項目進行檢討。此外，平時教學紀錄，如課程作業批改與學生對課程教學意見反應等也納入成效評估的參考依據。

表 4、六項核心能力指標

項目	核心能力指標
核心能力一	具備無人機測繪技術相關法規知識，清楚載具、飛手、飛行任務、及場域的法規限制。
核心能力二	具備能實際完成無人機飛行任務規劃之能力，有能力使用工具輸出航線規劃圖，並能規避限航區。
核心能力三	具備能實際完成無人機處理及分析之能力，有解釋數據及使用軟體

	產製三維地形成果的能力。
核心能力四	具有能力達成無人機測繪成果視覺化展示，可互動式瀏覽測繪成果。
核心能力五	具有能力達成以無人機完成地形測量之實作，地形測量成果必須通過精度要求。
核心能力六	具有有效溝通及團隊合作的能力。

五. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

1. 教學過程與成果

(1) 業師經驗分享

本課程共邀請四位專業業師與學生們分享無人機相關實務經驗(圖4)，分享內容包括無人機的發展與現況、現行法規、應用領域與實務案例、飛航任務規劃、航線與參數設定、操作方式、影像處理與分析等經驗(表5)。

表 5、專業業師經驗分享

日期	題目	講師	重點內容
109.09.29	無人機於工程顧問產業之實務應用	台灣世曦工程顧問(股)公司/全宜中工程師	1. 無人機簡介與測繪技術發展 2. 無人機於工程中應用拍攝模式 3. 影像處理程序及延伸應用 4. 無人機法規及相關資訊
109.10.06	商用無人機之實務應用與發展	經緯航太科技股份有限公司/張瑞隆副總經理	1. 商用無人機種類與組成 2. 商用無人機之實務應用(快速更新地圖、防災緊急應用服務) 3. 傾斜射影三維建模及應用
109.10.13	無人機 5G 應用大未來-國內法規與發展契機	航見科技股份有限公司/張東琳執行長	1. 遙控無人機發展契機 2. 無人機管理規則及操作證測驗 3. 遙控無人機實際應用案例
109.10.27	無人機攝影測量任務規劃及校園實習	國立陽明交通大學防災與水環境研究中心/李國維博士	1. 無人機攝影測量任務規劃 2. 航線規劃案例介紹 3. 實際示範無人機航線規劃 4. 實際執行無人機航拍任務



(a) 學生針對演講內容發問



(b) 講師示範無人機航拍作業

圖 4. 業師經驗分享過程

(2) 課程實作作業

本課程實作主軸為規劃與設計無人機測繪技術於地形測量作業，內容包括無人機航線規劃、無人機航拍法規、測繪外業資料收集、無人機資料處理、資料成果分析等(表5)。教學教材除了自編的實作講義外，也整理相關網路教學資源作為補充教材，更自製教學影片上傳至網路開放平台，豐富並多元化學生的學習來源。

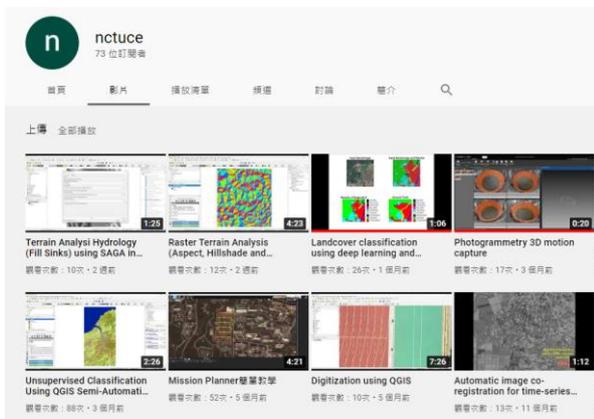
本團隊將自製教學影片發布至YouTube頻道:nctuce。另外，課程相關教材與實作所使用之無人機資料(圖5)，及網路教學資源則整理至本計畫建置之網站(<https://nctuce.wixsite.com/uavmapping>)(圖6)，開放教學使用，以推廣無人機測繪技術教育。網路教學資源分成五大項，第一項為法律相關資源，如現行無人機測繪作業法規，包含航拍任務規劃、執行飛航任務當下及前後等法律規範；第二項為遙控無人機操作證考試相關資源，如學科測驗規範、術科測驗示範、歷屆考古題解析等；第三項為無人機活動空域相關資源，提供活動空域查詢工具；第四項為測繪作業相關資源，分享無人機影像處理作業流程。

表 5、課程實作作業成果

作業主題	成果	影音教材與網路開放資源	對應核心能力
HW1: Lens Distortion	1. 相片端點之像坐標 2. 透鏡畸變參數	1. YouTube: Calibrazione camera con Agisoft Lens 2. Agisoft Lens User Manual (Version 0.4.0).pdf	核心能力三
HW2: Close Range Photogrammetry	1. 相機攝影位置坐標 2. 物件三維坐標及精度 3. 物件之間的距離	Agisoft Metashape 專業版用戶手冊.pdf	核心能力三
HW3: Orthorectification of UAV image: 外業測量	地面控制點坐標	SkyTra:RTK Receiver Introduction.pdf	核心能力六
HW3: Orthorectification of UAV image 內業處理	1. 三維密集點雲資料 2. 數值地形模型(DTM) 3. UAV 正射鑲嵌影像	網路 (https://nctuce.wixsite.com/uavmapping)	
HW4: Point Clouds Processing	1. 地面及非地面點雲 2. 數值高程模型(DEM) 3. 數值地表模型(DSM)	1. YouTube: From 3D points to 3D mesh using CloudCompare 2. YouTube: Generation of digital terrain model using Cloudcompare (Revised) 3. YouTube: Visualize digital terrain model using QGIS	核心能力三 核心能力四 核心能力五
HW5: Digitization	二維向量地圖	YouTube: Digitization using QGIS	
HW06: Flight Planning	航拍路線專案	1. YouTube: Mission Planner 簡單教學 2. 交通部民用航空局-遙控無人機管理資訊系統	核心能力一 核心能力二
線上互動測驗	航空攝影測量及無人機 航拍現行法規基礎測驗	Kahoot!: 攝影測量與遙感探測課程問卷	核心能力一到五



圖 5. 實作作業成果: UAV 正射鑲嵌影像



(a) YouTube 頻道: nctuce



(b) 課程網站

圖 6. 網路教學資源

2. 學生學習回饋

本次課程教學目標成效以六項核心能力指標評量尺規來衡量(附件 1)，評估學生認為各項核心能力的重要性與該項核心能力在課程教學中的達成度。六項核心能力指標統計結果顯示(圖 7)，核心能力一(具備法規知識)的重要度為 4.22，達成度為 4.5；核心能力二(任務規劃)的重要度為 4.17，達成度為 4.5；核心能力三(處理及分析)的重要度為 4.61，達成度為 4.39；核心能力四(視覺化展示)的重要度為 4.5，達成度為 4.28；核心能力五(地形測量)的重要度為 4.5，達成度為 4；核心能力六(溝通與團隊合作)的重要性為 4.11，達成度為 3.83。

重要度最高的前三項依序為核心能力三、四、五；達成度最高的前三項依序為核心能力一、二、三；核心能力一與二的達成度皆高於重要度，因本課程除了邀請專業業師分享現行無人機相關法規外，亦透過課堂作業讓學生們實際規劃無人機航拍任務，結合知識與實作，加深學習印象。而核心能力三到六的達成度低於重要度，其中重要度與達成度落差最大的為核心能力五，推測原因為課程中使用地形測量實務作業之精度要求為標準，受限於設備與時間安排，學生實習產出的成果較低於實務精度標準，故學生自評本項核心能力較低。此外，核心能力六為達成度最低的核心能力指標，推測原因為課程規劃的實作內業大多為一人作業可完成，除現地測量需團隊合作外，橫向合作的機會低，建議未來將單人作業減少，提升團體作業比例。

核心能力重要性和達成度調查

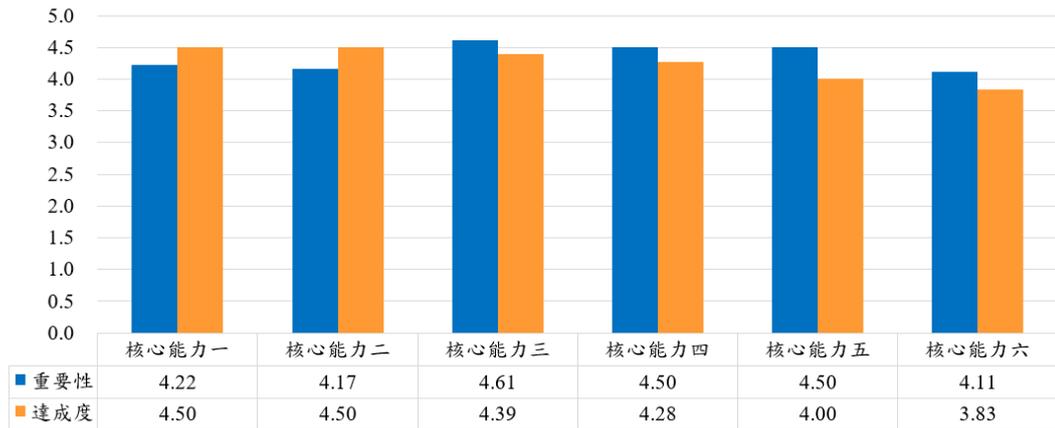


圖 7.核心能力指標重要度與達成度統計

學習成效以學生在修課前後的成長情形以學期初及學期末測驗成果來評估。測驗問卷共有十題(附件2)，成果顯示學生在修課後幾乎每一題的答對人數都有進步，整體答對率從41.8%提升至58.4%(圖8)，表示此課程有益於增進學生對於無人機測繪理論與實務相關知識。

課程前後測驗成果

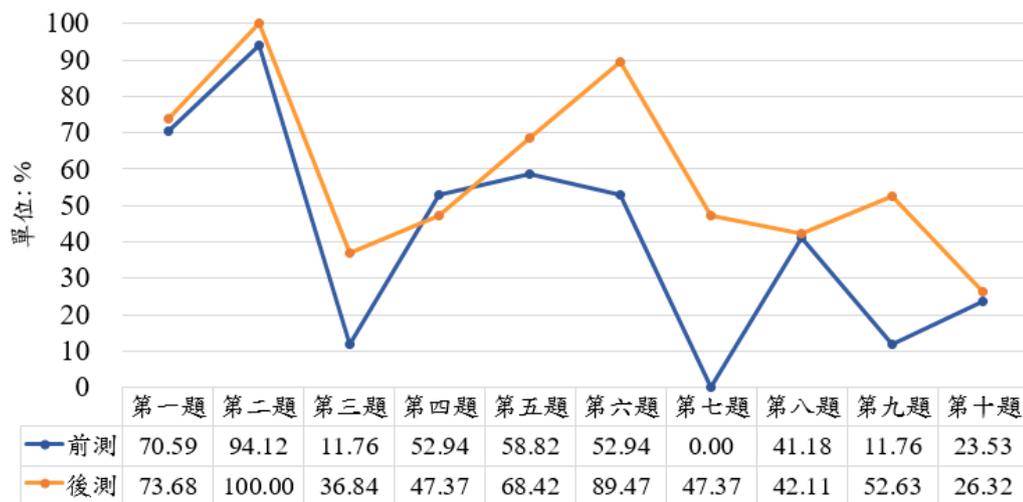


圖 8.前後測問卷成果統計

統整上述核心能力重要性與達成度調查及期初與期末測驗問卷成果，發現課程規劃可再多著重於無人機實際操作與團體分工合作，故在教材編排上建議將部分實作作業合併為規模較大的專題作業。

3. 影響與貢獻

現今土木工程測量及監測作業極積導入無人機測繪技術，本研究的價值性為彌補工程測量在無人機測繪技術教育的不足，經由課程設計規劃，在傳統航空攝影測量教育課程中融入無人機測繪技術相關課程，並規劃無人機法規應用於測繪實務教學之課程，以呼應現今工程測量技術與法規的發展。另外，課程設計也安排影像資料處理與分析的教學，並讓學生實際參與無人機航拍任務，使用開源軟體規劃飛航路線與參數，在校園內實際獲取影像處理所需資料，進行完整的無人機航拍影像處理作業，落實實務應用需求，幫助學生累積解決問題的能力，提升學生在工程測量領域的競爭力。

六. 參考文獻(References)

1. 交通部,2019. 遙控無人機管理規則,
<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=K0090083>
2. 經濟部,2019. 無人載具科技創新實驗條例,
<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=J0030147>
3. Al-Tahir, R., 2015. Integrating UAV into geomatics curriculum. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(1), 387.
4. Bearman, N., Munday, P., & McAvoy, D., 2015. Teaching GIS outside of geography: A case study in the School of International Development, University of East Anglia. *Journal of Geography in Higher Education*, 39(2), 237-244.
5. Duan, M., Yang, Y., Yang, H., & Zhao, F., 2013. Educational geographic information system based on WebGIS. In *2013 International Conference on Information Science and Cloud Computing Companion* (pp. 161-166). IEEE.
6. Elaksher, A. 2018. Modernizing the Photogrammetry Curricula with Small Unmanned Aerial Systems. *Surveying and Land Information Science*, 77(2), 75-84.
7. Ferrandino, J., 2015. Using GIS to apply learning across the undergraduate criminal justice curriculum. *Journal of Criminal Justice Education*, 26(1), 74-93.
8. Fombuena, A., 2017. Unmanned aerial vehicles and spatial thinking: Boarding education with geotechnology and drones. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(3), 8-18.
9. Hernandez-de-Menendez, M., Díaz, C. E., & Morales-Menendez, R., 2019. Technologies for the future of learning: state of the art. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 1-13.
10. Jeziorska, J., 2014. Unmanned Aerial Vehicle – A Tool for Acquiring Spatial Data for Research and Commercial Purposes. *New Course in the Geography and Cartography Curriculum in Higher Education. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. Vol. XL. Part 6.*, pp. 37-42.
11. Li, Z., Zhu, Q. and Gold, C., 2004. *Digital Terrain Modeling, Principles and Methodology*, CRC Press.
12. Mesas-Carrascosa, F. J., Pérez Porras, F., Triviño-Tarradas, P., Meroño de Larriva, J. E., & García-Ferrer, A. 2019. Project-Based Learning Applied to Unmanned Aerial Systems and Remote Sensing. *Remote Sensing*, 11(20), 2413.
13. Mikhail, E.M., Bethel, J.S. and McGlone, J.C., 2000. *Introduction to Modern Photogrammetry*, John Wiley & Sons Inc., 479 pages.
14. Rehak, M., Mabillard, R., and Skaloud, J., 2013. A micro-UAV with the capability of direct georeferencing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40 (W2): 317-323.
15. Tampubolon, W., & Reinhardt, W., 2015. UAV Data Processing for Rapid Mapping Activities. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 40.
16. Teo, T. A., Shih, P. T. Y., Yu, S. C., & Tsai, F., 2016. The Use of UAS for Rapid 3D Mapping in Geomatics Education. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
17. Wright, W. C., Oxendine, C. E., Kerr, D. J., & Brockhaus, J. 2018. Incorporating Structure from Motion from Unmanned Aerial Systems in an Undergraduate Photogrammetry Course. *Surveying and Land Information Science*, 77(2), 97-104.
18. Wu, S. S. C., Hutton, J., Kletzli, B., Noto, H. M., Wang, S. S., and Wang, Z. H., 2004. A real-time photogrammetric mapping system. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35 (B2):61-66.

七. 附件(Appendix)

1. 核心能力指標評量調查表

本課程核心能力重要性和達成度調查											
Questionnaire of the importance and achievement of core competencies											
課程核心能力項目 The core competencies		核心能力的重要性 The importance of core competence					本課程的教學有達成下列核心能力 The accomplishment of core competence				
		毫不重要	低度重要	中度重要	高度重要	極為重要	很不同意	不同意	普通	同意	非常同意
		Not agree ← → agree					Not agree ← → agree				
1	具備無人機測繪技術相關法規知識，清楚載具、飛手、飛行任務、及場域的法規限制。 Have knowledge of relevant laws and regulations for unmanned aerial vehicle (UAV) surveying and mapping technology, and be aware of the legal restrictions on drones, pilots, flight missions, and fields.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	具備能實際完成無人機飛行任務規劃之能力，有能力使用工具輸出航線規劃圖，並能規避限航區。 Have the ability to design UAV flight mission, use available tools to layout route planning, and avoid restricted zones.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	具備能實際完成無人機處理及分析之能力，有解釋數據及使用軟體產製三維地形成果的能力。 Have the ability to process, analyze and interpret UAV data and 3D terrain model generation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	具有能力達成無人機測繪成果視覺化展示，可互動式瀏覽測繪成果。 Have the ability to visualize the results of UAV for surveying and mapping purposes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	具有能力達成以無人機完成地形測量之實作，地形測量成果必須通過精度要求。 Have the ability to achieve UAV topographic survey and meet the accuracy requirements.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	具有有效溝通及團隊合作的能力。 Have the ability to communicate effectively and work in a team environment.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. 攝影測量與遙感探測課程前測/後測問卷

- () 1. 政府機關、學校或法人於涉及軍事航空管理機關管理之禁、限航區及航空站或飛行場四周一定距離範圍內從事遙控無人機飛航活動者，應於活動日前多久提出申請？
(A) 3 天前 (B) 10 天前 (C) 30 天前 (D) 60 天前
- () 2. 某雜誌社委託無人機團隊利用無人機執行一項具有相當危險性之飛航任務，雜誌社負責人保證：「於執行任務過程中若發生任何事件，導致人員死傷或財物毀損，均由雜誌社全權負責，請團隊安心進行任務。」請問有關該負責人之保證，下列敘述何者正確？
(A) 操作無人機造成人員死傷或財物毀損，不論故意或過失，應由所有人及操作人負連帶賠償責任。
(B) 只要不是故意造成人員死傷或財物毀損，任一方均不須負賠償責任。
(C) 雜誌社要能提供書面保證及繳交足額保證金，使得作為團隊免責之依據。
(D) 只要活動經申請核准執行，且已作有必要防護措施者，任一方均不須負賠償責任。
- () 3. 遙控無人機所有人或操作人違反「不得逾距地面或水面高度 400 呎從事飛航活動」之規定者，民航局除廢止其操作證並得沒入遙控無人機外，另處多少新臺幣之罰鍰？
(A) 3 萬元以上 15 萬元以下
(B) 5 萬元以上 30 萬元以下
(C) 10 萬元以上 50 萬元以下
(D) 30 萬元以上 150 萬元以下
- () 4. 「自然人」欲以遙控無人機從事休閒娛樂用途，下列有關考照需求敘述何者正確？
(A) 操作 10 公斤且裝置導航設備之遙控無人機不需考照
(B) 操作未達 2 公斤之遙控無人機不須考照
(C) 操作 25 公斤以上之遙控無人機僅須通過學科測驗
(D) 操作未達 2 公斤之遙控無人機須通過學科測驗
- () 5. 計算航拍時的空間解析度，「不」需要哪些資訊？
(A) 光圈(Aperture); (B) CCD size; (C)相機焦距(Focal length); (D)航高(Flying height)
- () 6. 數值地形模型(Digital Elevation Model)描述地表高低起伏，下列何者「不」是數值地形模型航衍生的產品？
(A)等高線(Contour); (B)風場圖(Wind field); (C) 流向圖(Flow direction); (D)陰影圖(Shadow)
- () 7. 三維離散點(3D Irregular Points)進行資料結構化(Structuralize)有更佳的資料展示效能，下列何者「不」是資料結構化後的成果？
(A)不規則三角網(TIN); (B)菱形網格(Diamond mesh); (C)規則網格(Raster Grid); (D)三角網模型(Mesh)
- () 8. 下列何者非航照影像之內方位參數(Interior Orientation Parameters)？
(A) 透鏡畸變差(lens distortion); (B)相機焦距(focal length); (C)像主點坐標(principal point); (D) 拍照成像中心坐標(Perspective center);
- () 9. 下列何者「不」會影響空中三角平差成果的因素？
(A) 影像方位角; (B)連結點(Tie Points)量測精度; (D)立體影像的交會角; (D) 地面控制點分布情形
- () 10. 下列敘述何者錯誤？
(A) 航空攝影測量的立體像對，是指同一航線上連續拍攝且涵蓋相同地區之兩張航拍影像。
(B) 正射影像是使用正投影進行產製，故可以和一般地圖(如 Google Maps)套疊比較。
(C) 數值地表模型敷貼正射影像，可以有更好的視覺效果，但兩者必須有相同的空間解析度。
(D) 為了使無人機航拍資料產生的三維地形模型與現況相符，作業時需要控制點、檢核點(Check Points)以及連結點的坐標。