

發展空中及地面移動測繪技術

Development of aerial and terrestrial mobile mapping technology

主管單位：內政部國土測繪中心

蔡孟倫¹

張庭榮¹

張瑞隆¹

Tsai, Meng-Lun¹

Chang, Ting-Rong¹

Chang, Jui-Lung

¹ 經緯航太科技股份有限公司

摘要

內政部國土測繪中心於 108 年建置 1 套多旋翼無人飛行載具系統，並規劃未來實際應用於局部圖資更新及三維模型製作等作業，相關成果資料未來亦可作為災害應變前期參考資料。本計畫採用多旋翼型無人飛行載具系統辦理三維模型作業，以臺中糖廠為作業區域，使用 Pix4Dmapper 軟體完成產製三維模型。另一方面，研究測試結合 UAS 及 LMS 資料產製三維模型。在外業方面，UAS 採用空中井字形及環形拍攝方式，透過兩種航拍模式取得建物上方及側面影像資訊；LMS 則以地面環繞建物拍攝以獲取建物側面光達點雲資訊。內業方面，使用 Metashape 軟體進行 UAS 及 LMS 資料合併計算以產製三維模型，其合併方式是將外部 LMS 點雲及內部 UAS 影像匹配點雲，直接套合一起進行建模，可成功產製三維模型成果。整合 UAS 及 LMS 進行三維模型對齊後，雖仍有些許模型套合問題，但 LMS 光達點雲確實能成功補足 UAS 空中影像無法拍攝之區域屋簷底下。未來可增加地面拍攝影像，藉由 UAS 影像及 LMS 影像同時匹配；亦可於處理 LMS 點雲時提供 RGB 顏色資訊，進一步輸出彩色點雲，再匯入與 UAS 影像匹配之點雲進行建模。

關鍵詞：無人飛行載具系統、三維模型、光達、點雲

Abstract

In this project, a combination of UAS and LMS planning was developed. It combines the images of UAS and lidar point clouds of LMS. The test area is also Taichyu Factory of Teikoku Seitou K. K. The flight mode uses the orthogonal zone and flying surrounding the building to get images. The purpose of combined lidar point clouds by LMS is to aid the details where cannot matched by image-based modeling successfully. The combined algorithm of software is only merging the LMS point clouds and UAS image matching point clouds. It can not edit the data of three-dimensional model. Therefore, the final result depends on the quality of the point clouds that we input. The preliminary results show that there are still some fitting problems. It will be an important issue about improving the accuracy of point clouds in the future

Keywords : UAS, Mobile Mapping System, pointcloud, Lidar, 3D model.

一、前言

近年來，無人飛行載具系統（Unmanned Aircraft System，以下簡稱 UAS）在民用領域發展快速，應用領域廣及空間資訊、海岸防衛、環境監測、科學、農漁業、交通控制、危險任務等，UAS 除具有機動性高、操作與維護較載人航空器成本相對低廉等特性，且可在低空雲下作業，相較傳統航遙測載具所受天候及雲層影響程度小，可輔助傳統航拍與衛星遙測快速取得特定區域影像。

內政部國土測繪中心(以下簡稱國土測繪中心)於 108 年建置 1 套多旋翼無人飛行載具系統，並規劃未來實際應用於局部圖資更新及三維模型製作等作業，相關成果資料未來亦可作為災害應變前期參考資料。本計畫採用多旋翼型無人飛行載具系統辦理三維模型作業，以臺中糖廠為作業區域，採用井字型及環拍方式進行航拍，使用 Pix4Dmapper 軟體完成產製三維模型。另一方面，研究測試結合 UAS 及 LMS 資料產製三維模型，使用 Metashape 軟體進行 UAS 及 LMS 資料合併計算以製作三維模型。

二、無人飛行載具系統及酬載設備

2.1 無人飛行載具系統

無人飛行載具系統是指無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）及其地面相關控制組件，隨著資訊科技的迅速發展及各種新型感測元件的不斷問世，無人飛行載具系統的性能不斷提高，發展趨勢為低價化、微型化、自動化操作，由於其具有輕便、隱蔽性好、機動靈活、使用成本低等特點，並可酬載包含數位相機、雷射掃描、多光譜、高光譜、熱感應及微波等日趨小型化設備，應用領域也越來越廣泛，如海岸防衛、環境監測、交通控制、危險任務監控、災後影像獲取及球賽轉播、電影製作、極限運動拍攝等應用。國土測繪中心於 108 年完成建置 1 套多旋翼型無人飛行載具系統（以下簡稱多旋翼機）。多旋翼機具有垂直起降的功能，不需起降跑道，且具備滯空停懸能力，適合較小範圍特定地區航拍任務，旋翼機外觀照片如圖 1，規格如表 1。



圖 1 旋翼型無人飛行載具

表 1 旋翼機規格

載具寬度	120 公分	最大航高	約 500 公尺
載具重量	5.0 公斤	載具操作距離	約 1000 公尺
滯空時間	約 20 分鐘		

2.2 酬載設備

多旋翼機使用之酬載為數位單眼相機 Sony α 7 III (如圖 2) 搭配 21mm 定焦鏡頭，感光元件 CMOS 大小為 35.6 x 23.8mm、像素約 2420 萬。無人飛行載具上另搭載衛星定位定向系統 (Position and Orientation System, POS)，記錄無人飛行載具航拍時影像空間位置與姿態資訊，可用於後續輔助空中三角測量之影像處理解算。另外，因使用非量測型相機，須先辦理相機率定作業，求得相機焦距、像主點偏移及透鏡畸變差等內方位參數，以利於後續影像處理作業中修正系統誤差。

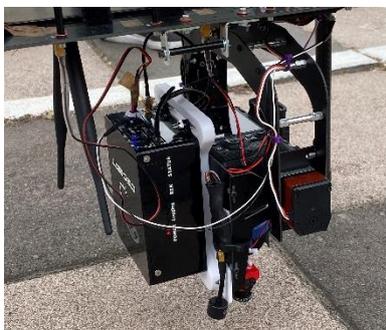


圖 2 UAS 酬載設備

三、航拍作業及三維模型製作

3.1 航拍作業

本計畫三維模型作業區為臺中糖廠(歷史建築)，對該建築及相關設施進行航拍製作三維模型。航拍作業流程如圖 3；區域位置及航拍範圍如圖 4 所示。

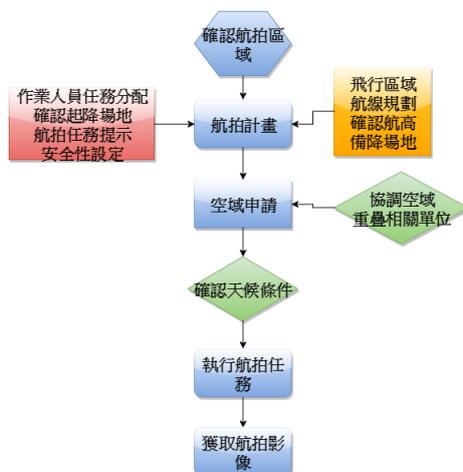


圖 3 UAS 航拍作業流程圖



圖 4 臺中糖廠區域範圍

航拍作業採用井字飛行拍攝整個臺中糖廠範圍，並增加環形拍攝方式對該園區進行拍攝，井字型航拍範圍以規劃 5 公分 GSD（航高約 180 公尺）進行拍攝，拍攝空中影像共計 498 張；環拍設計以飛行高度 150 公尺，距離目標建築物 100 公尺進行環拍，共計拍攝空中影像 308 張，拍攝面積約為 0.47 平方公里，影像中心點位置如圖 5 所示。另於區域內辦理控制點測量作業（點位分布如圖 6），控制點部分主要選定易辨認之特徵點位（斑馬線、道路標線等）且於 UAS 影像上可辨識之共同點。

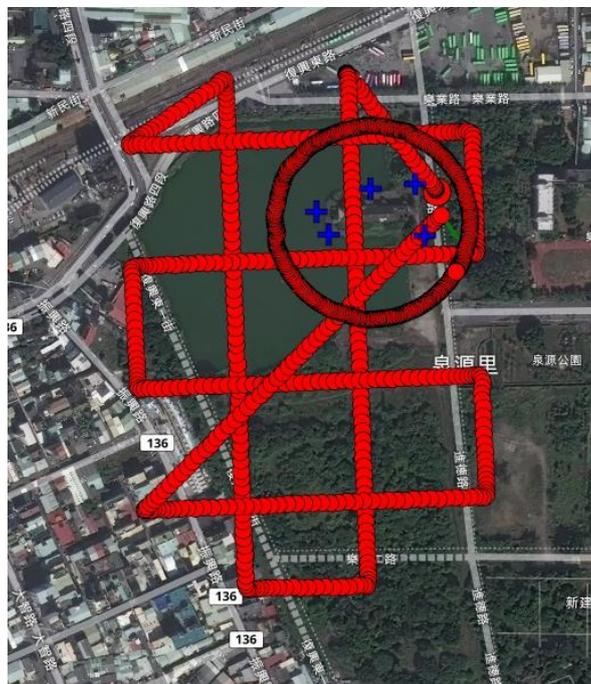


圖 5 航拍影像中心點位置分布



圖 6 控制點位置分布

3.2 三維模型製作

3.2.1 UAS 影像產製三維模型

UAS 航拍影像使用 Pix4d Mapper 軟體進行空中三角測量計算。利用 Pix4d Mapper 軟體將 UAS 航拍影像(807 張)與初始外方位參數及相機率定後內方位參數資訊輸入後，並量測控制點及連結點進行空中三角測量解算，主要使用控制點及影像間的匹配點位資訊，以後方交會法計算出每張影像外方位參數，並以前方交會法求得影像中點位之空間位置。空中三角測量計算結果 RMSE 為 X : 0.007338m、Y: 0.036310m、Z: 0.001381m，如圖 7；正射及 DSM 預覽成果如圖 8。空中三角測量解算完成後進一步產製三維模型如圖 9，計算出之 2D 共軛點 Bundle Block Adjustment 共計 1,089,737 點；3D 共軛點共計 243,756 點；Mean Reprojection Error (pixels)為 0.133。

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z[m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
A2 (3D)	0.020/ 0.020	0.011	0.023	0.001	0.355	449 / 451
A3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	-0.038	-0.002	0.379	458 / 460
A4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	0.048	0.002	0.566	331 / 333
A5 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.032	-0.001	0.572	405 / 409
Mean [m]		-0.000066	0.000150	-0.000134		
Sigma [m]		0.007338	0.036310	0.001375		
RMS Error [m]		0.007338	0.036310	0.001381		

圖 7 空三計算結果

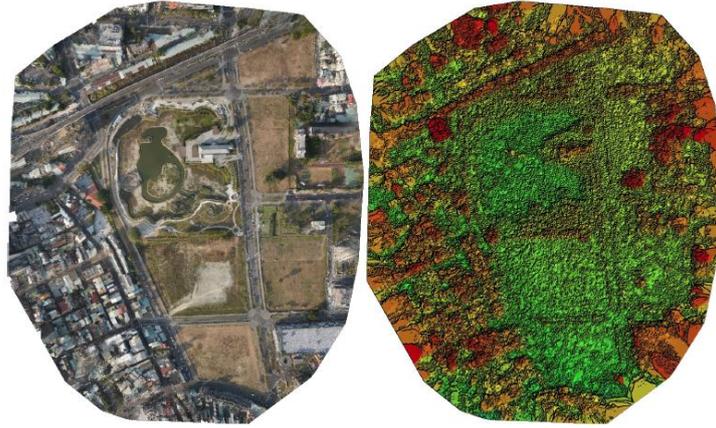


圖 8 臺中糖廠正射及 DSM 成果

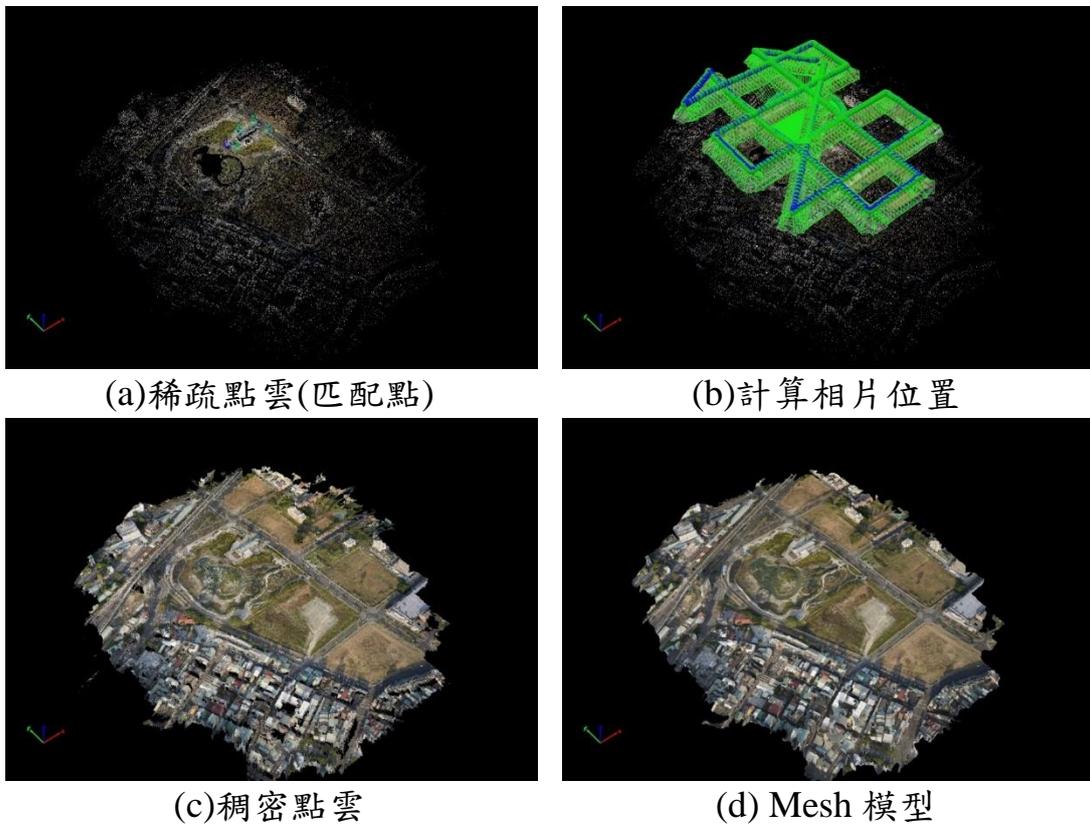


圖 9 Pix4D Mapper 計算相關成果

3.2.2 UAS 結合 LMS 資料產製三維模型

因 UAS 及光達移動測繪系統 (LMS) 各有載具不同優點及互補性，相關系統及資料結合為未來發展的課題之一，UAS 主要提供大範圍地表、建物屋頂、樹冠等資訊；LMS 可提供地面及地物側面資訊、隧道或高架橋底下 UAS 無法取得資料之地區，光達資料處理技術可快速地重建與管理龐大點雲資料，達到三維製圖與自動化目的，透過 UAS 及 LMS 聯合作業方式，將得以快速蒐集所需空間資訊並產製相關成果。本計畫以臺中糖廠為測試區，結合 UAS 及 LMS 資料產製三維模型，內業資料處理使用 Metashape 軟體測試結合 UAS 拍攝影像及 LMS 光達

點雲合併計算方法。主要使用 Metashape 軟體進行 UAS 及 LMS 點雲資料合併計算以產製臺中糖廠三維模型。Metashape 將 LMS 點雲與 UAS 影像合併計算方式說明如下，(1)先以 UAV 影像建模產製至該區域的三維點雲資料；(2)再將 LMS 點雲資料匯入專案中合併；(3)產製三維模型。其合併方式是將外部 LMS 點雲及內部 UAS 影像匹配點雲，直接套合一起進行建模，可成功產製三維模型，點雲比較如圖 10；三維模型成果如圖 11。

UAS 及 LMS 資料合併方式是將外部 LMS 點雲及內部 UAS 影像匹配點雲，直接套合一起進行建模，並非針對兩者資料進行平差計算，因此資料合併是否吻合，其中需考慮 UAS 三維重建過程中，模型是否因為拍攝影像而產生些許的差異，LMS 產製點雲過程中的相關誤差等。匯入 LMS 高精度的點雲將可提升 UAS 點雲匹配不足的地方，但若匯入的點雲有錯誤之點雲資訊，亦可能導致模型產生更多之變形。初步成果可知，整合 UAS 及 LMS 進行三維模型對齊後，有些許模型套合問題，可能原因之一為 LMS 點雲精度約 15 公分，本測試區選用之控制點於 LMS 點雲中難以量測，同時因 LMS 點雲未經過分類及過濾雜訊等作業，建模過程選用錯誤點雲，進而影響建模成果。

然而 LMS 光達點雲於本次測試，確實能成功補足 UAS 影像無法拍攝之區域，如圖 10 所示，UAS 影像由空中進行拍攝時無法拍攝之屋簷底下，LMS 光達點雲可增加該區域點雲資料；此外，影像匹配之點雲，演算法將稀疏點雲視為雜訊，常見如電線、電桿、樹枝等細長形狀，故 LMS 可有效補充相關地物之點雲。未來可增加地面拍攝影像，可藉由 UAS 影像及 LMS 影像同時匹配；亦可於處理 LMS 點雲時提供 RGB 顏色資訊，進一步輸出彩色點雲，再匯入與 UAS 影像匹配之點雲進行建模。

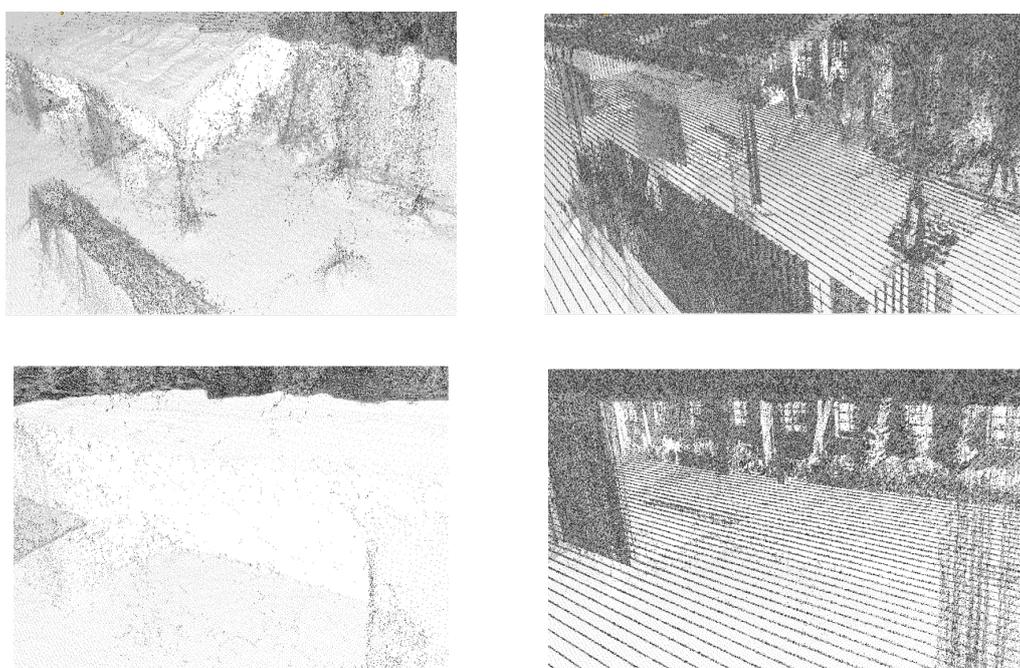


圖 10 點雲比較(左：UAS 影像點雲；右：UAS+LMS 光達點雲)



圖 11 臺中糖廠三維模型成果

四、結論與建議

國土測繪中心於 108 年建置 1 套多旋翼無人飛行載具系統，並應用於局部圖資更新作業及三維模型製作等實際航拍應用成果，相關影像資料未來亦可作為災害應變前期參考資料。本計畫採用多旋翼型無人飛行載具系統辦理三維模型作業，以臺中糖廠為作業區域，使用 Pix4Dmapper 軟體完成產製三維模型。另一方面，研究測試結合 UAS 及 LMS 資料產製三維模型。在外業方面，UAS 採用空中井字形及環形拍攝方式，透過兩種航拍模式取得建物上方及側面影像資訊；LMS 則以地面環繞建物拍攝以獲取建物側面光達點雲資訊。內業方面，使用 Metashape 軟體進行 UAS 及 LMS 資料合併計算以產製三維模型，其合併方式是將外部 LMS 點雲及內部 UAS 影像匹配點雲，直接套合一起進行建模，可成功產製三維模型成果。然而整合 UAS 及 LMS 進行三維模型對齊後，仍有些許模型套合問題，可能原因之一為 LMS 點雲精度約 15 公分，本測試區選用之控制點於 LMS 點雲中難以量測，同時因 LMS 點雲未經過分類及過濾雜訊等作業，建模過程選用錯誤點雲，進而影響建模成果。

綜合本研究測試結果，LMS 光達點雲確實能成功補足 UAS 影像無法拍攝之區域，UAS 影像由空中進行拍攝時無法拍攝之屋簷底下，LMS 光達點雲可增加該區域點雲資料；此外，影像匹配之點雲，演算法將稀疏點雲視為雜訊，常見如電線、電桿、樹枝等細長形狀，故 LMS 可有效補充相關地物之點雲。未來可增加地面拍攝影像，可藉由 UAS 影像及 LMS 影像同時匹配；亦可於處理 LMS 點雲時提供 RGB 顏色資訊，進一步輸出彩色點雲，再匯入與 UAS 影像匹配之點雲進行建模。

五、參考文獻

1. 內政部國土測繪中心,2019,「內政部國土測繪中心 108 年建置遙控無人機系統與航拍及影像處理作業工作總報告」。
2. 遙控無人機管理規則草案，2019，交通部民用航空局。
3. Fraser, C.S. (1997): Digital Camera Self-Calibration, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 52, Issue 4, Page 149-159