

結合空中與地上影像之傾斜攝影建模成效及精度評估

Quality evaluation of 3D architecture virtual reality from multiple view images

關鍵字(Key Words)：無人飛行載具(Unmanned aerial vehicle)、傾斜攝影(Oblique photogrammetry)、真實三維模型(True three-dimensional model)、精度評估(Quality evolution)、立面紋理(Facade texture)

國立臺北科技大學土木工程系／土木與防災碩士班／碩士生／黃品彰 (Pin-Jhang Huang) ❶

國立臺北科技大學土木工程系／土木與防災碩士班／碩士生／楊偉盛 (Wei-Sheng Yang) ❷

國立臺北科技大學土木工程系／副教授／張國楨 (Kuo-Jen Chang) ❸

摘要 ABSTRACT

無人飛行載具傾斜攝影突破了以往垂直影像的限制，其以範圍廣闊、牆面紋理清晰、精度高、效率高、成本低等優點而成為近年來國內外航拍的新興技術。傾斜攝影影像所產製的真實三維模型具有建物實際外觀與特色，相較於傳統手工建模更具有真實性。

傳統上無人飛行載具影像可以快速地建模，但由於立面的紋理資訊較不足，使得重建模型立面不夠完整。本文以旋翼型無人飛行載具來搭載消費型全片幅單眼相機，並以鉛直及傾斜攝影的方式拍攝，結合人工拍攝可對建物各個不同方向取景，以增加立面紋理資訊，來提升模型立面的精度。結合無人機航拍之鉛直及傾斜影像，並再輔以地面攝影任務來建置更真實之三維模型，並探討不同因素對模型精度的影響。



Abstract

The unmanned aerial vehicle (UAV) has been well used, advantages includes easy to operate, wide range, the wall texture of greater clarity, high precision, high efficiency and low cost. Due to the above-mentioned points, nowadays many associated true 3D model is applied for many aspects accordingly. The oblique photos catch many images from different angles, but it just partially reflects the actual appearance and characteristics of the objects, thus the associated true 3D model should be more realistic compare to the actual appearance. The object of this study is to evaluate the resolution and precision of the true 3D model generated by means of multiple view images, including vertical, oblique and ground images.

The results of this study explore the relationship of number of GCPs, resolution of image (ground sampling distance) and the effect of ground images. By means of drones, images and some field surveying, true 3D models can be constructing quickly with high precision and high resolution. These models can use for many aspects, e.g. virtual reality, interactive web publication, digital resource preservation and educations.

壹、緒論

在生活上所使用影像紀錄具價值性的，如教育的教材、觀光導覽、地質構造、歷史古物等，往往是二維平面的紀錄。在傳統三維模型建置中，其影像從立面圖與平面圖，獲得建築物的結構外觀，然後通過繪圖人員的處理，結合正射影像、測區平面向量圖、屋頂向量圖等資料，建置成三維白膜，再經所拍攝到的影像進行分析模型的細部結構，最後將影像紋理處理後貼在白膜上。傳統建模或許能在模型精細度上有很好的效果，但其生產成本高、工作量大，或模型生產效果不確定等不利因素，無法滿足在一定時間內大範圍快速建模需求，使傳統建模已不符合現代工程應用的潮流。

由於傾斜攝影技術的發展，它突破傳統垂直影像只能從鉛直方向拍攝的侷限，由不同傾斜角度之相機，以不同視角來採集影像，進而建置成三維空間資訊的真實三維模型，讓三維模型更具有真實直觀的呈現。可具體描述其成果在上課用的教材、風景區的導覽、地質構造的判識以及博物館的展覽上，勢必在數位典藏上更具有真實物體感知狀態。

本研究利用傾斜攝影技術，進行全自動垂直影像、傾斜影像，以及地面攝影等影像的空中三角運算，進一步自動化貼紋理，以形成最終真實三維場景。其建模方法比傳統方式，無論在效率和宏觀優勢上有著明顯的優勢。以多視角影像的任務需求，以快速地拍攝任務，提供了牆面紋理清晰、範圍廣闊、成本低等特性的真實三維模型。本文進一步探討航拍任務，並結合地面影像對於模型的精度影響，有利於往後傾斜攝影與結合地上影像在模型上運用的可行性。

貳、研究區域

本研究區域位在大金門金沙鎮三山里山后民俗文化村(圖1)，也是當地習稱的“十八間”，由18棟閩南古厝組成的聚落；至今古厝仍大致維持舊貌，為金門傳統民居的代表。近年來更提倡仿真的三維模型，因其資訊更具豐富性與完整性，可使民眾對古蹟的認識更快速、細微，達到觀光遊覽效果，另在學術研究與歷史教育都具有充實性的運用。

研究區域面積約為1公頃，一共劃設19個地面控制點，並平均分布於研究區域內，以評估不同控制點數量及分布對模型產製精度的影響。另外，並劃設18個地面檢核點，同樣平均分布於研究區域內，主要目的為檢核分析由無人飛行載具所建置之數值地形模型及正射影像，與現地真實測量之高程及平面的誤差分析之用，並藉以討論可能造成誤差之成因。





2

工程論著

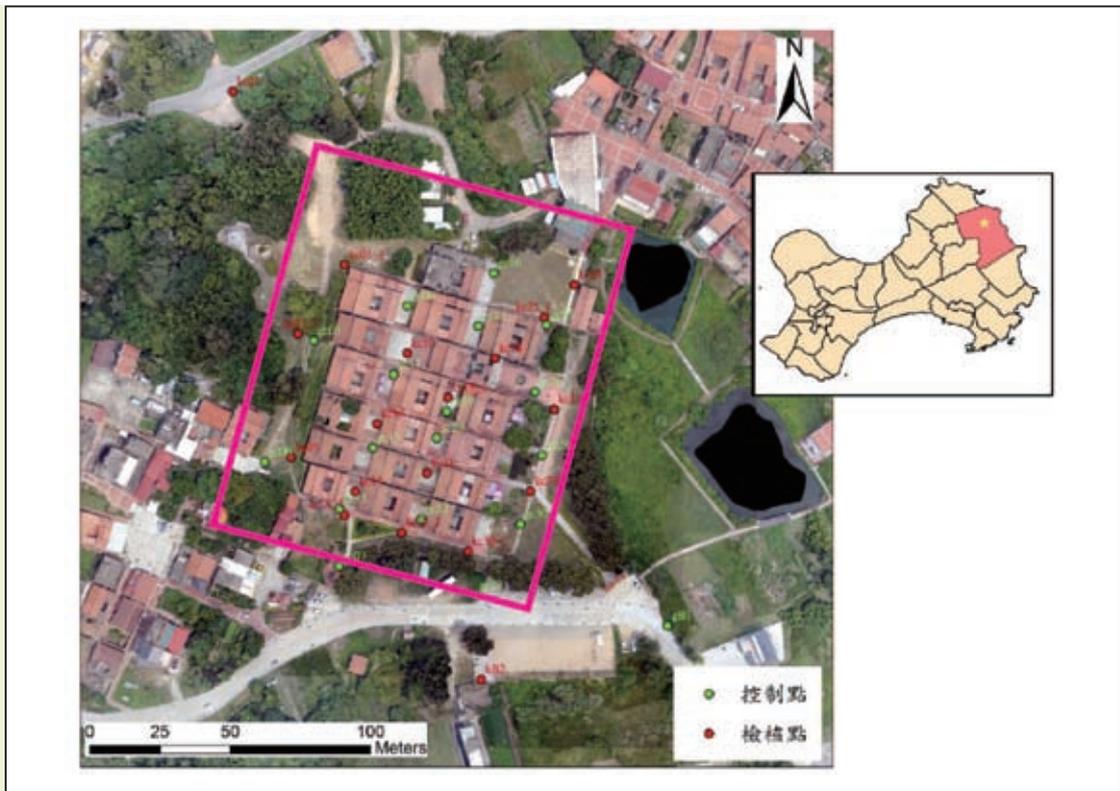


圖1 研究區域地理位置

參、使用UAV與相機

本研究使用之無人機為德國Microdrones公司所研發的MD4-1000四旋翼無人飛行載具(圖2)，搭載Sony α 7r來進行航拍任務。表1為MD4-1000載具特性(MD4-1000使用手冊)，表2研究所使用之Sony α 7r相機規格。



圖2 MD4-1000無人飛行載具

表1 無人飛行載具介紹

整體重量	2650 g	起飛重量	< 5550 g
翼展	1030 mm	最大荷載	1200 g
工作海拔	4000 m	環境風力	< 12 m/s
爬升速度	7.5 m/s	遙控距離	至少1000 m
飛行航速	15 m/s	飛行時間	最大70分鐘
動力	鋰聚電池	掛載相機	Sony α 7R

肆、研究方法

一、研究方法與流程

本研究是利用無人飛行載具搭載非量測型相機對民俗文化村十八間古厝進行拍攝，並

表2 相機之規格

感光元件像素	3640萬	重量(含電池)(g)	465
感光元件大小(mm)	35.9×24.0	體積(mm ³)	6.9×94.4×48.2
最大解像度	7360×4912		



圖3 e-GNSS測量(左)、RTK測量(右)

於地面利用相機進行建物各角落拍攝，將影像建置成真實三維模型、正射影像與數值地表模型。本研究主要目的是能透過航拍任務與地上影像在短時間內建置三維模型，由模型輸入控制點達到契合於實際空間位置，並由檢核點與立面匹配點探討模型精度狀況。

二、地面控制點量測

使用測量工具測定地面縱座標及橫坐標，經由儀器精密自動演算後得知高程點位置，操作兩種測量設備進行量測，分別為e-GNSS(VBS-RTK)與RTK(圖3)。其目的是為了降低儀器上的不同誤差來源，達到真實空間位置的定位方式。(黃美甄，2014)

地面控制點所使用位置必須是在顯著並容易辨識之地面上，以供影像及現地均能清楚辨識之控制點，三維模型建置時加入控制點空間位置以提高模型精度，為了降低在影像點選地面控制點上的人為誤差，地表特徵物可選擇影像裡明顯清楚可見的，如(1)新舊磁磚交接處(2)水泥路面與地面瓷磚交接處(3)道路轉角交接處或轉折處(4)劃設之航空標(5)具高反差色澤之地面磁磚等為地表之地形數值。

三、影像資訊與模型建置

依航空任務飛航高度不同與拍攝方式不同，將影像資訊分成五個部分，分別為航高80公尺、120公尺、160公尺、彙整所有航拍影像與所有航拍影像加上地上影像，並配合本研究室於現場進行動態量測e-GNSS及RTK測量數據資料來進行研究設計。

單鏡頭拍攝在航拍高度80公尺之垂直影像與傾斜影像總張數比例約為1:1，總張數為718張；在航拍高度120公尺之垂直影像與傾斜影像總張數比例約為1:2，總張數為583張；在航拍高度160公尺之垂直影像與傾斜影像總張數比例約為2:1，總張數為414張，當航拍高度越高則拍攝範圍越廣，所設計航拍任務影像張數可以減少。單鏡頭以水平線往下50度，以相同航拍路線井字型進行各航高拍攝任務。

為了使地上拍出來的照片能具GPS座標，我們在相機加裝了自製的相機及相片姿態記錄器。它其實就是飛控系統。無人機之所以能夠在空中自主飛行就是因為有此配置，它功能猶如人類的大腦一樣，如圖4所圈出來標示1的地方，它是由三軸陀螺儀、三軸加速度計、三軸地磁傳感器和氣壓計，四種所組成，我們稱為



圖4 自製相機及像片姿態記錄器

慣性測量單元(IMU)，三軸原本是指飛機的三個方向。現在飛控系統(ArduPilot Mega,APM)加裝在相機上，三軸轉變為相機的三個方向，陀螺儀是量測傾角，加速度計就是用來量測加速度，而地磁傳感器是用來感知地磁，就是一個電子指南針，它原本作用是讓飛機知道自己飛行朝向哪邊，氣壓計就是量測氣壓，再加上GPS定位(圖4所圈出來2的地方)飛控裝置本身的位置，即可獲得有GPS座標的相片。

各航高模型建置依序分別為無控制點(航高_No)、九個控制點(航高_9)、全部控制點(航高_All)的生成方式，以及全航高影像(All_All)和地上影像加入全部控制點產製模型，並以檢核點進行模型精度探討。

伍、成果與討論

一、地面控制點量測誤差關係

地面控制點將空間位置與無人機空中拍攝定位結合而產製真實三維模型，藉由模型建置後與真實空間資訊對比，評估模型的擬真性(林秋芬，2015)。

研究區域內使用e-GNSS量測一次，所獲得的每一控制點座標都是在GPS資料傳輸良好

情況，誤差都收斂至固定值後儲存。所量測作業時間為2016/08/28早上，並將控制點點位做為RTK基站使用。使用RTK測量四次，分別為2016/08/28下午所用基站位置B4(以下稱RTK1)，08/29早上所用基站位置分別為B1(以下稱RTK2)及B2(以下稱RTK4)，08/29下午所用基站位置c10(以下稱RTK3)。

將四筆RTK分別比較誤差值，發現以RTK4資料有錯誤，平均誤差均為17~18公分，以圖5來看實際基站設置位置在綠色點上，但在資訊空間上卻是呈現在紅色點位上，人為錯誤造成點位放錯位置。由於現地控制點無法進行點位劃記，故在現場挑選點位時，疏忽了紀錄方式，因此須將放置在B2基站位置的錯誤資料剔除，再以另三筆的資料進一步作分析。

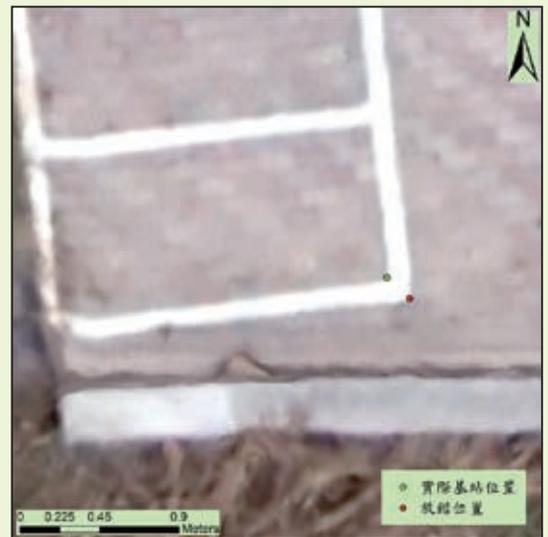


圖5 基站及測量點在地面特徵點上放錯位置

扣除收斂未固定值的誤差值再進行研究區域控制點誤差比較(表3)，對比資料中以後期之RTK2及RTK3資料比較RTK1分析，平面座標標準差皆小於2公分內，而高程標準差小於4公分以內，均在容許誤差範圍內。並以後期RTK3對比RTK2作相互比對，平面座標標準差皆小於2公分以內，而高程標準差亦小於2公分以內，均在容許誤差範圍內。

表3 RTK前、後期制點平面與高程誤差(單位：公尺)

測量方法(後期)		RTK2	RTK3	
基站		B1	c10	
量測時間		08/29早上	08/29下午	
對比資料(前期)		RTK1 (B4基站) 08/28早上	RTK1 (B4基站) 08/28早上	RTK2 (B1基站) 08/29早上
平面精度	較差上限	0.083	0.053	0.070
	較差下限	0.004	0.006	0.009
	平均誤差(MEAN)	0.027	0.027	0.036
	均方根誤差(RMSE)	0.033	0.030	0.039
	標準差(STD)	0.019	0.012	0.016
高程精度	較差上限	0.166	0.163	0.046
	較差下限	-0.021	0.004	-0.037
	平均誤差(MEAN)	0.054	0.059	0.004
	均方根誤差(RMSE)	0.066	0.070	0.018
	標準差(STD)	0.037	0.036	0.0178

不同前、後期資料比對後，發現在不同日期量測所得的誤差，相較於同一天不同時間所量得者，其平均高程誤差大5~6公分，此處判別可能是不同作業人員在量測基站儀器高時，不同的判釋高度所造成的現象，再加上不同日期的衛星追蹤站所造成誤差等。

再利用三筆RTK資料依序對e-GNSS作比較

分析，並探討每一筆資料平面誤差與高程誤差大小(圖6、圖7)，發現c13、c14、c15_1與c20的平面誤差大於10公分，研判e-GNSS量測相較於RTK所量測的誤差較大，因此須將四個e-GNSS量測的點位，先扣除誤差較大者，測量結果之平面標準差小於3公分，高程標準差約4公分內。顯示此兩種測量方式之資料皆可運用在模型控制點與檢核點的使用。

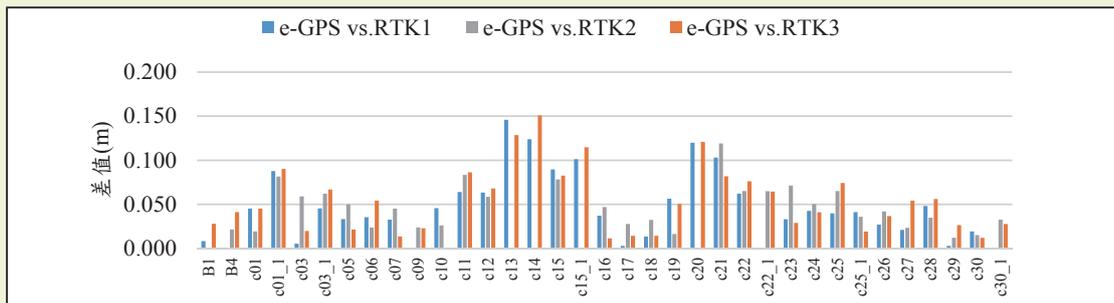


圖6 e-GNSS、RTK前後期平面誤差

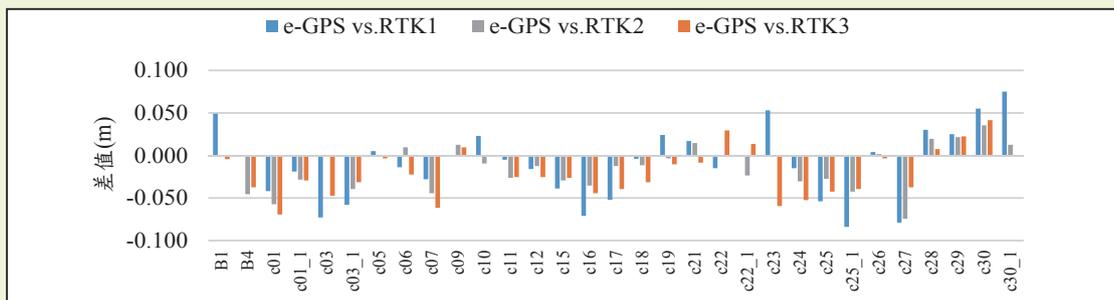


圖7 e-GNSS、RTK前後期高程誤差

二、軟體空中三角測量於控制點運算報表分析

本研究使用法國ContextCapture軟體進行系統的數據處理，將垂直影像與傾斜影像及POS數據等輸入系統中，進行垂直影像和傾斜影像的自動空中三角測量，密集匹配DSM，並建構三維模型，自動生成紋理，最終形成真實三維場景。

在軟體進行空中三角測量所使用地理空間定位有兩種方式，一種是無人機載拍攝影像的空中GPS調整，此方式需由至少三張相片中互相對應某特徵點位置而形成一個連接點，再藉由相同特徵點，讓影像自動生成大量的連接點；另一種則是以影像本身具有空中三角參數，並再套用人工選點的地面控制點來約制。藉由匹配影像中手動輸入的控制點，可以使模組準確地參照實際地理空間位置，再次進行各影像之空中三角的計算。

利用兩種運算方式以同樣控制點輸入來探討兩者誤差大小，以各航高加入所有控制點數量為例(表4)的控制點精度報表分析，以控制點空間位置與影像資訊GPS調整模型的均方根誤差皆小於4公分，而以像片影像資訊GPS調整模型的均方根誤差卻大於1.5公尺。研判以像片影像資訊GPS調整模型，其像片的影像資訊誤差可藉由無人機上的GPS進行修正。

表4 空中三角運算後的控制點精度報表(單位：m)

航高_控制點數量	RMS of reprojection errors [px]	RMS of distances to rays [m]	RMS of 3D errors [m]	RMS of horizontal errors [m]	RMS of vertical errors [m]
以控制點空間位置與影像資訊GPS調整地理空間位置					
80_All	3.1	0.039	0.066	0.024	0.062
120_All	1.97	0.036	0.053	0.025	0.047
160_All	1.79	0.039	0.056	0.029	0.047
以像片影像資訊GPS調整地理空間位置					
80_All	142.30	1.614	1.831	1.664	0.766
120_All	101.28	1.769	2.225	1.588	1.588
160_All	70.35	1.505	3.705	0.535	3.666

在空中三角運算後的控制點精度報表中，軟體會將人工選點的控制點與影像空三後匹配到的控制點進行誤差大小的分類(表5)。以80_All以控制點空間位置與影像資訊GPS調整地理空間位置為例，藉由空中三角測量中自動運算出的結果(圖8)。

表5 投影誤差精度報告誤差分類

Reproj. Error [px]	Accuracy level	Color code
<1 px	high	green
[1px,3px]	medium	yellow
>3px	low	red

各個圖像中人工選點的控制點顯示為紅十字，而綠色十字代表經由空中三角運算後的影像控制點位置，影像運算後完全匹配(圖9)，匹配適中(圖10)，而匹配錯誤較高(圖11)則表示影像資訊較不良。

兩種調整空中三角運算的方式以像片影像資訊GPS調整地理空間位置並在有輸入控制點情況下，藉由空中三角運算出結果，查看圖像的控制點位置發現兩點誤差極大(圖12)。

因此在進行空中三角運算必須使用以控制點空間位置與影像資訊GPS調整地理空間位置為最佳，進一步分析真實地面控制點與模型座標位置的比對，探討模型的精度狀況。

File Actions

Control points

Spatial Reference System (SRS): Set the SRS of all points to selected one

Name	RMS of reproj. error [px]	RMS of dist. to rays [m]	3D error [m]	3D horizontal error [m]	3D vertical error [m]
B1	6.74	0.105	0.179	0.039	0.175
c03	5.82	0.058	0.100	0.054	0.084
B4	5.26	0.061	0.114	0.012	0.113
c13	3.41	0.041	0.061	0.038	-0.047
c28	3.26	0.041	0.087	0.014	-0.086
c30	2.97	0.034	0.061	0.030	-0.053
c22	2.52	0.030	0.051	0.021	-0.046
c11	2.49	0.028	0.033	0.023	-0.024
c20	2.45	0.030	0.043	0.023	-0.037
c19	2.31	0.026	0.050	0.017	-0.048
c25	2.25	0.027	0.032	0.027	0.017
c07	2.03	0.024	0.027	0.027	0.000
c17	1.52	0.019	0.032	0.007	-0.031
c26	1.43	0.017	0.030	0.007	-0.029
c09	1.42	0.016	0.026	0.007	-0.025
c16	1.19	0.014	0.024	0.007	0.023
c23	1.18	0.014	0.015	0.014	0.005
c15	1.14	0.015	0.023	0.005	0.022
c06	0.86	0.010	0.016	0.009	-0.013

圖8_80_A11以控制點調整模型精度報表

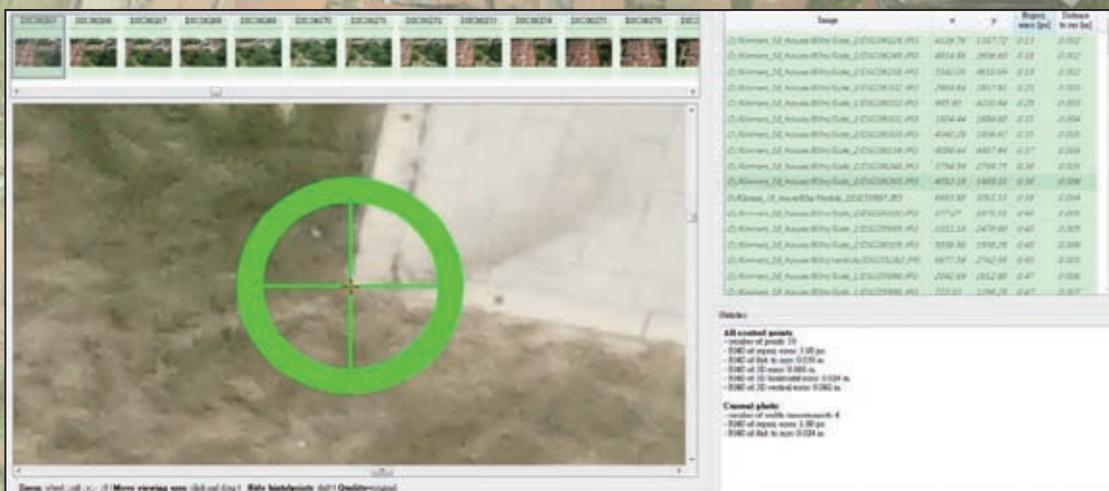


圖9 投影匹配良好

三、真實三維模型

經由空中三角運算後，藉由軟體的大量影像匹配技術與硬體大量計算後，創建成可縮放與旋轉任何比例、不同視角的真實三維模型(圖

13)。並輕鬆切換三維模型為白膜(圖14)探討模型精度狀況、三角化曲面線條(圖15)以及點雲的顯示(圖16)，更可了解地形地貌上的現實狀況。



圖13 真實三維模型



圖14 模型白膜

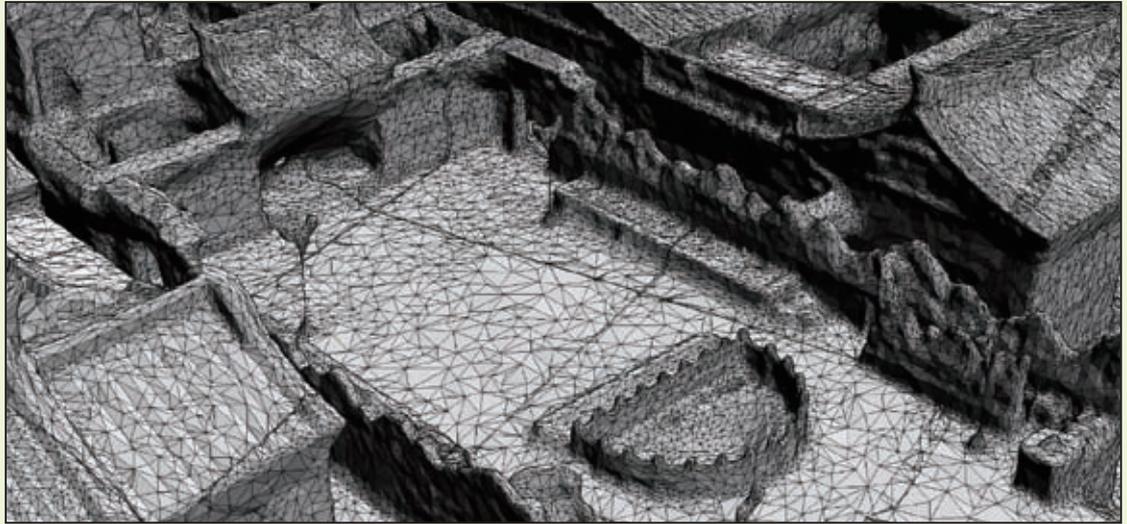


圖15 模型三角化網格

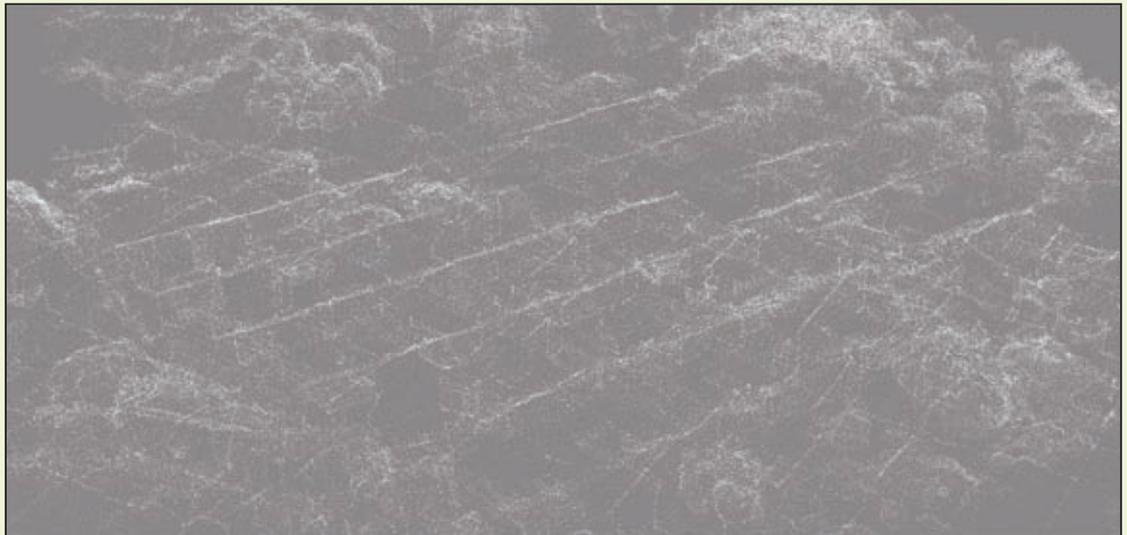


圖16 模型點雲

四、真實三維模型之正射影像與數值地表模型

正射影像(圖17)是航空像片經過傾斜和高差移位之幾何糾正與拼接，以地理座標資訊來正確地展示真實世界中地物的幾何關係，可根據影像上的色彩、形狀等辨識出地表上的地物，故使用方便且容易辨識，並能依照所需在地理資訊系統上疊圖、量測與分析，若配合三維的數值地形模型能進行更多的應用。

將三維模型轉換成數值地表模型(圖18)，以數值化的方式展現三維空間地形的起伏變化，透過地理資訊系統將空間資料展示於電腦螢幕或輸出設備，並完整呈現地形資訊，是相當重要且基本的資料，能依需求作所需要之處理與判識，包括災害評估、量體評估、地形環境調查、數值模擬等。

使用正射影像分析模型產製出來的結果是，是否有如實際平面點位位置相同，並以數值地表模型分析實際點位高程誤差大小，經由使用檢



圖17 正射影像

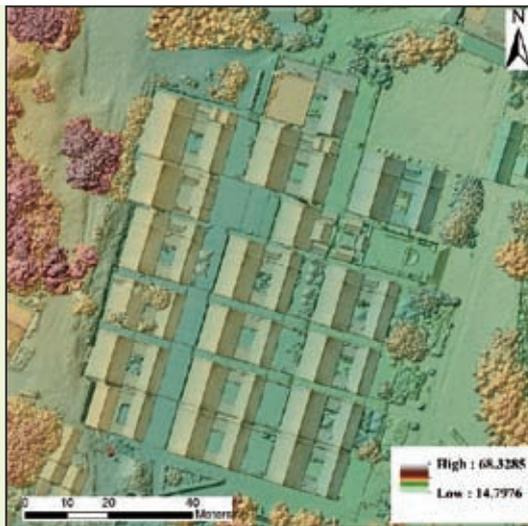


圖18 數值地表模型

核點來探討產製模型誤差，將各別模型誤差以表6、表7呈現。

以模型建置中加入9個控制點為例，當航高

80公尺、120公尺與160公尺所產製的模型，各產製出正射影像解析度分別為1.2公分、2公分及2.2公分，平面標準差約3公分以內，而高程標準差約4公分以內。飛航高度越高其影像解析度越

表6 各航高不同控制點數量之平面標準差(單位：m)

影像來源	座標(X,Y)	平均誤差	均方根誤差	標準差	均方根誤差 ΔXY	標準差 ΔXY
80m_No	X	-0.716	0.791	0.274	2.332	0.435
	Y	2.089	2.194	0.339		
80m_9	X	-0.001	0.016	0.015	0.025	0.024
	Y	-0.005	0.020	0.019		
80m_All	X	0.001	0.018	0.017	0.027	0.025
	Y	-0.010	0.020	0.018		
120m_No	X	-0.678	0.711	0.104	1.649	0.193
	Y	1.425	1.487	0.162		
120m_9	X	-0.002	0.021	0.021	0.030	0.029
	Y	-0.006	0.021	0.021		
120m_All	X	0.003	0.019	0.019	0.030	0.026
	Y	-0.014	0.023	0.018		
160m_No	X	0.301	0.339	0.132	0.700	0.165
	Y	0.583	0.613	0.100		
160m_9	X	0.010	0.020	0.018	0.030	0.028
	Y	-0.002	0.022	0.022		
160m_All	X	-0.004	0.021	0.020	0.031	0.029
	Y	-0.010	0.023	0.021		
All_All	X	0.002	0.016	0.0163	0.020	0.019
	Y	0.005	0.011	0.010		

表7 各航高不同控制點數量之高程標準差(單位：m)

影像來源	較差上限	較差下限	平均誤差	均方根誤差	標準差
80m_No	-0.459	-1.208	-0.743	0.817	0.253
80m_9	0.056	-0.031	0.000	0.033	0.033
80m_All	0.097	-0.046	-0.006	0.040	0.040
120m_No	-0.927	-1.452	-1.197	1.258	0.137
120m_9	0.069	-0.046	0.002	0.038	0.038
120m_All	0.132	-0.034	-0.019	0.055	0.051
160m_No	-2.180	-4.223	-3.345	3.546	0.607
160m_9	0.034	-0.076	-0.024	0.036	0.026
160m_All	0.028	-0.037	-0.003	0.019	0.029
All_All	0.061	-0.031	0.009	0.025	0.024

低，在人工點選控制點時，易造成判釋上的誤差，因此航高160公尺所產製的模型精度較低。將所有航拍影像與全部控制點建置真實三維模型，其解析度為1.7公分，平面標準差約2公分以內，而高程標準差則落於3公分以內，顯示出影像重疊率提高，有助於平面特徵點較為凸顯，人工所選點造成的平面誤差縮小。

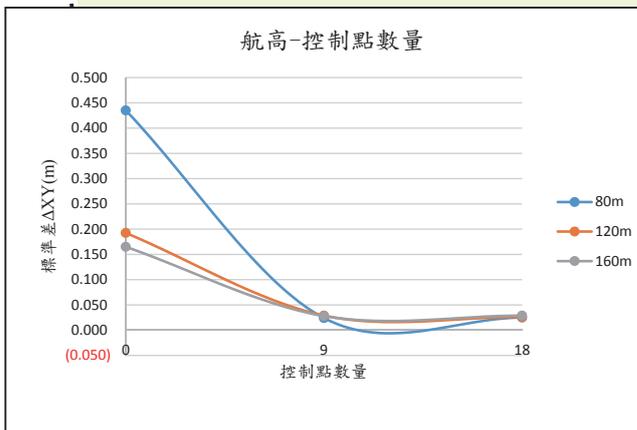


圖19 控制點數量模型平面標準差

加入過多控制點所產製真實三維模型，其平面誤差並不會明顯降低(圖19)，在人工點選控制點數量越多不利於產製模型時間縮短，而造成建模工作天拉長，因此此次研究加入9個控制點數量之建模成效似乎不會比加入19個控制點差。

五、真實三維模型之模型精度

所產製真實三維模型藉由研究區域內兩點最遠處的控制點基線長與模型同點位基線長(圖20)做為判釋模型相對精度大小(公式1)。

模型相對精度

$$= \frac{\text{三維模型中兩點最遠點距離長與真實空間距離長之差值}}{\text{兩點最遠點之距離長}}$$

公式(1)



圖20 模型基線位置

以表8模型建置中加入9個控制點為例，當航高80m、120m與160m所產製的模型，各產製出模型相對精度為1/3134、1/5937和1/2821。在160m_No之模型精度有所錯誤，原因為模型絕對座標位置並非真實位置的檢核點，因此，無法使用模型相對精度的概念來探討。將所有航拍影像與全部控制點建置真實三維模型而產製模型相對精度為1/3633，因基線長度受限於研究區域中，故研究區域如範圍更廣時，其模型精度將有所提高。

當全部航拍影像加上全部控制點影像其模型立面紋理呈現，以下簡稱M1模型(圖21)，再將人工地面拍攝877張照片加上所有航拍照片進一步產製真實三維模型，以下簡稱M2模型(圖22)。從遠景兩個相比下，很明顯地M2模型解析度是遠大於M1模型，凸顯無人機載傾斜攝影再加上地面近景攝影，有助於模型立面解析度與模型精度的提升。

表8 各航高不同控制點數量之模型相對精度(單位：m)

影像來源	kc01_1		kc30_1		基線長	誤差值	相對精度
	X	Y	X	Y			
地面測量	59.290	11.152	03.228	07.261	112.800	-	-
80m_No	59.098	13.241	02.042	09.468	112.308	-0.492	1/250
80m_9	59.262	11.163	03.204	07.235	112.836	0.036	1/3134
80m_All	59.261	11.169	03.202	07.231	112.845	0.044	1/2565
120m_No	58.790	12.529	02.405	08.807	112.519	-0.281	1/400
120m_9	59.255	11.159	03.219	07.258	112.820	0.019	1/5937
120m_All	59.265	11.163	03.219	07.239	112.837	0.037	1/3050
160m_No	59.572	11.620	03.743	07.818	112.809	0.009	1/12534
160m_9	59.279	11.163	03.245	07.240	112.841	0.040	1/2821
160m_All	59.254	11.158	03.224	07.239	112.838	0.038	1/2969
All_All	59.262	11.163	03.204	07.235	112.835	0.036	1/3166



圖21 全部無人機空拍影像所建置之真實三維模型



圖22 全部航拍影像與地上近景影像之真實三維模型

局部放大來看，不管是窗戶的外觀、磚牆上的雕飾、屋簷的雕刻、半月型風水池的柱子上紋理和側面石頭造景紋路，在M2模型上的表現都是相當細緻的(圖23~27)。

一樣以相對精度來比較M1與M2模型大小，在模型上我們量測立面點位g99與地面控制點

c26之間的距離，兩種模型分別量到的數值為1966公分與2128公分(圖28和29)，而全測站計算出來的數據為2128.08公分，同樣的c26固定不動，選擇量測立面點位g106、g108、g113和g134，M2模型精度約在1/25000上下，如表9所示。



圖23 窗戶的外觀(左圖為M1模型，右圖為M2模型)



圖24 磚牆上的雕飾(左圖為M1模型，右圖為M2模型)

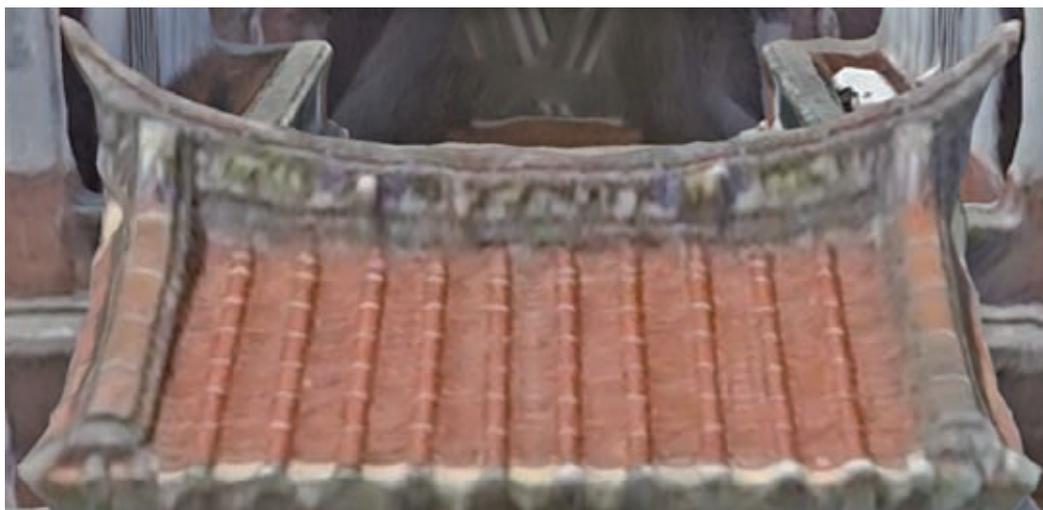


圖25 屋簷的雕刻(上圖為M1模型，下圖為M2模型)



圖26 半月形風水池的柱子上紋理 (左圖為M1模型，右圖為M2模型)



圖27 側面石頭造景紋路(上圖為M1模型，下圖為M2模型)

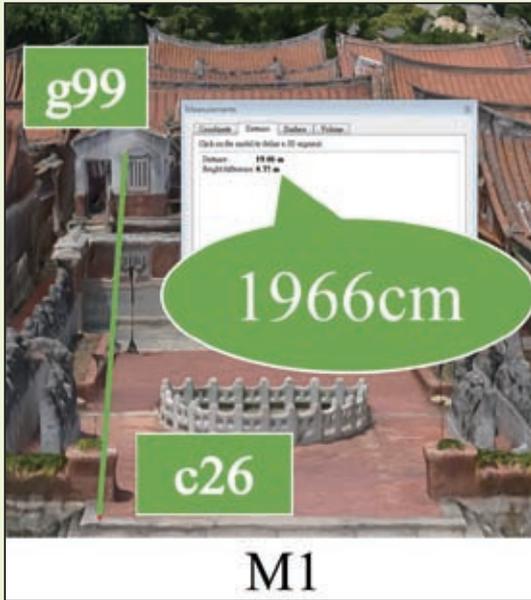


圖28 在M1模型量測點位g99到c26距離

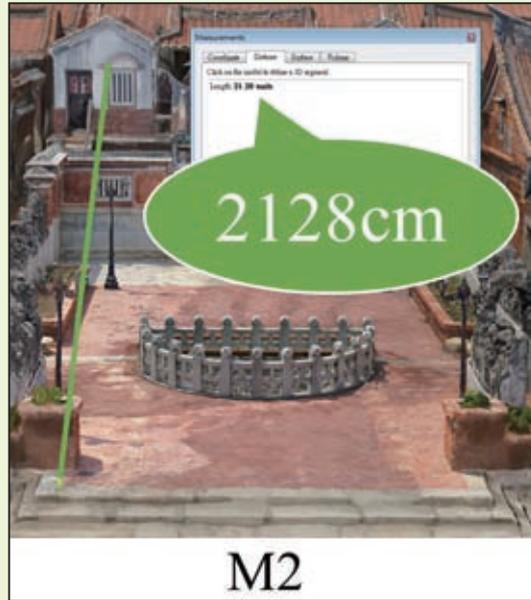


圖29 在M2模型量測點位g99到c26距離

表9 模型立面點位與全測站數據相對精度比較表(單位：cm)

控制點位	立面點位	M1模型	M2模型	全測站	誤差值		相對精度	
					M1	M2	M1	M2
c26	g99	1966	2128	2128.08	162.08	0.08	1/13	1/25588
	g106	2070	2241	2241.09	171.09	0.09	1/13	1/23950
	g108	1686	1824	1823.936	137.936	-0.064	1/13	1/27422
	g113	1741	1983	1983.071	242.071	0.071	1/8	1/26225
	g134	1811	1958	1958.079	147.079	0.079	1/13	1/23854

陸、結論

無人飛行載具攝影測量為近年來新興工具，使用無人飛行載具相較於傳統航空飛行器更可達到取得資料的即時性與便捷性，並搭載簡便非量測型相機進行傾斜與垂直影像的拍攝，使研究對象能在短時間取得資料。

將影像資訊、現地量測控制點與建物立面匹配點進行軟體的自動空中三角運算後，進一步產製真實三維模型、正射影像與數值地表模型，相較於傳統手工建模的成效更為迅速。所

產製的模型可進一步使用於數位典藏、地質構造研判、觀光導覽等用途性，達到數位化保存的價值。

本文研究對象為無人機載攝影測量的三維建模成效，以影像建置模型有無控制點的輸入、控制點的數量對模型的精度影響，以及空中傾斜影像結合地面近景攝影的立面紋理變化等方面，得出以下結論：

真實三維模型的產製如未輸入地面控制

點時，其模型精度較差，經適當加入控制點數量，有助於真實三維模型的精度提升，其空間資訊較於契合真實地面空間位置，加入過多控制點會使得人工點選控制點工作天拉長不利於快速建模的效果。

一、加入適當控制點後，建模相對精度為 $1/2821 \sim 1/5937$ ，如增加研究區域面積，其模型相對精度會再提升，產製模型之平面標準差小於4公分，而高程標準差小於9公分，顯示模型精度在容許範圍內。

二、藉由傾斜攝影的方式能使真實三維模型牆面紋理呈現，但位於地面植被林蔭、載具搭載相機的傾斜視角不足等因素，這些情況都會在航拍影像中形成遮蔽區，導致無法獲取遮蔽底下的空間資訊，造成三維資訊的不完整及不確定性。

三、藉由人工於地面拍攝建物各個面取像再結合航拍影像，能更完整地涵蓋建物每個細節，產出相當細緻的三維建物模型，使立面紋理解析度提高，提昇模型精細，相對精度亦隨之提高至 $1/25000$ 。

參考文獻

1. 林秋芬，2015，無人飛行載具真實三維模型建模精度評估，國立臺北科技大學土木工程系土木與防災碩士班碩士論文。
2. 黃美甄，2014，地面控制點對無人飛行載具數值地形模型精度影響之評估，國立臺北科技大學土木工程系土木與防災碩士班碩士論文。





2

工程論著