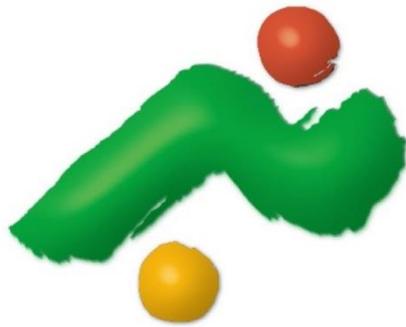


南投縣政府 109 年度研究報告

整合紅外線熱影像與可見光影像之 熱影像三維模型重建



服務單位：南投地政事務所
研究人員：林宏昱

中華民國 109 年 3 月 9 日

南投縣政府 109 年度研究報告摘要表

研究報告名稱	整合紅外線熱影像與可見光影像之熱影像三維模型重建
研究單位及人員	南投地政事務所 主稿人員：林宏昱
研究起迄年月	109 年 1 月至 109 年 3 月
研究緣起與目的	<p>視覺化的三維場景除了提供確切的物體深度與空間感之外，亦能利用其紋理提供光譜資訊，然而熱影像的低空間解析度及難以辨別物體邊緣的光譜特性，導致現有影像式三維模型重建技術無法重構熱影像。因此本研究欲改良目前的影像式三維模型重建流程，利用電腦視覺的技術套疊熱影像及可見光影像，再從高解析度可見光影像中萃取幾何資訊進行影像式三維模型重建，最後自熱影像中擷取光譜資訊投影至三維模型上，重建出擁有熱影像光譜資訊的三維模型，還原真實尺度並保留幾何資訊及熱影像的溫度資訊。</p>
研究範圍	<p>影像式三維模型重建(Image-Based Modeling, IBM)能夠將大量且繁雜的影像整合成單一的三維模型，本研究以 IBM 技術為基礎重建熱影像三維模型，能提供相較於二維平面影像更豐富且直觀的資訊及展示方式，讓大量的影像以單一模型呈現。高精度的熱影像三維模型，不論在建築檢測、管線安全等應用層面都有極大的益處。</p>
問題探討與建議	<p>本研究所提出之流程，利用校正之熱影像進行材質投影，製成熱影像三維模型，後續可改以紅外光、多光譜影像...等，進行其他影像之模型製作，提升三維模型應用價值。後續增值應用包括：面積測量、價格估算、修繕前後比對檢測、滲漏檢測、綠建築節能檢測...等，仍有許多應用可以發展實現。後續可以無人飛行載具作為雲台，搭</p>

	載熱成像儀及可見光鏡頭，建置熱影像地表數值模型及建築模型，進行大範圍之檢測。
選擇獎勵	<input type="checkbox"/> 行政獎勵 <input checked="" type="checkbox"/> 獎勵金

目 錄

壹、前言	6
貳、研究動機與目的	6
一、研究動機.....	6
二、研究目的.....	7
三、研究設備.....	7
參、研究方法	9
一、研究流程.....	9
二、資料取得.....	10
三、影像校正.....	11
四、三維模型重建.....	15
肆、成果分析	17
一、熱像儀校正.....	17
二、可見光雙鏡頭校正.....	18
三、TSS 加速成效	19
四、三維模型重建案例.....	19
伍、結論與建議.....	21
陸、參考文獻	22

壹、前言

測量領域中，光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)已經能建立高精度、密集的三維數值模型，但仍有專業人力處理、技術門檻高、設備昂貴等問題；影像式三維模型重建(Image-Based Modeling, IBM)，克服了傳統攝影測量的限制，透過影像上的特徵進行共軛點對匹配，配合幾何關係的演算，疊代估算出接近真實的重構參數及轉換模式，不需利用攝影取得的內外方位參數，即可重構出三維空間資訊，亦不需透過昂貴的攝影或量測設備進行資料蒐集。

熱影像三維模型重建的相關研究目前多以光達搭配熱像儀進行重建，但考量光達的高作業成本及設備門檻，本研究改良目前的IBM流程，以紅外線熱成像技術為基礎，利用其全面、大範圍、快速等優勢，結合影像式三維重建技術，開發一套熱影像三維模型的重建流程，重建出擁有熱影像光譜資訊的三維模型，還原真實尺度並保留幾何資訊及熱影像的溫度資訊。

貳、研究動機與目的

一、研究動機

目前的三維測繪技術可由主動式測量及被動式測量分為兩種。第一種為地面雷射掃描(Terrestrial Laser Scanning)技術，結合大量高精度的物空間三維點雲(Point Cloud)資料及數位影像提供的場景色彩資訊來重建環境；而第二種為影像式三維模型重建，利用多張高解析度及重疊率之影像進行目標物的三維重建。

紅外線熱成像儀能偵測物體反射的熱輻射，並將之轉換為紅外線熱影像。然而熱影像與人眼可辨識的可見光影像不同，雖然能從熱影像的光譜獲得溫度資訊，卻無法取得現場物體邊

緣、特徵點等幾何資訊。熱影像三維模型能同時保留熱影像的溫度資訊及準確的空間座標，並整合大量的檢測影像為單一三維模型，相較於二維平面影像能提供更豐富的資訊及更直觀的展示方式，更利於決策的進行。

二、研究目的

視覺化的三維場景除了提供確切的物體深度與空間感之外，亦能利用其紋理提供光譜資訊，然而熱影像的低空間解析度及難以辨別物體邊緣的光譜特性，導致現有影像式三維模型重建技術無法重構熱影像。因此本研究欲改良目前的影像式三維模型重建流程，利用電腦視覺的技術套疊熱影像及可見光影像，再從高解析度可見光影像中萃取幾何資訊進行影像式三維模型重建，最後自熱影像中擷取光譜資訊投影至三維模型上，重建出擁有熱影像光譜資訊的三維模型，還原真實尺度並保留幾何資訊及熱影像的溫度資訊。

三、研究設備

現今，熱影像的用途多為場景保存及修繕檢測，為了簡化資料蒐集流程及降低拍攝成本與設備門檻，本研究採用智慧型手機鏡頭iPhone SE及專用紅外線熱像儀FLIR ONE for iOS，利用雙相機雲台固定所有鏡頭，確保相機間的外方位參數固定，並搭配攝影腳架使用以利拍攝換站的作業進行，構成三鏡頭雲台進行拍攝，如圖 1所示。此設備可控制幾何位移幅度以利後續校正應用，亦擁有拍攝機動性及操作方便性，方便室內、室外的場景紀錄及保存，詳細設備規格如表 1及表 2所示。

表 1 數位相機規格表

名稱	iPhone SE
可見光鏡頭畫素(pixels)	12 million (pixels)
可見光鏡頭解析度(pixels)	4000 × 3000
焦距	4.15mm
設備圖片	

表 2 紅外線熱成像儀規格表

名稱	FLIR ONE for iOS
紅外線熱成像鏡頭畫素(pixels)	76800 (pixels)
紅外線熱成像鏡頭解析度(pixels)	320 × 240
焦距	3mm
可見光鏡頭畫素(pixels)	76800 (pixels)
可見光鏡頭解析度(pixels)	320 × 240
焦距	3mm
溫度範圍	-20°C~120°C(68°F~248°F)
精度	±3°C or ± 5%
設備圖片	



圖 1 三鏡頭雲台示意圖

參、研究方法

一、研究流程

本研究提出一套熱影像三維模型重建流程，由三個主要步驟所組成，第一步先將數位相機及熱成像儀以架設於雙鏡頭雲台進行拍攝，取得重建所需影像。第二步再對熱影像及可見光影像等資料進行影像校正處理。第三步則運用影像IBM建模，製成熱影像三維模型。研究流程圖如圖 2所示，利用三種不同影像包括(1)熱影像(2)低解析度可見光影像(3)高解析度可見光影像，先以影像對齊的技術進行資料前處理，校正三種影像的座標及消除解析度差異，再以高解析度可見光影像進行三維模型重建，建立稀疏點雲、密集點雲及表面網格，最後將熱影像的光譜紋理資訊投影至表面網格，重構出熱影像三維模型，其成果可實際應用於場景重構。

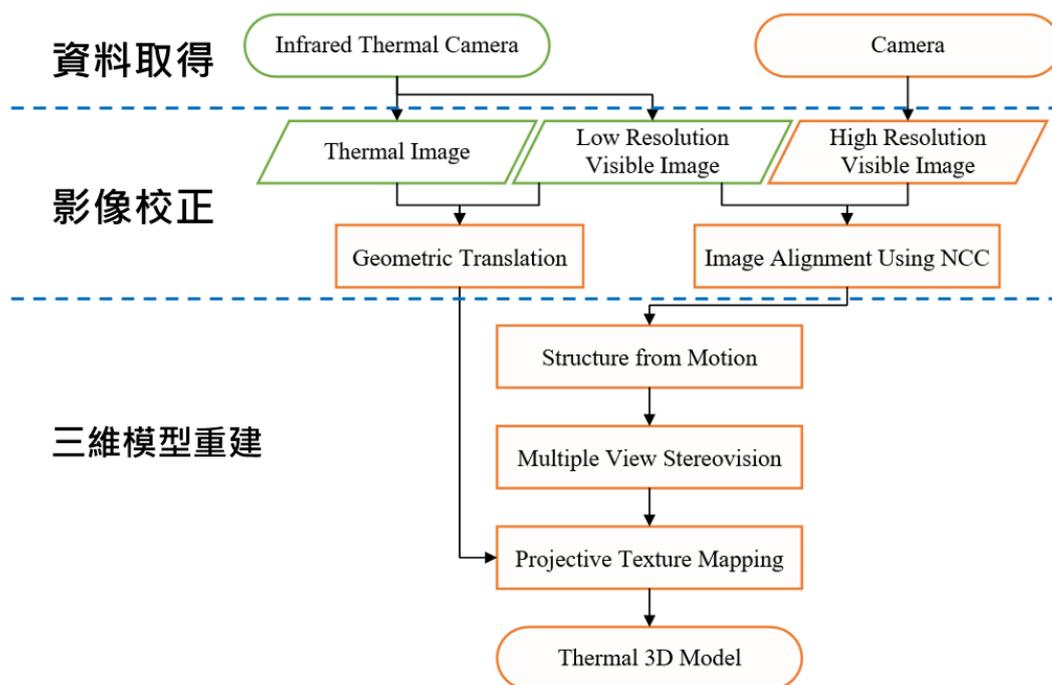
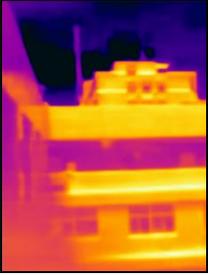


圖 2 熱影像三維模型重建流程圖

二、資料取得

本研究整合下列三種影像建立熱影像三維模型：(1)紅外線熱影像、(2)低解析度可見光影像、(3)高解析度可見光影像，如表 3 所示，共使用三種不同的鏡頭並整合拍攝，然而使用多鏡頭拍攝不可避免地會造成影像之間有位移及旋轉…等誤差，並且造成後續紋理投影的誤差。為解決影像間因為拍攝位置不同產生的幾何誤差，本研究將數位相機及熱成像儀架設於雙鏡頭雲台並以攝影腳架固定，確保拍攝角度固定，確保鏡頭間沒有旋轉誤差(Rotation)之後才進行影像攝影之工作，故後續影像處理之數學模式，皆假設上述三種影像間僅存在因為鏡頭平移而產生的幾何位移(Translation)。

表3 三維模型重建影像來源

名稱	紅外線熱影像	低解析度可見光影像	高解析度可見光影像
設備	紅外線熱成像儀	紅外線熱成像儀	數位相機
解析度	320 × 240	320 × 240	4000 × 3000
影像圖片			

三、影像校正

本研究以成本因素及設備門檻作為考量，採用相對容易取得的數位相機及熱成像儀。因此本節提出一套影像校正流程作為替代方案，將「高解析度可見光影像」、「低解析度可見光影像」、「紅外線熱影像」三種影像校正於同一座標系並消除解析度差異，解決三種影像之間因為鏡頭平移而產生的幾何位移，如圖 3所示，並擷取出三維空間重構用的「高解析度可見光影像」及材質投影用的「紅外線熱影像」。以下將影像校正工作分兩部分來作說明，第一部分為「熱像儀校正」，目的為校正同樣以紅外線熱像儀拍攝的「紅外線熱影像」及「低解析度可見光影像」。第二部分為「可見光雙鏡頭校正」，旨在校正由紅外線熱像儀拍攝拍攝的「低解析度可見光影像」及數位相機拍攝的「高解析度可見光影像」。

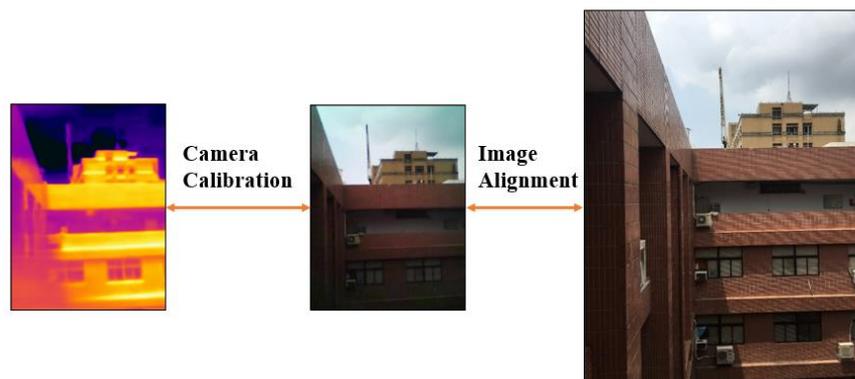


圖 3 資料影像關係圖

1. 熱像儀雙鏡頭位移校正

本研究所採用之紅外線熱成像儀FLIR ONE for iOS配有兩個鏡頭，分別為「低解析度可見光影像鏡頭」以及「紅外線熱影像鏡頭」，兩鏡頭間存在平移誤差，如圖 4所示，因此將「低解析度可見光影像」及「紅外線熱影像」套疊後將會有高差位移存在。

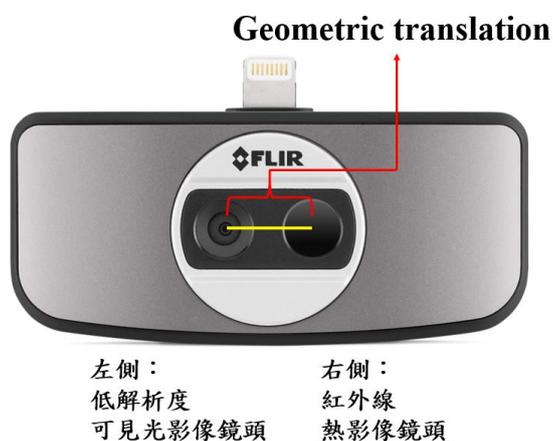


圖 4 FLIR ONE 鏡頭幾何位移示意圖

本研究採用IBM方式進行模型重建，為確保重疊率固定，影像拍攝以等距拍攝進行，且在滿足鏡頭間基線長度固定及拍攝距離相同的條件之下，高差位移會是一個固定的位移量。

故本研究拍攝率定板影像進行幾何位移校正，拍攝如圖 5 所示之率定版影像共10張作為校正像對，並以OpenCV提供的findCirclesGrid函式偵測控制標圓心，再以兩張影像圓心座標計算均方根誤差作為高差位移校正值，如式所示，最後取得校正成果，如式1所示。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

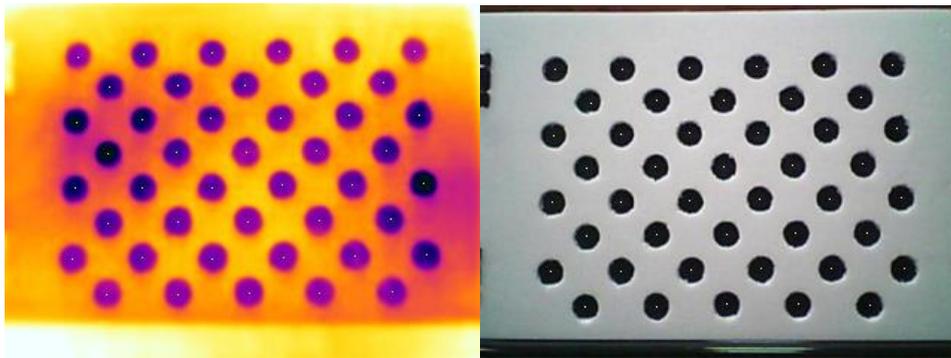


圖 5 熱像儀校正用像對

2. 可見光雙鏡頭校正

本節結合Bracewell(1965)提出的Normalized Cross Correlation (NCC)及Li等人(1994)發展的Three Steps Search (TSS)校正「高解析度可見光影像」、「低解析度可見光影像」，將上述兩種影像套疊至相同的坐標系上進行誤差修正。

3. 正規化相關匹配

正規化相關匹配(Normalized Cross Correlation, NCC)是一個常見的模板匹配方式，如式2所示，能夠求得兩塊影像模板的相關性，如圖 6所示，經過正規化以後將相關值會介於-1~1間，越接近1就表示兩塊模板的相似程度越高，判定為相同區域。

本研究採用NCC匹配高、低解析度可見光影像，在「降階高解析度可見光影像」中以(Region of Interest, ROI)給定起點座標、長度及寬等參數，反覆取出長320像素、寬240像素的全新模板，並計算每塊模板與「低解析度影像」的相關性，NCC指標最大者代表相似程度最高，判定其為正確套疊之座標。

$$\text{NCC Index} = \frac{1}{n} \sum_{x,y} \frac{(f(x,y) - \bar{f})(t(x,y) - \bar{t})}{\sigma_f \sigma_t} \quad (2)$$

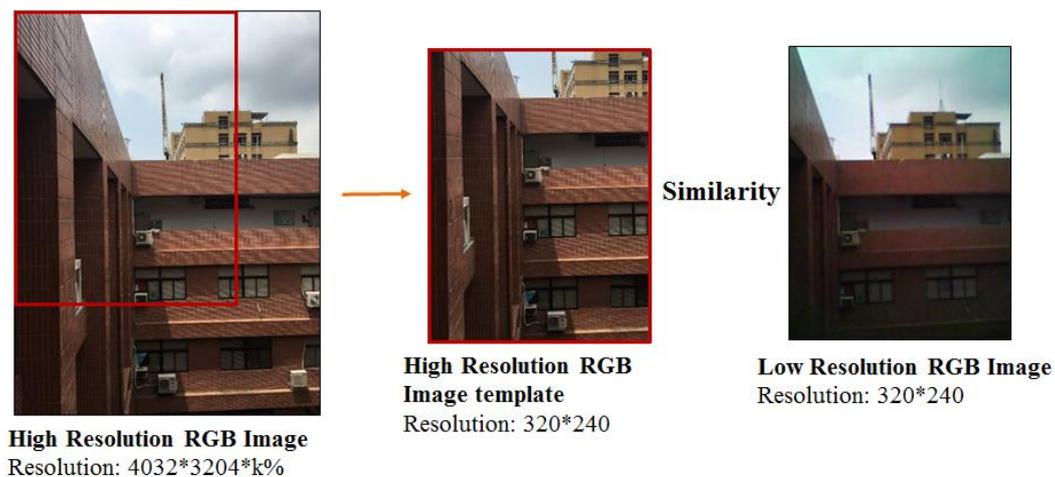


圖 6 計算每塊模板與「低解析度影像」的相關性

4. Three Steps Search

Li 等人(1994)提出的Three Step Search(TSS)是一種應用於影片偵測的快速演算法，能有效降低處理大量圖片的運算時間，本研究採用NCC作為匹配方式運算量十分龐大，每塊模板長320像素、寬240像素，即每塊模板需比對76800個數據，故後續導入TSS進行運算加速解決此問題。一般TSS運算會選擇像素灰階差異值最小的座標最為新的起點，避免偵測到影片中些許移動的人物，如圖 7所示，但是因本研究案例與影片的應用相反，兩張需要比較的影像除畫質差異外為兩幅完全相同的影像，故以「像素灰階差異值最大」的座標最為新的起始點，放大差異找出更好的套合座標，增加匹配不吻合區的運算比重。

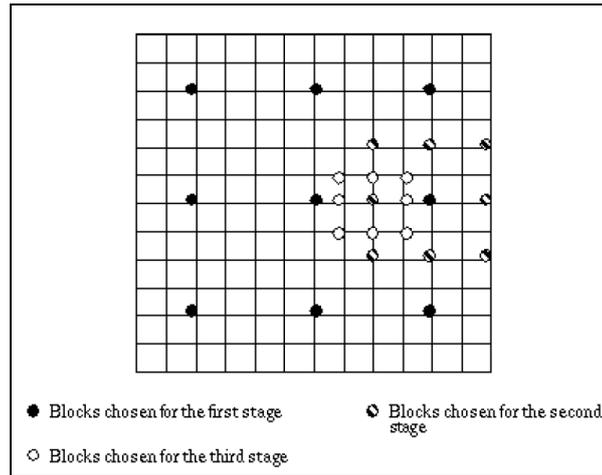


圖 7 TSS 示意圖

- (1)從中間座標作為起點
- (2)設定搜索半徑為‘S’ = 4，搜索參數為‘p’ = 7
- (3)將起點(0, 0)向外+/-半徑像元數量進行八方位外擴散
- (4)紀錄這9點的座標，將兩張影像9點座標的像素質做比較，找出差異值最小的座標並記錄
- (5)取出差異最小點作為新的起點
- (6)將新的搜索半徑設定為 $S/2 = 2$
- (7)重複步驟(1)~(6)直到半徑小餘 1 為止

四、三維模型重建

三維場景重構一共經歷五項步驟後完成重建，包括(1)特徵點萃取及匹配(2)重建三維結構和相機關係(3)三維密集點雲迭代擴散(4)三維網格重建(5)網格紋理投影。

1. 特徵點萃取及匹配

影像拼接的步驟中，特徵偵測以及特徵匹配所獲得控制點的好壞，影響三維模型的產製的優劣。Lowe (2004)所提出的SIFT演算法所匹配之特徵點具有尺度空間、旋轉、縮放及亮度的不變性，使SIFT 運用在不同拍攝條件下的影像拼接有其優勢存在，能在資訊量豐富的影像中提取大量均勻分佈的特徵。本研究採用SIFT對「高解析度可見光影像」進行相鄰影像間特徵點匹配。

2. 重建三維結構和相機關係

運動回復結構(Structure from Motion, SfM)將SIFT從多張二維影像所取得的特徵點位，建立二維影像的相對位置，來獲得拍攝時的三維場景，並建立座標。SfM 利用核面幾何原理估算相機與被觀測物體間的位置，以共線式原理由觀測點位後方交會至攝影位置及攝影位置前方交會至觀測點位，同時解算相機拍攝時內、外參數及點位座標，恢復觀測物於拍攝時的三維場景並產製三維點雲資料，再沿每張影像上的特徵點移動軌跡，建立出被觀測物體的相對關係，並利用光束法平差，計算出點位座標。

3. 密集點雲迭代擴散

Barnes (2009)提出一個在共軛像對間找出相鄰最近似區塊 (Nearest-Neighbor Field, NNF)的快速演算法。建立在已取得匹配出的高精度共軛點的基礎上，以原有共軛點為中心向外擴展構成矩形，將之定義為NNF，並利用隨機取樣及影像一致性搜索出在共軛影像上的對應區塊。這個演算法主要由三個步驟所完成，如圖 8所示，第一步利用共軛點生成起始區塊。第二步從起始區塊做隨機偏移，並對數個可能區塊使用影像一致性檢測，迭代更新NNF。第三步則是利用最佳迭代成果的NNF校正其他共軛點的成果。

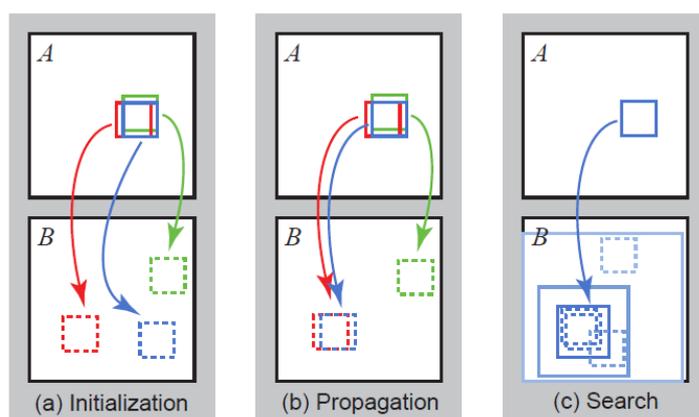


圖 8 隨機 NNF 匹配演算法示意圖

4. 三維網格重建

利用Laurentini (1994)提出的 Visual-Hull，假設立方體在兩張影像能夠切割為前景與背景，前景即是欲進行重建的目標物，而背景為拍攝時捕捉到的其他資訊，而相機中心則視為剪影圓錐體(silhouette cone)的尖端由相機發射光線切割物體剪的邊緣，圓錐包覆整個物體，並據此推算物體在三維空間的位置。並透過Michal and Tomas對Visual-Hull的改良，以此對"脆弱表面(Weakly supported surfaces)"也就是因為單一紋理而缺乏特徵點的表面進行重建。

5. 網格紋理投影

採用Waechter的紋理投影架構，決定投影視圖並構成初始紋理，再以相片一致性進行優化找出最佳顏色校正後，產生投影紋理圖庫，最後以共線式進行材質投影。此方法不僅適用於還原大規模場景，還能抵抗諸如尺度變化、曝光不均勻及失焦等變化。

肆、成果分析

本研究之特點包含兩大主軸，第一點是將多鏡頭拍攝三種影像，經由影像校正至同一座標系並消除解析度差異，獲得三維空間重構用的「高解析度可見光影像」及材質投影用的「紅外線熱影像」。第二點是利用熱影像三維模型重建流程來對建築案例進行重建，以證實研究之可行性。

一、熱像儀校正

本研究所採用之紅外線熱成像儀FLIR ONE for iOS配有兩個鏡頭，兩鏡頭間存在平移誤差，因此將「低解析度可見光影像」及「紅外線熱影像」套疊後會產生高差位移的問題。但是

在滿足鏡頭間基線長度固定及拍攝距離相同的條件之下，高差位移會是一個固定的誤差量，如表 4所示，本研究以2公尺作為距離，拍攝10張率定版影像進行影像校正，計算出影像間的 pixel 位移量，最後以計算成果作為熱像儀校正值。

表 4 平移誤差影像校正表

影像名稱	X 軸位移	Y 軸位移	影像名稱	X 軸位移	Y 軸位移
IMG_L_1	3.579	-1.289	IMG_L_6	6.210	-2.764
IMG_L_2	4.777	-1.095	IMG_L_7	4.446	-2.374
IMG_L_3	6.805	-3.532	IMG_L_8	4.274	-2.737
IMG_L_4	5.789	-3.193	IMG_L_9	4.498	-2.684
IMG_L_5	3.153	-1.238	IMG_L_10	4.177	-2.305

二、可見光雙鏡頭校正

本節介紹利用NCC及TSS校正「高解析度可見光影像」、「低解析度可見光影像」之成果，本研究拍攝率定版影像進行幾何位移校正，並以程式偵測其控制標圓心，以兩張影像圓心座標計算均方根誤差，測試最佳降階比例，8%以下降階影像將小於低解析度影像與相機參數不符故不測試，故以下實驗對8%至50%降階比例進行測試，如表 5所示，可知最佳降階比例大約為9%左右，為提升實驗成果，繼續進行測試直至小數點以下二位數，確定最佳降階比例為9.24%，並依此作為降階參數。

表 5 可見光雙鏡頭校正均方根誤差表(單位：pixel)

降階比例	均方根誤差(RMSE)	降階比例	均方根誤差(RMSE)
8%	15.712	9.40%	2.831
9%	3.403	9.60%	4.230
9%	3.403	9.80%	6.712
9.20%	2.818	10%	9.560
9.22%	2.738	10%	9.560
9.24%	1.846	20%	211.380
9.26%	2.041	30%	427.958
9.28%	2.564	40%	856.391
9.30%	2.629	50%	1064.691

三、TSS加速成效

本研究所撰寫之影像校正程式，導入TSS解決NCC龐大運算的問題，本研究以Intel(R) Core(TM) i7-3610QM CPU進行運算，每組圖的計算時間約需1.66秒，如表 6所示，目前高精度的建模大約在200組圖內，相較於本研究3D建模最長耗費的時間40413秒，運算時間僅增加不到1%，成果如圖 9所示。

表 6 TSS 加速成效表

	NCC		TSS NCC	
	NCC 指標	時間(秒)	NCC 指標	時間(秒)
Case1	0.955	321.188	0.977	1.676
Case2	0.957	323.016	0.995	1.584
Case3	0.963	321.089	0.991	1.721



圖 9 左：影像校正案例一、中：影像校正案例二、右：影像校正案例三

四、三維模型重建案例

本研究以建築物場景重建作為案例，驗證本研究對三維場景重構的有效性，模擬在大面積現場狀況監測及施工輔助，驗證實例應用之可行性。

本研究以土木環工大樓做為案例，如圖 10所示，三維重建成果如圖 11所示，成功建置出大範圍的建築三維模型，顯示本研究提出之建置流程，能有效應用於大範圍施工檢測方面，運算時間及細節如表 7所示。



圖 10 國立中興大學土木環工大樓影像

表 7 土木環工大樓重建運算時間表

處理程序		處理時間			
土木環工大樓(影像 51 張)		時	分	秒	全秒
NCC & TSS	影像校正	0	1	9	69
	Visual SfM	0	3	12	192
Visual SfM	特徵點偵測	0	3	12	192
	三維點雲重構	0	0	13	13
	模型輸出	0	17	58	1078
	稀疏點雲	735440(點)			
OpenMVS	NVM 轉檔	0	0	37	37
	點雲加密	0	38	48	2328
	密集點雲	13587715(點)			
	網格重構	0	22	36	1356
	網格細化	9	42	47	34967
	網格	509281(面)			
	材質投影	0	6	13	373
運算總時間		11	13	33	40413

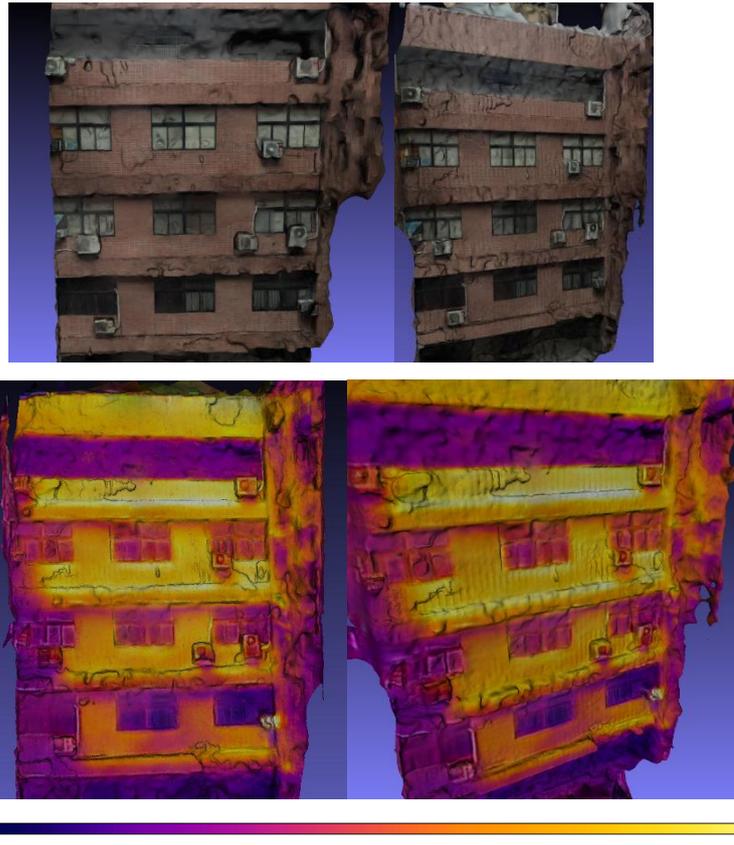


圖 11 土木環工大樓重建成果圖

伍、結論與建議

1. 提出一套可行的熱影像三維重建流程，包括雙鏡頭拍攝模式、紅外線熱影像及可見光影像校正基準及導入影像式三維模型重建之步驟。
2. 整套流程利用智慧型手機、平板電腦、消費型相機，搭配紅外線熱成像儀拍攝影像，並以雙鏡頭雲台進行整合，有效降低取得影像及校正儀器所需的成本。
3. 設計熱影像率定版作為熱影像及可見光影像間的基準，提供兩種影像進行校正的依據。

4. 透過 Normalized Cross Correlation 評估高低解析度可見光影像的相關性，解決不同解析度影像間的匹配問題，並利用 Three Steps Search 減少運算時間，使運算時間降至約原本時間的 0.5%。
5. 進行大尺度場景重建，重構其熱影像三維模型，提供更直觀的決策依據。
6. 本流程以半自動化的模式，進行影像校正和模型三維重建，不僅降低三維場景重構的門檻，也使得人力成本大幅下降。

陸、參考文獻

- [1] A. Gaszczak, T.P. Breckona, J. Hana, 2011. Real-time People and Vehicle Detection from UAV Imagery, Proc. SPIE Conf. Intelligent Robots and Computer.
- [2] A. Laurentini, 1994, The Visual Hull Concept for Silhouette-Based Image Understanding, Proc. IEEE Conf. Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.
- [3] C. Barnes, 2009, E. Shechtman, A. Finkelstein, D.B. Goldman, PatchMatch: A Randomized Correspondence Algorithm for Structural Image Editing, Proc. ACM Conf. Transactions on Graphics.
- [4] C. Strecha, R. Fransens, and L.V. Gool, 2004, Wide-Baseline Stereo from Multiple Views: A Probabilistic Account, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition.
- [5] C. Wu, 2013, Towards Linear-time Incremental Structure from Motion, Proc. IEEE Conf. 3DTV-Conference.
- [6] D.G. Lowe, 2004, Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, International Journal of Computer Vision.
- [7] H.H. Vu, P. Labatut, J.P. Pons, R. Keriven, 2012, High Accuracy and Visibility-Consistent Dense Multiview Stereo, Proc. IEEE Conf. Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.
- [8] K.T. Lin, 2011, A Study of Characters for Measuring Surface Temperature of Exterior Tile Wall System Using Infrared Thermography.
- [9] M.D. Yang, 2013, Image-based 3D Scene Reconstruction and Exploration in Augmented Reality.
- [10] M.D. Yang, 2013, 3D Model Construction on Imagery Shot by Mobile Devices.
- [11] M. Jancosek, T. Pajdla, 2014, Exploiting Visibility Information in Surface Reconstruction to Preserve Weakly Supported Surfaces, Proc. Hindawi Publishing Corporation Conf. International Scholarly Research Notices.
- [12] M.M. Oliveira, 2002, Image-Based Modeling and Rendering Techniques: A Survey, RITA.

- [13] M. Waechter, N. Moehrle, M. Goesele, 2014, Let There Be Color! Large-Scale Texturing of 3D Reconstructions, Proc. ECCV.
- [14] R. Bracewell, 1965, Pentagram Notation for Cross Correlation, The Fourier Transform and Its Applications, Proc. New York: McGraw-Hill.
- [15] R. Li, B. Zeng, M.L. Liou, 1994, A New Three-Step Search Algorithm for Block Motion Estimation, Proc. IEEE Conf. Transactions on Circuits and Systems for Video Technology.
- [16] T. Luhmann, J. Ohm, J. Piechel, T. Roelfs, 2010, Geometric Calibration of Thermographic Cameras, Proc. ISPRS Conf. Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- [17] V.G. Ambrosia, S.S. Wegener, D.V. Sullivan, S.W. Buechel, S.E. Dunagan, J.A. Brass, J. Stoneburner, S.M. Schoenung, 2003, Demonstrating UAV-Acquired Real-Time Thermal Data over Fires, Proc. ASPRS Conf. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.
- [18] D.D. Bhavsar, R.N. Gonawala, 2014, Three Step Search Method for Block Matching Algorithm, Proceedings of IRF International Conference, 13th April-2014, Pune, India.
- [19] M. Teutsch, T. Muller, M. Huber, J. Beyerer, 2014, Low Resolution Person Detection with a Moving Thermal Infrared Camera by Hot Spot Classification, Proc. CVPR.
- [20] J.A. Morgan, D.J. Brogan, 2016, "How to VisualSFM", Colorado State University.
- [21] Y. Furukawa, 2015, Multi-View Stereo: A Tutorial, Washington University in St. Louis.
- [22] Zhuo Yang, 2010, Fast Template Matching Based on Normalized Cross Correlation With Centroid Bounding, International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation.