



自動化的方法，以 SURF 演算法來進行影像特徵點的提取，應用幾何校正法，建立每張無人飛行載具影像的幾何關係，將不同影像校正至同一坐標系快速且準確的提取影像特徵點將無人飛行載具影像進行拼接，提供後續影像的加值應用。

### 研究設計

本研究實驗軟體環境，使用 Python 語言編寫程式，研究設計主要著重在影像拼接的部分，在特徵點提取的部分是利用 OpenCV 影像處理函式庫做 SURF 演算法的特徵點提取及匹配。而拼接的部分程式撰寫方法則在以圖 1 研究設計流程圖表示。

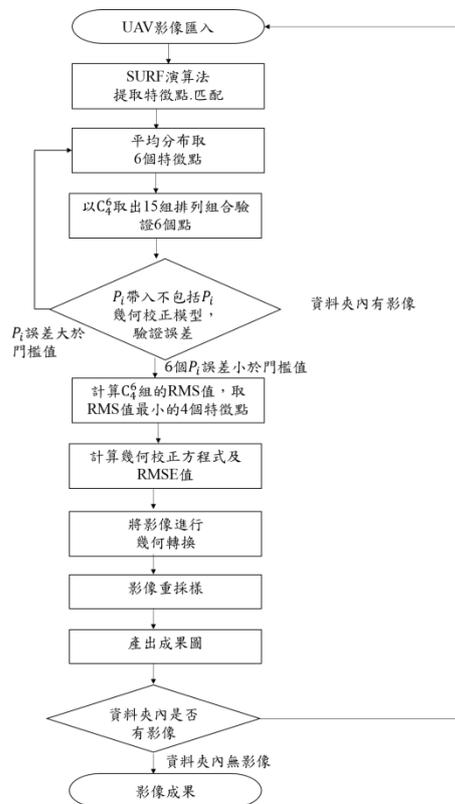


圖 1 研究設計流程圖

### 一、幾何校正

一般幾何校正的轉換方程如下，校正的精度取決於公式中的多項式待定係數取值，而這些係數取決於控制點的精準及選取合理與否。(趙忠明等人, 2013) 一般幾何校正法大多是用多項式來表示影像與地面控制點之間的幾何關係，本研究所採用的幾何校正法二次多項式。

$$X = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-1} a_{ij} x^i y^j$$

$$Y = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-1} b_{ij} x^i y^j$$

X、Y 為參考坐標；x、y 待校正坐標；

$a_{ij}$ 、 $b_{ij}$  為待定係數；N 為多項式次數

### 二、誤差值計算

影像特徵點經過萃取及匹配後，在影像拼接時需從中挑選出 4 組特徵點進行幾何校正影像拼接，但匹配的過程中，會有匹配錯誤的狀況發生，故本研究在挑選特徵點的方法中利用計算 RMS 值來做為挑選的標準，以下將分別介紹挑選的方式。

首先影像在經過 SURF 演算法匹配出來的特徵點後，以隨機挑選的方式選取 6 組特徵點，會挑選 6 組特徵點的原因是因為本研究所採用的幾何校正法至少需要 4 個點才能建立幾何轉換方程，但 4 個點並不足夠檢驗誤差，故本研究提取 6 個點來做為驗證方程式的特徵點，圖 2 為挑選特徵點示意圖，分別在兩張影像中匹配的 6 組特徵點。

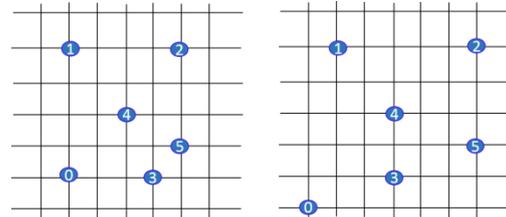


圖 2 挑選 6 組特徵點示意圖

從 SURF 演算法匹配後的特徵點初步挑選出較佳的 6 個點，本研究以  $C_4^6$  做不重複排列組合，如圖 2 所示 6 個點會產生 15 組方程式，若要驗證方程式正確性，則帶入另外兩點做驗證，例如：幾何校正模型方程以點 0、點 1、點 2、點 3 作為解方程式的未知係數，則帶入點 4、點 5 計算誤差值，若誤差值在門檻值內則點 0、點 1、點 2、點 3 電腦會各加 1 (如表 1 第一組數據)，因此每個點在計算一輪後，若誤差都在門檻值內，則每個點會加到 20 分，若未達則表示該點是匹配錯誤的點，如此會再重新挑選計算。

表 1 特徵點檢驗方法示意圖

	0	1	2	3	4	5	驗證點
[0, 1, 2, 3]	+1	+1	+1	+1			4
	+1	+1	+1	+1			5
[0, 1, 2, 4]	+1	+1	+1		+1		3
	+1	+1	+1		+1		5
[0, 1, 2, 5]	+1	+1				+1	3
	+1	+1				+1	4
[0, 1, 3, 4]	+1	+1		+1	+1		2
	+1	+1		+1	+1		5
[0, 1, 3, 5]	+1	+1		+1		+1	2
	+1	+1		+1		+1	4
[0, 1, 4, 5]	+1				+1	+1	3
	+1				+1	+1	1
[0, 2, 3, 4]		+1	+1	+1			1
		+1	+1	+1			5
[0, 2, 3, 5]		+1	+1		+1		1
		+1	+1		+1		4
[0, 2, 4, 5]		+1			+1	+1	1
		+1			+1	+1	3
[0, 3, 4, 5]						+1	1
						+1	2
[1, 2, 3, 4]		+1	+1	+1			0
		+1	+1	+1			5
[1, 2, 3, 5]		+1	+1		+1		0
		+1	+1		+1		4
[1, 2, 4, 5]		+1			+1	+1	0
		+1			+1	+1	3
[1, 3, 4, 5]			+1	+1	+1		0
			+1	+1	+1		2
[2, 3, 4, 5]					+1	+1	0
					+1	+1	1

經過上述的初步計算後，可初略的計算出 6 個點，接著這 6 個點中無法確定哪幾組特徵點是誤

比較大的特徵點，所以再以 $C_4^6$ 方式產生 15 組組合，如圖 3 這 15 組組合均計算其均方根值 (Root Mean Square; RMS)，挑選出 RMS 值總合最小組合作為後續幾何校正的轉換點位。以下將說明 RMS 值的計算方式。

$$RMS = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$

RMS 表均方根值； $x_i$ 、 $y_i$  表示經過校正後的新坐標值， $x$ 、 $y$  表示原始影像坐標值

[0, 1, 2, 3]	$RMS_0 + RMS_1 + RMS_2 + \dots + RMS_5 = RMS_{total}$
[0, 1, 2, 4]	
[0, 1, 2, 5]	
[0, 1, 3, 4]	
[0, 1, 3, 5]	
[0, 1, 4, 5]	
[0, 2, 3, 4]	
[0, 2, 3, 5]	
[0, 2, 4, 5]	
[0, 3, 4, 5]	
[1, 2, 3, 4]	
[1, 2, 3, 5]	
[1, 2, 4, 5]	
[1, 3, 4, 5]	
[2, 3, 4, 5]	$RMS_0 + RMS_1 + RMS_2 + \dots + RMS_5 = RMS_{total}$

圖 3 挑選 RMS 值最小示意圖

而挑選出來的四個點則作為帶入幾何校正方程解未知係數特徵點，接著在另外隨機取 6 個點做為檢測點，帶入該幾何校正方程式中，並且計算均方根誤差值 (Root Mean Square Error; RMSE)，RMSE 是用來計算影像上特徵點經轉換模型進行坐標轉換後的精度分析，將兩組數據相減可求得對應點的誤差距離，本研究利用此公式作為誤差標準。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$

RMSE 表均方根誤差值； $x_i$ 、 $y_i$  表經過校正後的新坐標， $x$ 、 $y$  表原始影像坐標

### 實驗成果

#### 一、特徵點提取

本研究以桃園縣龍潭鄉無人飛行載具影像做 SURF 演算法特徵點提取，於特徵點匹配以歐基理得距離法計算特徵點描述子的最鄰近及次臨近的比值，匹配門檻值介於 0 到 1 之間，圖 4 為原始影像縮小 8 倍匹配門檻值為 0.28 的成果，實驗過程中發現，門檻值越趨近 1，則匹配錯誤的機率就提高，而越接近 0 則匹配正確性會提高，但匹配數量會減少，而本研究最後實驗以 0.26 作為實驗門檻值。

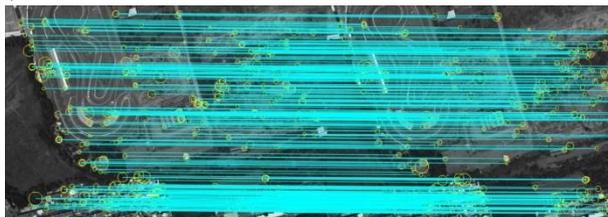


圖 4 特徵點提取匹配結果

#### 二、影像拼接

本研究所採用的拼接方法係以幾何校正的方式進行拼接，需從影像中以平均分布的方式挑選 4 組特徵點，並另外多挑 2 組特徵點來作為驗證的特徵點，挑選方式如圖 5 示意圖，採樣的 6 個點。

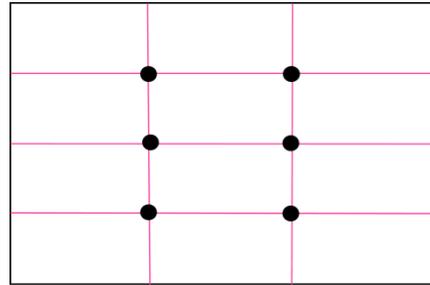


圖 5 特徵點選取示意圖

電腦根據上述方法找出的 6 組特徵點會有匹配錯誤的可能性，本研究將這 6 點以 $C_4^6$ 做不重複排列組合進行驗證，帶入幾何校正模型產生 15 組方程式，因每組方程式都是由 4 個點所解算而成的，因此帶入另外兩點做驗證該方程式的正確性，而本實驗以  $x$ 、 $y$  誤差為 50 pixels 範圍內為標準，若該特徵點  $x$ 、 $y$  誤差大於 50 pixels 則視為匹配錯誤的特徵點，若小於 50 pixels 則將組方程式的 4 組特徵點利用類加分數的方式各加 1，因此每個點在計算一輪後，若誤差都在門檻值內，每個點會加到 20。而本研究以每個點正確率達 90% 視為正確的特徵點，若未達門檻則表示該點是匹配錯誤的點，再重新挑選計算。

因此本研究利用上述方法粗略挑選特徵點，將影像中誤差過大的特徵點排除，最後從中挑選出誤差小於 50 Pixels 的 6 組特徵點，在以 RMS 值總合挑選誤差最小的 4 組特徵點做為幾何校正所需採用的特徵點，挑選方式一樣以 $C_4^6$ 做不重複排列組合，帶入幾何校正模型產生 15 組方程式，而每組轉換方程皆計算 6 個點的 RMS 值，並作累加，最後挑選出 1 組誤差最小的特徵點做為轉換方程。

圖 6 為本研究自行開發的程式所跑出來的成果，圖 6 右橘色線為實際挑選特徵點的基準點，為影像經過上述挑選特徵點的方式進行平均取點後的結果，再經過本研究所設定的除錯方式初步挑選出 6 組特徵點，接著以計算 RMS 值的方式從 6 組特徵點中挑選出誤差較小的特徵點，其計算結果 (如圖 6 中紅色線) 為進行幾何轉換的特徵點。表 2 為圖 6 為兩幅影像所挑選出來的特徵點，進行幾何校正係數求解，求解出來可發現影像幾何轉換主要經過平移及旋轉偏移、縮放影響，在非線性變形校正上顯著性較低。

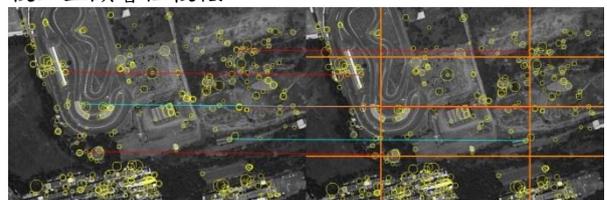


圖 6 特徵點選取成果圖

表 2 張影像拼接幾何校正轉換係數

坐標平移量係數	旋轉偏移、縮放校正係數		非線性變形校正係數
$a_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
94.2642	1.0552	-0.1913	0.000074514
$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
8.0055	0.1907	1.0562	-0.0002108

本研究以單張影像進行拼接，並且另外挑選出 6 組特徵點進行誤差分析， $X_{left}$ 、 $Y_{left}$  是為參考坐標 X、Y 值； $X_{Right}$ 、 $Y_{Right}$  是待校正影像 X、Y 值， $X_{Transfer}$ 、 $Y_{Transfer}$  是待校正影像經過幾何校正轉換模型後的坐標位置， $\Delta x$ 、 $\Delta y$  是  $X_{Transfer}$ 、 $Y_{Transfer}$  與  $X_{Right}$ 、 $Y_{Right}$  坐標值差距，於表 3 中檢測點的 RMS 值最小為 0.4999 個 Pixels 值，最大為 2.4049 Pixels 值，整體的 RMSE 在 1.2207 Pixels。各特徵點的誤差大小與距離幾何轉換方程所採用的特徵點距離有關，距離越近誤差越小，反之亦然。而拼接結果如圖 7，可明顯看出於影像交接處拼接在一起。

表 3 張影像拼接誤差檢驗

Total RMS :1.8362							
	$X_{Right}$	$Y_{Right}$	$X_{Trans}$	$Y_{Trans}$	$\Delta x$	$\Delta y$	RMS
1	638.13	562.16	701.82	406.17	0.72	0.37	0.81
2	662.93	776.11	718.86	621.81	0.40	0.78	0.88
3	644.90	802.01	699.82	647.1073	0.78	0.72	1.06
4	300.30	697.71	357.58	529.3559	0.22	0.45	0.50
5	511.58	478.99	577.47	316.0416	1.37	1.98	2.40
6	310.94	677.09	368.94	507.3149	0.10	0.59	0.60
RMSE	1.2207						

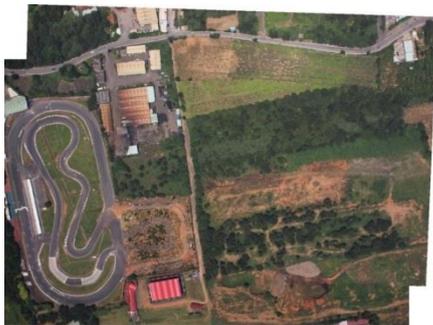


圖 7 張影像成果圖

下圖 8 為多張影像拼接後進行特徵點提取的成果，而圖 9 為影像經過除錯機制後所挑選出來的 6 組匹配正確的特徵點，其中紅色線為帶入幾何校正模型的特徵點，表 4 為幾何校正模型解算出來的係數，而在拼接時主要還是以偏移、旋轉偏移、縮放校正為主，影像在非線性變形影響較小。多張影像拼接時，也挑選出 6 組特徵點進行誤差分析，於表 5 中檢測點的 RMS 值最小為 0.6380 個 Pixels

值，最大為 2.3165 Pixels 值，整體的 RMSE 在 1.5156 Pixels。拼接結果如圖 10。

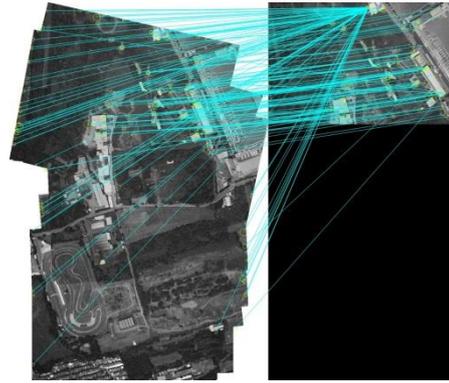


圖 8 30 張影像特徵點提取及匹配

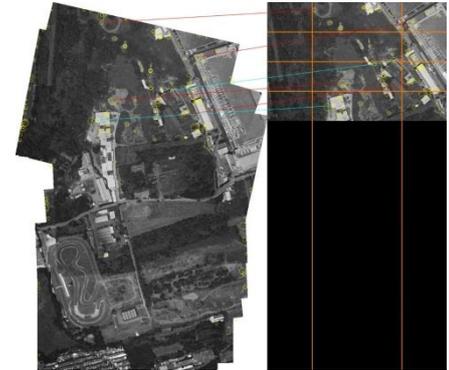


圖 9 30 張影像特徵點挑選成果圖

表 4 30 張影像拼接幾何校正轉換係數

坐標平移量係數	旋轉偏移、縮放校正係數		非線性變形校正係數
$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
76.6139	1.0121	-0.0296	-0.0000111
$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
-178.3191	0.0320	0.9979	0.0000086

表 5 30 張影像拼接誤差檢驗

Total RMS :4.7563							
	$X_{Right}$	$Y_{Right}$	$X_{Trans}$	$Y_{Tran}$	$\Delta x$	$\Delta y$	RMS
1	170.52	28.35	312.14	74.34	2.00	0.17	2.02
2	273.92	292.45	354.63	356.05	1.29	0.05	1.29
3	226.58	377.84	284.07	429.67	1.02	0.46	1.12
4	599.76	18.46	755.73	165.18	2.02	1.14	2.32
5	456.99	215.13	564.14	320.48	0.50	0.40	0.64
6	629.50	405.86	702.91	538.26	0.95	0.33	1.01
RMSE	1.5156						



圖 10 30 張影像拼接成果圖

### 三、時間比較

根據實驗結果顯示，表 6 顯示了本研究程式與處理不同數量影像間的處理時間，可明顯看出時間在找特徵點和匹配、誤差驗證時間較少，主要花在影像重採樣的部分，因此本研究嘗試比較不同處理序於影像重採樣的時間，如表 8 利用 8 個處理序 (Process) 進行影像重採樣 1 個核心所需處理時間是 8 個核心的 4 倍，6 個核心的 3.34 倍，4 核心的 2.17 倍。明顯可看出利用 8 個處理序於影像處理時間可比 1 個處理序減少 4 倍的時間影像拼接處理時間。

表 6 影像拼接處理時間表

拼接時間	單張影像	10 張	30 張
找特徵點. 匹配時間	1 秒	9 秒	29 秒
誤差驗證	1 秒	9 秒	29 秒
影像重採樣	42 秒	1 時 36 分 35 秒	12 時 00 分 18 秒
總時間	46 秒	1 時 38 分 03 秒	12 時 03 分 18 秒

因此根據各影像彼此間所需要重採樣的數量不同，所需花費時間也不同，而本實驗影像大小為 648\*432 影像拼接如表 7，10 張影像總共需重採樣 62538 個像素，總共所需時間為 1 小時 48 分 21 秒，而經過實驗影像越大所需重採樣數量越多，所需消耗時間也非常多，如表 9 當處理 20 張影像時，需重採樣 220411 個像素，所需時間為 5:17:40；拼接 30 張影像時，需重採樣 502245 個像素，所需時間為 12 小時之久。

表 7 多張影像重採樣所需時間

cpu	影像大小	數量	時間	秒/點
6	648*432	110	00:00:15	0.1364
		2188	00:03:40	0.1005
		3434	00:05:30	0.0961
		7554	00:11:45	0.0933
		7038	00:10:56	0.0932
		7763	00:12:55	0.0998
		11330	00:17:15	0.0914
		10953	00:19:10	0.1050
		12168	00:23:15	0.1146
10 張影像所需時間：		平均重採樣時間：0.1034 (秒/點)		
01:48:21				

表 8 不同 CPU 處理效率表

CPU 數量	Sec/pixel
1	0.3455
4	0.1592
6	0.1033
8	0.0831

表 9 影像處理時間表

CPU:8 核心		
影像大小:648*432		
數量	需重採樣點數	時間(時:分:秒)
10	62439	1:48:21
20	220411	5:17:40
30	502245	12:00:18

本研究嘗試利用商業軟體於處理本研究方法的時間與步驟，利用 ARC GIS10 中的 Georeferencing 功能，以一階多項式的方法進行幾何校正，於影像重採樣部分採用雙線性內插法，而在影像拼接的部分則利用 Mosaic to New Raster，流程如圖 11。由實驗結果可看出於拼接 10 張影像時的比較，由表 10 可看出來本程式僅需花 9 秒的時間於特徵點的提取，但在影像鑲嵌的部分需花 1 小時 36 分鐘，商業軟體於影像點選控制點及校正的部分需透過人工介入的方式進行點選控制點，在時間上需花較多的時間需花 27 分鐘於人工點選控

制點及影像重採樣的部分，而影像拼接需花 3 分鐘的時間。

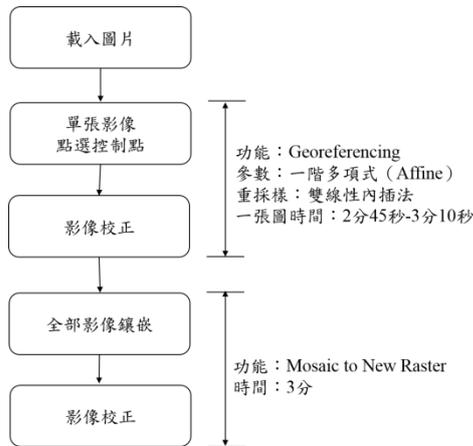


圖 11 ARC GIS 實作本研究方法步驟

表 10 程式與商業軟以處理時間效率比較

	本研究程式	軟體
特徵點	9 秒	27 分
重採樣	1 小時 36 分 35 秒	
影像鑲嵌	秒	3 分
總共時間	1 小時 36 分 35 秒	30 分 0 秒
RMSE	0.6513	0.7736

### 結論與建議

研究以 SURF 演算法對無人飛行載具影像進行特徵點提取，SURF 演算法可快速提取實驗中特徵明顯的特徵點，匹配門檻於實驗中設定為 0.26，於此部分門檻值建議後續可設定不同參數，比較不同門檻值匹配成果。於 SURF 演算法所提取的特徵點數量中，並非所有特徵點都是匹配正確的特徵點，因此本研究於特徵點中，需以平均分布的方式挑選，並且在不可匹配錯誤的特徵點為條件下，提出一挑選及除錯特徵點的方法，首先以平均提取 6 個點的方式進行搜尋，並且以本研究自行提出的除錯機制進行特徵點選取，接著計算 RMS 最低的那組特徵點做為幾何校正模型採樣的特徵點。

本研究採用的幾何校正轉換模型，所需特徵點為至少 4 點，因要驗證特徵點匹配的正確性，因此需再另外找特徵點進行驗證，而本研究採用 6 點做為最基本的需求，建議後續可加入更多特徵點進行驗證及挑選，以降低誤差的可能。

本研究採用的幾何校正轉換模型是採用多項式一般近似的方法，採用到 xy 項係數，且顯著性較低，因此建議後續研究可針對不同影像地區，評估多項式所應採用的項次。

在幾何校正轉換模型提取特徵點的方式以自動化的方式進行篩選，而利用這些特徵，研究結果顯示在拼接 30 張內的特徵點誤差都在 5 個 Pixels 內，其表示幾何校正法適用於本研究之無人飛行載具影像拼接處理。

在影像重採樣的部分，因 Python 程式語言在

解算方程式時，需花大量的時間，於本研究嘗試比較單核心、4 核心電腦、6 核心電腦、8 核心做運算，來提升運算效率。研究顯示於利用 4 核心處理可比單核心處理時間上可減少二分之一的時間，6 核心可減少 3 倍、若以 8 核心處理，時間可再減少 4 倍的時間，但進行越多張影像拼接時，所需重採樣的點數越來越多，也需花更多時間進行採樣，研究建議後續於此部份可以其他方式進行改善，如雲端運算的方式平行運算，來提升影像計算時間，或可採用其他程式語言進行實驗。

在幾何校正拼接的部份，研究發現採樣特徵點分布狀況，會影響後續影像拼接的結果，本研究嘗試以平均分配的方式搜尋特徵點，影像的 RMSE 值較小，此外因影像邊緣處變形較嚴重，應避免挑選到影像邊緣處的特徵點。

因 SURF 演算法為 SIFT 演算法衍伸出的演算法，因此建議除了利用 SURF 演算法提取特徵點外，可進行比較 SIFT 演算法及 SURF 演算法在提取特徵點時的差異。而於演算法找出來特徵點後，利用幾何校正法拼接時，可以採用測量平差方式，採取較多的點位，並可加入 RANSAC 方法進行除錯。

### 致謝

本研究經費來源由國科會計畫 MOST103-2627-M-035-003- 所提供，特此致謝。

### 參考文獻

- [1] Bay, H., Tuytelaars T., van Gool L., (2006). SURF: Speeded up robust features, *Proceedings of European Conference on Computer Vision*, 404-417.
- [2] Bay, H., Tuytelaars T., van Gool L., (2008). Speeded up robust features (SURF), *Computer Vision and Image Understanding*, , Vol. 110, No. 3, 346-359.
- [3] Lowe, D. G., (1999). Object recognition from local scale-invariant features, *International Conference on Computer Vision*, 1150-1157, Corfu, Greece.
- [4] Lowe, D. G., (2004). Distinctive image features from scale-invariant Keypoints, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60, No.2, 91-110.
- [5] 黃漢哲 (2009)。SIFT 演算法應用於航遙測影像拼接之研究。國立中山大學海洋環境及工程學系碩士班，碩士論文。
- [6] 趙忠明、周天穎、嚴泰來 (2013)。空間資訊技術原理及其應用。儒林圖書公司出版。
- [7] 蔣之富 (2008)。Quick Bird 衛星影像幾何校正方法研究。中南林業調查規畫，第 27 卷第 2 期 41-44。葛盼盼、陳強 (2014)。基於 SURF 特徵提取的遙感圖像自動配准。計算機系統應用，第 23 卷 第 3 期 16-24。
- [8] 葉家承 (2013)。影像拼接技術應用於無人飛行載具勘災。TGIS 研討會。