

應用無人飛行載具測估植草覆蓋面積

鍾文貴^[1*] 蔡俊緯^[2] 王裕民^[3] 楊樹榮^[4]

摘要 植生工程中種植覆蓋草類是防止沖蝕保育土壤資源的重要方法之一，植草覆蓋率是判定植生工程成敗的評估指標。本研究主要目的在於應用無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)測估大範圍植生工程的植草覆蓋面積，進而計算得植草覆蓋率。選擇屏東科技大學運動場為試驗場地，首先應用無人飛行載具分別以三種航高(10m、20m、30m)拍攝得試驗場地的時間序列影像，再應用 Microsoft ICE 全景影像拼接軟體，拼接運動場的全景影像。最後，再用 ImageJ 影像分析軟體辨識與計算得運動場全景影像的植草覆蓋面積與覆蓋率。試驗過程分別驗證了三種航高全景拼接計算結果的精準度。試驗結果顯示，三種航高測估得的大範圍植草覆蓋面積，平均絕對誤差均小於 6%，其中以航高 10m 與 30m 量測得數值最準確。因此，本研究應用無人飛行載具測估大面積植草覆蓋率的作法，具有一定程度的準確度與可靠性，可作為工程單位進行綠美化工程品質管理與驗收之參考。

關鍵詞：無人飛行載具、UAV、ImageJ、影像拼接、植草覆蓋面積。

Using Unmanned Aerial Vehicle for Evaluating Grass Covered Area

Wen-Guey Chung^[1*] Chun-Wei Tsai^[2] Yu-Min Wang^[3] Shu-Rong Yang^[4]

ABSTRACT The planting construction of vegetation cover grass is one important way to prevent the erosion of soil resources conservation, and the coverage rate of grass vegetation is an indicator to evaluate the success or failure of the planting project. The main purpose of this study is to apply a UAV (Unmanned Aerial Vehicle) for estimating the coverage area of a large-scale grass vegetation for an engineering construction, and then calculating the grass coverage rate. The playground at Pingtung University of Science and Technology was selected as a test site. Firstly, the application of UAV in three aircraft heights (10m, 20m, 30m) was shooting time-series images upon the test site, and then used a panoramic image stitching software, Microsoft ICE, carried stadium panorama stitching images. Finally, using the ImageJ analysis software identified and calculated the covered area of grass coverage within the stadium panoramic images. The test results showed that three kinds of aircraft height to estimate the grass coverage area of playground are reliable, and the average absolute error is less than 8.3%, in which measured 10m and 30m height are the most accurate. Therefore, for an engineering construction applying the UAV estimating a large area of cover grass, with some degree of accuracy and reliability, can be used as green landscaping works solely for reference and acceptance of construction quality management.

Key Words: Unmanned aerial vehicle, UAV, ImageJ, stitching, grass covered area.

[1] 國立屏東科技大學土木工程系副教授 (* 通訊作者 E-mail: wenguey@mail.npust.edu.tw)

Associate Professor, Dept. of Civil Eng., National Pingtung University of Science & Technology, Pingtung 912, Taiwan

[2] 國立屏東科技大學土木工程系研究生

Graduate student, Dept. of Civil Eng., National Pingtung University of Science & Technology, Pingtung 912, Taiwan

[3] 國立屏東科技大學土木工程系教授

Professor, Dept. of Civil Eng., National Pingtung University of Science & Technology, Pingtung 912, Taiwan

[4] 國立屏東科技大學土木工程系助理教授

Assistant Professor, Dept. of Civil Eng., National Pingtung University of Science & Technology, Pingtung 912, Taiwan

一、前言

綠美化工程(*greening and esthetic engineering*)，係以人類視覺感受與身心保健為考量的植栽工程(林信輝，2007)，而綠美化工程中草植栽的存活率是養護管理與品質驗收中很重要的一個指標。傳統植草存活率的估算方式，是以方框估算為主，章文波等(2001)統計 20 人用方框估算的結果，平均絕對誤差達到 10%以上。張逸群(2013)以一般數位相機與影像處理分析軟體 *ImageJ* 為研究工具，建立了一套簡易的植草存活率估算法，其估算結果平均絕對誤差低於 5.8%。近年來隨著無人飛行載具(*Unmanned Aerial Vehicle, UAV*)發展技術的成熟，而廣為應用於探勘地形、地貌、森林及河川等自然環境的變遷及農業的觀察管理(王大昕，2008；林家鉉，2012；簡榮興等，2010)。因此，本研究的主要目的乃在於以 *UAV* 配合 *Hugin*、*Microsoft ICE* 和 *ImageJ* 等免費影像處理分析軟體為研究工具，探討應用 *UAV* 測估大範圍植草覆蓋面積與覆蓋率的可行估算法，可作為工程單位進行綠美化工程品質管理與驗收之參考。

由於 *UAV* 易受到氣候因素、磁場干擾等影響，飛行高度因此受限，使得單張拍攝影像的範圍小，如要拍攝大範圍區域時，需依設定航向與航高連續拍攝數張影像才能完成，因此拼接全部的影像是一項關鍵技術。黃漢哲(2009)、莊凱婷(2011)等人運用圖像尺度不變性特徵轉換(*Scale-invariant feature transform, SIFT*)的演算法，將 *UAV* 拍攝得全部影像拼接成一幅全景圖。本研究首先選擇屏東科技大學運動場為試驗場地，應用 *UAV* 分別以三種航高(10m、20m、30m)拍攝得試驗場地的時間序列影像，再分別採用 *Hugin* 與 *Microsoft ICE* 等兩個免費影像拼接軟體來進行拼接 *UAV* 航拍後全部影像的全景圖，其中前者即採用 *SIFT* 演算法，後者為微軟公司發表的軟體，未載明用何種演算法拼接圖像。再根據拼接完成的運動場全景圖像來驗證此兩種拼接軟體的精確性與可靠度。進行航拍影像拼接前，需改善影像扭曲變形失真問題，本研究參考張學霞等人(2008)的照相法與馮文灝(2002)的近景攝影測量技術，運用映射投影的幾何運算法來校正影像失真問題。最後，再用影像分析軟體 *ImageJ*，依張逸群(2013)的顏色模型 *Lab* 之 *a* 與 *Yen* 自動閾值法之影像分割處理分析法，辨識與計算得運動場全景影像的植草覆蓋面積與覆蓋率。試驗過程將分別驗證三種航高全景拼接圖測估結果的精準度。由於多張航拍影像拼接後全景圖的記憶容量過於龐大，乃考慮先縮小每張航拍影像的解析度後，再拼接成全景圖，據此驗證此種做法對測估精準度的影響。

二、研究材料與方法

2.1 試驗場地

本研究的試驗場地為屏東科技大學的運動場。

2.2 試驗設備

2.2.1 採用的 *UAV*

本研究採用的 *UAV* 為六軸旋翼型(見圖 1)，其優點是可垂直升降，不受地形限制且可滯留於空中定點，但巡航範圍、飛行速度功能皆低於定翼機。此機型的操作方式分為遠端操控、自動飛行、半自動飛行三種，說明如下：

- (1) 遠端操控：操作人員藉由遙控器之無線電波操作 *UAV* 之各種動作，其操作範圍受無線操控設備之功率限制，因此遠端操控通常以半徑 1 公里為限。
- (2) 自動飛行：先行設定飛行範圍、編排航道，於 *UAV* 升空後，則以機體內之姿態感測器、風速計及 *GPS* 感測裝置，透過微電腦進行自動航道飛行。
- (3) 半自動飛行：原則上以遠端控制為主要飛行方式，但增加了 *GPS* 定位，使之能達到自動穩定且能記錄飛行高度、飛行速度及飛行位置等數據，降低了操作人員飛行操作技術之門檻。

2.2.2 採用的數位相機

本研究選用 SONY DSC RX100 數位相機(見圖 2)作為航拍攝錄工具。此相機的規格為：

- (1) 尺寸：102 x 59 x 36 mm
- (2) 有效像素：2020 萬像素
- (3) 液晶螢幕：3.0 吋 122.9 萬像素
- (4) 光學變焦：3.6 倍(28-100mm)
- (5) 感光元件：1" backlit COMS

2.2.3 UAV 的遙控器(14SG)

如圖 3 所示，主要在於設定 UAV 的飛行操作方式(遠端操控、自動飛行、半自動飛行等三種)。

2.2.4 數據接收器及個人電腦一台

將數據接收器安裝於電腦後，開啟無人載具的連線及設定，如圖 4、5 所示。



圖 1 六軸旋翼型無人載具



圖 2 SONY DSC RX100



圖 3 無人載具 14SG 遙控器



圖 4 數據接收器



圖 5 設定及觀看介面

2.3 試驗方法

本研究藉由 UAV 航拍在將其影像輸入至 Hugin 及 Microsoft ICE 影像拼接軟體完成一幅全景圖，並且利用 ImageJ 影像處理軟體來測估植草覆蓋面積、覆蓋率及影像尺寸縮小之差異，流程如圖 6 所示，UAV 航拍路線選擇以 S 型方式進行，如圖 7 所示。

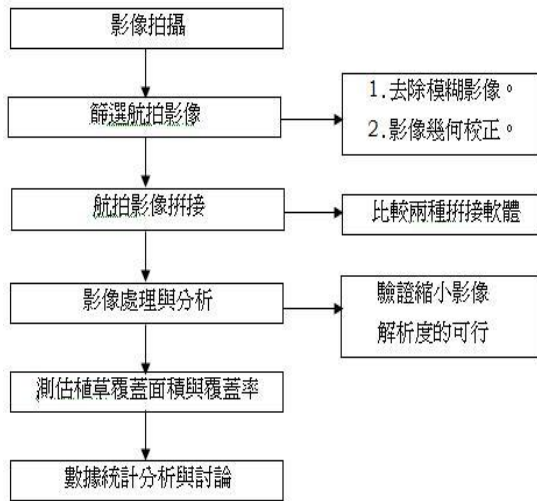


圖 6 研究工作流程圖

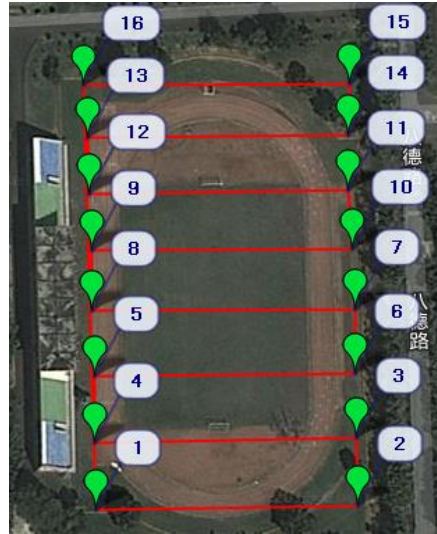


圖 7 航拍飛行路線規畫

2.3.1 影像拼接軟體

進行航拍影像拼接前，需要先改善影像扭曲變形失真問題，本研究透過映射投影的幾何運算方法來校正影像失真問題。校正後的航拍影像再分別用 Hugin(見圖 8)和 Microsoft ICE(見圖 9)兩種免費影像拼接軟體進行拼接全景圖，其中 Hugin 是以 SIFT 演算法是根據影像匹配、平移及旋轉等不變性原理來拼接成一幅全景圖；Microsoft ICE 為微軟所開發的軟體，無具體文件說明其採用何種方法來拼接全景圖。

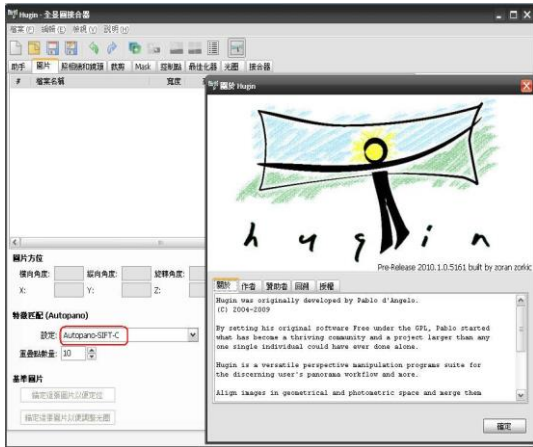


圖 8 影像拼接軟體 Hugin

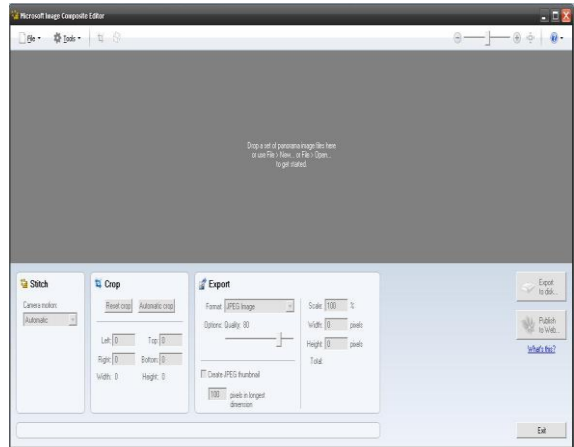


圖 9 影像拼接軟體 Microsoft ICE

2.3.2 影像分析軟體

ImageJ 是由美國國立衛生研究所採用 Java 程式語言所開發的軟體(見圖 10)，ImageJ 軟體具有以下優點：(1)該軟體是一套免費軟體，無需註冊費用，由官網(<http://rsbweb.nih.gov/ij/index.html>)下載即可使用；(2)除了在 windows 下可以執行外，Mac OS、Linux 的使用者皆可使用這套影像分析軟體；(3)該軟體開放原始程式碼，使用者可以自行編輯，具有極大的靈活性，目前官網也提供許多免費的外掛模組，使用者可挑自己所需的模組使用，增加使用者的應用彈性。

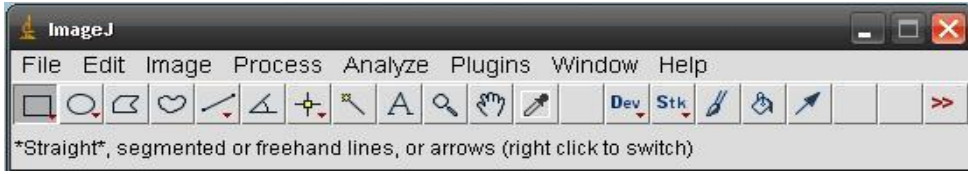


圖 10 ImageJ 操作介面

2.3.3 影像處理分析的精度評估準則

對於影像處理分析精準度的評估，可採用 Lewis(1982)預測模式好壞的評估指標，即平均絕對誤差率 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)，又稱平均絕對誤差百分比。由於 MAPE 為相對數值，不受測量值與預估值單位與大小之影響，能客觀的獲得估計值與評估值間之差異程度。MAPE 的計算公式，如下所示。

$$MAPE = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \left| \frac{x(k) - x'(k)}{x(k)} \right| \times 100\%$$

式中 $x(k)$ 為實際計算值； $x'(k)$ 為 ImageJ 影像分析值(取樣 3 次平均數)， M =總樣本數。表 1 為 MAPE 值之評估判定指標。

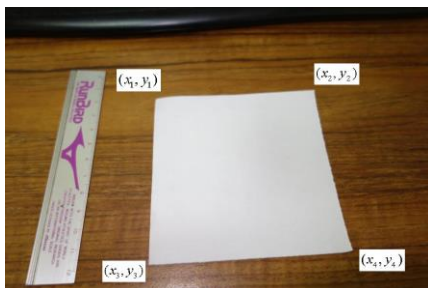
表 1 MAPE 值之評估判定指標

MAPE	評估判定
$MAPE \leq 10\%$	高精準測算
$10\% \leq MAPE \leq 20\%$	優良測算
$20\% \leq MAPE \leq 50\%$	合理測算
$MAPE > 50\%$	不精準測算

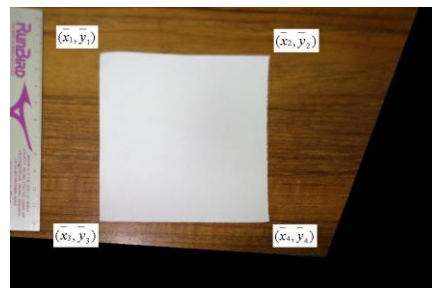
三、結果分析與討論

3.1 影像幾何校正

航拍過程中以垂直拍攝減少影像扭曲變形，但航拍進行中必定受風向與風速的影響而導致拍攝角度有些許偏移，使得影像扭曲變形而失真，需要對航拍影像進行幾何校正。此工作可在 ImageJ 軟體中實現，例如圖 11(1)影像中 10cm×10cm 方型白紙，其四個頂點的座標分別為 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$ ，採用 ImageJ 軟體的 Geometric Mappings 插件之 Projective Mapping 選項，將其校正為 $(\bar{x}_1, \bar{y}_1), (\bar{x}_2, \bar{y}_2), (\bar{x}_3, \bar{y}_3), (\bar{x}_4, \bar{y}_4)$ 等四個座標點，其校正完成後的影像如圖 11(2)所示。



(1)影像校正前



(2)影像校正後

圖 11 影像幾何校正前後比較

3.2 影像拼接處理測算之準確度

謝仁馨(1992)的研究指出,要將 UAV 航拍的許多張序列拍攝影像拼接成一幅全景圖時,同一航線連續拍攝影像的重疊率需取 60%至 90%,而鄰近航線的橫向或左右重疊率取約 15%至 30%。本研究依據圖 7 規畫的航拍路線拍攝影像(1 張/2 秒),航拍影像再分別用 Hugin(見圖 8)和 Microsoft ICE 兩種免費影像拼接軟體進行拼接全景圖。然後利用全景圖中 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 方型框架標識,來驗證 ImageJ 測估航拍影像標識區塊面積的準確性,以及 UAV 飛航拍攝高度對測估標識區塊面積的差異程度,作為後續測估大範圍植草覆蓋面積與覆蓋率的作業依據。圖 12 是分別以 10m、20m 與 30m 等三種飛航高度,由 9 張連續航拍照片拼接而成的一幅全景圖。應用 ImageJ 測估這些全景圖中的方框標識面積,測算結果列如表 2 所示。此表顯示 MAPE 值均在 3%以內,依表 1 可判定屬於高精度測算,其中 10m 航高的 MAPE 值均較低,且以 Microsoft ICE 軟體拼接全景圖測算方框標識面積之 MAPE 值較低,換言之,採用 Microsoft ICE 軟體來拼接航拍影像的效果較佳。

圖 12 為平地航拍全景圖,如果在有坡度的情況下,航拍影像產生的幾何變形問題是否會影響測估的精準度?有鑒於此,本研究在進行航拍時將 UAV 之拍攝角度調成垂直與 40 度斜角等 2 種進行航拍(見圖 13),再分析航拍拼接全景圖中 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 標識面積測算之誤差,列如表 3 所示。此表顯示兩種軟體拼接全景圖中標識面積測算之 MAPE 值,均以誤差斜角拍攝者為最低,表示在坡地進行 UAV 航拍測算植草覆蓋時,應採取斜角拍攝(即與坡面平行),較不易產生幾何變形問題,若無法如此航拍,則應對航拍影像做幾何修正。

圖 14 為用數位相機以 4m 高度拍攝的單張影像,作為驗證不同航高航拍影像測估植草覆蓋率的比較基準。用 Microsoft ICE 軟體拼接完成的航拍影像全景圖,參考張逸群(2013)的顏色模型 Lab 之 a 與 Yen 自動閾值法之影像分割處理法,進行圖 12 的影像分割處理(見圖 15),再分別辨識與測算分割處理後影像的植草覆蓋率,並以 4m 高度拍攝的單張影像為比較基準,計算得三種航高航拍影像拼接後全景圖中方框標識面積內植草覆蓋率的 MAPE 值,列如表 4 所示。此表顯示測估標識面積植草覆蓋率的 MAPE 值為 8.26%,依表 1 可判定屬於高精度測算,因此具有一定的可靠性。

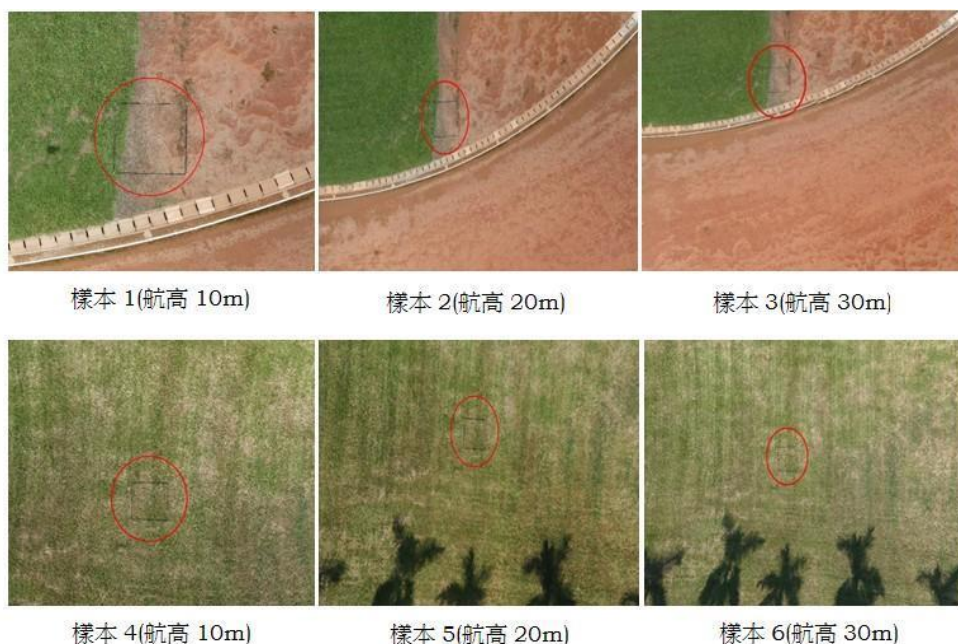


圖 12 航高(10m、20m、30m)航拍影像拼接之全景圖

表 2 航拍影像拼接全景圖中方框標識面積之測估比較表

樣本編號	Hugin 拼接之 MAPE(%)	Microsoft ICE 拼接之 MAPE(%)
樣本 1	0.87	0.56
樣本 2	0.95	0.95
樣本 3	1.69	1.21
樣本 4	0.92	1.04
樣本 5	1.00	1.21
樣本 6	2.25	1.78

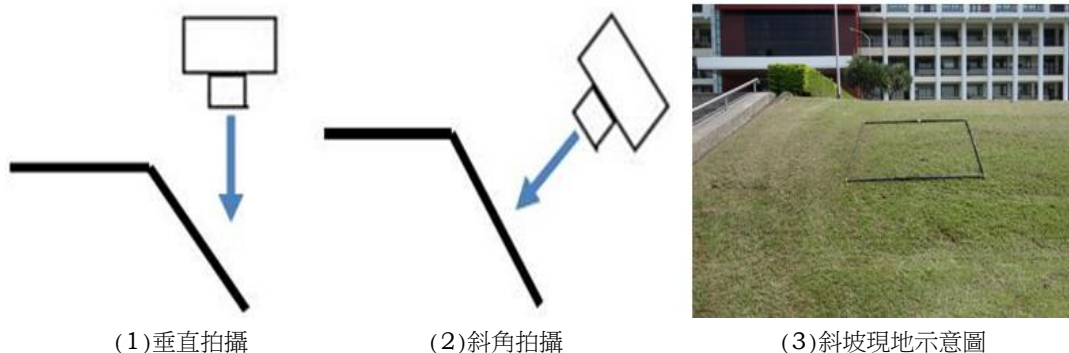


圖 13 坡地航拍示意圖

表 3 測估坡地範圍內方型標識面積之 MAPE 值比較表

拍攝方式	用 Hugin 拼接之 MAPE (%)	用 Microsoft ICE 拼接之 MAPE (%)
垂直	5.13	5.01
40 度斜角	3.46	3.39



單 1(航高 4m)

單 2(航高 4m)

圖 14 拍攝高度 4m 單張影像

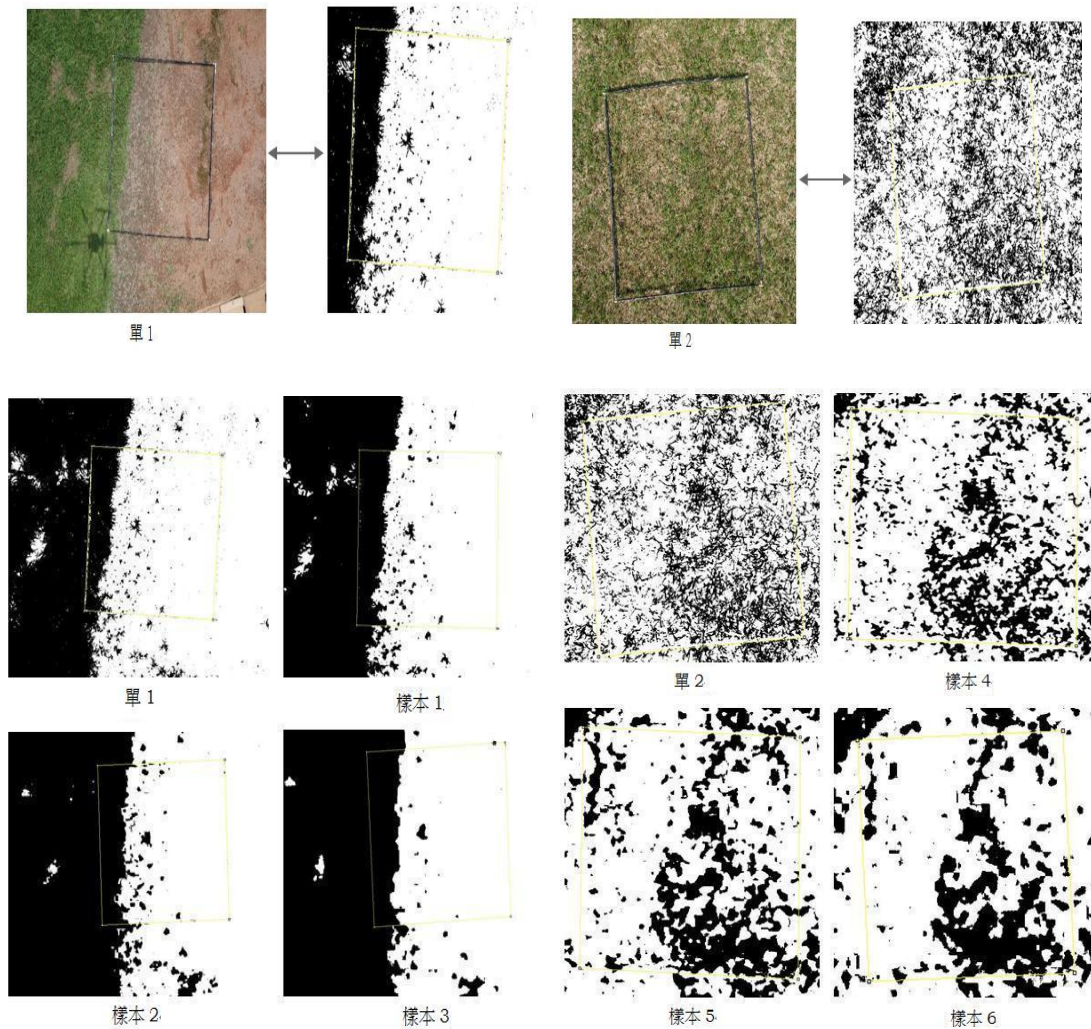


圖 15 影像分割處理

表 4 航拍影像拼接全景圖植草覆蓋率之測算比較表

樣本編號	Microsoft ICE 拼接圖		單張影像測估 植草覆蓋率(%)
	植草覆蓋率(%)	MAPE(%)	
樣本 1	20.47	8.54	18.86(單 1)
樣本 2	22.33	18.40	
樣本 3	20.65	9.49	
樣本 4	26.55	5.68	28.15(單 2)
樣本 5	29.00	3.02	
樣本 6	26.91	4.40	
平均	24.32	8.26	23.51

3.3 縮小影像解析度測算之準確度

從前述比較驗證 UAV 航拍拼接影像中測估標識面積，及三種航高影像中測算標識區域的植草覆蓋率，可知航高 10m 至 30m 的測算結果差異不大，因此選擇 30m 航高進行 UAV 測估植草覆蓋面積與覆蓋率，可以增大航拍面積的覆蓋廣度，提高工作效率。當以 30m 航高依規畫航線與影像重疊率進行航拍時，將產生 9 張連續影像，用 Microsoft ICE 軟體拼接完成的全景圖，其影像解析度分別為 6693×4682 和 5659×3946 像素(見圖 13 樣本 3 和 6)，若進行大範圍拼接，則影像拼接後解析度為 2 萬×2 萬像素(見圖 16)，這需要龐大的記憶處理容量，因而降低了影像處理的速度。若考慮將每張航拍影像解析度先縮小再拼接成全景圖，這樣是否會影響測算的準確度?有鑑於此，本研究以航高 30m 圖 13(樣本 3)和(樣本 6)的航拍影像為討論例，首先將此兩樣本影像的解析度分別縮小 2~5 倍後，再用 Microsoft ICE 軟體拼接成全景圖，然後依前述方法測算植草覆蓋率，並以圖 15 單張照相影像為比較基準，測算結果列如表 5 與表 6 所示。此兩表顯示縮小每張影像的解析度 2~3 倍後再拼接成全景圖，測算得的植草覆蓋率之 MAPE 低於 14%，表示縮小每張航拍影像解析度後再拼接全景圖，這種做法測算得到之植草覆蓋率仍具有一定容忍度的準確性。

表 5 航高 30m 樣本 3 植草覆蓋率之測算比較表

影像尺寸	方法	Microsoft ICE	
		與單張標識面積比較之 MAPE(%)	與單張植草覆蓋率比較之 MAPE(%)
(6693)×(4682)	全景圖	1.21	9.49
(5472/3)×(3648/3)	每張圖縮小解析度後拼接全景圖	1.43	13.78
(5472/4)×(3648/4)		1.44	22.16
(5472/5)×(3648/5)		1.46	24.76

表 6 航高 30m 樣本 6 植草覆蓋率之測算比較表

影像尺寸	方法	Microsoft ICE	
		與單張標識面積比較之 MAPE(%)	與單張植草覆蓋率比較之 MAPE(%)
(5659)×(3946)	全景圖	1.78	4.40
(5472/2)×(3648/2)	每張圖縮小解析度後拼接全景圖	1.79	7.31
(5472/3)×(3648/3)		1.92	8.27
(5472/4)×(3648/4)		1.81	177.05

3.4 屏東科技大學運動場全景拼接與測算植草覆蓋面積

本研究以屏東科技大學運動場為試驗場地，首先應用無人飛行載具分別以 30m 航高依規畫的行線航拍得試驗場地的連續影像共 100 張，再將各張圖縮小解析度 3 倍後用 Microsoft ICE 拼接全景影像，拼接完成的運動場的全景影像，如圖 16 所示。最後，再用 ImageJ 影像分析軟體辨識與計算得運動場全景圖中內環的植草覆蓋面積與覆蓋率。運動場內環之草坪以 50m 布尺量測得面積為 96m × 71m，而用 ImageJ 分析得植草面積為 94m × 68m，計算得 MAPE 值為 5.81%，依表 1 可判定屬於高精準度測算，亦可計算得草坪覆蓋率為 96.40%。



圖 16 屏東科技大學運動場

四、結論

本研究以屏東科技大學運動場為試驗場地，探討應用 UAV 測估大範圍植草覆蓋面積與覆蓋率的可行估算方法。首先依照規畫的航高與航線進行試驗場地的航拍，航拍後的影像經幾何校正與拼接軟體 Hugin 與 Microsoft ICE 拼接全景圖後，用 ImageJ 影像分析軟體測算植草覆蓋面積與覆蓋率，計算得平均絕對誤差低於 6%，屬於高精準度測算。經過前述各項試驗驗證與討論分析，可以獲得以下幾個重要結論：

1. 本研究提出的 UAV 測估大範圍植草覆蓋面積與覆蓋率之做法十分可行，且具有一定的準確度與可靠性。
2. 可以應用兩個免費拼接軟體 Hugin 與 Microsoft ICE 來拼接 UAV 航拍連續影像的全景圖，但以 Microsoft ICE 軟體拼接的全景圖，較有利於後續植草覆蓋面積的影像辨識分析。
3. 拼接航拍全景圖時，若要降低記憶體處理容量，可以考慮先將每張航拍影像的解析度縮小 2~3 倍後，再拼接全景圖，如此做法對測算植草面積與植草覆蓋率精確度的影響仍屬於優良測算，而有助於加快電腦的影像處理速度。但每張航拍影像縮小的解析度，仍以不超過 3 倍為考量。
4. 航拍高度以 10m 航高航拍拼接全景圖的精準度為最佳，但若以工作效率為考量，則仍以航高 30m 進行大範圍航拍是較好的選擇。

參考文獻

1. 林信輝，2007，「水土保持計畫之植生工程調查與設計」，網址：
<http://el.mdu.edu.tw/datacos//10013412004A/961013水土保持計畫之植生工程調查與設計1012.pdf>。
2. 章文波、符素華、劉寶元(2001)，「目估法測量植被覆蓋度的精度分析」，北京師範大學學報，37(3):403-408。
3. 張逸群(2013)，「應用 ImageJ 於估算美化工程之植草存活率」，國立屏東科技大學土木工程系碩士論文。

2014 年中華水土保持學會年會及學術研討會論文集

4. 吳健康(1992),「數位影像分析」,儒林圖書,台灣臺北。
5. 謝仁馨(1992),「航照判讀與遙感探測」,中華民國航空測量與遙感探測學會出版。
6. 何祈磊(2009),「具有影像優化處理的環場鳥瞰監視停車輔助系統」,國立中央大學資訊工程研究所碩士論文。
7. 吳究,張奇,劉銘哲(2009),「基於尺度不變特徵點轉換之精密多元影像套合」,航測及遙測學刊, 14(2):141-155。
8. 柯宗廷,董信福,陳正忠,黃士魁(2005),「影像處理」,昆山科技大學電機工程系學士專討。
9. 王大昕(2008),「數值航照影像水道區塊化能力之研究-以台中縣清水為例」,逢甲大學環境資訊科技碩士學位學程碩士論文。
10. 黃漢哲(2009),「SIFT 演算法應用於航測影像拼接之研究」,國立中山大學海洋環境及工程學系碩士班碩士論文。
11. 莊凱婷(2011),「SIFT 演算法應用於三維建物模型表面影像拼接之研究-以中興大學圖書館為例」,中興大學土木工程學系碩士論文。
12. 李寒、牛紀楨、郭禾(2007),「基於特徵點的全自動無縫圖像拼接方法」,機算工程與設計, 28(9):2083-2085。
13. 馮文灝(2002),「近景攝影測量」,中國武昌,湖北新華。
14. 張學霞、朱清科、吳根梅、孫丹珠(2008),「數碼照相法估算被蓋度」,北京林業大學學報, 30(1):165-169
15. 林家鉉(2012),「卑南溪逸散河床裸露地之無人飛行載具影像分類」,國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
16. 簡榮興、王天佑、曹鼎志、辜炳寰、簡志凱、財團法人中興工程顧問社 大地工程研究中心、農委會水土保持局(2010),「應用無人飛行載具 UAV 技術進行土石災區之調查-以 88 水災後之六龜鄉大智瀑布為例」, Taiwan Rock Engineering Symposium。
17. ImageJ 官方網址: <http://imagej.nih.gov/ij/>。
18. Microsoft 官方網址: <http://research.microsoft.com/en-us/>。
19. Hugin 官方網址: <http://hugin.sourceforge.net/>。
20. Lewis(1982) "Control of body segment differentiation in drosophila by the bithorax gene complex," *Embryonic development*, Vol.1,pp. 269-288.
21. Scale-invariant feature transform, Available at: http://www.cnblogs.com/JiePro/p/sift_1.html.
22. David G Lowe(1999), "Object Recognition from Local Scale-Invariant Features," *International Conferece on Computer Vision*, Corfu, Greece, pp.1150-1157.
23. David G Lowe(2004), "Distinctive image features form 116 scale-invariant Key points," *International Journal of Computer Vision*, 60, pp. 91-110.
24. David G Lowe(2006), "Automatic Panoramic Image Sitichsing Invariant Features," *International Journal of Computer Vision*, 74(1),pp.59-73.