

旗山事業區第2林班竹林伐採作業預定地空拍
影像紀錄及分析成果報告書

林金樹 教授

國立嘉義大學森林暨自然資源學系

112年2月27日

一、前言

森林生態系統提供多樣的服務價值，以滿足人類的不同需求，包含木竹材料及食物提供、休閒環境及心靈療癒、以及可持續的碳封存或減少碳排放等，從多元面相減輕全球食物、生物材料及緩解全球暖化影響。木材或竹子的生產是衡量森林如何滿足人們需求和減輕貧困的重要指標，木竹生產也要考慮產品是否以合理方式產出以及優先考慮環境的可持續性。

竹子是一種用於建築、傢俱、藝術產品和食品的優良材料，與木材類似，竹子在碳儲存和環境美化方面有非常重要作用。在一些發達國家，例如日本和臺灣，許多竹林已經變得無人管理或被遺棄，主要原因是勞動力成本高、利潤低、缺乏密度控制和適當的管理策略(Lin, 2014)。可惜的是，由於竹筍收穫量減少，未經營管理的竹林變得更多(Suzuki, et al., 2008)，並向周圍的森林擴張，造成樹木幼苗的損害(Manabe, et al., 2020)。

為落實國產木竹材生產提供一、二級產業應用，屏東林區管理處採用傳統樣區調查法，調查評估轄區竹叢及竹桿數量。以旗山事業區第2林班竹林伐採作業預定地為例，屏東林管處以 Garmin 衛星定位接收儀輔助，於竹林地設置 30 個面積 0.01 ha (10m*10m)大小樣區，實地調查每叢蔴竹竹桿數量。為尋求高效率的竹林調查方法，本計畫主要目標在評估利用無人機(UAV)收集高解析照片的能力，探討製作竹林高解析正射影像的可行性，討論應用高解析正射影像調查竹林蓄積的可能機制。

二、目標區概述

作業區位於高雄市甲仙區，鄰近“縣 129”道路，為林務局屏東林區管理處轄

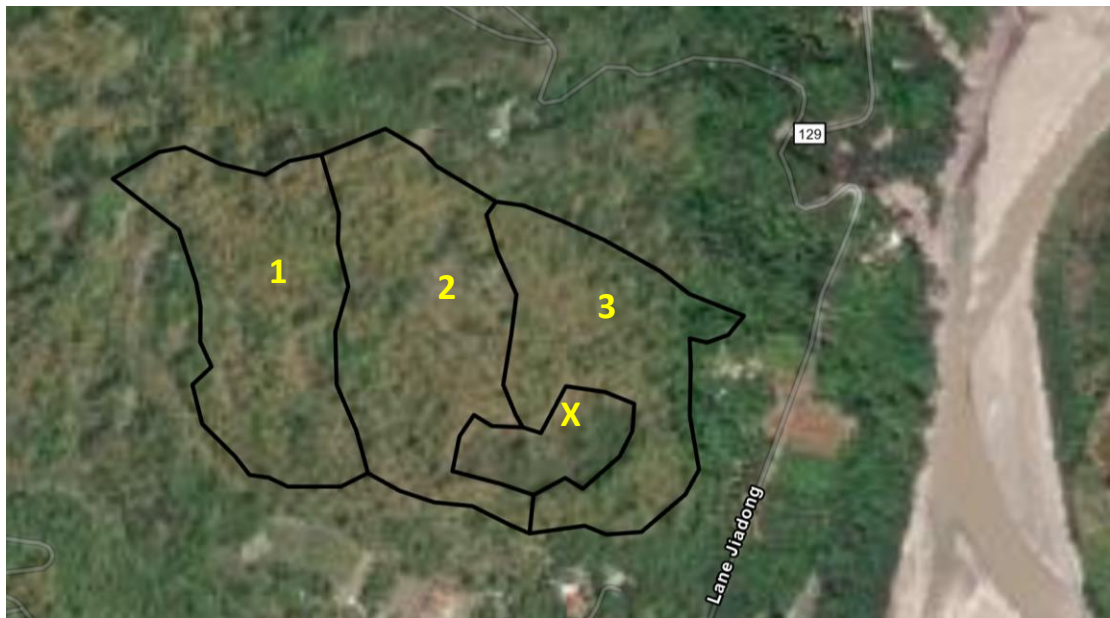


圖 1. 旗山事業區竹林地作業區邊界圖與 Google Earth 衛星圖疊合 (圖中多邊形小區編號 1-3 為作業區，編號 X 為非作業區，上方道路為縣 129 道路，右側道路為茄冬巷)

管旗山事業區第 2 林班地。圖 1 三個黑色多邊形標示三塊目標竹林地與 Google Earth 影像疊合情況，其中 1, 2, 3 號竹林面積各為 5.4776 ha、5.9537 ha、4.9392 ha，介於 2-3 號東西帶狀林地為非目標區(以 X 標示之)。

三、航線規劃與資料處理方法

本任務採用非商業等級無人機 Mavic 2 Pro 酬載 Sony RGB 照相機，於 111 年 10 月 13 日執行飛航取像任務。航線參數規劃為前後疊率 80%、左右疊率 70%、航速 6m/s、離地航高 109-126 m，所取得照片地面解析力為 3 cm，表 1 所示為表格化參數表，可方便閱讀。航拍任務所取得照片利用 MetaShape 航測資料處理軟體產製正射影像地圖，再利用 SciKit Image 影像分割法分析竹叢數量，整體資料處理流程示如圖 2。

為提高正射影像製作精度，本任務於執行飛航任務前，在任務區範圍內設置地面控制點(GCPs)，利用 GNSS 接收器 Satlab (Model SL800)收集控制點的 GNSS 訊號，再以內政部國土測繪中心提供的虛擬基準站 GNSS 訊號，利用 e-GNSS(又稱 RTK)技術解算控制點坐標；並於所有控制點布置標靶，以供於航拍照片上辨識位置，進行精準的航拍照片定位及正射影像製作。控制點於調查區域的分布及航線規劃圖，請詳見圖 3 及圖 4。

表 1. 飛航任務參數(flight parameters)

Data collection date	10/13/2022
Ground Station	UgCS
Overlap (End/Side, %)	70/80
Flight speed (m/s)	6.00
Ground sampling distance (cm)	3.00
Flight height range from ground (m)	109 – 126

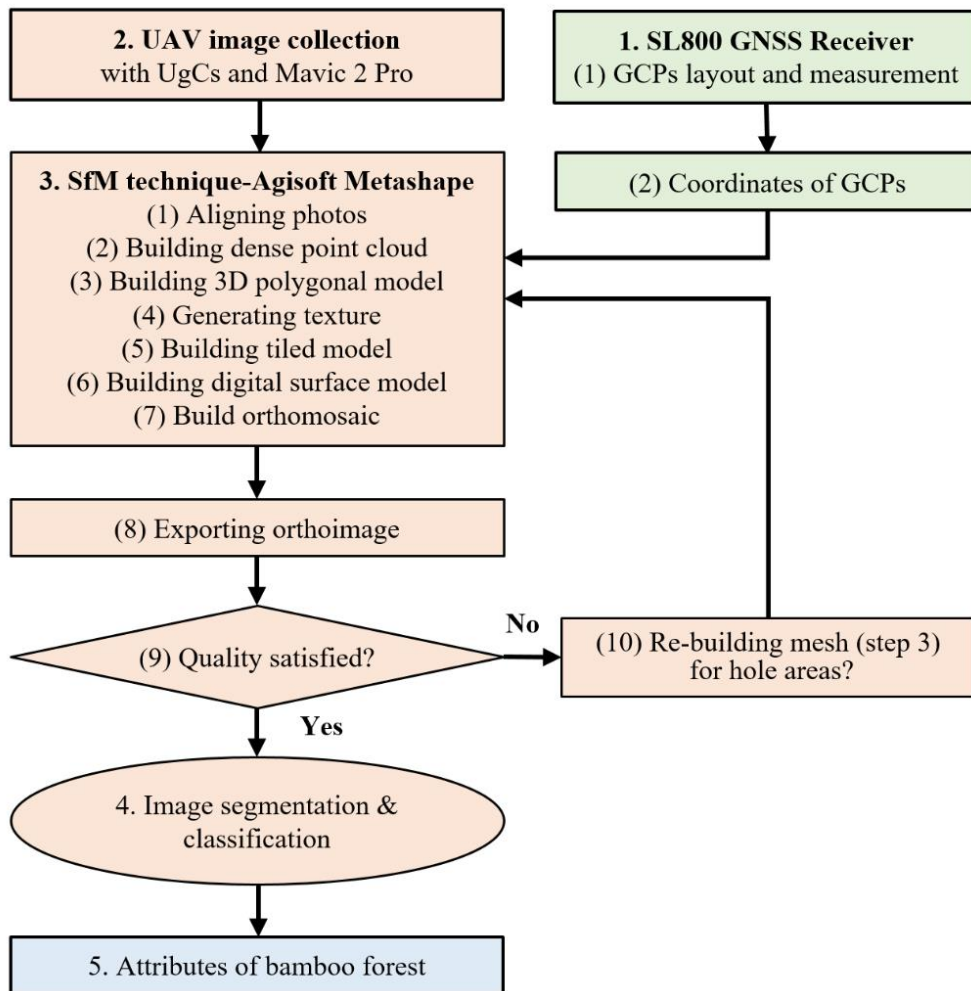


圖 2. 產製作業區正射影像流程(1-3)和規劃推導竹林屬性的工作流程(4-5)

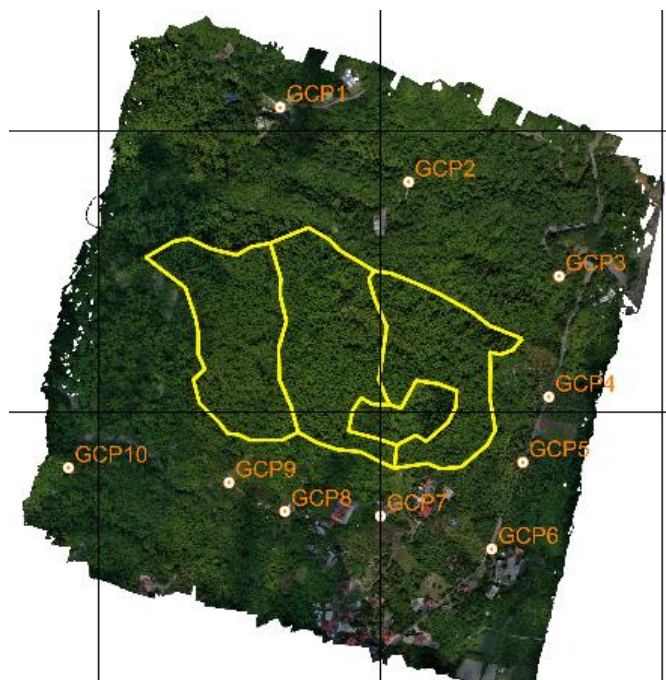


圖 3. 竹林作業區佈設航拍地面控制點的分布圖



圖 4. 航線規劃(航線軌跡分布)圖

四、成果

(一)正射影像製圖品質評估

本研究選擇了位於臺灣南部（北緯 23°02′50.2′，東經 120°32′23.1′）由林務局屏東林區管理的一片竹林，該林分地處低矮山丘上，分布海拔介於 255 至 395 公尺，靠近一個村落附近。根據林地分級規則，該地被列為經濟林，營林目的為為木材或竹子生產。這片森林以刺竹 (*Bambusa stenostachya*) 為主，周圍土地利用型主要是闊葉樹及農場。基於環境保護意識，該竹林並未實施經營管理措施；

表 2. UAV 正射影像圖精度評估

GCP	Easting	Northing	Altitude	Error	X error	Y error	Z error
#1	202822.36	2550041.74	301.69	0.080	0.079	0.000	-0.011
#2	203050.13	2549908.83	282.70	0.103	0.003	0.102	0.013
#3	203317.45	2549741.10	251.40	0.075	-0.023	0.070	0.017
#4	203298.79	2549526.39	218.52	0.122	-0.108	0.055	0.004
#5	203252.92	2549410.09	211.74	0.159	-0.124	0.090	0.043
#6	203197.48	2549255.87	210.84	0.158	-0.128	-0.092	0.008
#7	203000.35	2549314.39	226.48	0.131	0.109	-0.062	-0.035
#8	202830.58	2549322.98	242.75	0.073	0.024	-0.069	0.010
#9	202731.60	2549373.88	252.60	0.189	0.120	-0.025	-0.143
#10	202446.55	2549400.62	305.97	0.043	0.042	-0.003	-0.006
Total Error (m)				0.121	0.089	0.066	0.049

本計畫於現場實施航拍任務及輔助調查作業中，藉由訪談當地居民以增加對地方森林環境的瞭解，居民表示因竹林落葉生物量累積、環境乾燥及民俗活動用火行為，曾引發小型林火的干擾。

本研究以 Mavic-2 Pro 無人機為航拍工具，利用 UgCs 任務規劃器設計規劃甲仙竹林作業區的航拍任務，以獲取高解析度的影像。航拍時間為 2022 年 10 月 13 日，無人機在離地表 109-126 米處以地形跟蹤模式獲取了極高解析度的原始圖像 (GSD=3.0cm)。飛行速度為 6 米/秒，影像前後疊率及左右疊率分別為 70% 和 80%。按照圖 2 所示的工作流程，所生成的正射影像 (圖 5) 的 RMSE 為 12.1 cm(表 2)。

(二)作業區竹枝產量估計

1. 樣區調查法

據瞭解，林務局蔴竹造林規範，以造林密度 200 叢/公頃、每叢 16-20 株進行造林，並以造林成活率 70% 為造林成功認定基準，據此經驗法則，蔴竹林竹枝蓄積量估計值約為 2240-2800 株/公頃。

承林管處提供穿越線調查取樣，沿著第 2 林班第 3 號作業區(圖 1)林道旁選定樣區 30 處，以單一竹叢為樣區單位，共計調查 30 個樣區，竹叢因長久未施行伐採經營管理作業，現有竹叢平均竹枝數量約 40 枝，較常態經營竹林所觀察到的每一竹叢平均竹枝數量 16-20 株為多；所有樣區幼竹、成竹、老竹及枯竹數量請詳見表 3。由於枯死竹枝多為斷竹，枯損程度或不可應用，因此，竹林蓄積 (standing bamboo stocks) 計算以扣除枯死竹枝為基礎，每一樣區平均幼竹、成竹及老竹三者計算所得平均竹枝蓄積量為 29 枝，以單一樣區面積 100 平方公尺計，估計每公頃蓄積量為 2900 枝，大於經驗法則估計值；樣區調查法竹枝蓄積量推估值約為經驗法則估計值的 1.0357-1.2946 倍。

依據林管處的調查資料，本研究導出刺竹林竹叢枝數發展觀測指標二種：枯死率 (Death rate, DR) 及新生率 (Birth rate, BR)，可供蔴竹林經營控制竹林發展之參考。

$$DR = \text{枯竹數} / (\text{幼竹數} + \text{成竹數} + \text{老竹數} + \text{枯竹數}) \quad (1)$$

$$BR = \text{幼竹數} / (\text{幼竹數} + \text{成竹數} + \text{老竹數}) \quad (2)$$

依據樣區竹枝的調查數據，本蔴竹林分竹叢枯死竹枝數量很多，枯死率 DR 為 25±13.6%，標準偏差值約為平均值的 1/2，相對地，竹子新生率 BR 為 32±10.7%，標準偏差值約為平均值的 1/3；平均而言，調查數據顯示本區蔴竹林 BR>DR，BR 約 DR 的 1.28 倍大。

2. 伐採列區調查法

本區全區面積 2 公頃竹林地，已全部伐採蔴竹保留闊葉樹的伐採作業法，為方便標售處分，前項調查所載幼/成/老/枯竹四類改列為幼竹及老竹兩類(枯竹排

表 3. 屏東林管處旗山工作站第 2 林班竹叢竹枝數調查數據¹⁾及衍生枯死率及新生率²⁾

編號	座標 X	座標 Y	幼	中	老	枯	小計	枯死率(%)	新生率(%)
1	203167	2549524	4	10	4	4	22	18	22
2	203158	2549527	4	9	7	16	36	44	20
3	203155	2549518	6	13	4	22	45	49	26
4	203156	2549531	14	18	3	13	48	27	40
5	203146	2549516	8	20	7	17	52	33	23
6	203130	2549491	11	24	4	4	43	9	28
7	203135	2549474	8	12	7	26	53	49	30
8	203118	2549474	6	8	2	1	17	6	38
9	203129	2549468	7	30	5	18	60	30	17
10	203108	2549462	9	6	2	12	29	41	53
11	203105	2549456	9	8	6	7	30	23	39
12	203094	2549450	7	6	5	9	27	33	39
13	203094	2549442	10	17	8	19	54	35	29
14	203086	2549447	8	6	7	5	26	19	38
15	203078	2549438	10	28	10	23	71	32	21
16	203064	2549444	4	7	4	1	16	6	27
17	203064	2549450	12	4	6	1	23	4	55
18	203054	2549446	10	22	10	5	47	11	24
19	203043	2549445	6	7	3	1	17	6	38
20	203034	2549435	11	14	8	12	45	27	33
21	203017	2549443	15	6	12	15	48	31	45
22	203004	2549440	2	8	8	13	31	42	11
23	202993	2549450	6	6	8	1	21	5	30
24	202980	2549452	11	28	13	8	60	13	21
25	202963	2549455	12	9	11	5	37	14	38
26	202940	2549455	13	16	12	10	51	20	32
27	202933	2549451	10	12	7	7	36	19	34
28	202925	2549446	9	20	18	15	62	24	19
29	203165	2549530	16	8	12	25	61	41	44
30	203186	2549499	15	8	8	14	45	31	48
全部樣區竹枝合計數			273	390	221	329	1213	x	x
單一樣區平均數			9	13	7	11	40	25	32
單一樣區竹枝數標準差			3.5	7.4	3.6	7.4	15.2	13.6	10.7

¹⁾ 旗山 2 林班竹叢支數調查數據(旗山工作站 2022/08/25 調查)

²⁾ 本研究導出參數

除、成竹及老竹併為老竹)。依據林務局(112 屏竹 1 號)國有林產物標售資訊顯示，本區 2 公頃竹林實際竹枝數量為幼竹 1030 枝、老竹 2354 枝，共計 3384 株，竹枝蓄積量相當於 1692 株/公頃，此一實測值較經驗法則估計值少，現實林竹枝蓄積量約為經驗法則估計值的 0.7554–0.6043 倍或 75%–60%；若以原始造林密度 200 叢、每叢 16-20 株為比較基準，則現實林可用竹株蓄積為原始造林密度的 52%–42%估計之。這些數據顯示，荊竹林分需要適當經營，才有利於國有竹材生產目標的實踐。

(三)竹林高解析影像應用潛力評析

1. 無人機高解析正射影像圖表現竹林現狀

圖 5 所示為本研究無人機 RGB 影像繪製的正射影像圖，影像品質極佳，竹林冠層特徵清晰可辨，顯示所規劃設計產製流程可為竹林管理之應用。圖 5 的竹林冠層分布情況判斷，整體作業區的林分覆蓋率 90%以上，在第 2 林班範圍內黃框所標示的 A-C 區(圖 6-8)，可以清晰看出荊竹冠層特徵，孔隙面積小；相對的，在紅框標示 D 區(圖 9)範圍內，有闊葉樹入侵現象，在紅框標示 E 區(圖 10)內則有裸露現象。由 E 區闊葉樹入侵位置與裸地位置的關係，似乎崩塌所形成的孔隙地在未適當處理前提下，闊葉樹入侵機率較高；這種現象反映適當的竹林管理應可防止林地退化，權衡前一節伐採列區調查法較之經驗法則竹枝蓄積估計值的差異，亦可推論未經管理的竹林可能枯竹佔據竹叢空間，雖然竹林仍有新竹發生，但也相對的限縮竹枝產量的影響，因此，適當的竹林管理及有計畫的竹枝生產作業，應有提升竹子產量的效益。

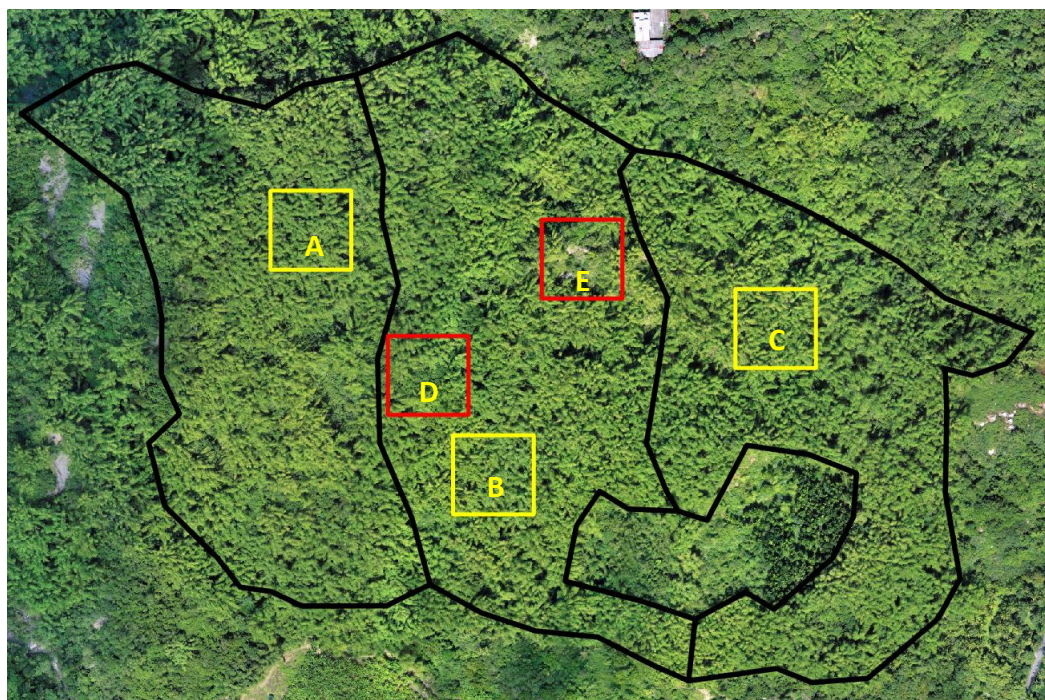


圖 5. 產出正射影像成果與竹林作業區疊合圖
(圖中黃色方框小區 ABC 及紅色方框小區 CD 放大圖詳見圖 6-8 及圖 9-10)



圖 9. A 小區荊竹冠層概況



圖 7. B 小區荊竹冠層概況



圖 8. C 小區 蔴竹冠層概況



圖 9. D 小區 闊葉樹與蔴竹競爭概況



圖 10. E 小區蔴竹林地退化顯示小型崩裸地及闊葉樹入侵概況

2. 竹林竹叢計量評估方法測試

圖 11 所示為本研究利用無人機 RGB 影像正射影像為測試資料，本研究利用 SLIC 技術(simple linear iterative clustering) (Achanta et al., 2012)及 EGS 技術(Felzenszwalb's efficient graph based segmentation) (Felzenszwalb and Huttenlocher, 2004)試行測試竹叢分割的結果。取圖 11a 紅色區域影像為目標測試區(圖 11b)，SLIC 法區劃竹叢邊界較為平滑，有貼近現實的視覺效果(圖 11c)，EGS 分割技術所區劃的竹叢邊界相對於 SLIC 似乎較不平滑。

竹林樣區調查位置係以 Garmin GPS 接收儀於林下取得的定位座標，圖 12(左)紅色點位所示為所有調查樣區位置疊合於所建立的正射影像圖，圖右則為樣區 1/2/4/29 的林分放大圖，測試結果也顯示影像分割法對調查估測竹林竹叢數量具有不錯的潛力。

利用 UAV 高解析影像估計竹林竹叢數量或竹枝數量需要精準的竹叢資訊，有關調查樣區的竹叢地面位置及面積大小、單一竹叢基地範圍及其竹子冠層相對的空間範圍、竹叢竹枝數量資訊，方能將地面資訊與空中資訊有效對應及整合，建立適當模型推估竹林竹枝蓄積。在缺乏前項資訊條件下，面積比例法(公式 3)以實際採收活竹枝數對應於伐採基地面積的比例，估計竹枝蓄積密度應為可行的替代方案。本計畫由 UAV 影像確認伐採基地範圍(圖 14 黃色區)，整體面積為 2.04 公頃，伐採數量為 3384 枝，相當於 1659 枝/公頃，此一估測值與伐採列區調查法實際值 1692 枝/公頃非常接近。因為竹枝數據來自實際收穫資料，二個蓄

積量亦可稱蓄積密度(stock density)不同，主要因林地面積量測來源的些微差異。

$$\text{竹枝蓄積密度} = \text{實際採收活竹枝數} / \text{伐採列區基地面積} \quad (3)$$

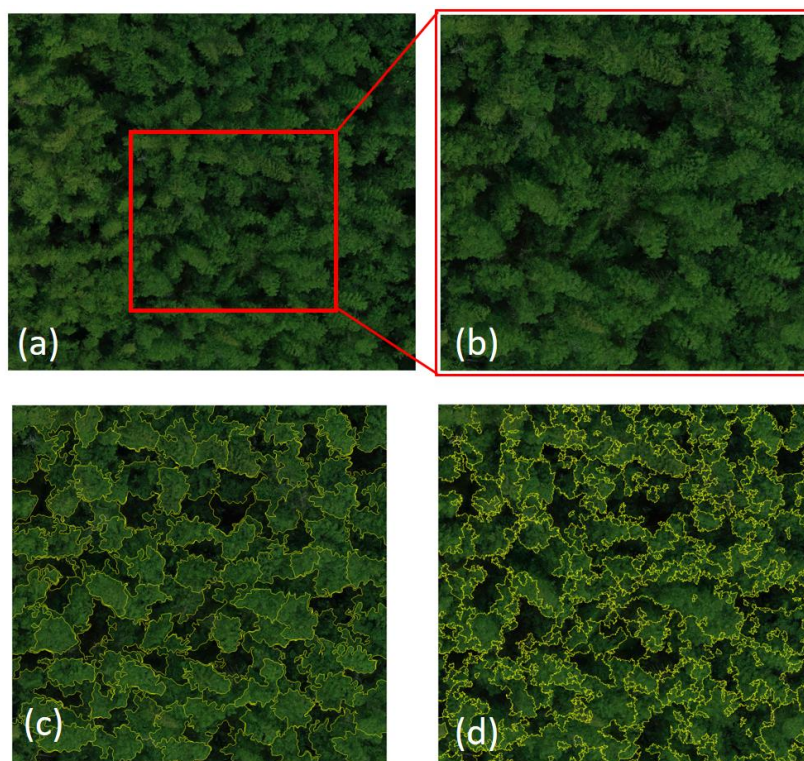


圖 11. 竹子分割結果的例子

(a)竹林影樣試區，(b)位於分圖(a)紅色小區的放大圖像，(c)和(d)為 SLIC 和 EGS 分割法的竹叢多邊形。

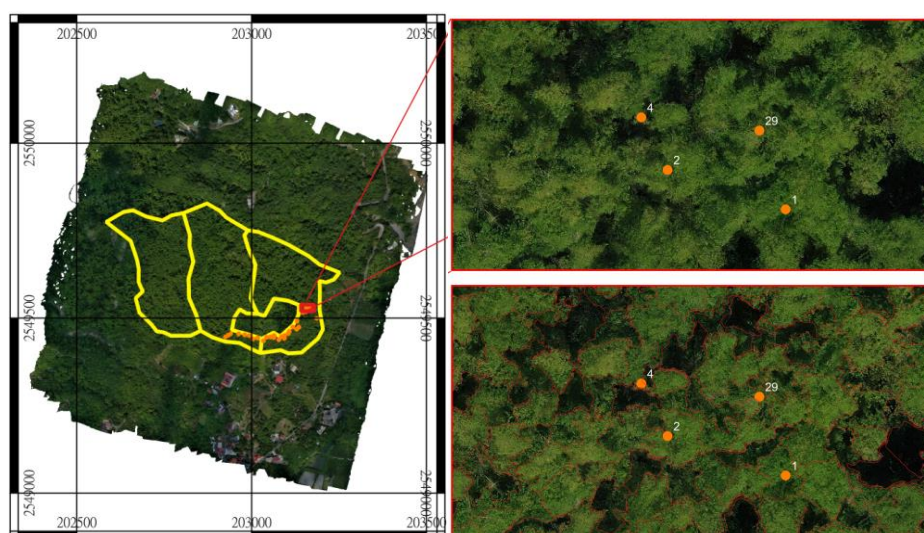


圖 12. 竹林調查樣區 SLIC 竹叢分割結果與調查樣區疊合概況

(左圖黃色區為第 2 林班位置，其中橘色點為沿林道設置穿越線所收集的樣區點為分布圖，右上為調查樣區編號 1/2/4/29 Garmin 接收儀標定樣區位置點位放大圖)

五、結論與建議

(一) 需要調整傳統經驗法則及樣區調查法以適當估計長期未經營竹林竹枝產量

經驗法則普遍應用於森林作業過程，在缺乏適當可資應用參考資訊前提下，經驗法則具有很高的方便性可提供經營者導出決策資訊，而樣區調查法慣行機制也明顯高估每公頃竹枝數量。據瞭解，本竹林長期沒有實務經營或收穫作業，現實林竹枝蓄積密度顯然低於經驗法則及樣區調查估計法，表示經驗法則在類似缺乏經營管理作業的竹林分不適用，或者經驗值需要調校。以實際收穫資料為基礎，保守的每公頃竹枝數量推估值建議為原始造林密度的 50%。

樣區調查法估值高於經驗法則估值，推測原因可能是所定義的樣區面積 0.01 公頃小於調查竹叢實際面積，以致竹株蓄積密度因面積比例而放大，形成現實與調查估計的不一致性；現有竹林竹叢面積因為長期未經營，竹叢的擴張現象使得竹叢實際面積增大，這種現象可供未來實施竹林現場調查之參考。以圖 13(a)為例，2023/02/07 伐採基地現場拍攝照片，竹叢由大量竹枝組成，竹冠涵蓋範圍大；圖 13(b)顯示竹叢物理大小參數為(H:28.3m, Radius: 10.5, Width: 21m)，圖 13(c)顯示竹叢物理大小參數為(H:26.1m, Radius: 6.8, Width: 13.6m)，兩個竹叢地面間距約 15 公尺。依據造林指導原則，以蔴竹竹林栽植密度 200 叢/公頃標準換算叢距約 7 公尺，現實林的叢距可能大於 7 公尺。

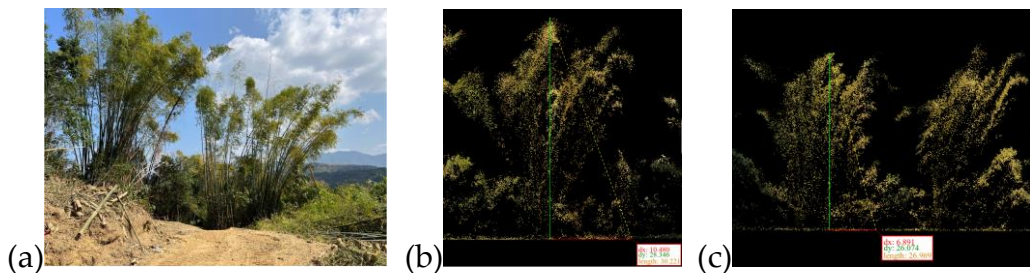


圖 13. 作業區竹叢概況(a)及 UAV 光達點雲影像(b,c)顯示竹叢物理參數示意圖

(二) 建立應用 UAV 遙測技術於竹林經營作業機制的必要性

成果圖顯示，UAV 高解析正射影像提供影像資訊足以偵測竹叢竹枝分布的空間資訊，雖然缺乏可以表現空間資訊的地面調查具體資料，但本研究測試結果顯示影像竹枝分群的可行性很高，我們應用 UAV 光達影像(圖 14)所收集得到的進階竹林資訊亦支持此一論點，圖中影像清晰可辨識竹子冠層特徵，結合圖 13(b,c)顯示竹叢竹枝立體結構資訊，有必要適當的整合地面調查空間資料與 UAV 高解析影像資料，利用數學模型可以建立竹林經營竹枝產量推估模型，以供竹林經營實務之應用。

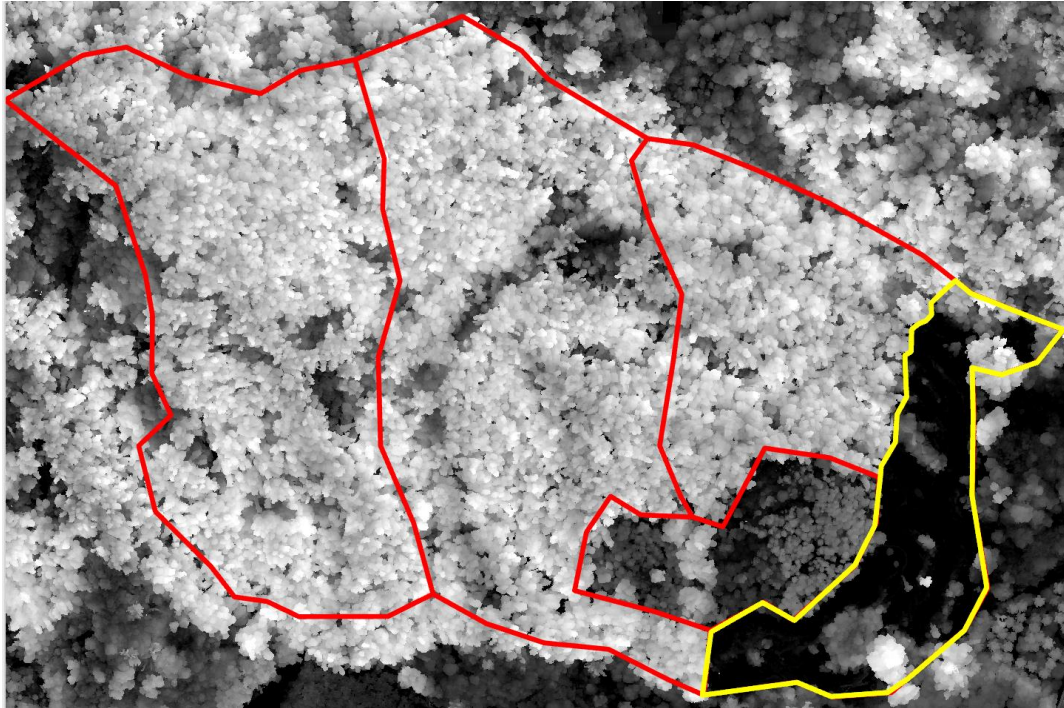


圖 14. 竹林作業區 UAV 光達影像(黃色區為伐採列區，面積 2.0410 公頃)

(三)推動竹林生產區永續經營需要伐期伐區規劃以調適產能並降低景觀衝擊

蔴竹林長期經營以生產竹枝為標的，收穫作業主要採用竹叢竹枝皆伐方式為之，此一作業方案已保留闊葉樹併皆伐蔴竹為原則，這種作業機制為留伐作業法的重要特徵，而與擇伐作業法相去較遠。留伐作業法主要關注「甚麼該被保留而非甚麼可以移除」(林金樹, 2018)，循此，本研究建議在實踐國有林竹木生產目標前提下，規劃伐採後的竹林空間結構，應該可同時兼顧竹材生產及竹林多元價值的實現。換言之，一個經濟竹林經營區宜就年伐區及竹枝年收穫量(產能)目標進行年伐區區劃作業(land division)，從降低森林景觀空間不協調性，採用基於區位空間的森林孔隙開放度控制機制(region-based forest gap openness regulations)，全林分成若干區位(regions)，每年分別就各個分區的年伐區實施伐採收穫，依據區位森林孔隙開放度及全林整體孔隙開放度，控制生產竹枝，以實踐永續經營的目標。透過經常性的林分經營機制，既可降低竹材生產區可能因局部土地退化現象，也可避免竹林過度向外擴張侵入鄰近闊葉樹林分，維護其以木材生產為導向的森林經營目標。

六、參考文獻

1. Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P., & Süsstrunk, S. (2012). SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 34(11), 2274-2282.

2. Felzenszwalb, P. F., & Huttenlocher, D. P. (2004). Efficient graph-based image segmentation. *International journal of computer vision*, 59(2), 167-181.
(Felzenszwalb's efficient graph based segmentation)
3. Lin, C. (2014). Analysis of the current situation of bamboo and wood production and sales in Taiwan and measures to revitalize the industry. Technical Report: tfbp-1020510. Taiwan Forestry Bureau. 167p.
4. Manabe, T., Shibata, S., Hasegawa, H., Ito, K. (2020). Trends and issues of landscape ecological studies on range expansion of bamboo forests in Japan: perspective for sustainable use of bamboo forests. *Landscape Ecology and Management*, 25, 119-135.
5. Suzuki, S., Nakagoshi, N. (2008). Expansion of bamboo forests caused by reduced bamboo-shoot harvest under different natural and artificial conditions. *Ecological Research*, 23(4), 641-647.
6. 林金樹 (2018) 森林經營學理論釋義。五南圖書出版公司。552頁。