

運用空載光達資料進行森林調查

簡報人：明新科技大學土環系專任副教授兼系主任
張崑宗

03-5593142 #3280

0921214694

ktchang@must.edu.tw

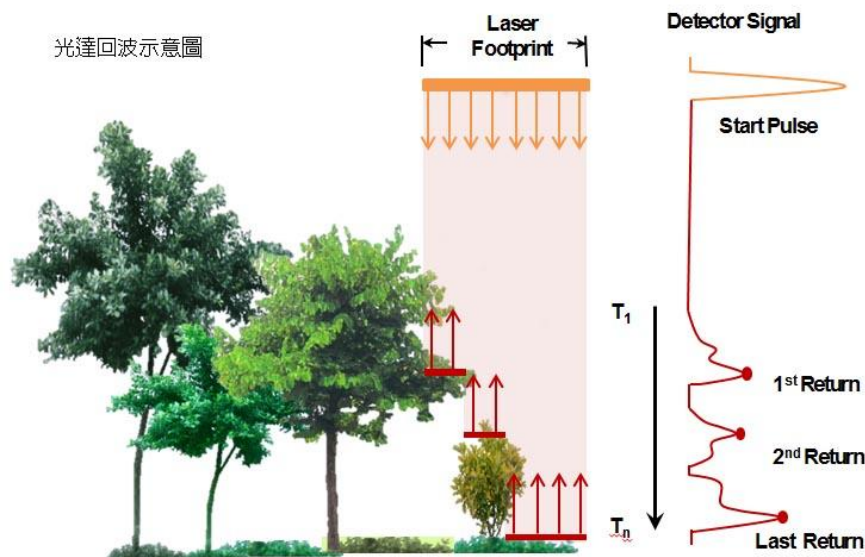
ktchang1216@gmail.com

簡報大綱

1. 空載光達之演進及本研究目標
2. 空載光達於森林調查研究成果一
3. 空載光達於森林調查研究成果二
4. 結論與建議

Light Detection And Ranging (LiDAR)

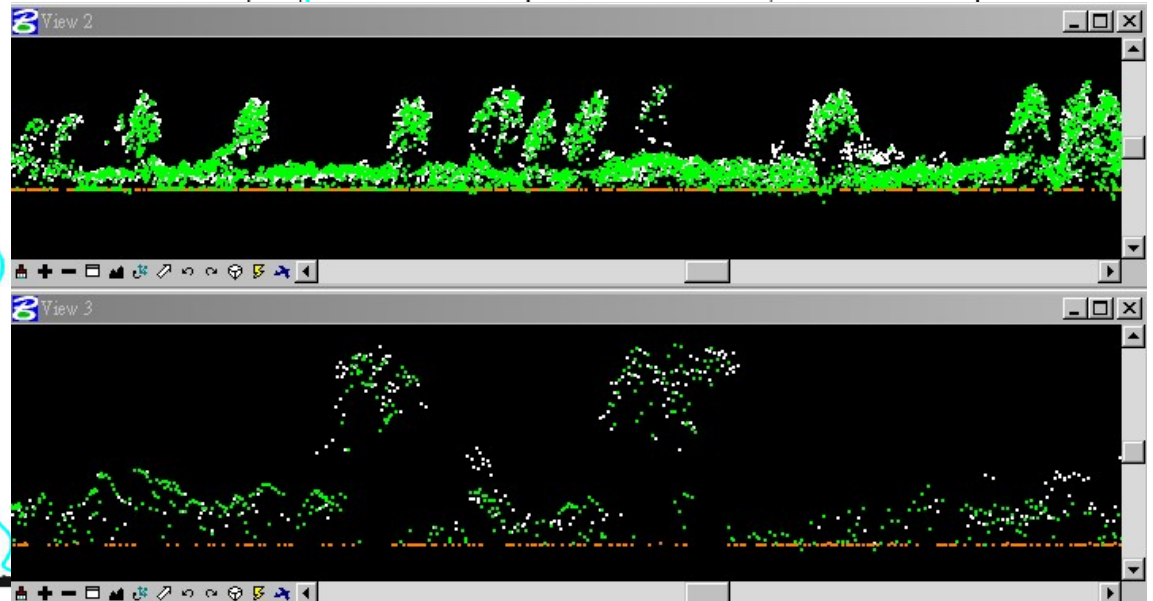
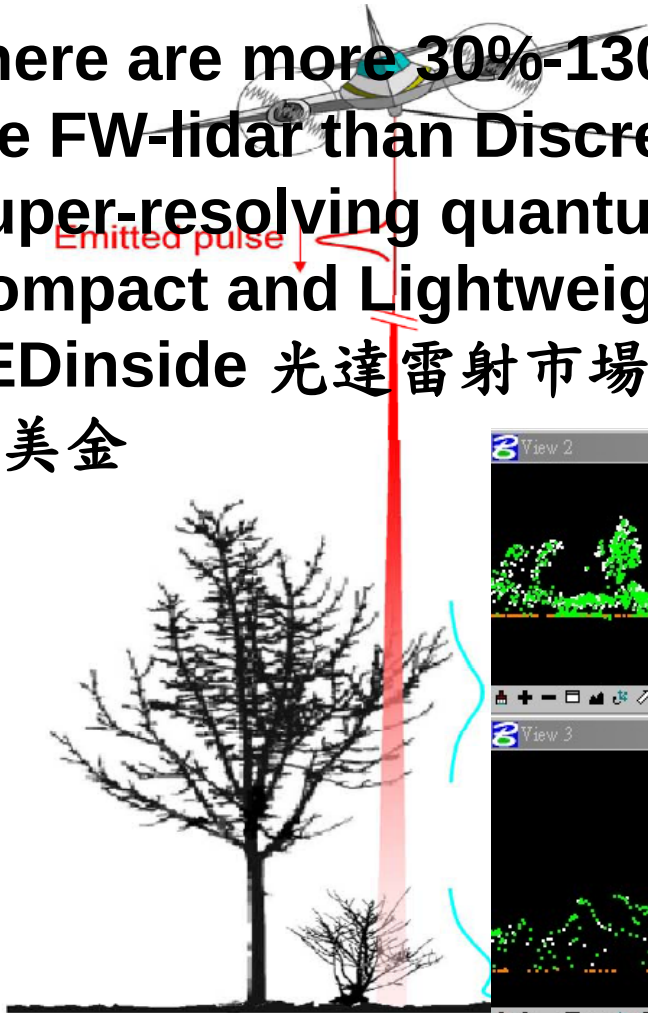
- 主動式遙測技術
- 直接地理定位: 雷射測距+POS
 - ◆ 脈衝率(Pulse Repetition Rate) 可達800kHz
 - ◆ 位置精度高於 5cm
 - ◆ 每小時測量範圍超過100Km²
 - ◆ 產製1m 網格 DSM 及 DEM產品
 - ◆ 多重回波



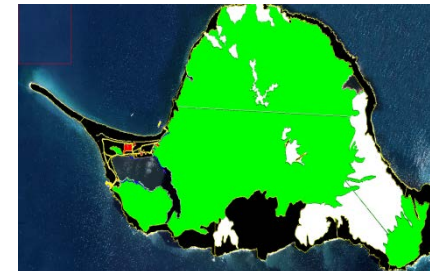
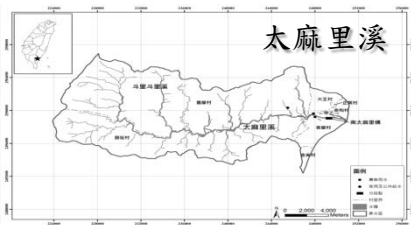
項目	圖樣描述
景物	
裸露地表	
地物	

Full-Waveform LiDAR

- There are more 30%-130% points can be extracted via the FW-lidar than Discrete-lidar method.
- Super-resolving quantum LiDAR
- Compact and Lightweight LiDAR
- LEDinside 光達雷射市場產值於2023年將有機會到達1.91億美金

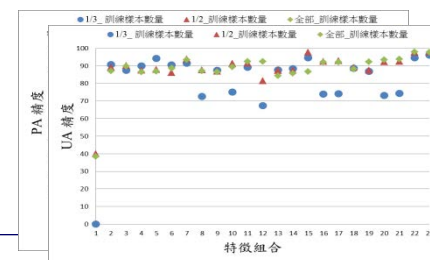
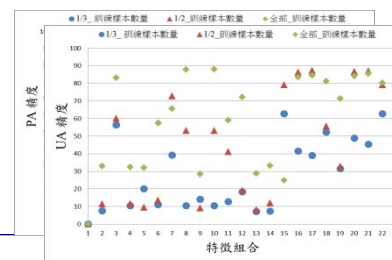
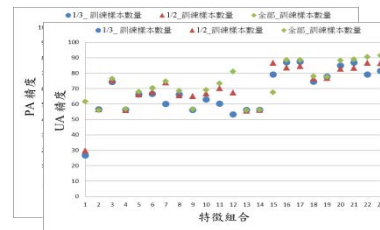
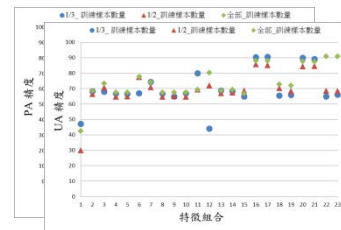
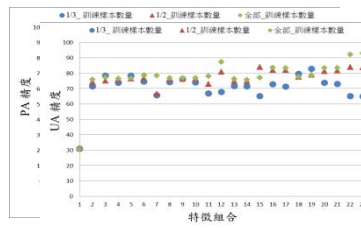
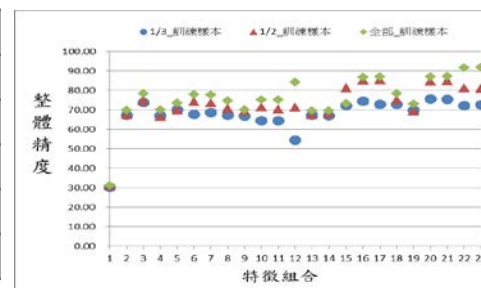


空載光達應用案例一

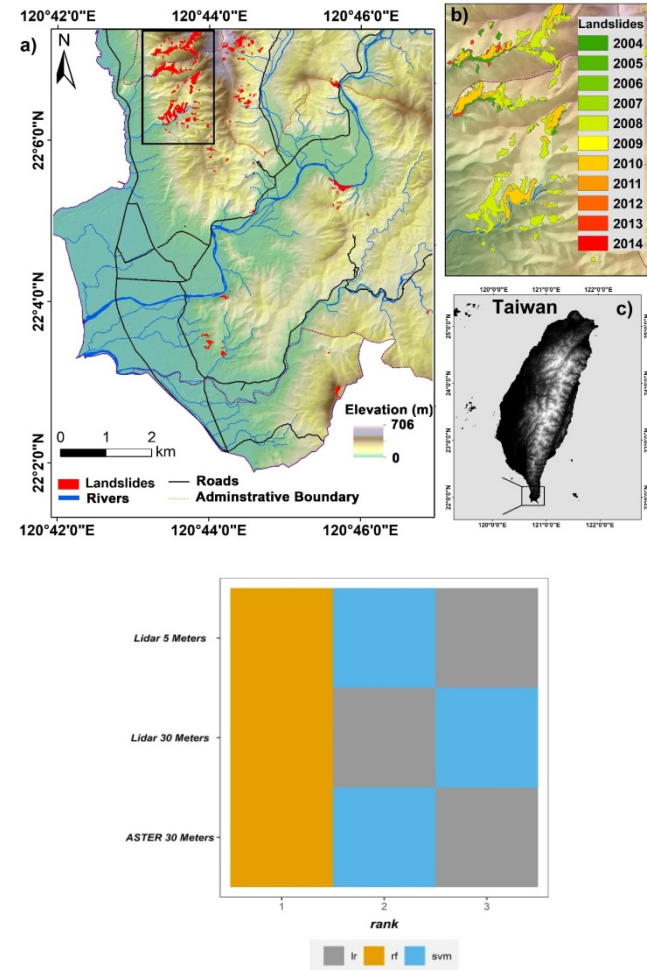


特徵組合	特徵種類
Set 1	R.G.B.
Set 2	RGB+Greenness
Set 3	RGB+NDVI
Set 4	RGB+DEM
Set 5	RGB+OHM
Set 6	RGB+DEM_Aspect
Set 7	RGB+DEM_Slpoe
Set 8	RGB+DEM_Entropy
Set 9	RGB+DEM_Variance
Set 10	RGB+DSM_Entropy
Set 11	RGB+DSM_Variance
Set 12	RGB+Gabor
Set 13	RGB+波寬
Set 14	RGB+振幅
Set 15	RGB+正規化振幅
Set 16	RGB+DEM_地形
Set 17	RGB+DSM_地形
Set 18	RGB+波形
Set 19	RGB+波形(正規化振幅+波寬)
Set 20	光譜+DEM_地形+波形
Set 21	光譜+DSM_地形+波形
Set 22	光譜+DEM_地形+波形(正規化振幅+波寬)
Set 23	光譜+DSM_地形+波形(正規化振幅+波寬)

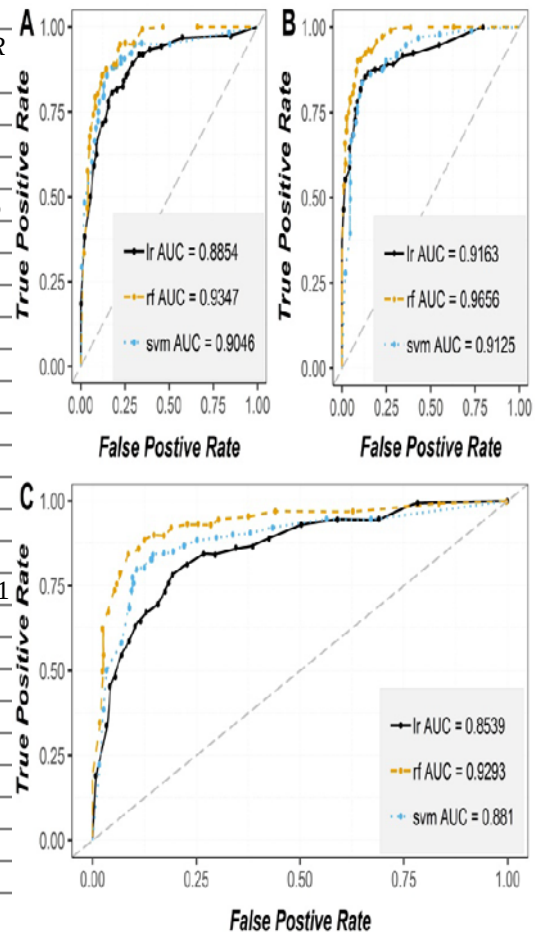
類別	像元數
木本	1,648,391
草本	392,848
裸露地	520,507
道路	10,676
建築物	4,466



空載光達應用案例二

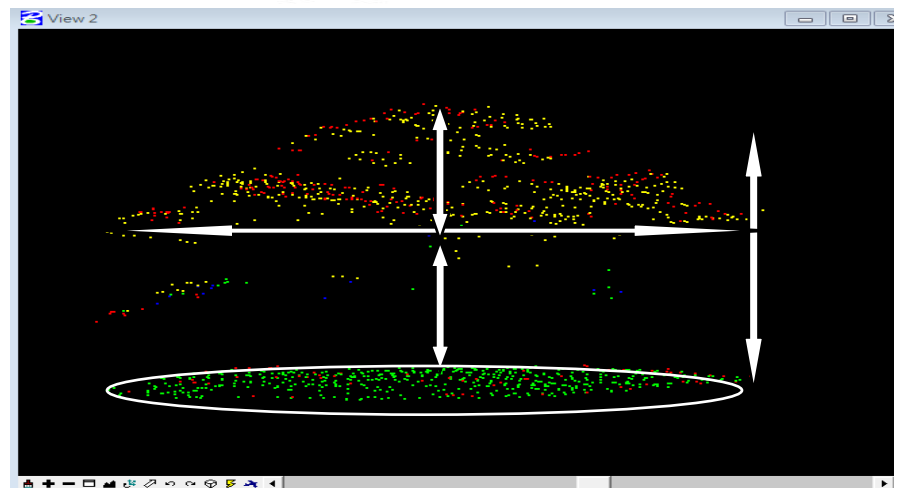
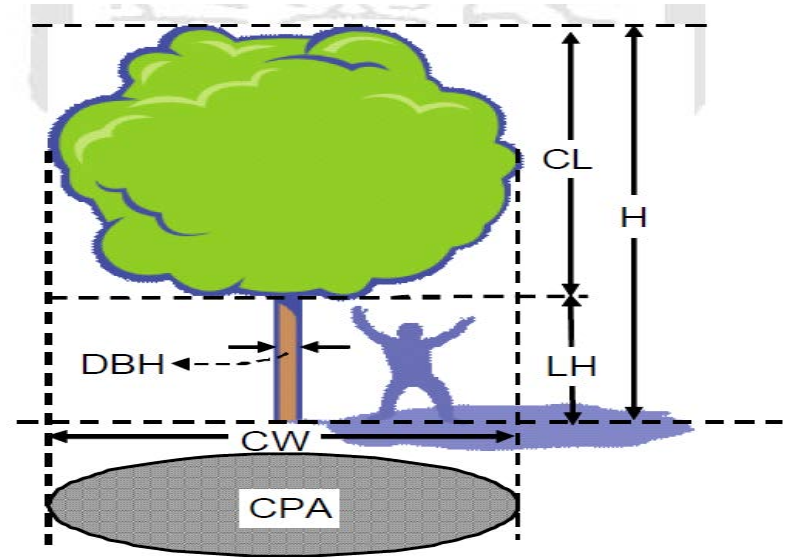


Factors	Range	CF Values		
		CF Values		
		Lidar DEM	ASTER DEM	ASTER DEM
Elevation	0~63	-0.7778	-0.879	-0.799
	63~145	-0.313	-0.2743	-0.360
	145~242	0.34225	0.346291	0.278466
	242~383	0.6922	0.68049	0.696270
	383~706	0.80953	0.789	0.797
Slope (°)	0~15	-0.8637	-0.877	-0.408
	15~29	-0.813	-0.808	-0.238
	29~40	-0.679	-0.583	0.174
	40~78	0.6879	0.634	0.322
	78~128	0.6828	0.6468	0.837
Aspect	0~68	-0.673	-0.666	-0.376
	68~128	0.488	0.525	0.353
	128~190	0.6401	0.60116	0.499
	190~247	0.16965	0.141284	0.208
	247~302	-0.718	-0.673	-0.536
TRI	302~360	-0.65375	-0.554	-0.562
	0~13	-0.88755	-0.888	-0.930
	13~14	-0.699	-0.64	-0.958
	14~23	0.497	0.588	0.677
	23~36	0.88299	0.8326	0.71139
Plan curvature	36~49	0.92579	0.92318	-0.543
	49~116	0.9345	0.92566	0.584
	>116	0.907	0.906	-1



樹冠結構參數

- 樹高 (H)
- 樹冠幅 (又稱樹冠直徑, CW)
- 枝下高 (LH)
- 林木胸徑 (DBH)
- 樹冠投影面積 (CPA)



以琉球松點雲圖為例

研究目標

- 探討不同冠層高程模型(CHM)產生方法對於單一立木相關參數，如樹高、胸徑(DBH)推求上之影響
- 運用全波形光達技術，發展立木樹冠垂直結構模型
- 以立木樹冠垂直結構模型為核心，擴展建立試驗林區林分多元面向的樹冠垂直結構之光達波形特徵。

研究成果一

不同冠層高程模型(CHM)產生方法對於 單一立木冠層相關參數萃取之影響

■全波形光達資料於都市林樹冠結構特徵分析之研究，科技部一般型專題計畫 MOST 104-2119-M-159-001 -

■張育昇，應用光達資料於單木樹冠描繪演算法之比較研究，明新科大土環所106年碩士論文

■Kuan-Tsung Chang, Chinsu Lin, Yu-Ching Lin, Jin-King Liu, Comparison of Different Algorithms for the Generation of Canopy Height Models, International Symposium on Remote Sensing (ISRS) 2015, Tainan, Taiwan, April 22 – 24, 2015.

■K. T. Chang, C. Lin, Y. C. Lin, J. K. Liu, Accuracy assessment of crown delineation methods for the individual trees using lidar data, XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech, July, 2016

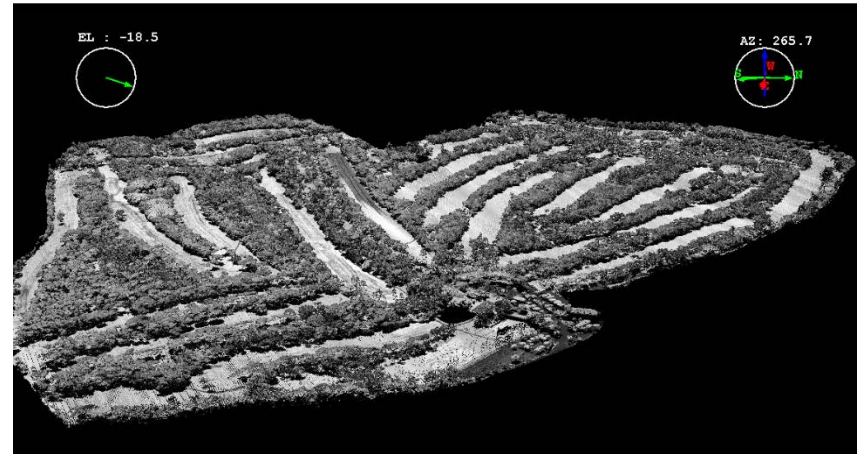
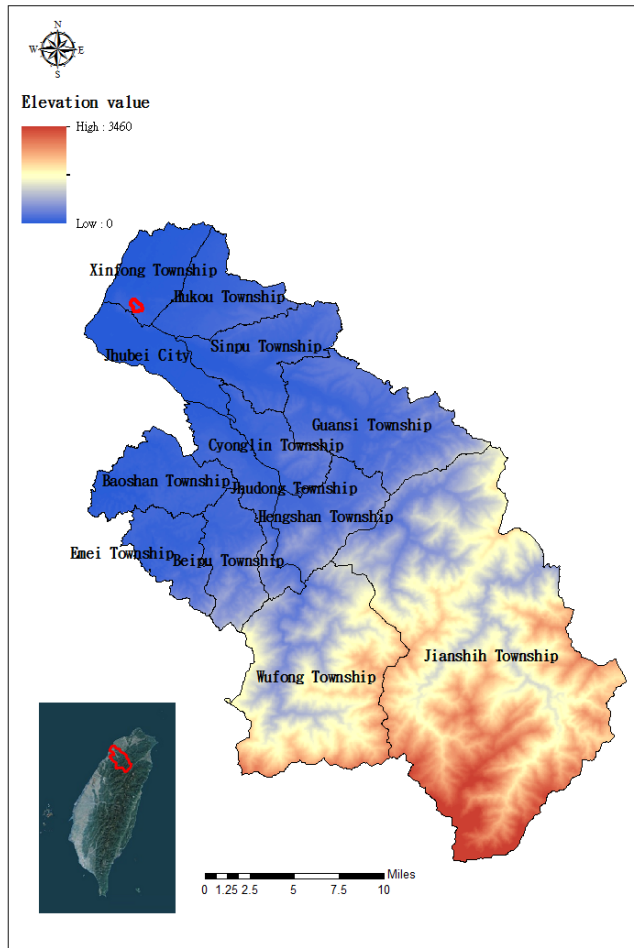
Methods of Tree Crown Delineations

- To estimate the forest canopy structures or individual crown structure by LIDAR technology, it is a good method (Lin et al., 2011; Lo & Lin, 2013).
- Plot-based method
 - ✓ Growth competition
 - ✓ Unreasonable assumptions in a fix stand density and uniform distribution
- Tree-based method
 - ✓ Canopy parameters of individual trees, tree height and crown width, can be extracted from the Canopy Height Models (CHMs).

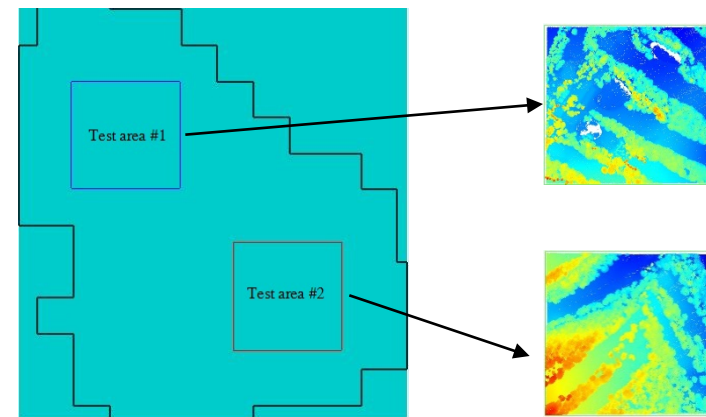
The aim of this study

- To perform a comparison of different CHMs generation methods for subsequent processes of the extraction of volumetric parameters of a single tree either directly or indirectly.
- Contents of paper including:
 - ◆ CHMs generation: DSM-DEM, and a pit-free approach.
 - ◆ Two individual tree delineation methods, a multilevel morphological active-contour (MMAC) and a variable window filter (VWF), are conducted.
 - ◆ Two methods for individual trees can be evaluated with manually measured stand-level parameters.

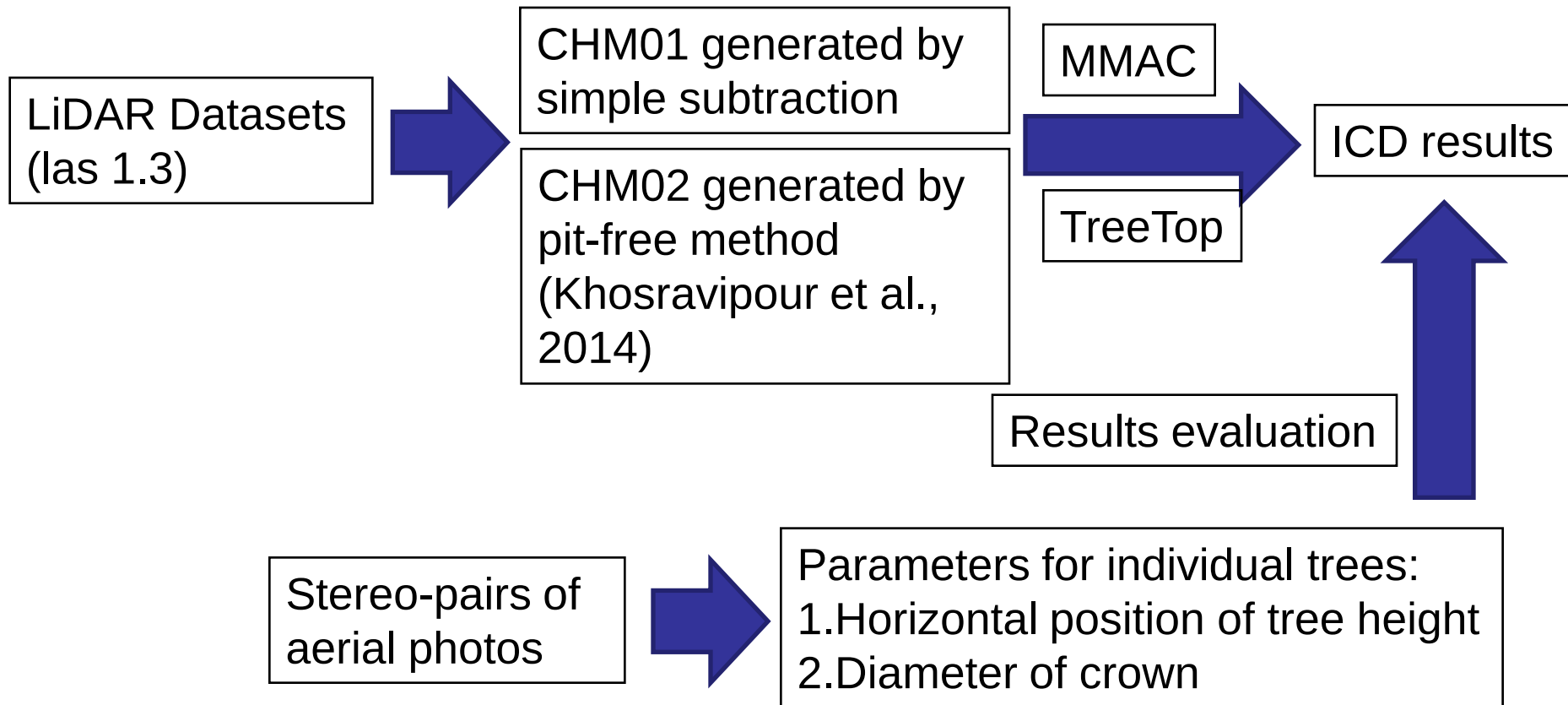
Study area



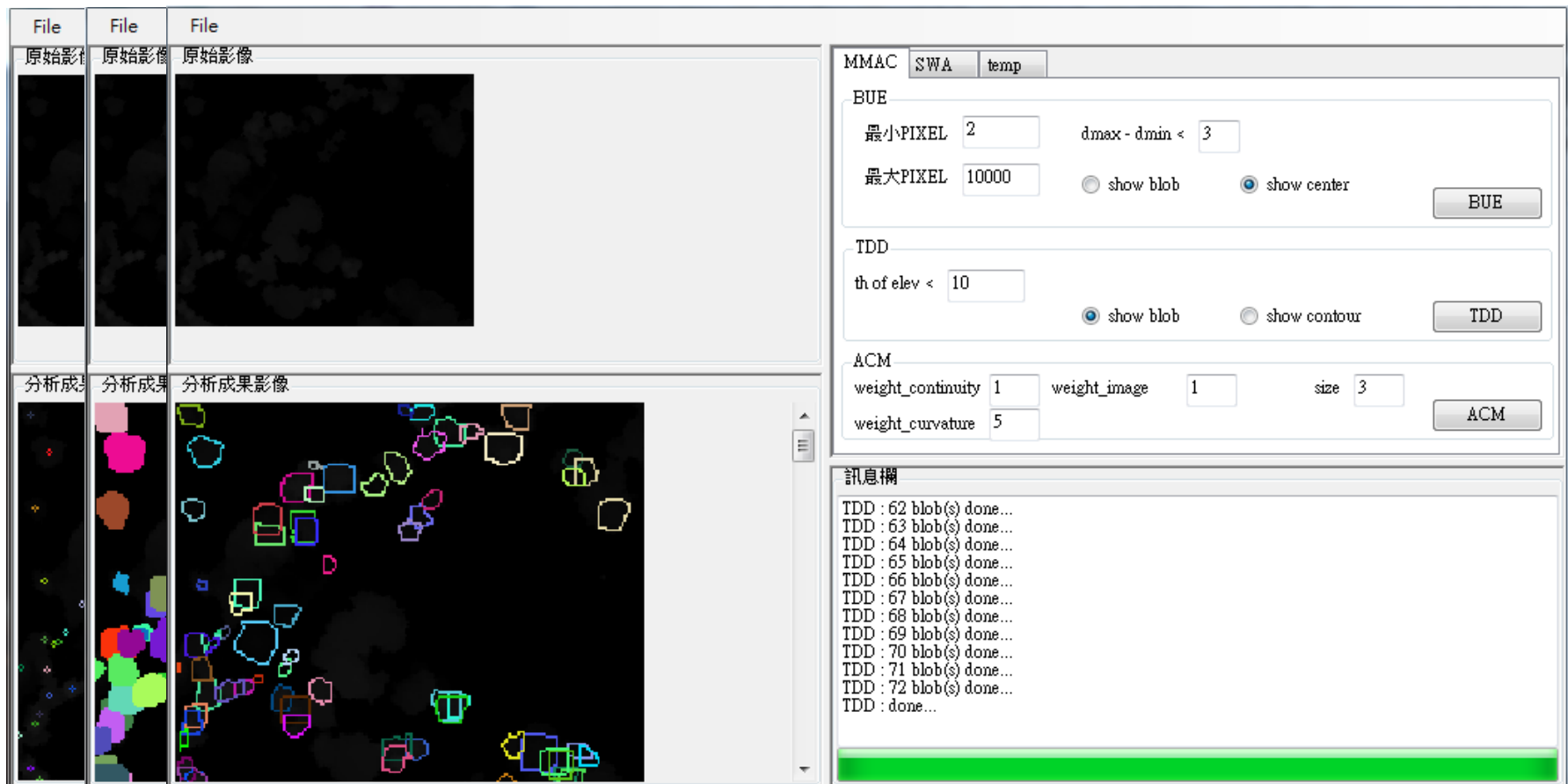
The point cloud covering the study area



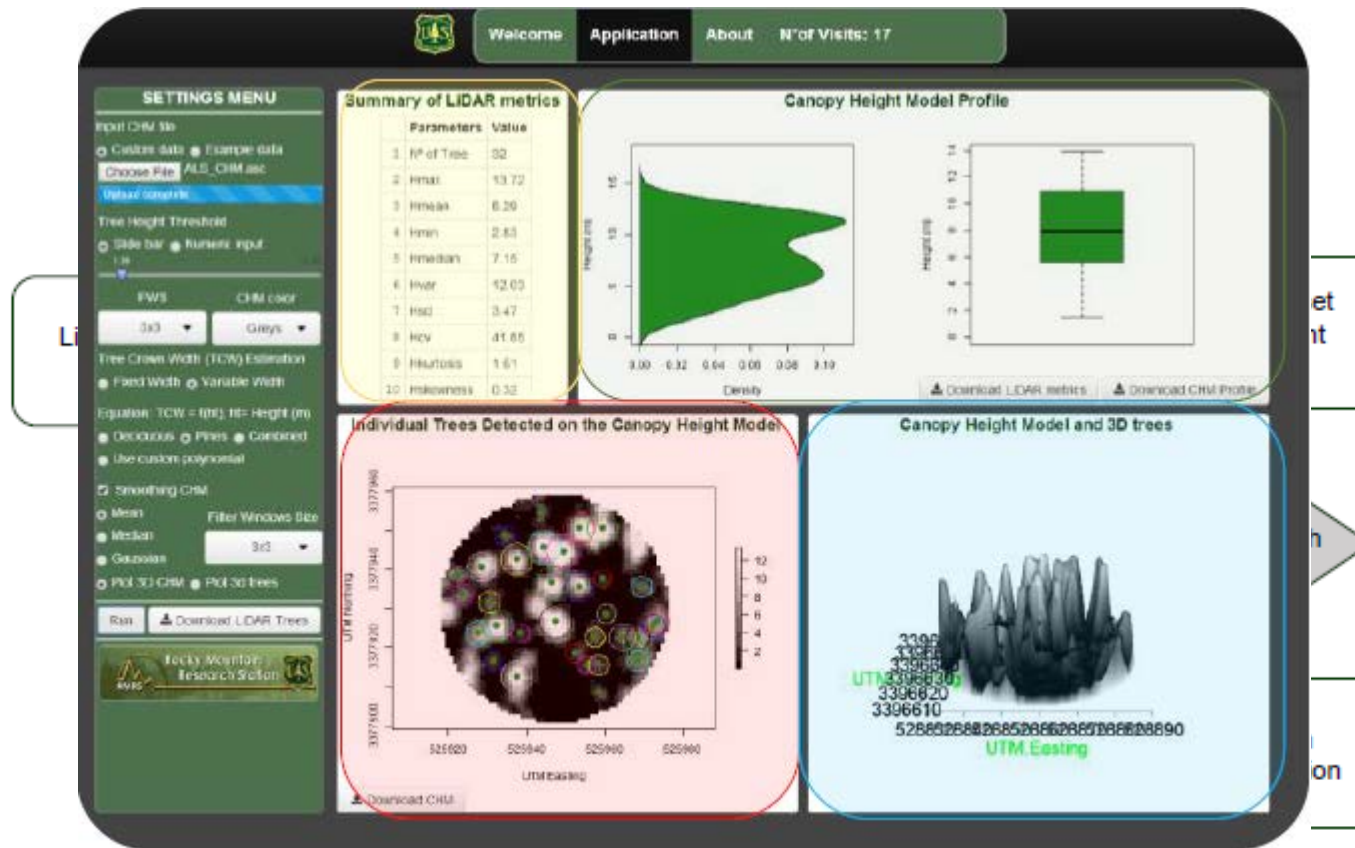
A workflow of ICD processing and assessment



Proceession procedures of multilevel morphological active-contour (MMAC) algorithm



Proceession procedures of a TreeTop application



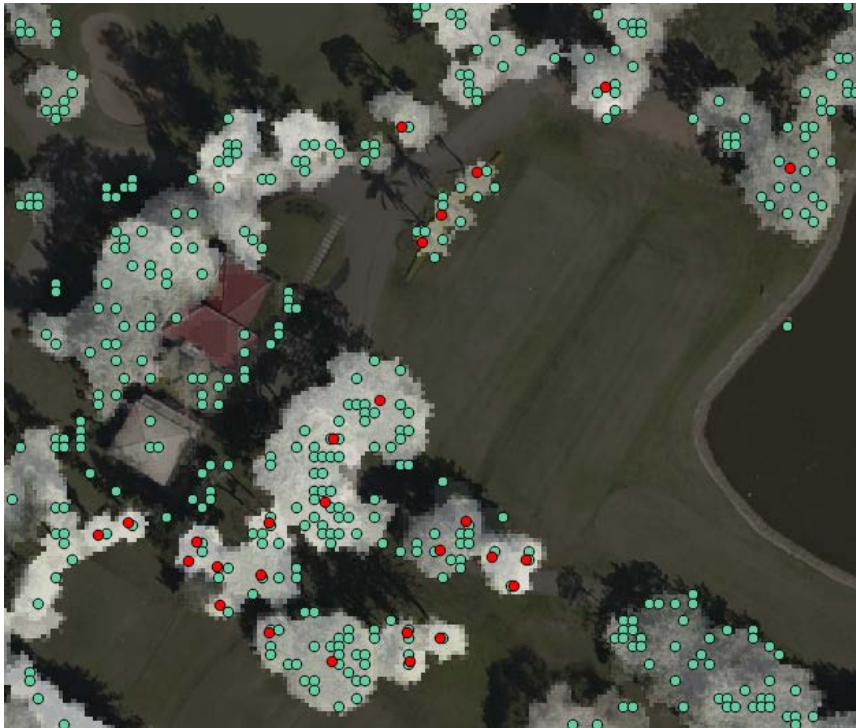
(Silva, et al., 2014)

Reference data measured via stereo measurement

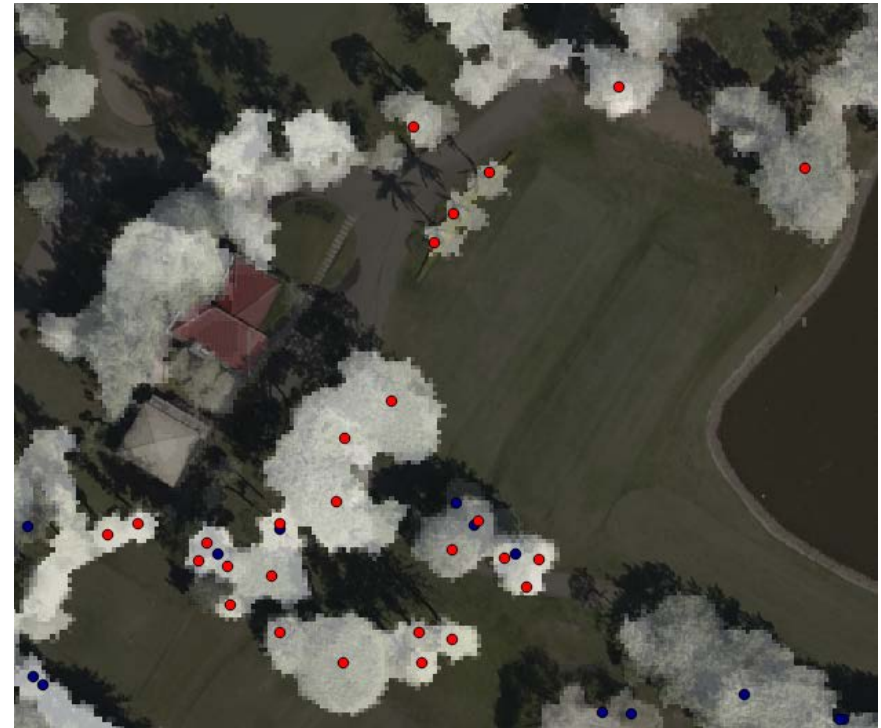


Tree #	E	N	Tree_H	CW_max	CW_min
1	247594.809	2752591.692	11.72	12.73	9.75
2	247573.392	2752601.094	15.97	8.78	6.11
3	247549.766	2752596.455	13.83	4.94	3.5
4	247558.385	2752591.233	9.25	5.23	4.22
5	247554.32	2752586.414	10.16	6.01	3.67
6	247552.126	2752583.157	7.37	4.77	4.51
7	247547.145	2752564.868	15.76	14.08	9.31
8	247541.829	2752560.574	16.33	11.24	8.4
9	247540.9	2752553.237	16.39	9.45	7.11
10	247557.14	2752551.029	12.99	5.85	4.79
11	247554.175	2752547.691	12.7	5.43	4.56
12	247560.167	2752546.832	25.49	3.65	2.53
13	247564.156	2752546.584	19.77	3.45	3.03
14	247562.696	2752543.454	22	3.75	3.09
15	247554.181	2752537.456	19.92	4.41	3.59
16	247550.416	2752538.185	15.23	3.75	3.51
17	247550.653	2752534.732	22.31	3.62	3.45
18	247541.559	2752534.722	14.36	12.07	11.67
19	247534.344	2752538.175	13.5	5.13	3.08
20	247533.415	2752544.795	14.62	7.4	5.51
21	247534.357	2752550.777	18.69	5.73	3.58
22	247528.575	2752541.334	16.8	2.84	2.74
23	247528.37	2752545.799	18.6	3.39	2.39
24	247525.894	2752548.537	21.88	3.75	3.04
25	247524.976	2752546.443	17.96	3.3	2.35
26	247517.913	2752550.851	20.96	3.08	3.07
27	247514.409	2752549.436	24.94	3.28	2.97

ICD results using simple subtraction CHMs

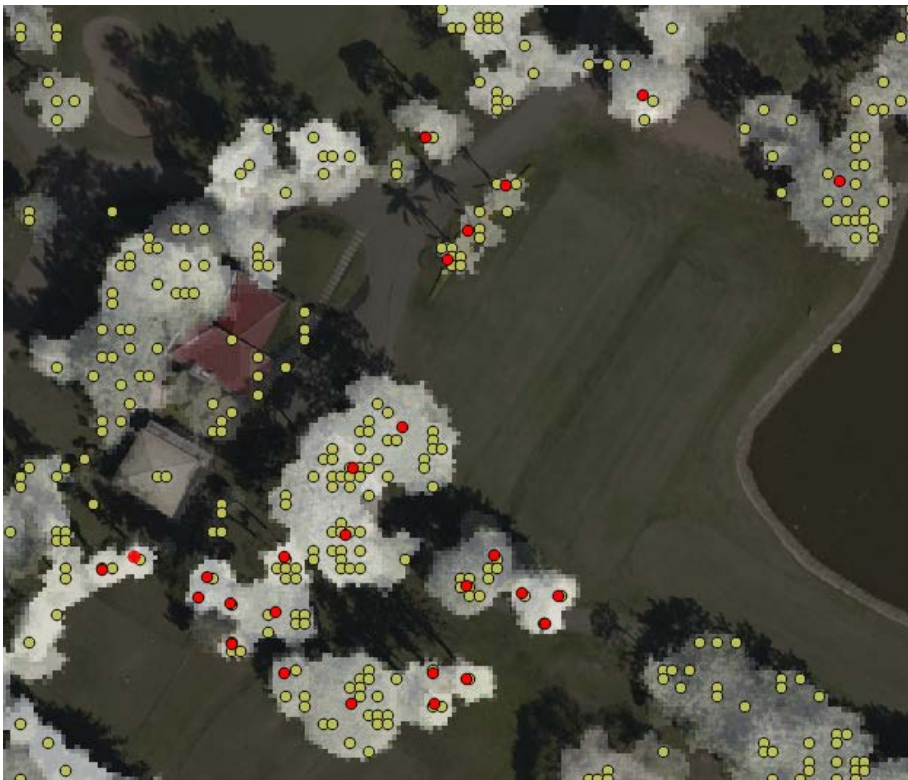


(a).Extraction result of a TreeTop application



(b).Extraction result of the MMAC method

ICD results using pit-free CHMs



(a). Extraction result of a TreeTop application



(b). Extraction result of the MMAC method

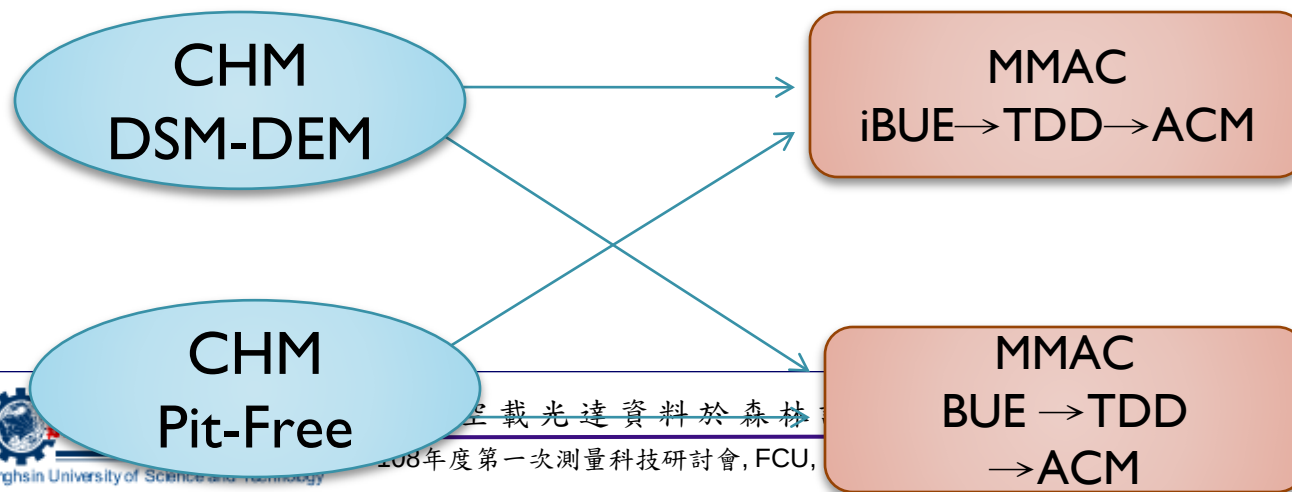
More extracted ICD results by modified MMAC method

- An iterative BUE procedure used
- Parameters setup
 - ✓ Min pixel:3
 - ✓ Max pixel:1000
 - ✓ $D_{\max}-D_{\min}<1$
- Result assessment
 - ✓ Correctness>90%
 - ✓ Difference < 1.5 m



Accuracy assessment for MMAC

- CHM1(DSM-DEM) vs. CHM2(pit-free)
- Iterative BUE (iBUE) vs. original BUE in MMAC method
- Parameters setup
 - ✓ Min pixel:3
 - ✓ Max pixel:1000
 - ✓ Dmax-Dmin<1
- 比對程式中設定樹頂位置差值3M，樹高差值3M



CHM1 and iBUE

- 比對成功18棵，萃取成功率67%
- 樹頂位置標準差1m、樹高標準差0.8m、冠幅直徑標準差3m

檢核資料共 27 顆
實測萃取資料共 633 顆
比對成功 18 顆
萃取成功比例 0.67
萃取誤判比例 0.97

比對成果

index	delta_E	delta_N	delta_Height	delta_long_diameter	delta_short_diameter
0	0.670	-1.167	-0.146	9.438	9.492
2	1.181	-0.877	-0.560	2.473	4.410
3	-2.656	0.539	-0.580	2.150	2.234
8	-0.994	-0.565	-1.026	-0.393	0.011
11	-1.433	0.232	1.597	2.236	2.236
12	0.842	-2.309	-0.100	2.691	2.691
13	-0.231	0.537	0.120	0.973	0.973
14	0.109	-1.064	0.194	-0.771	1.101
15	0.786	0.920	1.197	4.295	4.335
17	0.776	1.211	0.190	4.850	5.850
18	-0.100	1.328	-1.103	4.738	7.740
19	0.374	-1.517	-0.310	7.136	8.895
20	1.690	-0.223	-0.453	9.976	11.735
22	-0.680	-1.586	0.773	4.010	6.010
23	-0.115	-0.067	-1.417	2.196	3.090
24	-0.358	-1.308	0.627	9.944	9.944
25	-0.734	-0.545	-0.676	3.526	3.526
26	0.937	-2.088	-1.096	5.474	6.731
平均值	0.004	-0.475	-0.154	4.163	5.056
標準差	1.026	1.075	0.801	3.152	3.341

CHM1 and BUE

- 比對成功10棵，萃取成功率37%
- 樹頂位置標準差0.8m、樹高標準差0.9m、冠幅直徑標準差3m

檢核資料共 27 顆
實測萃取資料共 257 顆
比對成功 10 顆
萃取成功比例 0.37
萃取誤判比例 0.96

比對成果

index	delta_E	delta_N	delta_Height	delta_long_diameter	delta_short_diameter
2	1.181	-0.877	-0.560	2.473	4.410
8	-0.994	-0.565	-1.026	-0.393	0.011
11	-2.127	0.185	1.170	-3.015	0.612
13	-0.231	0.537	0.120	0.973	0.973
14	0.109	-1.064	0.194	-0.771	1.101
15	0.786	0.920	1.197	4.295	4.335
19	0.229	-1.026	0.117	9.826	9.826
22	-0.680	-1.586	0.773	4.010	6.010
23	-0.115	-0.067	-1.417	2.196	3.090
25	-0.567	-0.378	-0.676	3.090	3.686
平均值	-0.241	-0.392	-0.011	2.268	3.405
標準差	0.887	0.746	0.854	3.330	2.839

CHM2 and iBUE

- 比對成功24棵，萃取成功率89%(Dmax-Dmin=3)
- 樹頂位置標準差0.5m、樹高標準差0.8m、冠幅直徑標準差2.8m

檢核資料共 27 顆
實測萃取資料共 333 顆
比對成功 24 顆
萃取成功率 0.89
萃取誤判比例 0.93

比對成果

index	delta_E	delta_N	delta_Height	delta_long_diameter	delta_short_diameter
0	0.609	0.775	0.286	7.235	9.047
1	0.295	0.969	-1.181	1.981	4.707
2	-0.567	1.163	-1.034	4.440	4.940
3	0.299	0.716	-1.040	0.647	1.501
4	-0.646	-0.052	-0.130	0.566	2.757
5	-1.148	-0.891	-2.920	0.191	0.580
6	-0.969	1.277	-0.247	7.528	8.495
7	0.288	0.788	-0.821	3.816	3.997
8	-0.231	0.749	-1.904	3.099	3.686
9	-0.289	-0.485	-0.731	0.145	1.893
10	-0.001	0.426	0.123	-0.741	0.778
11	0.091	-0.016	0.336	-1.653	-0.053
13	-0.190	-2.146	-2.011	-2.120	-0.775
14	-0.580	0.195	0.482	-0.916	0.138
16	0.219	-0.821	-0.558	-2.781	-1.163
17	0.675	-0.689	-0.504	3.013	3.997
18	0.256	-0.001	-1.364	-0.428	1.915
19	0.883	0.827	-1.387	2.572	3.119
20	-0.200	-0.266	0.396	-0.045	1.689
21	0.059	-0.521	0.793	-2.232	-0.312
22	-0.733	-0.422	-1.981	-1.771	0.255
23	-0.244	0.949	-0.988	-2.352	-1.534
24	0.776	-1.357	-2.621	-1.569	2.291
26	-0.032	-0.358	-0.214	-3.037	-0.522
平均值	-0.058	0.034	-0.801	0.650	2.143
標準差	0.527	0.848	0.980	2.923	2.712

CHM2 and BUE

- 比對成功12棵，萃取成功率44%(Dmax-Dmin=3)
- 樹頂位置標準差0.9m、樹高標準差1m、冠幅直徑標準差1.3m

檢核資料共 27 顆
實測萃取資料共 63 顆
比對成功 12 顆
萃取成功比例 0.44
萃取誤判比例 0.81

比對成果

index	delta_E	delta_N	delta_Height	delta_long_diameter	delta_short_diameter
1	0.482	-0.768	-0.558	-2.955	-1.625
2	-0.491	-0.013	-0.661	-0.536	0.220
5	-0.354	-0.047	0.793	-0.458	-0.023
8	1.748	2.299	-1.981	-3.200	-2.129
11	-2.161	0.298	0.336	-1.626	-0.064
13	-0.227	0.476	-0.988	-1.949	-0.841
14	-0.258	-0.370	-0.214	-3.479	-0.632
15	0.128	1.120	0.396	-0.036	0.927
22	0.876	2.025	-0.130	0.769	1.735
23	0.212	0.887	-1.040	0.509	1.323
25	-0.992	-1.090	-1.034	-1.498	0.735
26	0.137	-0.324	-1.181	0.330	2.202
平均值	-0.075	0.374	-0.522	-1.177	0.152
標準差	0.922	1.003	0.758	1.431	1.260

成果一分析與討論

1. The extraction results indicate that there are too many duplicated tree tops found in a TreeTop application, even though an interpolating procedure had been considered, using pit-free CHM data.
2. The duplicated treetops appeared in the TreeTop results had been significantly eliminated by the MMAC method.
3. The correctness of the MMAC method using CHM1 data only is 44% showing that the “holes” in the CHM data without point interpolation will cause more crown fragmentation and thus reducing the accuracy in the individual crown delineation.
4. The correctness using CHM2 and iBUE can be 89% or even higher.
5. More detailed comparison and field verification will be given in the future research.

研究成果二

運用全波形光達技術，發展立木樹冠垂直結構模型

■陳克復、姜守謙、張崑宗，全波形光達於都市地區樹冠結構特徵統計初探，第三十四屆測量及空間資訊研討會，

August 27-28, 2015, Ilan, Taiwan

■應用全波形光達於都市地區樹冠結構特徵分析(陳克復，明新科大土環所103年碩士論文)

案例研究

■ 台灣低海拔地區常見樹種，琉球松、溼地松及椰子樹做為樹冠結構分析對象

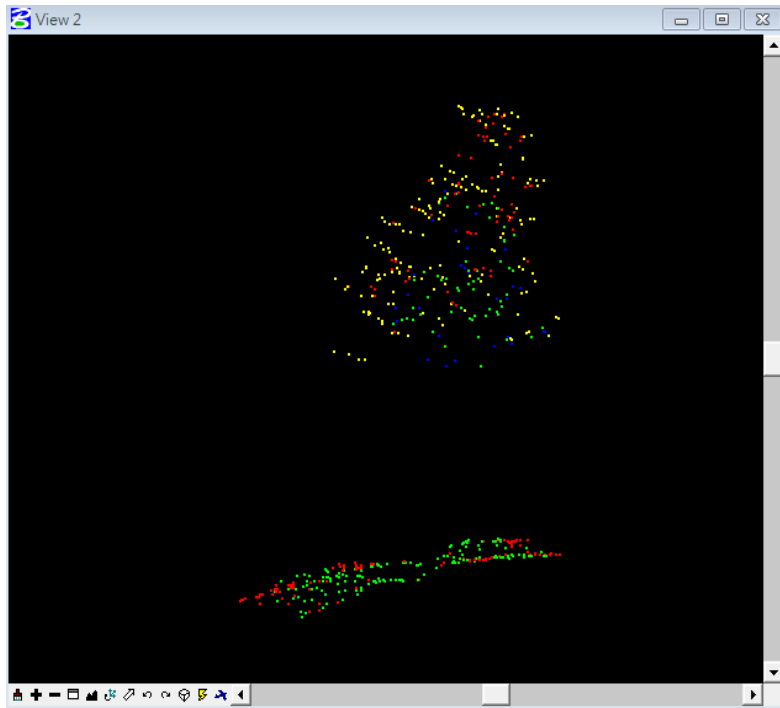


研究方法與步驟

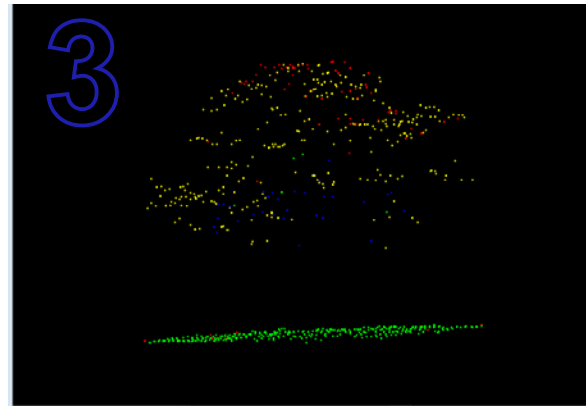
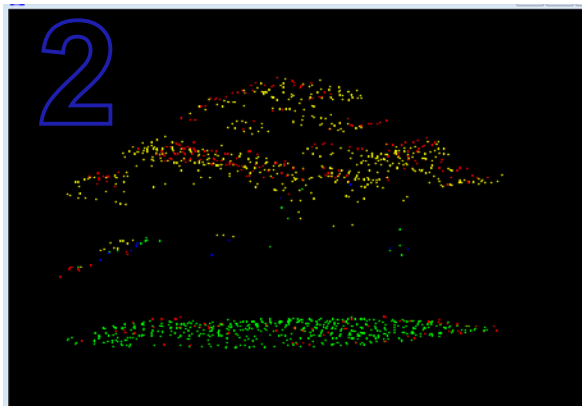
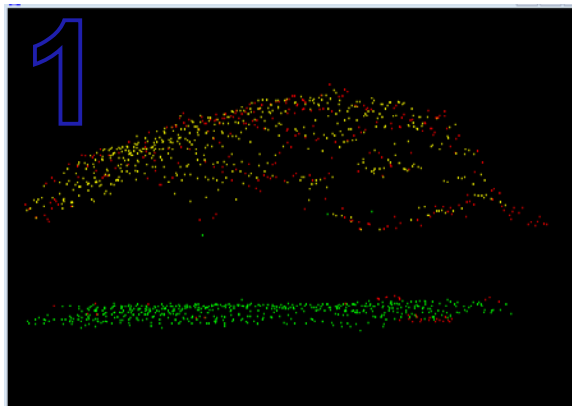
- 本研究採用TerraScan軟體進行點雲資料的蒐集、分層及萃取，其步驟如下所示：
 - ◆ 選定獨立之琉球松3棵，溼地松3棵及大王椰子1棵分別存成las檔。
 - ◆ 分別開啟各las檔，從樹冠頂端沿著垂直方向往下進行分層切割點雲，存成樹冠層高層及低層的las檔
 - ◆ 以Waveform功能萃取出第一回波的波形輸出成文字檔
 - ◆ 計算波幅(Amplitude)、波寬(Pulse width)及熵(Entropy)作為波形特徵
 - ◆ 最後統計這三種樹種不同冠層高度特徵值分布，以變異數分析進行不同樹種對象波形特徵集合之間差異性分析

測試案例一:大王椰子

- 樹高 21m ; DBH 20cm ; CW 12.2m ; 點雲密度 2.483點/ m² ; 分層
間距 3m

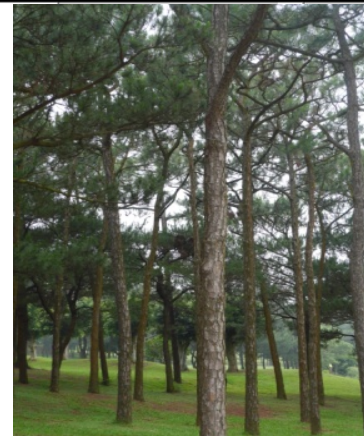
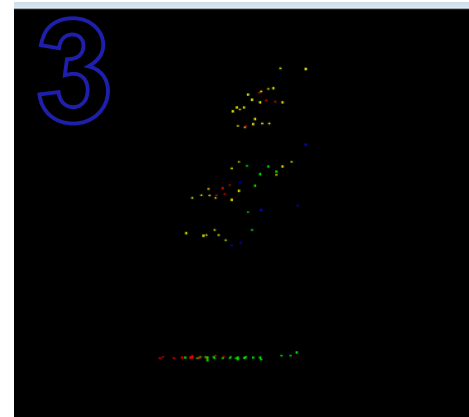
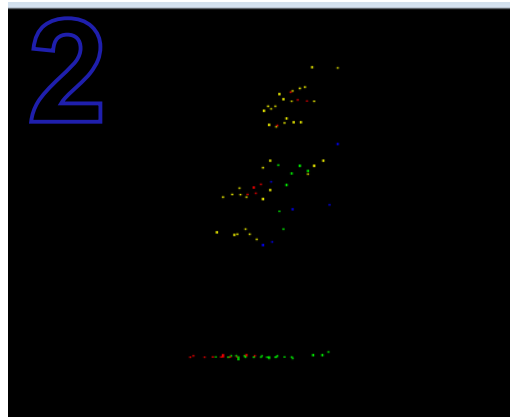
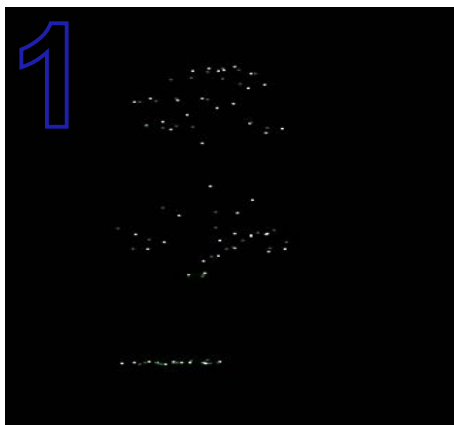


測試案例二:琉球松



- 第一棵: 樹高 7.5m ; 點雲密度 4.009點/ m^2 ; 分層間距 2.5m
- 第二棵: 樹高 10.6m ; 點雲密度 4.132點/ m^2 ; 分層間距 3.5m
- 第三棵: 樹高 12m ; 點雲密度 3.881點/ m^2 ; 分層間距 4m

測試案例三:溼地松



- 第一棵: 樹高 13.4m ; 點雲密度 3.188點/ m² ; 分層間距 4m
- 第二棵: 樹高 14.4m ; 點雲密度 3.031點/ m² ; 分層間距 4m
- 第三棵: 樹高 13.4m ; 點雲密度 3.313點/ m² ; 分層間距 4m

變異數分析結果

■大王椰子波寬單因子變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
高層波寬	89	2310	25.95506	33.54341
低層波寬	24	596	24.83333	13.88406

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	23.7845	1	23.7845	0.807079	0.37093	3.926607
組內	3271.154	111	29.46985			
總和	3294.938	112				

■大王椰子振幅單因子變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
高層振幅	89	10473	117.6742	1534.245
低層振幅	24	2918	121.5833	2027.993

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	288.8639	1	288.8639	0.176508	0.675204	3.926607
組內	181657.4	111	1636.553			
總和	181946.2	112				

變異數分析結果

■ 琉球松波寬單因子變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
第一棵琉球松	398	10460	26.28141	12.53522
第二棵琉球松	354	9712	27.43503	24.63174
第三棵琉球松	178	4876	27.39326	20.73713

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	295.9067	2	147.9533	7.908723	0.000393	3.005434
組內	17341.96	927	18.70762			
總和	17637.87	929				

■ 琉球松振幅單因子變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
第一棵琉球松	398	57096	143.4573	951.8659
第二棵琉球松	354	53495	151.1158	1209.275

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	10989.04	1	10989.04	10.24122	0.001431	3.853887
組內	804765	750	1073.02			
總和	815754.1	751				

變異數分析結果

■濕地松波寬單因子變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
第一棵溼地松	27	712	26.37037	14.16524
第三棵溼地松	136	3702	27.22059	26.08431

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	16.28454	1	16.28454	0.674043	0.41286	3.899867
組內	3889.679	161	24.15949			
總和	3905.963	162				

■濕地松振幅單因子變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
第一棵溼地松	27	3581	132.6296	3337.473
第三棵溼地松	136	19527	143.5809	2663.919

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	2701.735	1	2701.735	0.974408	0.325064	3.899867
組內	446403.4	161	2772.692			
總和	449105.1	162				

變異數分析結果

■樹種間波寬單因子變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
大王椰子	113	2906	25.71681	29.41909
第二棵琉球松	354	9712	27.43503	24.63174
第三棵溼地松	136	19527	143.5809	2663.919

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	1431286	2	715642.8	1155.446	1.73E-206	3.01074
組內	371619.1	600	619.3651			
總和	1802905	602				

■樹種間振幅單因子變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
大王椰子	113	13391	118.5044	1624.52
第二棵琉球松	354	53495	151.1158	1209.275
第三棵溼地松	136	19527	143.5809	2663.919

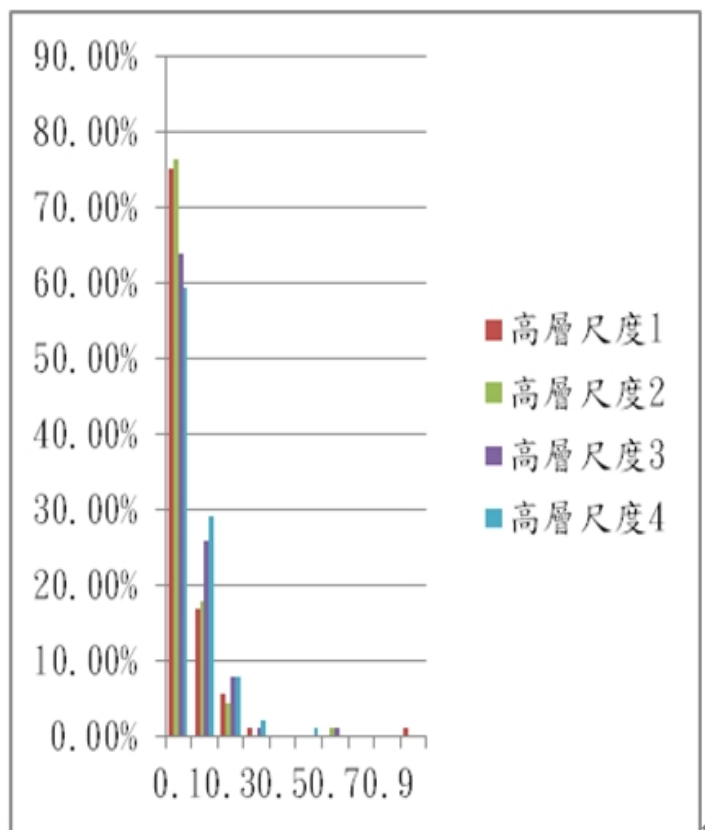
ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	91110.24	2	45555.12	28.22354	1.93E-12	3.01074
組內	968449.6	600	1614.083			
總和	1059560	602				

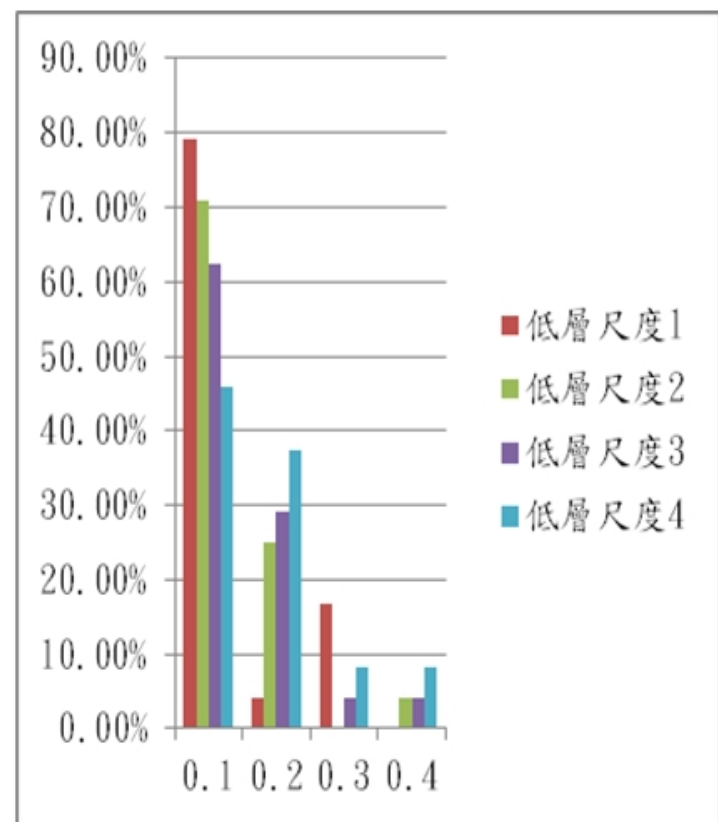
樹種相關資料及波寬、振幅結果整理

樹種	大王椰子	第一棵 琉球松	第二棵 琉球松	第三棵 琉球松	第一棵 溼地松	第二棵 溼地松	第三棵 溼地松
點雲密度（點/m ² ）	2.483	4.009	4.132	3.881	3.188	3.031	3.313
穿透率(%)	13%	0.2%	0.8%	0.9%	3%	12%	2.8%
樹高（m）	21	7.5	10.6	12	13.4	14.4	13.4
枝下高（m）	15.8	4.3	8.3	9.0	11.0	12.7	11.2
胸徑（cm）	20	50	55	62	27	44	32
實際樹冠幅長（m）	12.9	16.5	18.3	12.8	4.8	3.8	5.4
胸徑/實際樹冠幅長	1.55	3.03	3.01	4.84	5.63	11.58	5.93
點雲樹冠幅長（m）	12.2	21	17	12.5	4.7	3.4	5.1
胸徑/點雲樹冠幅長	1.64	2.38	3.24	4.96	5.74	12.94	6.27
波寬信賴區間	19.42- 32.22	19.34- 33.22	17.71- 37.16	18.47- 36.32	18.99- 33.75	有顯著 差異	18.47- 36.32
同樹種波寬差異性	----	有顯著差異			無顯著差異(第二棵除外)		
不同樹種波寬差異性	有顯著差異						
振幅信賴區間	39.51- 197.50	82.99- 203.93	82.96- 219.27	有顯著 差異	19.40- 42.42	有顯著 差異	42.42- 244.74
同樹種振幅差異性	----	有顯著差異			無顯著差異(第二棵除外)		
不同樹種振幅差異性	有顯著差異						

大王椰子波形多尺度熵值分布

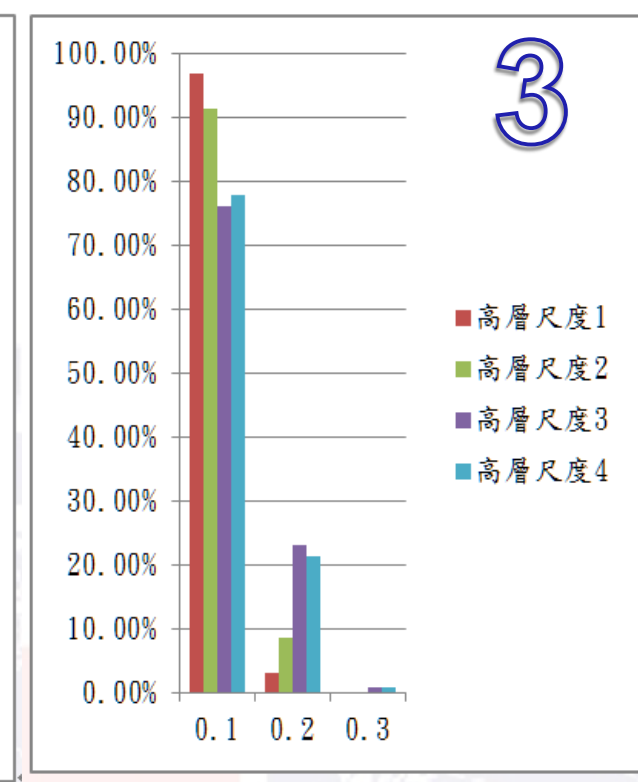
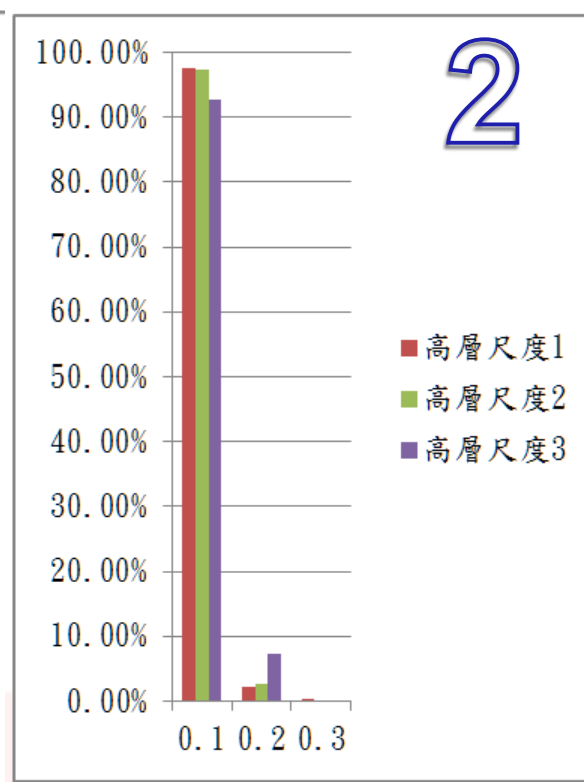
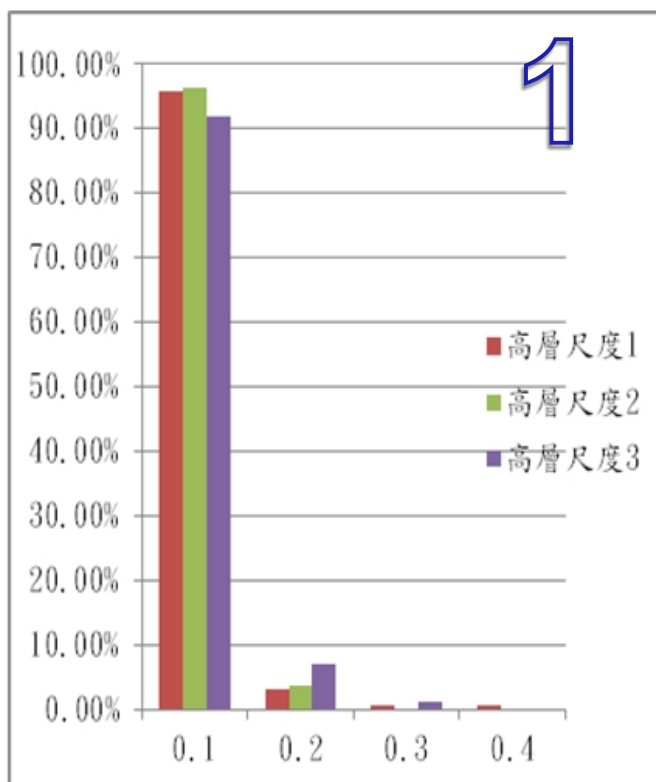


大王椰子高層多尺度熵直方圖

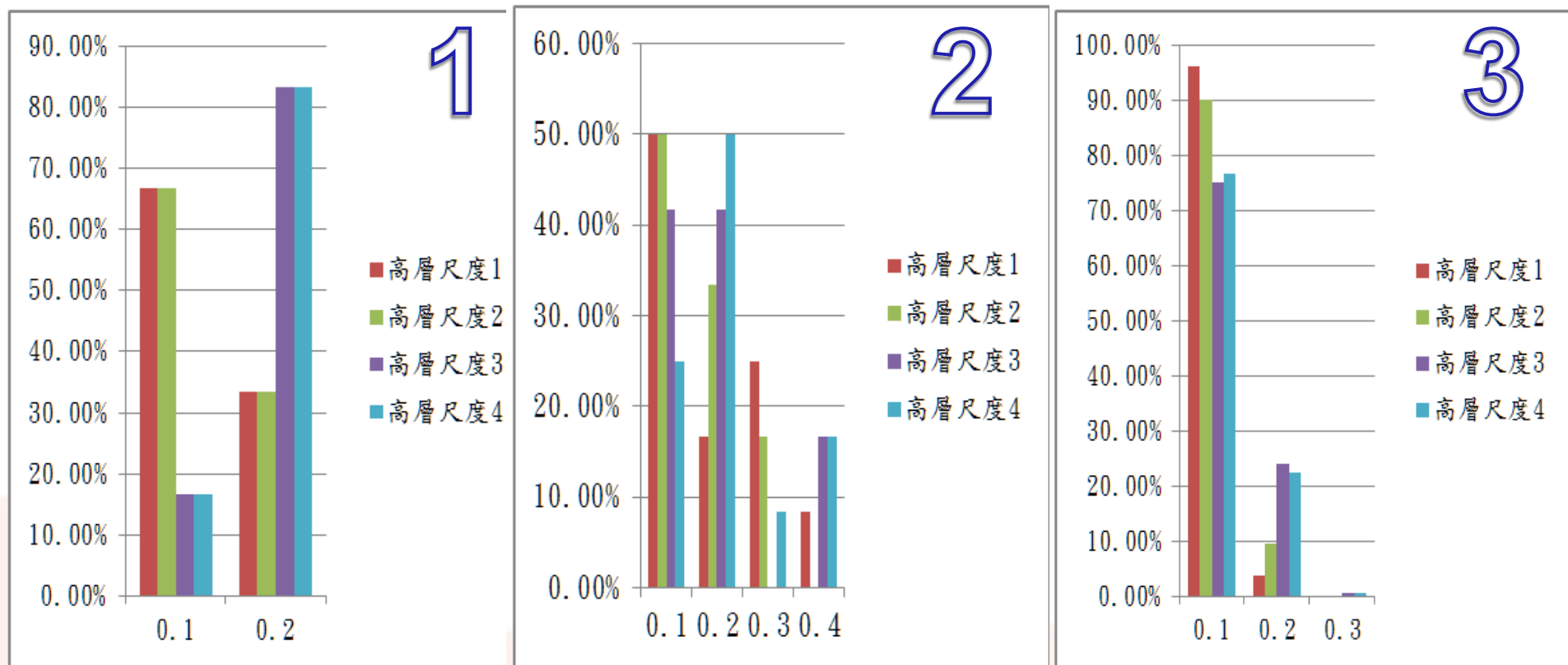


大王椰子低層多尺度熵直方圖

琉球松波形多尺度熵值分布

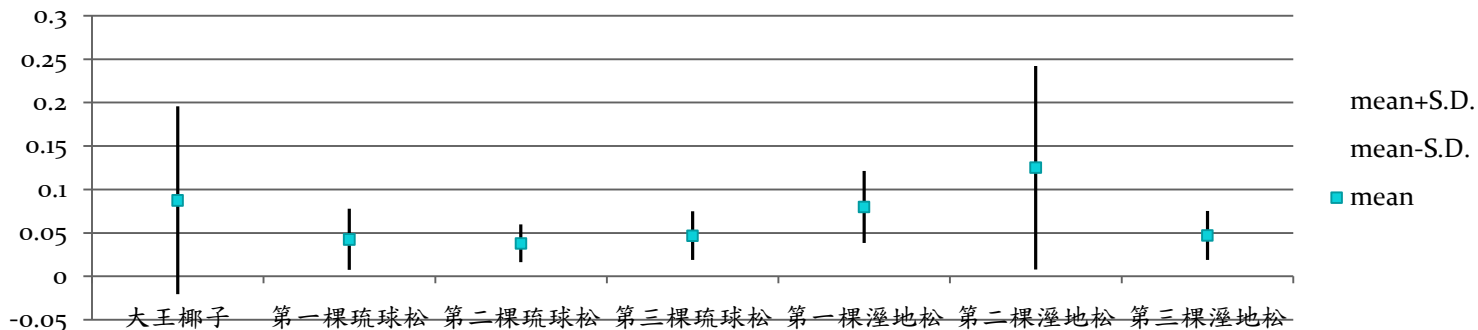


溼地松波形多尺度熵值分布

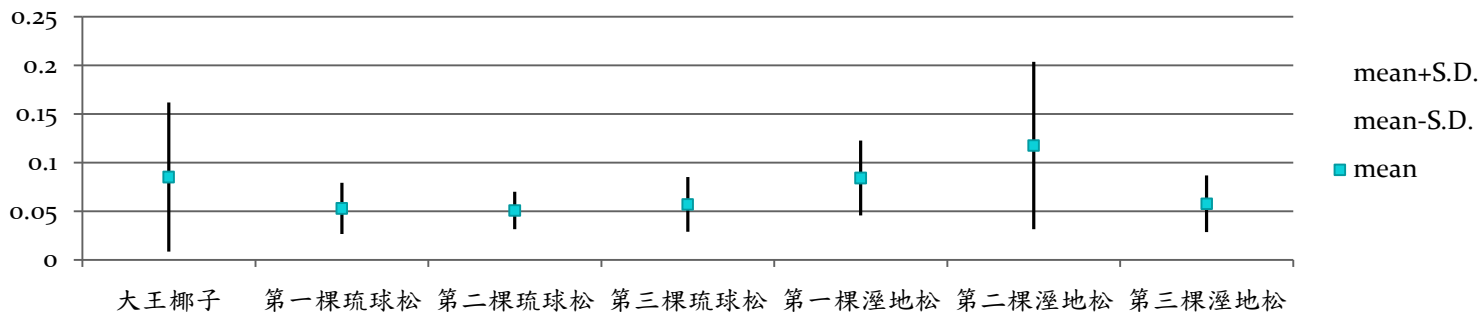


各樹種高層不同尺度熵值離均分布

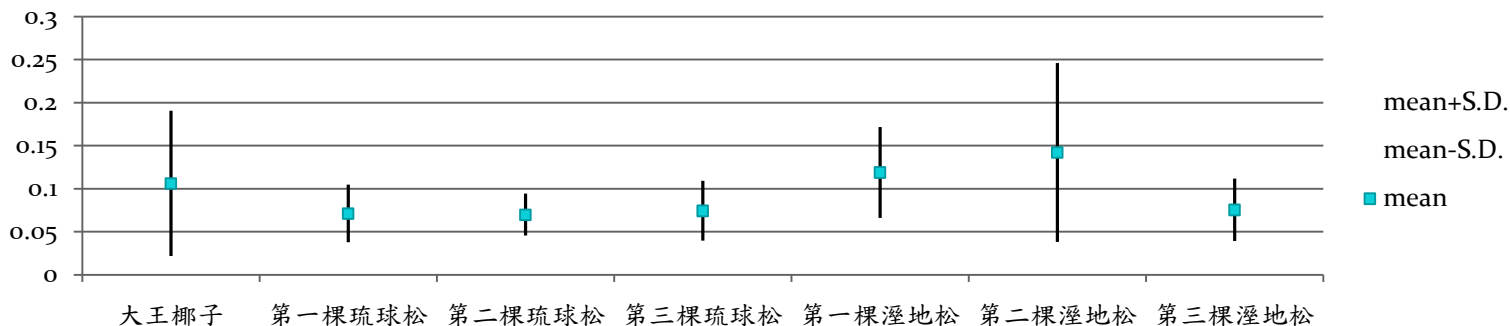
■ 尺度1



■ 尺度2



■ 尺度3



波形多尺度熵分析整理

樹種 \ 高層0.1/低層0.1	尺度1	尺度2	尺度3	尺度4
大王椰子	0.95	1.08	1.02	1.30
第一棵琉球松	0.96	0.97	0.96	-----
第二棵琉球松	0.98	0.97	1.01	-----
第三棵琉球松	0.97	0.91	0.76	0.78
第一棵溼地松	0.67	0.88	0.27	0.22
第二棵溼地松	0.50	0.50	0.42	0.25
第三棵溼地松	0.96	0.90	0.75	0.77

成果二分析與討論

- 在樹形點雲結構方面，大王椰子呈三角形，琉球松呈圓盞形，溼地松則有上下兩層。
- 單一樹種：大王椰子、琉球松及溼地松在波寬及振幅方面，高、低層一致無差異。（第二棵溼地除外）
- 同一樹種：第一棵及第二棵琉球松在波寬及振幅方面，彼此間有差異。第一棵和第三棵溼地松在波寬及振幅方面，彼此間無差異。其原因可能與樹高有關（琉球松第一及第二棵樹高分別為7.5及10.6公尺，溼地松第一及第三棵皆為13.4公尺）。
- 在多尺度熵方面，同一種植物樣本熵平均值及標準差一致，不同種植物樣本熵平均值及標準差則有明顯區分。至於尺度內組距百分比之高層對低層樣本熵比值方面同一樹種有一致性，不同樹種在尺度2上平均值及標準差範圍上可以明顯分辨出來。
- 第二棵溼地松不一致：點雲穿透率高(12%)，顯示其樹冠層較稀疏，所以差異性大，以致於發生不一致現象。

結論與建議

- 本研究建立反覆搜尋樹頂方法(MMAC修正方法)萃取立木冠層參數(樹高及冠幅直徑)
- 使用無縫隙樹高模型及反覆搜尋樹頂方法正確率可達89%以上，樹頂平面位置標準差0.5m、樹高標準差0.8m、冠幅直徑標準差2.8m
- 如以DSM與DEM相減之CHM則受到模型中縫隙影響，使得一棵樹被分割成多棵，以致於正確率低於50%
- 此外，研究中針對琉球松、溼地松及大王椰子分層點雲波形特徵，如波寬、振幅及多尺度熵，進行變異數分析，雖然獲得這些樣本特徵分布及樹種間差異性，然因評估的樣本種類較少，球場內樹形有經過修剪，以致於無法全面性找出其特徵規則，未來如果增加樣本數並加入闊葉樹做為分析對象，相信可進行更完整評估。

Thank you for your attention